

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

# Osagai eta Sistema Elektronikoen Teknologia

Koldo Basterretxea Oyarzabal

**EUSKARA ETA ELEANIZTASUNeko  
ERREKTOREORDETZAREN SARE ARGITALPENA**

ISBN: 978-84-9860-715-4

Liburu honek UPV/EHUko Euskara eta Eleaniztasuneko Errektoreordetzaren  
dirulaguntza jaso du



---

# OSAGAI ETA SISTEMA ELEKTRONIKOEN TEKNOLOGIA

---

**Koldo Basterretxea**

Euskal Herriko Unibertsitatean Irakaslea  
Teknologia Elektronikoa Saila

*Eskerrak Aloña Otaegiri 5. Kapituluaren (Teknologia mikroelektronikoaren hastapenak) eta 7. Kapituluaren (Zirkuitu inprimatuak) idazketan emandako laguntzagaitik. Eskerrak ere Euskal Herriko Unibertsitateari eta, batez ere, Euskara Serbitzuari, lan hau garatzeko emandako laguntzengatik.*

<b>1</b>	<b>Teknologia elektronikoa eta osagaien ingeniari-tza .....</b>	<b>1</b>
1.1	Teknologia elektronikoa .....	2
1.2	Osagaien ingeniari-tza.....	2
1.2.1	Osagai pasiboak eta osagai aktiboak .....	2
1.2.2	Osagai elektronikoen industria .....	3
1.3	Normak eta normalizazioa .....	3
1.3.1	CE marka .....	4
1.3.2	RoHS araudia .....	5
<b>2</b>	<b>Osagai elektronikoko pasiboak .....</b>	<b>7</b>
2.1	Erresistore lineal finkoak.....	8
2.1.1	Ezaugarri tekniko orokorrak.....	9
2.1.2	Erresistore aglomeratuak.....	16
2.1.3	Ikatz-geruzazko erresistoreak .....	18
2.1.4	Geruza metalikozko erresistoreak .....	18
2.1.4.1	Oxido metalikozko erresistoreak .....	19
2.1.4.2	Geruza meheko erresistoreak .....	19
2.1.4.3	Geruza lodiko erresistoreak .....	19
2.1.4.4	<i>Bulk-metal foil</i> edo metalezko xafla.....	20
2.1.5	Erresistore harilkatuak.....	20
2.1.5.1	Potentzia-erresistoreak .....	20
2.1.5.2	Doitasunezko erresistore harilkatuak .....	21
2.1.6	Erresistoreen arteko konparazioa .....	21
2.1.7	Kapsulak.....	22
2.2	Erresistore aldagarriak .....	22
2.2.1	Ezaugarri tekniko orokorrak.....	23
2.2.2	Erresistore aldagarri harilkatuak .....	27
2.2.2.1	Potentzia txikiko erresistore aldagarri harilkatuak.....	27
2.2.2.2	Potentzia-erresistore aldagarri harilkatuak.....	27
2.2.2.3	Doitasunezko erresistore aldagarri harilkatuak .....	28
2.2.3	Ikatz-geruzazko erresistore aldagarriak.....	29
2.2.4	Geruza metalikozko erresistore aldagarriak .....	29
2.2.5	Plastiko eroalezko erresistore aldagarriak .....	29
2.2.6	Erresistore Doigarriak .....	30
2.3	NTC erresistoreak.....	31
2.3.1	Ezaugarri Tekniko Orokorrak .....	31
2.3.2	Aplikazioak .....	37
2.4	PTC erresistoreak.....	38

2.4.1	Ezaugarri Tekniko Orokorrak .....	39
2.4.2	Aplikazioak .....	44
2.4.2.1	Gainkorronteen aurkako babesak.....	45
2.4.2.2	Motorren abioa.....	45
2.4.2.3	Degaussinga .....	46
2.4.2.4	Tenperaturaren neurketa eta kontrola .....	46
2.4.2.5	Kommutazioak eta denbora-atzerapenak .....	49
2.4.2.6	Likidoen maila eta aire-fluxuak .....	49
2.4.2.7	PTCak elementu berotzaile gisa.....	50
2.5	VDR erresistoreak .....	50
2.5.1	Ezaugarri tekniko orokorrak.....	51
2.5.2	Aplikazioak .....	58
2.5.2.1	Babes-zirkuituak .....	58
2.5.2.2	ESD (deskarga elektrostatikoak).....	58
2.6	LDR erresistoreak.....	59
2.6.1	Ezaugarri Tekniko Orokorrak .....	60
2.6.2	Aplikazio-adibideak .....	64
2.7	Bestelako erresistore ez-linealak .....	66
2.7.1	RTD: Temperatura Detektagailu Erresistiboak.....	66
2.7.1.1	RTD motak.....	67
2.7.1.2	Tenperaturaren neurketa .....	68
2.7.2	Tentsio-Galgak .....	70
2.7.2.1	Galga-motak.....	71
2.8	Kondentsadoreak .....	73
2.8.1	Ezaugarri tekniko orokorrak.....	74
2.8.2	Mikazko kondentsadoreak.....	80
2.8.3	Paperezko kondentsadoreak .....	80
2.8.4	Plastikozko kondentsadoreak .....	81
2.8.5	Zeramikazko kondentsadoreak.....	82
2.8.6	Aluminiozko kondentsadoreak elektrolitikoak .....	83
2.8.7	Tantalozko kondentsadore elektrolitikoak .....	84
2.8.8	Elektrolitiko solidozko kondentsadoreak .....	85
2.8.9	Kondentsadore doigarriak .....	86
2.8.10	Kondentsadore aldagarriak.....	86
2.8.11	Kondentsadoreen aukeraketa.....	86
2.9	Harilak .....	88
2.9.1	Haril-motak .....	89

2.9.1.1	Airezko nukleodun harilak.....	89
2.9.1.2	Burdinazko nukleodun harilak.....	90
2.9.1.3	Ferritazko nukleodun harilak.....	90
2.9.1.4	Haril inprimatuak.....	90
2.9.2	Ezaugarri teknikoak.....	91
<b>3</b>	<b>Osagai erdieroale aktiboak.....</b>	<b>93</b>
3.1	Diodoak.....	94
3.1.1	Diodo arteztaileak.....	94
3.1.2	Zener Diodoak.....	99
3.1.3	Kapazitate aldagarriko diodoak ( <i>Varicap</i> ).....	101
3.1.4	Tunel-diodoak.....	103
3.1.5	Shottky diodoak.....	104
3.1.6	PIN diodoak.....	104
3.1.7	Diodoen fabrikazio-teknologiak.....	105
3.1.7.1	Kontaktuzko punta-diodoak.....	105
3.1.7.2	Junturazko diodoak.....	105
3.1.7.3	Aleazioz egindako juntura-diodoak.....	106
3.1.7.4	Difusioz egindako juntura-diodoak.....	106
3.1.7.5	Kristal-hazkuntzaz egindako juntura-diodoak.....	107
3.1.7.6	Kapsulaketa eta soldaketa.....	107
3.2	Transistore bipolarrak.....	108
3.2.1	Ezaugarri tekniko orokorrak.....	108
3.2.2	BJTak fabrikatzeko teknologiak.....	111
3.2.2.1	Aleazioz egindako transistore bipolarrak.....	115
3.2.2.2	Kristal-hazkuntzaz egindako transistore bipolarrak.....	115
3.2.2.3	Mesa transistoreak.....	116
3.2.2.4	Transistore planarrak.....	116
3.2.2.5	Kapsulaketa eta soldaketa.....	117
3.3	Transistore unipolarrak.....	117
3.3.1	JFET transistoreak.....	118
3.3.1.1	Ezaugarri tekniko orokorrak.....	119
3.3.1.2	JFETak fabrikatzeko teknologiak.....	121
3.3.2	MOSFET transistoreak.....	123
3.3.2.1	Ezaugarri tekniko orokorrak.....	124
3.3.2.2	MOSFETak fabrikatzeko teknologiak.....	127
<b>4</b>	<b>Osagai optoelektronikoak.....</b>	<b>131</b>
4.1	Hastapen teorikoak.....	132

4.1.1	Uhin-eredua .....	132
4.1.2	Eredu korpuskularra .....	133
4.1.3	Fotoeroapena material erdieroaleetan .....	133
4.1.4	Elektrolumineszentzia .....	134
4.1.5	Magnitude eta unitateak .....	135
4.2	Osagai fotoeroaleak .....	136
4.2.1	LDR erresistoreak.....	137
4.2.2	Fotodiodoak.....	138
4.2.2.1	Ezaugarri tekniko orokorrak .....	138
4.2.2.2	Egitura eta fabrikazio-teknologia.....	139
4.2.2.3	Fotopilak edo zelula fotovoltaiakoak.....	142
4.2.3	Fototransistoreak .....	143
4.2.3.1	Ezaugarri tekniko orokorrak .....	143
4.2.3.2	Egitura eta fabrikazio-teknologia.....	144
4.2.3.3	Aplikazioak: fotodiodoa ala fototransistorea? .....	146
4.3	Osagai elektrolumineszenteak .....	147
4.3.1	Diodo elektrolumineszenteak edo LED .....	148
4.3.1.1	Ezaugarri tekniko orokorrak .....	149
4.3.1.2	Egitura eta fabrikazio-teknologiak.....	149
4.3.1.3	Aplikazioak .....	150
4.3.2	Laser-diodoak (LD).....	153
4.4	Optoisolatzaileak eta egoera solidoko erreleak .....	154
4.4.1	Ezaugarri tekniko orokorrak.....	155
4.4.2	Aplikazioak .....	157
4.4.3	Egoera solidoko erreleak (SSR).....	160
4.5	Komunikazio optikoak eta zuntz optikoak .....	161
4.5.1	Zuntz optikoaren egitura .....	161
4.5.2	Ezaugarri tekniko nagusiak .....	162
4.5.3	Materialak eta teknologia .....	164
<b>5</b>	<b>Teknologia mikroelektronikoaren hastapenak.....</b>	<b>165</b>
5.1	Historia pixka bat.....	166
5.2	Areto garbia .....	167
5.3	Fabrikazio-urratsak .....	168
5.3.1	Substratua sortzea.....	168
5.3.1.1	Czochralski teknika.....	169
5.3.1.2	Eremu flotatzailearen teknika .....	170
5.3.1.3	Esmerilatua, ebaketa eta leunketa .....	171



5.3.2	Oxidazioa.....	172
5.3.3	Fotolitografia eta erauzketa.....	173
5.3.3.1	Fotolitografia.....	173
5.3.3.2	Maskara.....	174
5.3.3.3	Geruza fotoerresistiboa.....	174
5.3.3.4	Maskara baten erabilera generikoa.....	175
5.3.3.5	Erauzketa.....	176
5.3.4	Dopaketa.....	177
5.3.4.1	Difusioa.....	178
5.3.4.2	Ioi-ezarketa.....	179
5.3.4.3	Ioi-ezarketa vs. difusioa.....	179
5.3.5	Geruza meheen sorkuntza.....	180
5.3.5.1	Geruza epitaxialak.....	180
5.3.5.2	Geruza dielektrikoak.....	181
5.3.5.3	Silizio polikristalinoa.....	182
5.3.5.4	Geruza metalikoak.....	182
5.4	Olataren Azterketa.....	183
5.5	Osagaien integrazioa.....	184
	Adibidea: C-MOS egitura bat sortzeko pausoak.....	184
<b>6</b>	<b>Kapsulak eta bero-irradiagailuak.....</b>	<b>193</b>
6.1	Kapsulak.....	194
6.1.1	Kapsulen sailkapena.....	194
6.1.2	Osagai diskretuen kapsulak.....	194
6.1.3	Zirkuitu integratuen kapsulak.....	198
6.2	Bero-irradiagailuak.....	201
6.2.1	Bero-transmisioa eta erresistentzia termikoa.....	201
6.2.2	Osagai erdieroaleen zirkuitu termikoa.....	202
6.2.3	Inpedantzia termikoa.....	204
6.2.4	Bero-irradiagailuen aukeraketa.....	206
6.2.4.1	Bero-irradiagailuen motak.....	206
6.2.4.2	Kurba bereizgarri termikoak.....	209
6.2.5	Xahutzaileen muntaketa egiteko elementu osagarriak.....	210
<b>7</b>	<b>Zirkuitu inprimatuak.....</b>	<b>213</b>
7.1	Zirkuitu inprimatua edo euskarri isolatzailea.....	214
7.1.1	Txartelak.....	214
7.1.2	Txartel-motak.....	215
7.1.3	Txartelen fabrikazio klaseak.....	216

7.2	Zirkuitu inprimatuetakako elementuak.....	216
7.2.1	Zirkuituetako osagaiak .....	216
7.2.2	Elementu eroaleak .....	217
7.3	Zirkuitu inprimatuaren diseinua.....	218
7.3.1	Osagaien antolamendua.....	218
7.3.2	Pisten diseinua.....	220
7.3.3	Elikatze-pistak .....	223
7.4	Diseinurako prozedurak .....	224
7.4.1	Eskuzko diseinua .....	224
7.4.2	Ordenagailu bidezko diseinua .....	225
7.5	Diseinuaren transferentzia .....	226
7.5.1	Marrazketa zuzena.....	226
7.5.2	Fotomarrazketa .....	226
7.5.3	Inprimaziorako prozedurak: Serigrafia .....	228
7.5.4	Transferentzia automatizatua .....	230
7.6	Fabrikazioa osatzeko gainontzeko prozesuak.....	230
7.7	Zarata elektromagnetikoa .....	230
7.7.1	Diafonia.....	230
<b>8</b>	<b>Ekipo elektronikoaren muntaketarako sistema modularrak .....</b>	<b>233</b>
8.1	19''-ko sistema modularra .....	234
8.2	1. maila: Osagaiak .....	235
8.2.1	PCBak.....	235
8.2.2	Konektoreak .....	236
8.2.3	Kableatu-teknikak .....	237
8.3	2. maila: Eraikuntza-taldeak.....	241
8.4	3. maila: Euskarriak .....	241
8.5	4. maila: <i>Rack</i> a eta armairuak.....	242
<b>9</b>	<b>Osagai eta sistema elektronikoaren fidagarritasuna .....</b>	<b>243</b>
9.1	Sarrera eta definizioak .....	244
9.2	Fidagarritasunaren kalkulurako baliabideak.....	245
9.3	Hutsegite-mekanismoak elektronikan .....	247
9.3.1	Inguruneko fenomeno fisikoek sortutako hutsegiteak.....	248
9.3.2	Gailuen diseinuarekin lotutako hutsegite-mekanismoak.....	248
9.3.3	Fabrikazio-prozesuekin lotutako hutsegite-mekanismoak .....	249
9.3.4	Gailuen erabilerarekin lotutako hutsegite-mekanismoak .....	250
9.4	Sistemen fidagarritasuna.....	250
9.4.1	Sistemen fidagarritasunaren kalkulua .....	250

9.4.2	Erredundantzia.....	253
9.4.2.1	Erredundantzia aktiboa .....	253
9.4.2.2	Erredundantzia pasiboa .....	254



# 1 Teknologia elektronikoa eta osagaien ingeniaritza

Liburu honetan zehar, osagai, zirkuitu eta sistema elektronikoak gauzatzeko erabiltzen diren teknologiez arituko gara. Teknologia elektronikoa izugarri garatu da azkeneko berrogei urteotan, batez ere azkeneko bi hamarkadetan, eta ezinezkoa litzateke teknologia elektronikoaren ikuspegi oso eta zabala testuliburu bakarrean ematea. Aldiz, ingeniari elektronikoak osagai elektroniko erabiliaren teknologia ulertzeko eta osagaien aukeraketa eta erabilera egokia egiteko beharrezkoak izango dituen ezagutzak testu bakarrean bildu nahi ditu lan honek. Hasteko, lehen kapitulu honetan, teknologia elektronikoa kontzeptuaz eta industria elektronikoari aplikatzen zaizkion arauz arituko gara, bai eta osagai-ingeniariaren betebeharez ere.

## 1.1 Teknologia elektronikoa

Teknologia (τεχνολογία) hitzaren erabilera mendeetan zehar aldatu egin da. Gaur egun esan dezakegu problema praktikoa bat ebazteko edo funtzio zehatz bat betetzeko erabilitako tresna, teknika eta sistema multzoa sortzea, erabiltzea eta horri buruzko ezagutza dela teknologia. Ezagutza zientifikoak giza aktibitate produktiboaren buruan jarri zenetik, teknologia, zientzia eta ingeniariak estuki lotuta daude. Teknologia elektronikoa, beraz, osagai, gailu, zirkuitu eta sistema elektronikoen teknologia litzateke, eta ingeniari elektronikoa jorratu beharreko ezinbesteko ezagutza-esparrua da.

Teknologia elektronikoen garapenari esker, industria elektronikoa ere izugarri garatu ahal izan da (eta alderantziz). Gaur egun, industria elektronikoa hainbat esparrutan banatuta dago, eta, bakoitzerako, teknologia espezifikoak sortu dira: osagai elektronikoa, automobilaren elektronika, komunikazioak, konputagailuak, kontsumo-elektronika, elektronika industriala, medikuntza-elektronika, mikroelektronika, erdieroaleak, elektronika militarra eta aeroespaziala, potentziazko elektronika, sentsoreak eta instrumentazioa, eta abar.

## 1.2 Osagaien ingeniariak

Elektronika-enpresetako produkzioaren zati handi bat zirkuituen diseinu eta ekoizpenarekin dago zuzenki lotuta. Zirkuituak ekoizteko, oso garrantzitsua da osagai elektronikoen ezagutza espezializatua izatea, bai eta merkatuan dauden osagaien aukera eta banaketa-kanalak ezagutzea ere. Behar horren ondorioz, *osagaien ingeniariak (part engineering)* ingeniariak elektronikoen adar berezia bilakatu da. Baina zein dira osagaien ingeniariaren betebeharrak? Lehenengo eta behin, komeni da *osagaia* edo *osagai elektronikoa* hitza erabiltzean zehatz-mehatz zertaz ari garen argitzea.

Osagai elektronikoa zirkuitu elektronikoa osatzen dituzten gailuak dira, eta bakoitzak bere ezaugarri elektriko, termiko eta mekaniko zehaztuak ditu. Zirkuituen diseinua egiterakoan, eskuarki *elementu* elektronikoen aritzen gara, hau da, osagaien abstrakzio matematikoen; horiek ezaugarri elektrikoak soilik dauzkate atxikita, eta, gainera, sarritan ezaugarri idealizatuak dira. *Erresistoreak, kondentsadoreak, harilak osagaiak* dira, baina *erresistentziak, kapazitateak, induktantziak elementuak* edo propietate fisikoak dira. Paperean (edo gaur egun ordenagailuan) eginiko diseinua errealitate bihurtzeko, osagai elektronikoa bat aukeratu beharko dugu elementu bakoitzerako, zirkuituaren muntaketa fisikoan erabiliko dena, eta, horretarako, aukeraketa egokia egiteko informazio eta trebetasun nahikoak izan beharko ditugu.

Itzul gaitezen orain jatorriko galderara: zein dira osagai-ingeniariaren betebeharrak? Honako hauek dira garrantzitsuenak, besteak beste:

- Diseinatzaileei aholkua eman. Horretarako, osagai elektronikoei buruzko ezagutza teoriko eta praktikoa sakona izan behar du, bai eta ezagutza hori etengabe eguneratu ere.
- Arauak idatzi. Osagaien erabilera egokia egiteko beharrezko arauak edo normak definitu eta argitaratu.
- Osagai hobetsien zerrendak idatzi, merkatuan diren ehunka aukeren artean bere lan-ingurunean erabiltzeko egokien diren osagaiak gomendatzeko.
- Zirkuituak gauzatzeko beharrezko osagaiak aukeratu.
- Osagai-saltzaileekin erlazioak mantendu, arazo tekniko zein logistikoak konpontzeko.
- Osagaien aplikazioen berrikuspen eta dokumentuen idazketan parte hartu.

### 1.2.1 Osagai pasiboak eta osagai aktiboak

Osagai elektronikoen multzo zabala osatzen dute, baina, oro har, osagaiak bi multzo handitan banatzen dira: osagai pasiboak eta osagai aktiboak.

**Osagai pasiboak:** Osagai pasiboek ez dute energia netorik sartzen kokatuta dauden zirkuituetan. Horren ondorioz, ez dira seinalearen gaineko ez kontrolik ez irabazirik

(anplifikaziorik) emateko gai. Seinalea nolabait moldatzeko eta osagai aktiboen arteko loturak ziurtatzeko balio dute. Erresistorea, kondentsadorea, harila edo transformadorea osagai pasiboak dira.

**Osagai aktiboak:** Osagai aktiboek zirkuituan energia injektatzeko gai dira, baina esan behar da horretarako elikatze-iturri bat (DC) behar dutela. Horren ondorioz, seinalearen gaineko kontrola eta irabazia emateko gai dira. Diodoak, transistoreak edo tiristoreak osagai aktiboak dira.

Osagai elektronikoak, bestalde, modu desberdinetan kapsulatu daitezke. Osagai diskretuak osagai bakunak dira; hau da, osagai bakarra kapsulatzen da (transistore bat, adibidez). Batzuetan, osagai berdinez osatutako *array* edo sareak ere kapsula berean jartzen dira (adibidez, erresistore-sareak). Bestalde, teknologia mikroelektronikoari esker, funtzio konplexuagoak betetzen dituzten zirkuitu miniaturizatu osoak kapsula bakarrean sar daitezke; osagai integratuz osaturiko zirkuitu integratuak deritze horiei (adibidez, amplifikagailu operazional bat edo mikroprozesadore oso bat).

## 1.2.2 Osagai elektronikoaren industria

Osagai elektronikoaren industria, bestelako industria elektroniko askoren hornitzaile izanik, pisu handiko sektorea da. Bi merkatu-helburu bereiz daitezke: erabilera profesionalerako egiten diren tresna eta sistema elektronikoak (zehazpen zorrotzagoak izaten dituzte), eta kontsumo orokorreko tresna elektronikoak. Osagaien industriek elkarrekin sortu dituzte, beren arteko lan-harremanetarako, merkatuaren estatistikak egiteko eta estandarrak garatzeko. Egun, hiru dira osagai elektronikoaren industriaren elkarrekin nagusiak, AEBkoa, Europar Batasuneko eta Japoniako (baina, Txina eta gorabidean diren beste herri batzuetan, industria elektronikoaren indarra handia da dagoeneko):

- ECIA (*Electronics Components Industry Association*): AEB. Lehengo EIA (*Electronic Industries Alliance*) elkarrekin sektorea zena, orain elkarrekin independente gisa sortu da (EIAren jardura 2011ko otsailean eten zen).  
<http://www.eciaonline.org/>
- EECA (*European Electronic Component Manufacturers Association*): EB. EPCIA (osagai pasiboaren industria elkarrekin), ESIA (erdieroaleen industria elkarrekin) eta beste elkarrekin nazionalak batzen ditu.  
<http://www.eeca.eu/>
- JEITA (*Japan Electronics and Information Technology Industries Association*): Japonia. Ez da berez osagai elektronikoaren industriaren elkarrekin, industria elektroniko osoarena baizik.  
<http://www.jeita.or.jp/english/>

Euskal Herrian, GAIA da (Euskal Herriko Informazioaren Teknologia eta Teknologia Elektronikoaren Elkarrekin) industria elektronikoaren inguruko elkarrekin, 1983. urtean sortua. Egun (2011), 264 enpresa dira partaide, 11.400 langilerekin, eta, guzira, 2.994,89 miloi euro fakturatu dituzte (850 miloi esportazioetan).

<http://www.gaia.es/>

## 1.3 Normak eta normalizazioa

Osagai, zirkuitu, tresna zein sistema elektronikoaren serieko produkzioa gauzatzeko, ezinbestekoa da nazioartean onartzen diren produkzio- eta estandarizazio-normei jarraitzea. Normalizazioaren helburua prozesu eta elementu errepikakorrak sinplifikatu, bateratu eta zehaztea da.

1. Sinplifikatzea: eredu kopurua txikitzea.
2. Bateratzea: nazioartean trukea ahalbidetzeko.

3. Zehaztea: materialak, elementuak edo osagaiak definituz eta zehaztuz; adibidez, hizkuntza tekniko zehatz eta argia sortuz.

Norma (araua) normalizaziorako oinarrizko unitatea da, prozesu errepikakorren kodifikazioa gauzatzen duena, betiere prozesuaren emaitza bera lortzeko helburuarekin. Normak eta normalizazio-erakundeak erabilera-esparru desberdinak izan dezakete, bai aplikazio motaren arabera bai eta esparru geografikoaren arabera. Hala, erabilera-esparru geografikoaren arabera, normak nazionalak edo nazioartekoak izan daitezke. Edukiaren arabera, zientifikoak eta industrialak izan daitezke. Aplikazioaren arabera, nahitaezkoak edo hautazkoak izan daitezke.

ISO (*International Organization for Standardization*) munduko estandar eta normen ekoizle eta argitaratzaile handiena da. 162 naziotako normalizazio-elkarteak koordinatzen ditu, eta idazkaritza nagusia Genevan du, Suitzan. Aplikazio-esparru orokorreko normak argitaratzen ditu, baina, gehienetan, hautazkoak izaten dira.

NAZIOA	SIGLAK	Normen Laburdura	WEBGUNEA
Alemania	DIN	DIN	<a href="http://www.din.de">www.din.de</a>
Erresuma Batua	BSI	BSI	<a href="http://www.bsigroup.com">www.bsigroup.com</a>
EEBB	ANSI	ANSI	<a href="http://www.ansi.org">www.ansi.org</a>
Frantzia	AFNOR	NF	<a href="http://www.afnor.org">www.afnor.org</a>
Espainia	AENOR	UNE	<a href="http://www.aenor.es">www.aenor.es</a>
Italia	UNI	UNI	<a href="http://www.uni.com">www.uni.com</a>

1.1 Taula: ISO elkartean parte hartzen duten elkarte nazional batzuk.

Ingeniaritza elektronikoari dagokionez, badira normalizazio-elkarte espezifikoak. IEC (*International Electrotechnical Commission*, <http://www.iec.ch/>) eta ITU (*International Telecommunication Union*, <http://www.itu.int>) dira garrantzitsuenetarikoa, eta norma asko ISOrekin batera garatzen dituzte. Bestalde, IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, <http://www.ieee.org/>) 1963. urtean AEBn sortutako elkarte tekniko-profesionala da. Egun, nazioarteko elkarte da; 500.000 inguru partaide eta boluntario ditu mundu osoan (Euskal Herria, Espainia eta Frantziarekin batera, IEEE 8. eskualdean kokatuta dago), eta munduko irabazi-asmorik gabeko elkarte tekniko/zientifiko handiena da. IEEEren ekintza-esparrua zabala da (argitalpenak, konferentzia eta kongresuak, hezkuntza, lan-harremanak eta abar), baina normak eta estandar teknikoak ere sortzen ditu (<http://standards.ieee.org/>), elektronikaren esparruan, eta, sarritan, *de facto* betebeharreko estandar bilakatzen dira ingeniarietza elektronikoan: VHDL, POSIX, IEEE 802 (*Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth*), IEEE1394 (*FireWire*), IEEE 754 (koma mugikorrek aritmetika) edo IEEE 488 (lehenagoko *GPIB* busa) kasurako.

### 1.3.1 CE marka

Europar CE egiaztapena nahitaezkoa da Europar Elkartean ekoitzi eta martxan jartzen diren tresna elektriko eta elektroniko guztietarako. Tresneria elektrikoak europar zuzentarauak bete behar ditu CE ziurtapena lortzeko: segurtasun elektrikoak, bateragarritasun elektromagnetikoa, medikuntza-tresneria, irrati- eta telekomunikazio-tresneriaren zehazpenak, ingurumenaren babesa eta abar.



1.1 Irudia: CE ziurtapena duen gailu elektronikoa.



### 1.3.2 RoHS araudia

RoHS araudia (*Restriction of Hazardous Substances*) Europar Batasunak 2003. urtean argitaratutako 2002/95/CE zuzentaraua da; 2006. urtean jarri zen indarrean, eta nahitaezkoa da Europar Batasuneko herri guztietan. Zuzentzarau horrek tresneria elektronikoan erabilitako sei substantzia kutsatzailereren erabilera erregulatzen du: beruna (Pb), merkurioa (Hg), Kadmioa (Cd), Kromo hexabalentea (Cr<sup>6+</sup>), bifenil polibromatuak (PBB) eta bifenil eter polibromatuak (PBDE). Azkeneko bi konposatuak suaren atzeratzaileak dira. Birziklatzea erraztea eta kutsadura gutxitzea da arau horren helburua, eta tresneria elektronikoaren osagaietan aipatutako sei substantzien kontzentrazio maximoak murrizten ditu:

Substantzia	Kontzentrazio maximoa (osagai bakoitzeko)
Pb	% 0,1 (1000 ppm)
Hg	% 0,1 (1000 ppm)
Cd	% 0,01(100 ppm)
Cr <sup>6+</sup>	% 0,1 (1000 ppm)
PBB	% 0,1(1000 ppm)
PBDE	% 0,1 (1000 ppm)

1.2 Taula

Araudia ekipo elektroniko gehienei aplikatzen zaie (etxetresna elektrikoak, telekomunikazio-ekipoak, kontsumorako ekipoak, tresna elektronikoak, medikuntza-gailuak eta abar), baina tresna eta planta industrial finkoak, bateriak eta eguzki-energiako plakak arauditik kanpo daude. Gehiago jakin nahi baduzu, zoaz <http://www.rohs.info/> webgunera, adibidez.



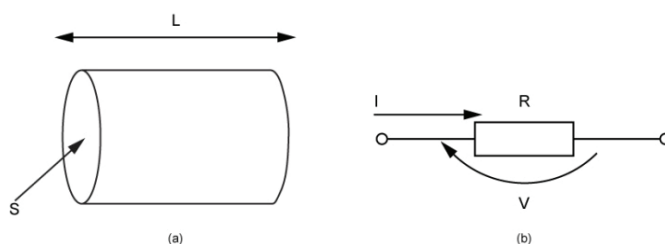
# 2 Osagai elektroniko pasiboak

Osagai elektroniko pasiboak, aktiboak ez bezala, ez seinale irabazirik ez seinalearen gaineko kontrolik ematen ez diguten osagai elektronikoak dira. Materialen propietate fisikoez —batez ere, propietate elektrikoez— baliatzen dira seinale elektrikoa transmititzeko eta osagai aktiboen arteko loturak ziurtatzeko. Erresistoreak, kondentsadoreak, harilak, konektoreak eta abar osagai elektroniko pasiboak dira, beraz. Kapitulu honetan, zirkuitu elektronikoak egiteko erabiltzen diren osagai pasibo garrantzitsuen arituko gara, haien fabrikazio-teknologiaz eta ezaugarri teknikez, eta aukeraketa egokia egiteko irizpideak ere aztertuko ditugu.

## 2.1 Erresistore lineal finkoak

*Erresistore* deritzogu osagai elektronikoari, eta ez *erresistentzia*. Erresistentzia (elektrikoa) materialen propietate fisikoa da, korronte elektrikoaren iragateari aurka egiteko propietatea, hain zuzen ere:

$$R = \frac{\rho L}{S} \quad (2.1)$$



2.1. Irudia: S sekzioa el L luzera duen eroalearen erreistentzia elektrikoa ( $R$ ).

non  $\rho$  erabilitako materialaren *erresistibitatea* baita. Erresistorea, berriz, erresistentzia elektriko jakin bat izateko berariaz egindako osagai elektronikoa da. Gogora dezagun Ohm-en legea, osagai baten erresistentzia elektriko eta handik igarotzen den korronte elektrikoaren intentsitateak sortutako tentsio-jauzia erlazionatzen dituen adierazpena:

$$v = R \cdot i \quad (2.2)$$

non  $R$ , erresistentzia elektrikoaren balioa, ohm-etan ( $\Omega$ ) adierazten baita. Intentsitatearen balioa askatuz:

$$i = G \cdot v \quad (2.3)$$

non  $G=1/R$ , *konduktantzia* elektrikoaren balioa, siemens-etan (S) adierazten baita. Ohmen legea betetzen duten erresistoreei *erresistore lineal* deritze, Ohmen legeak tentsioaren ( $v$ ) eta korronte-intentsitatearen ( $i$ ) arteko erlazio lineala deskribatzen baitu. Erresistoreak *finkoak* direla diogu haien balio ohmikoa (erresistentzia) ezin dezakegulako nahierara aldatu eta idealki balio ohmiko finkoa dutelako. Errealitatean, ordea, hori ez da horrela gertatzen, eta erresistore finkoen balio ohmikoa aldakorra da hein batean zenbait faktore fisikoren eraginez: temperaturaren, hezetasunaren, denboraren eta besteren eraginez. Aldakortasun horrek erresistoreen *tolerantzia* definitzen du, osagai horren ezaugarri teknikorik garrantzitsuenetako bat, aurrerago ikusiko dugun bezala.

Erresistoreak fabrikatzeko, hainbat material eta teknologia erabil daitezke. Eskuarki, bereizgarritasun horien arabera, taldekatu eta sailkatu egiten dira. Honako hau da sailkapen posible bat:

- Erresistore ez-harilkatuak
  - Aglomeratuak
  - Ikatz-geruzazkoak
  - Geruza metalikozkoak
- Erresistore harilkatuak
  - Arruntak
  - Potentziazkoak
  - Doitasunezkoak
- Mikrokapsulatuak

Baina, erresistoreen fabrikazio-teknologiak eta bereizgarritasun fisikoak aztertu aurretik, azter ditzagun osagai horien ezaugarri tekniko garrantzitsuenak.

### 2.1.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

#### *Erresistentzia izendatua: $R_n$*

Erresistorearen erresistentziaren balio teorikoa da. Erresistorearen gorputzean adierazita dago. Horretarako, bi kode erabiltzen dira: letraz eta zenbakiz osatutakoa eta kolorezko eraztun ez osatutakoa.

#### Letrak eta zenbakiak

Letrak koefiziente biderkatzaileak adierazteko erabiltzen dira (R-1, K-10<sup>3</sup>, M-10<sup>6</sup>, G-10<sup>9</sup>, T-10<sup>12</sup>), eta zenbakiak, balioa adierazteko. Adibidez:

R15 → 0,15 Ω	15K → 15 kΩ
15R → 15 Ω	1M5 → 1,5 MΩ
1K5 → 1,5 kΩ	15G → 15 GΩ

#### Kolore-kodea

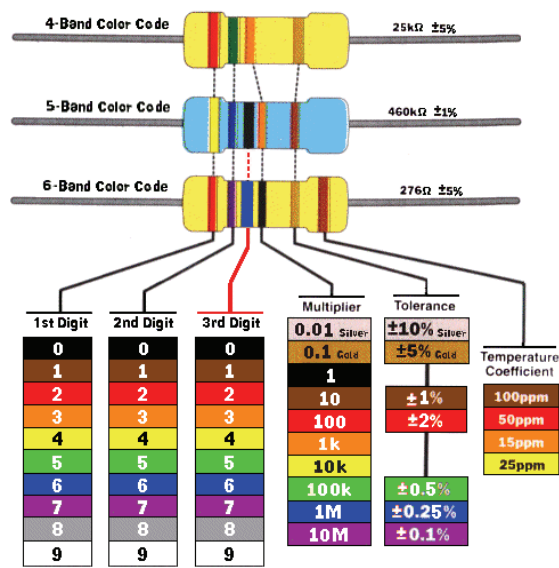
Bi kolore-kode erabiltzen dira. Lau eraztun ez osatutako kodea doitasun txikiko (tolerantzia handiko) erresistoreetarako erabiltzen da. Doitasun handikoetarako, bost eraztun erabiltzen dira, bereizmen handiagoa behar delako. Batzuetan, sei eraztun ere erabil daitezke, tenperatura-koefizientearen balioa adierazteko.

 4 eraztun KOLOREA	1. eraztuna	2. eraztuna	3. eraztuna	4. eraztuna
	1. zifra	2. zifra	faktorea	tolerantzia
Beltza	–	0	10 <sup>0</sup>	–
Marroia	1	1	10 <sup>1</sup>	–
Gorria	2	2	10 <sup>2</sup>	–
Laranja	3	3	10 <sup>3</sup>	–
Horia	4	4	10 <sup>4</sup>	–
Berdea	5	5	10 <sup>5</sup>	–
Urdina	6	6	10 <sup>6</sup>	–
Bioleta	7	7	10 <sup>7</sup>	–
Grisa	8	8	10 <sup>8</sup>	–
Zuria	9	9	10 <sup>9</sup>	–
Zilarra	–	–	0,01	% ±10
Urrea	–	–	0,1	% ±5
Ezer ez	–	–	–	% ±20

2.1 Taula: Lau eraztun ez osatutako kolore-kodea.

5 eraztun KOLOREA	1. eraztuna	2. eraztuna	3. eraztuna	4. eraztuna	5. eraztuna
	1. zifra	2. zifra	3. zifra	faktorea	tolerantzia
Beltza	–	0	0	10 <sup>0</sup>	–
Marroia	1	1	1	10 <sup>1</sup>	% ± 1
Gorria	2	2	2	10 <sup>2</sup>	% ± 2
Laranja	3	3	3	10 <sup>3</sup>	–
Horia	4	4	4	10 <sup>4</sup>	–
Berdea	5	5	5	10 <sup>5</sup>	–
Urdina	6	6	6	10 <sup>6</sup>	–
Bioleta	7	7	7	10 <sup>7</sup>	–
Grisa	8	8	8	10 <sup>8</sup>	–
Zuria	9	9	9	10 <sup>9</sup>	–
Zilarra	–	–	–	0,01	–
Urrea	–	–	–	0,1	–

2.2 Taula: Bost eraztuneko osatutako kolore-kodea.



2.2 Irudia: Lau, bost eta sei eraztuneko osatutako kodeak erabiltzen diren markatutako erresistoreak.

### Tolerantzia

Erresistentzia izendatuarekiko erresistentziaren balio erreala izan dezakeen behe-desbideratze eta goi-desbideratze maximoen arteko aldea da tolerantzia. Ehunekotan adierazten da.

$R_g \equiv$  erresistentzia maximoa  
 $R_b \equiv$  erresistentzia minimoa

$$\text{Tolerantzia: } Tol = \frac{R_g - R_b}{R_n} \times 100 \quad (2.4)$$

Tolerantziaren arabera, erresistoreak serietan sailkatzen dira. Serie bakoitzerako, balio izendatu normalizatuak aurkituko ditugu. Logikoa denez, tolerantzia txikiko serieetan, balio normalizatu gehiago izango ditugu, doitasun handiagoko osagaiak baitira. Serie bakoitzaren izenak adierazten du hamar erresistentzia-balioko zenbat balio izendatu posible dauden. Adibidez, E6

serieak sei balio posible ditu, eta E12 serieak, hamabi balio posible. Tolerantzia arruntak %  $\pm 20$  (E6), %  $\pm 10$  (E12) eta %  $\pm 5$  (E24) dira.

Doitasunezko erresistoreen tolerantziak %  $\pm 2$  (E48), %  $\pm 1$  (E96), %  $\pm 0,5$  (E192), %  $\pm 0,25$ , %  $\pm 0,1$  eta txikiagoak izan daitezke. Serie bakoitzean aurki daitezkeen balio izendatuak kalkulatzeko, honako kalkulu matematiko hau egin dezakegu:

*Adibidea:* E24,  $\sqrt[24]{10^n}$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$  dezimal bakarria hartuta.

E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E24	E12	E6	E3
1,00	1,00	1,00	1,78	1,78	1,78	3,12			5,56			1,0	1,0	1,0	1,0
1,01			1,80			3,16	3,16	3,16	5,62	5,62	5,62	1,1			
1,02	1,02		1,82	1,82		3,20			5,69			1,2	1,2		
1,04			1,84			3,24	3,24		5,76	5,76		1,3			
1,05	1,05	1,05	1,87	1,87	1,87	3,28			5,83			1,5	1,5	1,5	
1,06			1,89			3,32	3,32	3,32	5,90	5,90	5,90	1,6			
1,07	1,07		1,91	1,91		3,36			5,97			1,8	1,8		
1,09			1,93			3,40	3,40		6,04	6,04		2,0			
1,10	1,10	1,10	1,96			3,44			6,12			2,2	2,2	2,2	2,2
1,11			1,98	1,98	1,98	3,48	3,48	3,48	6,19	6,19	6,19	2,4			
1,13	1,13		2,00			3,52			6,26			2,7	2,7		
1,14			2,03	2,03		3,57	3,57		6,34	6,34		3,0			
1,15	1,15	1,15	2,05			3,61			6,42			3,3	3,3	3,3	
1,17			2,08	2,08	2,08	3,65	3,65	3,65	6,49	6,49	6,49	3,6			
1,18	1,18		2,10			3,70			6,57			3,9	3,9		
1,20			2,13	2,13		3,74	3,74		6,65	6,65		4,3			
1,21	1,21	1,21	2,15			3,79			6,73			4,7	4,7	4,7	4,7
1,23			2,18	2,18	2,18	3,83	3,83	3,83	6,81	6,81	6,81	5,1			
1,24	1,24		2,21			3,88			6,90			5,6	5,6		
1,26			2,23	2,23		3,92	3,92		6,98	6,98		6,2			
1,27	1,27	1,27	2,26			3,97			7,06			6,8	6,8		
1,29			2,29	2,29	2,29	4,02	4,02	4,02	7,15	7,15	7,15	7,5			
1,30	1,30		2,32			4,07			7,23			8,2	8,2		
1,32			2,34	2,34		4,12	4,12		7,32	7,32		9,1			
1,33	1,33	1,33	2,37			4,17			7,41						
1,35			2,40	2,40	2,40	4,22	4,22	4,22	7,50	7,50	7,50				
1,37	1,37		2,43			4,27			7,59						
1,38			2,46	2,46		4,32	4,32		7,68	7,68					
1,40	1,40	1,40	2,49			4,37			7,77						
1,42			2,52	2,52	2,52	4,42	4,42	4,42	7,87	7,87	7,87				
1,43	1,43		2,55			4,48			7,96						
1,45			2,58	2,58		4,53	4,53		8,06	8,06					
1,47	1,47	1,47	2,61			4,59			8,16						
1,49			2,64	2,64	2,64	4,64	4,64	4,64	8,25	8,25	8,25				
1,50	1,50		2,67			4,70			8,35						
1,52			2,71	2,71		4,75	4,75		8,45	8,45					
1,54	1,54	1,54	2,74			4,81			8,56						
1,56			2,77	2,77	2,77	4,87	4,87	4,87	8,66	8,66	8,66				
1,58	1,58		2,80			4,93			8,76						
1,60			2,84	2,84		4,99	4,99		8,87	8,87					
1,62	1,62	1,62	2,87			5,05			8,98						
1,64			2,91	2,91	2,91	5,11	5,11	5,11	9,09	9,09	9,09				
1,65	1,65		2,94			5,17			9,20						
1,67			2,98	2,98		5,23	5,23		9,31	9,31					
1,69	1,69	1,69	3,01			5,30			9,42						
1,72			3,05	3,05	3,05	5,36	5,36	5,36	9,53	9,53	9,53				
1,74	1,74		3,09			5,42			9,65						
1,76						5,49	5,49		9,76	9,76					
									9,88						

2.3 Taula: EIA estandarren erresistore-balio izendatu hamartarren taula.

**Tentsio-koefizientea**

Erresistoreari aplikatutako tentsio elektrikoak erresistentziaren balioa alda dezake. Aldakortasun hori adierazteko, tentsio-koefizientea erabiltzen dugu: erresistentziaren aldakuntza erlatiboaren eta hura eragin duen tentsio-aldakuntzaren arteko erlazioa da. Aldakuntza hori oso txikia izan ohi da, eta, horren ondorioz, haren balioa milioikotan adierazten da.

$$\text{Tentsio-koef.} = \left[ \frac{\Delta R}{R} \right] \frac{1}{\Delta V} \times 10^6 \text{ ppm} \quad (2.5)$$

**Potentzia izendatua edo xahutze izendatua:  $P_n$** 

Lan-tenperatura izendaturako erresistoreak narriadurarik izan gabe etenik gabe xahutu dezakeen potentzia da. Balioa wattetan ematen da. Erresistoreen potentzia izendatuen balioak normalizatuta daude:

$$P_n: 1/8 \text{ W}, 1/4 \text{ W}, 1/2 \text{ W}, 1 \text{ W}, 2 \text{ W}, 4 \text{ W}, 8 \text{ W}, 16 \text{ W} \dots$$

**Lan-tentsio maximoa:  $V_{n \max}$** 

Potentzia izendatuari eta erresistentzia izendatuari dagokien tentsio zuzena da lan-tentsio maximoa. Hau da, potentzia maximoa gainditzeke erresistoreari aplikatu dakiokeen tentsio maximoa da. Xahutze termikoak jarritako muga da, beraz.

$$V_{n \max} = \sqrt{P_n \cdot R_n} \quad (2.6)$$

**Muturreko tentsio izendatua:  $V_m$** 

(2.6) ekuazioan erresistentzia izendatuaren balio altuak ordeztuz gero, lortuko ditugun lan-tentsio maximoaren balioak oso handiak izango dira, erresistoreak benetan jasan dezakeen tentsio maximoa baino handiagoak. Kontuan izan behar dugu materialen zurruntasun dielektrikoa mugatua dela, eta oso tentsio altuak aplikatuz gero materialak zulatu egin daitezkeela. Horren ondorioz, fabrikatzaileek erresistore batek jasan dezakeen muturreko tentsio izendatuaren balioa ere ematen digute.

Kontuz! Autore eta testu guztiek ez dituzte beti termino eta letra berak erabiltzen tentsio-mugekin erlazionatutako bi kontzeptu horietaz hitz egiteko.

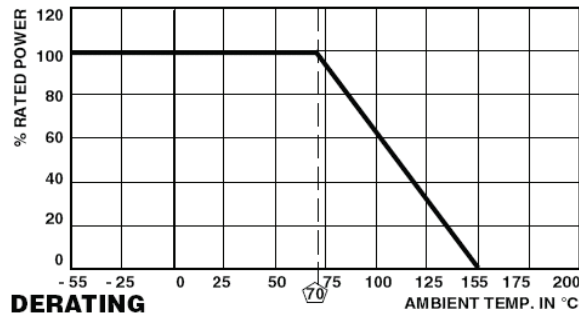
**Lan-tenperatura izendatua**

Lan-tenperatura izendatua potentzia izendatua defintzeko erabili den giro-tenperatura da.

**Lan-tenperatura maximoa**

Erresistoreak lan egiteko onartzen duen giro-tenperatura maximoa da lan-tenperatura maximoa. Normala denez, giro-tenperatura igo ahala, xahutu daitekeen potentzia txikituz doa, eta, muturrean, lan-tenperatura maximorako xahutu daitekeen potentzia zero da. Aldaketa hori grafikoki adierazteko, erresistorearen *xahutze-kurba* irudikatzen da.





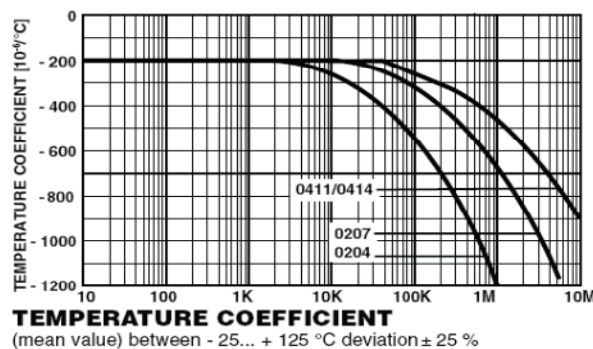
**2.3 Irudia:** Erresistore batek xahutu dezakeen potentzia elektrikoa Inguruneke giro-temperaturaren arabera. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

### Temperatura-koefizientea: $\alpha$

Material eroaleen erresistibitatea temperaturarekin aldatzen da. Horren ondorioz, erresistoreen erresistentzia ere temperaturaren arabera aldatzen da. Eskuarki, ehunekotan ematen da haren balioa (milioikotan ere ager daiteke, irudian bezala), eta erresistore-mota batzuek kontuan hartzeko moduko aldakortasuna izan dezakete, temperatura-aldaketan ondorioz. Aldakortasun hori positiboa zein negatiboa izan daiteke, erresistore-motaren arabera.

$$\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \frac{\Delta R}{\Delta T} \xrightarrow{\Delta T \rightarrow 0} \alpha = \frac{1}{R_0} \frac{dR}{dT} \quad (2.7)$$

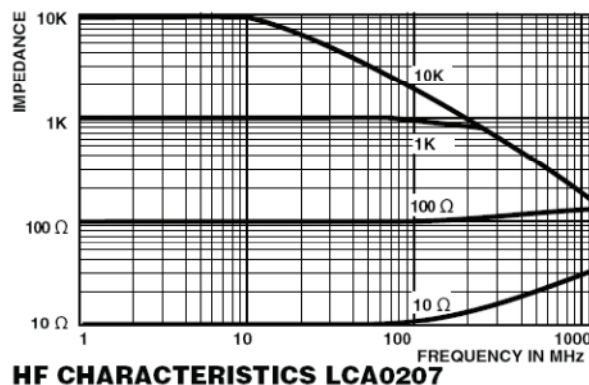


**2.4 Irudia:** Temperatura-koefizientearen balioerresistorearen erresistentzia izendatuaren arabera. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

### Maiztasun-kurba bereizgarria

Erresistoreak maiztasun ertain edo handiko zirkuituetan erabiltzen ditugunean, kontuan izan beharko dugu erresistentziaren balio erlatiboa aplikatutako seinalearen maiztasunaren arabera alda daitekeela, hau da,  $R = f(\nu)$  dela. Maiz, erresistoreen ezaugarri-orrietan maiztasunaren araberrako erresistentziaren aldaketa grafikoki deskribatzen duen kurba aurkituko dugu, *maiztasun-kurba bereizgarria* deritzoguna.

Maiztasun handietarako, erresistore ez-harilkatuen inpedantzia osoa txikituz doa, osagaiaren efektu kapazitiboaren ondorioz. Erresistore harilkatuek, ordea, autoinduktantzia nabarmena izan dezakete maiztasun handietan (efektu induktiboa), eta, horren ondorioz, osagaiaren inpedantzia nabarmenki haz daiteke.



**2.5 Irudia:** Erresistore baten maiztasun-kurba bereizgarria.  
Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.

Portaera hori ikusita, eta osagaiaren forma eta geometria oro har kontuan izanda, aholku batzuk eman daitezke maiztasun ertain/handietarako erresistoreak aukeratu behar ditugunerako:

- Tamaina txikiko erresistoreak erabili.
- $R_n$  txikiko erresistoreak erabiltzen saiatu.
- Hobe geruzazko erresistoreak (kiribilik gabeak) erresistore harilkatuak baino.
- Hobe erresistore luzeak eta meheak motzak eta lodiak baino.
- Hankatxo laburrak hobe (norberak moztu ditzake, beharrezkoa bada).

### Zarata-tentsioa

Erresistoreek zarata elektronikoa sortzen dute. Zarata horren iturriak bi dira:

- Materialen bibrazio termikoak (zarata termikoa).
- Erresistentziaren barne-aldaketak korrante elektrikoa igarotzean (hondo-zarata).

Bi efektu horien ondorioa erresistorearen kontaktuen arteko tentsio-zarata parasittoa da. Zarata termikoaren tentsio eraginkorra eredu matematiko honen bidez kalkula dezakegu:

$$V_T^2 = 4K.T.v.R \quad (2.8)$$

$K \equiv$  Boltzman-en konstantea

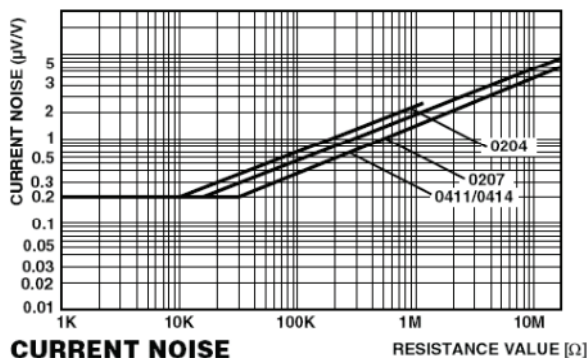
$T \equiv$  erresistorearen tenperatura (K)

$v \equiv$  zarataren banda-zabalera

$R \equiv$  osagaiaren erresistentzia

Argi dago, beraz, zarata termikoa baxu mantentzeko modu bakarra erresistentzia txikiko erresistoreak erabiltzea dela. Bestalde, tenperatura baxu mantentzea ere komenigarria da. Hori lortzeko, ingurunea hoztu dezakegu (ez da posible izaten gehienetan), eta potentzia izendatu nahikoa duten erresistoreak erabiltzea ere komenigarria da, bero-xahutzea mugatik urrun mantentzeko eta, horren ondorioz, erresistorearen gorputzeko tenperatura mugatzeko.

Beste aldetik, korrante elektrikoaren iragateak sortzen duen hondo-zarata batez besteko DC korrontearen eta erresistorearen material eta tamainaren menpe dago. Tamaina handiko eta potentzia izendatu handitxoa duten erresistoreek hondo-zarata txikiagoa sortzen dute. Gainera, korrontearen DC eta AC balioak baxu mantentzeko aukera badugu, hondo-zarata ere txikiagotu dezakegu.



**2.6 Irudia:** Erresistore baten korrante-zarataren kurba erresistentzia izendatuaren arabera. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

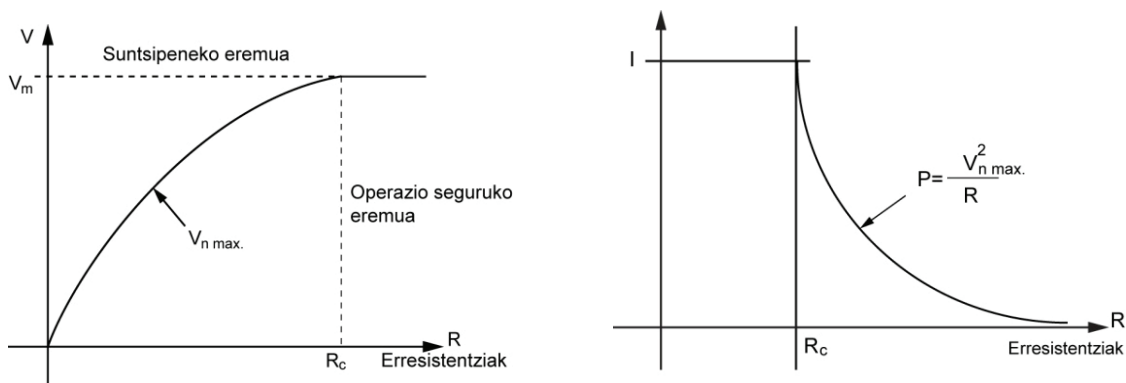
Horren ondorioz, honako hauek dira zarata-tentsioa mugatzeko aholkuak:

- Erresistentzia izendatu txikiko erresistoreak erabili.
- Geometria handiko / potentzia handiko erresistoreak erabili.
- Erresistore harilkatuek zarata txikiena sortzen dute. Metalezko geruzazko erresistoreak ere egokiak dira.

### **Erresistentzia kritikoa: $R_c$**

Erresistentzia kritikoa zuzenki erlazionatuta dago gorago aipatutako lan-tentsio maximo eta muturreko tentsio izendatu kontzeptuekin. Erresistorearen potentzia izendatua xahutzean, hankatxoaren arteko lan-tentsio maximo onartua eragingo lukeen erresistentziaren balioa da erresistentzia kritikoa. Erresistentziaren balio horretarako, erresistorearen lan-tentsio maximoaren eta muturreko tentsio izendatuaren balioak berdindu egiten dira:

$$R_c = \frac{V_n^2}{P_n} \quad (2.9)$$



**2.7 Irudia:** Erresistore-serie bateko erresistentzia kritikoa esanahia grafikoki adierazita. Ezkerreko grafikoa erresistorearen erabilera lan-tentsio maximoak mugatzen duela dago adierazita ( $R_n > R_c$ ). Eskumako grafikoa aldiz erabilera potentzia izendatuak mugatzen du ( $R_n < R_c$ ).

Horren ondorioz, zera esan dezakegu:


- $R_c$ -ren balioaren azpiko erresistentzia duen erresistorearen erabilera potentzia izendatuak mugatzen du.
- $R_c$ -ren balioaren gainetik, ostera, osagaiaren erabilera muturreko tentsio izendatuak mugatuko du.




## CCF07

Vishay Dale



### Metal Film Resistors, Industrial, ± 2 % and ± 5 % Tolerance





#### FEATURES

- 0.25 watt at + 70 °C power rating  
Dual rated for 0.5 watt
- ± 2 % and ± 5 % tolerance
- ± 100 ppm/°C and ± 200 ppm/°C temperature coefficient
- Tape and reel packaging for automatic insertion (52.4 mm inside tape spacing per EIA-296-E)
- Flame retardant epoxy conformal coating
- Standard 4 band color code marking for ease of identification after mounting
- Lead-(Pb)-free version is RoHS compliant

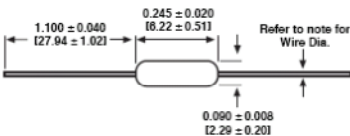



RoHS\*  
COMPLIANT

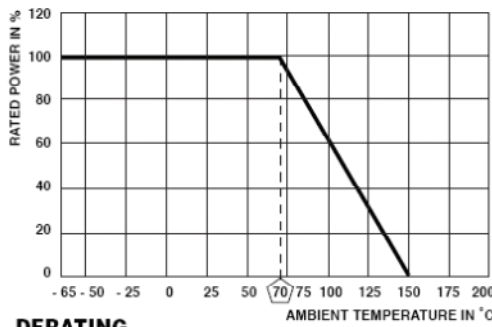
STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS							
GLOBAL MODEL	HISTORICAL MODEL	POWER RATING P <sub>70 °C</sub> W	LIMITING ELEMENT VOLTAGE MAX. V <sub>⊆</sub>	TEMPERATURE COEFFICIENT ppm/°C	TOLERANCE %	RESISTANCE RANGE Ω	E-SERIES
CCF07	CCF-07	0.25 / 0.5	250	± 100	± 2, ± 5	10R - 1M	24
CCF07	CCF-07	0.25 / 0.5	250	± 200	± 5	1.1M - 2M	24

TECHNICAL SPECIFICATIONS		
PARAMETER	UNIT	CCF07
Rated Dissipation at 70 °C	W	0.25 / 0.5
Maximum Working Voltage	V <sub>⊆</sub>	≤ 250
Insulation Voltage (1 min)	V <sub>eff</sub>	500
Dielectric Strength	VAC	450
Insulation Resistance	Ω	≥ 10 <sup>11</sup>
Operating Temperature Range	°C	- 65 / + 150
Terminal Strength (pull test)	lb	2
Weight	g	0.35 max

#### DIMENSIONS in inches [millimeters]



\*Note: Wire Dia.  
CCF07 (Sn/Pb) = 0.025 ± 0.002 [0.64 ± 0.05]  
CCF07 (Sn) = 0.023 ± 0.002 [0.60 ± 0.05]



**DERATING**

#### MARKING

- Color band

#### RESISTANCE VALUES

Vishay Dale Model CCF07 is available in the standard 24 resistance values per decade. Values are obtained from the following decade table by multiplying by powers of 10. As an example: 24 can represent 24 ohm, 240 ohm, 2.4 kohm, 24 kohm or 240 kohm.

10	18	33	56
11	20	36	62
12	22	39	68
13	24	43	75
15	27	47	82
16	30	51	91

2.1. Orria: Geruzeta metalikozko erresistorearen ezaugarri teknikoak. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Hezetasunak erresistore horietan eragin nabarmena duenez, zeramikazko edo bakelitzako hodi babesle bat ezartzen zaie, kanpoaldetik. Gaur egun, desagertuz doa mota horretako erresistoreen fabrikazioa.

#### Ezaugarriak:

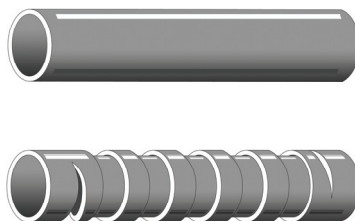
- ☺ Sendotasun mekaniko eta elektrikoa (gaintentsio laburrak jasateko ahalmena)
- ☺ Merkeak
- ☹ Doitasun eta egonkortasun txikiak
- ☹ Zarata-tentsio handia
- ☹ Kapazitiboak (erabilgarritasuna: < 1MHz)

### 2.1.3 Ikatz-geruzazko erresistoreak

Grafitozko geruza mehea gorputz isolatzaile zilindriko baten gainean metatuz fabrikatzen da. Ikatz-geruzaren konposizioak eta lodierak definituko dute erresistentziaren balioa. Bi metodo nagusi erabiltzen dira grafitoa metatzeko:

- a) *Ikatz-erarketa*. Beirazko hodiaren gainean, ikatz-geruza bat ezartzen da. Ondoren, hodia luzera jakinetan zatitzen da, erresistoreak lortzeko. Azkenik, konexio-hankatxoak jarri eta erretxina isolatzaile batez estaltzen da.
- b) *Erresistore pirolitikoak*. Gunea zeramikazkoa da, eta hankatxoak sendo atxikiak ditu muturretan. Ikatza pirolisiz ezartzen da, oso temperatura altuetan (1000 °C). Balio ohmiko handiak behar direnean, geruzak mehegia izan behar lukeenez, geruza lodiagoa ezartzen da, eta, ondoren, laser baten bidez, mozketa kiribildua egiten zaio, luzera handitzeko. Azkenik, osagaia isolatu egiten da.

Erresistore horiek aglomeratuzkoak baino egonkorragoak dira, eta, garestiak ez direnez, askotan erabiltzen dira.



**2.9 Irudia:** Ikatz-geruzazko erresistoreen barne-egitura. Goian, ikatz-geruza leuna. Behean, geruza kiribildua erresistentziaren balioa handitzeko.

#### Ezaugarriak:

- ☺ Zarata eta kapazitate parasito txikiak
- ☺ Egonkortasun egokia
- ☺ Balio ohmikoa tentsioarekiko eta maiztasunarekiko ia independenteak (ez-kiribilduak)
- ☹ Ikatz-geruza hauskorra da. Ez dituzte gainkargak ondo jasaten
- ☹ Kiribilduak induktiboak dira maiztasun handietan

### 2.1.4 Geruza metalikozko erresistoreak

Material erresistibo gisa, grafitoa erabili beharrean, konstante erresistibo handiko aleazio metalikoak edo oxido metalikoak erabiltzen dira. Horren arabera, zenbait azpimota bereiz daitezke:

- Oxido metalikozkoak
- Geruza mehekoak (*thin-film*)
- Geruza lodikoak (*thick-film*)
- Bulk-metal

#### 2.1.4.1 Oxido metalikozko erresistoreak

Euskarria pirexezko, beirazko, kuartzozko edo portzelanazko hodi bat da. Euskarria berotu ondoren (800 °C), eztainu-oxidoz (% 93) eta antimonio-oxidoz (% 7) osatutako nahastea langartu egiten da, haren gainazalean. Balio ohmiko handietarako kiribiltzea ere beharrezkoa da. Azkeneko babes-pintura da osagai ez-isolatuetarako eta silikonazko erretxina isolatuetarako.

Ikatz-geruzazkoen aldean, ezaugarri orokorrak nahiko berdintsuak dira, baina tenperatura-koefizientea txikiagoa da, eta egonkortasuna, hobe.

Aplikazioak: egonkortasun handiaren eta zarata eta tenperatura-koefiziente txikien ondorioz, eskakizun zorrotzak dituzten zirkuituetan, erabilgarriak dira, zarata txikiko amplifikagailuetan, zirkuitu logikoetan, eta abarretan.

#### 2.1.4.2 Geruza meheko erresistoreak

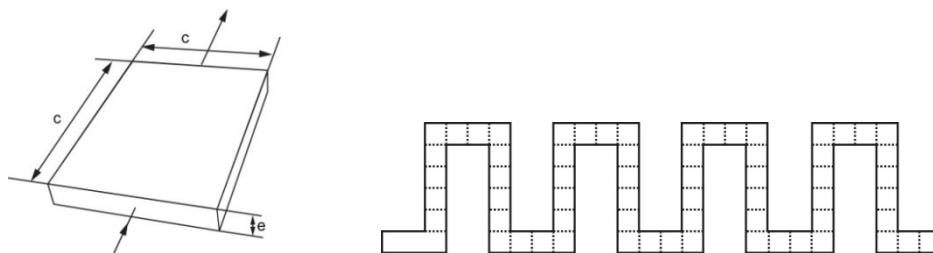
Euskarria zeramikazko, pirexezko edo kuartzozko hodi bat da. Horren gainean, metalezko edo aleazio metalikozko geruza mehe bat ezartzen da, lurrinketaz, labe batean: Au, Pt, Pd, Rh, Ir, Mo, W, Ta, Nb, Cr, Ti, Ni edo Ni-Cr aleazioak. Hor ere, kiribiltzea beharrezkoa izaten da. Forma aldetik, zilindrikoak edo lauak izan daitezke, hankatxo axialdunak. Erresistentzia integratuak eta kapsulatuak ere badaude.

Doitasunezko geruza metalikozko erresistoreak ere fabrikatzen dira, metalezko orri bat fotograbatuz. Oso ondo kalibra daitezke. Maiztasun handietarako egokiak izaten dira. Doitasunezko erresistore harilkatuek baino ezaugarri hobexekak dituzte, baina aukeran dauden balio erresistiboak gutxiago dira eta oso garestiak dira (1,5-7,5 € bakoitza).

#### 2.1.4.3 Geruza lodiko erresistoreak

Aluminazko edo zeramikazko xaflaren gainean beira-hautsa eta metal preziatuak (Ag-Pd, Ta, Ti...) nahasiz lortutako ore erresistibo likidoa ezarriz fabrikatzen dira. Horretarako, «marratzia» osatzen duten maila metalikozko maskarak erabiltzen dira. Multzo hori labean sartuta (1000 °C), ore erresistiboa gogortu egiten da, eta aurretik kalkulaturako balio ohmikoa lortzen da. Erresistentziaren balioa kalkulatzeko, *karratuen metodoa* erabiltzen da (ikus 2.10 irudia). Ondoren, kapsulatu egin daitezke.

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} = \frac{\rho}{e} \quad (2.10)$$



**2.10 irudia:** Geruza lodiko erresistoreen fabrikazioarako egindako erresistentziaren doiketa karratuen metodoa erabiltzea.

Geruza lodiko erresistoreak oso maiztasun altuetan erabil daitezke (batzuk GHz-etaraino heltzen dira), eta nahiko tentsio altuak jasateko gai dira.

### 2.1.4.4 *Bulk-metal foil* edo metalezko xafla

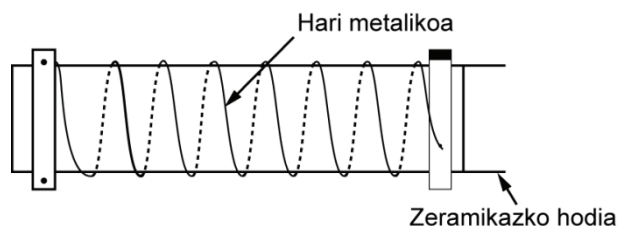
Zehaztasun handiko eskala milimetratua erabiliz, metalezko xaflatxo batetik zatitxoak ebakiz, erresistentzia izendatu oso zehatzak lor daitezke, %  $\pm 0,01$  eta % 0,005 tolerantziekin doituak. Ondoren, material erresistiboa erretxinaz beteriko kapsula isolatzailean sartzen da. Konexio-hankatxoak zirkuitu inprimatueta sartzeko distantzia normalizatuarekin jartzen dira (5,08 mm).

Oro har, beraz, honako ezaugarri hauek aipa ditzakegu geruza metalikozko erresistoreen gainean:

- ☉ Egonkortasun handia eta tolerantzia txikiak
- ☉ Zarata-maila txikia
- ☉ Maiztasun handietan erabiltzeko modeloak badaude (geruza lodia eta *bulk-metal*)
- ☉ Potentzia izendatu txikiak
- ☉ Balio ohmiko handiak lortzeko zailtasuna, kiribiltzea beharrezkoa izanik

## 2.1.5 Erresistore harilkatuak

Erresistore harilkatuak fabrikatzeko erabiltzen den material erresistiboa erresistibitate handiko hari metalikoa da. Hari hori zeramikazko hodi baten inguruan harilkatu egiten da. Erabilitako metalek, erresistibitate handikoak izateaz gain, tenperaturarekiko mendekotasun txikia izan behar dute. Nikel-kromo-manganeso aleazioa (Ni-Cr-Mn 54/45/1) —*konstantan* deritzon materiala— da erabiliena. Oro har, erresistore harilkatuen bi mota daude: potentzia-erresistoreak eta doitasunezkoak.



**2.11 Irudia:** Erresistore harilkatuaren oinarritzko egitura zeramikazko hodia eta haren inguruan harilkatutako hari metalikoz osatuta dago.

### 2.1.5.1 Potentzia-erresistoreak

Euskarria portzelanazkoa, esteatitazkoa edo aluminazkoa (aluminiozko aglomeratua) da, konduktibitate termiko handiko materialak direlako. Harilketa nikel-kromo edo nikel-kobre aleaziozko hariak egiten da. Estalki babeslearen materiala aldatu egiten da merkatu-helburuaren arabera (klasea): estalkirik gabekoak edo pintura egosia, erabilera arrunterako; eta zementu erregaitza edo beiratua, erabilera profesionaletarako. Lau mota bereiz daitezke:

- Estalkirik gabekoak
- Pintura egosia:  $T_{\max} = 125^{\circ}\text{C} \rightarrow$  C klasea
- Zementu erregaitza:  $T_{\max} = 175^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\max} = 260^{\circ}\text{C} \rightarrow$  B, A klaseak
- Beiratua:  $T_{\max} = 400^{\circ}\text{C} \rightarrow$  A klasea

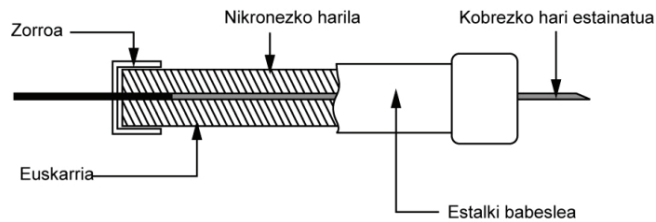
Egonkortasun handia behar denean, tentsio-zatitzaile modura elikatze-zirkuituetan edo potentzia-indargetzaileetan, askotan erabiltzen dira, sendotasun handikoak baitira eta potentzia handia xahutzeko gai baitira. Ez dira maiztasun handietarako egokiak, efektu induktibo eta kapazitibo nabarmenak direla eta.



### 2.1.5.2 Doitasunezko erresistore harilkatuak

Doitasuna  $\pm 1\%$ eko tolerantziaren azpitik behar denean erabiltzen dira. Erabateko egonkortasuna dute, eta ez dute zaratarik sortzen. Maiztasun altuetan, efektu induktiboa ager daiteke, baina badago 30 MHz-raino erabil daitekeenik. Material profesionala da, nahiko garestia.

Egituraren aldetik, euskarria zeramikazkoa izaten da, baina, gaur egun, plastikozkoa ere erabiltzen da (sentikorragoa tenperaturarekiko, baina mekanizatu errazagokoa). Haria kupronikelez, konstantanez edo manganinaz fabrikatzen da. Balio ohmiko handietarako, Ni-Cr aleazioa erabiltzen da. Estalki babeslea epoxi erretxinaz egiten da.



2.12 Irudia: Doitasunezko erresistore jarilkatua.

Oro har, beraz, honako ezaugarri hauek aipa ditzakegu erresistore harilkatuen gainean:

- ☺ Egonkortasun handia eta tolerantzia txikiak
- ☺ Zarata maila baztergarria
- ☹ Maiztasun handietarako ez dira egokiak (doitasunezko modelo batzuk izan ezik)
- ☹ Balio ohmiko handiak lortzeko zailtasuna
- ☹ Garestiak

### 2.1.6 Erresistoreen arteko konparazioa

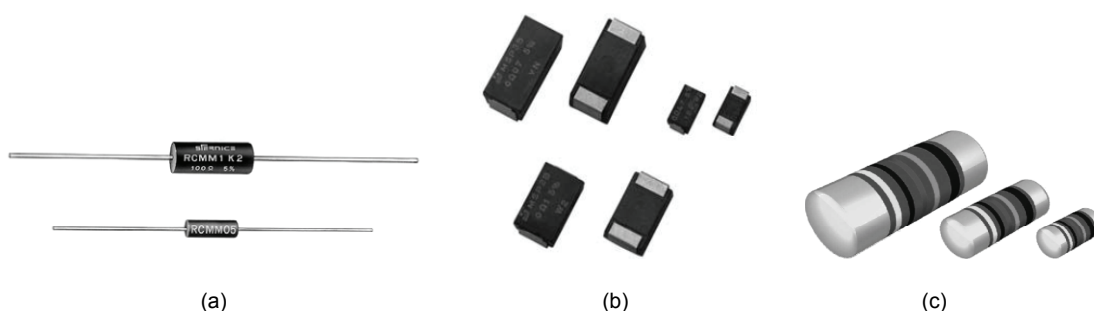
Erresistore-mota garrantzitsuenen teknologia eta ezaugarriak aztertuta, taula honetan duzu aukeraketa egokia egiteko gida sinplifikatu bat\*:

	Aglomeratua	Ikatz-geruza	Geruza metalikoa	Geruza lodia	Bulk-metal	Harilkatuak (potentzia)	Harilkatuak (doitasuna)
<b>Balio ohmikoaren tartea</b>	Zabala ( $\times 10^1$ M $\Omega$ )	Zabala ( $\times 10^1$ M $\Omega$ )	Zabala (M $\Omega$ )	Oso zabala (G $\Omega$ )	Estua ( $\times 10^2$ K $\Omega$ )	Estua ( $\times 10^1$ K $\Omega$ )	Zabala ( $\times 10^1$ M $\Omega$ )
<b>Tolerantzia (%)</b>	$\pm 20 - \pm 5$	$\pm 10 - \pm 5$	$\pm 5 - \pm 0,1$	$\pm 1 - \pm 0,5$	$\pm 1 - \pm 0,001$	$\pm 10 - \pm 1$	$\pm 1 - \pm 0,001$
<b>Potentzia izendatua (W)</b>	Txikiak ( $\leq 2$ )	Txikiak ( $\leq 3$ )	Txikiak ( $\leq 2$ )	Handiak ( $\leq 250$ )	Txikiak ( $\leq 1,25$ )	Oso handiak ( $\leq 1000$ )	Txikiak ( $\leq 2$ )
<b>Mutur-tentsioa (V)</b>	150 - 500	150 - 1000	250 - 700	4K - 10K	250 - 600	70 V/cm - 200 V/cm	200 - 2K
<b>Temperatura-koef. (%<math>\cdot</math>C<math>^{-1}</math>)</b>	-0,4 , -2	-0,15 , -1	-0,25 , -0,7	$\pm 0,1$	$\pm 0,005$	< 0,25	$\pm 0,01$
<b>Zarata-tentsioa (<math>\mu</math>V/V)</b>	< 20	< 3	< 0,2	Neurtezina	Neurtezina	Baztergarria	Baztergarria
<b>Erabilera</b>	Orokorra	Orokorra	Kalitate ona. Zarata txikia eta egonkorra.	Potentzia, doitasuna, tentsio handiak, HF	Doitasun handia, egonkorra eta zarata txikia. HF eta neurketa-zirkuituak	Potentzia handiak, gainkargak eta iragankor errepikakorrak.	Egonkortasun osoa, zaratarik eza. HF eta neurketa-zirkuituak.

2.4 Taula: erresistore-mota garrantzitsuenen arteko konparazio-taula. (\*) Taula honetan agertzen diren balioak hurbilketak dira, fabrikatzaile eta teknologia bakoitzaren berezitasunen menpe baitaude.

### 2.1.7 Kapsulak

Erresistorea bera fabrikatzeko erabili den teknologiaz (erabilitako material erresistiboaz) gain, erresistoreak kapsulatzeko zenbait teknologia daude. Beste edozein osagai elektronikotan bezala, kapsulak bi helburu nagusi ditu: euskarri mekanikoa izatea eta beroa xahutzea. Zirkuituen muntaketa fisikoa egiterakoan aukera bat baino gehiago daudenez, kapsulak ere baldintza horren arabera diseinatzen dira. Hala, kapsulak kontaktu-kabiladunak (THD edo *Through Hole Device*), lauak, txikiak eta hankarik gabekoak (SMD edo *Surface Mount Device*), tubularrak terminalik gabekoak (MEFL edo *Metal Electrode Leadless Face*), diskretuak edo banan-banan kapsulatzekoak edo erresistoreak saretan integratuak izateko egiten dira. Mugak ere badaude, noski, batez ere tamainaren aldetik. Pentsa potentzia ertainak zein handiak xahutzeko kapsulek handiak izan behar dutela eta tenperatura altuak jasateko gaitasuna duten materialez eginak. Irudi hauetan, zenbait eratako kapsulatuak dituzten erresistoreak erakusten dira.



**2.13 Irudia:** Erresistoreak kapsulatzeko hainbat aukera daude, ala nola THD zilindrikoak kabila ardatzkideekin (a), SMD kapsula errektangularrarekin (b) edo kapsula tubularrekin (c). *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

### **Fabrikatzaileak**

Merkatuan zer dagoen jakiteko, teknologia berriei buruz gehiago ezagutzeko, ezaugarri-orriak aurkitzeko, idazki teknikoak irakurtzeko, aplikazioen adibideak ikusteko eta abarrerako, fabrikatzaileen webguneetara jotzea da onena. Hona hemen webgune interesgarri batzuk:

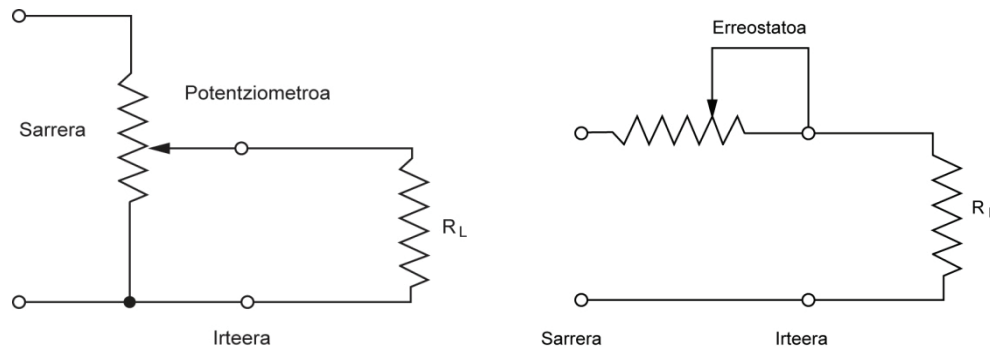
*International Resistive Company (IRC):* <http://www.irctt.com>  
*KRL Bantry Components, Inc:* <http://www.krlbantry.com>  
*Philips components:* <http://www.components.philips.com>  
*RCD Components, Inc:* <http://www.rcd-comp.com/rcd/resistors.htm>  
*Vishay:* <http://www.vishay.com/resistors-discrete/>  
*Ohmite:* <http://www.ohmite.com/>  
*Riedon:* <http://www.riedon.com/eu/eng/>  
*SRT Resistor Technology:* <http://www.srt-restech.de/>  
*Nicrom Electronic:* <http://www.nicrom-electronic.com/>  
*Precision Resistors Company, Inc.:* <http://www.precisionresistor.com/>

## 2.2 Erresistore aldagarriak

Erresistore finkoak ez bezala, badira balio ohmiko aldagarria duten erresistoreak. Horretarako, gailu mugikorrek gaineratzen zaizkie. Osagai horiei *erresistore aldagarri* deritzegu, eta bere balio ohmikoa balio minimotik (normalki zero) balio maximora arteko erresistentziarekin doitu

daiteke. Batzuetan, *erreostato* edo *potentziometro* ere deitzen zaie, baina, berez, bi termino horiek erresistore aldagarria konektatzeko modu bi izendatzeko erabili behar genituzke:

- *Erreostatoa*: Konexioa seriean egiten denean. Bi terminal soilik konektatzen dira. Konexio erreostatikoa ere baderitzo.
- *Potentziometroa*: Konexioa paraleloan egiten denean. Tentsio-zatitzailea da, eta hiru terminal konektatzen dira. Konexio potentziometrikoa ere baderitzo.



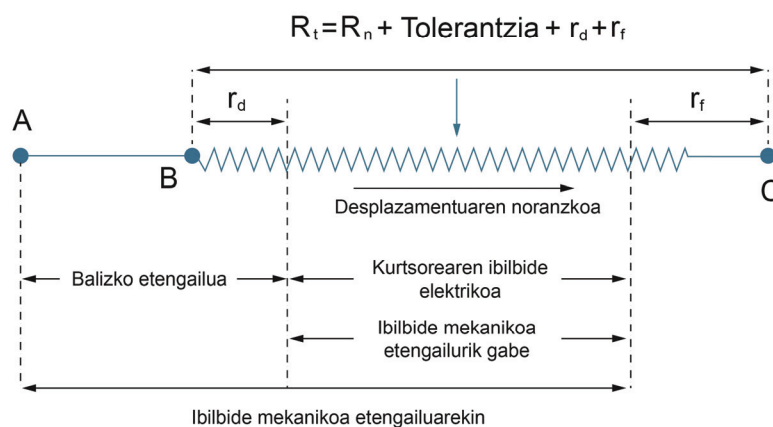
**2.14 Irudia:** Erresistore aldagarriak konektatzeko aukera biak: muntaia potentziometrikoa (ezkerrean) eta muntaia erreostatikoa (eskuman).

### 2.2.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

Erresistore aldagarriak modu egokian aukeratzeko ezagutu beharreko ezaugarri teknikoak eta erresistore finkoenak antzerakoak dira, oro har, noski. Horren ondorioz, atal honetan aztertuko ditugun ezaugarriak erresistore aldagarriei bereziki dagozkienak dira. Bestalde, elementu mekaniko mugikorra dutenez, erresistore aldagarrien kasuan, ezaugarri tekniko mekanikoak ere aztertu beharko ditugu sarritan.

#### *Erresistentzia izendatua: $R_n$*

Erresistentziaren balio teoriko osoa da, erresistorearen gorputzean hizki eta numeroekin adierazita dagoena. Erresistentzia doitzeko gailu mekanikoak daudenez (kurtsorea), osagai horien erresistentziaren balio osoak baditu berezitasun batzuk, beheko irudian erakusten denaren arabera.



**2.15 Irudia:** Erresistore aldagarri baten erresistentzia osoa haren erresistentzia izendatua, tolerantzia eta hondar-erresistentziak batuz lortuko dugu

*Ibilbide hasierako/amaierako hondar-erresistentzia ( $r_d/r_f$ ):* Kurtsore mekanikoaren ibilbidea ez da elementu erresistiboaren muturretaraino heltzen, eta, hasierako eta bukaerako muturretan, hondar-erresistentzia txiki bat geratzen da. Hondar-erresistentzia horrek erresistentzia osoaren ehuneko jakin baten balioaren azpitikoa izan behar du: % 5 ikatz geruzazkoetan eta % 3 harilkatuetan. Bestalde, 2.15 irudian ikus daitekeenez, kurtsorearen ibilbide mekanikoa eta ibilbide elektrikoa ez dira berdinak (elektrikoa mekanikoa baino txikiagoa izaten da).

*Erresistentzia osoa ( $R_t$ ):* Osagaiaren erresistentzia osoaren balioa ( $R_t$ ) hondar-erresistentziak ere barne hartuz kalkulatzen da:

$$R_t = R_n + \text{tolerantzia} + r_d + r_t \quad (2.11)$$

### **Kontaktu-erresistentzia**

Ardatza mugitzean kurtsorearen eta elementu erresistiboaren arteko kontaktuan agertzen den erresistentzia da.

### **Potentzia izendatua: $P_n$**

Lan-tenperatura izendaturako etenik gabe osagai osoan xahutu daitekeen potentzia, narriadurarik izan gabe. Erdibideko puntu batean ( $\beta$ ) xahutuko den potentzia:

$$P_\beta = I^2 \cdot R_\beta \quad (2.12)$$

### **Muturreko tentsio izendatua: $V_m$**

Erresistore aldagarrien kasuan, bi tentsio maximo desberdinu daitezke: *elementu erresistiboaren zeharreko tentsio maximoa* eta *ardatzaren (kurtsorea) eta elementu erresistiboaren arteko tentsio maximo*. Ohikoa da fabrikatzaileek ezaugarri-orrietan biak ematea.

### **Temperatura-koefizientea: $\alpha$**

Temperaturak eragindako erresistentziaren aldaketa adierazten du °C bakoitzeko. Normalean, milioikoetan adierazita dago:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{(T_2 - T_1) R_1} \times 10^6 \quad (2.13)$$

$R_1$  = erresistentzia erreferentziarako tenperaturarako ( $\Omega$ )

$R_2$  = erresistentzia neurketa-tenperaturarako

$T_1$  = erreferentziarako tenperatura (°C)

$T_2$  = neurketa-tenperatura (°C)

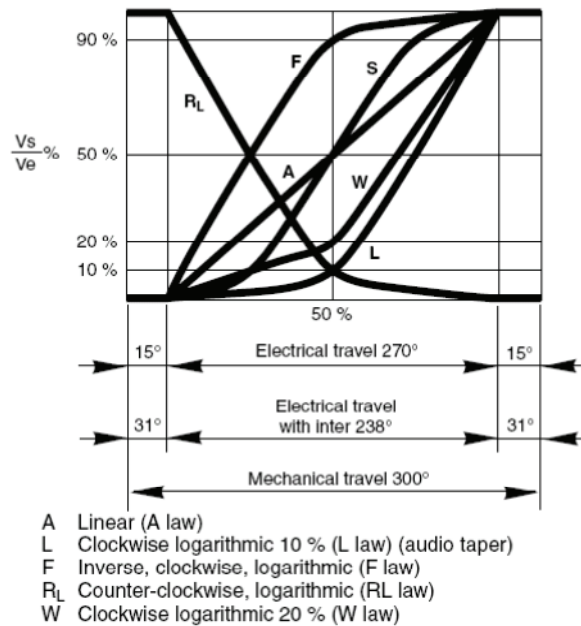
### **Kurtsorearen ibilbidea**

Beharrezko  $\beta$  angelua gradutan edo  $x$  desplazamendua milimetrotan (erresistore labainkorretan) da, kurtsorea mutur batetik bestera mugitzeko. Erresistore aldagarri biratzaileek, normalean, 270° erabilgarri dituzte bira, bakarrekoak badira. Doitasun eta/edo bereizmen handiagoa behar denean, bira anitzekoak erabil daitezke. Bestalde, errotazioaren noranzkoren arabera, eskuin-birakariak eta ezker-birakariak izan daitezke.

### Aldaketa-legea

Erresistentziaren balioaren aldaketa kurtsorearen desplazamenduarekin deskribatzen duen legeari deritzo aldaketa-legea. Aukeran dauden aldaketa-lege ohikoenak honako hauek dira:

- A Lineala:  $R = a \cdot \beta$
- L % 10 eskuin-birakari logaritmikoa (audiorako):  $R = a \cdot \log(\beta + 1)$
- F Eskuin-birakari logaritmiko alderantzikatua:  $(R + 1) = 10^{\beta/a} \rightarrow \beta = a \cdot \log(R + 1)$
- $R_L$  Ezker-birakari logaritmikoa
- W % 20 eskuin-birakari logaritmikoa



**2.16 Irudia:** Erresistore aldagarrien aldaketa-lege posible batzuk.  
 Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.

### Linealtasuna

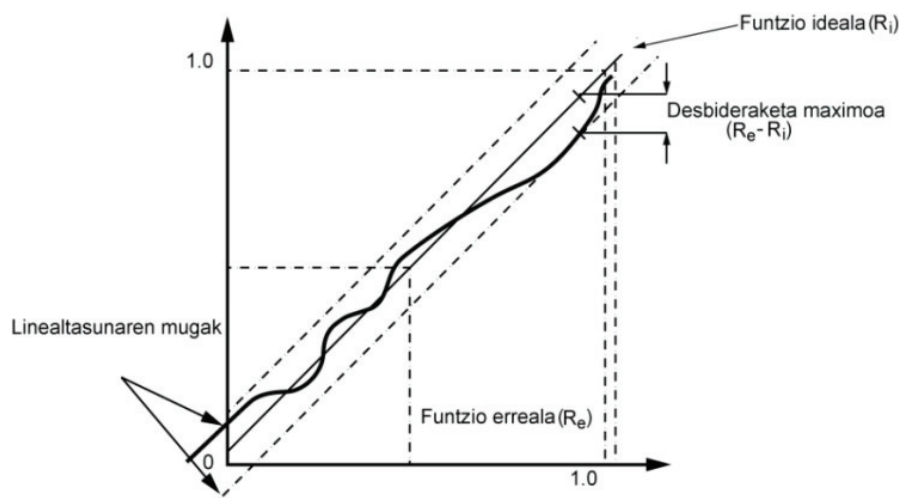
Erresistentziaren balio errealak aldakuntza-lege lineal teorikoarekiko ehunekotan duen desbideratze maximoa adierazten du.

$$linealt. = \frac{|R_e - R_i|}{R_t} \times 100 \quad (2.14)$$

Erreferentziatzko aldaketa-legea lineala ez denean, adostasun hitza erabiliko dugu linealtasun kontzeptuaren baliokide gisa, aldaketa-lege teorikoaren eta errealaren arteko adostasun maila adierazteko.

### Bereizmena

Kurtsorearen mugimenduaren ondorioz lor daitekeen erresistentziaren aldakuntza minimoa da. Bira anitzeko erresistore aldagarri harilkatueterako erabiltzen den kontzeptua da. Bereizmen teorikoa ibilbide elektrikoan dagoen harilaren begizta kopuruaren alderantzizkoa da, ehunekotan emanda ( $\times 100$ ).



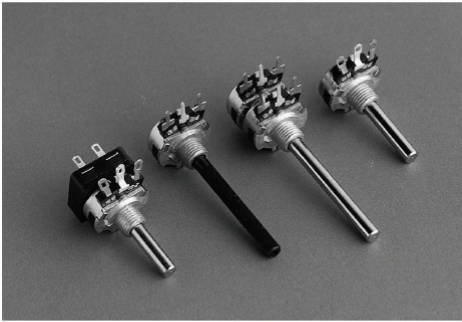
**2.17 Irudia:** Erresistore aldagarrien linealtasunak funtzio lineal idealarekiko dagoen desbideraketa maximoa adierazten du.

### Eragite-parea

Kontaktu higikorra (kurtsorea) mugitzen has dadin aplikatu behar zaion indarra (N.cm).

Beharago *Piher* etxeko erresistore aldagarri baten oinarrizko ezaugarri teknikoak irakur ditzakegu. Gorago esan dugun bezala, ezaugarri elektrikoez gain ezaugarri mekanikoak ere ematen dizkigute.

## PIHER



## T-16

16 mm Carbon Potentiometer

FEATURES

- Carbon resistive element.
- High mechanical endurance.
- Upon request:
  - Detents
  - Stereo matching
  - Switch
  - Nut & washer

MECHANICAL SPECIFICATIONS

- Mechanical rotation angle:  $300^\circ \pm 5^\circ$
- Electrical rotation angle:  $280^\circ \pm 20^\circ$
- Torque: 0.5 to 1.5 Ncm.  
(0.7 to 2.1 in-oz)
- Stop torque: > 40 Ncm. (> 56 in-oz)

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

- Range of values (\*)  
 $100\Omega \leq R_n \leq 5\text{ M}$  (Decad. 1.0 - 2.0 - 2.2 - 2.5 - 4.7 - 5.0)
- Tolerance (\*):  $100\Omega \leq R_n \leq 1\text{M}\Omega$  -----  $\pm 20\%$   
 $1\text{M}\Omega < R_n \leq 5\text{M}\Omega$  -----  $\pm 30\%$
- Max. Voltage: 250 VDC (lin) 125 VDC (no lin)
- Nominal Power  $50^\circ\text{C}$  ( $122^\circ\text{F}$ ) (see power rating curve)  
0.2 W (lin) 0.1 W (no lin)
- Taper (\*) (Log. & Alog. only  $R_n > 1\text{K}$ ) Lin ; Log; Alog.
- Residual resistance(\*):  $\leq 0.5\% R_n$  (5  $\Omega$  min.)
- Equivalent Noise Resistance:  $\leq 3\% R_n$  (3  $\Omega$  min.)
- Operating temperature\*\*:  $-25^\circ\text{C} + 70^\circ\text{C}$  ( $-13^\circ\text{F} + 158^\circ\text{F}$ )

\* Others upon request                      \*\* Up to  $85^\circ\text{C}$  depending on application

**2.2 Orria:** Paneleko erresistore aldagarri-familia baten ezaugarri-orrien xehetasuna. *PIHER Int. Corp.*

Erresistore finkoen antzera, erresistore aldagarrien sailkapena erabilitako fabrikazio teknologiaren arabera egin daiteke:

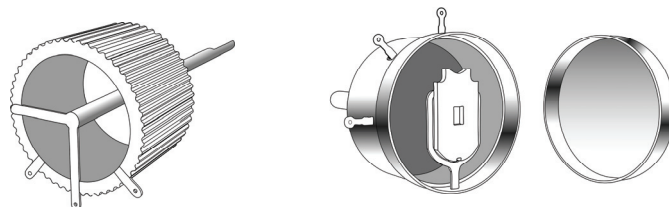
- Erresistore aldagarri harilkatuak
  - Potentzia txikikoak
  - Potentzia handikoak
  - Doitasunezkoak
- Erresistore aldagarri ez-harilkatuak (ikatz-geruzak, geruza metalikoak eta plastiko eroaleak)

## 2.2.2 Erresistore aldagarri harilkatuak

Elementu erresistiboa euskarriaren inguruan harilkatutako metal edo aleaziozko haria da. Potentziazkoak, potentzia txikikoak eta doitasunezkoak badaude. Noski, kapsularen edo estalkiaren arabera ere sailkatu daitezke: THD, SMD, mikrokapulatuak, etab.

### 2.2.2.1 Potentzia txikiko erresistore aldagarri harilkatuak

Eraztun isolatzailearen inguruan, aleaziozko haria harilkatu egiten da. Erresistentzia txikiarako, Ni-Cu aleazioak erabiltzen dira (200µm-80µm diametroa), eta erresistentzia handiagoak lortzeko, Ni-Cr aleazioak (100µm diametroa). Kurtsorea mugitzeko, 6 mm-ko, 4 mm-ko edo 3 mm-ko altzairuzko ardatza izaten dute.



**2.18 irudia:** Erresistore aldagarri harilkatuaren egitura: euskarria eta haren inguruan harilkatutako aleaziozko haria (ezkerrean) eta multzoa gordetzeko kapsula eta estalkia (eskuman).

Potentzia izendatu handienak 8W ingurukoak izaten dira. Tolerantziak  $\pm\%10$  eta  $\pm\%5$  izaten dira, eta aintzat ez hartzeko moduko zarata-tentsioa dute.

### 2.2.2.2 Potentzia-erresistore aldagarri harilkatuak

Potentzia handiagoak xahutu behar direnean, osagaiaren elementuak fabrikatzeko erabiltzen diren material guztiek tenperatura altuak jasateko gai izan behar dute, eta kontaktuen sekzioek ere korrantearekiko proportzionaltasun egokia izan behar dute. Erresistore harildu beiratuaren antzera, haria Ni-Cr aleaziozkoa da, eta euskarria, zeramikoa (ez bakelitazkoa).

Tolerantziak  $\pm\%10$  eta  $\pm\%5$  izaten dira osagai horietan ere, baina potentzia izendatuak 1KW-ekoak izatera heldu daitezke. Muturreko tentsioak ere handiagoak dira, potentziaren arabera.



**2.19 irudia:** Potentzia-erresistore aldagarri harilkatua (100W / 850V). *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

### 2.2.2.3 Doitasunezko erresistore aldagarri harilkatuak

Doitasunezko erresistore aldagarrien modelo anitz aurkitu daitezke:

- Bira anitzeko potentziometro helikoidalak.
- Bira bakarrekoak.
- Aldaketa-lege bereziak dituzten etengabeko errotaziodunak.
- Potentziometro labainkorrak.

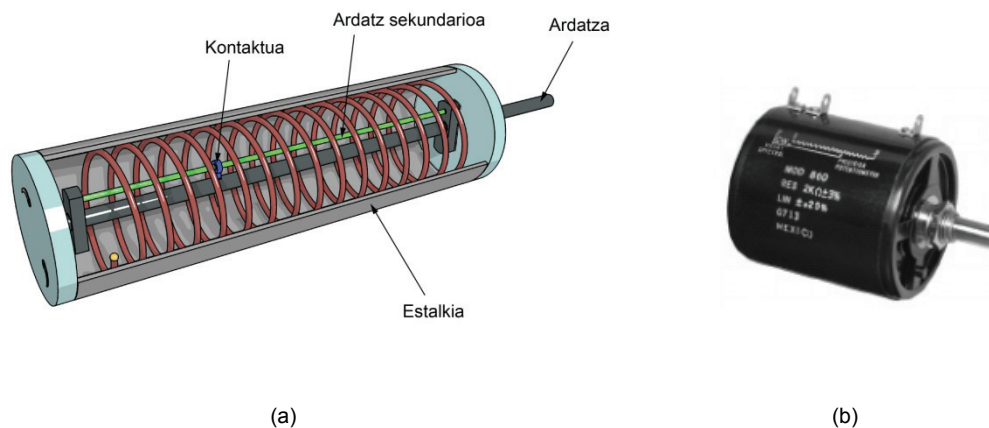
Doitasunezko modelo horien guztien helburua osagaiaren terminal arteko balio ohmikoa doitasunez aukeratu ahal izatea da, eta aldaketa-legeak ahalik eta linealtasun (edo adostasun) handiena izatea ere. Doitasunezko neurketa-tresnetan eta serbomekanismoetan, askotan erabiltzen dira. Bereizmen handia behar denean, bira anitzeko modeloak erabili behar dira. Ikus dezagun azken osagai hori xehetasun handiagoarekin.

#### **Potentziometro helikoidalak:**

Bira anitzeko potentziometro helikoidaletan balio ohmiko maximoa lortzeko, bira anitz eragin behar zaizkio doitzeko torlojuari (hogei bira baino gehiago izan daitezke). Honelako osagaien bereizmena barneko helizearen begizta kopuruarekiko alderantziz proportzionala da:

$$\text{bereizmena} / \text{bira} = \frac{R}{\text{bira} - \text{kopurua}} \quad (2.15)$$

Balio ohmiko txikietarako, erresistibitate txikiko metalak erabiltzen dira (Au, Pt, Ag) harilketa helikoidalerako, eta, balio ohmiko handiagoetarako, erresistibitate handiagoko aleazioak erabiltzen dira (Ni-Cu, Ni-Cr). Helize hori euskarri babeslearen barnean jartzen da, erdiko ardatz birakaria inguratuz, baina kurtso mugikorra ardatz sekundario paralelo bati finkatu egiten da (ikus beheko irudia).



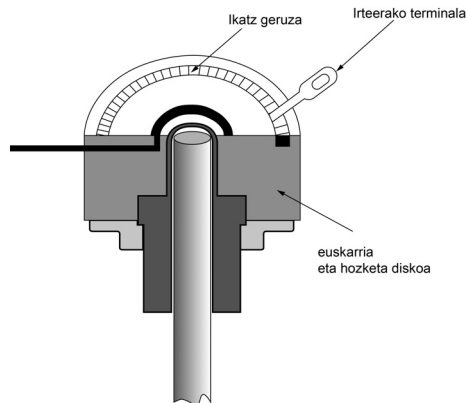
**2.20 Irudia:** Bira anitzeko doitasunezko erresistore helikoidalaren barne egituraren irudia (a) eta hodi-zorroz kapsulatutako erresistorearen (10 bira) argazkia (b). *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Horrelako osagaien tolerantziak, gorago esan dugun bezala, txikiak dira,  $\pm 5\%$  eta  $\pm 1\%$  artekoak normalean, eta oso linealtasun onak ematen dira:  $\pm 1\%$  baino txikiagoa gehienetan, eta  $\pm 0.25\%$  eta azpitikoak modelo askotan. Potentzia izendatuak txiki xamarrak izaten dira (Watt gutxi batzuk).



### 2.2.3 Ikatz-geruzazko erresistore aldagarriak

Osagai horietan, material erresistiboa ikatz koloidalazko geruza da. Ikatz koloidalaren erresistibitatea  $\rho \in [4000\mu\Omega/\text{cm}, 6000\mu\Omega/\text{cm}]$  tartean dago, eta tenperatura-koefiziente txikia eta negatiboa du. Material horrekin egindako geruza estu bat euskarriaren gainean ezartzen da. Kurtsoreak pista horren gainazala ukitzen du, eta alde batetik bestera mugitu daiteke.



(a)



(b)

**2.21 Irudia:** Ikatz-geruzazko erresistore aldagarriaren barne-egitura (a), eta unitate komertzial batzuren argazkia (b). PHIER Int. Corp.

Ikatz koloidalarekin, nahiko balio ohmiko handiak lor daitezke (M $\Omega$ ). Osagai horien tolerantziak arruntak dira ( $\pm\%10$ ,  $\pm\%20$ ,  $\pm\%30$ ), eta potentzia txikietarako erabiltzen dira. Muturreko tentsio izendatuak, ordea, handi xamarrek izan daitezke.

Maiz erabiltzen dira tentsio-zatitzailetan (linealak), audiomaiztasuneko anplifikagailuetan (logaritmikoak), etab.

### 2.2.4 Geruza metalikozko erresistore aldagarriak

Horrelakoetan, material erresistiboa oxido metalikoa izaten da; normalki, eztainu-oxidoa edo antimonio-oxidoa. Material horrekin, pista estu bat ezartzen da beirazko euskarri baten gainean, ikatz-geruzazkoetan egiten den antzera. Kurtsoreak Cu+Ag+Au edo Pt+In aleaziozkoak izaten dira.

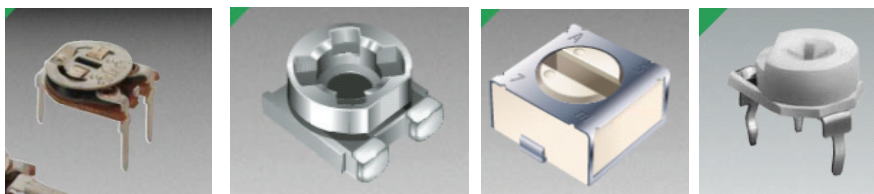
Osagai horien tolerantziak, ikatz-geruzazkoetan ez bezala, txikiak dira ( $\pm\%5$ ,  $\pm\%2$ ,  $\pm\%1$ ); bereizmen hobea dute, eta potentzia txikietarako fabrikatzen dira. Kapsulak ere txikiagoak izaten dira. Badira, metalez egindako erresistoreen artean, espezifikazio zorrotzak betetzeko fabrikatzen direnak ere. *Bulk metal foil* deritzon teknologiaz fabrikatutakoak dira, hain zuzen ere.

### 2.2.5 Plastikozko erresistore aldagarriak

Azken urteotan, fabrikatzaileak sarriago erabiltzen hasiak dira material plastikoa eroaleak osagai erresistiboak egiteko. Plastikozko erresistore aldagarri arruntak zein doitasunezkoak fabrikatzen dira, geometria eta kapsula-mota anitzekin. Bereizmen ia infinitua lortu ahal izatea da doitasunezko osagaiak egiteko abantailatariko bat, eta linealtasun oso onak lor daitezke. Tenperatura-koefizienteak ere txikiak dira. Tolerantziak, ordea, ez dira bikainenetarikoak, eta  $\pm\%10$ ,  $\pm\%5$  balio-tartean izaten dira. Plastikozko elementu erresistiboaren iraunkortasuna eta gogortasuna da beste abantaila bat.

## 2.2.6 Erresistore Doigarriak

Erresistore aldagarriak zirkuitu edo sistema elektroniko batean jartzen direnean, edozein unetan, sistemaren parametroren bat aldatzeko aukera ematen digute: amplifikagailu baten irabazia, iragazki baten banda-zabalera etab. Horretarako, kurtsorea mugitzen duen ardatza gure eskura jartzen da, erraztasunez mugitu ahal izateko. Bada erresistore aldagarri-mota berezi bat potentzia txikiko zirkuituetan balio ohmiko txikiak doitzeko erabiltzen dena. Horrelakoei *erresistore doigarriak* deritzegu, ingelesez *trimmer*. Osagai horiek txikiagoak izaten dira, THD edo SMD, bira bakarrekoak zein bira anitzekoak, eta ez daude pentsatuta balio ohmikoa sarritan aldatua izan dadin, baizik eta zirkuituetako erresistentzien balioak behin doitu eta denbora luzez finko mantentzeko, adibidez transistoreen polarizazio-tentsioak doitzeko, neurketa-tresnen zeroa doitzeko, osziladore finko baten maiztasuna doitzeko etab. Ez dute ardatzik, eta doiketa torloju-buru txiki bati eraginez egiten da normalki. Hor ere, material eta teknologia desberdinak aurkituko ditugu.



2.22 Irudia: Erresistore doigarriak (BOURNS Inc.)

### Harilkatuak

Potentzia ertaina (1W), temperatura-koefiziente txikia eta/edo egonkortasun handia behar direnean aukeratuko ditugu. Erresistore aldagarri harilkatuetan erabilitako material berdintsuak erabiltzen dira, baina, sarritan, metal preziatuak erabiltzen dira kurtsorea egiteko.

### Ikatz-pista

Arruntagoak dira. Potentzia txikiagoetarako (<0,5W) erabiliak. Harilkatuetan baino balio ohmiko handiagoak aurkitu ditzakegu.

### Bulk-metal

Metalezko xaflez egindako doitasun handiko erresistore doigarriak ere fabrikatzen dira.

### Cermet

*Cermet* teknologian erabiltzen den materiala material preziatuez egindako aglomeratuak dira, beirazko konposatuekin nahastatuta. Horrela fabrikatutako erresistore doigarrien fidagarritasuna, linealtasuna eta bereizmena bikainak dira.

### Fabrikatzaileak

Hona hemen webgune interesgarri batzuk:

*Piher International Corporation*: <http://www.piher-international.de>

*Vishay*: <http://www.vishay.com/resistors-variable>

*State electronics*: <http://www.potentiometers.com/>

*CTS*: <http://www.ctscorp.com/components/potentiometers.htm>

## 2.3 NTC erresistoreak

NTC, *Negative Temperature Coefficient* (tenperatura-koefiziente negatiboa) ingelesezko hitzen akronimoa da. Osagai hori erresistore *ez-linealen* multzokoa da, hau da, Ohm-en legea betetzen ez dutenen multzokoa. Portaera ez-lineal horren arrazoia bere tenperatura-koefizientearen balio nabarmena da. NTCak, berotzen denean, nabarmenki txikitzen du bere erresistentziaren balioa. Berotzea kanpotiko tenperatura-aldaketek eragin dezakete, eta, horrelako kasuetan, tenperatura-sentsore moduan edo inguruneko tenperaturaren aldaketen aurrean zirkuitu elektronikoen portaera aldatzeko erabil daiteke. Baina korrante elektrikoaren iragateak berak ere berotu dezake osagaia, eta, horren ondorioz, nahiz eta inguruneko tenperatura konstantea izan, portaera ez-lineala izango du. Azken efektu hori aplikazio batzuetarako ere aprobeitza daiteke, aurrerago ikusiko dugun bezala. Erresistore horiei (eta geroago aztertuko ditugun tenperatura-koefiziente positibodunei) *termistore* deritze; ingeleseko *thermal resistor* hitzetatik eratorria da izen hori.

NTCak fabrikatzeko oinarrizko materialak oxido erdieroalek dira: oxido ferroso ferrikoa zink piro-titanatoarekin nahasita disoluzio solidoetan ( $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Zn}_2\text{TiO}_4$ ), oxido ferrikoa eta titanio oxidoa ( $\text{FeO}_3 + \text{TiO}_2$ ) edo nikel oxidoa edo kobalto oxidoa litio oxidoarekin ( $\text{NiO}_2/\text{CoO} + \text{Li}_2\text{O}$ ). Modu horretan lor daitezkeen tenperatura-koefizienteak nahiko handiak dira, %  $-3\text{C}^{-1}$  eta %  $-9\text{C}^{-1}$  tartekoak.

### 2.3.1 Ezaugarri Tekniko Orokorrak

#### *Erresistentzia/tenperatura kurba bereizgarria*

Erresistentziaren balioa tenperaturaren mendekoa da, hau da,  $R = f(T)$ . NTCen portaera deskribatzeko erabiltzen den eredu matematikoa funtzio esponentzial arrunta da:

$$R = Ae^{B/T} \quad (2.16)$$

non  $A = R_{(T \rightarrow \infty)}$ ,  $B$  konstanteak baitira.  $A$  eta  $B$  konstanteen balioa esperimentalki lortzea erraza da. NTCaren erresistentziaren balioa  $T_1$  eta  $T_2$  bi tenperatura desberdinetarako neurtu eta gero:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= Ae^{B/T_1} \\ R_2 &= Ae^{B/T_2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \ln R_1 - \ln R_2 = \frac{B}{T_1} - \frac{B}{T_2} \Rightarrow B = \frac{\ln R_1 - \ln R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (2.17)$$

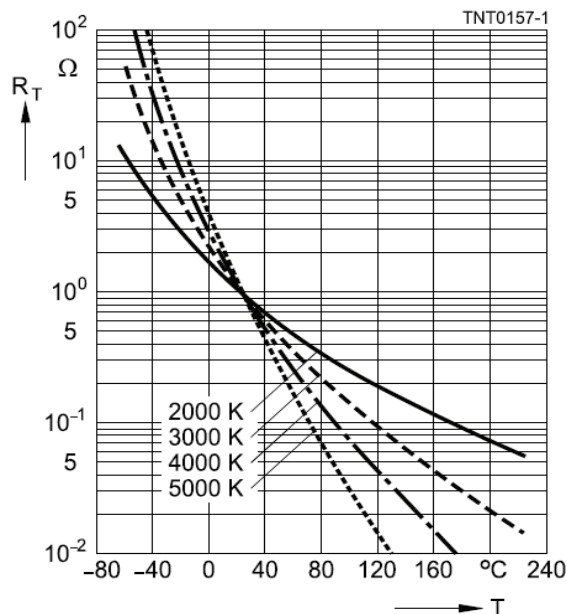
$$A = \frac{R_1}{e^{B/T_1}}$$

$R_1$  osagaiaren erresistentzia izendatua izan daiteke,  $T_1=25^\circ\text{C}$ -rako ematen dena, eta normalki osagaiaren gorputzean adierazita dagoena. Horren ondorioz, neurketa esperimental bakarrarekin, nahikoa litzateke konstanteen balioak lortzeko.  $B$  konstantearen balioa erabilitako materialaren propietateek definitzen dute. Kelvin gradutan adierazten da, eta  $1000^\circ\text{K}$ - $8000^\circ\text{K}$  tartean izaten da.

#### *Erresistentzia izendatua: $R_{25}$*

Erresistentziaren balio teorikoa da,  $25^\circ\text{C}$  tenperaturarako. Osagaiaren gorputzean markatuta ager daiteke. Identifikazio-kodea desberdina izan daiteke, fabrikatzailearen eta modeloaren arabera. Kolorezko eraztunen bidez adierazita badago, erresistoretarako erabiltzen den kode

beraz itzuliko dugu (normalean disko itxurako NTCetan). Eratzunak konexio-hankatxoetatik gertuen dagoenetik hasita kontaktuko ditugu.



**2.24 Irudia:** NTCaren kurba bereizgarriak  $B$  konstantearen balio desberdinetarako. Kurbaren itxura (2.16) adierazpenaren bidez deskribatu daiteke. *Information courtesy of EPCOS AG.*

### Tolerantzia

Tolerantzia arruntak  $\pm\%20$ ,  $\pm\%10$  dira. Badira, ordea,  $\pm\%5$ ,  $\pm\%3$ , eta  $\pm\%2$  tolerantzia txikiakin fabrikatzen direnak.  $B$  konstantearen balioak ere tolerantzia du, baina  $\pm\%5$  baino txikiagoa beti. Horren ondorioz, erresistentziaren tolerantzia osoa kalkulatzeko, beheko adierazpena erabil dezakegu:

$$\Delta R_T = \left| \frac{\partial R(T)}{\partial R_R} \right| \cdot \Delta R_R + \left| \frac{\partial R(T)}{\partial B} \right| \cdot \Delta B + \left| \frac{\partial R(T)}{\partial T} \right| \cdot \Delta T \quad (2.18)$$

(2.18) adierazpeneko hirugarren batugaiak NTCen tenperatura-koefizientea guztiz konstantea ez izatearen efektua adierazten digu. Azken batugai hori ez dugu aintzat hartuko normalean, eta honako adierazpen hau erabiliko dugu:

$$\left| \frac{\Delta R_T}{R_T} \right| = \left| \frac{\Delta R_R}{R_R} \right| + \left| \frac{\Delta R_B}{R_T} \right| \quad (2.19)$$

(2.19) adierazpeneko lehenengo batugaiak fabrikazio-tolerantzia adierazten du, eta bigarrenak,  $B$  konstantearen tolerantziaren eragina.

### Tentsioa/korrontea erlazioa

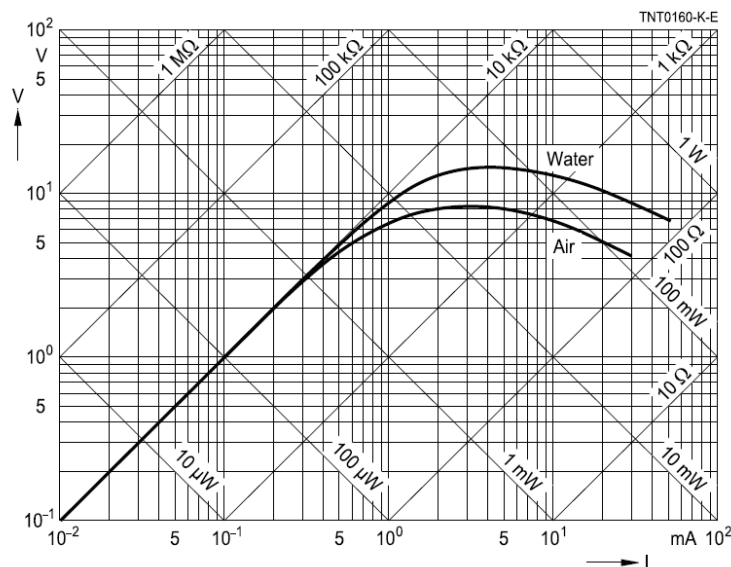
Esan bezala, NTCak erresistore ez-linealak dira, tenperatura-koefiziente handiaren ondorioz erresistentziaren balioa ez delako konstante mantentzen. Korronte txikietarako, badago lan-tarte bat non  $V/I$  erlazioa konstante mantentzen baita, korrontearen intentsitatea ez delako

nahikoa osagaia berotzeko (inguruneko tenperatura konstante mantentzen bada, noski). Baina, osagaia berotzen hasi eta gero, erlazioa hori ez-lineal bilakatzen da.

Potentzia elektriko konstantea aplikatuz, hasieran, termistorea nahiko azkar berotzen hasiko da, baina, denborarekin, egonkortasun termikora helduko da. Grafiko batean korrontearen balio bakoitzerako tenperatura konstanterako egindako tentsioaren neurketak adierazten baditugu, 2.25 irudian ikus daitekeen kurba bereizgarria lortzen da.

Kurba bereizgarri horretan, hiru eremu desberdinduak ditugu:

1. Hasierako eremu lineala, non xahututako potentzia ez baita nahikoa termistorea berotzeko. Erresistentziaren balioa, beraz, inguruneko tenperaturaren mendekoa da, eta, horren ondorioz, hori da termistorea tenperatura-sentsore gisa erabiltzeko eremu egokia.
2. Hazkuntza ez-linealeko eremua tentsio maximoko puntura iritsi arte. Puntu horretan, berezko beroketaren ondorioz gertatzen den erresistentziaren txikitze erlatiboa  $\Delta R / R$  eta korrontearen hazkuntza erlatiboa  $\Delta I / I$  berdindu egiten dira ( $R$  konstantea da).
3. Malda negatiboko eremua non erresistentziaren txikitzea korrontearen handitzea baino azkarragoa baita. Termistorearen berezko beroketaren probetxua hartzen duten aplikazioetarako lan-eremua da hori (korrante mugatzaileak, tentsio-egonkortzea, etab.).



**2.25 Irudia:** NTCaren tentsioa eta korrontearen arteko erlazio ez-lineala erakusten duen grafikoa. Ohm-en legea lehenengo eremuan (eremu linealean) soilik betetzen da. *Information courtesy of EPCOS AG.*

### **Temperatura-koefizientea: $\alpha$**

Temperatura-koefizientea, esan bezala, nabarmena eta negatiboa da NTC erresistoreetan.

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \quad (2.20)$$

(2.16) adierazpenak deskribatzen duen eredia ontzat hartzen badugu:

$$\alpha = -\frac{1}{R} \cdot A e^{B/T} \cdot \frac{B}{T^2} \quad (2.21)$$

Beraz,  $B$  konstantearen balioa ezagututa, temperatura-koefizientearen balioa ere ezagutuko dugu.

### **Potentzia maximoa: $P$**

Giro-tenperatura jakinerako NTCak xahutu dezakeen potentzia maximoa da, temperatura maximoa gainditu gabe. Giro-tenperaturaz gain, batez ere, osagaiaren *xahutze-faktoreak* zehazten du potentzia maximoa.

### **Xahutze faktorea: $\delta$**

Ingurumena bare izanik termistorearen gorputzeko temperatura  $1\text{ }^\circ\text{C}$  igotzeko xahutu beharreko potentzia adierazten du. Unitateak  $\text{mW/K}$  edo  $\text{mW}/^\circ\text{C}$  dira. Zenbat eta  $\delta$  handiagoa, orduan eta bero handiagoa xahutuko du osagaiak.

$$\delta = \frac{dP}{dT} \quad (2.21)$$

Beraz,

$$P = V.I = \delta(T - T_{amb}) \quad (2.21)$$

non  $T$  eta  $T_{amb}$  termistorearen gorputzeko temperatura eta inguruneko temperatura baitira, hurrenez hurren.

### **Bero-kapazitatea: $C$**

NTCaren batez besteko temperatura gradu bat igotzeko beharrezko beroaren neurria da. Unitateak  $\text{mJ/K}$  edo  $\text{mJ}/^\circ\text{C}$  dira.

$$C = \frac{\Delta H}{\Delta T} \quad (2.21)$$

Bero-kapazitatea, xahutze-faktorea eta *denbora konstantea* erlazionatzen dituen adierazpena honako hau da:

$$C = \delta.\tau \quad (2.21)$$

### **Denbora konstante termikoa: $\tau$**

Potentziarik xahutu gabe termistoreak bere gorputzeko temperatura haren tenperaturaren eta inguruneko tenperaturaren arteko diferentziaren balioa  $(T - T_{amb})$  %63,2an txikitzeko behar duen denbora da. Osagaiaren diseinuak eragin handia du parametro horretan.

### **Tentsio maximoko temperatura**

V/I kurba ezaugarriaren maximoari dagokion tenperaturaren balioa da. (2.16) ereduaren erabiltzen badugu, erraz kalkulatu da balio hori:

$$\left. \begin{aligned} \frac{V}{I} &= A e^{B/T} \rightarrow \ln V - \ln I = \ln A + \frac{B}{T} \\ P = V.I = \delta(T - T_{amb}) &\rightarrow \ln V + \ln I = \ln \delta + \ln(T - T_{amb}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln V = \frac{1}{2}(\delta \cdot \ln A + \ln(T - T_{amb})) + \frac{B}{T}$$

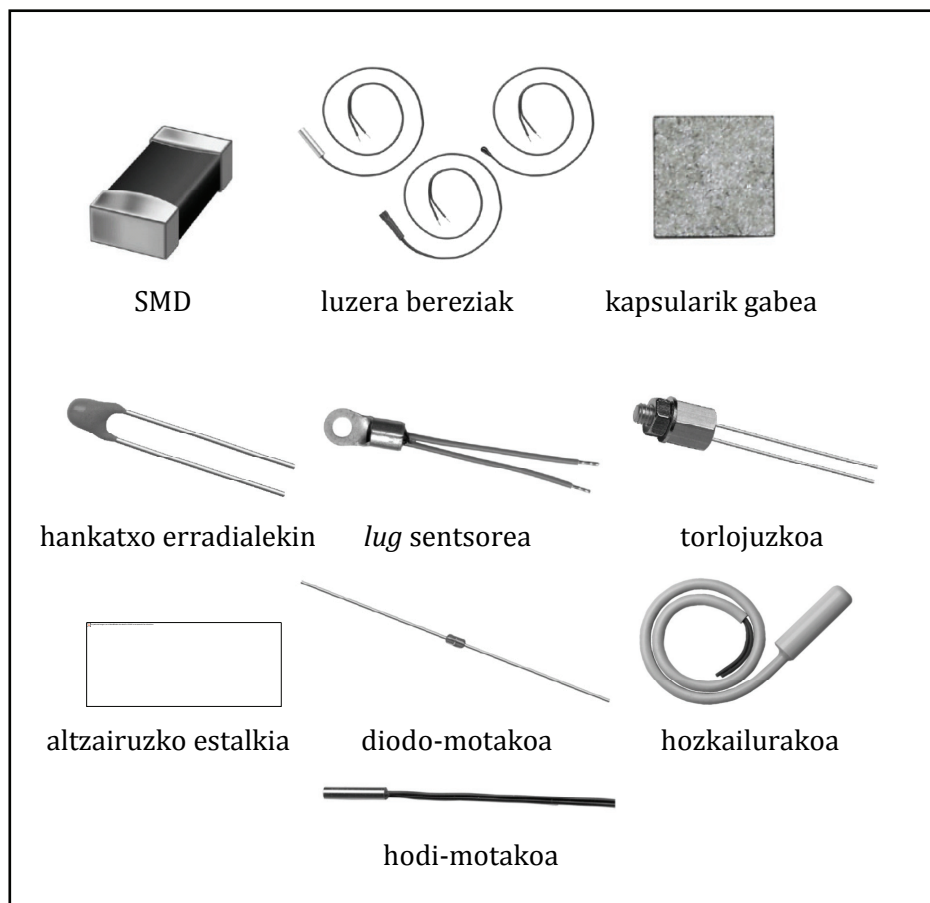
$$\max : \frac{d(\ln V)}{dT} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{T - T_{amb}} - \frac{B}{T^2} \right) = 0 \rightarrow T = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4BT_{amb}}}{2} \quad (2.22)$$

Baiezatu lortutako puntua kurbaren maximoa dela:

$$\frac{d^2(\ln V)}{dT^2} = \dots$$

### Formak eta kapsulak

Forma askotako NTCak fabrikatzen dira. Temperatura sentore gisa erabiltzeko diseinatzeko direnean batez ere, fabrikatzaileek kontuan izan behar dute toki zehatzetan eta baldintza desberdinetan muntatzeko erabiliko direla: fotokopiagailu batean, gas-kamera batean, labe batean, hozkailu batean, ibilgailu batean, gela arrunt batean... Horregatik, forma eta kapsula desberdin asko aurkituko ditugu. Honako irudi honetan, adibide batzuk ikus daitezke:



**2.26 Irudia:** NTCak forma eta kapsula desberdinekin. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Beraz, zein dira aztertu beharreko ezaugarriak NTC bat aukeratzeko? Beti bezala, aplikazio bakoitzak bere berezitasunak izan ditzake, baina, normalean, honako zerrenda honetan ematen direnak dira:

1. Forma/kapsula/geometria.
2. Erresistentzia izendatua eta tolerantzia.
3. Tenperatura-koefizientea (edo  $B$ -ren balioa) eta tenperatura-tartea.
4. Potentzia eta xahutze-faktorea.
5. Denbora konstantea.

Horren erakusgarri, adibide gisa, beherago (2.3 orria) Vishay etxeko NTC baten ezaugarri orriari agertzen den ezaugarri teknikoaren taula (*Quick Reference Data*). Ohartu zein ezaugarri tekniko azpimarratzen diren.



**2381 640 3/4/6.../NTCLE100E3...B0/T1/T2**

Vishay BCcomponents

### NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision



**FEATURES**

- Accuracy over a wide temperature range
- High stability over a long life
- Excellent price/performance ratio
- UL recognized, file E148885
- Old part number was 2322 640 3/4/6....
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

QUICK REFERENCE DATA	
PARAMETER	VALUE
Resistance value at 25 °C	3.3 Ω to 470 kΩ
Tolerance on $R_{25}$ - value	± 2 %; ± 3 %; ± 5 %
$B_{25/85}$ - value	2880 K to 4570 K
Tolerance on $B_{25/85}$ - value	± 0.5 % to ± 3 %
Maximum dissipation	500 mW
Dissipation factor $\delta$ (for information only)	7 mW/K 8.5 mW/K (for $R_{25}$ value ≤ 680 Ω)
Response time	1.2 s
Thermal time constant $\tau$ (for information only)	15 s
Operating temperature range: at zero dissipation; continuously at zero dissipation; for short periods at maximum dissipation	- 40 °C to + 125 °C  ≤ 150 °C 0 °C to 55 °C
Climatic category acc. IEC 60068-1	40/125/56
Weight	≈ 0.3 g

**APPLICATIONS**

- Temperature sensing and control, temperature compensation

These thermistors have a negative temperature coefficient. The device consists of a chip with two solid copper tin plated leads. It is grey lacquered and color coded, but not insulated.

**PACKAGING**

The thermistors are packed in bulk or tape on reel; see code numbers and relevant packaging quantities.

**DESIGN-IN SUPPORT**

For complete Curve Computation, visit:  
<http://www.vishay.com/thermistors/curve-computation-list/>

**MARKING**

The thermistors are marked with colored bands; see dimensions drawing and "Electrical data and ordering information".

**MOUNTING**

By soldering in any position.

ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION								
$R_{25}$ [Ω]	$B_{25/85}$ - VALUE		UL APPROVED [Y/N]	12NC ORDERING CODE 2381 640 6.... <sup>(1)</sup>	SAP MATERIAL NO. NTCLE100E3..... <sup>(2)</sup>	COLOR CODE <sup>(3)</sup>		
	[K]	[± %]				I	II	III
3.3	2880	3	N	*338	338*B0	orange	orange	gold
4.7	2880	3	N	*478	478*B0	yellow	violet	gold
6.8	2880	3	N	*688	688*B0	blue	grey	gold
10	2990	3	N	*109	109*B0	brown	black	black
15	3041	3	N	*159	159*B0	brown	green	black
22	3136	3	N	*229	229*B0	red	red	black
33	3390	3	Y	*339	339*B0	orange	orange	black
47	3390	3	Y	*479	479*B0	yellow	violet	black
68	3390	3	Y	*689	689*B0	blue	grey	black
100	3560	1.5	N	*101	101*B0	brown	black	brown
150	3560	1.5	N	*151	151*B0	brown	green	brown
220	3560	1.5	N	*221	221*B0	red	red	brown
330	3560	1.5	N	*331	331*B0	orange	orange	brown
470	3560	1.5	N	*471	471*B0	yellow	violet	brown
680	3560	1.5	N	*681	681*B0	blue	grey	brown

Document Number: 29049  
Revision: 16-Sep-08

For technical questions, contact: [nlr@vishay.com](mailto:nlr@vishay.com)

[www.vishay.com](http://www.vishay.com)

**2.3 Orria:** NTC arrunt baten ezaugarri orritik ateratako informazioa. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*



## 2.3.2 Aplikazioak

NTC termistoreak arlo anitzetan erabiltzen dira: kontsumorako elektronikan, aplikazio industrialetan, medikuntza-tresnetan, instrumentazioan, ibilgailuetan, etab. Baina, laburbiltzeko, aplikazio horietan guztietan NTCak betetzen duen funtzioa lau taldetan sailkatu daitezke:

**1. Taldea:** Aplikatutako korrante elektrikoa termistorearen tenperatura igotzeko adinakoa ez denean (eremu lineala), inguruneko tenperaturaren aldakuntzak sumatzeko erabiltzen da: tenperatura-neurketak, tenperaturaren araberako konpentsazioak, erregulazioa, etab. NTC termistoreek badituzte abantaila batzuk tenperatura neurtzeko beste osagai batzuen aldean:

- Sentikortasun handia.
- Prezio txikia.
- Seinalea/zarata-ratio handia.
- Fidagarritasun eta iraupen handiak.

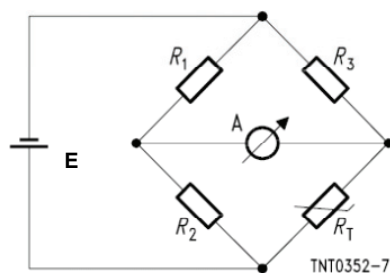
Antzina, zirkuitu analogikoetan erabiltzean, haren  $R(T)$  erlazioaren ez-linealtasuna zen arazo larriena. Gaur egun, kontrol digitalak erabiliz, ez-linealtasun hori erraz zuzendu daiteke.

**2. Taldea:** Xahutze-faktorearen eraginaren probetxua. Termistoreak ingurunera transmititzen duen bero kantitatea inguruneko propietate fisikoek baldintzatzen dute (likidoak, airea, gasak), eta, horren ondorioz, termistorearen tenperatura ere aldatu egingo da: adibidez, likidoen mailaren sentsore moduan erabiltzeko edo gasen fluxua kontrolatzeko.

**3. Taldea:** Termistorearen inertzia termikoaren probetxua: erreleen eragite atzeratua, gaintentsioen murrizketa, etab.

**4. Taldea:** Aplikatutako korrante elektrikoa termistorearen tenperatura handitzeko adinakoa denean (berezko beroketa): tentsio egonkortzea, osagai elektronikoen babesa, etab.

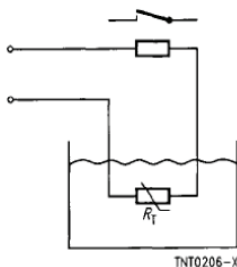
Honako zirkuitu simple hauetan argi ikus daiteke NTCa nola erabili helburu desberdinetarako. Talde bakoitzeko adibide bana duzu. Merezi du zirkuitu bakoitzaren analisi elektrikoa egiteak:



1. Taldea. Tenperaturaren neurketa. Anperimetroak neurtuko duen korrantea tenperaturaren mendekoa da:

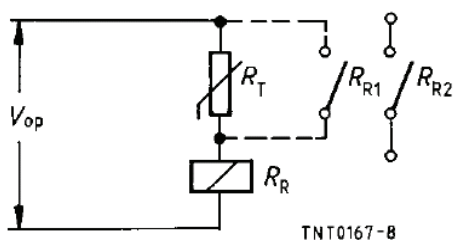
$$I = f(T) =$$

**2.27 Irudia:** Tenperatura-neurgailua Wheatstone-zubia erabiltuta. *Information courtesy of EPCOS AG.*



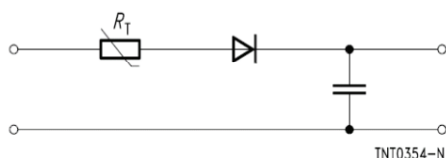
2. Taldea. Ibilgailu baten gasolina bukatzen ari da... Zergatik piztuko da instrumentu-taulako argia?

**2.28 Irudia:** Likidoen mailaren informazioa izateko muntaia. Maila NTCaren azpitikoa denean, errelea aktibatko da *Information courtesy of EPCOS AG.*



3. Taldea.  $V_{op}$  tentsioa aplikatu ondoren, errelearen kommutazioa segundo batzuetan atzeratuko da. Zergatik?

2.29 Irudia: Errelearen kommutazioa tzeratzeko muntaia. *Information courtesy of EPCOS AG.*



4. Taldea. NTCak diodoa babesten du kommutazio batek eragindako hasierako korrante-muturretik. Zergatik?

2.30 Irudia: NTCak diodoa gainkorranteetatik babesten du. *Information courtesy of EPCOS AG.*

## Fabrikatzaileak

Hona hemen WEB zuzenbide interesgarri batzuk:

Vishay: <http://www.vishay.com/thermistors/>  
EPCOS:

<http://www.epcos.com/web/generator/Web/Sections/ProductCatalog/Sensors/Sensors,locale=en.html>

Selco: [http://www.selcoproducts.com/ntc\\_thermistors.php](http://www.selcoproducts.com/ntc_thermistors.php)

Panasonic: [http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlg/qAUA0000\\_WW.html](http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlg/qAUA0000_WW.html)

RTI Electronics: <http://www.rtie.com/>

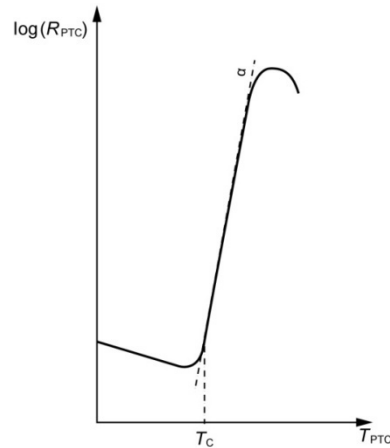
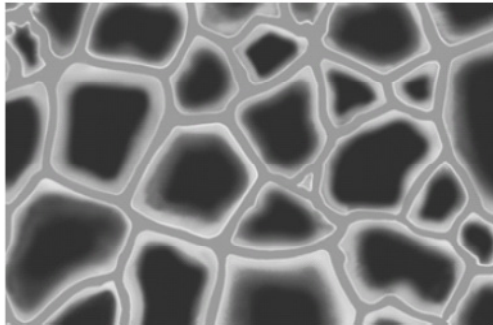
## 2.4 PTC erresistoreak

PTC, *Positive Temperature Coefficient* (tenperatura-koefiziente positiboa) ingelesezko hitzen akronimoa da. Osagai hori erresistore *ez-linealen* multzokoa da, hau da, Ohm-en legea betetzen ez dutenen multzokoa. Portaera ez-lineal horren arrazoia haren tenperatura koefizientearen balio nabarmena da. Erresistore horiei ere *termistore* deritze. NTCak ez bezala, PTC termistoreek tenperatura-tarte erabilgarri oso mugatua dute, tenperatura-koefizientearen balioa ez baita positiboa tenperatura guztietarako.

PTCak fabrikatzeko material polikristalino zeramikoak erabiltzen dira, normalean bario, estrontzio edo berunezko titanatoak. Material horiei, erresistibitate handikoak izanik, lantanoa, bismutoa, antimonia, niobia, manganesoa edo tantaloa gaineratzen zaizkie erdiekoale bihurtzeko. Gehigarrien kontzentrazioak aldatuz, osagaiaren *kommutazio-tenperaturaren* balioa finka daiteke. Kommutazio-tenperatura arruntak 60°C eta 120°C tartean izaten dira, baina 0°C eta 200°C artekoak lor daitezke.

Materialaren egitura banakako kristaltxoek osatuta dago, eta kristalezko garauen inguruan potentzial hesiak sortzen dira; horiek elektroi libreak inguruko eremuetara barreiatzea eragotzen dutenak. Horren ondorioz, erresistentzia elektriko handia sortzen da garauen ingurunean, baina efektu hori tenperatura txikiatarako desagertzen da. Curie-ren tenperatura

ferroelektrikotik ( $T_C$ ) gora, konstante dielektrikoa eta polarizazioa txikituz doaz, eta, hala, potentzial-hesiak indartu egiten dira, eta erresistentzia esponentzialki handitu. Temperatura-koefiziente positiboko eremutik gorako tenperaturetan, beroak eragindako elektroiei askeen kopurua azkar handitzen da, eta NTCek erakusten duten temperatura-koefiziente negatiboko antzerako portaera gertatzen da (ikus 2.31 irudia).



$T_c$  : Curie-ren tenperatura ferroelektrikoa.  
 $\alpha$ : tenperatura-koefizientea

2.31 irudia: PTC termistorearen egitura polikristalinoaren adierazpen eskematikoa (eskuma) eta erresistentziaren aldaketa tenperaturekin. Information courtesy of EPCOS AG.

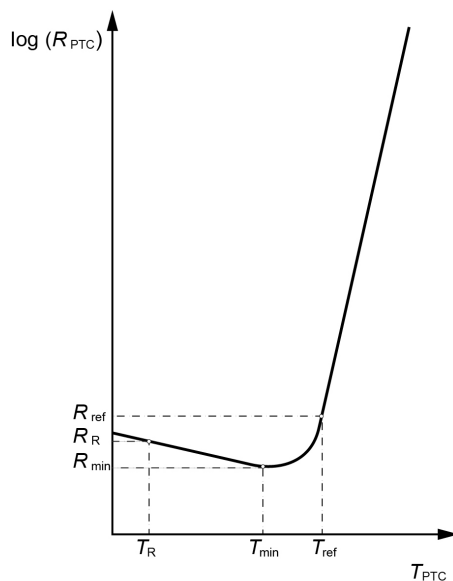
### 2.4.1 Ezaugarri Tekniko Orokorrak

#### Erresistentzia/tenperatura kurba bereizgarria

Erresistentziaren balioa tenperaturaren mendekoa da, hau da,  $R = f(T)$ , baina, gorago esan dugun bezala, PTC termistoreen tenperatura-koefizientea bortizki aldatzen da tenperatura-tarte desberdinetarako, eta tarte erabilgarria —hau da, tenperatura-koefiziente positibo eta handia dueneko— bakarra da. Tarte edo eremu erabilgarri honetan duen portaera deskribatzeko erabiliko dugun eredu matematikoa honako hau da:

$$R = A + E \cdot e^{BT} \tag{2.23}$$

$A[\Omega]$ ,  $E[\Omega]$  eta  $B$  konstanteak dira.



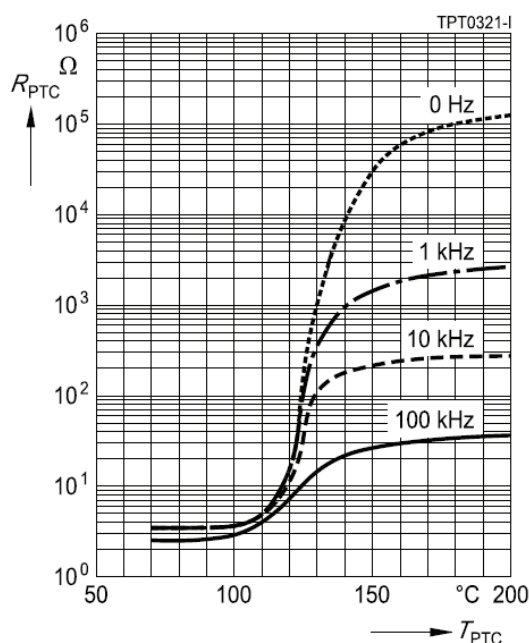
- $R_R$  = Erresistentzia esleitua
- $T_R$  = Tenperatura esleitua (25°C)
- $R_{min}$  = Erresistentzia minimoa
- $T_{Rmin}$  = Erresistentzia minimoari dagokion  $T$
- $R_{ref}$  = Erreferentziako erresistentzia ( $2 \cdot R_{min}$ )
- $T_{ref}$  = Erreferentziako tenperatura

2.32 irudia: PTCaren kurba bereizgarria eta erreferentziako puntuak

2.32 irudian PTC baten temperatura-kurba bereizgarria ikus dezakegu (zama elektrikorik gabe). Lehenengo eremuan, temperatura-koefizientea negatiboa eta txikia da, erresistentzia minimoko ( $R_{\min}$ ) puntura iritsi arte. Ondoren, temperatura-koefiziente positibo txikia du, *Courieren temperatura* edo *kommutazio-tenperatura* lortu arte (gutxi gora behera erreferentziazko temperatura  $T_{\text{ref}}$  bera), non temperatura-koefiziente positibo eta handia baitu, eta operazio-eremu erabilgarria hor hasten da. Eremu erabilgarria operazio-tenperatura maximoa lortu arte hedatzen da. Hortik aurrera, temperatura-koefizientea berriz txikitzen hasten da.

$R/T$  kurba bereizgarria  $P=0$  W-erako neurtzen da, berezko berokuntza aintzat hartzeko modukoa ez denean. Termistoreari tentsio elektrikoa aplikatzen zaionean, *varistore-efektua* suma daiteke, hau da, erresistentziaren balioa aplikatutako tentsio mailarekin aldatzen dela (2.5 atalean ikusiko dugu *varistorea* zer den). Horren ondorioz, tentsio handipean lan egiteko, PTC bereziak fabrikatzen dira, arruntak ez baitira erabilgarriak.

Azkenik, esan behar da PTCen portaera tentsio alfernopean erresistore hutsarena ez dela. Gorago aipatutako egitura garautsua dela eta, portaera kapazitiboa du, eta, horren ondorioz, inpedantziaren balioa maiztasunarekin txikitzen da (ikus 2.33 irudia). Beraz, PTCak ezin dira maiztasun ertain edo handietan erabili.



**2.33 irudia:** PTCen portaera kapazitiboa agerian uzten duen grafikoa; maiztasuna hazi ahala PTCaren inpedantzia txikituz doa. *Information courtesy of EPCOS AG.*

### **Erresistentzia izendatua: $R_{25}$**

Erresistentzia izendatua esleitutako erresistentzia da, tenperatura jakinerako. Normalean,  $T_R = 25$   $^{\circ}\text{C}$ -rako neurtzen den erresistentzia da.

### **Erresistentzia minimoa: $R_{\min}$**

Potentziarik xahutu gabe PTC termistoreak izan dezakeen erresistentzia minimoa da.

### **Erreferentziazko erresistentzia eta erreferentziazko tenperatura: $R_{\text{ref}}$ , $T_{\text{ref}}$**

Termistorearen erresistentziaren hazkuntza bortitza hasten deneko tenperatura da erreferentziazko tenperatura. Courieren tenperatura ferroelektrikotik hurbil dago, baina zaila da zehaztasunez ezagutzea tenperatura horren balioa. Osagaiaren aukeraketa egiteko, ezaugarri

tekniko garrantzitsua da. Gehienetan, erreferentziako temperatura definitzeko, erresistentziaren balioak  $R_{ref} = 2 \times R_{min}$  balioa hartzen duen temperatura aukeratzen da, baina, fabrikatzailearen arabera, erreferentziako balioa bestelakoa izan daiteke (batzuetan  $10 \times R_{min}$ ). Erreferentziako temperaturari *trantsizio-temperatura* ( $T_{TR}$ ), *kommutazio-temperatura* ( $T_S$ ) edo *atari-temperatura* ( $T_{NTT}$ ) ere esaten zaio, batez ere temperatura-sentsore gisa erabiltzeko termistoreak direnean.

### **Tolerantzia**

Erresistentzia izendatuaren aldagarritasuna adierazten du. Batzuetan, *erresistentziaren parekatzea* ere baderitzo ( $R_{25match}$ ). Tolerantziaren balio arruntenak  $\pm\%20$ ,  $\pm\%15$  eta  $\pm\%10$  dira.

### **Temperatura-koefizientea: $\alpha$**

Eremu erabilgarrian, positiboa eta handia da. (2.27) adierazpena erabiliz eta  $A \ll B$  dela joz:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \\ R \approx E \cdot e^{BT} \end{array} \right\} \Rightarrow \alpha = B \times 10^2 [\%.K^{-1}] \quad (2.24)$$

Berez, temperatura-koefizientea ez da konstantea, baina konstantetzat har dezakegu temperatura-aldakuntza txikietarako.

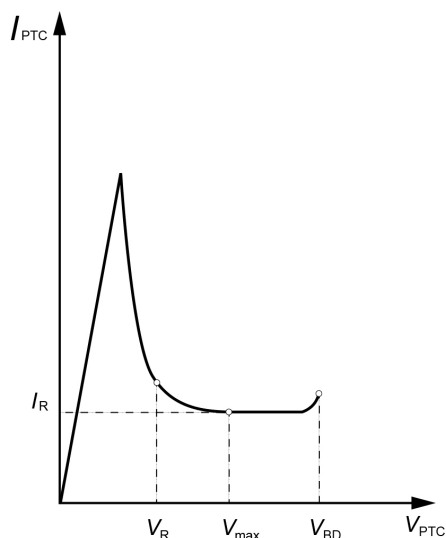
Idatz ezazu, PTC batentzat, temperatura, tentsioa eta korronea erlazionatzen dituen adierazpen matematikoa:

### **Tentsioa/korronea erlazioa**

PTC termistoretik korronea igarotzen denean (zama elektrikoa) eta, horren ondorioz, berezko berokuntza gertatzen denean, haren ezaugarriak hobeki deskriba daitezke, I/V kurba bereizgarriaren bidez. Kurba bereizgarri horretan, tentsioa eta korronearen arteko erlazioa adierazita dago inguruneko airea barea denean, eskuarki 25 °C-ko temperaturan.

2.34 irudian ikus dezakegunez, hasieran, eremu lineala dugu, non Ohm-en legea beteko den, berezko berokuntzak oraindik eraginik izan ez duela baieztatuz. Kommutazio-temperaturara heltzerakoan, erresistentziaren balioa bortizki hazten da, eta, horren ondorioz, korroneak txikitze joera hartzen du. Argi dago, beraz, PTCak korronea mugatzeko osagai egokiak direla.

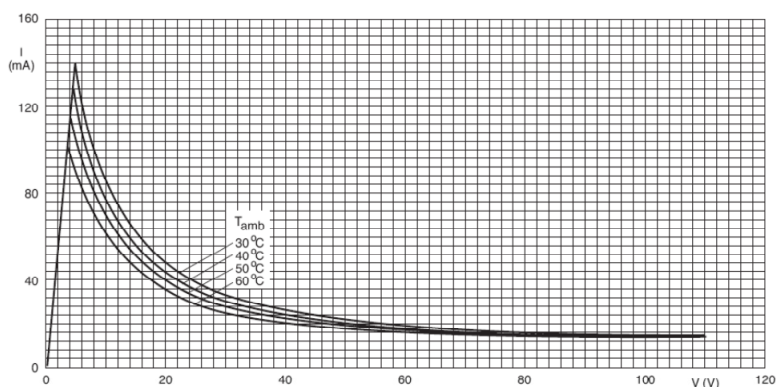
I/V kurba bereizgarria eskala linealerako zein eskala logaritmikorako aurkituko dugu irudikatuta. 2.35 eta 2.36 irudietan, kurbaren itxura ikus dezakegu, inguruneko temperatura desberdinetarako, eskala bietan adierazita.



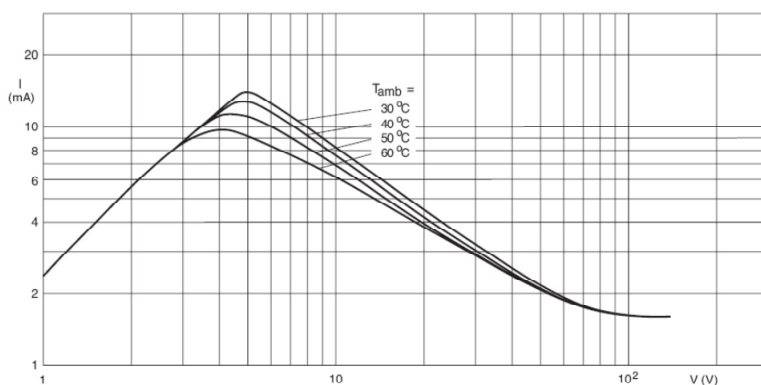
$I_r$  = Hondar-korrontea lan-tentsio maximorako (korronte orekatuta)  
 $V_{max}$  = Lan-tentsio maximoa  
 $V_R$  = Tentsio esleitua ( $V_R < V_{max}$ )  
 $V_{BD}$  = Haustura-tentsioa ( $V_{BD} > V_{max}$ )

**2.34 Irudia:** Zamatuta dagoen PTCaren portaera deskribatzen duen V/I kurba-bereizgarria

2.35 irudian ikus dezakegunez, inguruneko tenperaturak badu eraginik termistorearen I/V kurba bereizgarriaren gainean. Inguruneko tenperatura handiagoa bada, termistoreak beroa xahutzeko zailtasun handiagoak ditu, eta, horren ondorioz, osagaiaren gorputzaren tenperatura ere handiagoa da. Zenbat eta tenperatura handiagoa, orduan eta erresistentzia handiagoa egongo da, eta, beraz, korronte txikiagoa tentsio bererako.



**2.35 Irudia:** PTC termistorearen I/V kurba bereizgarria eskala lineala erabiltuta eta inguruneko tenperatura desberdinetzat irudikatuta. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*



**2.36 Irudia:** PTC termistorearen I/V kurba bereizgarria eskala lineala erabiltuta eta inguruneko tenperatura desberdinetzat irudikatuta. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

**Korrente esleitua eta kommutazio-korrontea:  $I_R$ ,  $I_S$** 

Garrantzitsua da jakitea termistorea zein korrontetarako geldituko den bere horretan eta zein korrontetarako joko duen erresistentzia handiko eremurantz. Horretarako, komenigarria da korronte esleitua eta kommutazio-korrontea definitzea.

*Korrente esleitua* ( $I_R$ ) baino korronte txikiagoetarako, PTCa erresistentzia txikiko eremuan geldituko den bermea dugu.

*Kommutazio-korrontea* ( $I_S$ ) baino korronte handiagoetarako, PTCa erresistentzia handiko eremurantz joko duen bermea dugu.

**Hondar-korrontea:  $I_r$** 

Lan-tentsio maximopean eta oreka termikoa lortu ondoren PTCtik igarotzen den korrontea da. Normalean, erreferentziazko giro-tenperatura 25°C da.

**Korrente esleitu maximoa, kommutazio korronte maximoa eta kommutazio ziklo kopuru maximoa:  $I_{max}$ ,  $I_{Smax}$ ,  $N$** 

PTC bati potentzia elektrikoa aplikatzen zaionean, beroketa faseko denbora-tarte laburrean (erresistentzia txikiko fasea) jasan ditzakeen korronte maximoak ( $I_{max}$ ,  $I_{Smax}$ ) errespetatu behar dira. Bestalde, PTCaren zerbitzu-bizitza laburtu nahi ez badugu, kommutazio-zikloen kopuru maximoa ere ( $N$ ) kontuan hartu beharrekoa da.

**Lan-tentsio maximoa, tentsio esleitua eta haustura-tentsioa:  $V_{max}$ ,  $V_R$ ,  $V_{BD}$** 

*Lan-tentsio maximoa* emandako giro-tenperaturarako termistoreari modu jarraituan aplikatzen dakiokkeen tentsio maximoaren balioa da.

*Tentsio esleitua* termistoreari aplikatutako tentsioa da (tentsio maximoa baino txikiagoa).

*Haustura-tentsioa* termistoreak jasan dezakeen tentsioaren balio handiena da.  $V_{BD}$ -tik gora, PTCak bere ezaugarri bereizgarriak galtzen ditu.

**Lan-tenperatura tarte**

Termistorearen eremu erabilgarria mugatzen duen tenperatura-tarte da,  $P=0W$  eta  $V_{max}$  -erako neurtuta.

**Denbora-konstante termikoa:  $\tau$** 

Potentziarik xahutu gabe, termistoreak bere gorputzeko tenperatura, hura eta inguruneke tenperaturaren arteko diferentziaren balioa ( $T-T_{amb}$ ) % 63,2an txikitzeko behar duen denbora da. Osagaiaren diseinuak eragin handia du parametro horretan.

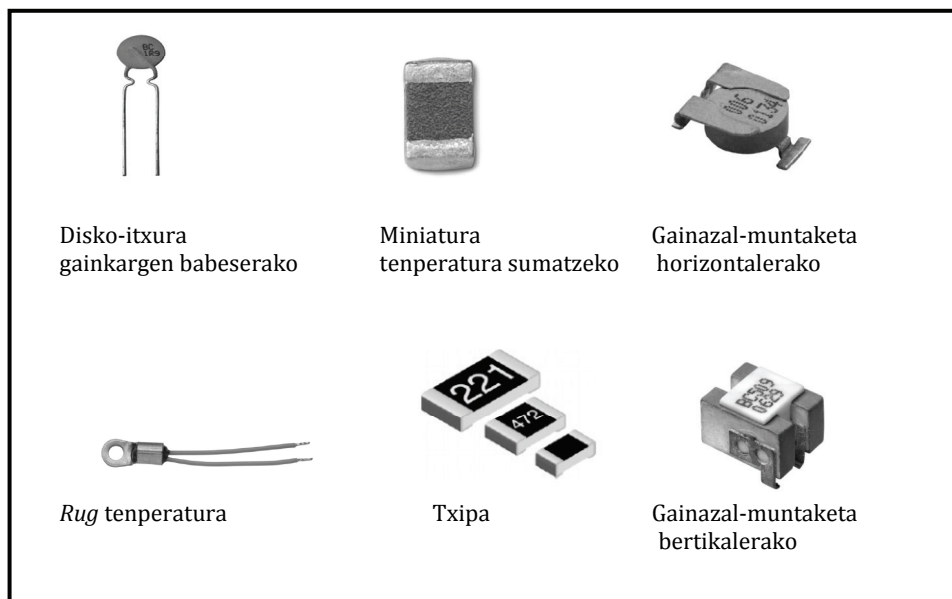
**Bero-kapazitatea:  $C$** 

NTCetarako definitzen den bezala, osagaiaren batez besteko tenperatura gradu bat igotzeko beharrezko beroaren neurria da. Unitateak mJ/K edo mJ/°C dira.

$$C = \frac{\Delta H}{\Delta T} \quad (2.25)$$

**Formak eta kapsulak**

NTCen fabrikazioan bezala, forma askotako PTCak merkaturatzen dira. Hona hemen adibide batzuk:



**2.37 Irudia:** PTCak forma eta kapsulatu ezberdinekin. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Beraz, zein dira aztertu beharreko ezaugarriak NTC bat aukeratzeko? Kasu honetan, ezinezkoa dugu aukeraketarako ezaugarri tekniko garrantzitsuenen zerrenda ematea aplikazio eremuez hitz egin aurretik, ez baita gauza bera PTCa gainkorronteen kontrako babeserako izateko erabiltzea (oso aplikazio hedatua) eta temperatura-sentsore gisa erabiltzeko aukeratzeko, adibidez.

## 2.4.2 Aplikazioak

PTCen aplikazioak bi multzotan sailkatu daitezke, bi operazio modu posibleren arabera:

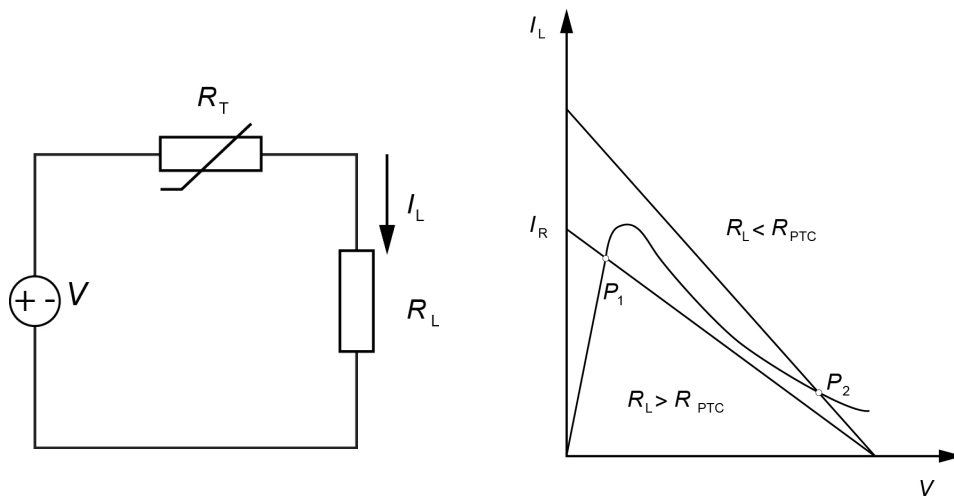
1. PTCa berez berotzen denean handik iragaten den korrontearen ondorioz: erresistentziaren balioa, beraz, xahututako potentziarekin handituko da.
  - Gainkorronteen aurkako babeserako.
  - Motorren abioa.
  - *Degaussing*.
  - Kommutadoreak.
  - Denbora-atzerapenak.
  - Beroketa.
  - Likidoen mailak.
2. Beroa inguruntetik hartzen duenean: PTCa temperatura-sentsore gisa erabiltzen da.
  - Gaitenperaturen aurkako babeserako.
  - Motorren babeserako.
  - Temperaturaren kontrola.

Aplikazio multzo garrantzitsua lehenengoa da, eta PTCa babes osagai gisa erabiltzea da erabilera hedatua. Bigarren aplikazio multzoa, hau da, sentsore gisa erabiltzea, ez da horren erabilia. PTCen  $R/T$  kurba bereizgarria ez dago zehaztasun handiz ezagutzerik, eta tolerantzia handikoak dira. Horren ondorioz, horrelako aplikazioetarako erabiltzekotan, kurbaren zati txiki bat baino ez da erabiltzen. Horrelako aplikazioetarako, nahiago izaten da NTCak erabiltzea. Ikus ditzagun aplikazio arruntenen adibide batzuk.



### 2.4.2.1 Gainkorronteen aurkako babesa

PTC zeramikoak fusibleen ordeaz erabiltzen dira, zirkuitu elektronikoak zein motorrak, transformadoreak eta antzeko kargak gehiegizko korrante iragankorregandik babesteko. Gainera, gehiegizko tenperatura-hazkuntzen aurkako babesa ere ematen dute (ikus 2.38 irudia). Kargaren korrante esleiturako ez dago beroketarik eta PTCaren erresistentzia txikia da ( $P_1$  operazioa puntua 2.38 irudian). Korrante-hazkuntza azkarrak gertatzen direnean, PTCen erresistentzia elektrikoa ere azkar handitzen da, korranteak eragindako osagaiaren beroketaren ondorioz, eta, hala, korrante maila berehala txikitu egiten da eta potentzia xahutzea murriztu ( $P_2$  operazio-puntua). Gainkorrontea iragatean, PTCa, berriz, bere hasierako operazio-puntura itzuliko da (fusibleak ez bezala, babesa eman ondoren ordezkatu behar baitira), eta hurrengo gainkorronteari aurre egiteko prest dago, behin eta berriz. Babes-funtzioa betetzeko, babestu nahi den osagaiarekin seriean konektatzen dira PTCak. PTCen  $I/V$  kurba bereizgarriari eta karga-zuzenari grafikoki behatuz, erraz egin dezakegu operazio modu horren analisia:



**2.38 irudia:** PTCak zama elektrikoa babesten du, gainkorronteak gertatzen direnean bere erresistentzia handitzen baitu, zirkuituko karga-zuzenaren malda handituz eta operazio-puntua korrante txikiko eremurantz mugituz.

PTCak babeserako erabiltzen ditugunean, beraz, honako ezaugarri tekniko hauek aztertu beharko ditugu lehenengo:

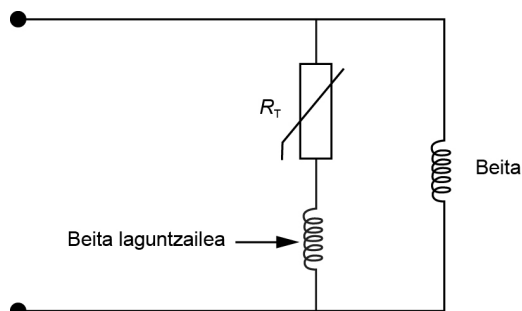
1. Tentsio maximoa: Erresistentzia handiko operazio-puntuan denean, PTCak elikatze-iturriak emandako ia tentsio osoa hartzeko gai izan behar du.
2. Korrante esleitua eta kommutazio-korrantea: Korrante esleiturako termistoreak ez du inolaz ere kommutatu behar. Kommutazio-korranteak egokia izan behar du, karga modu eraginkorrean babesteko matxurak izan baino lehen. Kontuan izan behar da kommutazio-korrantearen balio maximoak ere nahikoa izan behar duela, kalkulaturako gainkorronte handienak jasateko gai izan dadin. Kontuan izan behar da bi balio horiek ingurunearekin aldatuko direla, eta aurrikusitako lan-tenperatura tarteko kasurik txarrenerako aukeratu beharko dugula (tenperatura handiena, korrante esleiturako, eta txikiena, kommutazio-korranterako).
3. Kommutazio-tenperatura.
4. Erresistentzia izendatua.

Hurrengo orrialdetan, babeserako disko-itxurako PTC baten ezaugarri-orrietan aurkitu dezakegun informazioaren adibide bat dugu (2.4 eta 2.5 orriak).

### 2.4.2.2 Motorren abioa

Fase bakarreko indukzio-motorrak (hozkaileak, aire-girogailuak, etab.) abiatzeko, abiatze-haril edo beita laguntzaileak erabiltzen dira. Zirkuitua piztean, PTCaren erresistentzia txikia da, eta

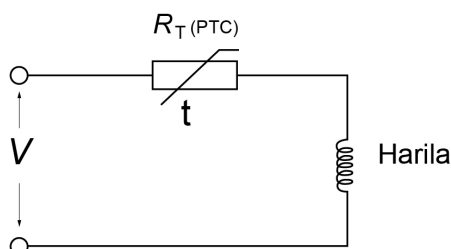
tentsio gehiena abiatze-harilera heltzen zaio. Motorra abiatu eta gero, PTCa berotzen da, eta erresistentzia handiko egoerara aldatu; horrela, abiatze-harila deskonektatu egiten da (2.39 Irudia).



2.39 Irudia: Motorren abiorako beita laguntzailea deskonektatzeko PTCa.

### 2.4.2.3 Degaussinga

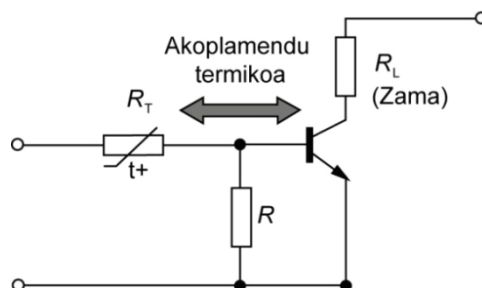
Kolorezko CRT hodietan gertatzen diren distortsio, kolore-ezpurutasun eta itzalak kentzeko, CRT hodia konektatzerakoan, desmagnetizatu egin behar da. Desmagnetizazio hori *degaussing coil* izeneko hariletik AC korrante beharokorra igaroarazten lortzen da. Efektu hori lortzeko modurik errazena zirkuitu horietan PTCak jartzea da; horrela, beharrezko korrante beharokorra lortu egiten da, PTCaren erresistentzia gorakorren ondorioz.




2.40 Irudia: CRT hodien desmagnetizazioa lortzeko zirkuitua.

### 2.4.2.4 Tenperaturaren neurketa eta kontrola

Gorago esan dugun bezala, PTCak ez dira egokiak tenperaturak neurtzeko, baina erabilgarriak dira tenperatura-mugak ezartzeko, adibidez. Horretarako, noski, berezko beroketa ekidin beharrekoa da, oso korrante maila txikiekin lan eginez. Gehienetan, tenperatura-mugaren bat gainditzen denean, erresistentziaren bat-bateko hazkuntzaren ondorioz, kommutadoreren bat aktibatzeko zirkuituetan ezartzen dira, adibidez, zama bati konektatutako elikatze-iturria deskonektatzeko.



2.41 Irudia: PTCak potentziatzko transistorea babesten du honen tenperatura gehiegizkoa denean korrante-maila txikituz.



<b>Overcurrent protection</b>	
<b>Leaded disk, uncoated, 12 V</b>	<b>B1585</b>

**Applications**

- Overcurrent protection
- Short circuit protection

**Features**

- Lead-free terminals
- High thermal stability
- Small size
- UL approval to UL 1434 (file number E69802)
- VDE approval (license number 104843 E)
- RoHS-compatible

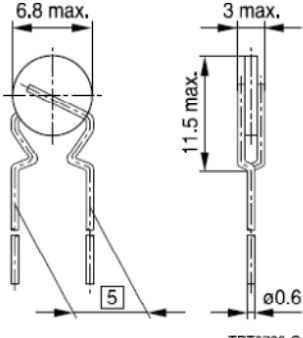
**Options**

- Leadless disks available on request

**Delivery mode**

- Cardboard strips (standard)
- Cardboard tape reeled or in Ammo pack on request

**Dimensional drawing**



Dimensions in mm

**General technical data**

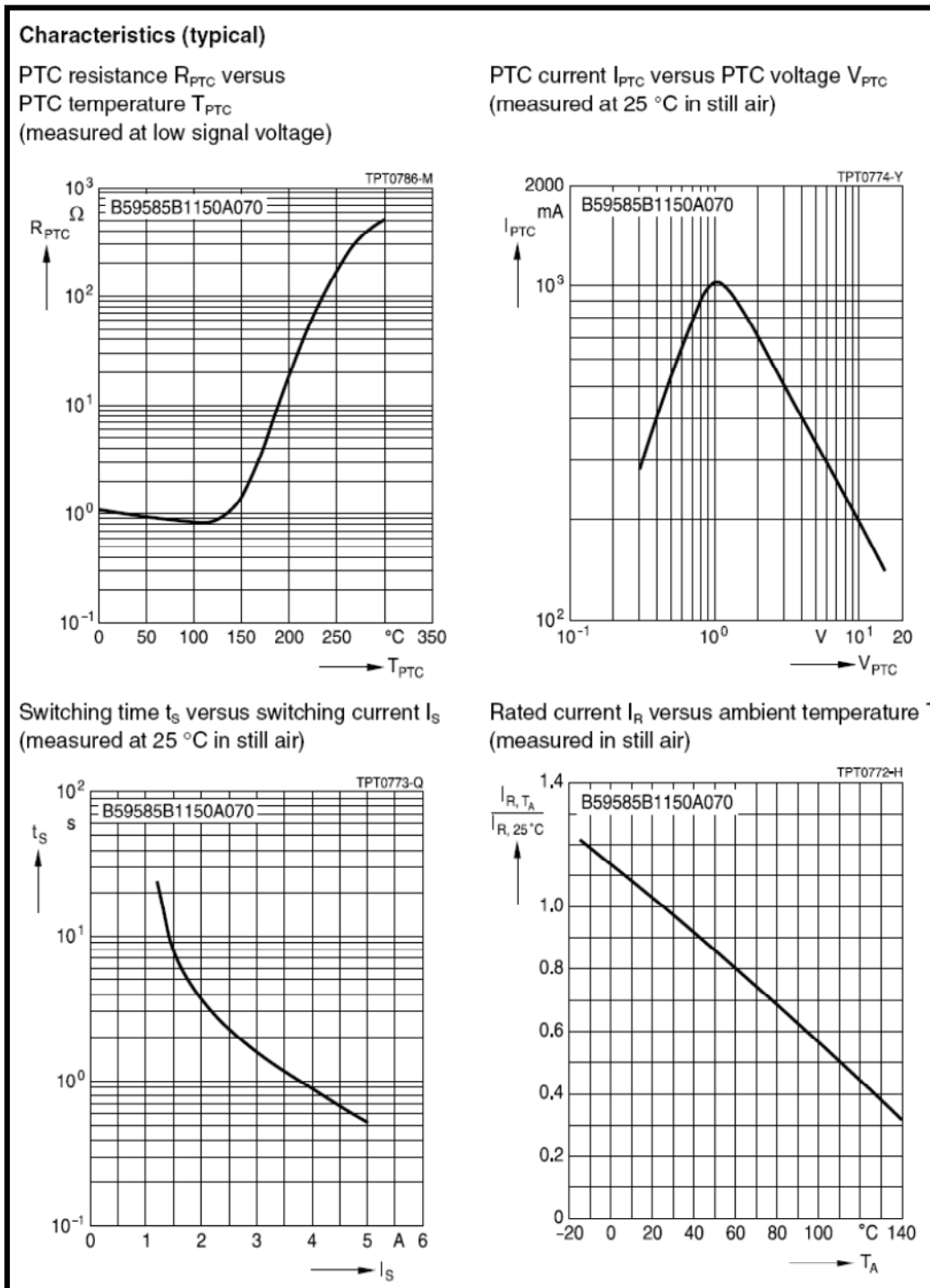
Max. operating voltage	( $T_A = 60\text{ °C}$ )	$V_{max}$	15	V DC or V AC
Rated voltage		$V_R$	12	V DC or V AC
Switching cycles		N	100	
Reference temperature	(typ.)	$T_{ref}$	150	°C
Tolerance of $R_R$		$\Delta R_R$	$\pm 20$	%
Operating temperature range	( $V = 0$ )	$T_{op}$	$-25/+125$	°C
Operating temperature range	( $V = V_{max}$ )	$T_{op}$	$0/+60$	°C

**Electrical specifications and ordering codes**

$I_R$	$I_S$	$I_{Smax}$ ( $V = V_{max}$ )	$I_r$ (typ.) ( $V = V_R$ )	$I_r$ (typ.) ( $V = V_{max}$ )	$R_R$	$R_{min}$	Ordering code
mA	mA	A	mA	mA	$\Omega$	$\Omega$	
650	1250	2.5	120	150	1	0.55	B59585B1150A070

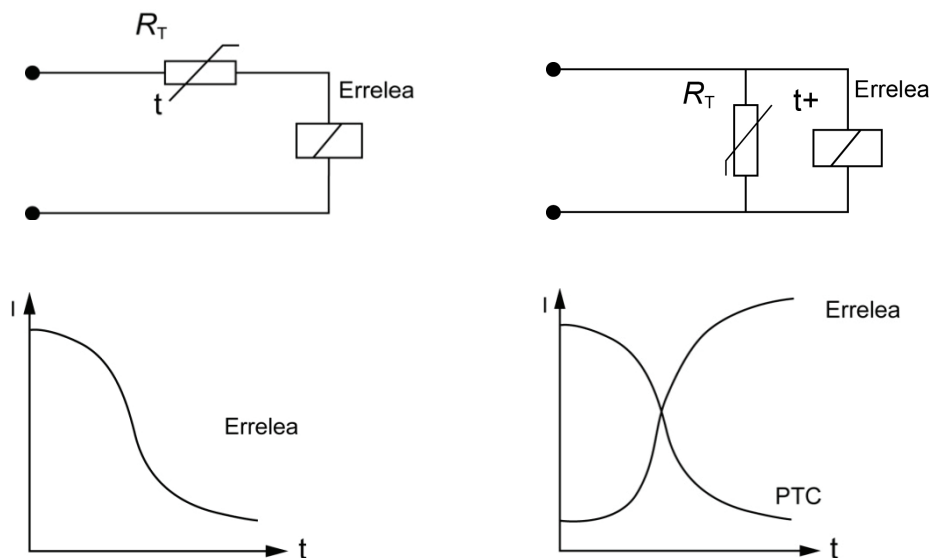
2.4 Orria: Gainkorronteen aurkako babeserako PTCaren ezaugarriak.



2.5 Orria: Gainkorronteen aurkako babeserako PTCaren kurba bereizgarriak

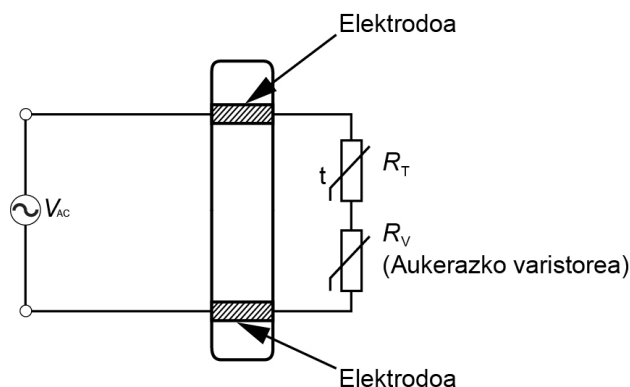
### 2.4.2.5 Kommutazioak eta denbora-atzerapenak

Karga baten kommutazioa atzeratu nahi dugunean eta kommutazioa sarritan egin behar denean, ohikoa da PTCak erabiltzea kargarekin seriean edo paraleloan jarrita, kasuan kasu. Adibidez, errele baten konexioa atzeratu nahi badugu, PTC bat paraleloan jar dezakegu. Aldiz, konexioa gertatu ondoren eta denboratxo bat igarota berriz deskonektatzea nahi badugu, seriean jarriko dugu.



2.42 irudia: Erreleen deskonexioa (ezkerra) eta konexioa (eskuina) atzeratzeko muntaiak.

Horrelako konfigurazioak tipikoak dira kontsumo txikiko lanparetan edo lanpara fluoreszenteetan, elektrodoek behar duten pizketa aurreko berokuntza lortzeko. PTCa lanpararen elektrodoekin seriean ipiniz gero, lanparari tentsioa aplikatzerakoan, PTCaren hasierako erresistentzia txikia da, eta lanparari heltzen zaion tentsioa pizketa-tentsioa baino txikiagoa da. PTCa berotu ahala, tentsioa handituz doa, pizketa-tentsioa lortu arte. Denbora-tarte horretan, elektrodoek astia dute beharrezko lan-tenperatura lortzeko.

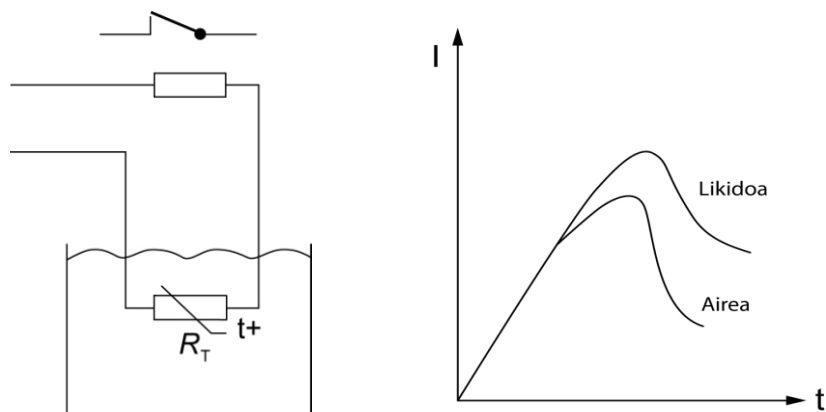


2.43 irudia: Lanpara fluoreszentearen elektrodoek lan-tenperatura egokia lortzeko astia dute pizketa-tentsioa lortu aurretik.

### 2.4.2.6 Likidoen maila eta aire-fluxuak

Tentsio txikiekin (12V) berotutako PTCen gorputzeko tenperatura inguruneko hozte-baldintzen arabera da. Horren ondorioz, tentsio konstantepean, osagaiak xahutzen duen potentziak

hozte-baldintzen neurria emango digu. Efektu hori inguruneko baldintzetan aldakuntzak sumatzeko erabil daiteke: likidoen maila, aire-fluxuen aldakuntzak, etab.



**2.44 Irudia:** Likidoaren maila somatzeko PTCa erabili daiteke, xahututako beroa inguruneko fluidoaren bero-ahalmenaren mendekoa baita.

#### 2.4.2.7 PTCak elementu berotzaile gisa

Sarritan aipatzen ez den PTCen aplikazio bat PTCak elementu berotzaile gisa erabiltzearena da. Osagai horiek aproposak dira berokuntzarako, berezko erregulazioa dutelako. Hala da, inguruneko tenperatura baxua denean ( $T_{ref}$  baino txikiagoa), termistoreak erresistentzia txikia eta kontsumo handia izango du, eta, horren ondorioz, bero-transferentzia handia gertatzen da. Aldiz, inguruneko tenperatura altua denean, erresistentzia handitu eta kontsumoa txikituko da, eta, hala, bero transferentzia ere txikitu egiten da. Helburu horretarako, PTC bereziak fabrikatzen dira, meheak, gainazal handikoak eta tenperatura handiak lortzeko gai direnak (40-100 °C). Horrelako osagaiak honelakoetan aurkitu ditzakegu: ibilgailuetan, gasolioa berotzeko; komunetako aire-berogailuetan, intsektizida edo perfume lurruneztagailuetan, kolen aplikagailuetan eta abar.

#### **Fabrikatzaileak**

Vishay: <http://www.vishay.com/thermistors/>  
EPCOS:

<http://www.epcos.com/web/generator/Web/Sections/ProductCatalog/ProtectionDevices/OvercurrentProtection/Page,locale=en.html>

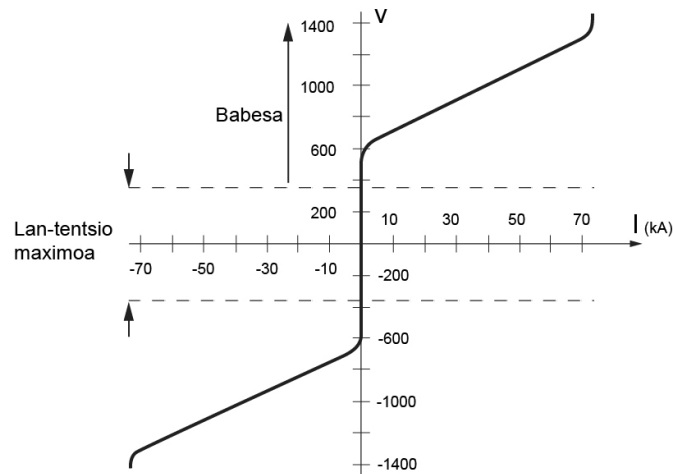
Selco: [http://www.selcoproducts.com/ptc\\_thermistors.php](http://www.selcoproducts.com/ptc_thermistors.php)

Panasonic: [http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlg/qAUA0000\\_WW.html](http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlg/qAUA0000_WW.html)

RTI Electronics: <http://www.rtie.com/>

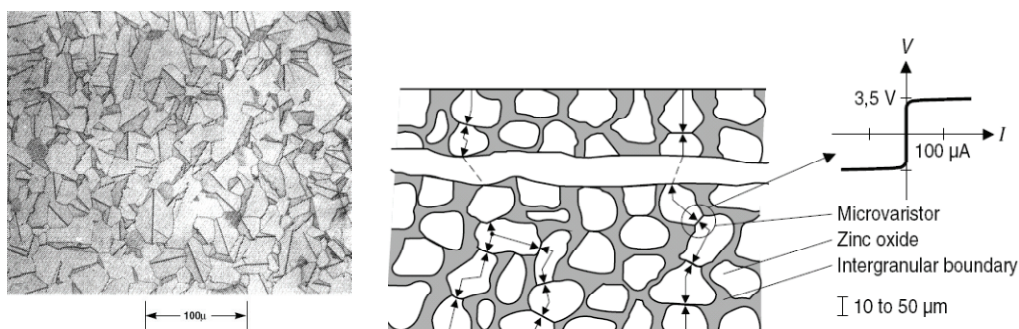
## 2.5 VDR erresistoreak

VDR, *Voltage Dependent Resistor* (tentsioaren mendeko erresistorea) ingelesezko hitzen akronimoa da. *Varistore* (*Variable Resistor*) hitza ere oso erabilia da osagai horiek izendatzeko. VDRen erresistentzia aplikatutako tentsioarekin aldatzen da batez ere, eta erresistentziaren balioa txikitzen da tentsioa handitzen denean. VDRak oso eraginkorrak dira osagai elektronikoak gaintentsioetatik eta tentsio iragankorretatik babesteko horiekin paraleloan konektatzen direnean.



**2.45 Irudia:** VDR baten V/I kurba bereizgarria. Tentsioa handitu ahala erresistentzia txikituz doa, gainkorrontea xurgatuz.

VDR arruntak fabrikatzeko tradizionalki erabili izan den materiala silizio-karburoa izan da. Silizio-karburozko VDRak guztiz zaharkituak lirateke bi ezaugarri interesgarri izango ez balituzte: merkeak eta sendoak dira. Gaur egun, ordea, zink-oxidoa bestelako metal oxidoekin batera (bismutoa, kobaltoa, manganesoa etab.) baldintza jakinetan sinterizatuz, tentsioarekiko mendekotasun handia duten zeramika polikristalinoak lortzen dira, eta silizio-karburoz lor daitezkeen ezaugarri teknikoak hobetu egiten dira. 2.46 irudian ikusi daitezkeen egitura garatsua du materialak. Zink-oxidozko garauek eroankortasun handia dute, baina garau arteko beste metal oxidoak, berriz, oso erresistiboak dira. Garauek elkar ukitzen dutenean, ahalmen zuzentzailea duten "mikrovaristoreak" sortzen dira. Varistorearen portaera orokorra elkarrekin konektatutako mikrovaristore horien kopuruak zuzendua izango da. Horren ondorioz, varistoreen propietate elektrikoak beren dimentsio fisikoen ondorio dira, gehienbat. Horrela, xurga dezaketen energia varistorearen bolumenak zehaztuta dago, jasan dezaketen tentsioa lodierak zehaztua, eta korrante maximoa azalerak mugatzen du.



**2.46 Irudia:** VDR baten barne-egitura garatsua (ezkerra) eta bertan gertatzen den kondukzio-mekanismoaren irudi eskematikoa (eskuma). *Information courtesy of EPCOS AG.*

## 2.5.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

### *Tentsioa/korrontea kurba bereizgarria*

V/I kurba ezaugarria simetrikoaenez, normalean, koadrante bakarra irudikatzen da. VDRen V/I erlazioaren eredu matematiko arruntena korrontearen eta tentsioaren arteko berretura-erlazioa deskribatzen duena da:

$$I = K.V^\alpha \quad , \quad \alpha > 1 \quad (2.26)$$

$I$  = igarotzen den korrrotea  
 $V$  = tentsio-jauzia  
 $K$  = konstante zeramikoa  
 $\alpha$  = ez-linealtasunaren berretzailea

Erresistentziak tentsioarekin duen mendetasuna azpimarratu nahi badugu:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V}{K.V^\alpha} = \frac{1}{K} V^{1-\alpha} \quad (2.27)$$

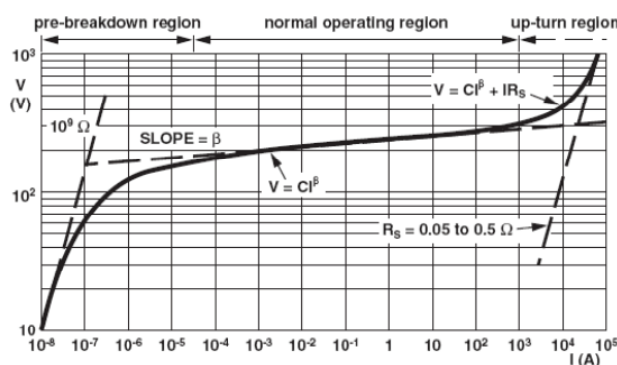
Bi azken erlazio horien esanahiari hobeki antzeman dakiok, eskala logaritmikoa erabilia, aldagaien arteko erlazioa itxura lineala hartzen baitu:

$$\log I = \log K + \alpha \log V \quad (2.27)$$

$$\log R = \log \left( \frac{1}{K} \right) + (1 - \alpha) \log V \quad (2.27)$$

2.47 irudian ikus dezakegunez, (2.30)-(2.33) adierazpen sinplifikatuek kurba ezaugarriaren erdiko tartea soilik deskribatzen dute. Ez-linealtasunaren berretzailearen balioa ( $\alpha$ ) grafikoki kalkulatzeko, nahikoa dugu  $V/I$  kurba ezaugarriko bi puntu hartzea:

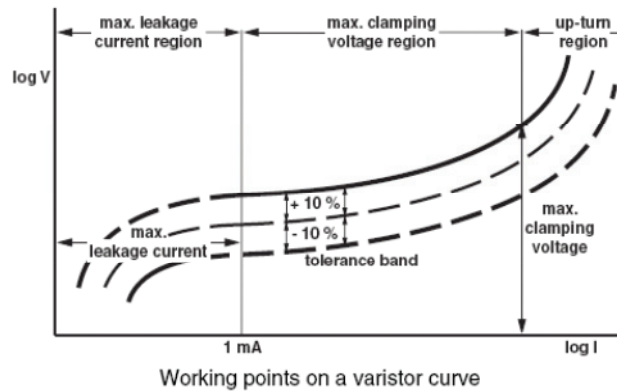
$$\alpha = \frac{\log I_2 - \log I_1}{\log V_2 - \log V_1} \quad (2.28)$$



**2.47 Irudia:** VDRaren  $V/I$  kurba bereizgarriaren xehetasunak. Ohiko eredu matematikoen "operazio normaleko" eremuko portaera soilik deskribatzen dute. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

VDR indibidualen benetako  $V/I$  kurba bereizgarriak desbideratzeak izan ditzake, fabrikazio-prozesuan gerta daitezken fluktuazio txikien ondorioz. Horrela, askotan, *tolerantzia-banda* bat irudikatzen da kurba bereizgarriaren adierazpen grafikoan. Benetako  $V/I$  kurba tolerantzia-bandaren barruan dagoenaren ziurtasuna dugu.





2.48 Irudia: VDR baten ohiko "tolerantzia-banda"  $\pm 10\%$  da. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Batzuetan,  $I/V$  kurba ezaugarriaren ordezeko adierazpen matematikoa erabiltzen da, zeinetan tentsioa aldagai askea baita:

$$V = C \cdot I^\beta \rightarrow \log V = \log C + \beta \log I \quad (2.29)$$

- $I$  = igarotzen den korrontea
- $V$  = tentsio-jauzia
- $C$  = VDRaren tentsioa 1A korronterako
- $\beta$  = kurbaren malda

(2.30) eta (2.35) adierazpenen parametroen arteko erlazioa zuzena da:

$$\alpha = 1/\beta \quad \text{eta} \quad K = 1/C^\alpha \quad (2.30)$$

### Lan-tentsio maximoa

VDRari hankatxoaren artean aplikatu dakiokeen tentsio maximoa da. Seinale zuzenerako (DC) zein alternorako (AC) adierazten dira (AC kasuan, balio eraginkorra adierazten da). Tentsio maila hori seinale iragankorretarako soilik gainditu daiteke.

### Varistore-tentsioa

VDRan gertatzen den tentsio-jauzia da 1mA-ko korrontea aplikatzerakoan. Erreferentziatzko parametro gisa erabiltzen da.

### Gainkorrante maximoa

Varistoreak har dezakeen gainkorrontearen maila pultsuaren anplitudea, pultsuaren iraupena eta pultsu kopuruaren araberakoa da. Gainkorrante maximo ez-errepikakorra (pultsu bakarra) definitzeko,  $8/20\mu\text{s}$ -ko uhin-forma erabiltzen da, hau da,  $8\mu\text{s}$ -ko igoera-denbora eta  $20\mu\text{s}$ -ko jaitsiera-denbora duen pultsua. Erreferentziatzko pultsuaren anplitudeak VDRan sorrarazten duen tentsio-aldakuntzak bere varistore-tentsioaren % 10 baino txikiagoa izan behar du. Gainkorrante maximoaren balioa gainditzeak zirkuitulaburrak eta kapsularen apurtzea eragin dezake, eta, hala, VDRaren materiala egotzi. Horren ondorioz, gomendatzen da VDRa babes-kutxatxo baten barnean jartzea.

### Mozketa-tentsioa (babes maila)

1mA baino korronte handiagoetarako varistorean gertatzen den tentsio-jauzia da. Balio maximoa  $8/20\mu\text{s}$ -ko uhin-formarako ere adierazten da.

### **Energia-xurgapen maximoa**

Korronte-pultsu bat gertatzen denean, varistoreak energia xahutzen du. Xahututako energia honako aldagai hauen mendekoa da:

- Korrontearen anplitudea.
- Korronteari dagokion tentsioa.
- Pultsuaren igoera-denbora ( $t_r$ ).
- Pultsuaren jaitsiera-denbora ( $t_f$ ).
- Varistorearen ez-linealtasuna.

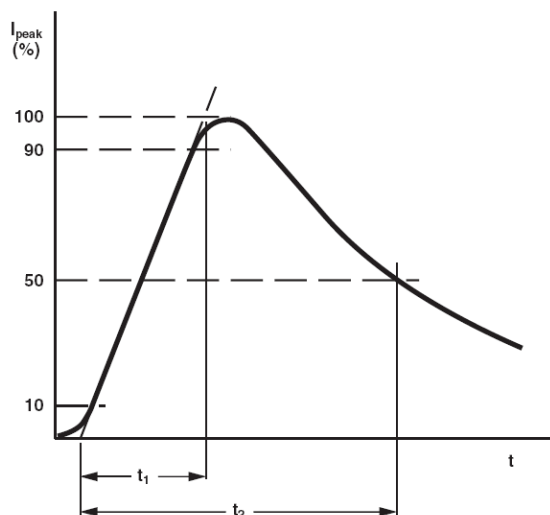
Xurgatutako energia kalkulatzeko, erreferentziatzko korronte-pultsu estandarrak erabiltzen dira (ikus 2.49 irudia). Pultsuaren forma definitzeko igoera-denbora birtuala ( $t_1$ ) eta erdi baliorainoko denbora birtuala ( $t_2$ ) erabiltzen dira. Horrelako pultsuaren ondorioz hartutako energia kalkulatzeko, (2.31) formula erabil daiteke:

$$E = V_{peak} \times I_{peak} \times t_2 \times K \quad (2.31)$$

$I_{peak}$  muturreko korrontea

$V_{peak}$  muturreko korronteari dagokion tentsioa

$K$   $t_2$ -ren mendekoa den konstantea den  $t_1$  8 eta  $10\mu\text{s}$  artekoa denean (tauletan)



**2.49 Irudia:** Energia xurgapen maximoa kalkulatzeko erabiltzen diren pultsuaren ezaugarriak. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Ezaugarri orrietan ematen diren energia maximoko balioak baliagarriak dira varistore-tentsio berdineko VDRak konparatzeko, baina berez ez dira osagaiaren kalitatearen adierazle. Balio horiek  $10/1000\mu\text{s}$  iraupeneko pultsuetarako dira baliagarriak. Pultsu bat baino gehiago jarraian aplikatzen badira, potentzia-xahutze maximoa ez gainditzeko moduko lan-zikloa bermatu behar da.

### **Xahututako potentzia**

Varistoreak tentsio maximoen balioak aztertuta aukeratzen dira, eta xahututako potentzia ez da normalki ardura bat. Bestalde, pultsu asko jarraian aplikatzen badira, xahututako potentziaren

balioa nabarmena izan daiteke. Seinale zuzenerako, varistorean xahutuko den potentzia korrontearen eta tentsioaren arteko biderketak emango ditu:

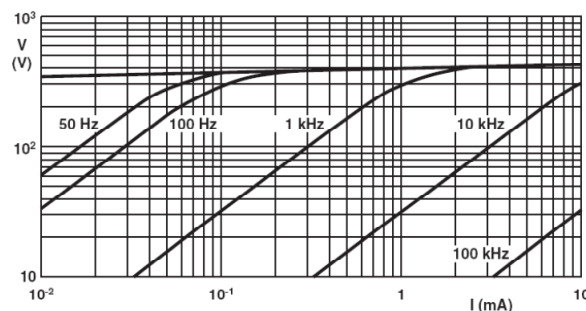
$$P = I \times V = C \times I^{\beta+1} = K \times V^{\alpha+1} \quad (2.32)$$

Nabaria denez, potentzia tentsioaren berreturarekin handitzen da. Beraz, kontu handia izan behar dugu aplikatzen dugun tentsioak ez dezala gainditu aurretik finkatutako tentsio-maila. Are gehiago, varistoreek tenperatura-koefiziente negatiboa izaten dutenez, beroketaren ondorioz erresistentziaren txikitzea gertatzen da, eta, horren ondorioz, xahututako potentzia are gehiago handituko zaigu.

Seinale alternorako potentzia kalkulatzeko, korrontearen eta tentsioaren arteko biderketa integratu behar da. Eragiketa hori konplexua izan daitekeenez, DC eta AC arteko koefiziente taulatuak ( $P$ ) erabiltzen dira askotan, non  $P=P_{AC}/P_{DC}$ . Horrela, seinale zuzenerako potentzia kalkulata, erraza da seinale alternorako potentzia kalkulatzeko.

### Kapazitantzia

VDRen kapazitatea diskoaren diametroarekin handitzen da, eta lodierarekin txikitu. Tauletan adierazten diren balioak 1KHz eta 1MHz maiztasunetarako izaten dira. Kapazitatea ia linealki aldatzen da maiztasunarekin, eta sortzen den paraleloko inpedantzia ohiko moduan kalkula daiteke ( $1/\omega C$ ). ZnO-zko varistoreetan, ordea, kapazitatea bera maiztasunarekin txikitzen da; efektu hori maiztasun handietarako (>100KHz) nabarmentzen da (ikus 2.50 irudia).



**2.50 Irudia:** Maiztasun handiko korrontearen efektua varistore baten.  
Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.

### Tenperatura-koefizientea

V/I kurba ezaugarriko ihes-korronteko eremuan (ikus 2.44 irudia), tenperatura-koefiziente negatibo nahiko handia duen erresistentzia paraleloa agertzen da (horregatik, (2.26) ereduak ez du baliorik eremu horretan). Tenperatura-koefiziente hori txikitu egiten da korronte-dentsitatea handitzean. Horren ondorioz, korronte-intentsitate bererako, tenperatura-koefizientea nabarmenagoa da varistore handietarako txikiatarako baino.

Hala, tenperatura altuetarako, varistorearen ihes-korronteen hazkuntza esponentziala nabaritu daiteke, batez ere,  $\mu A$ -ko mailetan. Edonola ere, tenperaturaren eragina aintzat ez hartzeko modukoa da 1mA-tik gora.

Horren ondorioz, nola aukeratuko dugu VDR bat? Zein dira kontuan izan beharreko ezaugarri tekniko garrantzitsuenak? Batez ere, jasan beharreko tentsio mailek baldintzatuko dute aukera:

1. Lan-tentsiorako egokia den varistorea aukeratu (DC zein AC-RMS).
2. Kontuan izan balio izendatuaren tolerantzia.
3. Gure aplikazio konkreturako egokiena dena aukeratu, honako faktore hauek kontuan izanda:

- a. Mutur-korrontea.
  - b. Energia-xurgapena.
  - c. Batez besteko potentzia xahutzea.
4. Gaintentsio baten ondorioz varistorean gerta liteken tentsioaren handitze maximoa estimatu eta babestu beharreko osagai edo zirkuituaren zurruntasun-erresistentziaren muga elektrikoarekin konparatu.

### ***VDRen elkarketak***

VDRak elkartu egin daitezke, beste osagaiekin egiten den antzera, osagaiaren parametroren baten balio ezberdinak lortzeko. VDRen kasuan serieko elkarketak erabiltzen dira  $C$  balioa handitzeko.  $n$  varistore seriean elkartuz gero:

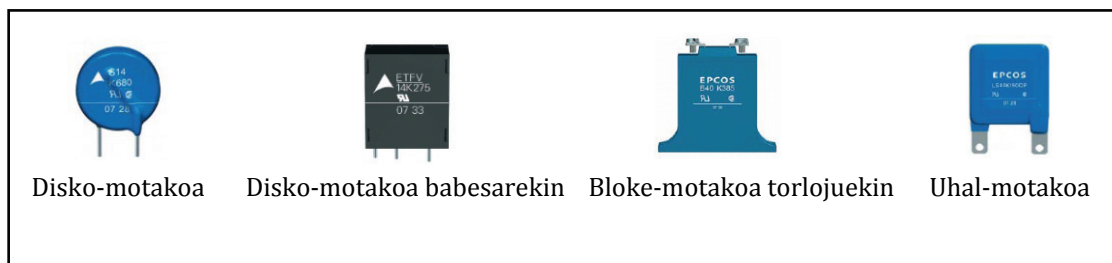
$$V = C.I^\beta \rightarrow nC.I^\beta = C'.I^\beta \quad \text{non} \quad C' = n.C \quad (2.33)$$

Elkarketa paraleloa ez da eraginkorra  $C$ -ren balio handiagoak lortzeko, aldaketa txikia baita. Egokia da, ordea, gainkorronte handiekiko fidagarritasuna handitzeko, varistore handiago bat erostea baino merkeagoa baita.

Kalkulatu ezazu zein izango litzatekeen  $C$  parametroaren balioaren aldakuntza  $n$  varistore paraleloan kokatu ezker:

### ***Formak eta kapsulak***

2.51 irudian, kapsula desberdinez babestutako EPCOS etxeko varistore batzuk ikus daitezke.

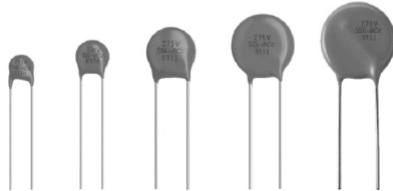


2.51 Irudia: VDRak babesteko kapsula ohizkoenak. *Information courtesy of EPCOS AG.*

Hurrengo orrialdean, Vishay etxeko varistore familia baten ezaugarri-orriaren adibide bat dugu, non fabrikatzaileak aukeraketarako azpimarratzen dituen ezaugarri teknikoak aurkitu baititzakegu.

**2381 58. ..../VDRH.....E**

Vishay BCcomponents

**High Surge Suppression Varistors**

The encapsulation is made of flammable resistant epoxy in accordance with UL94V-0.

**QUICK REFERENCE DATA**

PARAMETER	VALUE	UNIT
Maximum continuous voltage:		
RMS	11 to 680	V
DC	14 to 895	V
Maximum non-repetitive transient current $I_{NRP}$ (8 x 20 $\mu$ s)	250 to 10 000	A
Robustness of terminations	10	N
Drop test:		
Height of fall	1	m
Detailed specification	based on CECC 42000	
Storage temperature	- 40 to + 150	$^{\circ}$ C
Operating temperature	- 40 to + 125	$^{\circ}$ C

**ORDERING INFORMATION**

The varistors are available in a number of packaging options:

- Bulk
- On tape on reel
- On tape in ammpack

The basic ordering code for each option is given in tables titled Varistors on Tape on Reel, Varistors on Tape in Ammpack and Varistors in Bulk. To complete the catalog number and to determine the required operating parameters, see Electrical Data and Ordering Information table.

**FEATURES**

- Zinc oxide disc, epoxy coated
- Straight or kinked leads
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC
- Certified according to UL1449, VDE/IEC 61051 and CSA

**RoHS**  
COMPLIANT
**APPLICATION**

- Supression of transients

**DESCRIPTION**

The varistors consist of a disc of low- $\beta$  ceramic material with two tinned solid copper leads. They are coated with a layer of ochre coloured epoxy, which provides electrical, mechanical and climatic protection. The encapsulation is resistant to all cleaning solvents in accordance with "IEC 60068-2-45".

**MOUNTING**

The varistors are suitable for processing on automatic insertion and cutting and bending equipment.

**Typical Soldering**

235  $^{\circ}$ C, duration: 5 s (Pb-bearing)  
245  $^{\circ}$ C, duration: 5 s (Lead (Pb)-free)

**Resistance to soldering heat**

260  $^{\circ}$ C; duration: 10 s max.

**MARKING**

The varistors are marked with the following information:

- Maximum continuous RMS voltage
- Series number (582, 583, 584, 585 or 586)
- Manufacture logo
- Date of manufacture (YYWW)

**INFLAMMABILITY**

The varistors are non-flammable.

**ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION**

MAXIMUM CONTINUOUS VOLTAGE		VOLTAGE <sup>(3)</sup> at 1 mA		MAXIMUM VOLTAGE at STATED CURRENT		MAXIMUM ENERGY <sup>(4)</sup> (10 x 1000 $\mu$ s)		MAXIMUM NON-REP. TRANSIENT CURRENT <sup>(5)</sup> $I_{NRP}$ (8 x 20 $\mu$ s)		TYPICAL CAPACITANCE at 1 kHz		CATALOG NUMBERS <sup>(1)</sup>	
RMS <sup>(2)</sup> (V)	DC (V)	(V)	(V)	I (A)	(J)	(A)	(pF)	12 NC <sup>(6)</sup>	SAP <sup>(7)</sup>				
11	14	18	40	1.0	0.7	250	1600	2381 582 x110y	VDRH05B011xyE				
			36	2.5	1.5	500	3600	2381 583 x110y	VDRH07D011xyE				
			36	5.0	2.6	1000	8000	2381 584 x110y	VDRH10G011xyE				
			36	10.0	5.2	2000	20 000	2381 585 x110y	VDRH14M011xyE				
			36	20.0	13.0	3000	40 000	2381 586 x110y	VDRH20R011ByE				

www.vishay.com  
34

For technical questions, contact: [nlr@vishay.com](mailto:nlr@vishay.com)

Document Number: 29082  
Revision: 09-Oct-08

**2.6 Orria:** Babeserako erabiltzeko VDRaren ezaugarrien xehetasunak. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

## 2.5.2 Aplikazioak

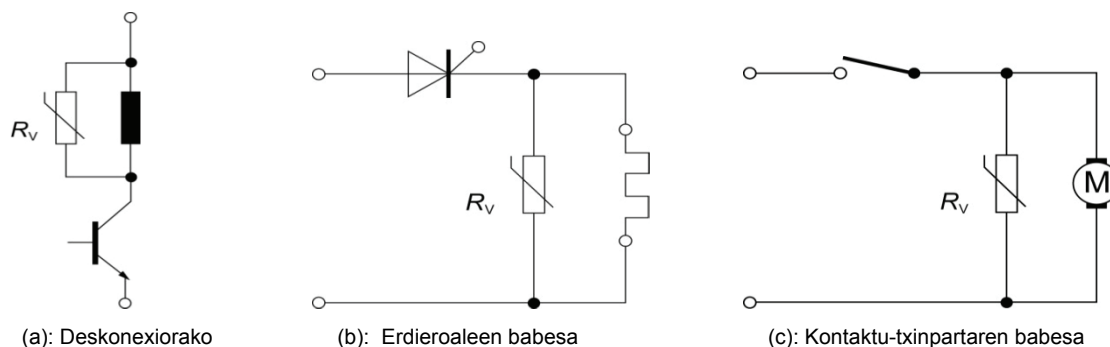
VDRa osagai ez-lineal egokiena da sistema elektronikoak gaintentsioetatik babesteko. Tentsioak mugatzeko karga inдукtiboan deskonexioak gertatzen direnean ere, egokiak dira. Beste aplikazio batzuk ere posibleak dira, noski.

### 2.5.2.1 Babes-zirkuituak

VDRak beti konektatzen dira babestu nahi den gailu edo sistemarekin paraleloan, bai kanpotiko iragankorren aurka babesteko (2.52 Irudiak), bai sistemaren barruan sorturiko iragankorretatik babesteko (2.53 Irudiak).



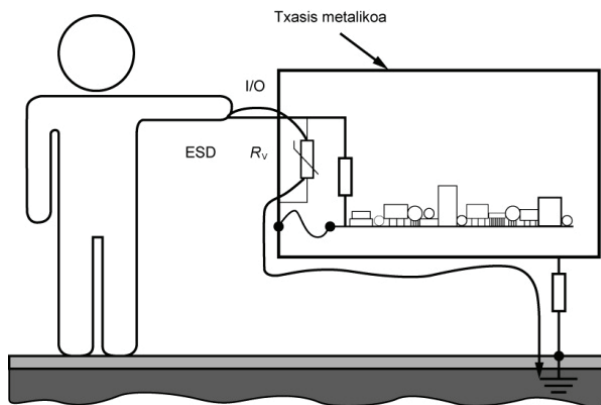
**2.52 Irudia:** Ekipo elektriko eta elektronikoak kanpotiko gaintentsioengandik babesteko muntaiak.



**2.53 Irudia:** Osagai eta gailu elektronikoak babesteko muntaiak.

### 2.5.2.2 ESD (deskarga elektrostatikoak)

Gero eta osagai elektroniko txikiagoak eta gero eta seinale-maila baxuagoak erabiltzen dituzten egungo sistema elektronikoaren suszeptibilitatea gero eta handiagoa da deskarga elektrostatikoekiko. Askotan, nahikoa da atzamarrarekin tresna elektroniko bat ukitzea sistemaren funtzionamenduaren asaldua edo osagaiaren baten matxura sorrarazteko. VDe horrelako egoeratan ere eman dezakete babesa (2.54 Irudia).

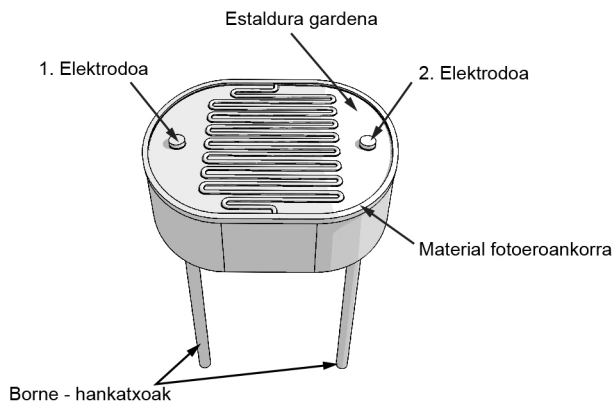


**2.54 Irudia:** Deskarga elektrostatikoek osagai eta gailu elektronikoak matxuratu ditzakete. VDRak erabilia, lurreranzko bidea ematen zaie, ekipo elektronikoak babestuz.

## 2.6 LDR erresistoreak

LDR *Light Dependent Resistor* (argiaren mendeko erresistorea) ingelesezko hitzen akronimoa da. *Fotoerresistore* hitza ere maiz erabiltzen da osagai horiek izendatzeko. LDRak argi irradiazioaren intentsitatearen arabera aldatzen du bere erresistibitatea. Intentsitatea soilik ez, argiaren uhin-luzera ere kontuan hartu beharrekoa da, sentikortasun desberdina izaten baitute uhin-luzera desberdinetarako. LDRen ohizko aplikazioak argi ikusgairako dira, ordea, eta, horren ondorioz, espektro horretarako fabrikatzen dira.

Fotoerresistoreak egiteko, material erdieroaleak erabiltzen dira. Jakina denez, material erdieroaleak fotoeroankorrek dira; hau da, argizatuz gero, eroankorragoak suertatzen dira, absorbatutako fotoiek sorrarazten dituzten elektro-hutsuneen bikote kopuruaren hazkuntzaren ondorioz (uhin-luzera egokia erabilia, noski). Ohikoenak talio-sulfuroa, kadmio-sulfuroa, kadmio-seleniuroa eta berun-seleniuroa dira. Osagaia fabrikatzeko material geldoz egindako xaflatxoaren gainean (normalki zeramiko), elektrodoak jartzen dira, eta, horien gainean, material fotosentikorra zabaltzen da, eta multzoa hermetikoki gordetzen da beirazko anpoila baten barruan. Sarritan, anpoilaren ordean, laka edo material plastiko gardenezko estaldurak erabiltzen dira. Azkenik, kanpotikoko kontaktu-hankatxoak jartzen dira.



**2.55 Irudia:** LDR baten egitura. Goialdean material erdieroalez egindako pista fotosentikorra ikus daiteke.

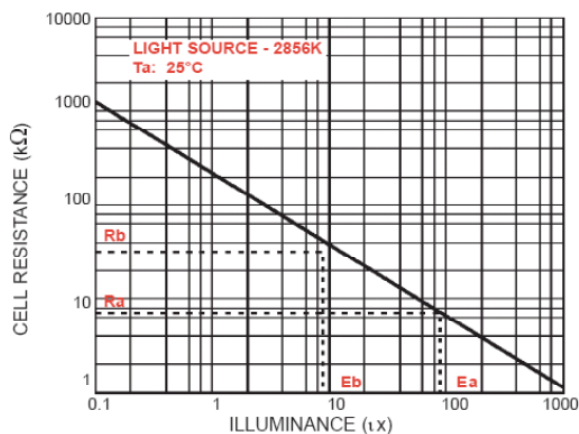
## 2.6.1 Ezaugarri Tekniko Orokorrak

### *Erresistentzia/argiztapena kurba bereizgarria (R/L)*

Osagaiaren erresistentziaren aldaketa argiztapenaren menpe erakusten duen grafikoa dugu. Iluntasunean, osagaiak erresistentzia maximoa du, eta, argiztapena handitu ahala, erresistentziaren balioa txikituz doa. Aldakuntza mailak, edo, beste era batera esanda, kurba horren maldak (deribatua) osagaiaren sentikortasuna ( $\gamma$ ) adierazten du. Material erdieroaleen eroankortasuna esponentzialki handitzen da jasotako argiztapenarekin, eta, horren ondorioz, fotoerresistoreen erresistentziaren aldakuntza ere esponentziala da. Aldakuntza hori deskribatzeko normalean erabiltzen den eredu matematiko ximpleak bi konstante ditu:  $A$  biderkatzailea eta  $\alpha$  berretzailea:

$$R = A.L^\alpha \quad (2.34)$$

non  $R$  erresistentzia eta  $L$  argiztapena (normalki luxetan emanda) baitira, hurrenez hurren. Eskala logaritmikoa erabilia, kurba bereizgarriaren itxura ia lineala da (2.52 Irudia). Kurba horiek uhin-luzera eta tenperatura jakinerako adierazi behar dira, aldagai bi horiek ere eragin nabarmena baitute LDRaren erresistibitatearen gainean.



**2.56 Irudia:** LDR baten erresistentziak argiztapenarekiko duen mendekotasuna erakusten duen kurba bereizgarria (*Selco Products*)

### **Tolerantzia**

LDRen erresistentziaren balioak osagaiaren sentikortasuna definitzen du, argiztapen maila jakinerako. Beste edozein osagaitan bezala, fabrikazio-prozesuek ezin dute bermatu LDR guztiak berdin-berdinak direnik, eta, horren ondorioz, tolerantzia bat izango dugu emandako balio izendatuetan. LDRen tolerantzia txikia da argiztapen maila handietarako, eta handitu egiten da argiztapen maila baxuetarako.

### **Iluntasuneko erresistentzia**

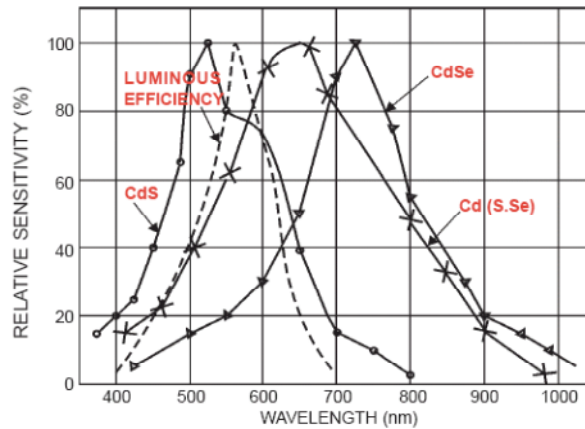
LDRaren erresistentziaren balioa da iluntasunerako. Osagaiaren erresistentziaren balio maximoa da, tenperatura jakinerako. Ohiko balioak 500K $\Omega$  eta 20M $\Omega$  artekoak dira.

### **Sentikortasun espektrala**

Jakina denez, fotoien energia argiaren uhin-luzerarekiko proportzionala da. Horren ondorioz, erdieroaleetan, elektroiak askatzeko uhin-luzera desberdinetako argien ahalmena ez da berdina. Izatez, erdieroale bakoitzak fotokonduktibitateko energia maila desberdina du, eta energia-



tarte jakineko fotoiak behar ditu, fotokonduktibitate-efektua gerta dadin. Horrela, LDRak egiteko erabilitako material erdieroalearen arabera, jasotako argiaren uhin-luzera bakoitzerako, sentikortasun maila ezberdina izango dugu. Fotoerresistorearen sentikortasunaren maila jasotako argiaren uhin-luzeraren arabera erakusten duen grafikoari sentikortasun espektraleko kurba deritzo.



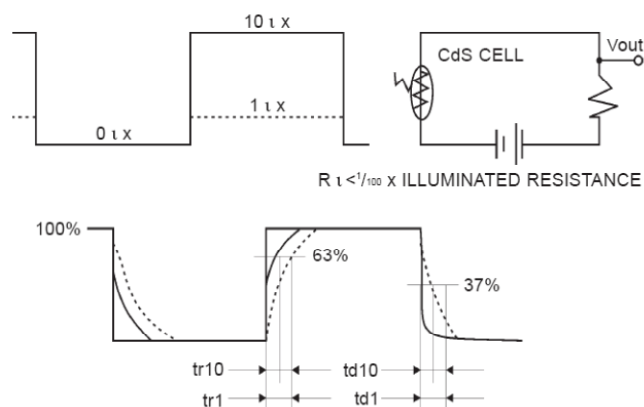
2.57 Irudia. LDRen sentikortasun espektrala erabilitako material erdieroalearen arabera da. (Selco Products)

Esan bezala, LDRak argi ikusgaiko aplikazioetarako fabrikatzen dira, eta erabilitako materialek espektriko ikusgaiaren barne (400-800 nm) izaten dute sentikortasun maximoa. Sentikortasun maximoa uhin-luzerari *muturreko uhin-luzera* deritzo ( $\lambda_p$ ). Gizakion begiaren antzerako sentikortasun espektrala duten LDRak ere fabrikatzen dira.

### Berreskurapen-denbora edo erantzun-abiadura

LDRen erresistentzia ez da berehala aldatzen argiztapen-maila aldatzen denean. Aldiz, denbora txiki bat behar dute argiztapen berriari dagokion erresistentzia lortzeko. LDRak argiztapen maila berrietara beren erresistentzia zein abiadurarekin moldatzen duten ezaugarritzeko, erantzun-abiadura edo berreskurapen-denbora kontzeptuak erabiltzen dira. Balio horiek argiztapen mailak azkar aldatzen direnean soilik dira kontuan izatekoak.

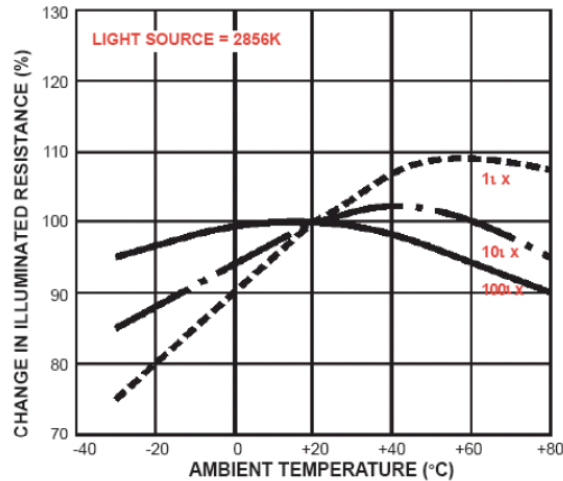
*Igoera-denbora* LDRak bere erresistentziaren azken balioaren % 63 lortzeko beharrezko duen denbora da, argiztapena handitzen denean. *Jaitziera-denbora* erresistentziaren azken balioaren %37 lortzeko beharrezko denbora da, argiztapena txikitzen denean. Erantzun-abiadura faktore anitzen mendekoa da: batez ere, argiztapen-maila, argiztapenaren historia eta ingurune tenperatura. Erantzun-abiadura handiagoa da argiztapen maila handietarako, eta motelagoa, txikietarako. Ohiko balioak milisegundotakoak dira.



2.58 irudia: Erantzun-abiaduraren neurkera (10 lux eta 1 lux-erako). Selco Products.

**Temperatura-koefizientea**

Dakigunez, material erdieroaleen erresistibitateak temperaturarekiko mendekotasun nabaria du (gogoratu NTC erresistoreak). LDRetan, horren ondorioz, temperatura-koefizientea nabarmena izan daiteke. Koefizientearen balioa (negatiboa zein positiboa) erabilitako material erdieroalea eta fabrikazio prozeduraren araberakoa da. Efektu hori nabariagoa da argiztapen-maila txikitarako. Beraz, temperaturaren eragina txikitzeko, komeni da argiztapen maila altuak erabiltzea.



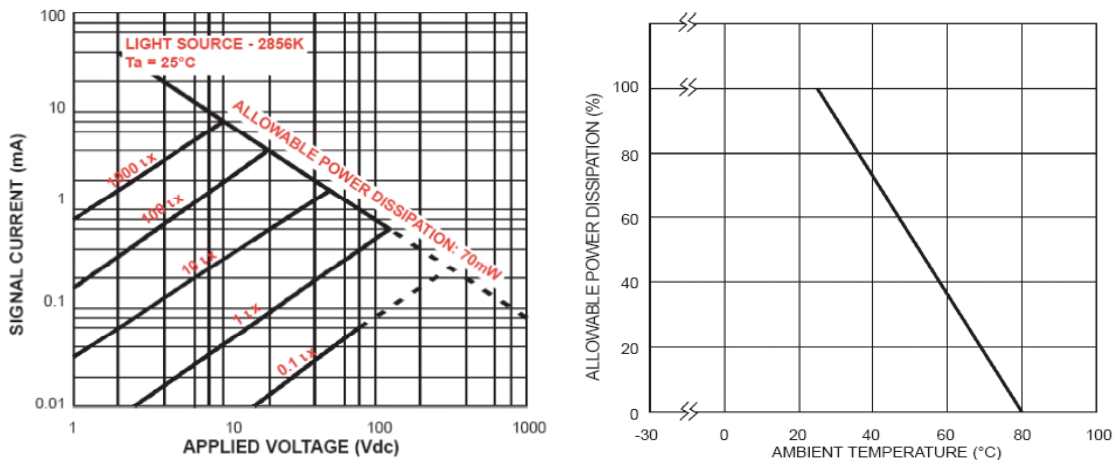
**2.59 Irudia:** LDRek temperaturarekiko mendekotasun nabarmena dute. Hobe argiztapen maila handiekin erabili jito termiko erlatiboa txikitzeko. *Selco Products.*

**Tentsio maximoa**

LDRaren terminalen arteko tentsioak sekula gainditu behar ez duen balioa da. Ohiko balioak 100V eta 300V artekoak dira.

**Potentzia xahutzea**

Kontuan izan behar dugu LDRak xahutuko duen potentzia ez dela aplikatutako tentsio eta korrontearen araberakoa izango soilik; baizik eta argiztapenaren aldaketekin ere aldatuko dela, argiztapenarekin erresistentzia aldatzen baita. Xahutu daitekeen potentzia maximoa, zer esanik ez, ingurune-temperaturaren hazkuntzarekin txikituko da ere.

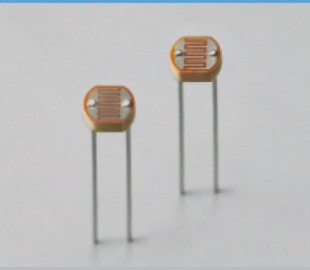


**2.60 Irudia:** LDR batek xahutu dezakeen potentzia maximoa ez gainditzeko argiztapenaren aldaketak kontutan izan beharko ditugu (eskuma). Bestalde, beste edozein osagaietan bezala, inguruneko tenperaturak ere eragina izango du (ezkerra). *Selco Products.*

VISIBLE DETECTOR

## CdS photoconductive cell Resin coating type (5R type)

Standard type designed for general-purpose, wide application



CdS photoconductive cells utilize photoconductive effects in semiconductors that decrease their resistance when illuminated by light. These sensors are non-polar resistive elements with spectral response characteristics close to the human eye (luminous efficiency), thus making their operating circuits simple and small.

- Features

  - Small size, thin package
  - Low price
  - Wide range of sensor lineup

Applications

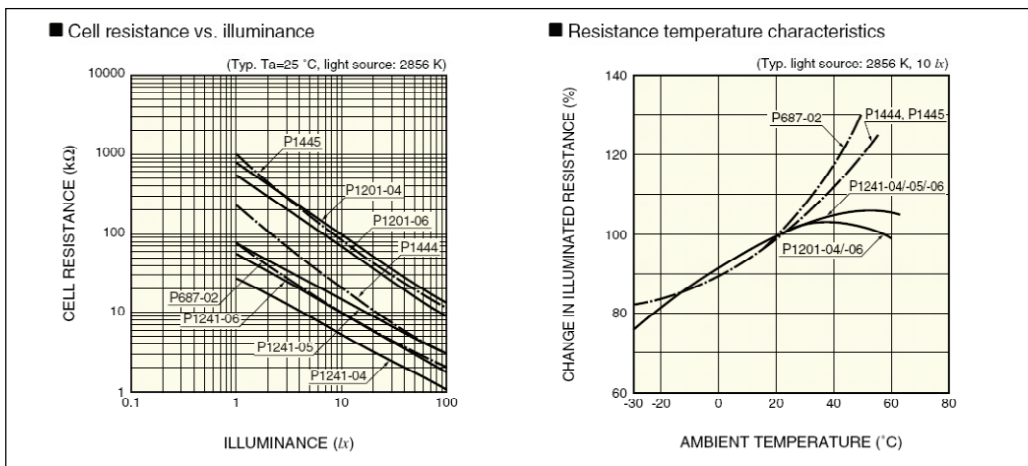
  - Programed electronic shutter and stroboscope light control for compact camera
  - Auto dimmer for digital display, CRT and room illumination
  - Sensor for automatic light on/off
  - Sensor for electronic toy and teaching aid material

■ Absolute maximum ratings / Characteristics (Typ. Ta=25 °C, unless otherwise noted)

Type No.	Absolute maximum ratings				Characteristics *1					
	Supply voltage (Vdc)	Power dissipation P (mW)	Ambient temperature Ta (°C)	Peak sensitivity wavelength λp (nm)	Cell resistance *2			γ <sub>10</sub> <sup>100</sup> *4	Response time 10 lx *5	
					10 lx, 2856 K		0 lx *3		Rise time tr (ms)	Fall time tf (ms)
					Min. (kΩ)	Max. (kΩ)	Min. (MΩ)			
P687-02	100	30	-30 to +50	620	5	20	5.0	0.70	60	25
P1201-04		50	-30 to +60	540	50	200	20			
P1201-06	50							-30 to +60	560	3
P1241-04		50	30	-30 to +60	560	8	24			0.5
P1241-05	100					30	-30 to +50	620	5	20
P1241-06		100	30	-30 to +50	620				10	50
P1444	100					30	-30 to +50	620	48	140
P1445		100	30	-30 to +50	620				48	140

\*1: All characteristics are measured after exposure to light (100 to 500 lx) for one to two hours.  
 \*2: The light source is a standard tungsten lamp operated at a color temperature of 2856 K.  
 \*3: Measured 10 seconds after shutting off the 10 lx light.  
 \*4: Typical gamma characteristics (within ±0.10 variations) between 100 lx to 10 lx  

$$\gamma_{10}^{100} = \frac{\log(R_{100}) - \log(R_{10})}{\log(E_{100}) - \log(E_{10})}$$
 E<sub>100</sub>, E<sub>10</sub>: illuminance 100 lx, 10 lx  
 R<sub>100</sub>, R<sub>10</sub>: resistance at 100 lx and 10 lx respectively  
 \*5: The rise time is the time required for the sensor resistance to reach 63 % of the saturated conductance level (when fully illuminated). The fall time is the time required for the sensor resistance to decay from the saturated conductance level to 37 %.

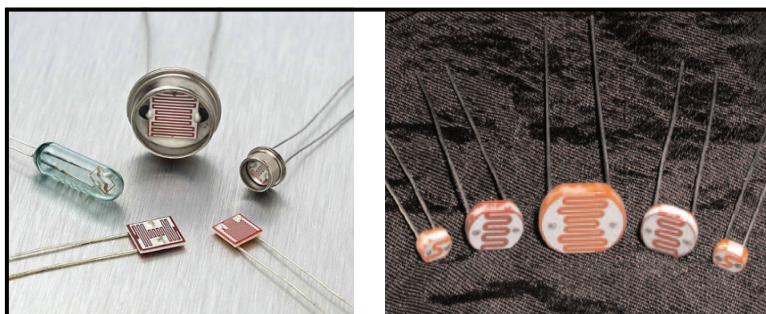


2.7 Orria: LDR egoikiena aukeratzeko ezaugarri-orria aztertu behar dugu.

Aurreko orrialdean *Selco* etxeko LDR baten ezaugarri-orria dugu, non aipatutako ezaugarri teknikoen balioen adibide bat ikus baitezakegu.

### ***Kapsulak eta formak***

LDRen guztien itxura nahiko antzerakoa da. Beirazko edo plastikozko anpoilaren barruan zein geruza plastiko babeslearekin aurki daitezke.



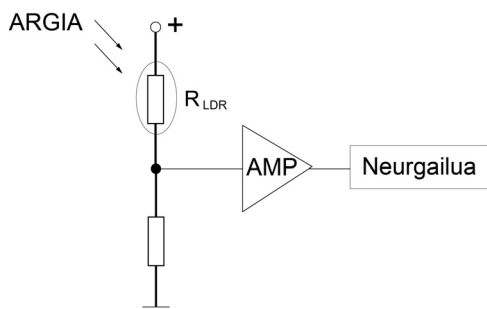
**2.61 Irudia:** LDRak kapsulatzeke aukera desberdinak.

LDR bat aukeratzeko, beraz, honako ezaugarri hauek aztertu beharko ditugu batez ere:

1. Izango ditugun argiztapen-mailetarako LDRaren erresistentzia egokia dela ( $R/L$  kurba bereizgarria eta iluntasuneko erresistentzia).
2. Tentsio maximoa gainditzen ez dugula.
3. Potentzia maximoa gaindituko ez dugula, izango dugun argiztapen-mailak kontuan izanda.
4. Erantzun-denborak (argiztapena azkar aldatuko bada).
5. Tenperaturaren eragina (tenperatura-koefizientea).

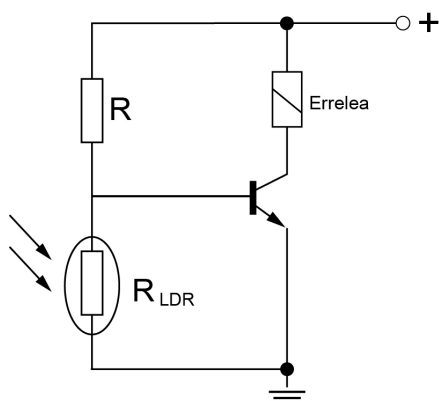
## **2.6.2 Aplikazio-adibideak**

Zirkuitu elektronikoen argiztapenaren aldakuntzei erantzun behar dietenean erabiltzen dira LDRak. Ez dira doitasun handiko aplikazioak (fotometria), ez abiadura handiko aplikazioetarako (komunikazio optikoak, maiztasun handiko takometroak ea) egokiak, horietarako osagai optoelektroniko aktiboak erabiltzen baitira (fotodiodoak, fototransistoreak), baina beste abantaila batzuk badituzte, hala nola merkeagoak direla, argiztapen maila tarte zabalerako erabilgarriak direla, sentikortasun handikoak direla eta tentsio handiekin erabil daitezkeela. Horrela, aplikazio askotarako dira erabilgarriak. Hona hemen ohiko aplikazio-zirkuitu batzuk: kameren esposizio-denboren kontrola, fotokopiagailuak, kolorimetria, dentsiometria, argiztapen elektrikoaren kontrola, ke-detektagailuak, kaleetako argiztapenaren kommutazioa, posizio-sentsoreak, presentzia/absentzia detektagailuak etab. Hona hemen ohiko zirkuitu batzuen eskema sinplifikatuak.



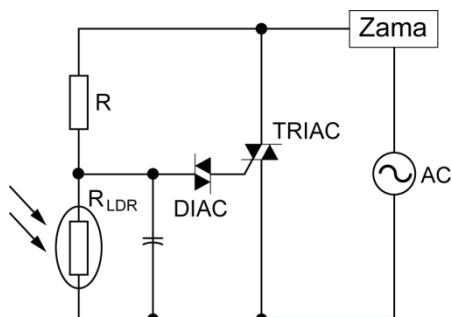
Inguruneko argiztapenaren neurketa: kameren esposatze-kontrola, pantailen argitasunaren doitzea... Zirkuitua azter ezazu.

**2.62 Irudia:** Argiztapen handitu ahala irteerako tentsioa ere proportzionalki handituko da.



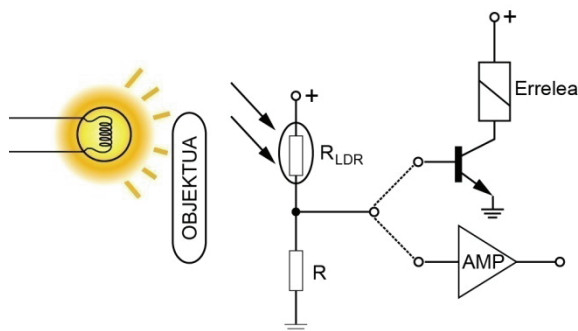
Erreleen aktibazioa (DC): Ke detektagailuak, ibilgailuen argien aktibazioa... Zirkuitua azter ezazu.

**2.63 Irudia:** Argiztapen maila atariko balioa baino txikiagoa denean transistorearen korrontea nahikoa da errelea aktibatzen.



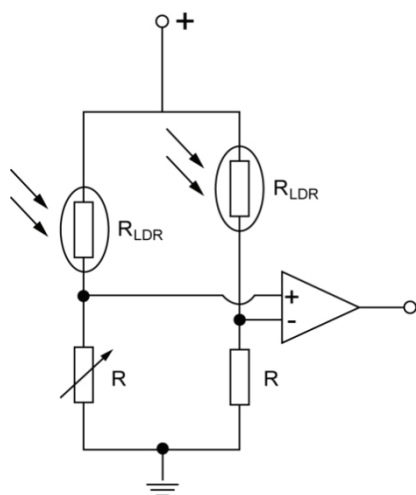
Erreleen aktibazioa (AC): gaueko argiztapenaren kontrola, kaleetako argiztapenaren piztea/itzaltzea, sugarren detekzioa... Zer gertatuko da LDRak jasotzen duen argiztapena handitzean/txikitzean?

**2.64 Irudia:** AC-z elikatutako zamak aktibatzen/desaktibatzen zirkuitua.



Objektuen antzematea/neurketa: txartel irakurleak, segurtasun-sistemak, kolorimetria, dentsimetria... Zer gertatuko da objektuak itzala egiterakoan?

**2.65 Irudia:** LDRa eta argi-iturriaren artean objektu bat igarotzean itzala sortzen du.



Zubi-zirkuituak: *autofocusa*, serbo fotoelektronikoak,... Zirkuitua azter ezazu.

**2.66 Irudia:** Zubi zirkuituaren bi adarretan kokatu dira LDRak argiaren intentsitatea bi puntu aldenduetan somatzeko.

## 2.7 Bestelako erresistore ez-linealak

### 2.7.1 RTD: Temperatura Detektagailu Erresistiboak

RTD ingeleseko *Resistive Temperature Detector* hitzen akronimoa da. Izenak argi adierazten duenez, temperatura neurtzeko erabiltzen den erresistorea da. Jakinaenez, metalen erresistibitatea temperaturarekin handitzen da, eta, horren ondorioz, aldakuntza hori aprobez daiteke temperatura-aldaketak sumatzeko. RTDak fabrikatzeko, metal desberdinak erabili daitezke, hala nola, urrea, zilarra, kobrea, platinoa, tungstenoa eta nikela. Kontuan hartzekoa da neurketa-sistemaren errorea txikitzeko garrantzitsua dela RTDaren erresistentzia izendatua ahalik eta handiena izatea. Horren ondorioz, erresistibitate txikiko metalak erabiltzen badira, material gehiago erabili behar da.

Metala	Erresistibitatea ( $\Omega/\text{cmf}$ )
Urrea (Au)	13,00
Zilarra (Ag)	8,8
Kobrea (Cu)	9,26
Platinoa (Pt)	59,00
Tungstenoa (W)	30,00
Nikela (Ni)	36,00

2.5 Taula

Beren erresistibitatea txikia izanik, zilar zein urrezko RTDak ez dira ohikoak. Tungstenoak erresistibitate handia du, baina temperatura handien neurketarako soilik erabiltzen da, lantzeko zaila baita. Kobrea noizbehinka erabiltzen da, linealtasun handikoa eta merkea delako, baina, erresistibitate txikikoaenez, kobrezko RTDak nahiko luzeak izaten dira. Bestalde, kobreaken temperaturaren goi-muga  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  da soilik. Edonola ere, nikelzko RTDen antzera, doitasun txikiko aplikazioetarako, oso erabilgarria da. Metal erabiliena, ordea, platinoa da.

Platinoak erresistibitate handia du, eta, nahiz eta aipatutako metalen artean sentikortasun txikienekoa izan (hau da, temperatura-koefiziente txikienekoa da), oso linealtasun handia (temperatura-koefiziente konstantea:  $\alpha=0,00385-0,003923\text{ }\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$ ) eta egonkortasun

nabarmena ditu. Bestalde, erabilera tenperatura-tarterik zabalena du (-269 eta 800 °C artekoa). Platinozko RTDei Pt-100 ere deitzen zaie, 0° C-an 100Ω-eko erresistentzia izan dezaten fabrikatzen direlako. Azter ditzagun osagai horien ezaugarri tekniko garrantzitsuenak:

### Zehaztasuna

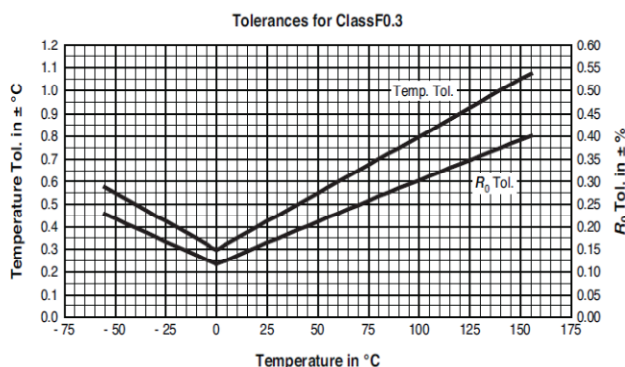
Platinozko RTDak bi klasetakoak izaten dira: A klasekoak eta B klasekoak. A klasekoak zehaztasun handikoak dira, eta izotz-puntuko tolerantzia  $\pm 0,06\Omega$  dute. B klasekoen tolerantzia, berriz,  $\pm 0,12\Omega$  da, eta hori klase estandarra da. Kontuan izan behar dugu tenperatura handiagoetarako zehaztasuna txikitu egiten dela (ikus 2.67 irudia).

### Egonkortasuna

Denboran zehar gertatzen den jitoaren neurria da. Fabrikatzaile gehienek urteko 0,05°C baino jito txikiagoak adierazten dituzte.

### Erantzun-denbora

Temperatura-aldaketak direla eta osagaiak duen erreakzio-denbora adierazten du. Erantzun-denbora sentsorearen masa termikoa eta kokatzeko moduaren (zuzenean murgildua ala kapsuladuna) araberakoa da. Ohiko balioak, 0,3-3 segundo, azkarrenentzat dira, eta 15-20 segundo, motelenentzat. Erantzun-denbora azkeneko tenperaturari dagokion erresistentziaren % 63,2 lortzen denean neurtzen da.



2.67 Irudia: 1B klaseko platinozko RTD baten tolerantzia erakusten duen grafikoa. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

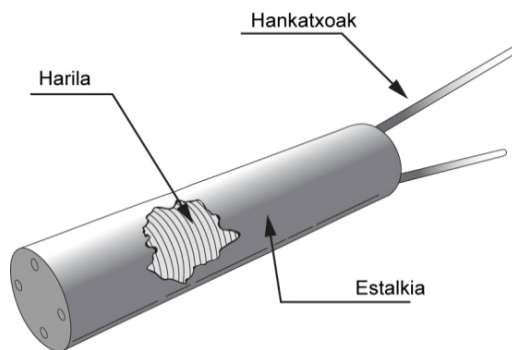
### Berezko berokuntza

RTDak oso hari finekin fabrikatzen direnez, erraz berotzen dira korrante elektrikoa igarotzean. Berezko berokuntza-efektua ekidin beharrekoa da, tenperaturaren neurketa faltsutuko lukeelako. RTD gehienak 1mA baino korrante txikiagoekin lan egiteko diseinatuta daude.

#### 2.7.1.1 RTD motak

Hiru oinarritzko platinozko RTD mota daude: harilkatu akoplatuak, harilkatu askeak eta geruza mehekoak.

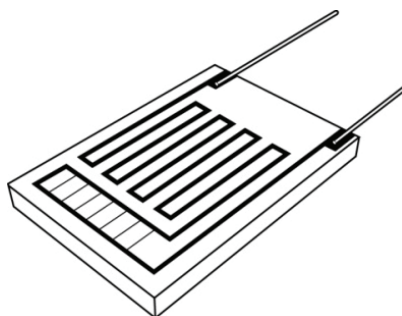
**Harilkatu akoplatuak:** Sinpleena da. Metalezko haria ardatz isolatzailearen inguruan harilkatuz lortzen da. Ardatzaren eta metalezko hariaren zabalpen termikoaren koefizienteek parekoak izan behar dute tentsio mekanikorik sor ez dadin. Gogoan izan harian gerta daitezkeen tentsio mekanikoek neurketa-erroreak sorraraziko lituzketela (ikus 2.7.2 atala *Tentsio-Galgak*).



2.68 Irudia: RTD harilkatu akoplatu baten egitura.

**Harilkatu askeak:** Tentsio mekanikoak ekiditeko metodoa da. Haril metalikoa osagaiaren bestelako materialen eragin mekanikoetatik isolatuz lortzen da.

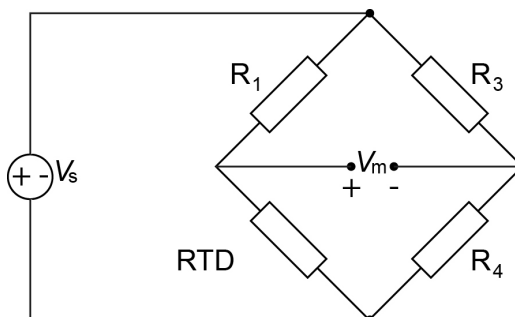
**Geruza mehekoak:** Zeramikazko substratuaren gainean platinozko geruza fina ( $10-100 \text{ \AA}$ ) ezarriz fabrikatzen dira. Azkenik, platinozko geruza epoxi edo beirazko babes-geruza batez estaltzen da. Kostu txikikoak eta masa termiko txikikoak dira (erantzun-denbora txikiak), baina RTD harilkatuek baino egonkortasun txikiagoa dute.



2.69 Irudia: Geruza meheko RTDa.

### 2.7.1.2 Tenperaturaren neurketa

RTDak tenperatura-sentsoreak dira, eta, zirkuitu elektriko eta elektronikoetan, ingurune desberdinetako tenperaturaren neurketarako erabiltzen dira. Tenperatura seinale elektriko bidez neurtzeko, oinarritzko topologia zubi-zirkuituak dira (2.70 Irudia). Zirkuituaren elikadura-tentsioa ( $V_s$ ) jakinda eta  $V_0$  irteerako tentsioa neurtuta, RTDaren tenperatura kalkula dezakegu.



2.70 Irudia: RTDa sensore gisa darabilen tenperatura neurtzeko zubi-zirkuitua.



Horretarako, RTDaren erresistentzia eta temperaturaren arteko erlazioa ezagutu behar da. Platinozko RTDen linealtasuna handia denez, ohikoena honako eredu lineal hau erabiltzea da:

$$R_{RTD}(T) = R_0 (1 + \alpha (T - T_0)) \quad (2.35)$$

non  $R_0$  erresistentziaren balioa baita  $0^\circ\text{C}$ -an. Platinoaren kasurako,

$$R_{RTD}(T) = 100\Omega (1 + 0,00385^\circ\text{C}^{-1} \cdot T) \quad (2.36)$$

2.70 irudiko zubi-zirkuituaren irteerako tentsioaren adierazpena idatz ezazu temperaturaren funtzioan  $V_m(T)$ , (2.36) ekuazioan emandako eredu lineala erabiliz:

Eredu horren bidez lor daitekeen zehaztasuna  $\pm 4,3^\circ\text{C}$ -koa izan daiteke laneko temperatura-tarte osorako. Zehaztasun handiagoa behar izanez gero, Calendar-Van Dusen-en laugarren ordenako ekuazioa erabiliko dugu:

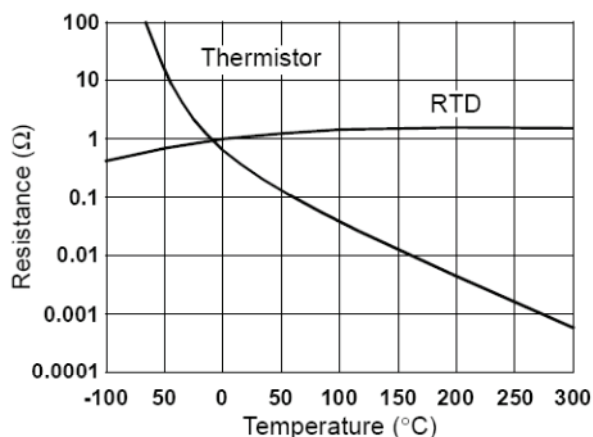
$$R_{RTD}(T) = R_0 \left( 1 + \alpha \left( T - \delta - \left( \frac{T}{100} - 1 \right) \left( \frac{T}{100} \right) - \beta \left( \frac{T}{100} - 1 \right) \left( \frac{T}{100} \right)^3 \right) \right) \quad (2.37)$$

non  $\delta$  eta  $\beta$  konstanteen balioak RTD motaren arabekoak baitira.

### **RTD ala NTC?**

2.3.2 atalean azaldu dugu NTCak zubi-zirkuituetan konektatuta temperatura neurtzeko osagai aproposak direla. Zein osagai erabiltzea komeni da, beraz? RTDa ala NTCa? RTDak abantaila nabariak ditu:

- Lan-tenperatura tarte handiagoa du.
- Linealtasun hobea.
- Zehaztasun handiagoa.
- Egonkorragoak dira.



**2.71 Irudia:** NTCaren (termistorea) eta RTDaren arteko temperatura-kurba ezaugarrien alderaketa. (*Microchip Technology Inc.*)

Baina NTCak ere baditu bertute batzuk RTDaren aldean:

- Sentikortasuna handiagoa.
- Erresistentzia handiagoak.
- Merkeagoak.

Laburbilduz, doitasun eta kostu txikiko aplikazioetan eta temperatura ertainetarako, NTCak erabil daitezke, baina, zehaztasun handirako eta tenperatura-tarte zabaletarako, RTDak dira egokienak.

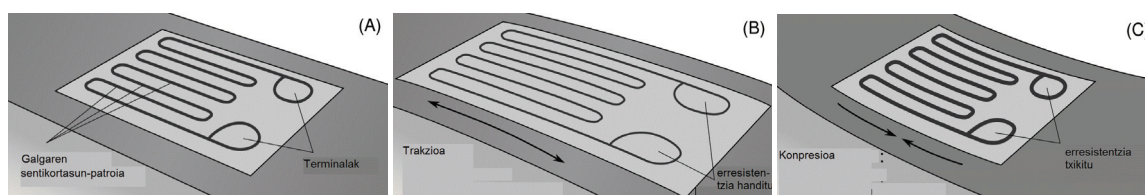
## 2.7.2 Tentsio-Galgak

Metalezko erresistentziak deformazioak eta, zeharka, tentsio mekanikoak, indarra, mementua, presioa edo azelerazioa neurtzeko ere erabil daitezke. Gogora dezagun eroaleen erresistentzia elektrikoaren formula:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.38)$$

Trakzioaren ondorioz  $\varepsilon$  deformazio bat gertatzen denean, metalezko galga baten luzera handituko litzateke, eta sekzioa txikitu (2.72 b irudia). Ondorioa: erresistentziaren balioa handitzen da. Eta alderantziz, konpresioaren ondorioz, erresistentzia txikituko litzateke (2.72 c irudia).

$$\varepsilon = \frac{dL}{L} \quad (2.39)$$



**2.72 Irudia:** Tentsio-galga pausagunean (A), trakzio-indarra pairatzen (B) eta konpresio-indarra pairatzen (C). Figure: *Creative Commons*.

Indar mekanikoak neurtzeko, materialen deformazioa eta pairatutako esfortzua ( $\tau$ ) erlazionatu behar dira. Horretarako, material bakoitzaren *elastikotasunaren modulua* edo *Young-en modulua* ( $E$ ) ezagutu beharko dugu:

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} = \frac{F/A}{dL/L} \quad (2.40)$$

Galgaren sentikortasuna —hau da, erresistentziaren aldaketa pairatutako deformazioaren ondorioz— *galgaren faktorea* ( $K$ ) konstantearen bidez adierazten da:

$$K = \frac{dR/R}{dL/L} = \frac{dR/R}{\varepsilon} \quad (2.41)$$

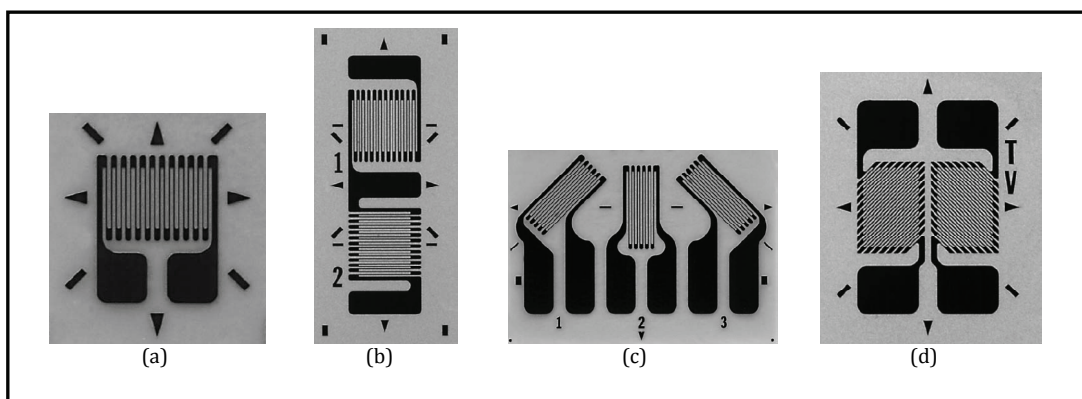
Galgak egiteko erabiltzen diren materialak galga-motaren arabera dira:

- Tenperatura-koefiziente txikiko aleazio gogorrak: Cu-Ni.
- Tenperatura handietarako galga-faktore ertainekoak: Ni-Cr.
- Galga-faktore handikoak: Ge edo Si intrintsekoak.

Galga egokia aukeratzeko, forma, galga-faktorea, erresistentzia izendatua, lan-tenperaturaren tartea eta tenperatura-koefizientea hartuko ditugu aintzat. Azken ezaugarri hori garrantzitsua da, tenperaturak eragina izango baitu galgaren erresistentziaren gainean, eta, horren ondorioz, deformazioaren (indarraren) neurketa faltsutu dezake. Erresistentzia izendatuak  $100\Omega$ - $600\Omega$  tartean daude; galga-faktoreak 2 ingurukoak dira, eta lan-tenperatura maximoak  $30\text{ }^\circ\text{C}$ - $800\text{ }^\circ\text{C}$  tartekoak dira, galga-motaren arabera.

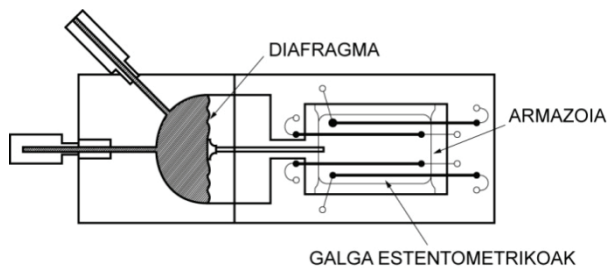
### 2.7.2.1 Galga-motak

**Itsastekoak (bonded):** Ohikoenak dira. Deformagaiaren gainean itsatsi egin behar dira. Ezaugarri eta forma askotakoak daude.



**2.73 Irudia:** Tentsio-galga forma ezberdinen adibide batzuk. (a) patroia lineala, norabide bakarrez neurtzeko. (b) T erroseta, norabide ortogonaletan neurtzeko. (c) Erroseta errektangularrak,  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  eta  $90^\circ$ -tako orientazioekin. (d) Torque errosetak

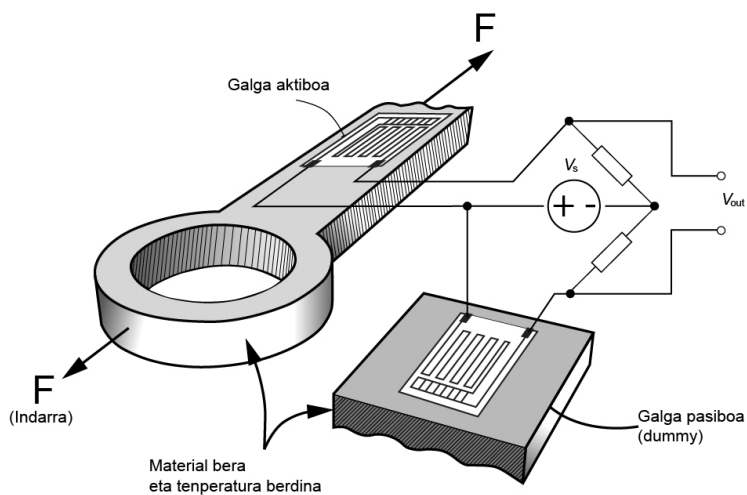
**Itsatsi gabek (unbonded):** Zuzenean esfortzuak neurtzeko muntatuta daude, beste elementu batzuekin.



**2.70 irudia:** Esfortzuak zuzenean neurtzeko gailua. Diafragmak barneko armazoiaren itsatsitako galgaren deformazioa eragiten du.

### Indarren neurketa

2.71 irudian indarra neurtzeko muntaketa ikus dezakegu. Hor ere, zubi-zirkuitua erabiltzen da. Adi galga pasiboari (*dummy*); galga aktiboak tenperatura aldaketan ondorioz izan ditzakeen erresistentzia-aldaketak konpentsatzeko jarrita dago.



**2.74 irudia:** Indarra neurtzeko, indar horren pean gorputz solido batek jasandako deformazioa neurtu daiteke: karga-zelula

Kalkula ezazu aplikatutako  $F$  indarraren menpe 2.74 irudiko muntaketako zubi-zirkuituaren irteeran neurtuko genukeen tentsio elektrikoa.

Demostra ezazu halaber galga pasiboak galga aktiboan tenperaturak eragindako errorea konpentsatzen duela.

## Fabrikatzaileak

Hona hemen fabrikatzaile batzuren webguneen helbideak:

*Micro-Measurements*: <http://www.vishaypg.com/micro-measurements/>

*HBM*: <http://www.hbm.com/es/menu/productos/bandas-extensometricas-y-accesorios/>

*Kyowa*: <http://www.kyowa-ei.co.jp/english/products/gages/index.htm>

*Omega*: <http://www.kyowa-ei.co.jp/english/products/gages/index.htm>

## 2.8 Kondentsadoreak

*Kondentsadorea* dielektriko batez isolatutako bi gainazal eroalez (armadurak) osatzen den bi terminaleko osagaia da. Kondentsadoreak kapazitate elektriko jakin bat izateko diseinatu eta fabrikatzen dira. Kondentsadore baten kapazitate elektrikoa gainazal eroaleen azalerarekiko zuzeneko proportzionaltasuna eta haien arteko banaketa-distantziarekiko alderantzizko proportzionaltasuna du. Gainera, dielektrikoaren *permitibitate erlatiboaren* ( $\epsilon_r$ ) edo *konstante dielektrikoaren* mendeko ere bada. Gogora dezagun zein den kapazitate elektrikoaren adierazpena:

Hutsean duen kapazitatea [Faraday]:

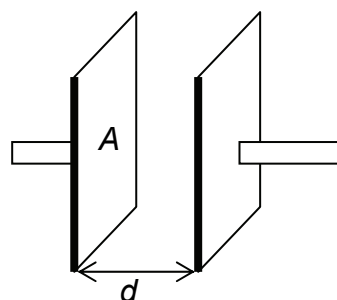
$$C_0 = Q / V \quad (2.42)$$

Dielektrikoarekin:

$$C = Q' / V = \epsilon_r \frac{Q}{V} = \epsilon_r C_0 \quad (2.43)$$

Kondentsadore lauaren kapazitatea:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.44)$$



2.75 irudia: Kondentsadore lauaren irudi eskematikoa.

$\epsilon_0$  : hutseko permitibitatea ( $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ )

$Q$  : karga elektrikoa

$V$  : tentsio elektrikoa

Kondentsadoreen elkarketak:

$$\begin{aligned} C_{Tparaleloa} &= \sum C \\ C_{Tseriea}^{-1} &= \sum C^{-1} \end{aligned} \quad (2.45)$$

Bildutako energia [Joule]:

$$W = \frac{1}{2} C \cdot V^2 \quad (2.46)$$

Kondentsadoreen aukeraketa egiteko, haien kapazitatea finkoa ala aldagarria den begiratu dugu lehenengo. Bestalde, kondentsadore finkoak fabrikaziorako erabilitako dielektrikoaren arabera sailkatzen dira:

- Mikazkoak
- Paperezkoak
- Plastikozkoak
  - Styroflexa
  - Polipropilenoa
  - Poliesterra
  - Polikarbonatoa
  - Geruza plastiko metalizatua
- Zeramikazkoak
- Polifenileno sulfurozkoak (SMD)
- Elektrolitikoak
  - Aluminioa
  - Tantaloa

## 2.8.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

### *Kapazitate izendatua eta tolerantzia*

Kapazitate izendatua kondentsadorearen kapazitatearen balio teorikoa da (Faradaytan). Erresistorearen gorputzean adierazita dago, baina, Faraday unitatea gehiegizkoa izaten denez kondentsadoreen kapazitatea adierazteko,  $\mu\text{F}$ ,  $\text{nF}$  eta  $\text{pF}$  erabiltzen dira eskuarki. Balio izendatua  $25\text{ }^\circ\text{C}$ -rako eta  $1\text{ kHz}$ -eko maiztasuneko seinalerako neurtzen da (elektrolitikoetarako izan ezik). Erresistoreekin gertatzen den bezala, E serie normalizatueterako fabrikatzen dira, tolerantziaren arabera. Batzuetan, tolerantziak adierazten dituen desbideratze positiboek eta negatiboek ez dute balio bera. Tolerantzia arruntenak  $\pm\%20$ ,  $\pm\%10$ ,  $\pm\%5$ ,  $\pm\%2$  eta  $\pm\%1$  dira. Kondentsadorearen gorputzean tolerantziak adierazteko, letrez osatutako kodea erabiltzen da:

$\pm\%20$  - M,  $\pm\%10$  - K,  $\pm\%5$  - J,  $\pm\%2$  - G,  $\pm\%1$  - F

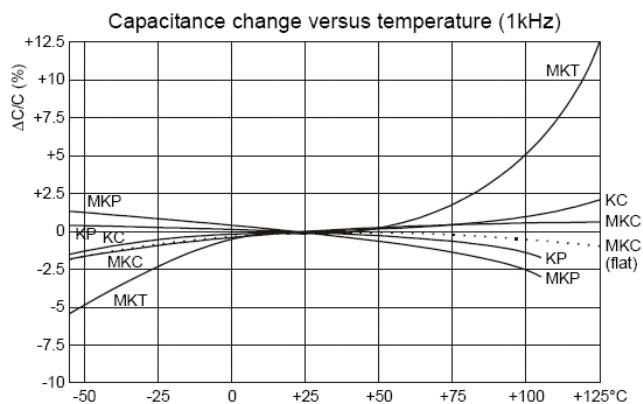
Letrarik agertzen ez bada, tolerantzia  $\pm\%20$ koa dela ulertuko dugu.

### *Temperatura-koefizientea: $\alpha$*

Kapazitatea tenperaturarekin linealki edo ia linealki aldatzen diren kondentsadoreetarako soilik definitzen da. Milioikotan adierazten da eskuarki.

$$\alpha = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta T} \times 10^{-6} \quad (2.47)$$

Temperatura-koefizientea konstantea temperatura-tarte txiki baterako baino ez denez, temperaturarekin kapazitatearen aldakuntza adierazteko, adierazpen grafikoak erabiltzen dira.



**2.76 Irudia:** Plastikozko dielektrikoa duten kondensadore batzuren temperatura-koefizientea erakusten duen grafikoa. *Information courtesy of EPCOS EG.*

### **Lan-tentsio maximoa (tentsio izendatua): $V_n$**

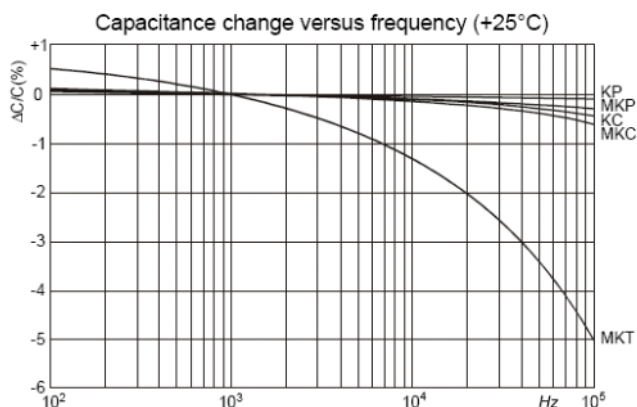
Modu arraituan aplikatu dakiokeen tentsio zuzenaren balio maximoa da. Kontuan izan behar dugu tentsio izendatuaren balioa seinalearen maiztasunarekin alda daitekeela.

### **Saio-tentsioa (muturreko tentsioa)**

Saio-tentsioa tentsio izendatua baino handiagoa da, eta kondensadorearen dielektrikoa zulatuta gerta daitekeen tentsio elektrikoa da. Dielektrikoa zulatuz gero, kondensadorea ez da erabilgarria (kondensadore-mota gehienetan). Dielektrikoaren *zurruntasun dielektrikoak* ezarritako muga da.

### **Maiztasun-kurba bereizgarria**

Kondensadoreen kapazitatea aplikatutako seinalearen maiztasunarekin ere alda daiteke. Aldaketa hori adierazteko, maiztasun-kurbak irudikatzen dira.



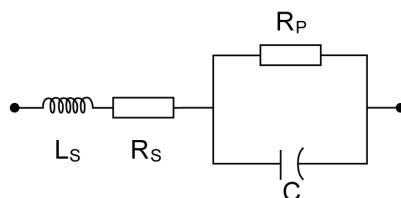
**2.77 Irudia:** Plastikozko dielektrikoa duten kondensadore batzuren kapazitatearen aldakuntza aplikatutako seinalearen maiztasunaren mende. *Information courtesy of EPCOS EG.*

**Isolamendu-erresistentzia:  $R_p$** 

Kondentsadoreetan erabiltzen diren material dielektrikoak ez dira isolatzaile perfektuak, noski. Horren ondorioz, tentsio elektriko zuzena aplikatzean, ihes-korronteak gerta daitezke. Efektu hori ezaugarritzeko, kondentsadorearen *isolamendu erresistentziaren* balioa neurtzen da. Egia esan,  $R_p$  balioa oso handia izaten da ( $M\Omega$ ), eta, gehienetan, ihes-korronteak baztertu egin daitezke. Edonola era, kontuan izan  $R_p$ -ren balioa aplikatutako tentsioarekin eta tenperaturarekin nabarmenki txikitu daitekeela.

**Galera-faktorea (xahutze-faktorea) eta deltaren tangentea:  $DF$  eta  $tg\delta$** 

2.78 irudian, kondentsadore baten zirkuitu baliokide orokorra adierazita dago. Lehenago esan dugun bezala,  $R_p$  ez aintzat hartzeko modukoa, eskuarki, baina ez da horrela gertatzen serieko erresistentzia ( $R_s$ ) eta induktantziarekin ( $L_s$ ). Serieko erresistentzia armaduren konexioen ondorioa da, eta induktantzia erabilitako teknologiaren mendekoa da gehienbat (kondentsadore biribilkatu batzuetan, induktantziaren balioa handiagoa da).



$R_s$  = Serieko erresistentzia baliokidea  
 $R_p$  = Isolamendu-erresistentzia

**2.78 Irudia:** Kondentsadore errealearen zirkuitu baliokide osoa.

$R_p$  oso handia dela jotzen badugu, hau da, kondentsadorearen ihes-korrontea oso txikia dela jotzen badugu, honako hau da kondentsadorearen inpedantzia osoa:

$$Z = \sqrt{R_s^2 + (X_C - X_L)^2} = \sqrt{R_s^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC} - 2\pi fL\right)^2} \quad (2.48)$$

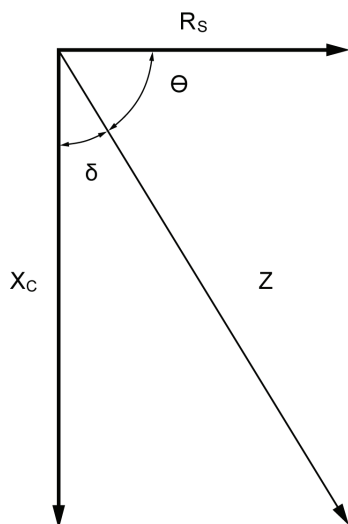
*Galera-faktorea* da korronte alternoko baldintzetan kondentsadoreak dituen galeren neurria. Serieko erresistentziaren eta inpedantzia kapazitiboaren arteko erlazioa da:

$$DF = \frac{R_s}{X_C} \quad (2.49)$$

Galera-faktorearen alderantzizkoari *kalitate-faktorea* deritzo ( $Q$ ).

Grafiko fasorialean ikus dezakegunez (2.79 irudia), kondentsadorearen inpedantzia osoa eta serieko erresistentziaren arteko erlazioa fasoren arteko  $\delta$  angeluaren bidez ere adieraz daiteke. Hau da,  $DF = tg\delta$ . Zenbat eta kondentsadore idealagoa, orduan eta  $\delta$  angelu txikiagoa dugu. Limitean, galera-faktorea zero balitz, kondentsadoreak ez luke potentziarik xahutuko.






**2.79 Irudia:** Galera-faktorea fasoreen bidez adierazita planu konplexuan. Zenbat eta  $R_s$ -ren modulu txikiagoa izan, orduan eta  $\delta$ -ren tangentea txikiagoa izango dugu.

Zein lirateke kondentsadore bat aukeratzeko aztertu beharreko ezaugarri tekniko garrantzitsuenak?

1. Kapazitate izendatua.
2. Tolerantzia.
3. Tentsio izendatua.
4. Teknologia (maiztasun-tarte erabilgarria mugatuko baitu).

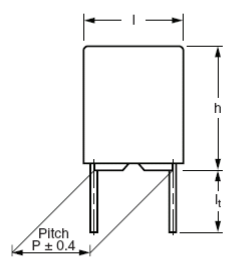
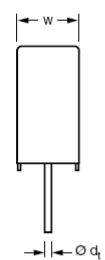
Hurrengo orrialdean, plastikozko kondentsadore baten ezaugarri-orriaren atal batzuk erakusten dira. Hor, aztertutako ezaugarri teknikoaren adibideak aurkituko dituzu.

Kondentsadore batzuentzat, dielektrikoaren isolamendua eskasagoa denean, esanguratsuagoa izan daiteke  $R_p$ -ren balioa serieko erresistentzia eta inдукtantzia baino. Kasu horretan, goiko analisiak ez du balio, eta  $\tan \delta$ -k beste esanahi bat izango luke. Egizu analisi fasoriala kasu horretarako:



**F 1772-2 310 V-X2**  
Vishay BCcomponents

### Interference Suppression Film Capacitors MKT Radial Potted Type

Dimensions in mm

**APPLICATIONS**  
High stability grade for continuous across the line X2 applications.  
See also "Application Note":  
[www.vishay.com/doc?28153](http://www.vishay.com/doc?28153)

**REFERENCE STANDARDS**  
IEC 60384-14 ed-3 and EN 60384-14  
"IEC 60065 pass. flamm. class C"  
UL 1283  
UL 1414  
CSA-E384-14

**MARKING**  
C-value; tolerance; rated voltage; sub-class; manufacturer's type; code for dielectric material; manufacturer location; manufacturer's logo; year and week; safety approvals

**DIELECTRIC**  
Polyester film

**ELECTRODES**  
Metallized

**CONSTRUCTION**  
Series construction

**RATED VOLTAGE**  
AC 310 V; 50 Hz to 60 Hz

**FEATURES**  
15 to 37.5 mm lead pitch.  
Supplied loose in box, taped on reel  
RoHS compliant  
Compliant to RoHS directive 2002/95/EC

**PERMISSIBLE DC VOLTAGE**  
DC 630 V

**ENCAPSULATION**  
Plastic case, epoxy resin sealed, flame retardant UL-class 94 V-0

**CLIMATIC TESTING CLASS ACC. TO IEC 60068-1**  
40/110/56/C



**CAPACITANCE RANGE (E12 SERIES)**  
E12 series 0.01 to 2.2  $\mu$ F  
Preferred values acc. to E6

**CAPACITANCE TOLERANCE**  
 $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$  ( $\pm 5\%$  on request)

**LEADS**  
Tinned wire

**MAXIMUM APPLICATION TEMPERATURE**  
110 °C

**DETAIL SPECIFICATION**  
For more detailed data and test requirements contact:  
[RFI@vishay.com](mailto:RFI@vishay.com)

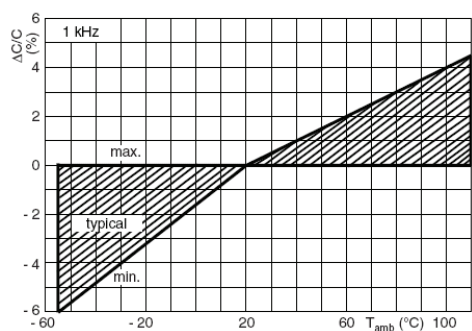



**RoHS**  
COMPLIANT

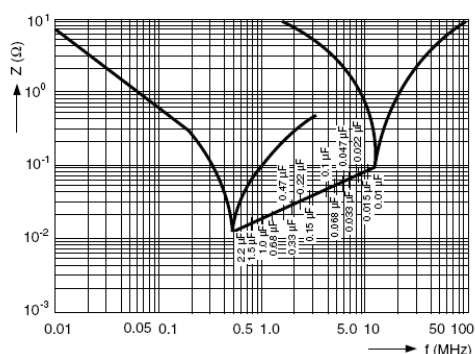
**2.8 Orria:** Poliesterezko kondentsadore baten ezaugarri-orria. Ezaugarri orokorrak.

SPECIFIC REFERENCE DATA	
DESCRIPTION	VALUE
Rated AC voltage ( $U_{Rac}$ )	310 V
Permissible DC voltage ( $U_{Rdc}$ )	630 V
Tangent of loss angle	$\leq 100 \times 10^{-4}$ at 1 kHz
Rated voltage pulse slope at $(dU/dt)_N$ 435 Vdc	100 V/ $\mu$ s
R between leads, for $C \leq 0.33 \mu F$ at 100 V; 1 min	$> 15\ 000\ M\Omega$
RC between leads, $C > 0.33 \mu F$ at 100 V; 1 min	$> 5000\ s$
R between leads and case; 100 V; 1 min	$> 30\ 000\ M\Omega$
Withstanding (DC) voltage (cut off current 10 mA); rise time 100 V/s	
$C \leq 1 \mu F$	2200 V; for 1 min
$C > 1 \mu F$	1800 V; for 1 min
Withstanding (AC) voltage between leads and case	2120 V; 1 min
Maximum application temperature	110 °C

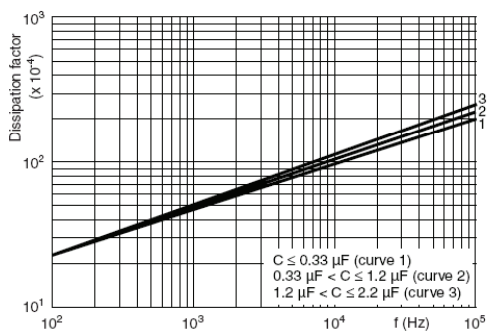
Capacitance as a function of ambient temperature (typical curve)



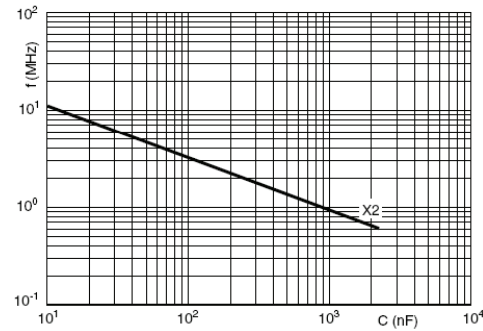
Impedance as a function of frequency (typical curve)



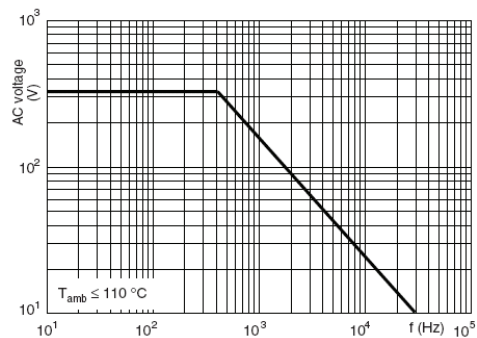
Tangent of loss angle as a function of frequency (typical curve)



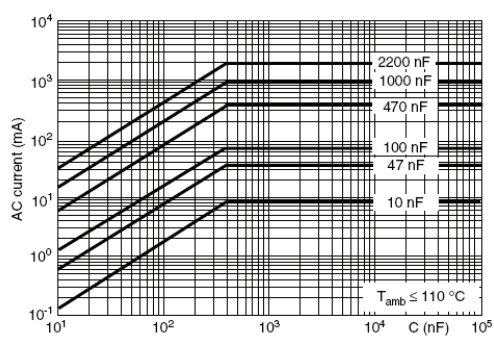
Resonant frequency as a function of capacitance (typical curve)



Max. RMS voltage as a function of frequency



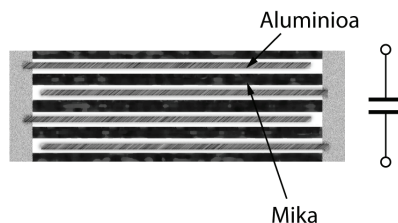
Max. RMS current as a function of frequency



2.9 Orria: Poliesterrezko kondentsadore baten ezaugarri-orria. Hainbat ezaugarri elektrikoren xehetasunak.

## 2.8.2 Mikazko kondentsadoreak

Mika erresistibitate handiko dielektrikoa da ( $10^{15}$ - $10^{17} \Omega$ ), eta, beraz, material egokia da ihes-korronte txikiko kondentsadoreak fabrikatzeko. Barnealdean, aldizka ezarritako mikazko xafla eta aluminiozko xaflaz osatuta daude (ikus 2.80 irudia). Kanpoaldetik, plastikozko estalkia dute babesgarri. Gaur egun, aluminiozko edo zilarrezko geruza mehe batez metalizatutako mikazko xaflak erabiltzen dira; hala, tamaina txikiagoko kondentsadoreak lortzen dira.



**2.80 Irudia:** Mikazko kondentsadoreen oinarritzko egituraren irudi eskematikoa: mikazko eta aluminiozko xafla tartekatua.

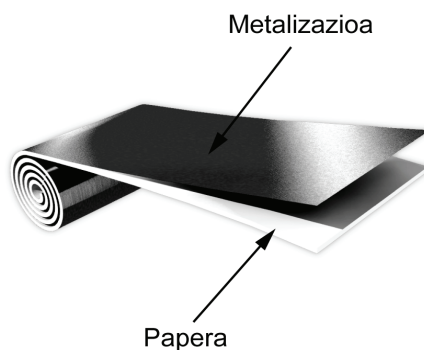
Egonkorrak eta sendoak direnez, kondentsadore egokiak dira maiztasun altuko zirkuituetan erabiltzeko (RF). Bestalde, mika ez da kapazitate handiko osagaiak egiteko materialik aproposena, eta, gainera, garestiak dira; beraz, erabilera profesionaletarako soilik erabiltzen dira.

### Ezaugarriak:

- ☺ Zurruntasun dielektriko handia
- ☺ Ihes-korronte txikiak
- ☺ Induktantzia txikia
- ☺ Egonkortasun handia
- ☹ Kapazitate txikiak
- ☹ Garestiak

## 2.8.3 Paperezko kondentsadoreak

Paperezko kondentsadoreak erabilera arrunterako saltzen dira. Paperezko orri bat bi xafla metalikoren artean biribilkatuz fabrikatzen dira. Gehienetan, papera olioztatu egiten da, zurruntasun dielektrikoa hobetzen duelako eta sustantzia hoztaile gisa ere eraginkorra delako (tentsio eta tenperatura handiak jasateko gaitasuna). Multzoa erretxina termoplastiko batez estaltzen da. Bukatzeko, hankatxoak eztaizuz soldatzen dira.



**2.81 Irudia:** Alde batetik metalizatutako papera erabiliz bolumen txikiagoko kondentsadoreak fabrikatu daitezke.

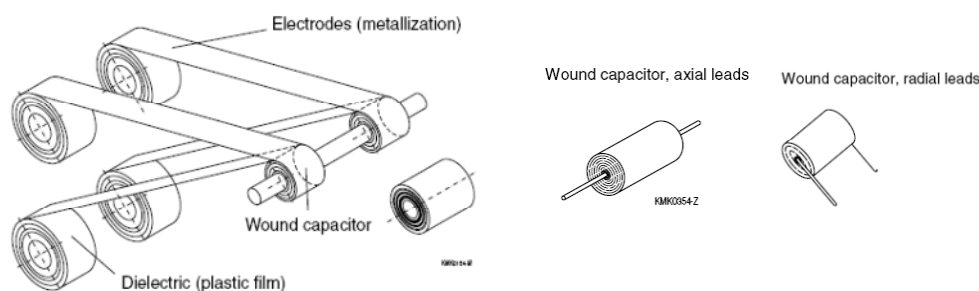
Gaur egun, arruntagoa da paper metalizatu erabiltzea, metalezko xaflak baino. Paperezko orriak zinkez edo aluminioz hutsean lurruneztatu egiten dira, eta, ondoren, zuzenean biribilkatu (ikus 2.81 irudia). Abantaila asko ditu prozedura horrek: bolumen txikiagoko kondentsadoreak lortzen dira, eta “berez konpontzeko” propietatea duten osagaiak lortzen dira: gaintentsio baten ondorioz dielektrikoa zulatuko balitz, metala lurrunduko litzateke, eta zulo txiki bat sortu, baina kondentsadoreak lanean jarrai dezake (ez da zirkuitulaburrik sortzen).

#### Ezaugarriak:

- ☺ Serieko erresistentzia txikia
- ☺ Merkeak
- ☺ Berez konpontzeko ahalmena
- ☺ Tolerantzia handiak

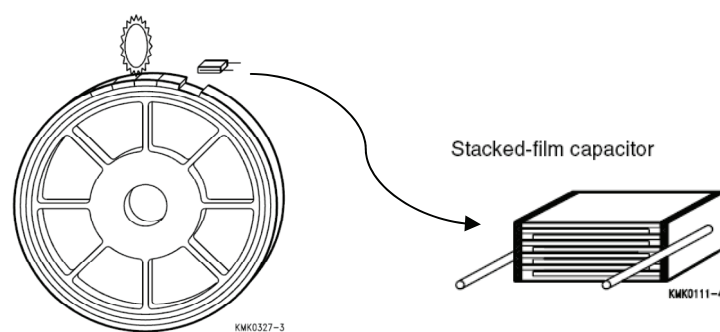
### 2.8.4 Plastikozko kondentsadoreak

Plastikoa, papera bezala, armadurak osatzen dituzten metalezko xaflakin batera biribilka daiteke, kondentsadoreak fabrikatzeko (*film-foil*). Plastikozko batzuk metalizatu egin daitezke (poliesterrak eta polikarbonatoak), papera bezala (*metallized film*), berez konpontzeko ahalmena duten kondentsadore txikiak egiteko, baina beste batzuk, poliestirenoa kasurako, ez dira metalizaziorako egokiak, bigundu egiten baitira tenperatura altuetan.



**2.82 irudia:** Plastikozko kondentsadore biribilkatuak ekoizteko prozedura. Hankatxoaren kokapena ardazkidea zein erradiala izan daiteke. *Information courtesy of EPCOS EG.*

Plastikozko kondentsadore guztiak ez dira biribilkatuak (*wound capacitor*), eta badira plastikozko eta metalezko geruza paraleloak pilatuz fabrikatzen direnak (*stacked-film capacitor*).



**2.83 irudia:** Plastikozko kondentsadore “pilakatuak” ekoizteko prozedura. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

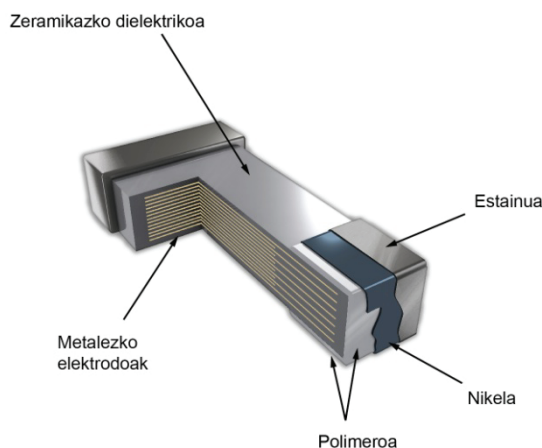
Kondentsadore horien ezaugarri elektrikoak erabilitako material plastikoak definitzen ditu, hein handi batean. Plastiko bakoitzak propietate bereziak ditu, abantailak eta desabantailak:

- **Poliestirenoa:** Kondentsadoreak fabrikatzeko erabili izan den lehenengo material plastikoa. Beste plastiko batzuek baino konstante dielektriko txikiagoa du, baina ez da uhin ultralaburrekin birrintzen, eta hezetasuna eta azido sulfurikoa ondo jasaten ditu. Temperatura-koefiziente negatiboa eta ia lineala du, eta horiek oso erabiliak dira irratimaiztasuneko zirkuituetan, ferritazko gunedun harilen desbideratzeak konpentsatzeko.
- **Poliesterra:** Konstante dielektriko eta zurruntasun dielektriko handiak ditu. Egonkortasun termikoa ere nabarmena du. Erabilera arruntetarako saltzen dira, eta paperezko kondentsadoreak ordezkatu dituzte. Ez dira egokiak maiztasun handiko zirkuituetan erabiltzeko, haien kapazitatea nabarmenki txikitzen baita 100 KHz-etik gorako seinaleetarako. DC aplikazioetarako, aldiz, oso egokiak dira: zirkuituak banatzeko, zarata murrizteko eta abar.
- **Polipropilenoa:** Ezaugarri elektriko bikainak ditu: galera txikiak eta isolamendu erresistentzia handia eta zurruntasun dielektriko handia. Temperatura-koefizientea negatiboa du. Poliestirenoaren antzekoa da alde horretatik, baina beroa hobeki jasaten du, eta irradiazio nuklearra ere jasateko gai da. Maiztasun handiko AC eta pulstuzko aplikazioetan erabiltzen dira: iturri konmutatuetan, balastoetan, iragazkietan eta laginketa-zirkuituetan.
- **Polikarbonatoa:** Galera txikiak eta denbora luzeko egonkortasuna dute. Temperatura-koefiziente oso txikiko kondentsadoreak dira. Tentsio oso altuak jasateko gai dira eta potentzia-aplikazioetarako egokiak dira. Erantzun bikaina dute, gainera, pulstuzko seinalerik badago.

## 2.8.5 Zeramikazko kondentsadoreak

Zeramikazko kondentsadoreak gutxi aldentzen dira kondentsadore idealetik, haien inductantzia, xahutze-faktorea eta delta-angelua ia zero baitira. Dielektrikoa fabrikatzeko, magnesio, alumina eta osagaiaren ezaugarri elektriko eta mekanikoak zehaztuko dituzten beste elementu batzuen nahasketaz lortutako oreka labean egosten da ( $\approx 1400^\circ\text{C}$ ). Elektrodoak zeramikazko plakatxoaren muturrak zilarreztatuz ezartzen dira. Multzo guztia epoxi erretxina batez babesten da. Badira disko-itxurako kondentsadoreak zein kondentsadore tubularrak.

Zeramikazko geruza bakar batekin, balio kapazitibo txikiak soilik lor daitezke. Kapazitate handiagoak lortzeko geruza anitzeko egiturak erabiltzen dira (*multilayer*). Zeramikazko eta metalezko geruza anitz bata bestearen gainean ezarriz eta presiopean egosiz fabrikatutako osagaiak dira. Azkenik, elektrodo talde biak elektrikoki lotzen dira geruzek osatzen dituzten kondentsadore guztiak paraleloan konektatzeko.



2.86 Irudia: Geruza anitzeko zeramikazko kondentsadorearen egitura.

Material zeramikoekin propietate oso desberdinak dituzten dielektrikoak lor daitezkeenez, zeramikazko kondentsadoreak bi taldetan banatzen dira:

### 1. Klasea:

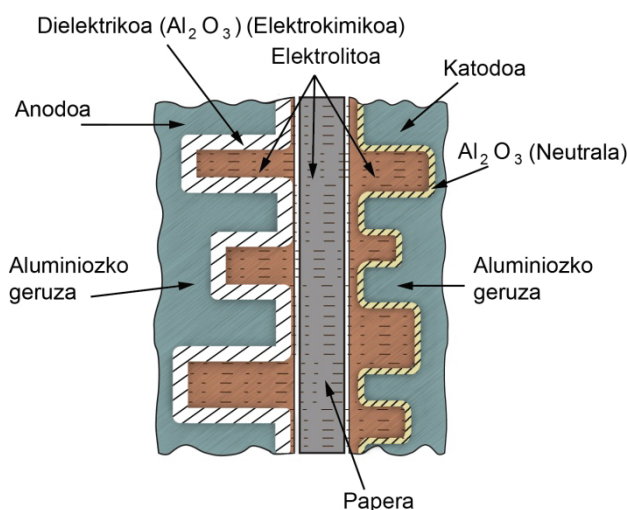
- Dielektrikoak ( $\epsilon < 200$ ) oxido metalikoak eta titanatoak nahasiz lortzen dira.
- Tenperatura-koefiziente ezaguna, lineala eta alderanzgarria.
- Kapazitatea ez da tentsioarekin aldatzen.
- Xahutze-faktore txikia maiztasun-tarte zabalerako (UHF).
- Isolamendu-erresistentzia handia.
- Aplikazioak: zirkuitu erresonanteak, iragazkiak, tenporizazio-zirkuituak eta abar.

### 2. Klasea:

- Dielektrikoak ( $\epsilon \approx 200 - 10000$ ) titanatoak eta zirkonatoak nahasiz lortzen dira.
- Kapazitatea tenperaturarekin eta tentsioarekin ez-linealki aldatzen da.
- 1. klasekoak baino xahutze-faktore eta galera handitxoagoak.
- Kapazitate handiak lortzen dira kondentsadore txikiekin.
- Denborarekin, kapazitatearen balioa txikituz doa (jitoa).
- Aplikazioak: zirkuitu-arteak akoplamenduak, iragazketa, iraganbide-kondentsadoreak sistema blindatuetan (*by-pass*).

## 2.8.6 Aluminiozko kondentsadoreak elektrolitikoak

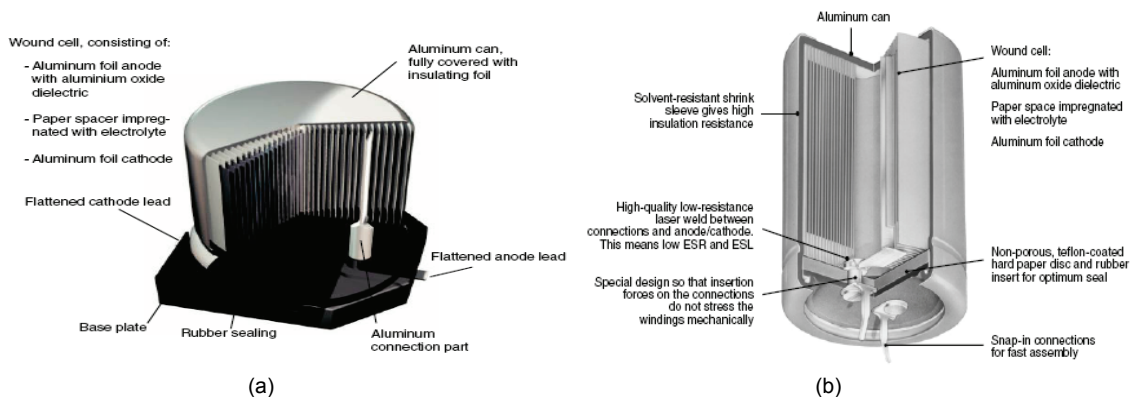
Kapazitate handiak lortzeko ( $1\mu\text{F} - 20.000\mu\text{F}$ ) kondentsadore elektrolitikoak behar dira, eta arruntenak aluminiozkoak dira. Paper absorbatzailez (katodoa) banatutako aluminiozko bi orri biribilkatuz fabrikatzen dira (anodoa). Kapsulatu eta gero, papera elektrolito batez bustitzen da. Tentsio zuzen bat aplikatuz, elektrolisiaz, aluminiozko oxidoa ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) haziz doa aluminiozko xafletan, eta azkenik horixe izango da material dielektrikoa. Elektrolitoaren funtzioa, beraz, aluminioa oxidatzeko beharrezko oxigenoa ematea eta katodoa eta aluminio oxidoaren arteko lotura elektrikoa lortzea da (ikus 2.87 irudia). Kondentsadore elektrolitikoak osagai polarizatuak dira, zirkuituetan konektatzerakoan kontuan hartu beharreko propietatea.



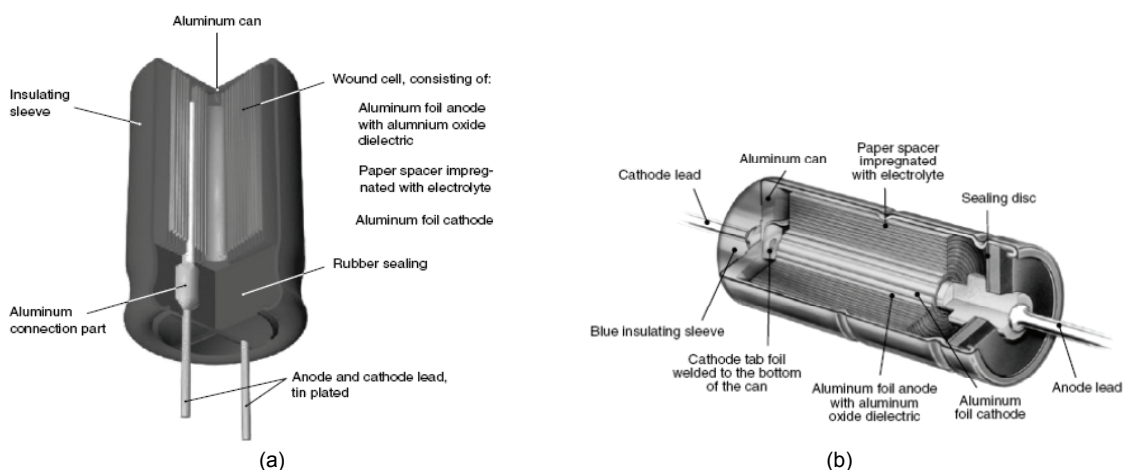
**2.87 Irudia:** Aluminiozko kondentsadore elektrolitikoaren oinarritzko barne-egitura. Dielektrikoa elektrolitoak aluminioarekin erreakzionatzerakoan lortzen da ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Gainazal zimurra erabiliz dielektrikoak estaltzen duen azalera handitu daiteke.

Egitura aldetik, bi motatako kondentsadore elektrolitikoak daude: gainazal leunekoak eta gainazal zimurrekoak. Anodoan, gainazal zimurreko orriak erabiltzen dira bolumen berarekin kapazitate handiagoak lortzeko. Gainazal zimurrearekin anodoko azalera handiagoa lortzen da,

eta, horren ondorioz, dielektrikoaren azalera ere handiagotzea lortzen da. 2.88 eta 2.89 irudietan, aluminiozko kondentsadoreak fabrikatzeko ohiko egitura batzuk azter daitezke.



**2.88 irudia:** (a) gainazaleko muntaketarako (SMD), (b) txertatzeko formatu handiko kondentsadorea. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*



**2.89 irudia:** (a) THD osagaia terminal erradialekin, (b) THD osagaia terminal ardazkideekin *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

### Ezaugarriak:

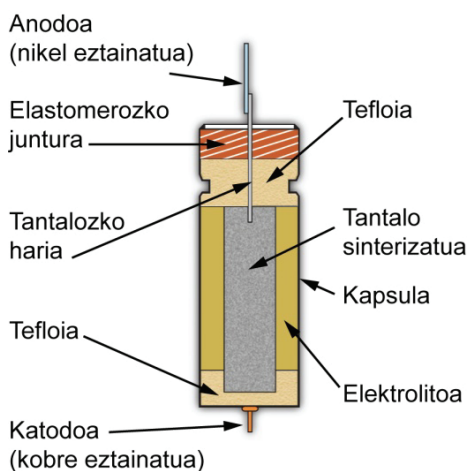
- ☺ Kapazitate handiak bolumen txikietan
- ☺ Korrante eraginkor handiak
- ☹ Tentsio maximo txikiak
- ☹ Ihes-korrante nabarmenak
- ☹ Serieko erresistentzia nabarmenak (modelo batzuetan)
- ☹ Tolerantzia handiak

## 2.8.7 Tantalozko kondentsadore elektrolitikoak

Aluminioa erabili beharrean tantaloa erabiliz gero, kapazitate handiagoko kondentsadore elektrolitikoak lor daitezke, tantal-oxidoaren konstante dielektrikoa handiagoa baita. Gainera, tantal-oxidoaren propietate dielektrikoak aluminio-oxidoarenak baino hobeak dira: ihes-korrante txikiagoak eta tolerantzia txikiagoak. Egitura aldetik, aluminiozko kondentsadoreen aldean, badira desberdintasun batzuk. Tantal-oxidoaren sinterizatuzko hautsez egindako gunea izaten dute, zeinari hari bat atxikitzen baitzaio gero nikelzko hankatxoa soldatzeko (anodoa). Gune horri tentsio elektrikoa aplikatuz gero, tantal-pentoxidozko geruza bat lortzen da



(dielektrikoa). Gune hori soluzio elektrolitiko bat duen tantalo edo zilarrezko ontzitxoan sartzen da, eta, ondoren, multzoa zigilatu egiten da (ikus 2.90 irudia).



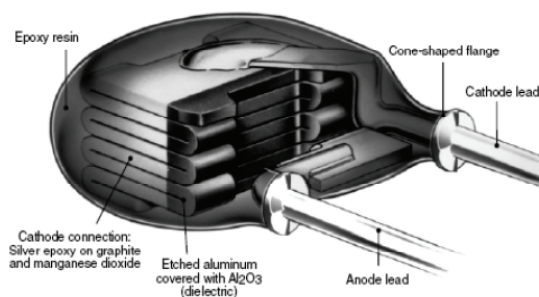
**2.90 Irudia:** Tantalozko kondentsadore elektrolitikoaren barne-egitura eta kapsulatua.

#### Ezaugarriak:

- ☺ Tolerantzia txikiagoak ( $\pm\%20$ ).
- ☺ Ihes-korronte txikiagoak
- ☺ Induktantzia txikia (HF)
- ☺ Egonkorragoak
- ☹ Ezin dira tentsio handiekin erabili
- ☹ Garestiak

## 2.8.8 Elektrolitiko solidozko kondentsadoreak

Kondentsadore elektrolitikoak maiztasun handietako aplikazioetan erabili ahal daitezen, elektrolito solidozko osagaiak sortu dira. Metalezko xafla baten gainazalean (anodoaren substratua), oxido dielektrikozko geruzatxo bat hazten da, eta, horren gainean, solido erdieroalez egindako beste geruza bat ezartzen da, katodoa izango dena. Askotan, ore eroale bat jartzen da erdieroalearen gainean, katodoaren konexioa hobetzeko. Metalezko xafla tantaloa, aluminioa edo beste metal batzuekin egin daiteke. Tarteko elektrolitoa solidoa da, gatz konplexuez edo konduktibitate handiko polimero batez osatua, eta haren konduktibitatea elektroien kondukzioaz gertatzen da (ez ioien kondukzioaz, elektrolito hezeen kasuan bezala). Horrelako kondentsadoreak errazak dira kapsula txikietan sartzen (txip-motakoak), eta, horren ondorioz, prezioak ere txikiagoak dira

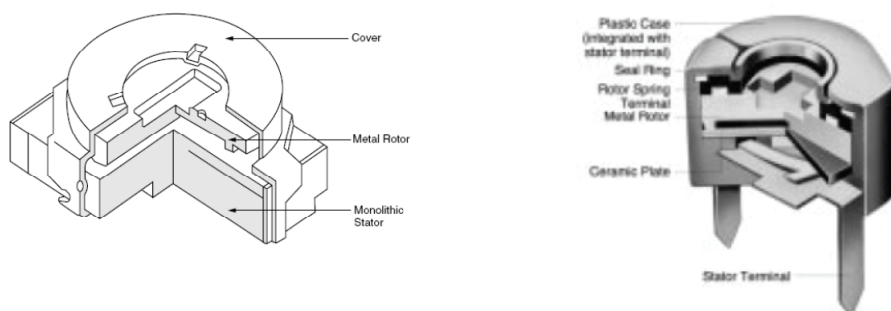


**2.91 Irudia:** Aluminio solidozko kondentsadore elektrolitikoaren egitura. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

## 2.8.9 Kondentsadore doigarriak

Zirkuitu elektronikoetan kapazitateen doiketa finak egin behar direnean, kondentsadore doigarriak erabiltzen dira. Kapazitate txikiko osagaiak izaten dira, eta kapazitatearen aldagarritasuna ere nahiko mugatuta daukate. Erresistore doigarrien antzera, noizbehinkako doiketak egiteko erabiltzen dira. Ingelesez *trimmer* edo *padder* deritze.

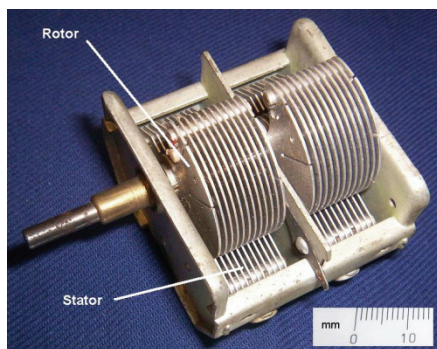
Kapazitate aldagarriko osagaiak egiteko, hiru bide daude (ikus (2.44) ekuazioa): armaduren azalera aldatzea, armaduren arteko distantzia aldatzea eta dielektrikoa aldatzea. Horren arabera, eta aldaketa lortzeko erabilitako eragingailuaren arabera, kondentsadore doigarri-mota anitz aurkituko ditugu: presioz doitzen direnak, torlojuz doitzen direnak, disko-itxurakoak, zilindrikoak eta abar luze bat.



2.92 Irudia. Zeramikazko kondentsadore doigarriaren egitura (SMD) (Murata Manufacturing Co.)

## 2.8.10 Kondentsadore aldagarriak

Kapazitateak edozein unetan aldatzeko diseinatuta daude: sintonia-zirkuituetan, osziladoreetan, iragazi doigarrietan... Tamaina handiko osagai astunak dira kondentsadore doigarrien aldean. Ardatz bat izaten dute eragiketa mekanikoa ahalbidetzeko.



2.93 Irudia. Kondentsadore aldagarria. Creative Commons. Ulfbastel from de.wikipedia.org

## 2.8.11 Kondentsadoreen aukeraketa

Horrenbesteko kondentsadore-mota izanik, eta kontuan izanda zenbat aplikaziotarako erabiltzen diren, ez da erraza aukeraketarako irizpide orokorrak ematea. Edonola ere, honako ezaugarri hauek aztertu behar dira, lehenengo eta behin, aukeraketarako:

1. Kapazitate izendatua.
2. Tentsio izendatua.
3. AC ala DC-rako? Maiztasuna?

4. Tolerantzia garrantzitsua da?
5. Temperatura-koefizientea garrantzitsua da?
6. Prezioa.

Ondorengo tauletan, kondentsadore finkoen aukeraketarako baliogarriak diren ezaugarri teknikoen balioen laburpena aurkituko duzu. Balioak gutxi gorabeherakoak dira, eta balio konparatiboa dute, batez ere.

Kondentsadorea	Kapazitateak	Lan-tentsio max. (V <sub>n</sub> )
Mika	2pF – 22nF	250 – 4000
Papera	1nF - 10μF	250 – 1000
Styroflexa	10pF – 4.7nF	25 – 63
	4.7pF – 22nF	160 – 630
Poliester geruza	4.7nF – 1.5μF	100 – 160
	1nF – 470nF	400 – 1000
Poliester metalizatua	47nF - 10μF	63 – 100
	10nF – 2.2μF	250 – 400
	10nF – 470nF	630 – 1000
Polikarbonato metalizatua	47nF - 10μF	63 – 100
	10nF – 2.2μF	250 – 500
	10nF – 470nF	630 – 1000
Zeramikoak (I taldea)	0.56pF – 560pF	63 – 100
	0.47pF – 330pF	250 – 500
Zeramikoak (II taldea)	4.7nF – 470nF	15 – 50
	220pF – 22nF	63 – 100
	100pF – 10nF	250 – 500
	470pF – 1nF	1000
Aluminio elektrolitikoa	100μF – 10mF	4 – 10
	2.2μF – 4.7mF	16 – 40
	470nF – 2.2mF	63 – 160
	2.2μF – 22μF	200 – 450
Tantalo elektrolitikoa	2.2 μF - 100μF	3 – 10
	220nF - 22μF	16 - 40

**2.6 Taula:** Kondentsadoreen ohizko kapazitate-tarteak eta lan-tentsio maximoak dielektrikoaren arabera.

Kondentsadorea	Tolerantziak (%)
Mika	0.5 - 20
Papera	5, 10, 20
Styroflexa	2.5, 5, 10
Poliester geruza	
Poliester metalizatua	5, 10, 20
Polikarbonato metalizatua	5, 10, 20
Zeramikoak (I taldea)	2, 5, 10
Zeramikoak (II taldea)	-20 – 50
	-20 – 80
	± 20
Aluminio elektrolitikoa	-20 – 50
	-20 – 100
	-20 – 30
Tantalo elektrolitikoa	± 20
	-20 – 50

**2.7 Taula:** Kondentsadore-mota ezberdinen ohizko doitasunak.

Kondentsadorea	Temperatura-koefiz. (% °C)
Mika	± 0.1
Papera	+ 0.5
Styroflexa	- 0.15
Poliester geruza	+ 0.3
Poliester metalizatua	+ 0.3
Polikarbonato metalizatua	+ 0.3
Aluminio elektrolitikoa	+ 1, + 5
Tantalo elektrolitikoa	+ 1

**2.8 Taula:** Temperatura-koefizienteak.

Kodea (Zeram.)	TK	Kodea (Zeram.)	TK
P100	+100.10 <sup>-6</sup>	N150	-150.10 <sup>-6</sup>
P33	+33.10 <sup>-6</sup>	N220	-220.10 <sup>-6</sup>
PN0	0	N330	-330.10 <sup>-6</sup>
N33	-33.10 <sup>-6</sup>	N470	-470.10 <sup>-6</sup>
N47	-47.10 <sup>-6</sup>	N750	-750.10 <sup>-6</sup>
N75	-75.10 <sup>-6</sup>	N1500	-1500.10 <sup>-6</sup>

2.9 Taula: I taldeko kondentsadore zeramikoen tenperatura-koefizienteak.

Kondentsadoreen identifikazio-kodeak ez daude normalizatuta, eta kode desberdinak erabiltzen dira fabrikatzaile eta kondentsadore-motaren arabera. Batez ere, kondentsadorearen tamainak mugatzen du zenbat eta zer-nolako informazioa adieraz daitekeen estalkian. Gaur egun, kondentsadore gehienak zenbaki eta letren bidez markatzen dira, baina kolore-kodeak ere erabiltzen dira batzuetan (erresistoreen kodeari jarraituz). Markatzeko modu bat da zuzenki kapazitatearen balioa picofaradaytan adieraztea (adibidez 10 = 10 pF). Beste modu bat hiru edo lau karaktere erabiltzea da. Lehenengo bi zenbakiak zifra esanguratsuak dira, eta hirugarrena biderkatzailea da. Laugarren karaktereak tolerantzia adierazten du, eskuarki EIA araua betez (ikus 2.10 taula). Horrela, 104J = 100000pF ±%5 litzateke. Sarritan, tentsio maximoaren balioa ere adierazten da (V).

Tolerantzia (EIA)	
C	0.25pF
D	0.5pF
F	%1
G	%2
J	%5
K	%10
M	%20
P	-0 +%100
Z	-20 +%80

2.94 Taula: EIA kodea kondentsadoreen tolerantziak adierazteko.

## 2.9 Harilak

*Harilak* edo *induktoreak* dira inpedantzia induktibo jakina izan dezaten fabrikatzen diren osagai pasiboak. Maiztasun txikiko zirkuitu elektronikoko gehientsuetan, ekidin egiten da honelako osagaien erabilera, garestiak eta fabrikatzeko zailak direlako (eta kondentsadoreak elementu erreaktibo gisa erabilia zirkuituen ezaugarrien kontrol hobea lortzen delako). Maiztasun handiagoetan, harilak zirkuitu sintonizatuetan eta iragazkietan erabiltzen dira, batez ere. Haril gehienak aplikazio eta zirkuitu konkreturako diseinatu eta hariltzen dira (askotan, diseinatzaileak berak eskuz egiten ditu), baina badira seriean fabrikatzen diren harilak ere. Haril baten autoinduktantzia kalkulatzeko, harilaren geometria zehaztasunez ezagutu behar dugu. Haril zilindrikoetarako, honako adierazpen hauek erabil ditzakegu:

$$L = 1,257 \frac{S \cdot N^2}{10^8 l} \quad (2.50)$$

$L$ : autoinduktantzia [H]

$N$ : begizta kopurua

$S$ : begiztaren azalera [cm<sup>2</sup>]

$l$ : harilaren luzera [cm]

(2.56) ekuazioa airezko nukleodun hariletarako erabilgarria da. Nukleo ferromagnetikoa izanez gero, (2.57) ekuazioa erabili beharko dugu:

$$L = 1,257 \cdot \mu \frac{S \cdot N^2}{10^8 l} \quad (2.51)$$

$\mu$ : nukleoaren iragazkortasun erlatiboa [ $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

Hariaren diametroa, bestalde, iragate-korrontearen arabera aukeratu behar da (zenbat eta korronte handiagoa, hari lodiagoa).

## 2.9.1 Haril-motak

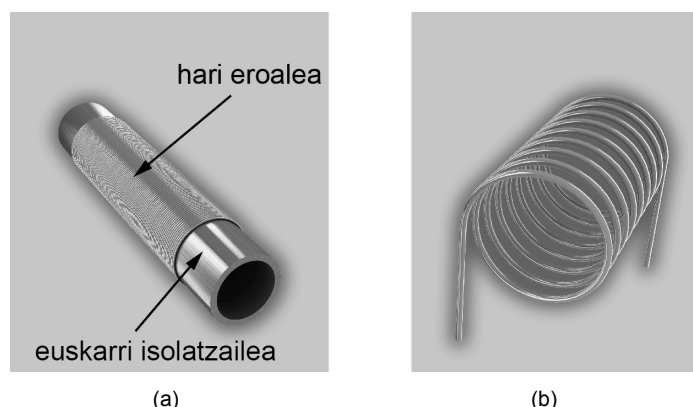
Harilak erabilera-maiztasunaren arabera edo nukleoaren materialaren arabera sailkatzen dira eskuarki:

- Maiztasuna
  - Maiztasun txikietarako
  - Maiztasun handietarako (irradi-maiztasunak)
- Nukleoa
  - Airezkoa
  - Burdinazkoa
  - Pulbimetalezkoa
  - Ferritazkoa

### 2.9.1.1 Airezko nukleodun harilak

Euskarridunak zein euskarri gabek izan daitezke. Euskarria izatekotan, zuntzezkoak edo plastikozkoak izaten dira. Maiztasun txikietarako badira ( $f < 50$  MHz), kobrezko haria erabiltzen da. Maiztasun handiagoetarako, kobre zilarreztua erabiltzen da.

Maiztasun handietan, *azal-efektua* deritzon efektu fisikoa gertatzen da; hau da, elektroifluxuak hari eroalearen kanpoaldean kontzentratzeko joera du. Horren ondorioz, eroalearen sekzio eraginkorra txikiagotu egiten da, maiztasuna handitu ahala. Azal-efektuaren eragina txikitzeko, *Litz* haria erabiltzen da. *Litz* haria indibidualki isolaturiko edo hirusunak txirikordatutako diametro txikiagoko harietaz osatuta dago.



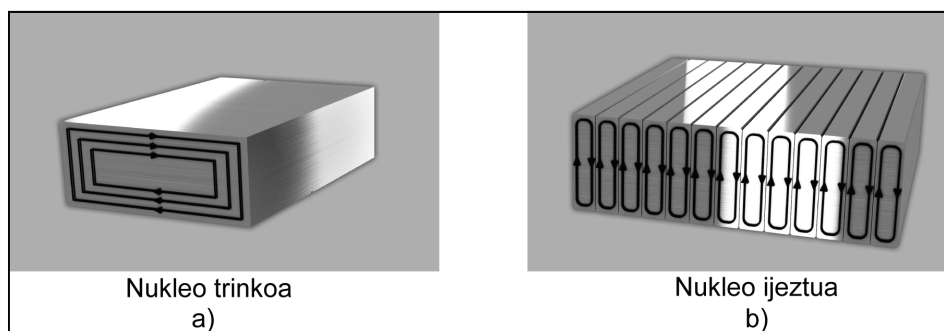
2.94 Irudia: Airezko nukleodun harilak. (a) euskarriduna, (b) euskarri gabekoa.

Harilak hezetasunetik babesteko eta zurruntasun mekanikoa hobetzeko (batez ere, euskarri gabeko harilentzat), berniz isolatzaile batez gaineztatu egiten dira. Harilaren begizta arteko

distantziak konstantea izan behar du, baina, batzuetan, bi begiztaren arteko distantzi nahita alda dezakegu, osagaiaren autoinduktantziaren balioa doitzeko.

### 2.9.1.2 Burdinazko nukleodun harilak

Nukleo ferromagnetikoak erabilia, harilen inductantzia handitu daiteke begizta-kopurua handitu gabe (ikus (2.51) ekuazioa), material ferromagnetikoen indar-lerro magnetikoen *erreluktantzia* edo *erresistentzia magnetikoa* txikitzen baitute. Magnetizazio-aldakuntza etengabeak direla eta, nukleo ferromagnetikoetan, Foucault-en korronteak sortzen dira, eta horiek materialaren berokuntza eragiten dute. Foucault-en korronteen eragina mugatzeko, xafla isolatu anitzez egindako nukleoak erabiltzen dira.



**2.95 Irudia:** Harilen inductantzia handitzeko nukleo ferromagnetikoak erabiltzen dira. Foucault-en korronteak murrizteko nukleo ijeztuak erabiltzen dira.

Galerak txikitzeko beste modu bat aleazio ferromagnetiko bereziak erabiltzea da, *ferrosilizioa* edo *ferronikela*, kasurako.

Burdinazko nukleodun harilak maiztasun txikiatarako soilik erabiltzen dira (audiorako amplifikagailuak, elikatze-iturriak...), maiztasun handietarako gertatzen diren galerak handiegiak baitira. Maiztasun handietan, burdinazko hautsez eginiko nukleoak erabil daitezke.

### 2.9.1.3 Ferritazko nukleodun harilak

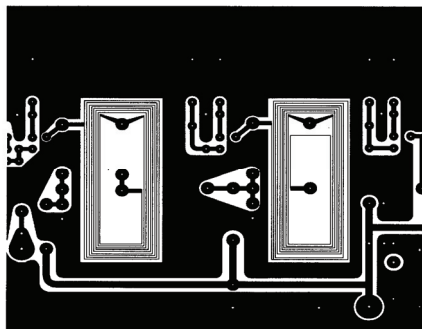
Ferritak metal magnetikoen oxidoak dira, baina, burdina eta burdinazko aleazioak ez bezala, ez dira eroaleak, dielektrikoak baizik. Material isolatzaileak izanik, ez da korrante-parasitorik induzitzen. Ferritak fabrikatzeko, teknika zeramikoak erabiltzen dira. Oso nukleo gogorak lortzen dira, baina hauskorak ere badira. Autoinduktantziak egiteko ohiko ferritak honako hauek dira:

- Nikel-ferrita ( $\text{Ni} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ )
- Kobalto-ferrita ( $\text{Co} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ )
- Magnesio-ferrita ( $\text{Mg} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ )
- Manganeso-ferrita ( $\text{Mn} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_4$ )

Induktantziaren balio zehatz bat behar denerako, ferritazko haril doigarriak erabil daitezke. Doiketarako, burdinarte aldagarriak erabiltzen dira

### 2.9.1.4 Haril inprimatuak

Maiztasun oso handietarako, batez ere (mikrouhinak), harilak zuzenki graba daitezke zirkuitu inprimatuetan. Diseinurako, pistaren luzera, pistaren sekzioa eta begizten arteko tartea izan beharko ditugu kontuan.



**2.96 Irudia:** Zirkuitu inprimatuetan maiztasun handiko harilak ekoiztu daitezke kobrezko pistak zuzenki grabatuz.

## 2.9.2 Ezaugarri teknikoak

Harilen aukeraketa egokia egiteko, noski, haien ezaugarri tekniko garrantzitsuenak ezagutu behar ditugu. Hona hemen oinarrizko ezaugarrien deskribapena:

### **Induktantziaren balioa**

*Autoindukzio-koefizientea* Henrytan ematen da (gehienetan, milihenrytan edo mikrohenrytan):

$$L = \frac{V \cdot t}{\Delta I} \quad [\text{H}] \quad (2.52)$$

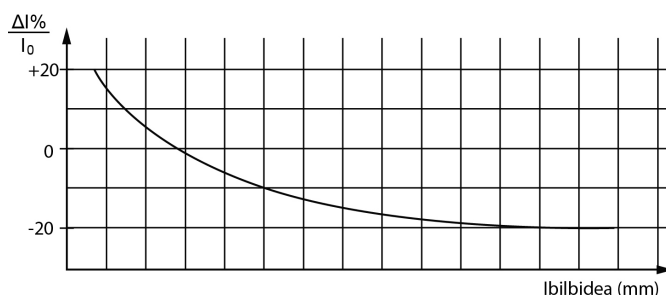
Batzuetan, balioak ez daude normalizatuta, baina badira E segiden balio normalizatuei jarraituz fabrikatzen direnak.

### **Tolerantzia**

Benetako autoindukzio-koefizientearen balioa ez da izaten balio teoriko edo izendatuarena. Beste osagaietarako bezala, alde hori *tolerantzien* balioen bidez adierazten da.

### **Induktantziaren aldakuntza**

Nukleo doigarria duten hariletan definitzen da, eta ehunekotan adierazten da. Adibidez,  $260\mu\text{H} \pm 10\%$ . Batzuetan, fabrikatzaileek induktantziaren balioaren aldakuntza nukleoaren ibiltartearen arabera adierazten dute (2.97 irudia).



**2.97 Irudia:** Nukleo doigarria duen harilaren induktantziaren aldakuntza nukleoaren ibiltarteko doiketaren mende.

### **Maiztasun-tartea**

Nukleo-motaren eta hari-motaren arabera, harilaren erabilgarritasuna maiztasun-tarte jakinaren barne dago. Bestalde, maiztasun handietan begizten artean ager daitezkeen kapazitate

parasitoak izan behar dira kontuan, zirkuitulaburrak sorrarazi baitezakete maiztasun handietan. Horregatik, fabrikatzaileek harilen maiztasun-tarte erabilgarriak eta kapazitate parasitoen balioak adierazten dituzte ezaugarri-orrietan.

### **Isolamendu-erresistentzia**

Harilaren haria babesten duen bernizaren isolamendua zulatu egin daiteke tentsio handiegiak aplikatuz gero. Geruza bakarreko hariletan, begizta arteko tentsioa zaindu behar dugu. Borne-artean aplikatutako tentsioa begizta guztien artean zatitzen denez, honako hau da begizta arteko tentsioa:

$$V_{ba} = \frac{V}{N} \quad (2.53)$$

$N$ : begizta-kopurua

Geruza anitzeko hariletan, geruza arteko tentsio ere zaindu beharko dugu:

$$V_{ga} = \frac{V}{M} > V_{ba} \quad (2.54)$$

$M$ : geruza kopurua

### **Tenperatura-koefizientea**

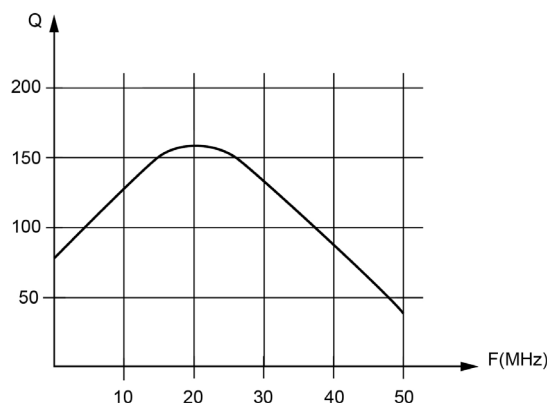
Hariaren erresistentzia elektrikoa tenperaturarekin aldatzen denez, harilaren propietateak ere tenperaturarekin aldatzen dira. Aldakuntza hori ezaugarritzeko, *tenperatura-koefizientearen* balioa erabiltzen dugu; eskuarki milioikotan adierazten da hori (ppm/°C).

### **Kalitate-faktorea: $Q$**

Harilaren kalitate-faktorea hobea da erresistentzia ohmikoa zenbat eta txikiagoa izan. *Kalitate-faktorea* ( $Q$ ) erreaktantzia inдукtiboaren ( $X_L$ ) eta erresistentzia ohmikoaren ( $R$ ) arteko erlazioa da:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi fL}{R} \quad (2.55)$$

Nahiz eta (2.55) adierazpenak kontrakoa eman, maiztasun handietan, kalitate-faktorea txikitu egiten da, azal-efektuaren ondorioz gertatzen den erresistentzia ohmikoaren hazkuntza dela eta. Fabrikatzaileek, horren ondorioz,  $Q$ -ren balioa maiztasun jakinetarako adierazten dute (Adib:  $Q_{(600\text{kHz})} = 125$ ). Maiztasun-kurbak ere aurkituko ditugu ezaugarri-orrietan (2.93 irudia).



**2.93 Irudia:** Kalitate-faktorearen balioa maiztasunaren araberakoa da.



# 3 Osagai erdieroale aktiboak

Osagai elektroniko aktiboak seinale irabazia eta/edo seinalearen gaineko kontrola ematen dizkiguten osagai elektronikoak dira. Osagai aktiboen bi teknologia nagusi bereiz daitezke: hodi elektronikoak eta osagai erdieroaleak. Osagai erdieroaleak asmatu eta, batez ere, fabrikatu baino lehen, hutsezko hodi elektronikoak erabiltzen ziren seinale elektrikoaren irabazpena eta horren gaineko kontrola lortzeko. Gaur egun, ordea, hodi elektronikoak aplikazio oso berezietan soilik erabiltzen dira, eta material erdieroaleak dira (silizioa batez ere) osagai aktiboen muin eta oinarri. Diodoak, transistore bipolarrak, MOS transistoreak eta abar osagai elektroniko aktiboak dira, beraz. Kapitulu honetan, zirkuitu elektronikoak egiteko erabiltzen diren osagai aktibo garrantzitsuenez arituko gara, eta haien fabrikazio-teknologiaz eta ezaugarri teknikoiez, aukeraketa egokia egiteko irizpideak ere aztertuko ditugu. Alde batera utziko ditugu energia elektrikoaren kontrolerako bereziki erabiltzen diren osagaiak (tiristoreak, diac-ak, triac-ak, Shockley diodoak eta abar), horiek aztertzeko potentzia-elektronikari buruzko testuak egokiagoak baitira. Argi-igorleak eta argiari sentikorrak diren osagaiak ere ez ditugu hemen aztertuko, hurrengo kapitulu osoan osagai optoelektronikoei buruz arituko baikara.

## 3.1 Diodoak

Diodoez aritzen garenean, seinale txikiko diodo arteztzaileez ari garela ulertzen dugu, baina, aurreago ikusiko dugun bezala, badira bestelako funtzioak betetzen dituzten diodoak ere. Beraz, eskuarki esaten dugu *diodoa* korronte-iragatea zentzu batean erraztu eta kontrako zentzuan oztopatu egiten duen bi terminaleko gailua dela. Diodo erdieroaleek (gehienek behintzat) *p-n* juntura dute beren funtzionamenduaren oinarri.

Esan bezala, egoera solidoko teknologia elektronikoa erabilia, hainbat helburutarako aproposak diren diodoak fabrikatzen dira gaur egun. Hala, diodoen sailkapen bat idazterakoan, hainbat irizpide aukeratu daitezke. Adibidez, gure irizpidea aplikazio-eremua bada, honako hau litzateke sailkapen posible bat:

- Seinale txikiko artezketa
- Potentzia (seinale handiko artezketa)
- Tentsio-egonkortzea
- Seinalearen detekzioa eta hartzea
- Kommutazioa
- Babesa
- Sintonia-zirkuituetarako
- Mikrouhinen igorpena
- ...

Baina, diodoen teknologiaren azterketa egiteko, komenigarriagoa da funtzionamendu-printzipioa erabiltzea sailkapenerako irizpide gisa:

- Diodo arteztaileak
- Zener diodoak
- Tunel edo Esaki diodoak
- Kapazitate aldagarriko diodoak
- Shottky diodoak
- Gunn diodoak
- PIN diodoak
- Fotodiodoak
- Argi-igorleak

### 3.1.1 Diodo arteztaileak

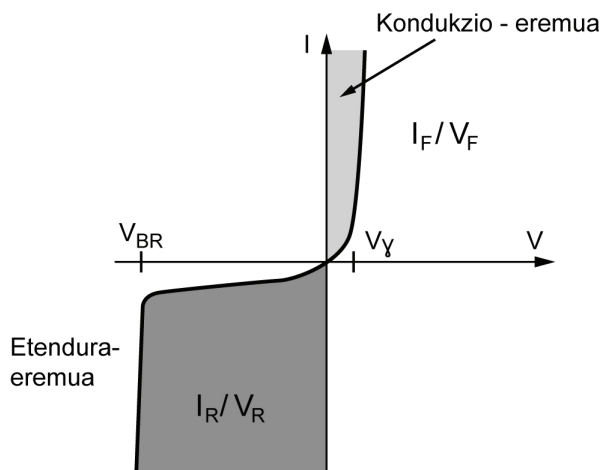
Seinale alternoaren artezketarako erabiltzen diren *p-n* junturako diodoak dira diodo arteztaileak. Eskuarki, 0,5A-tik beherako korronteekin ari bagara, *diodo* hitza erabiltzen dugu, eta, korronte handiagoetarako, *arteztaile* hitza erabiltzen dugu. Atal honetan, diodo arteztaile baten aukeraketa egokia egiteko kontuan hartu beharreko ezaugarri tekniko garrantzitsuenak aztertuko ditugu:



**3.1 Irudia:** Diodoa kapsula zilindrikoarekin (ezkerra), eta elementuaren sinboloa (eskuma). Kapsulako eraztunak katodoaren kokapena adierazten du.

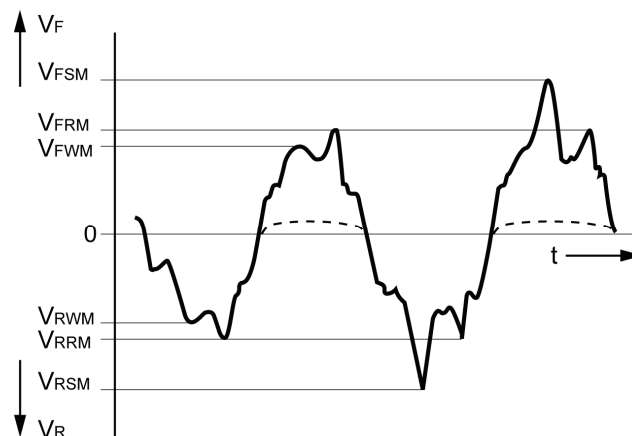
**Korrante-tentsioa kurba-bereizgarria: I-V**

Kurba bereizgarri hori da diodo bat aukeratzeko lehenengo begiratuko dugun ezaugarria. Hor, diodoak seinalea nola arteztuko duen antzemango dugu begirada batean (ikus 3.2 irudia). Aukeraketarako parametririk garrantzitsuenak alderantzizko tentsio maximoa ( $V_{RRM}$ ) eta batez besteko korrante zuzena ( $I_{FV}$ ) dira. Siliziozko diodoen atariko tentsioa ( $V_f$ ) 0,5-0,7V ingurukoa da beti. Kommutazio-aplikazioetarako, aurrerago ikusiko dugun bezala, alderantzizko berreskurapen-denbora ( $t_{rr}$ ) ere parametro garrantzitsua da.



**3.2 Irudia:** Diodo arteztailearen kurba-bereizgarria. Polarizazio zuzenezkin ( $V_f$ ) korrantea oztopo handirik gabe igaro daiteke; alderantzizko polarizazioarekin ( $V_R$ ), ordea, oso korrante txikia igarotzen da (irudian pixka bat handituta agertzen bada ere).

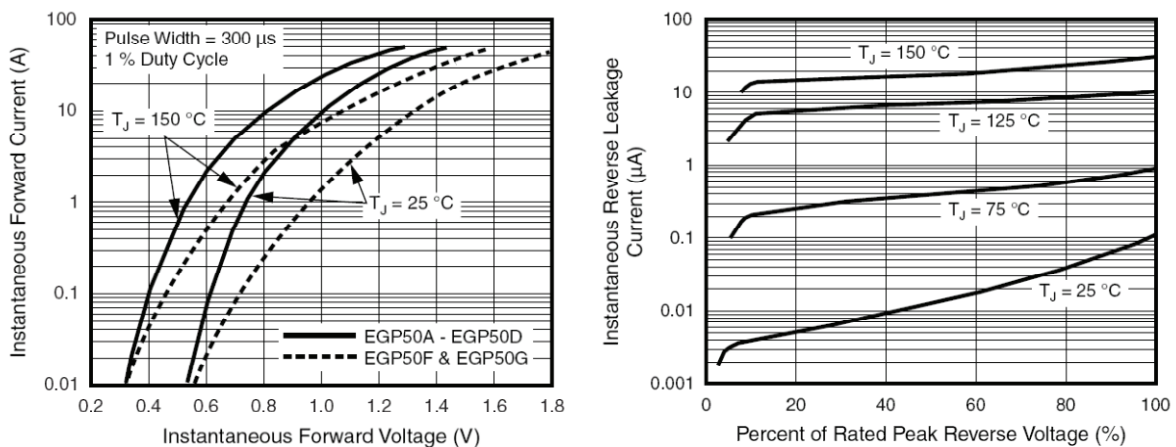
- $V_R$  Alderantzizko tentsio jarraitua
- $V_{RRM}$  Alderantzizko mutur-tentsio errepikakorra
- $V_{RSM}$  Alderantzizko mutur-tentsio ez-errepikakorra
- $V_{(BR)R}$  Alderantzizko etendura-tentsioa
- $V_f$  Tentsio zuzen jarraitua
- $I_R$  Alderantzizko korrantea
- $I_f$  Korrante zuzena
- $I_{FSM}$  Korrante zuzen ez-errepikakorra
- $I_{FAV}$  Batez besteko korrante zuzen osoa



**3.3 Irudia:** Arteketaarako garrantzitsuak izan daitezkeen parametroak, bai batez besteko balioak, eta bai balio errepikakorrak eta ez errepikakorrak.

**Temperaturarekiko mendekotasuna**

Dakigunez, material erdieroaleen eroankortasuna temperaturarekin handitzen da. Egia esan, eramaileen (elektroiak eta hutsuneak) difusio-korrontea handitzen da, eta arraste-korrontea, berriz, konstante mantentzen da. Horren ondorioz, tentsio jakin baterako gertatzen den korronte-hazkuntza alderantzizko polarizazioetan soilik nabaritzen da, eta zuzeneko polarizazioetan, berriz, aintzat ez hartzeko modukoa da (3.4 irudia). Temperatura-aldaketaren beste ondorio bat alderantzizko etendura-tentsioaren aldaketa da, baina aldaketa hori ez da beti zeinu berarekin gertatzen. Hala da, etendura elektroijauziaren efektuz gertatuz gero (hau  $V_{BR} > 8V$  duten diodoetan gertatzen da), etendura-tentsioaren balioa temperaturarekin handitzen da. Etendura Zener-efektuz gertatuz gero, ordea, ( $V_{BR} < 4V$  duten diodoetan gertatzen da hori), etendura-tentsioaren balioa temperaturarekin txikitzen da. Tarteko balioetarako ez dago aldaketaren zeinua auresaterik, eta ezaugarri-orrietan begiratu beharko dugu.

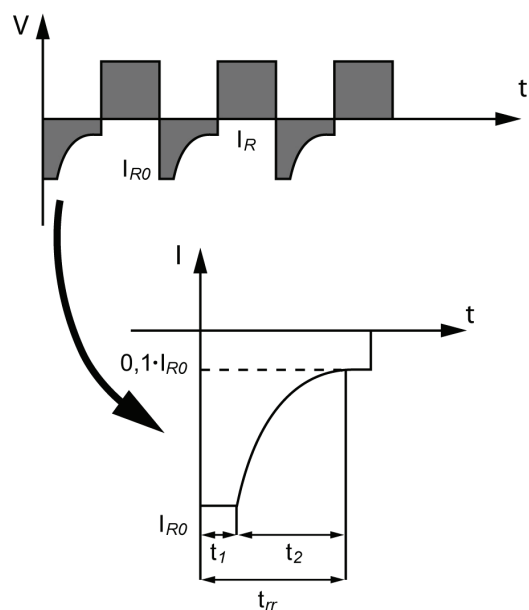


**3.4 Irudia:** Polarizazio tentsio jakinerako diodotik igaroko den korrontea temperaturarekin aldatuko da. Erlatibolki aldaketa hau nabarmena da alderantzizko polarizazioarekin (eskuma), baina eragin txikia du polarizazio zuzenarekin. Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.


**Alderantzizko berreskurapen-denbora:  $t_{rr}$**

Diodo arteztaileak sailkatu eta aukeratu daitezke, ez soilik jasan dezaketen korronte eta tentsioen mailen arabera, kommutatzeko duten azkartasunaren arabera baizik. Maiztasun handiko seinaleen artezketarako edo seinaleen kommutazio azkarretarako diodoak aukeratu behar ditugunean,  $t_{rr}$  lehen mailako parametroa da. Diodoaren berreskurapen-denbora nahikoa txikia ez bada arteztu behar duen seinalearen periodoaren aldean ( $t_{rr} \leq T/2$ ), seinale arteztuaren distortsioa gertatuko da (ikus 3.5 irudia).

Azkartasunaren arabera, arteztaile estandarrak ( $t_{rr} > 500ns$ ), azkarrak ( $100ns < t_{rr} < 500ns$ ), superazkarrak ( $50ns < t_{rr} < 100ns$ ) eta ultrazkarrak ( $t_{rr} < 50ns$ ) ditugu. Ondorengo ezaugarri-orrian, kommutazio azkarreko diodo arteztaile baten ezaugarri elektriko garrantzitsuenak azter daitezke.




**3.5 Irudia:** Alderantzizko polarizaziotik polarizazio zuzenerako trantsizioa da motelena diodoetan.



**BY500-100 thru BY500-800**  
 Vishay General Semiconductor

## Soft Recovery Fast-Switching Plastic Rectifier



DO-201AD

**FEATURES**



- Fast switching for high efficiency
- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 260 °C, 40 s
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

**TYPICAL APPLICATIONS**

For use in medium frequency rectification of switching mode power supplies, inverters, converters, TV sanning, Ultrasonic-system, speed controlled DC motors, low RF interference and freewheeling diode circuit.  
(Note: These devices are not Q101 qualified.)

**MECHANICAL DATA**

**Case:** DO-201AD, molded epoxy body  
Epoxy meets UL 94V-0 flammability rating  
**Terminals:** Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD22-B102  
E3 suffix for consumer grade, meets JESD 201 class 1A whisker test  
**Polarity:** Color band denotes cathode end

  
  
**RoHS**  
COMPLIANT

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	5.0 A
$V_{RRM}$	100 V to 800 V
$I_{FSM}$	200 A
$t_{rr}$	200 ns
$I_R$	10 $\mu$ A
$V_F$	1.35 V
$T_J$ max.	125 °C

MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)								
PARAMETER	SYMBOL	BY500-100	BY500-200	BY500-400	BY500-600	BY500-800	UNIT	
Maximum repetitive peak reverse voltage	$V_{RRM}$	100	200	400	600	800	V	
Maximum RMS voltage	$V_{RMS}$	70	140	280	420	560	V	
Maximum DC blocking voltage	$V_{DC}$	100	200	400	600	800	V	
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_L = 45\text{ }^\circ\text{C}$	$I_{F(AV)}$	5.0						A
Peak forward surge current 10ms single half sine-wave superimposed on rated load at $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	$I_{FSM}$	200						A
Maximum repetitive peak forward surge	$I_{FRM}$	10						A
Operating junction temperature range	$T_J$	- 50 to + 125						$^\circ\text{C}$
Storage temperature range	$T_{STG}$	- 50 to + 150						$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)								
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	BY500-100	BY500-200	BY500-400	BY500-600	BY500-800	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	5.0 A	$V_F$	1.35					V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ $T_A = 100\text{ }^\circ\text{C}$	$I_R$	10 1.0					$\mu$ A mA
Maximum reverse recovery time <sup>(1)</sup>		$t_{rr}$	200					ns
Maximum reverse recovery current	$I_F = 1.0\text{ A}$ , $V_R = 30\text{ V}$ , $di/dt = 50\text{ A}/\mu\text{s}$ , $I_{rr} = 10\% I_{RM}$	$I_{RM(REC)}$	2.0					A
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz	$C_J$	28					pF

**3.1 Orria (1/2):** Kommutazio azkarreko diodo baten ezaugarri elektrikoak. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

**RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES**

( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

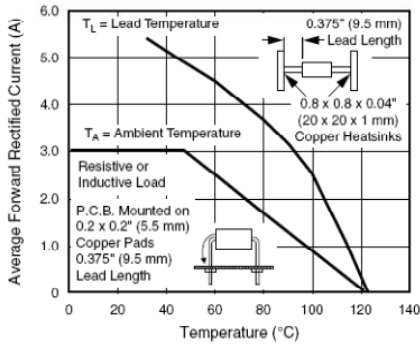


Figure 1. Forward Current Derating Curves

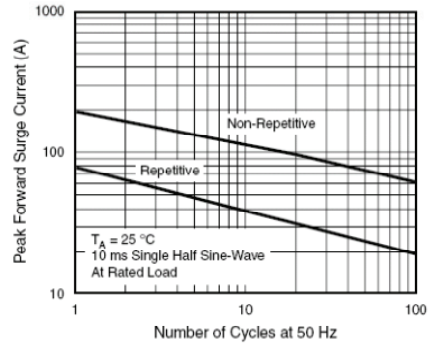


Figure 2. Maximum Peak Forward Surge Current

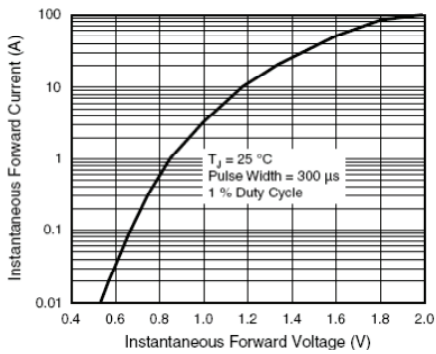


Figure 3. Typical Instantaneous Forward Characteristics

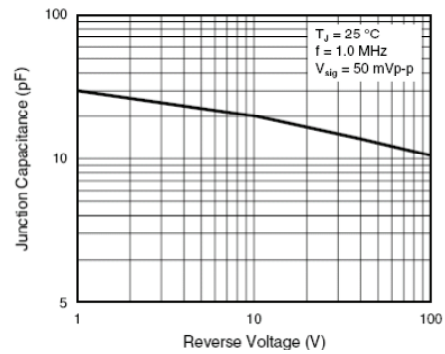


Figure 5. Typical Junction Capacitance

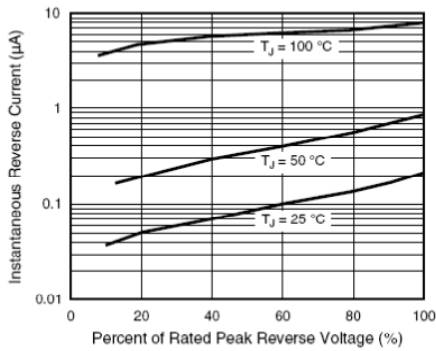
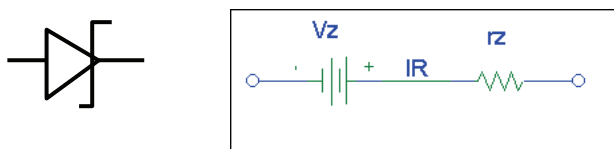


Figure 4. Typical Reverse Characteristics

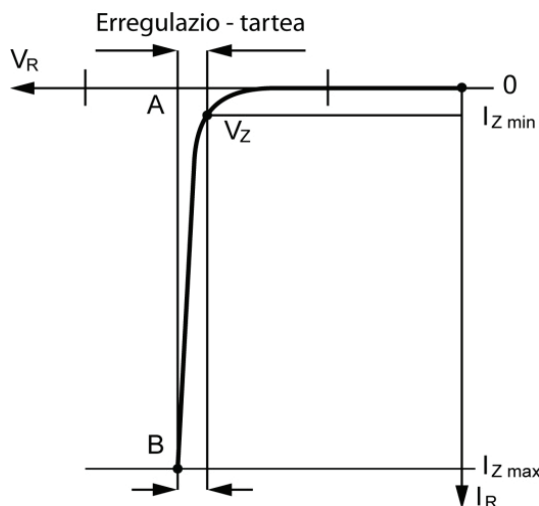
**3.1 Orria (2/2): Diodoaren kurba-bereizgarri batzuk.**

### 3.1.2 Zener Diodoak

Zener diodoetan, etendura-tentsioaren balioa zehaztasunez ezagutzen da, eta haien etendura-tentsioa gutxi aldatzen da alderantzizko korrontearen hazkuntza azkarrarekin. Nahiz eta *Zener* izena izan, horrek ez du esan nahi etendura Zener-efektuaz gertatzen denik. Zener diodoak alderantzizko polarizazioarekin erabiltzen dira. Polarizazioak nahikoa izan behar du etendura-tentsioa lortzeko eta *erregulazio-tartean* sartzeko. Horrela, ziurtatzen da diodoaren tentsioa etendura edo *zener-tentsioan* ( $V_Z$ ) egonkortuko dela.



**3.6 Irudia:** Zener diodoaren sinboloa (ezkerra) eta dagokion zirkuitu baliokidea (eskuma).




**3.7 Irudia:** Zener diodoak alderantzizko tentsio nahikoa behar du erregulazio-eremuan lan egiteko.

Zener diodoen aukeraketarako parametririk garrantzitsuenak  $V_Z$  (Zener-tentsioa), lan-korrontea erregulazio-tartean ( $I_Z$ ), erresistentzia diferentziala erregulazio-tartean ( $r_Z$ ) eta potentzia izendatua ( $P$ ) dira.  $V_Z$ -ren tolerantzia ere garrantzitsua izan daiteke. Zener-tentsioaren balio izendatuak normalizatuta daude (ikus 3.1 Taula), eta xahutze-potentzia jakinetarako fabrikatzen dira. Zener-diodoen oinarriko aplikazioak tentsio-erregulazioa, zirkuitu mugatzaileak eta gaintentsioen kontrako babesa dira.

V <sub>Z</sub> balio normalizatuak Zener diodoetarako (Volt)				
2,4	5,6	13	33	75
2,7	6,2	15	36	82
3,0	6,8	16	39	91
3,3	7,5	18	43	100
3,6	8,2	20	47	110
3,9	9,1	22	51	120
4,3	10	24	56	130
4,7	11	27	62	160
5,1	12	30	68	180
				200

**3.1 Taula:** Zener-tentsioen balio izendatu normalizatuak


Ondorengo ezaugarri-orrian, 1,5W-eko potentziazko zener diodoaren ezaugarri elektrikoak azter daitezke:



## Z4KE100 thru Z4KE200A

Vishay General Semiconductor

### Glass Passivated Power Voltage-Regulating Diodes



DO-204AL (DO-41)

**FEATURES**

- Plastic MELF package
- Ideal for automated placement
- Glass passivated chip junction
- Low Zener impedance
- Low regulation factor
- Solder dip 260 °C, 40 s
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

**TYPICAL APPLICATIONS**

For general purpose regulation and protection applications.

**MECHANICAL DATA**

**Case:** DO-204AL (DO-41)

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating



Base P/N-E3 - RoHS compliant, commercial grade

Base P/NHE3 - RoHS compliant, high reliability/automotive grade (AEC Q101 qualified)

**Terminals:** Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test. HE3 suffix meets JESD 201 class 2 whisker test

**Polarity:** Color band denotes cathode end

**RoHS**  
COMPLIANT

PRIMARY CHARACTERISTICS	
V <sub>Z</sub>	100 V to 200 V
P <sub>D</sub>	1.5 W
I <sub>R</sub>	0.5 μA
T <sub>J</sub> max.	150 °C

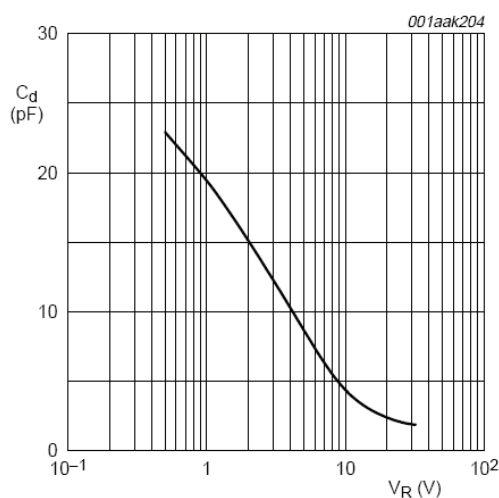
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T <sub>A</sub> = 25 °C unless otherwise noted)											
TYPE	ZENER VOLTAGE AT 5.0 mA		MAXIMUM ZENER DYNAMIC IMPEDANCE				MAXIMUM DC REVERSE LEAKAGE CURRENT AT V <sub>R</sub>			MAXIMUM INSTANTANEOUS FORWARD VOLTAGE AT 0.50 A	MAXIMUM CONTINUOUS REGULATOR CURRENT <sup>(2)</sup>
	V <sub>Z</sub> (V)		I <sub>ZT</sub>	Z <sub>1T</sub>	I <sub>ZK</sub>	Z <sub>1K</sub>	V <sub>R</sub>	I <sub>R</sub> AT 25 °C	I <sub>R</sub> AT 100 °C	V <sub>FM</sub>	I <sub>ZM</sub>
	MIN.	MAX.	(mA)	(Ω)	(mA)	(Ω)	(V)	(μA)	(μA)	(V)	(mA)
Z4KE100	90	110	5.0	500	0.25	5000	72.0	0.5	100	1.0	15.0
Z4KE100A	95	105	5.0	500	0.25	5000	76.0	0.5	100	1.0	15.0
Z4KE110	99	121	5.0	600	0.25	5000	79.2	0.5	100	1.0	13.0
Z4KE110A	104	116	5.0	600	0.25	5000	83.2	0.5	100	1.0	13.0
Z4KE120	108	132	5.0	700	0.25	5000	86.4	0.5	100	1.0	12.0
Z4KE120A	114	126	5.0	700	0.25	5000	91.2	0.5	100	1.0	12.0
Z4KE130	117	143	5.0	800	0.25	5000	93.6	0.5	100	1.0	11.0
Z4KE130A	124	137	5.0	800	0.25	5000	99.2	0.5	100	1.0	11.0

3.2 Orria : Zener diodo baten ezaugarri-orrietako xehetasun batzuk.



### 3.1.3 Kapazitate aldagarriko diodoak (*Varicap*)

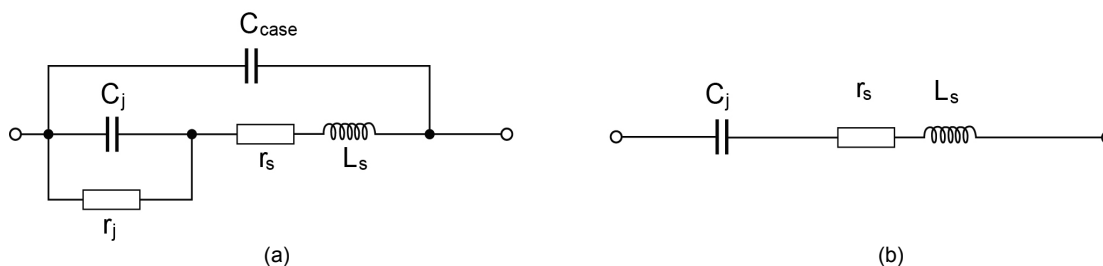
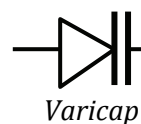
Jakina denez, diodoen  $p-n$  junturek badute kapazitate elektrikoa: juntura-kapazitatea ( $C_j$ ) (askotan,  $C_D$  sinboloa erabiltzen da, "diodoaren kapazitatea" hitzetatik eratorria). Aplikazio gehienetarako kapazitatea ahalik eta txikiena izatea komeni bada ere (kommutazio-denbora laburrak izan ditzaten), propietate hori probetxuzkoa ere izan daiteke. Gogora dezagun, gainera, diodoen juntura-kapazitatea aplikatutako polarizazio-tentsioarekin aldatzen dela. Horrela, diodoaren kapazitatearen balioa polarizazio-tentsioaren bidez kontrola dezakegu (ikus 3.8 irudia). Diodoen kapazitatearen balioa nabarmena da alderantzizko polarizazioarekin eta, horren ondorioz, varicap-en polarizazio-tartea etendura-tentsioa eta atariko tentsioaren artekoa da (aplikatutako seinalearen anplitudea kenduta). Kapazitate aldakorreko diodoak edo *varicap*-ak kapazitatearen balioak eta haren aldagarritasun egokia izateko fabrikatzen diren diodoak dira; gaur egun, aplikazio elektroniko anitzetan aurkituko ditugu: sintonizagailuak, maiztasun-biderkatzaileak, seinale-modulazioa, iragazki doigarriak, amplifikazio parametrikoa eta abar.



**3.8 Irudia:** Varicap baten kapazitatearen aldakuntza aplikatutako alderantzizko tentsioaren mende. (NXP Semiconductors)

*Varicap* baten zirkuitu baliokidea 3.9 irudikoa litzateke, baina, siliziozko diodoetarako,  $r_j$  oso handia da, alderantzizko polarizazioetarako, eta, maiztasun handietan, kapsularen kapazitatea baztergarria da:

- $C_{case}$  → Kapsularen kapazitatea
- $C_j = C_D$  → Juntura-kapazitatea
- $r_s$  → Serieko erresistentzia
- $L_s$  → Serieko induktantzia
- $r_j$  → Juntura-erresistentzia



**3.9 Irudia:** *Varicap*en zirkuitu baliokide osoa (a) eta sinplifikatua (b).

Juntura-kapazitatea honela kalkula dezakegu teorikoki:

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(\frac{1 + V_R}{V_D}\right)^n} \quad (3.1)$$

$C_{j0}$  → Juntura-kapazitatea polarizazio-tentsiorik gabe ( $V_R=0$ )

$V_D$  → Difusio-tentsioa (0,7V siliziorako)

$n$  → Teknologiaren araberako berretzailea


Varicapen kalitate-faktorea ere parametro garrantzitsua da:

$$Q = \frac{1}{2\pi \times f \times C_j \times r_s} \quad (3.2)$$

Varicapekin lor daitezkeen kapazitateak txikiak dira (pF), eta aldagarritasuna ere nahiko mugatua da. Aukeraketa egokia egiteko eta aldagarritasunaren neurri bat izateko, *kapazitate-erlazioaren* balioak ematen dira, hau da, zenbatean aldatzen den kapazitatea emandako bi polarizazio-tentsioren artean:

$$r = \frac{C_{j(V_{R1})}}{C_{j(V_{R2})}} \quad (3.3)$$

Bukatzeko aipatu behar da tenperatura-koefizientea ere kontsultatu beharreko parametroa izan daitekeela, juntura-kapazitatea tenperaturarekin ere aldatzen baita.



**BB814**

Vishay Semiconductors

### Dual Varicap Diode

**Features**

- Silicon epitaxial planar diode
- Common cathode
- Lead (Pb)-free component
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002-96/EC



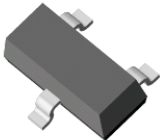
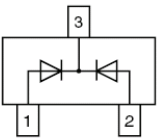
**Applications**

- Tuning of separate resonant circuits
- Push-pull circuits in FM range
- Especially for car radios

**Mechanical Data**

**Case:** SOT23 plastic case

**Weight:** approx. 8.1 mg

18108

**Packaging codes/options:**

GS18/10K per 13" reel (8 mm tape), 10K/box

GS08/3K per 7" reel (8 mm tape), 15K/box

3.3 Orria (1/2): SMD kapsulan muntatutako siliziozko varicap bikoitza.

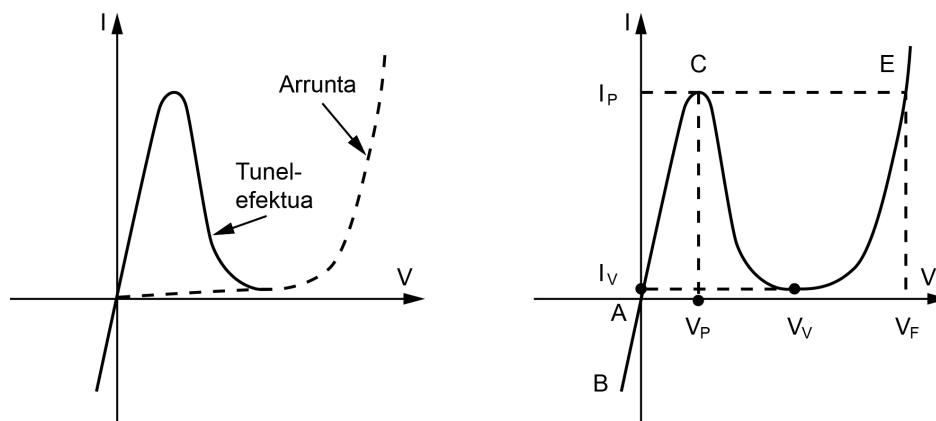
Electrical Characteristics							
$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified							
Parameter	Test conditions	Part	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Reverse current	$V_R = 16\text{ V}$		$I_R$			20	nA
	$V_R = 16\text{ V}, T_j = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$		$I_R$			200	nA
Diode capacitance <sup>1)</sup>	$V_R = 2\text{ V}$	BB814-1	$C_D$	43		45.5	pF
		BB814-2	$C_D$	44.5		46.5	pF
	$V_R = 8\text{ V}$	BB814-1	$C_D$	19.1		21.95	pF
		BB814-2	$C_D$	19.75		22.70	pF
Capacitance ratio	$V_R = 2\text{ V}, 8\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$		$C_{D2}/C_{D8}$	2.05		2.25	
Series resistance	$C_D = 38\text{ pF}, f = 100\text{ MHz}$		$R_s$			0.5	$\Omega$

Note:  
<sup>1)</sup> In the reverse voltage range of  $V_R = (2\text{ V to } 8\text{ V})$  for diodes 4 taped in sequence the max. deviation is 3 %

### 3.3 orria (2/2): Varicaparen ezaugarri elektrikoak.

## 3.1.4 Tunel-diodoak

Erdieroale endekatuekin eraturako  $p-n$  junturetan, eramaileen transferentzia *tunel-efektuaren* bidez (efektu kuantikoa) gerta daiteke,  $p$  eremutik  $n$  eremurantz. Efektu horren ondorioz, erresistentzia negatiboko (izatez erresistentzia diferentzial negatiboa esan beharko genuke) eremua agertzen da diodoaren polarizazio zuzeneko  $V-I$  kurba bereizgarrian. Alderantzizko polarizaziopean ere, tunel-efektuaren ondorioz, korrante-jarioa gertatzen da (ikus 3.10 irudia), eta, horren ondorioz, ez da korrante elektrikoaren etendurarik sortzen. Horrelako diodoei *tunel-diodoak* edo *Esaki diodoak* (gailuaren asmatzailearen izena) deritze.

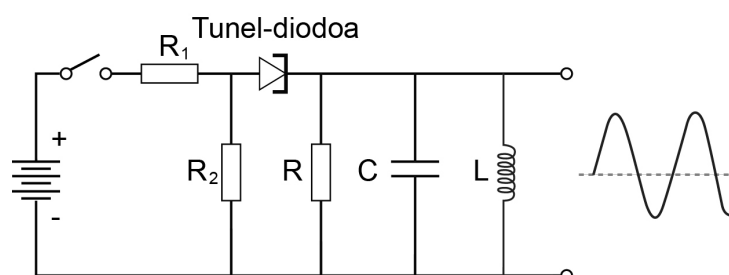


**3.10 Irudia:** Tunel-diodoen kurba bereizgarria bi efektuaren batuketaren ondorio da:  $p-n$  junturetan gertatzen den eramaileen jario arruntarena eta tunel-efektu kuantikoarena.

Kurba bereizgarria ezaugarritzeko, honako parametro hauen balioak erabiltzen dira:

- $I_P$  → Mutur-korrontea
- $V_P$  → Mutur-tentsioa
- $I_V$  → Korrante apala
- $V_V$  → Tentsio apala

Erresistentzia negatiboko eremua dela eta, tunel-diodoak aproposak dira maiztasun handiko osziladoreak eta amplifikagailuak egiteko. 3.11 irudian, tunel-diodo batekin eratutako osziladore elektroniko baten eskema dugu.



**3.11 Irudia:** Tunel-diodo batekin eratutako osziladore, osagaiaren erresistentzia negatiboko eremuan gertatutako seinale-irabaziari ezker lortutakoa.

$P-N$  junturaren dopaketa egokiarekin, alderantzizko polarizaziopeko tunel-efektuaren ondorioz gertatzen den korrante hazkuntza hain bortitza izan daiteke, non, ia hasiera-hasieratik ( $V_R=0.1V-0.7V$ ), diodoaren etendura gertatzen baita. Horrelako diodoek korrantea hobeki eramaten dute alderantzizko polarizaziopean polarizazio zuzenpean baino, eta, horregatik, *backward* edo "atzerantzko" diodoak deritze (batzuetan, *unitunel diodoak* ere esaten zaie). Gailu horiek egokiak dira oso anplitude txikiko seinaleak detektatzeko eta zuzentzeko. Oso kapazitate txikikoak direnez, konmutadore azkarrak egiteko ere, aproposak dira.

### 3.1.5 Schottky diodoak

Diodoak  $p-n$  juntura baten bidez egin beharrez, metal-erdieroale edo *Schottky* motako langaren bidez eginez gero, oso atari-tentsio txikiko ( $0,7-1,7V$ ) eta oso kapazitate txikiko diodoak lor daitezke. Horren ondorioz, Schottky diodoak oso aproposak dira bai anplitude txikiko seinaleak artezteko (artezketa eraginkorragoa da), bai abiadura handiko konmutaziorako zein maiztasun handiko zirkuituetarako. Gainera, metalezko junturek beroa hobeki xahutzen dutenez, potentzia handiko artezketarako ere egokiak dira.

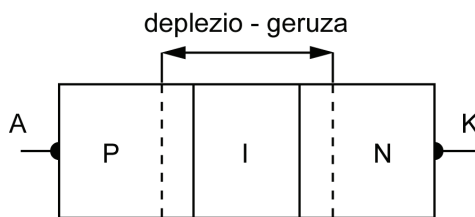


(Schottky diodoaren sinboloa)

Schottky diodoen mugapenik handiena bere alderantzizko tentsio-tarte erlatiboki txikia da ( $V_R < 50V$ ), eta tentsio txikiko aplikazioetarako soilik da erabilgarria. bere alderantzizko ihes-korrante nabarmena da beste mugapen garrantzitsu bat. Gainera, ihes-korrantea temperaturarekin handitzen denez, *ezgonkortasun termikoa* ager daiteke.

### 3.1.6 PIN diodoak

PIN diodoen izena bere egitura deskribatzeko erabilitako *P-Intrintseko-N* hitzen akronimoa da. Horrela da, PIN diodoetan, oso bortizki dopatutako  $P$  eta  $N$  eremuen artean erresistibitate handiko erdieroalea dago kokatuta (ia intrintsekoa dena), eta deplezio-geruza zabala lortzen du. Egitura horrekin, helburu bikoitza lortzen da: maiztasun handiko erabileretarako (GHz) kapazitate oso txikiko juntura, eta tentsio handiak jasateko gai den juntura. Are gehiago, mikrouhinen eremuan, oso inpedantzia handiko diodoa da alderantzizko polarizaziopean, eta oso inpedantzia txikikoa zuzeneko polarizaziopean.



**3.12 Irudia:** PIN diodoaren egitura sinplifikatua.  $p$  eta  $n$  eremuen artean silizio intrintsozko eremua dago.

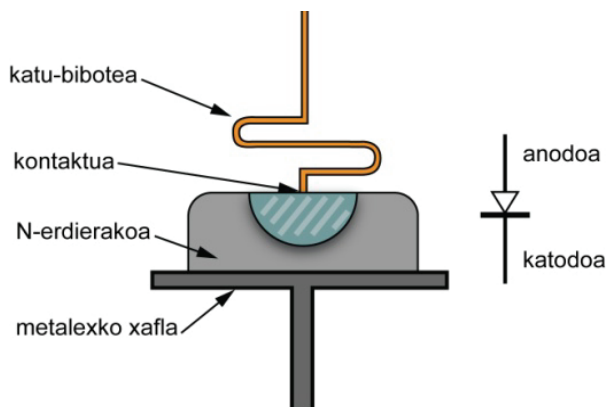
PIN diodoak egokiak dira, beraz, komunikazio mugikorretako zirkuituetan erabiltzeko, RF aplikazioetarako, konmutazio ultraazkarretarako eta tentsio handiko artezketarako. Maiztasun txikietan, ordea, erresistentzia nabarmeneko eta eraginkortasun txikiko diodoak dira.

### 3.1.7 Diodoen fabrikazio-teknologiak

Atal honetan, diodoen fabrikaziorako erabiltzen diren oinarrizko prozesu teknologikoak esplikatuko ditugu. Diodo diskretuez arituko gara (banaka kapsulatzen direnak), eta ez diodo integratuez, azken horiek, bestelako osagai integratuekin batera, bosgarren kapituluan aztertuko baititugu. Hasteko, juntura-diodoak (gehienak) eta kontaktuzko punta-diodoak (gutxiengoak) bereizi behar genituzke.

#### 3.1.7.1 Kontaktuzko punta-diodoak

Puntazko diodoak 3.13 irudiko eskemari jarraituz fabrikatzen dira. Horrelakoak ziren fabrikatu ziren lehenengo diodoak, eta, oraindik, gaur egun ere fabrikatzen dira, mikrouhinekin aritzeko haien kapazitate txikiagatik. Puntazko diodoek, ordea, korrante txikiak eramateko gai dira soilik junturazko diodoekin konparatuta.



**3.13 Irudia:** Kontaktuzko punta-diodoaren irudi eskematikoa. Egitura honekin osas kapazitate txikiko diodoak lortu daitezke maiztasun handietan erabiltzeko.

*Katu-bibotea* deritzon metalezko (berilio-kobrea, brontze-fosforoa edo wolframioa) hari fin bat  $n$  motako kristalean presio eginez kokatzen da (anodoa). Katodoaren kontaktua kristalari soldatuta dagoen metalezko xafla bat da. Bi terminalen artean, gainkorronte bat igaroaraztean,  $P$  motako materialezko eremua sortzen da, difusioz, kontaktu-puntuaren inguruan. Azkenik, multzo osoa kapsulatu egiten da.

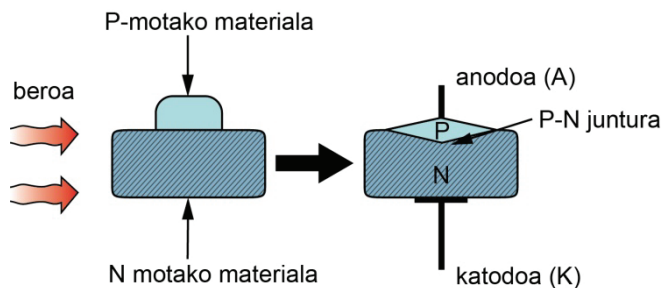
#### 3.1.7.2 Junturazko diodoak

Juntura diodoak (ohizkoenak)  $p$  motako eta  $n$  motako kristal-eremu biren arteko juntura eginez fabrikatzen dira. Juntura-gainazal hori lortzeko, hiru oinarrizko teknologia desberdin erabil

daitezke: aleazioa, difusioa eta kristal-hazkuntza (prozedura horien aldaera batzuk bosgarren kapituluan aztertuko ditugu). Fabrikaziorako erabiliko de teknologia, lortu nahi diren ezaugarrien eta fabrikazio-kostuen arabera aukeratzen da.

### 3.1.7.3 Aleazioz egindako juntura-diodoak

Aleazioz fabrikatzen diren diodoetan, korrante eta potentzia izendatu nahiko handiak lor daitezke. Bestalde, junturan sortzen den kapazitatea nahiko handia ere bada, junturaren azalera handia izaten baita.

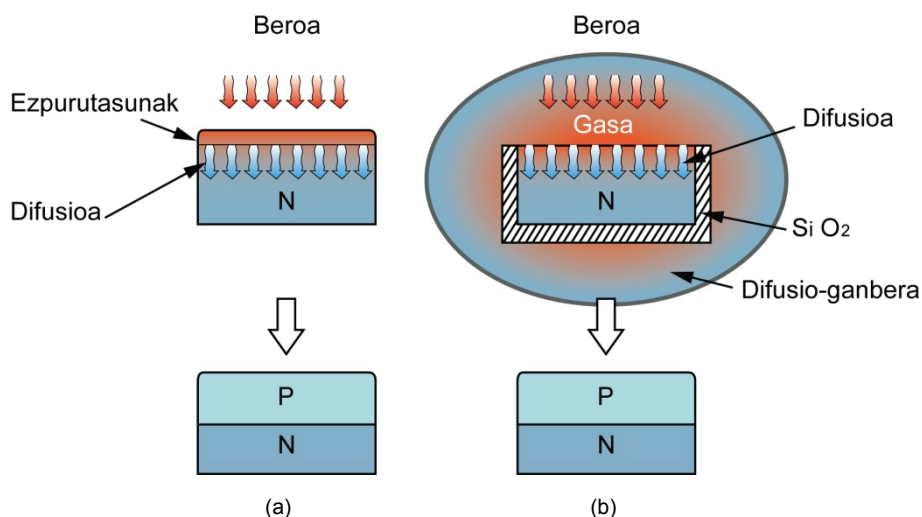


3.14 Irudia: Aleazioz eratutako junturazko diodoa.

$p$ - $n$  juntura aleazioz lortzeko,  $n$  motako substratuaren gainean,  $p$  motako ezpurutasunak dituen materiala jartzen da. Labean sartu ondoren,  $650^{\circ}\text{C}$  inguruko tenperaturan, materialen urtzea eta haien arteko aleazioa gertatzen da.  $p$ - $n$  juntura substratuaren eta aleazio-eremuaren arteko mugan kokatuta dago.

### 3.1.7.4 Difusioz egindako juntura-diodoak

Difusio-prozesua aleazioa baino prozesu motelagoa da, baina prozesu kontrolagarriagoa da, eta diodoak izango dituen ezaugarriak eta parametroen balioak hobeki doitu daitezke. Gaur egun, difusio-teknologia aleazioa baino askoz ere erabiliagoa da.



3.15 Irudia: Difusioz eratutako  $p$ - $n$  juntura. Goialdean kokatutako  $p$  motako materialaren ezpurutasunak (atomoak) apurka-apurka  $n$  motako materialean barne sartzen dira beroak lagunduta (a). Gehienetan ezpurutasunak gas moduan egoten dira difusio-ganbera baten barruan; kasu honetan, difusio-prozesua gertatu behar ez direneko substratuko aldeak silizio-oxidoz babesten dira. (b)

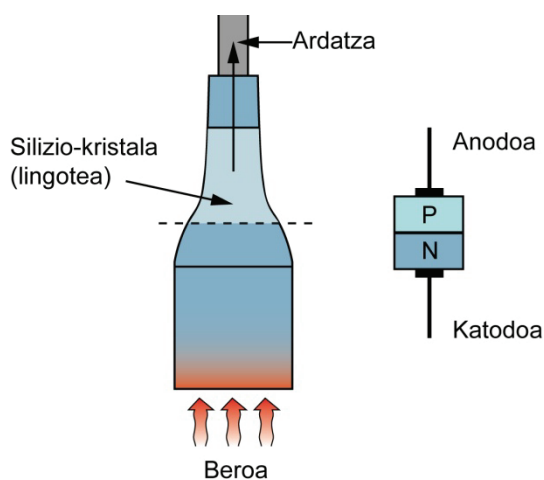
Materialak berotzean, ezpurutasunek kontzentrazio handiko eremuetatik kontzentrazio txikiagoko eremuetara migratzeko joera dute (difusioa). Gehienetan, difusio-prozesua gaseosoa izaten da; hau da, kristal erdieoroalean (demagun fosforoz dopatutako  $n$  motako siliziozko

substratua) barreiatu nahi diren ezpurutasunen kontzentrazio handia duen gas batez (demagun boroa  $p$  motako eremua lortzeko) betetzen den ganbera erabiltzen da. Substratua ganberan sartu ondoren, temperatura igotzen da, eta ezpurutasunen difusio-prozesua hasten da. Lortuko den  $p-n$  junturaren ezaugarriak gasaren konposaketak, ganberaren tenperaturak eta prozesuaren iraupenak definituko ditu.

Difusio solidoa ere posiblea da. Kasu horretan, barreiatu nahi diren ezpurutasunak substratuaren gainean ezartzen dira. Multzoa berotuz, ezpurutasunen difusioa gertatzen da, substratuaren gainazaletik kristalaren barnealderantz.

### 3.1.7.5 Kristal-hazkuntzaz egindako juntura-diodoak

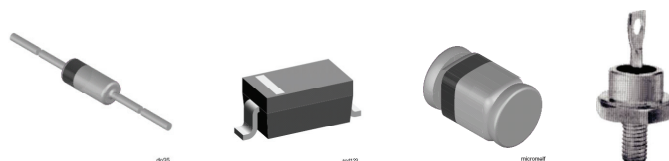
$p-n$  junturak kristal erdieroalearen eraketa-prozesuan bertan egin daitezke (ikus kristal-erdieroaleen hazkuntza-prozesuen deskribapena 5.3.1 atalean). Kristala labean eratzten ari den heinean,  $p$  eta  $n$  motako ezpurutasunak aldizka gaineratu daitezke, eta, hala, kristal-lingote osoa betetzen duen  $p-n$  juntura handi bat lortu. Hori, geroago, zatikatu egingo da. Metodo horren bidez, erraza da korrante handiak eramateko gai izango diren gainazal handiko junturak lortzea.



**3.16 Irudia:** Silizioazko kristal-lingotearen eraketa-prozesuan bertan gaineratu daitezke ezpurutasunak azalera handiko  $p-n$  junturak eratuz.

### 3.1.7.6 Kapsulaketa eta soldaketa

$p-n$  juntura duten kristal-atalak lortu eta gero, lotura mekanikoa eta elektrikoa gauzatuko dituzten kapsuletan sartu behar dira. Mota askotako kapsulak erabiltzen dira, bai formaren aldetik bai materialen aldetik (6. Kapituluaren kapsuletaz arituko gara modu zabalagoan). Potentzia izendatuak (korrante izendatuak) baldintzatzen du gehien kapsularen aukeraketa. Potentzia handiko osagaiak bero gehiago xahutu behar dute, eta, horren ondorioz, kapsula handiagoak eta beroa ondo eroaten duten materialak erabili behar dira. Korrante izendatu handiek, gainera, sekzio handiko konexio-terminalak eskatzen dituzte. Potentzia txikiko diodoek, eskuarki zirkuitu inprimatuetan muntatuko direnek, kapsula txikiak izaten dituzte, bai THD motakoak (daratulu-zuloetan sartzekoa hankatxoak dituztenak) bai SMD motakoak (txartelen gainazalean itsatsiko diren kapsula txikiak).



**3.17 Irudia:** Diodoak kapsulatzeko erabiltzen diren kasula batzuk. Ezkerretik eskuinera: THD kapsula, SMD kapsula laukizuzena, "quadroMELF", eta potentziatzko kapsula metalikoa" *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

### 3.2 Transistore bipolarrak

Transistore bipolarrak edo BJTak (*Bipolar Junction Transistor*), bi *P-N* juntura eta hiru terminaleko (igorlea, basea eta kolektorea) osagai elektroniko aktiboak dira. Barne-egituraren aldetik, bi motakoak daude: *NPN* eta *PNP*, erdieoroalearen dopaketa ordenaren arabera. Transistore bipolarren erabilerak bi multzo handietan taldekatu daitezke: amplifikagailu gisa erabiltzen direnak, eta konmutadore gisa erabiltzen direnak.



3.18 irudia

Hiru terminaleko gailua izanik, hiru oinarrizko konfigurazio elektriko dira posible: base komuna (CB), kolektore komuna (CC) eta igorle komuna (CE). Osagaia berdina izanik, konfigurazio bakoitzak ezaugarri elektriko oso ezberdinak ditu, transistoreen egitura ez baita simetrikoa. 3.1 taulan, konfigurazio bakoitzari dagokien ezaugarri elektrikoak laburbiltzen dira:

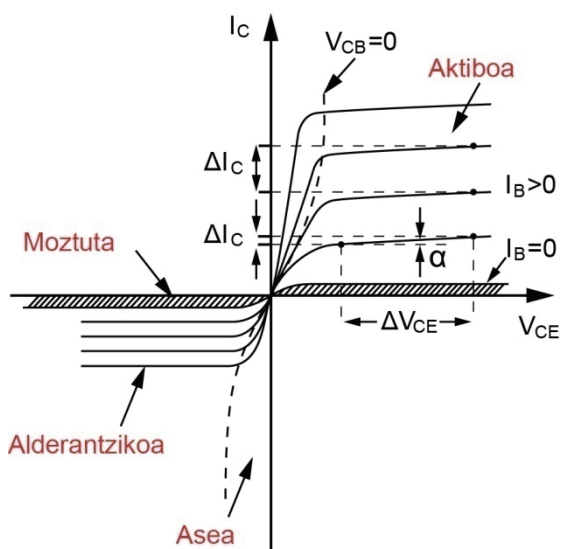
Parametroa	CE	CB	CC
Sarrerako inpedantzia: $Z_i$	Ertaina	Txikia	Handia
Irteerako inpedantzia: $Z_o$	Handia	Oso handia	Txikia
Korronte-irabazia: $h_{fe}$	Handia	<1	Handia
Tentsio-irabazia: $A_v$	Handia	Handia	<1
Trantsizio-maiztasuna: $f_t$	Txikia	Handia	Txikia

3.1 taula

Konfiguraziorik ohikoena CE da, bai amplifikaziorako bai konmutaziorako. CB konfigurazioa maiztasun handiko amplifikaziorako erabiltzen da batzuetan. KK konfigurazioak ez du inolako abantailarik eta zirkuituko beste osagaien arteko inpedantzia-moldaketak egiteko soilik erabiltzen da.

#### 3.2.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

##### Korronte-tentsioa kurba bereizgarriak



Beharbada, *I-V* kurba bereizgarriek emango digute transistoreari buruzko informaziorik gehien. Eskuarki igorle komuneko konfiguraziorako kurbak aurkituko ditugu ezaugarri-orrietan. Hor, irteerako korrontearen ( $I_c$ ) eta irteerako tentsioaren ( $V_{ce}$ ) arteko erlazioa azter dezakegu, sarrerako korronte-maila ( $I_B$ ) anitzetarako (3.19 irudia). Hor parametro transistorearen parametro batzuen balioa ere kalkula ditzakegu:

**Irteerako erresistentzia ( $R_s$ ):** baseko korrontea handitzean txikiagotzen da.

**Korronte zuzeneko irabazia ( $h_{FE}$ ):**  $I_c/I_B$  da, eta  $I_c$  eta  $V_{ce}$ -ren mendekoa da.

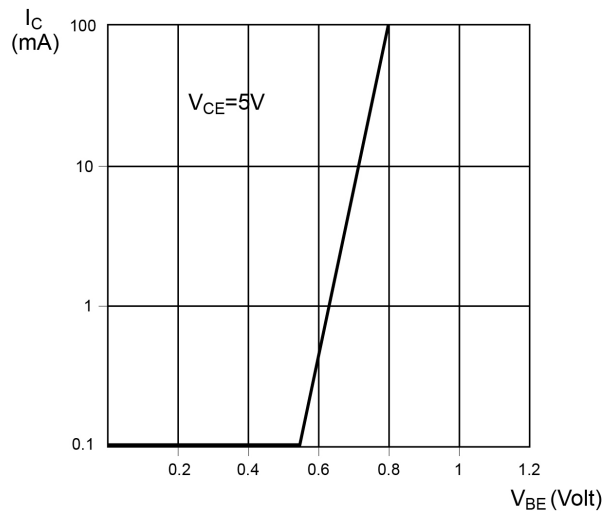
3.19 Irudia: BJT-aren *I-V* kurba bereizgarria (EK).



**Korronte alternoko irabazia ( $h_{fe}$ ):**  $\Delta I_C / \Delta I_B$  da, eta  $I_C$  eta  $V_{CE}$ -ren mendekoa da.

**Belaun-tentsioa ( $V_{CEK}$ ):** RS balioaren bat-bateko aldakuntzari dagokion  $V_{CE}$ .

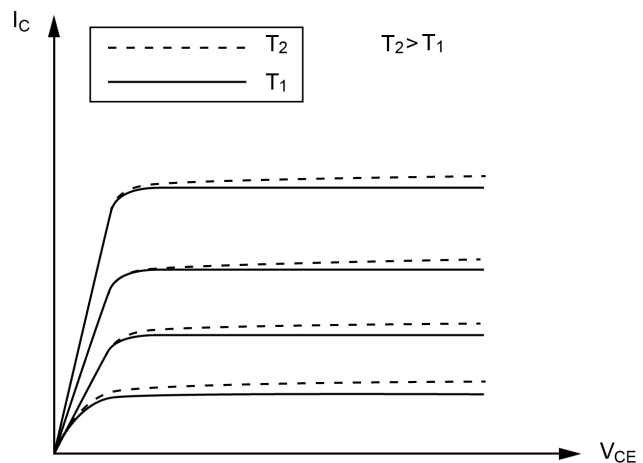
Beste I-V kurba bereizgarri garrantzitsu bat *traskonduktantzia-kurba* da, hau da, irteerako korrontea ( $I_C$ ) sarrerako tentsioaren arabera ( $V_{BE}$ ) adierazten duena. Kurba horrek diodoen I-V kurba-ezaugarrien antzerakoa da, irteera- eta sarrera-seinaleak erlazionatzen dituena.



3.20 irudia: BJT transistore baten traskonduktantzia-kurba.

### Temperaturarekiko mendekotasuna:

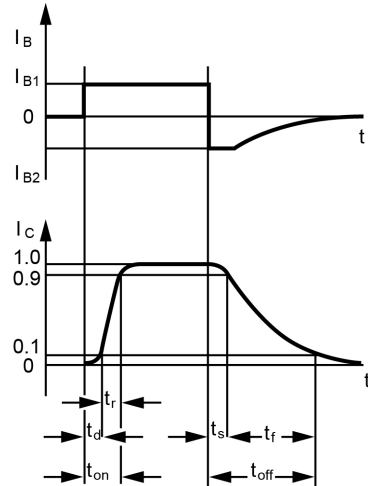
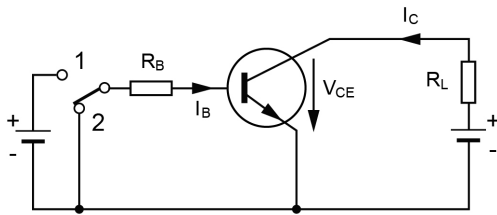
Dakigunez, osagaiaren temperatura handitzean, *P-N* junturetako alderantzizko korrontea nabarmenki haz daiteke. Ereku aktiboan polarizatutako transistorean, horrek esan nahi du  $I_{C0}$ -ren balioa handitzen dela. Efektu hori aintzat ez hartzeko modukoa da BK konfiguraziorako, baina nabarmena izan daiteke EK konfiguraziorako (gogoratu Ebers-Moll-en ekuazioak). Kolektore-korrontearen hazkuntzak junturetako temperaturaren hazkuntza eragiten du, eta, beraz, badago azelerazio termikoaren arriskua. Base-kolektoreko temperatura onargarri maximoak transistore-mota eta material erdiekoaren arabera dira, baina orokorki esan dezakegu siliziozko transistoreetarako  $T_{max} \in [150, 225]$  ( $J_{max} = 300 \text{ A/cm}^2$  korronte-dentsitate maximoa) eta germaniozkoetarako  $T_{max} (^{\circ}\text{C}) \in [60, 100]$  ( $J_{max} = 100 \text{ A/cm}^2$ )



3.21 irudia: BJT-aren irteerako korrontearen hazkuntza temperaturarekin.

### Ezaugarri dinamikoak:

Diodoetan gertatzen den antzera, transistoreek ere denbora-tarte bat behar dute irteerako korrontea sarrerako seinalearen aldaketei erantzuteko. Horren ondorioz, transistorearen konmutazio-denborak sarrerako seinaleari jarraitzeko heinekoak ez badira, irteera-pultsua atzeratuta eta distorsionatuta agertuko da sarrerarekiko (3.22 irudia).



**3.22 irudia:** Transistore bipolarraren konmutazio-denborak. On-off edo deskonexio-denbora da luzeena, transistorearen lan-maiztasuna mugatuko duena.

$$t_{on} = t_d + t_r \quad t_d: \text{atzeratze-denbora} \quad t_r: \text{igoera-denbora}$$

$$t_{off} = t_s + t_f \quad t_s: \text{karga-denbora} \quad t_f: \text{jaitiera-denbora}$$

Transistoreak konmutaziorako baino amplifikaziorako erabiltzen direnean, konmutazio-denborak erabili beharrean, *trantsizio-maiztasuna* erabiltzen da haren abiadura ezaugarritzeko. Trantsizio-maiztasunak irabaziaren eta banda-zabaleraren arteko biderkaduraren balioa ematen digu, hau da, zein maiztasunetarako murriztu den transistorearen korrante-irabazpena unitatera (0dB. Parametro hori lan-baldintzen mendekoa da ( $f_T = f(I_C, T_j)$ )).

**Tentsio, korrante eta potentzia maximo izendatuak:**

Transistore batek xahutzen duen potentzia kalkulatzeko, lehenengo eta behin, zein konfiguraziotan lan egiten duen jakin behar dugu. EK konfiguraziorako, eremu aktiboan ( $V_{BE} \approx 0$ ,  $V_{CE} \approx V_{CB}$ ) eta erregimen estatikopean, (3.4) ekuazio sinplifikatua erabil dezakegu:

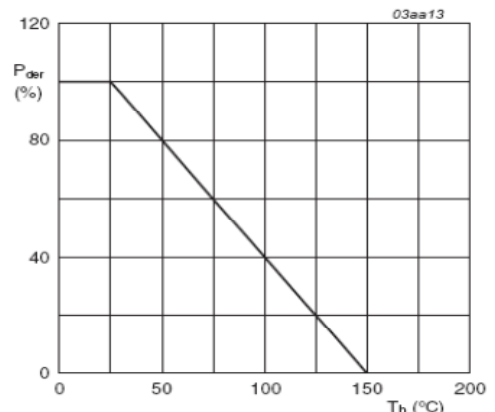
$$P = V_{CE} \times I_C \tag{3.4}$$

Seinale aldakorretarako:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T I_c(t) V_{ce}(t) dt \tag{3.5}$$

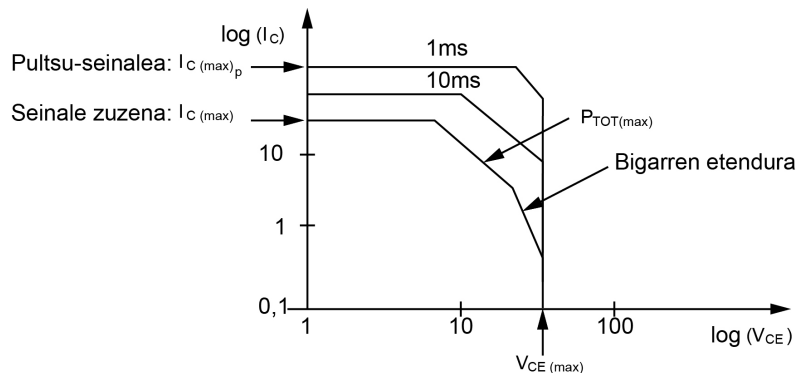
Transistoreek badute gaintu behar ez dugun potentzia izendatua. Esan beharrik ez dago ezen, beste edozein osagaitarako bezala, ingurune-temperatura handitzen bada, xahutu dezakeen potentzia txikituz doala (3.23 irudia).

Bestalde, gaintu behar ez diren tentsio eta korrante maximo izendatuaren balioak ere kontuan izan beharko ditugu. Hiru parametro horien (potentzia, tentsio eta korrantea) balio maximoek transistorearen operazio-mugak definitzen dituzte. Horri, grafikoki adierazten denean (ikus 3.24 irudia), *operazio seguruko eremua* deritzo (SOA: *Safe Operating Area*). Ziur egon



**3.23 irudia:** Potentzia normalizatua kapsularen temperaturaren arabera (NXP Semiconductors).

behar dugu transistorea eremu horren mugen barruan lan egingo duela matxurarik gerta ez dadin.



**3.24 irudia:** SOA edo operazio seguruko eremua. Transistorearen erabilera korrante maximoak, tentsio maximoak eta potentzia maximoak mugatzen dute.

### **Transistoreen aukeraketa:**

Transistoreen aukeraketa errazteko, fabrikatzaileek taldekatu egiten dituzte aplikazio-esparruaren arabera. Sailkapen hori ez da beti berdina, baina, eskuarki, honako ezaugarri hauen arabera egiten da:

- Korrontea: intentsitate arruntak ( $I_C < 0,5 \text{ A}$ ) edo handiak
- Tentsioa: tentsio arruntak ( $V_{CE0} < 100 \text{ V}$ ) edo handiak
- Maiztasuna: arruntak edo RFrako
- Potentzia: txikiak edo handiak ( $P_{\text{tot(max)}} > 0,5 \text{ W}$ )
- Kommutaziorako transistoreak ( $V_{\text{CESat}}$  txikiak eta trantsizio-denbora laburrak)

Egindako sailkapenaren arabera desberdinak izan badaitezke ere, ondoren *formatu laburreko datuen* taulak begiratu beharko ditugu. Taula horietan, transistore bakoitzaren ezaugarri tekniko garrantzitsuenen balioak adierazten dira. Ezaugarri horiek  $P_{\text{tot(max)}}$ ,  $I_{C(\text{max})}$ ,  $V_{CE0(\text{max})}$ ,  $f_T$  eta  $h_{FE}$  izaten dira. Azkenik, kapsula mota eta polaritatea (NPN ala PNP) aukeratu beharko ditugu. Azkenik, gure betebeharrak betetzeko egokiak diren transistoreen multzo txiki bat identifikatu ondoren, bakoitzaren ezaugarri-orriak aztertu beharko ditugu azkeneko xehetasunak erabakitzeko. Hurrengo orrialdetan (3.4 Orria), BJT transistore baten ezaugarri-orrietan aurkituko dugun informazioaren adibidea dugu.

## **3.2.2 BJTak fabrikatzeko teknologiak**

Hemen ere, diodoekin egin dugun bezala, transistore diskretuek arituko gara. Gainera, transistore bipolarrak, barne-egitura aldetik behintzat, bi  $P-N$  junturez osatutako osagaiak izanik, diodoen fabrikaziorako esandako gehientsua baliogarria zaigu haien fabrikazio-teknologiak aztertzeke.

### **Kontaktuzko punta-transistoreak**

$n$  edo  $p$  materialeko xaflatxoaren gainean (basea) igorle eta kolektorea egiteko, punta metalikoak kokatzen dira, eta punta-diodoetarako erabiltzen den teknika bera aplikatzen zaie. Lortzen diren transistoreak kapazitate txikikoak dira, eta, horren ondorioz, egokiak dira RF-rako, baina korronte eta potentzia txikietarako soilik balio dute. Gaur egun ez dira fabrikatzen.

# BUJ100LR

Silicon diffused power transistor

Rev. 01 — 12 August 2009 Product data sheet

## 1. Product profile

### 1.1 General description

High voltage, high speed, planar passivated NPN power switching transistor in a SOT54 (TO-92) 3 leads plastic package.

### 1.2 Features and benefits

- Fast switching
- High voltage capability of 700 V

### 1.3 Applications

- Compact fluorescent lamps (CFL)
- Inverters
- Electronic lighting ballasts
- Off-line self-oscillating power supplies

### 1.4 Quick reference data

**Table 1. Quick reference**

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$I_C$	collector current	DC; see <a href="#">Figure 1</a>	-	-	1	A
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{lead} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; see <a href="#">Figure 2</a>	-	-	2.1	W
$V_{CESM}$	collector-emitter peak voltage	$V_{BE} = 0\text{ V}$	-	-	700	V
<b>Static characteristics</b>						
$h_{FE}$	DC current gain	$V_{CE} = 5\text{ V}$ ; $I_C = 0.8\text{ A}$ ; $T_{lead} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; see <a href="#">Figure 8</a> and <a href="#">9</a>	5	7.5	20	



## 2. Pinning information

**Table 2. Pinning information**

Pin	Symbol	Description	Simplified outline	Graphic symbol
1	B	base	 <b>SOT54 (TO-92)</b>	 <i>sym123</i>
2	C	collector		
3	E	emitter		

**3.4. orria (1/3):** Siliziozko potehntziazko transistorebaten ezaugarri teknikoak (NXP semiconductors).

## 4. Limiting values

**Table 4. Limiting values**

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

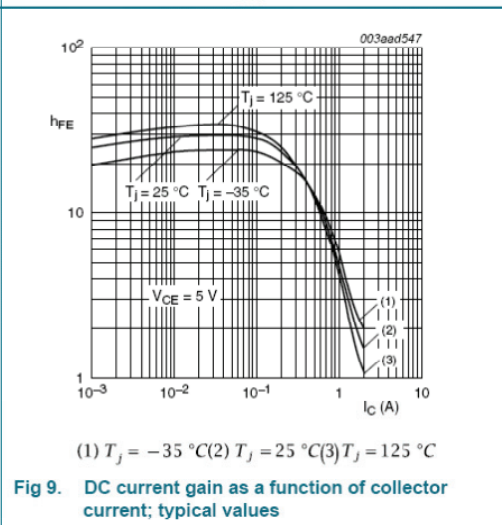
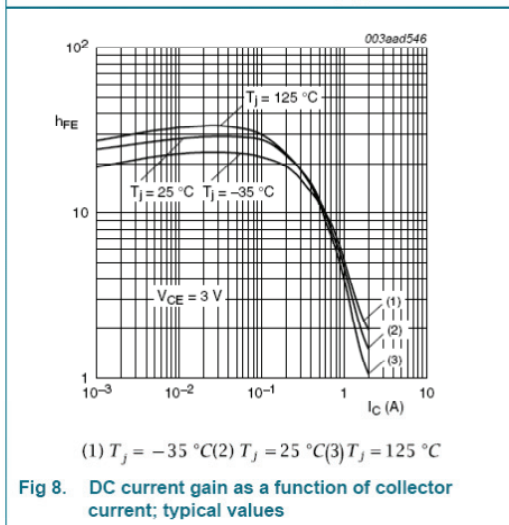
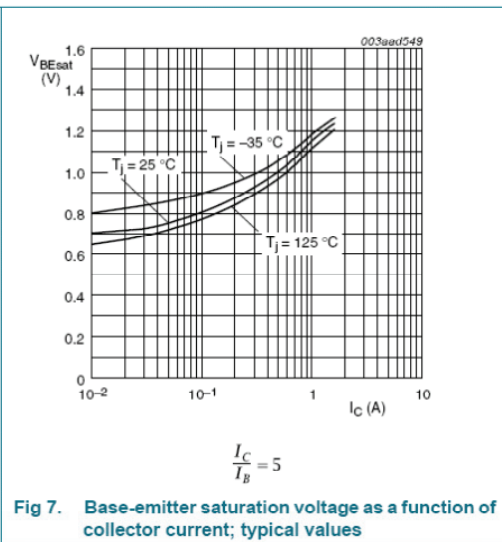
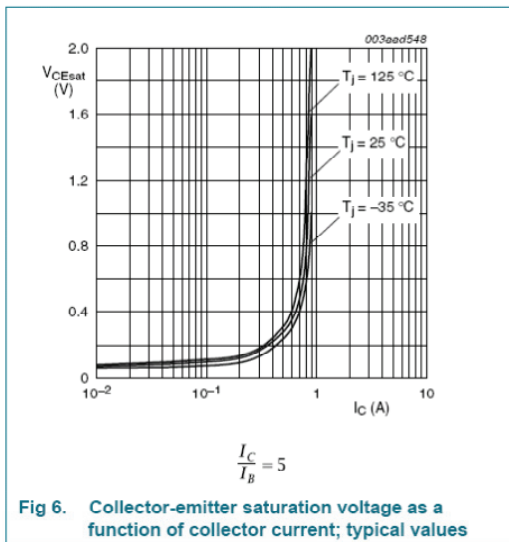
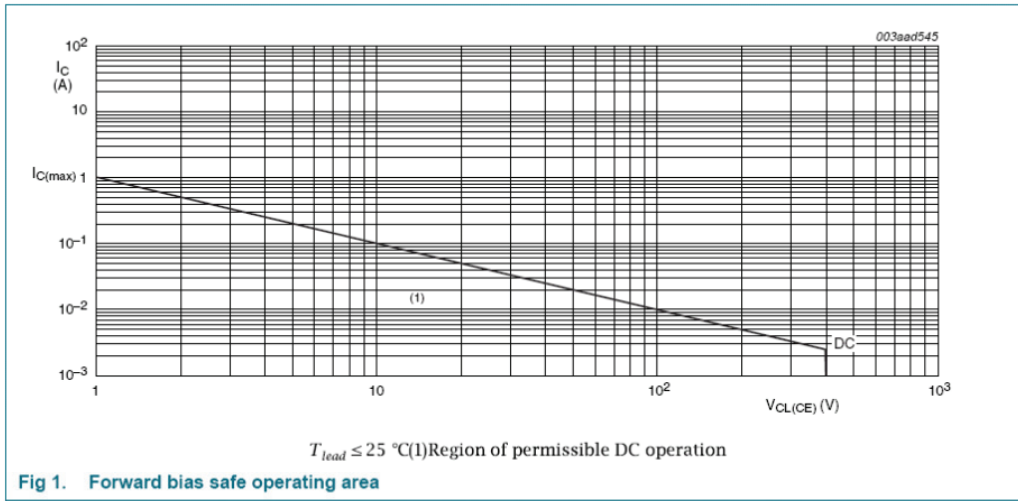
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
$V_{CESM}$	collector-emitter peak voltage	$V_{BE} = 0\text{ V}$	-	700	V
$V_{CBO}$	collector-base voltage	$I_E = 0\text{ A}$	-	700	V
$V_{CEO}$	collector-emitter voltage	$I_B = 0\text{ A}$	-	400	V
$I_C$	collector current	DC; see <a href="#">Figure 1</a>	-	1	A
$I_{CM}$	peak collector current		-	2	A
$I_B$	base current		-	0.5	A
$I_{BM}$	peak base current		-	1	A
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{lead} \leq 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 2</a>	-	2.1	W
$T_{stg}$	storage temperature		-65	150	°C
$T_j$	junction temperature		-	150	°C
$V_{EBO}$	emitter-base voltage	$I_C = 0\text{ A}$ ; $I(\text{Emitter}) = 10\text{ mA}$	-	9	V

## 6. Characteristics

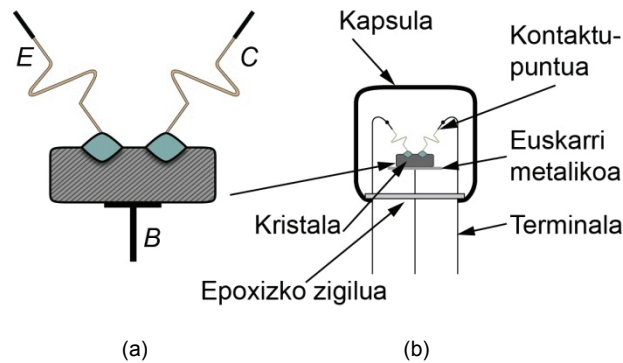
**Table 6. Characteristics**

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>Static characteristics</b>						
$I_{CES}$	collector-emitter cut-off current	$V_{BE} = 0\text{ V}$ ; $V_{CE} = 700\text{ V}$ ; $T_j = 25\text{ °C}$	-	-	1	mA
		$V_{BE} = 0\text{ V}$ ; $V_{CE} = 700\text{ V}$ ; $T_j = 125\text{ °C}$	-	-	5	mA
$I_{EBO}$	emitter-base cut-off current	$V_{EB} = 9\text{ V}$ ; $I_C = 0\text{ A}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$	-	-	1	mA
$V_{CEOsus}$	collector-emitter sustaining voltage	$I_B = 0\text{ A}$ ; $I_C = 1\text{ mA}$ ; $L_C = 25\text{ mH}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 4</a> and <a href="#">5</a>	400	-	-	V
$V_{CEsat}$	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 0.25\text{ A}$ ; $I_B = 50\text{ mA}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 6</a>	-	0.2	0.5	V
		$I_C = 0.5\text{ A}$ ; $I_B = 125\text{ mA}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 6</a>	-	0.3	1	V
		$I_C = 0.75\text{ A}$ ; $I_B = 250\text{ mA}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 6</a>	-	0.4	1.5	V
$V_{BEsat}$	base-emitter saturation voltage	$I_C = 0.25\text{ A}$ ; $I_B = 50\text{ mA}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 7</a>	-	-	1	V
		$I_C = 0.5\text{ A}$ ; $I_B = 125\text{ mA}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 7</a>	-	-	1.2	V
$h_{FE}$	DC current gain	$I_C = 0.5\text{ mA}$ ; $V_{CE} = 2\text{ V}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$	12	-	-	
		$I_C = 0.4\text{ A}$ ; $V_{CE} = 5\text{ V}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 8</a> and <a href="#">9</a>	10	-	30	
		$I_C = 0.8\text{ A}$ ; $V_{CE} = 5\text{ V}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; see <a href="#">Figure 8</a> and <a href="#">9</a>	5	7.5	20	
<b>Dynamic characteristics</b>						
$t_f$	fall time	$I_C = 1\text{ A}$ ; $I_{B(on)} = 200\text{ mA}$ ; $V_{BB} = -5\text{ V}$ ; $L_B = 1\text{ }\mu\text{H}$ ; $T_{lead} = 25\text{ °C}$ ; inductive load; see <a href="#">Figure 10</a> and <a href="#">11</a>	-	80	-	ns

3.4. orria (2/3): Siliziozko potehtziatzko transistorebaten ezaugarri teknikoak (NXP semiconductors).



**3.4. orria (3/3):** Siliziozko potehntziatzko transistorebaten ezaugarri teknikoak (NXP semiconductors).



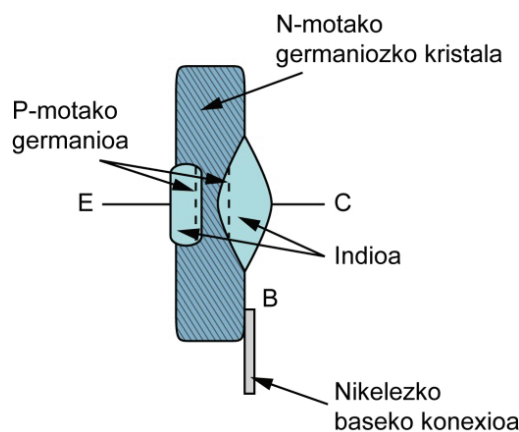
3.24 irudia: Kontaktuzko punta-transistora. Materialeen erabileraren eta egitura (a), eta osagaia kapsularen barruan kokatua (b). Gaur egun ez da teknologia hau erabiltzen transistor komertzialak fabrikatzeko.

### Juntura-transistoreak

$P$  eta  $N$  motako material erdieroaleko geruzak gainezarritzen egiten dira. Aleazioz, difusioz, kristalaren hazkuntza epitaxialez edo zenbait teknikaren arteko konbinazioz fabrika daitezke. Igorle-Base-Kolektore egiturak ezberdinak izan daitezke lortu nahi diren ezaugarri elektrikoaren arabera (korronte handiak jasateko gaitasuna, potentzia handiak, konmutazio-denbora laburrak eta abar).

#### 3.2.2.1 Aleazioz egindako transistor bipolarrak

Gaur egun osagai zaharkituak direla esan dezakegu. Transistorearen basea izango zen  $N$  motako germaniozko substratuaren aurkako aurpegietan, indiozko bi bolatxo jartzen ziren. Lehenengo kolektorearen aleazioa egiten zen, eta, ondoren, igorlearena (txikiagoa). Horretarako, germanioaren urtze-puntutik beherako eta indioaren urtze-puntutik goragoko tenperaturara berotuta zegoen labea erabiltzen zen. Azkenik, terminal metalikoak soldatu eta multzoa kapsulatu egiten zen. Transistoreak egiteko teknika planarra garatu zenean, askoz ere merkeagoa baitzen, aleazio-teknika desagertuz joan zen.



3.25 irudia: Aleaziozko transistor bipolarren egitura.

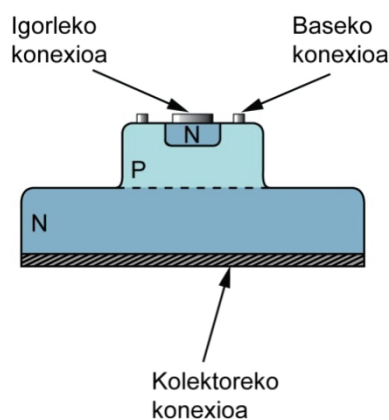
#### 3.2.2.2 Kristal-hazkuntzaz egindako transistor bipolarrak

Lehenengo siliziozko transistorak kristal-hazkuntzaz egin ziren. Czochralski hazkuntza-metodoa erabiliz (ikus 5.4.1 atala) eta  $N$  motako eta  $P$  motako ezpurutasunak tartekatuz,

siliziozko NPN sandwichak lortzen ziren. Siliziozko transistoreak germaniozkoak baino tenperatura altuagoetan operatzeko gai ziren.

### 3.2.2.3 Mesa transistoreak

Difusio-teknikak garatu zirenean,  $PN$  junturen sakonerak zehaztasun handiagoz kontrolatzeko gaitasuna lortu zen. Horren ondorioz, basearen zabalera ere zehaztasunez finkatzeko ahalmena lortu eta operazio-maiztasun askoz ere altuagoko gailuak egiteko aukera izan zuten. Ohikoena kolektorea izango den  $N$  motako substratutik hastea da. Horren gainaldean, ezpurutasunak difusioz sartzen dira,  $P$  motako geruza lortu arte (basea). Bigarren difusio-prozesu baten bidez, basearen gainean,  $N$  motako ezpurutasunak ezartzen dira (igorlea). Gero, kristalaren gaineko aurpegitik zati bat ezabatzen da, “mesa” egitura lortzeko (ikus 3.26 irudia). Horrek base-igorle junturaren tamaina txikitzen du, haren kapazitatea txikitu eta operazio-maiztasuna handitzeko. Bestalde, basearen eta kolektorearen arteko etendura-tentsioa altu mantentzeko, beharrezkoa da kolektorea sendoa izatea.



**3.26 irudia:** Mesa egitura. Basea eta igoilearen arteko juntura tamaina txikikoa da, kapazitate parasitoa txikitzeko. Aldi berean, kolektorea handia da, etendura-tentsioaren balioa handitzeko.

Kolektorearen loditasunaren ondorioz, transistorearen serie-erresistentzia ere handia izaten zen, eta lortu zitezkeen potentzia maximoak, txikiak. Arazo hori *hazkuntza epitaxiala* deritzon teknikarekin konpondu zen. Erresistentzia txikiko substratutik hasita (ezpurutasunen kontzentrazio handia), erresistentzia handiko siliziozko kristal-geruza bat haztarazten da horren gainean (basea). Teknika horrek, gainera, basearen lodieraren zehaztasun handiz finkatzeko aukera ematen du, hazkuntza epitaxiala oso prozesu motela baita.

Mesa teknika ez da transistore planarren agerpenarekin desagertu, eta, gaur egun ere, alderantzizko tentsio handiak behar direnean (milaka volt) erabiltzen da, eta potentzia handiko transistore asko mesa motakoak dira oraindik.

### 3.2.2.4 Transistore planarrak

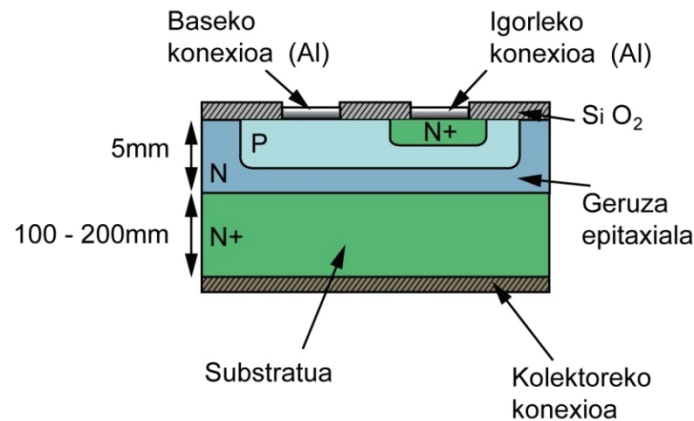
Teknika planarra agertu izana (substratuaren gainazalak lau diraelako deitzen zaio teknika “planarra”) aurrerapauso nabarmena izan zen erdieroaleen teknologian. Teknika planarrarekin, fidagarritasun handiagoko, ezaugarri elektriko hobeko eta kostu txikiagoko osagaiak fabrikatzen hasi ziren. Are gehiago, zirkuitu integratuen teknologiaren abiapuntu izan zen (hori bosgarren kapituluan aztertuko dugu).

Hasteko kolektorea izango den  $N$  edo  $P$  motako siliziozko pastillaren gaineko azalera oxidatu egiten da. Teknika fotokimikoak erabiliz, zulo edo “leiho” batzuk irekitzen dira oxido-geruza horretan. Leiho horietatik zehar, ezpurutasunen difusio gaseosoa egiten da, basea lortzeko. Ondoren, pastillaren gainazala berriz oxidatu; leiho berriak ireki, eta igoilearen difusioa egiten da. Bukatzeko, gainazala berriz oxidatu, eta kontaktu metalikoak ezartzeko



leihoak irekitzen dira. Azkenik, kontaktuak egiteko metal-geruzak ezarri (aluminio lurrundua ezarriz), eta azken oxidazioa egiten da, gainazala babestu eta isolatzeko (pasibazioa).

Transistorearen asetasun-tentsioa txikitzeko, erresistibitate txikiko substratuak erabili behar dira ( $P^+$  ala  $N^+$ ). Bestalde, tentsio onargarri maximoak handiak izan daitezen, erresistibitate handiko kristal-geruza beharrezkoa da. Egitura hori  $N^+$  erresistibitate txikiko substratutik hasita (demagun  $NPN$  dela),  $N$  motako kristala haren gainean hazkuntza epitaxialez hazaraziz lor daiteke, eta, ondoren, geruza epitaxialean base eta igorlearen difusioak egin. Horrelako transistoreari transistore *planar-epitaxiala* deritzo (3.27 irudia).



3.27 irudia: NPN egiturako transistore laua, teknika planar-epitaxiala erabiliz fabrikatua.

### 3.2.2.5 Kapsulaketa eta soldaketa

Kapsula-mota askotan gordeta fabrikatzen dira transistore bipolarrak. Tamaina eta erabilitako materialak xahutu beharreko beroaren araberakoak dira gehienbat (bestelako baldintzapeen mekanikoak ere kontutan hartzekoak badira ere). Plastikozko edo metalezko kapsula txikiak potentzia txikiko transistoreetarako aukeratzen dira. Potentzia handiko transistoreetarako, kapsula metaliko handiak erabiltzen dira. Esan beharrik ez dago THD nahiz SMD motako kapsulak aukeratu daitezkeela.



3.28 irudia: Transistore bipolarrak kapsulatzeko ohizko kapsula batzuk.

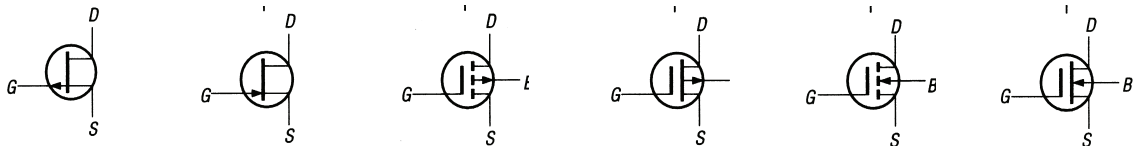
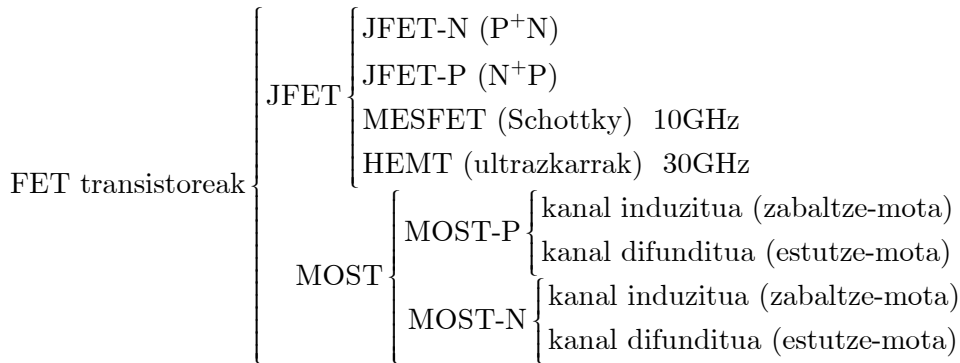
## 3.3 Transistore unipolarrak

*Transistore unipolarrak* edo FETak ere (*Field Effect Transistor*) hiru terminaleko (atea, G, iturria, S, eta drainatzailea, D) osagai elektronikoen aktiboak dira<sup>1</sup>, baina, bipolarretan gertatzen den bezala, unipolarretan eroankortasun elektrikoa eramaile-mota bakarraren eraginez gertatzen da: elektroiak ( $N$  motako FET-ak) ala hutsuneak ( $P$  motako FET-ak). Transistore unipolarretan gailuaren *kanalaren* zabalera eta, horren ondorioz, konduktibitatea aldatuz kontrola daiteke irteerako tentsioa. Gaur egun, FET transistoreak (batez ere MOS transistoreak) BJTak baino askoz ere hedatuagoak badira ere eta transistore “modernotzat” baditugu ere, FET transistoreen

<sup>1</sup> MOS transistoreen sustratu edo “gorputzari” laugarren terminala ere jar dakiogea osagaiaren polarizazioarako, substratua (SS) edo basea (B), baina gutxitan erabiltzen da zirkuituen diseinurako.

operazio-printzipioa BJTen bano lehen deskribatu zen teorikoki. Hala ere, eragozpen teknologikoak zirela eta, FET transistoreen fabrikazioa ez zen XX. mendeko hirurogeiko hamarkada arte orokortu (MOS transistoreak hirurogeita hamarrekoan).

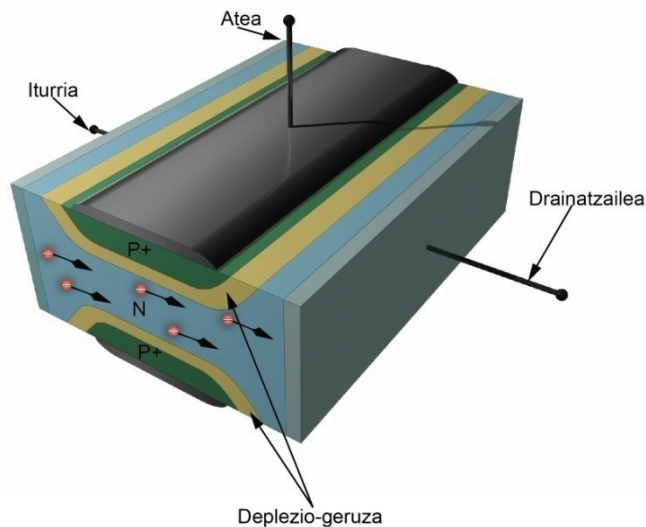
Transistore unipolarren bi talde handi desberdin daitezke: JFET (*Junction Field Effect Transistor*) eta MOSFET edo MOST (*Metal Oxide Semiconductor Transistor*). JFETen abantailarik nagusia azkartasuna da, baina MOSTen ezaugarri elektrikoak, oro har, hobeak dira. 3.28 irudian, oinarrizko sailkapen bat eta osagai bakoitzari dagokion sinboloa erakusten dira:



3.29 Irudia: Transistore unipolarren sinboloak. Ezkerretik eskuinera: JFET-P, JFET-N, MOST-P estutze-mota mota, MOST-P zabaltze-mota, MOST-N estutze-mota, MOST-N zabaltze-mota.

### 3.3.1 JFET transistoreak

Transistore unipolar sinpleena da. Bi erabilera oinarrizko ditu: kommutadorea eta tentsioz kontrolaturiko erresistentzia. MOSFETen antzera, JFETek BJTek baino sarrerako korrante askoz ere txikiagoa dute (sarrera-inpedantzia oso handia), eta, gainera, MOSFETek baino traskonduktantzia handiagoa. Horren ondorioz, zarata txikiko eta sarrerako inpedantzia handiko operazionalen sarrerako zirkuitu-ataletan, maiz erabiltzen dira.



3.30 Irudia: N kanaleko JFETaren egitura eskematikoa. Korrantea sortzen duten eramaile bakarrak elektroiak dira (gehien-eramaileak).

### 3.3.1.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

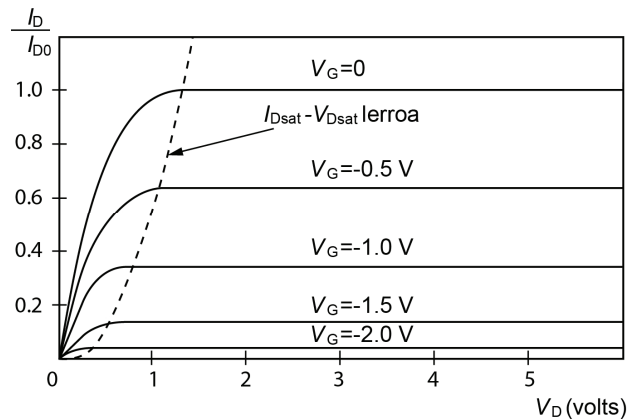
#### Uzkurketa-tentsioa: $V_P$

JFET baten uzkurketa-tentsioa ( $V_P$ ), drainatzailearen eta iturriaren arteko tentsioa zero izanik transistorearen kanala guztiz ixteko (erresistentzia diferentzial infinitua) atean aplikatu behar den tentsioa da.

#### Irteerako korrante-tentsioa kurba bereizgarria

Transistore bipolarren antzera, transistore unipolarren  $I$ - $V$  kurba bereizgarrietatik, informazio asko lor dezakegu. 3.31 irudian, irteerako korrantearen ( $I_D$ ) eta irteerako tentsioaren ( $V_{DS}$ ) arteko erlazioa ezaugarritzen dituzten kurbak azter daitezke sarrerako tentsio anitzetarako ( $V_{GS}$ ). Bi lan-eremu desberdinduko ditugu: eremu ohmikoa, zeinean transistorearen erresistentzia diferentziala finitua baita (hasieran, ia lineala, eta aurka-apurka handituz doa, eta uzkurketa-eremua, zeinean erresistentzia diferentziala infinitua baita, teorikoki behintzat). Bi eremuen arteko muga honako berdintasun hau betetzen duten puntuen toki geometrikoa da:

$$V_{DS} + V_{GS} = V_P \quad (3.6)$$



3.31 Irudia: P-JFET baten  $I$ - $V$  kurba bereizgarri teoriko normalizatua ( $I_{D0} = I_{Dsat}|_{V_G=0}$ )

Transistorearen kanala uzkurtzen denean, gailuaren drainatzaileko korrante maximoa lortzen da, emandako ateko tentsiorako. Drainatzaileko korrante maximo orokorra,  $I_{DSS}$ , ateko tentsio nulurako lortzen da.

#### Irteerako inpedantzia: $r_{ds}$

Transistorearen kanalaren inpedantzia da; 3.30 irudian, polarizazio-tentsio anitzetarako neur daiteke:

$$r_{ds} = \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{V_{GS}} \quad (3.7)$$

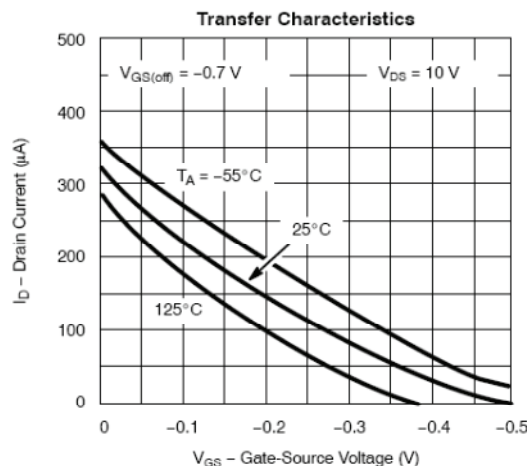
#### Transkonduktantzia-kurba bereizgarria

Irteerako korrantearen balioa ( $I_D$ ) erakusten digu, sarrerako tentsioaren ( $V_G$ ) menpe  $V_{DS}$  konstanterako. Grafikoan, kurbaren malda gailuaren *transkonduktantzia* da ( $g_m$ ), hau da, transistorearen irabazia:

$$g_m = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \right|_{V_{DS}} \quad (3.8)$$

Transkonduktantzia maximoa ( $g_{m0}$ ) ateko tentsio nulurako neurtzen da. Puntu horretan izango dugu, beraz, transistorearen kanaleko erresistentzia minimoa:

$$R_0 = \frac{1}{g_{m0}} \quad (3.9)$$



**3.32 Irudia:** JFET-N baten traskonduktantzia- kurba bereizgarria. Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.

### Temperaturarekiko mendetasuna

JFETetan ere, noski, junturako tenperaturaren aldakuntzek eragina dute transistorearen korronteen gainean. Transistore bipolarretan ez bezala, JFET baten irteerako korrontea, junturako tenperaturarekin ( $T_j$ ), txikitu egiten da polarizazio-tentsio konstantepean. Horren azalpena erraza da: gehien-eramaileak soilik dira korrontearen eramaile, eta horien dispersioa tenperaturarekin handitzen da (eroaleetan gertatzen den antzera). Ateko korrontea ( $I_{GSS}$ ), ordea, oso txikia izanik, tenperaturarekin handitzen da, alderantziz polarizatutako  $p-n$  junturaren ihes-korronteari dagokion bezala.

### Parametro dinamikoak

Transistorearen kapazitate parasitoen balioak azter badaitezke ere, eskuarki,  $t_{on}$  eta  $t_{off}$  konmutazio-denborak emango dizkigute.

### Potentzia maximoa

JFET transistoreek xahutu dezaketen potentzia ez da handia, ohizko balio maximoak 3-4 W izanik. Transistore bipolarretan gertatzen den bezala, inguruneko tenperatura igo ahala, xahutu dezaketen potentzia txikiagotuz doa.

### JFET transistoreen aukeraketa


Formatu laburreko datuen taulei begiratuko diegu. Esan bezala, taula horietan, transistore bakoitzaren ezaugarri tekniko garrantzitsuenen balioak adierazten dira. Ezaugarri horiek  $P_{tot(max)}$ ,  $V_P$ ,  $I_{DSS}$ ,  $V_{DSS}$ ,  $V_{GSS}$ ,  $t_{on}$  eta  $t_{off}$  izaten dira JFETen kasuan. Esan beharrik ez dago  $N$  kanalekoa edo  $P$  kanalekoa nahi dugun argitu eta kapsula mota aukeratu beharko dugula.  $N$  kanaleko JFETak dira ohikoenak, elektroien mugikortasuna hutsuneena baino hobea baita. Hurrengo orrialdetan,  $N$  kanaleko JFET baten ezaugarri-orri laburtua dugu aztergai.

Lan-maiztasun oso handiak behar direnean, aukera egokia izan daiteke MESFET transistorea aukeratzea. MESFET (*MEtalSemiconductor FET*) transistoreak azkarragoak dira,

Schottky junturak dituztelako *p-n* junturak izan beharrea, eta, jadanik dakigunez, Schottky junturen kapazitate parasitoak juntura erdieroaleenak baino txikiagoak dira.

### 3.3.1.2 JFETak fabrikatzeko teknologiak

JFETak ekoizteko silizioa eta teknologia planarra erabiltzen dira (HEMT eta antzerako abiadura handiko osagai bereziak izan ezik, zeinetarako erdieroale konposatuak erabiltzen baitira). Kapsulaketari dagokionez, transistore bipolarretarako esandakoak balio du.



**J/SST201 Series**  
Vishay Siliconix

## N-Channel JFETs

**J201      SST201**  
**J202      SST202**  
**J204      SST204**

PRODUCT SUMMARY				
Part Number	V <sub>GS(off)</sub> (V)	V <sub>(BR)GSS</sub> Min (V)	g <sub>fs</sub> Min (mS)	I <sub>DSS</sub> Min (mA)
J/SST201	-0.3 to -1.5	-40	0.5	0.2
J/SST202	-0.8 to -4	-40	1	0.9
J/SST204	-0.3 to -2	-25	0.5	0.2

**FEATURES**

- Low Cutoff Voltage: J201 <1.5 V
- High Input Impedance
- Very Low Noise
- High Gain: A<sub>v</sub> = 80 @ 20 μA

**BENEFITS**

- Full Performance from Low Voltage Power Supply: Down to 1.5 V
- Low Signal Loss/System Error
- High System Sensitivity
- High Quality Low-Level Signal Amplification

**APPLICATIONS**

- High-Gain, Low-Noise Amplifiers
- Low-Current, Low-Voltage Battery-Powered Amplifiers
- Infrared Detector Amplifiers
- Ultra High Input Impedance Pre-Amplifiers

**DESCRIPTION**

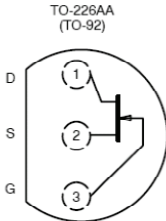
The J/SST201 series features low leakage, very low noise, and low cutoff voltage for use with low-level power supplies. The J/SST201 is excellent for battery powered equipment and low current amplifiers.

The J series, TO-226 (TO-92) plastic package, provides low cost, while the SST series, TO-236 (SOT-23) package, provides surface-mount capability. Both the J and SST series

are available in tape-and-reel for automated assembly (see Packaging Information).

For similar products in TO-206AA (TO-18) packaging, see the 2N4338/4339/4340/4341 data sheet.

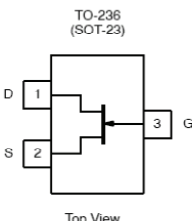
For applications information see AN102 and AN106.



TO-226AA  
(TO-92)

Top View

J201  
J202  
J204



TO-236  
(SOT-23)

Top View

SST201 (P1)\*  
SST202 (P2)\*  
SST204 (P4)\*

\*Marking Code for TO-236

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

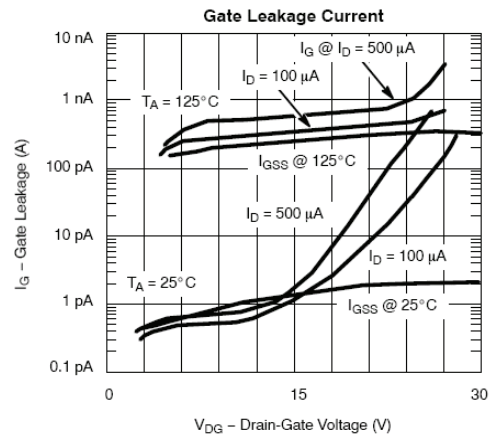
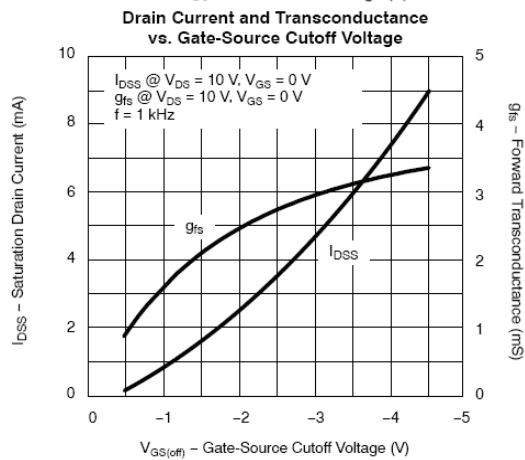
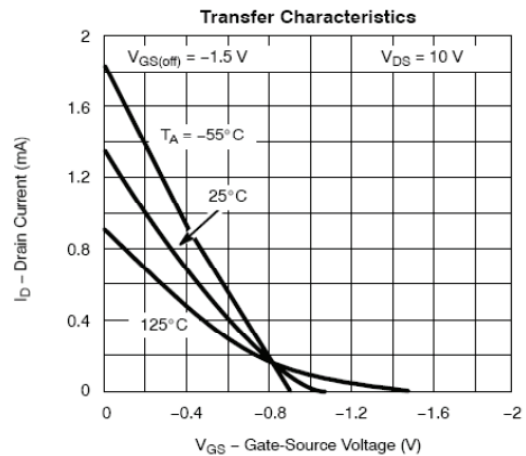
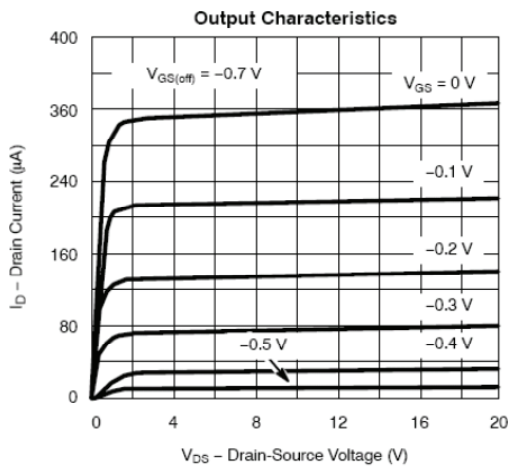
Gate-Drain, Gate-Source Voltage	-40 V	Operating Junction Temperature	-55 to 150°C
Gate Current	50 mA	Power Dissipation <sup>a</sup>	350 mW
Lead Temperature (1/16" from case for 10 sec.)	300°C	Notes	
Storage Temperature	-55 to 150°C	a. Derate 2.8 mW/°C above 25°C	

### 3.5 Orria (1/2): JFET-N baten ezaugarri orria.

SPECIFICATIONS (T <sub>A</sub> = 25 °C UNLESS OTHERWISE NOTED)										
Parameter	Symbol	Test Conditions	Typ <sup>a</sup>	Limits						Unit
				J/SST201		J/SST202		J/SST204 <sup>c</sup>		
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	
<b>Static</b>										
Gate-Source Breakdown Voltage	V <sub>(BR)GSS</sub>	I <sub>G</sub> = -1 μA, V <sub>DS</sub> = 0 V		-40		-40		-25		V
Gate-Source Cutoff Voltage	V <sub>GS(off)</sub>	V <sub>DS</sub> = 15 V, I <sub>D</sub> = 10 nA		-0.3	-1.5	-0.8	-4	-0.3	-2	
Saturation Drain Current <sup>b</sup>	I <sub>DSS</sub>	V <sub>DS</sub> = 15 V, V <sub>GS</sub> = 0 V		0.2	1	0.9	4.5	0.2	3	mA
Gate Reverse Current	I <sub>GSS</sub>	V <sub>GS</sub> = -20 V, V <sub>DS</sub> = 0 V	-2		-100		-100		-100	pA
		T <sub>A</sub> = 125 °C	-1							nA
Gate Operating Current	I <sub>G</sub>	V <sub>DG</sub> = 10 V, I <sub>D</sub> = 0.1 mA	-2							pA
Drain Cutoff Current	I <sub>D(off)</sub>	V <sub>DS</sub> = 15 V, V <sub>GS</sub> = -5 V	2							pA
Gate-Source Forward Voltage	V <sub>GS(F)</sub>	I <sub>G</sub> = 1 mA, V <sub>DS</sub> = 0 V	0.7							V
<b>Dynamic</b>										
Common-Source Forward Transconductance	g <sub>fs</sub>	V <sub>DS</sub> = 15 V, V <sub>GS</sub> = 0 V f = 1 kHz		0.5		1		0.5		mS
Common-Source Input Capacitance	C <sub>ies</sub>	V <sub>DS</sub> = 15 V, V <sub>GS</sub> = 0 V f = 1 MHz	4.5							pF
Common-Source Reverse Transfer Capacitance	C <sub>rss</sub>		1.3							pF
Equivalent Input Noise Voltage	e <sub>n</sub>	V <sub>DS</sub> = 10 V, V <sub>GS</sub> = 0 V f = 1 kHz	6							nV/√Hz

Notes  
a. Typical values are for DESIGN AID ONLY, not guaranteed nor subject to production testing.  
b. Pulse test: PW ≤ 300 μs duty cycle ≤ 3%.  
c. See 2N/SST5484 Series for J204 and SST204 typical characteristic curves.

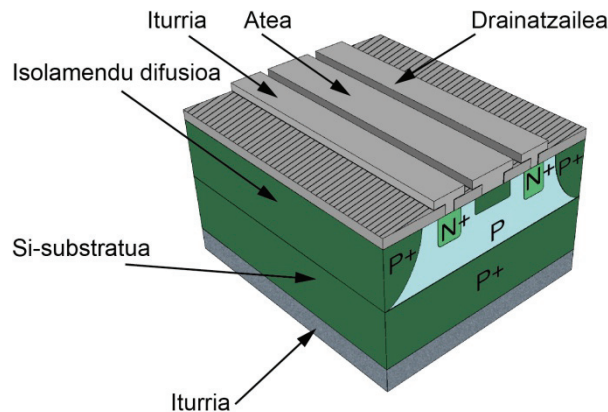
NPA, NH



3.5 Orria (2/2): JFET-N baten ezaugarri orriaetatik ateratako xehetasunak.

### 3.3.2 MOSFET transistoreak

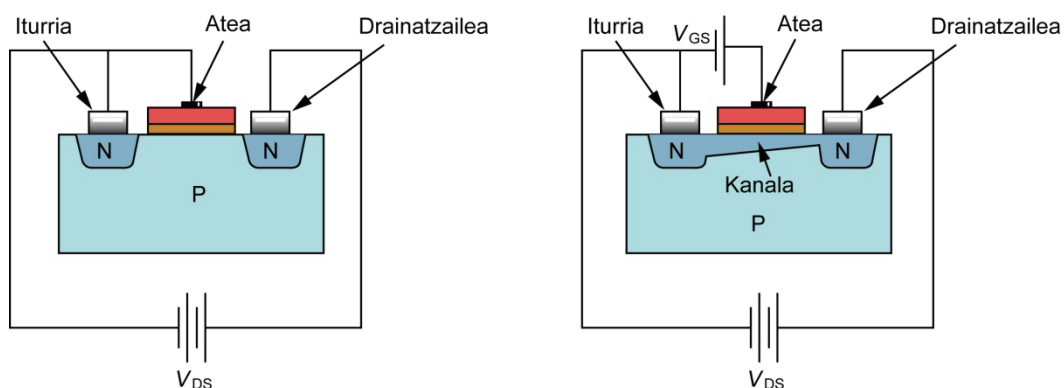
MOSFETak ere tentsioz kontrolatutako gailuak dira, eta JFETen antzera lan egiten dute. MOSFETen ateko korronteak JFETena baino are eta txikiagoak dira, aintzat ez hartzeko modukoak. Sarrerako inpedantzia handi hori atearen egituraren ondorio da, hau da, silizio-oxido geruza batez isolatutako atea. Ate horretan polaritate egokiko tentsio elektrikoa aplikatzean, iturriaren eta drainatzailearen arteko kanaleko eroankortasuna kontrola dezakegu.



**3.33 Irudia:** P kanaleko MOSFET planarrar baten egitura. Ohizkoa denez, substratua eta iturria zirkuitulaburtuta daude.

#### Zabaltze-mota

Horrelako MOSFETetan kanala induzitu egin behar da. Kanala induitzeko tentsio nahikoa aplikatu behar zaio atean, azpiko erdiekoalearen gehien-eramaileak ezabatzeko (tentsio positiboa,  $N$  kanaleko transistoreetan, eta negatiboa,  $P$  kanaleko transistoreetan). Drainatzailearen eta iturriaren artean tentsiorik ez dagoenean, kanala induitzeko beharrezkoa den ateko tentsio minimoari *atariko tentsioa* deritzo ( $V_{Th}$ ).

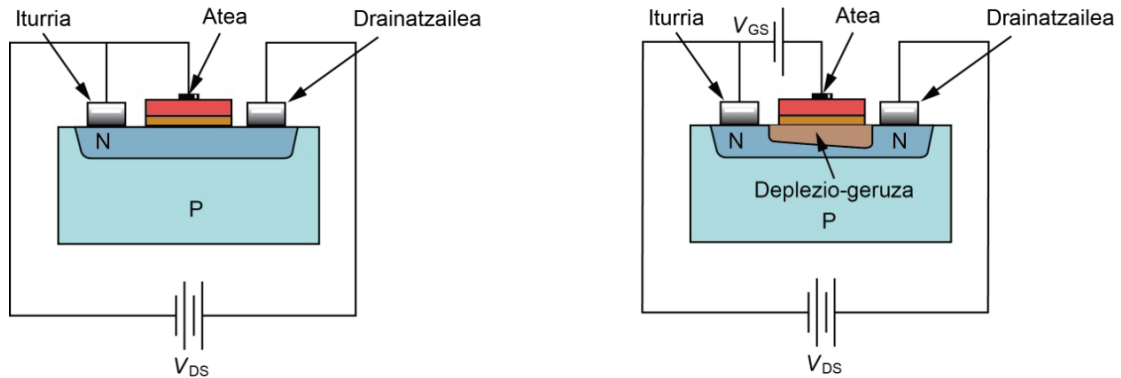


**3.34 Irudia:** Zabaltze-motako N kanaleko MOSFETa. Kanala deplasioz sortzen da atean tentsioa aplikatzerakoan.

#### Estutze-mota

Estutze-motako MOSFETetan, kanala fabrikazio-prozesuan egiten da, hau da, ezpurutasunak ezartzen dira atearen azpian kanalaren eroankortasuna lortzeko ( $P$  motako ezpurutasunak,  $P$  kanaleko MOSFETetan, eta  $N$  motakoak,  $N$  kanalekoetan). Horren ondorioz, atean tentsiorik aplikatu gabe ere izango dugu korrontea iturriaren eta drainatzailearen arteko tentsio egokia

ezarriz gero. Atean tentsio aplikatzean, kanala estutu dezakegu, eta irteerako korrontea murriztu (tentsio positiboa,  $P$  kanaleko MOSFETean, eta negatiboa,  $N$  kanalekoetan).



**3.35 Irudia:** Estutze-motako N kanaleko MOSFETa. Kanala aldeaz aurretik sortuta dago, eta ez da ateko tentsiorik behar korrontea eragiteko.

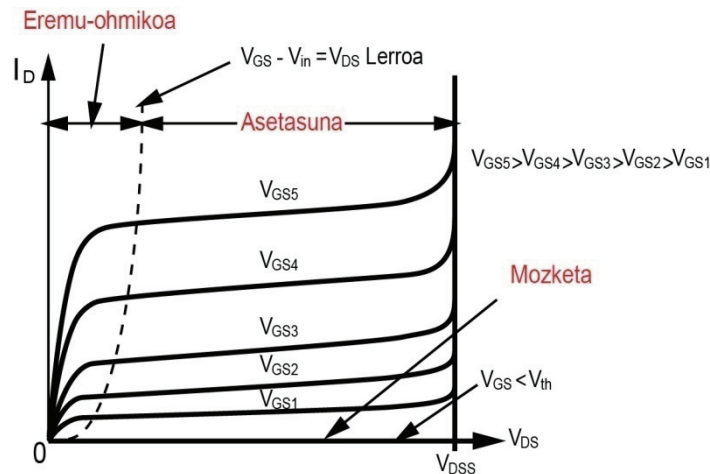
### 3.3.2.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

**Atariko tentsioa:**  $V_{Th}$

Drainatzailearen eta iturriaren artean tentsiorik ez dagoenean kanala indultzeko beharrezkoa den ateko tentsio minimoari deritzo *atariko tentsioa*.

**Irteerako korrante-tentsioa kurba bereizgarria**

JFETen oso antzerakoak dira (polarizazio-tentsioak salbu). Bi lan-eremu desberdintzen dira: eremu ohmikoa eta asetasunezko eremua.



**3.36 Irudia:** Estutze-motako N kanaleko MOSFETaren  $I$ - $V$  kurba bereizgarri tipikoa.

**Kanalaren erresistentzia:**  $R_{DS(on)}$

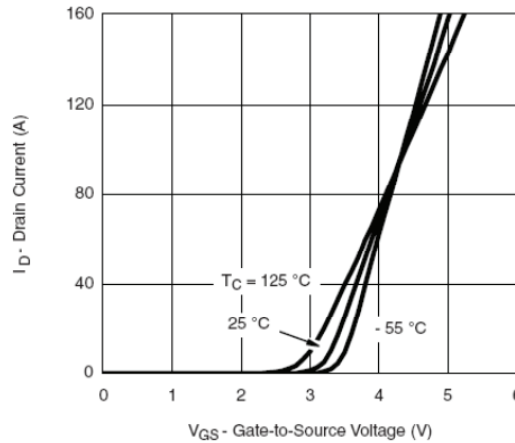
Iturriaren eta drainatzailearen arteko transistorearen kanalaren erresistentzia osoa da eremu aktiboan. Parametro garrantzitsua da, lor daitekeen korrante maximoa eta gertatuko diren galerak haren menpe baitaude.



### Traskonduktantzia-kurba

Irteerako korrontearen balioa ( $I_D$ ) erakusten digu, sarrerako tentsioaren ( $V_G$ ) menpe  $V_{DS}$  konstanterako. Kurba horren malda gailuaren *traskonduktantzia* da ( $g_{fs}$ ), hau da, transistorearen irabazia:

$$g_{fs} = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \right|_{V_{DS}} \quad (3.10)$$

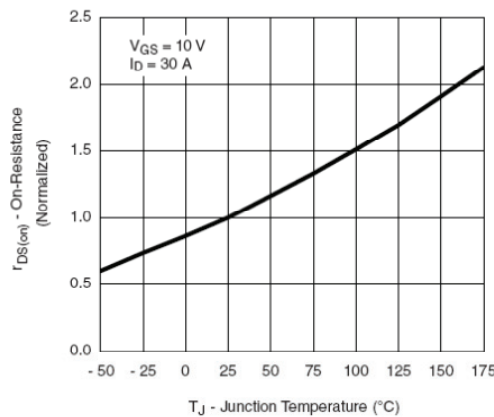


**3.37 Irudia:** N kanaleko MOSFET baten traskonduktantzia kurba. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

3.37 irudiko MOSFETa, estutze-motakoa ala zabaltze-motakoa da? Nola dakizu?

### Tenperaturarekiko mendetasuna

MOSFET baten irteerako korrontea, junturako tenperaturarekin ( $T_j$ ), txikitu egiten da polarizazio-tentsio konstantepean. Esan bezala, eramaileen mugikortasuna txikitu egiten da eta, ondorioz, kanaleko erresistentzia handitu egiten da ( $r_{DS(0n)}$ ).



**3.38 Irudia:** N kanaleko MOSFET baten kanaleko erresistentzia tenperaturaren arabera. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

**Tentsio-mugak**

$V_{DS(max)}$  (edo  $V_{DSS}$ ), drainatzailearen eta iturriaren artean aplikatu daitezkeen tentsio maximoa da.  $V_{GS(max)}$ , atea eta iturriaren artean aplikatu daitezkeen tentsio maximoa da.

**Korrente-mugak**

$I_{D(max)}$ , drainatzaileko korrrente maximoa da.

$I_{DSS}$ , drainatzailearen eta iturriaren arteko ihes-korrrente da.  $V_{DS(max)}$  aplikatuz eta atea eta iturriaren arteko zirkuitulaburra eginez neurtzen da.

**Xahututako potentzia osoa:  $P_D$** 

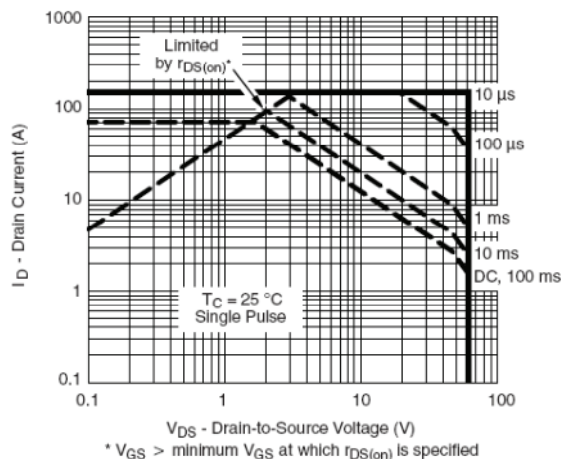
Erregimen estatikoan MOSFET batek xahutzen duen potentzia honela kalkulatu dugu:

$$P_D = V_{DS} \times I_D = R_{DS(on)} \times I_D^2 \quad (3.11)$$

Seinala aldakorra eta periodikoa bada:

$$P_D = \frac{1}{T} \int_0^T I_D(t) V_{DS}(t) dt \quad (3.12)$$

Noski, xahutu daitezkeen potentziak balio maximoa du, eta inguruneko temperatura igo ahala, txikituz doa. MOSFETetarako ere, SOA edo operazio seguruko eremua definitzen da, eta transistore bipolarretarako duen esanahi bera du.



**3.39 Irudia:** N-kanaleko MOSFET baten operazio seguruko eremua. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

**Parametro dinamikoak**

Ohikoena  $t_{on}$  eta  $t_{off}$  konexio- eta deskonexio-denborak erabiltzea da.

**MOSFET transistoreen aukeraketa**

Fabrikatzaileek egiten duten lehenengo banaketa, noski,  $P$  kanalekoen eta  $N$  kanalekoen artekoa da. Ohikoena, transistoreak jasan dezakeen  $V_{DS}$  tentsio maximoaren araberako sailkapena da, baina potentzia maximoa eta lan-maiztasun maximoa ere sailkapenerako irizpide izan daitezke. Formatu laburreko parametroen tauletan aurkituko ditugun parametroen balioak  $V_{DS(max)}$ ,  $V_{Th}$

$I_{D(max)}$ ,  $g_{fs}$ ,  $R_{DS(on)}$ ,  $P_D$ ,  $t_{on}$  eta  $t_{off}$  dira, eskuarki. Hurrengo orrialdetan,  $N$  kanaleko potentziako MOSFET baten ezaugarri-orri laburtua dugu aztergai.

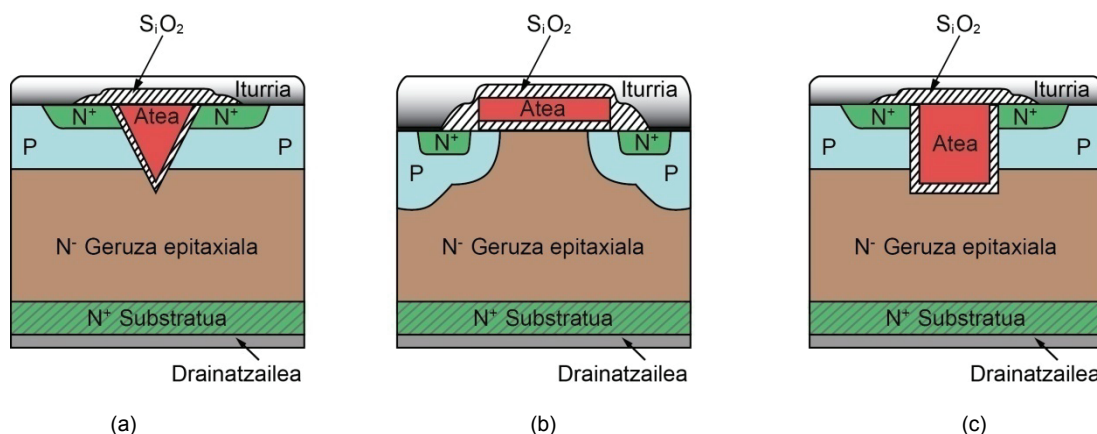
### 3.3.2.2 MOSFETak fabrikatzeko teknologiak

MOSFET arruntak teknologia planarrarekin fabrikatzen dira, eta atea, iturria eta drainatzailea siliziozko substratuaren gainaldean kokatu egiten dira. Konfigurazio horri *alboko kanaleko diseinua* deritzo (ikus 3.33-3.35 irudiak). Gaur egun, zirkuitu integratuetan, MOSFETak nagusi dira, hein handi batean teknologia planarrarekin fabrikatzeko duten erraztasuna eta lor daitekeen integrazio maila handiarengatik. Alboko kanaleko konfigurazioak badu eragozpenik, ordea: ez da posible potentzia handiko transistoreak egitea, tentsio elektrikoa blokeatzeko iturria eta drainatzailea bata bestetik nahiko urrun kokatu behar direlako. Kanal luzeak erresistentzia handikoak dira, eta lor daitekeen korrante maximoa mugatu egiten dute. Kapsulaketari dagokionez, transistore bipolarretarako esandakoak balio du.


#### Potentzia handiko MOSFETak

Potentzia handiko MOSFETak fabrikatzeko, *kanal bertikaleko diseinuak* erabiltzen dira. Konfigurazio horretan, iturria eta drainatzailea substratuaren aurrez aurreko aurpegietan kokatzen dira; hala, kanal laburragoak lortzen dituzte eta korrante maximoen balioak handitu. Gainera, tentsio handiagoak blokeatu daitezke kristalaren hazkuntza epitaxialaren bidez. Hiru konfigurazio bertikal aipatuko ditugu (ikus 3.38 irudia):

1. VMOSFET diseinua: Lehenengo diseinu bertikala izan zen. Izena atean duen "V" itxurako pitzaduratik dator (3.38(a) irudia). Fabrikazio-prozesuan egonkortasun-arazoak sortzen ziren, eta, uvearen erpinean, eremu elektriko handiegiak sortzen ziren.
2. DMOSFET diseinua: VMOSFETak ordezkatzeko sortu zen. Difusio bikoitzeko egitura du. Gaur egun, komertzialki, diseinurik erabiliena da (3.38(b) irudia).
3. UMOSFET diseinua: Atean, "U" itxurako pitzadura du. Kanaleko dentsitate handiagoa du (3.38(c) irudia), eta, horrenbestez, VMOSFET eta DMOSFET konfigurazioetan baino erresistentzia txikiagoak lortzen dira.



3.38 Irudia: Egitura bertikaleko potentziako MOSFETak: (a) VMOSFET, (b) DMOSFET, (c) UMOSFET.



**SUM75N06-09L**  
Vishay Siliconix


### N-Channel 60-V (D-S), 175 °C MOSFET

**PRODUCT SUMMARY**


$V_{(BR)DSS}$ (V)	$r_{DS(on)}$ ( $\Omega$ )	$I_D$ (A)
60	0.0093 at $V_{GS} = 10$ V	90
	0.0135 at $V_{GS} = 4.5$ V	62

**FEATURES**

- TrenchFET<sup>®</sup> Power MOSFET
- 175 °C Junction Temperature

  
Available  
**RoHS\***  
COMPLIANT

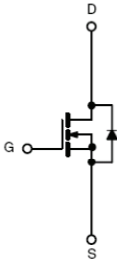
TO-263



Top View

G D S

DRAIN connected to TAB



N-Channel MOSFET

Ordering Information: SUM75N06-09L-E3 (Lead (Pb)-free)

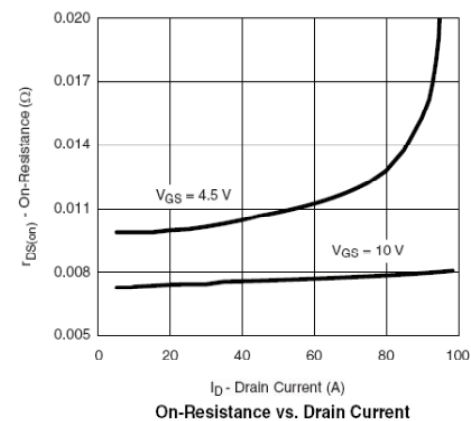
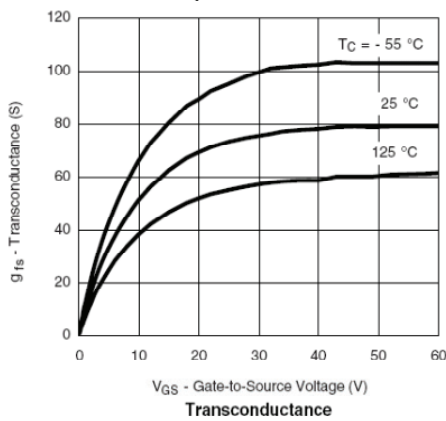
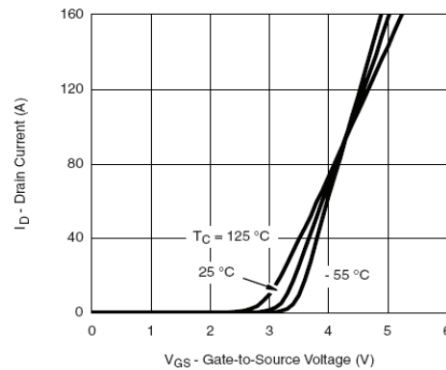
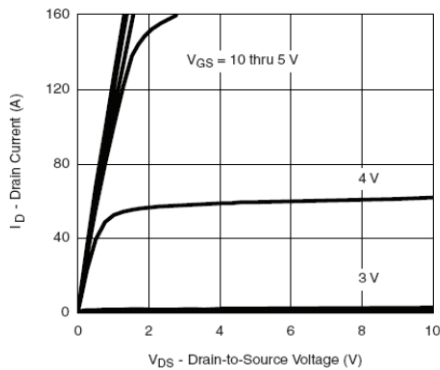
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS $T_A = 25$ °C, unless otherwise noted				
Parameter	Symbol	Limit	Unit	
Drain-Source Voltage	$V_{DS}$	60	V	
Gate-Source Voltage	$V_{GS}$	$\pm 20$		
Continuous Drain Current ( $T_J = 175$ °C)		$T_C = 25$ °C	90	A
		$T_C = 100$ °C	53	
Pulsed Drain Current	$I_{DM}$	160		
Avalanche Current	$I_{AR}$	50	mJ	
Repetitive Avalanche Energy <sup>a</sup>	$E_{AR}$	125		
Power Dissipation		$T_C = 25$ °C	125 <sup>b</sup>	W
		$T_A = 25$ °C <sup>c</sup>	3.75 <sup>c</sup>	
Operating Junction and Storage Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	- 55 to 175	°C	

MOSFET SPECIFICATIONS $T_J = 25$ °C, unless otherwise noted						
Parameter	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
<b>Static</b>						
Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{(BR)DSS}$	$V_{GS} = 0$ V, $I_D = 250$ $\mu$ A	60			V
Gate-Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$ , $I_D = 250$ $\mu$ A	1	2	3	
Gate-Body Leakage	$I_{GSS}$	$V_{DS} = 0$ V, $V_{GS} = \pm 20$ V			$\pm 100$	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = 60$ V, $V_{GS} = 0$ V			1	$\mu$ A
		$V_{DS} = 60$ V, $V_{GS} = 0$ V, $T_J = 125$ °C			50	
		$V_{DS} = 60$ V, $V_{GS} = 0$ V, $T_J = 175$ °C			150	
On-State Drain Current <sup>a</sup>	$I_{D(on)}$	$V_{DS} = 5$ V, $V_{GS} = 10$ V	75			A
Drain-Source On-State Resistance <sup>a</sup>	$r_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10$ V, $I_D = 30$ A		0.0075	0.0093	$\Omega$
		$V_{GS} = 10$ V, $I_D = 30$ A, $T_J = 125$ °C			0.0163	
		$V_{GS} = 10$ V, $I_D = 30$ A, $T_J = 175$ °C			0.024	
		$V_{GS} = 4.5$ V, $I_D = 30$ A		0.0105	0.0135	
		$V_{GS} = 4.5$ V, $I_D = 30$ A, $T_J = 125$ °C			0.0224	
		$V_{GS} = 4.5$ V, $I_D = 30$ A, $T_J = 175$ °C			0.030	
Forward Transconductance <sup>a</sup>	$g_{fs}$	$V_{DS} = 15$ V, $I_D = 30$ A	25	75		S

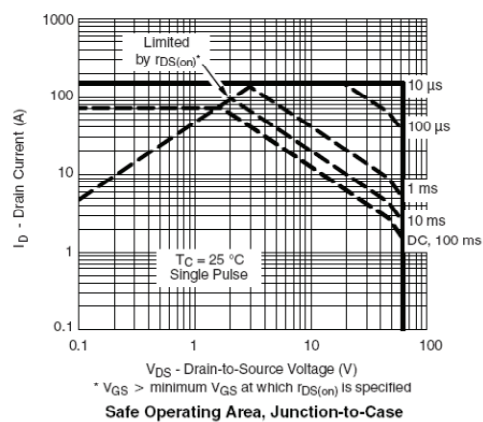
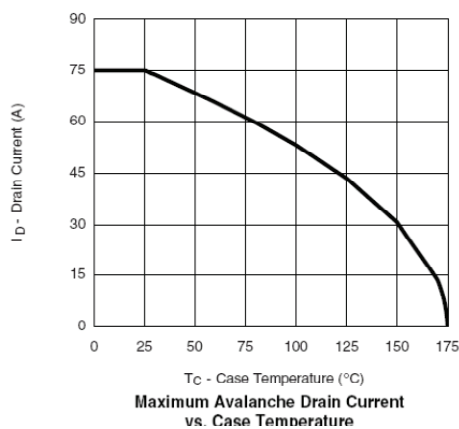
3.6 Orria (1/2): N kanaleko MOSFET baten ezaugarri elektrikoaren taulak.

Dynamic <sup>b</sup>					
Input Capacitance	$C_{iss}$	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$	2400		pF
Output Capacitance	$C_{oss}$		430		
Reversen Transfer Capacitance	$C_{rss}$		210		
Total Gate Charge <sup>c</sup>	$Q_g$	$V_{DS} = 30\text{ V}, V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 90\text{ A}$	47	75	nC
Gate-Source Charge <sup>c</sup>	$Q_{gs}$		12		
Gate-Drain Charge <sup>c</sup>	$Q_{gd}$		13		
Turn-On Delay Time <sup>c</sup>	$t_{d(on)}$		7	12	
Rise Time <sup>c</sup>	$t_r$	$V_{DD} = 30\text{ V}, R_L = 0.4\ \Omega$ $I_D \cong 90\text{ A}, V_{GEN} = 10\text{ V}, R_G = 2.5\ \Omega$	30	50	ns
Turn-Off Delay Time <sup>c</sup>	$t_{d(off)}$		25	40	
Fall Time <sup>c</sup>	$t_f$		12	20	

**TYPICAL CHARACTERISTICS** 25 °C, unless otherwise noted



**THERMAL RATINGS**



3.6 Orria (2/2): N kanaleko MOSFET baten ezaugarri orrietatik ateratako xehetasunak.



# 4 Osagai optoelektronikoak

Osagai optoelektronikoak, sarritan, ingeniari elektroniko gehientzat, osagairik ezohikoenak dira, eta, horregatik, aukeraketa egokia egiteko zailtasun handienak sorrarazten dizkietenak. Esan dezakegu osagai optoelektronikoak argi-energiaren eta energia elektrikoaren arteko bihurketak egiten dituzten osagaiak direla. Horren ondorioz, osagai optoelektronikoekin aritzen garenean, magnitude eta unitate elektrikoak ez ezik, magnitude eta unitate fotometrikoak (edo erradiometrikoak) ere erabili behar ditugu, eta azken horiek erabiltzen ez gaude horren ohituta. Horregatik, kapitulu honetan, aurreko kapituluetan ez bezala, gailu horien oinarrizko funtzionamendua ulertzeko beharrezkoak diren kontzeptuak aztertuko ditugu tartetxo batean. Ez da testu honen helburua erdieroaleen fisika edo argi-teoriaren ikasketa sakona egitea, eta osagai optoelektronikoen ezaugarri-orriak interpretatzeko eta aukeraketa egokia egiteko beharrezkoak diren oinarrizko kontzeptuak soilik landuko ditugu. Edonola ere, ez litzateke batere ideia txarra fisika orokorreko testuren bat eskura izatea badaezpada, argiaren fisikari buruzko xehetasunen bat berrikustea beharrezkoa bazaizu...

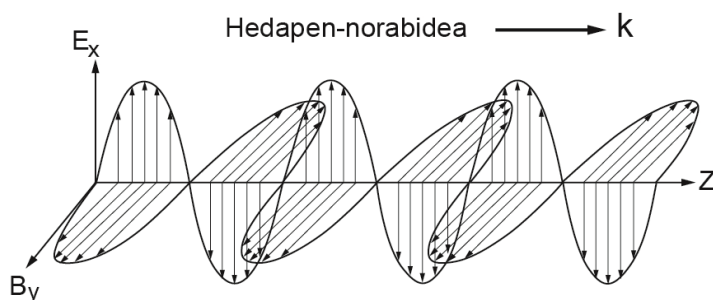
## 4.1 Hastapen teorikoak

Argia uhin elektromagnetikoen bidez transmititzen den irradiatze-energia da. Argiaren izaera eta portaera aztertzeko, bi hurbilpen osagarri erabiltzen ditugu: uhin-eredua eta erdu korpuskularra. Horietariko bakoitza baliogarria zaigu argiak ingurune eta baldintza desberdinetan duen portaeraren deskribapena egiteko.

### 4.1.1 Uhin-eredua

Argiaren uhin-ereduaren arabera, argi-erradiazioa erradiazio monokromatiko anitzen baturaz osatuta dago. Horren ondorioz, argiaren *maiztasun-espektroa* definitzen dugu, hau da, zein maiztasun-osagai dituen argi-igorpen jakin batek. Argi-erradiazio monokromatikoa hutsean  $c = 2,99725 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  abiadurarekin hedatzen den bibrazio sinusoidala da (airean ere abiadura berarekin hedatzen dela jo dezakegu). Bibrazio hori bere maiztasunaren ( $\nu$ ) eta uhin-luzeraren bidez ( $\lambda$ ) ezaugarritzen da, non:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (4.1)$$



4.1 Irudia: Erradiazio elektromagnetikoaren hedapena uhin-ereduaren bidez adierazita.

Espektro elektromagnetikoa oso zabala da, kilometrotako uhin-luzera duten irradi-uhinetatik hasita eta nanometro gutxiko gamma izpietara heldu arte. Baina osagai optoelektronikoak eta haien aplikazioak argi ikusgaiaren inguruko uhin-luzerako erradiazioarekin aritzen dira: erradiazio infragorria, argi ikusgaia eta erradiazio ultramorea:

- Erradiazio ultramorea:  $\lambda \in [0,1 - 0,38] \mu\text{m}$
- Erradiazio ikusgaia:  $\lambda \in [0,38 - 0,76] \mu\text{m}$
- Erradiazio infragorria:  $\lambda \in [0,76 - 500] \mu\text{m}$

Hutsean argia  $c$  abiadurarekin hedatzen bada ere, abiadura txikiagoekin hedatzen da bestelako ingurunetan. Honelakoa da  $\epsilon_r$  konstante dielektrikoa duen ingurune dielektriko ez-magnetikoan duen hedapen-abiadura:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_0}} \quad (4.2)$$

$\epsilon_0$ : Hutseko konstante dielektrikoa

$\mu_0$ : Hutseko iragazkortasun magnetikoa



Ezaugarri horien arabera, ingurunearen *errefrakzio-indizea* definitzen da, hutsean argiak duen hedapen-abiaduraren eta ingurune horretan duenaren arteko erlazioa izanik:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r} \quad (4.3)$$

Eremu eta material desberdinen arteko errefrakzio-indizeen aldaketak oso garrantzitsuak dira argiaren portaera deskribatzeko.

### 4.1.2 Eredu korpuskularra

Eredu korpuskularraren arabera, erradiazioa “argi-korpuskuluz” osatuta dago. Korpuskulu horiei *fotoi* izena eman diegu, eta fotoi bakoitzaren energia argiaren uhin-luzeraren eta Plank-en konstantearen ( $h$ ) araberkoa da:

$$E = h\nu = \hbar\omega \quad (4.4)$$

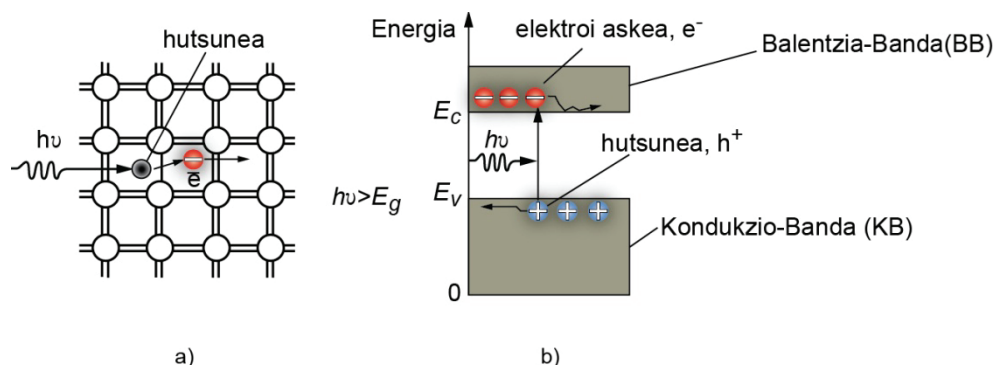
$$h = 6,6268 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Uhin-senaren eta korpuskulu-senaren arteko lotura De Broglie-ren printzipio kuantikoak ematen digu:

*“p momentu linealarekin (momentu klasikoa) mugitzen ari den edozein gorputzek  $\lambda$  uhin-luzerako uhina dauka lotuta, eta, alderantziz, non  $\lambda = h/p$  baita”.*

### 4.1.3 Fotoeroapena material erdieroaleetan

Material erdieroaleak uhin-luzera egokiarekin argizatzen ditugunean, haien eroankortasuna handitu egiten da. Fenomeno horren arrazoia, *fotoeroapena* deritzoguna, materialean gertatzen den *fotosorkuntzan* aurkituko dugu. Hala da, material erdieroalearen kontra talka egiten duten fotoien energia nahiko bada, kristal erdieroalearen atomoen arteko lotura kobalenteak osatzen dituzten balentziako elektroiak askatzeko gai dira (ikus 4.2 irudia). Horrela, eramaile pareek (elektroi bat eta hutsune bat) sorrarazten dituzte, eta erdieroalearen eroankortasuna hazarazi. Noski, argiztapena etenez gero, eramaile gehiegizkoak berriz birkonbinatu egingo dira, eta, hala, eroankortasuna hasierako balioetara jaitsiko da.



**4.2 Irudia:** Siliziozko kristalaren egitura eskematikoa (a) eta silizioaren energia-bandaren adierazpena (b). Fotoi batek silizio atomoen balentziako elektroien askatzea erakusten du, hutsuneko elektroien sorrerarekin batera.

Baina zein da uhin-luzera “egokia” fotosorkuntza gerta dadin? Fotoiaren energiak nahikoa izan behar du elektroia balentzia-bandatik kondukzio-bandara igoarazteko, hau da, gutxienez erdieroalearen banda debekatuaren energia-jauziaren ( $E_g$ ) adinekoa izan behar du:

$$E_{fot} = h\nu \geq E_g = E_c - E_v \quad (4.5)$$

Uhin-ereduaren (4.1) ekuazioa erabiliz:

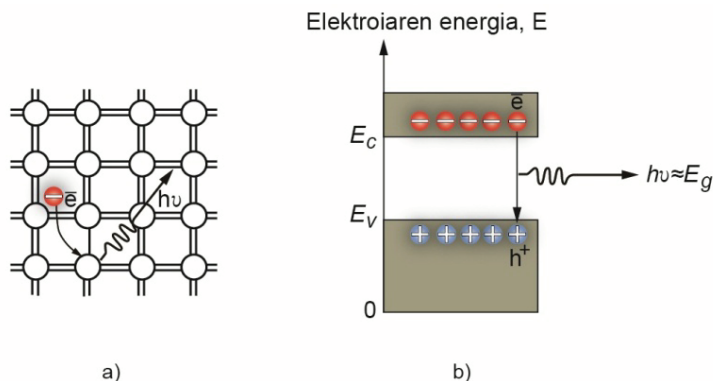
$$\frac{hc}{\lambda} \geq E_g \rightarrow \lambda \leq \frac{hc}{E_g} = \lambda_s \quad (4.6)$$

$\lambda_s$ -ri *fotoeroankortasunaren atalasea* deritzo, hau da, fotoeroapena gerta dadin beharrezkoa den uhin-luzera maximoa. (4.6) ekuazioari begiratuta, argi dago atalasea  $E_g$  balioaren mendekoa dela, eta, balio hori material erdieroale bakoitzerako desberdina izanik, material bakoitzari atalasearen balio desberdin bat dagokio ere; hala nola:

- *SCd*  $\lambda_s = 0,9\mu\text{m}$  (Kadmio-sulfuroa)
- *Si*  $\lambda_s = 1,1\mu\text{m}$  (Silizioa)
- *Ge*  $\lambda_s = 2\mu\text{m}$  (Germanioa)

#### 4.1.4 Elektrolumineszentzia

*Lumineszentzia* materialen goritasunik gabeko argi-igorpenari deritzo. Lumineszentzia fenomenoak jatorri desberdinak izan ditzake (tenperatura, jatorri biologikoa eta abar), eta, jatorria kitzikapen elektrikoa denean, *elektrolumineszentzia* deritzo. Material erdieroale batzuk (ez guztiak, *erdieroale zuzenak* deritzenak soilik) elektrolumineszenteak dira, eta, haietan zehar korronte elektrikoa iraganarazten dugunean, argia igortzen dute (“argia” diogu, baina ez da nahitaez argi ikusgaia). Nola da posible hori? Azalpen kualitatiboa nahikoa erreza da ulertzen.

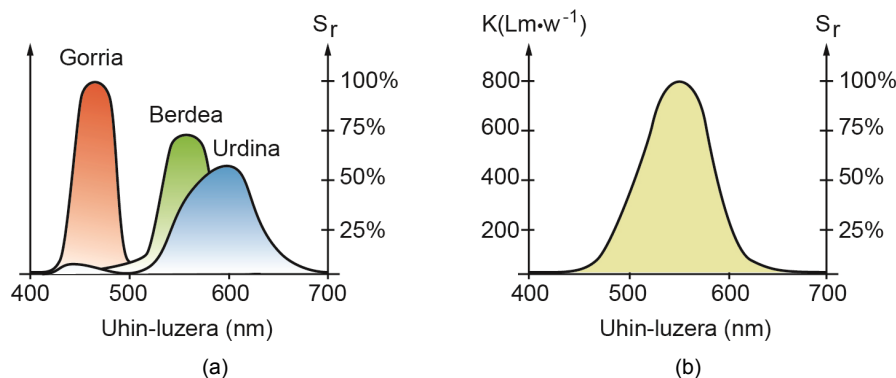


**4.3 irudia:** Siliziozko kristalaren egitura eskematikoa (a) eta silizioaren energia-banden adierazpena (b). Kristalean aske zebilen elektroia atomo arteko hutsune baten energia potentzialezko zuloan arrapatuta gera daiteke (hutsunea), lotura berria eratuz. Erdieroale batzuetan, prozesu honetan galdutako energia fotoi moduan kanporatu daiteke.

Demagun kitzikapen elektrikoaren ondorioz, balentzia-bandako elektroiak kondukzio-bandara bultzatzen ditugula (*p-n* juntura bat zuzenki polarizatzean gertatzen dena, hain zuzen ere). Elektroia horien batzuek bizi-iraupena nahiko laburra da, eta, berehala, balentzia-bandako hutsuneren batekin birkonbinatuko da. Eskuarki, birkonbinazio horretan, elektroiak galtzen duen energia *fono*i modura galtzen da (kristalaren zehar hedatzen den bibrazioa). Baina badira erdieroale berezi batzuk (erdieroale zuzenak) zeinetan fotoiaren energia-galera *fotoi* moduan galtzen baita; hau da, argia igortzen dute (ikus 4.3 irudia).

### 4.1.5 Magnitude eta unitateak

Argi-erradiazioarekin ari garenean, magnitude eta unitate fotometrikoak edo erradiometrikoak erabiltzen ditugu erradiazioaren ezaugarriak neurtu eta adierazteko. *Fotometria* argi ikusgaiaren neurketa aztertzen duen zientzia da. Horretarako, gizakion begiaren erantzun espektralaren (sentikortasunaren) bereizgarritasunak hartzen ditu kontuan. *Erradiometria* edozein uhin-luzetarako erradiazio elektromagnetikoren neurketa aztertzen duen zientzia da. Beraz, argi ikusgaiaren igorpena guk gizakiok ikusteko erabiltzen denean, magnitude eta unitate fotometrikoak erabiltzen dira. Horrela ez bada, adibidez, argi infragorriarekin aritzen garenean edo argia informazioa kodifikatu eta transmititzeko erabiltzen denean, magnitude erradiometrikoak erabiltzen dira. Magnitude eta unitate erradiometriko eta fotometrikoen arteko bihurketak egiteko, gizakion begiaren sentikortasun espektralaren estandarra erabiltzen da. Dakigunez, gizakion begia erradiazioaren espektrum-tarte oso estu bati soilik zaio sentikorra (aipatutako argi ikusgaiaren espektroa). Ez hori bakarrik, espektrum horretan ere ez du berdin erantzuten uhin-luzera guztietarako, askoz ere sentikorragoa baitzaie espektrumaren erdialdeko uhin-luzerei (hori kolorea) muturretako uhin-luzerei baino (gorria eta urdina)<sup>2</sup>. Begiaren sentikortasun maximoa (ikus 4.4 irudia) 550 nm-ko uhin-luzeran dago. Horrela, 1 Watt-eko irradiatze-fluxua (magnitude erradiometrikoa), 680 lumen-eko argi-fluxuari dagokio (magnitude fotometrikoa). 4.1 eta 4.2 tauletan laburbilduta daude magnitude eta unitate erradiometriko eta fotometrikoak, hurrenez hurren.



**4.4 Irudia:** Giza begiaren sentikortasuna ez da berdian uhin-luzera ikusgai guztietarako: (a) hiru oinarrizko koloreei diegun sentikortasuna, eta (b) sentikortasun bateratua. Erradiometriak ez bezala, fotometriak sentikortasun estandar hori kontuan du magnitudeak definitzeko.

Magnitude	Sinboloa	Ekuazioa	Unitateak	Sinboloa
erradiometrikoa				
Irradiatze-energia	$Q_e$	---	Joule	J
Irradiatze-dentsitatea	$W_e$	$W = dQ/dV$	Joule/metro <sup>3</sup>	J/m <sup>3</sup>
Irradiatze-fluxua	$\Phi_e$	$\Phi = dQ/dt$	Watt	W
Irradiantzia	$M_e (E_e)$	$M = d\Phi/dA$	Watt/metro <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
Irradiazioaren intentsitatea	$I_e$	$I = d\Phi/d\omega$	Watt/estereoradian	W/sr.
Irradiantzia	$L_e$	$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos \theta}$	Watt/estereoradian.metr o <sup>2</sup>	W.sr <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>

**4.1 Taula:** Magnitude erradiometrikoak.

<sup>2</sup> Horregatik, zuri purua edo zuri fisikoa horixka ikusten dugu, eta zuri puruaren sententzia izateko kolore urdina gehitzen diogu zuriari.

Magnitute fotometrikoa	Sinboloa	Ekuazioa	Unitateak	Sinboloa
Argi-energia	$Q_v$	$Q_v = \int_{380}^{760} K_\lambda Q_{e\lambda} d\lambda$	Lumen.segundo	lm.s
Argi-dentsitatea	$W_v$	$W = dQ/dV$	Lumen.segundo/metro <sup>3</sup>	J/m <sup>3</sup>
Argi-fluxua	$\Phi_v$	$\Phi = dQ/dt$	Lumen	lm
Argiztapena	$M_v$	$M = d\Phi/dA$	Lux = lumen/metro <sup>2</sup>	lx
Argitasunaren intensitatea	$I_v$	$I = d\Phi/d\omega$	Candela (lm.sr.)	cd
Luminantzia	$L_v$	$L = \frac{dI}{dA \cos \theta}$	Nit (cd/m <sup>2</sup> )	nt
Argitasuna	$K$	$K = \Phi_v/\Phi_e$	Lumen/Watt	Lm/W

4.2 Taula: Magnitude fotometrikoak.

## 4.2 Osagai fotoeroaleak

Osagai optoelektronikoen artean, *osagai fotoeroaleak* dira fotoeroapen-efektuan oinarritzen diren osagaiak. Argi-irradiazioari sentikorrek zaizkion osagaiak dira, eta zirkuitu elektronikoetan erabiltzen dira argiaren bidez korrante elektrikoaren nolabaiteko kontrola izateko (zertan aplika daitezkeen aurrerago ikusiko ditugu). Osagai bakoitzaren deskribapena egin aurretik, komenigarria da erabiliko ditugun eta osagai fotoeroale guztientzat komunak diren kontzeptu batzuen definizio zehatza egitea.

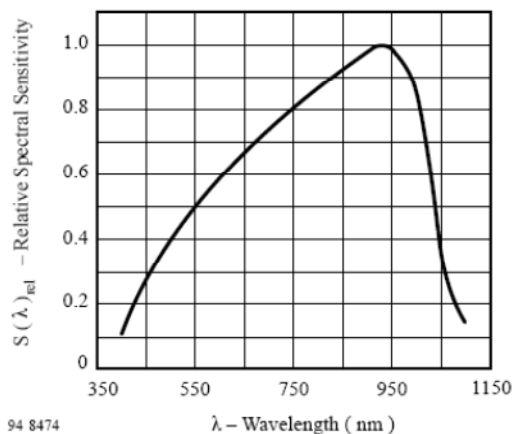
### **Sentikortasuna: S**

*Sentikortasunak* osagai fotoeroaleen erantzun maila adierazten du argi-erradiazioz kitzikatzen ditugunean. Beste era batera esanda, zenbat korrante elektriko lortuko dugun (irteera) osagaia argizatzen dugunean (sarrera). Sarrerako argi-erradiazioaren maila adierazteko, irradiatze-fluxua (edo argi-fluxua) edo irradianzia (edo argiztapena) erabiltzen dira:

$$S = \frac{I}{\Phi_e} \quad [AW^{-1}]$$

$$S = \frac{I}{M_e} \quad [AW^{-1}m^2]$$
(4.7)

Aldagai anitzek dute eragina sentikortasunean, hala nola tenperaturak eta polarizazio-tentsioak, eta, guztien gainetik, erradiazioaren uhin-luzerak. Horregatik, ezaugarri-orrietan, *sentikortasun espektraleko kurbak* aurkituko ditugu, zeinetan uhin-luzera bakoitzerako osagaiak duen sentikortasunaren balioa adierazten baitu. Gehienetan, ordea, sentikortasuna espektraleko kurbetan ez da sentikortasun absolutua adierazten, *sentikortasun erlatiboa* baizik, eta erlatibotasun horren erreferentziako balioa, gehienenean, sentikortasun maximoaren balioa da.

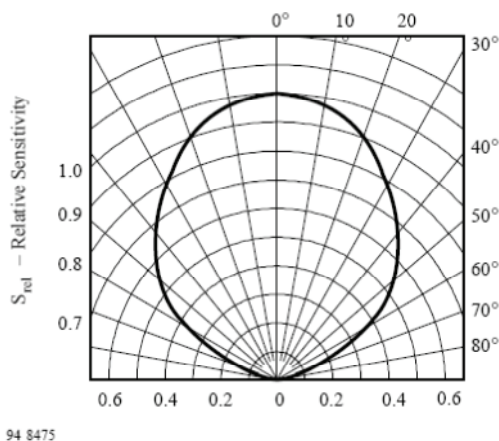


**4.5 Irudia:** Siliziozko fotodiodoaren sentikortasun espektraleko kurba. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Sentikortasun espektraleko kurbaren itxura, atzerago ikusi dugunaren arabera, erabilitako material erdieroalearen ezaugarri bat da. Sentikortasun kurba ezberdinak lortzeko beraz, osagai fotosentikorrek fabrikatzeko erdieroale desberdinak erabili daitezke: Silizioa, kadmio-sulfuroa eta abar.

### **Norabide-kurba**

Osagai fotoeroaleen kapsulek leihotxo bat dute, argia pasatzen uzteko. Leihotxo horretan, lente txiki bat dago kokatuta, osagaiak kanpotik heltzen zaion erradiazioa intzidentzia-angeluaren arabera zein intentsitatekin sumatuko duen definituko duena (ez du eragin bera zuzenean eta aurrez aurre heltzen zaion erradiazioak eta zeharka alboetatik heltzen zaionak). Beraz, sentikortasuna irradiazioaren orientazioa edo intzidentzia-angeluaren arabera ere bada, eta, hori ezaugarritzeko, norabide-kurbak erabiltzen dira (ikus 4.6 irudia).

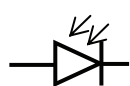


**4.6 Irudia:** Fotodiodo baten sentikortasunaren norabide-kurba. Norabide-kurbak zabalagoak ala estuagoak izan daitezke osagaia kapsulatzeko erabilitako estalki eta leihorearen optikaren arabera. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

## **4.2.1 LDR erresistoreak**

LDR erresistoreak osagai fotoeroale pasiboak dira. LDRen ikasketa beste erresistentzia ez-linealekin batera egin dugu 2.6 atalean eta, ondorioz, ez dugu hemen han esandakoa berriz errepikatuko.

## 4.2.2 Fotodiodoak



Polarizatutako diodoen  $p-n$  junturan argi-erradiazioak eragiten badu, diodoaren korrante-maila handitzen da fotosorkuntzaren ondorioz. Polarizazio zuzenerako, non korrante-maila berez oso handia baita, korrontearen hazkuntza horren eragina aintzat ez hartzeko modukoa da. Alderantzizko polarizaziopean, ordea, argiztapenaren ondorioz sortzen den korrante gehigarriaren eragina oso nabarmena da; diodoa desblokeatu egiten dela diogu. Zenbat eta argiztapen handiagoa, orduan eta alderantzizko korrante handiagoa lortuko dugu. Fotodiodoak, beraz, LDRen antzera erabil daitezke, baina sentikortasun eta erantzun-abiadura handiagoko gailuak dira.

### 4.2.2.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

Fotodiodoa diodoak dira azken finean eta, horren ondorioz, diodo arruntetako ikusitako ezaugarri elektriko berdintsuak dituzte. Desberdintasuna argi-erradiazioaren eraginean eta haren ezaugarritzean datza, hau da, ezaugarri optikoetan. Azken horiek aztertuko ditugu hemen.

#### **Korrante-tentsio kurba bereizgarria**

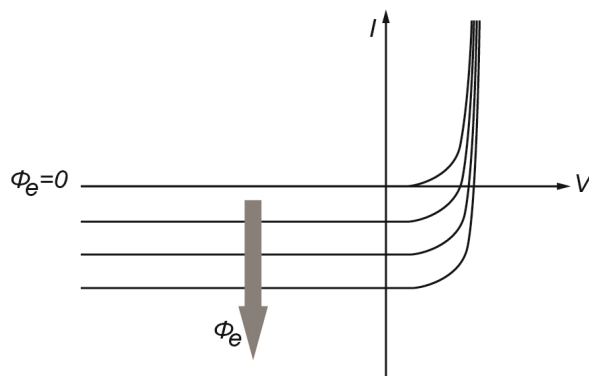
Esan bezala, polarizazio zuzenpean, argiak oso gutxi aldatzen du osagaiaren eroankortasuna (gehien-eramaileak). Alderantzizko polarizaziopean, irradiazioak  $e-h^+$  bikoteak sorrarazten ditu, eta, horrenbestez, alderantzizko korrantea nabarmenki handitzen da. Shokeley-ren diodoaren ekuazio bereizgarriari, beraz, korrante gehigarri horren eragina adierazten duen batugai berria gehituko diogu ( $I_L$ ):

$$I = I_0 \left[ e^{qV/kT} - 1 \right] - I_L \quad (4.8)$$

non

$$I_L = \eta \cdot M_e \cdot q \cdot A \quad (4.9)$$

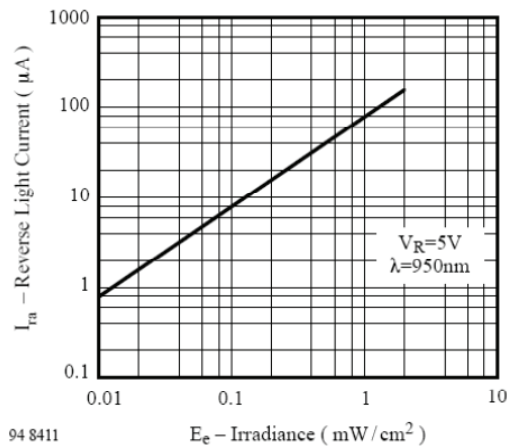
$\eta$  materialaren *etekin kuantikoa* da, hau da, batez beste zenbat  $e-h^+$  bikote sortzen diren heltzen den fotoi bakoitzeko (fotoi guztiek ez baitituzte eramaile berriak sortarazten).  $M_e$  irradianzia da;  $q$ , elektroien karga, eta  $A$ , osagaiaren *gainazal aktiboaren* azalera.



**4.7 Irudia:** Fotodiodoetan argiaren irradiatze-fluxuak ( $\phi_e$ ) eragiten duen korrante elektrikoaren hazkuntza. Hazkuntza nabaria da alderantzizko polarizazioan, baina eragin txikia du polarizazio zuzenerako.

#### **Korrante-irradientzia kurbak**

Sarritan, uhin-luzera eta polarizazio jakinerako, osagaiaren irteerako korrantea sarrerako irradianziaren arabera adierazten duen grafikoa aurkituko dugu ezaugarri-orrietan. Kurba horien malda osagaiaren sentikortasuna da.



**4.8 Irudia:** Fotodiodo baten irteerako korronea (alderantziko polarizaziopean) eragiten dion argi-irradiantziaren arabera. Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.

#### **Alderantziko korronea argiarekin/iluntasunean: $I_{ra}/I_{rd}$**

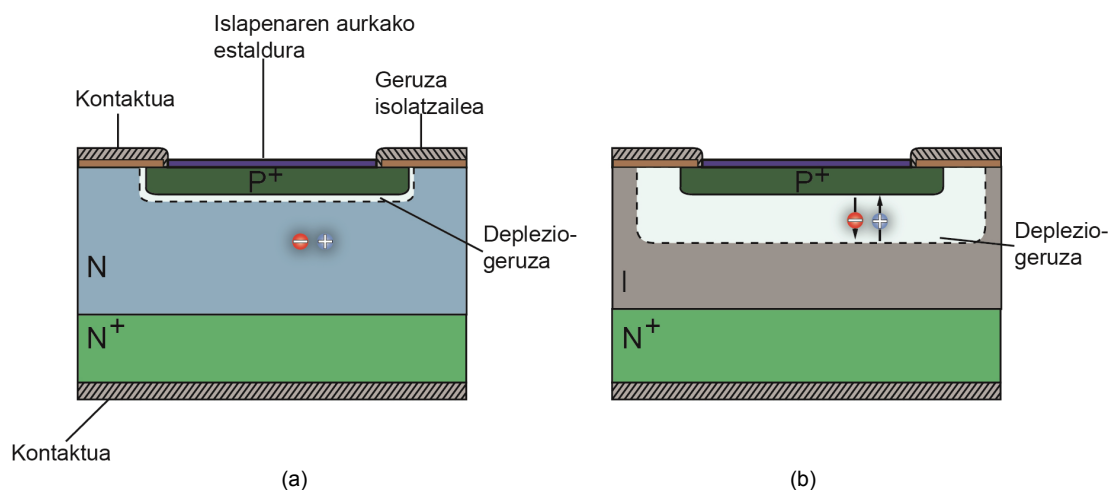
$I_{ra}$  alderantziko korronearen balioa fotodiodoa argizatuta dagoenean. Ohikoena  $1\text{mW}/\text{cm}^2$ -ko irradiantziarako neurtzea da (edo  $1000\text{ lx}$ -eko argiztapenerako).  $I_{rd}$  alderantziko korronea da, argiztapenik ez dagoenerako.

#### **Sentikortasun maximoko uhin-luzera: $\lambda_p$**

Fotodiodo batek zein uhin-luzeratarako duen sentikortasun maximoa adierazten duen parametroa da.

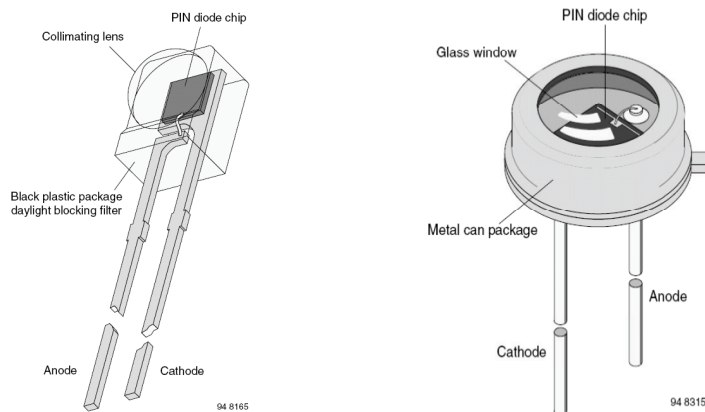
#### **4.2.2.2 Egitura eta fabrikazio-teknologia**

Fotodiodoak teknika planar-epitaxialarekin fabrikatzen dira eskuarki, egitura bertikalarekin (ikus 4.9(a) irudia). Aipagarria da goialdean irekitzen den leihoa, argi-irradiazioa pasatzen uzteko egiten dena. Leihoaren gainazalean, islapenen kontrako geruza fina dute, ahalik eta irradiazio gehien xurgatzeko. Kommutazio azkarreko fotodiodoak egiteko PIN egiturak erabiltzen dira (ikus 4.9(b) irudia), komunikazio optikoetarako oso erabiliak.



**4.9 Irudia:** PN (a) eta PIN (b) fotodiodoen egituren arteko konparaketa. PIN fotodiodoek kapazitate elektriko txikiagoa dute eta azkarragoak dira kommutatzen.

Kapsulak plastikozkoak edo metalezkoak dira, betiere irekiak goialdetik, eta optika edo lente txiki batekin, norabide-kurba bereizgarri jakinak lortzeko (ikus 4.10 irudia).



**4.10 Irudia:** Fotodiodoen kapsulak plastikozkoak (a) edo metalezkoak (b) izan daitezke. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Ondoren siliziozko fotodiodo baten ezaugarri-orri laburtua dugu, adibide modura. Ikusi nola magnitude elektrikoak eta erradiometrikoak erabiltzen diren osagaiaren portaera ezaugarritzeko.

**BPW20RF**  
Vishay Semiconductors

**VISHAY**

**Silicon Photodiode, RoHS Compliant**

94 8482

**DESCRIPTION**

BPW20RF is a planar Silicon PN photodiode in a hermetically sealed short TO-5 case, especially designed for high precision linear applications. Due to its extremely high dark resistance, the short circuit photocurrent is linear over seven decades of illumination level. On the other hand, there is a strictly logarithmic correlation between open circuit voltage and illumination over the same range. Equipped with a clear, flat glass window, the spectral responsivity reaches from blue to near infrared.

**FEATURES**

- Package type: leaded
- Package form: TO-5
- Dimensions (in mm): Ø 8.13
- Radiant sensitive area (in mm<sup>2</sup>): 7.5
- High photo sensitivity
- High radiant sensitivity
- Suitable for visible and near infrared radiation
- Angle of half sensitivity:  $\phi = \pm 50^\circ$
- Hermetically sealed package
- Cathode connected to package
- Flat glass window
- UV enhanced
- Low dark current
- High shunt resistance
- High linearity
- Lead (Pb)-free component in accordance with RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

**APPLICATIONS**

- Sensor for light measuring techniques in cameras, photometers, color analyzers, exposure meters (e.g. solariums) and other medical and industrial measuring and control applications.

**RoHS**  
COMPLIANT

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage		$V_R$	10	V
Power dissipation	$T_{amb} \leq 50^\circ C$	$P_V$	300	mW
Junction temperature		$T_J$	125	$^\circ C$
Operating temperature range		$T_{amb}$	- 40 to + 125	$^\circ C$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 40 to + 125	$^\circ C$
Soldering temperature	$t \leq 5$ s	$T_{sd}$	260	$^\circ C$
Thermal resistance junction/ambient	Connected with Cu wire, 0.14 mm <sup>2</sup>	$R_{thJA}$	250	K/W

**Note**  
 $T_{amb} = 25^\circ C$ , unless otherwise specified

**4.1 Orria (1/2):** Siliziozko fotodiodo baten ezaugarri orrietatik erausitako informazioa.



BASIC CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 50 \text{ mA}$	$V_F$		1.0	1.3	V
Breakdown voltage	$I_R = 20 \text{ } \mu\text{A}, E = 0$	$V_{(BR)}$	10			V
Reverse dark current	$V_R = 5 \text{ V}, E = 0$	$I_{r0}$		2	30	nA
Diode capacitance	$V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, E = 0$	$C_D$		1.2		nF
	$V_R = 5 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, E = 0$	$C_D$		400		pF
Dark resistance	$V_R = 10 \text{ mV}$	$R_D$		38		$G\Omega$
Open circuit voltage	$E_A = 1 \text{ klx}$	$V_o$	330	500		mV
Temperature coefficient of $V_o$	$E_A = 1 \text{ klx}$	$TK_{V_o}$		-2		mV/K
Short circuit current	$E_A = 1 \text{ klx}$	$I_k$	20	60		$\mu\text{A}$
Temperature coefficient of $I_k$	$E_A = 1 \text{ klx}$	$TK_{I_k}$		0.1		%/K
Reverse light current	$E_A = 1 \text{ klx}, V_R = 5 \text{ V}$	$I_{ra}$	20	60		$\mu\text{A}$
	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2, \lambda = 950 \text{ nm}, V_R = 5 \text{ V}$	$I_{ra}$		42		$\mu\text{A}$
Angle of half sensitivity		$\varphi$		$\pm 50$		deg
Wavelength of peak sensitivity		$\lambda_p$		920		nm
Range of spectral bandwidth		$\lambda_{0.5}$		550 to 1040		nm
Rise time	$V_R = 0 \text{ V}, R_L = 1 \text{ k}\Omega, \lambda = 820 \text{ nm}$	$t_r$		3.4		$\mu\text{s}$
Fall time	$V_R = 0 \text{ V}, R_L = 1 \text{ k}\Omega, \lambda = 820 \text{ nm}$	$t_f$		3.7		$\mu\text{s}$

Note  
 $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

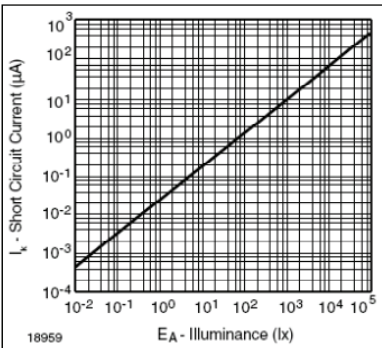


Fig. 3 - Short Circuit Current vs. Illuminance

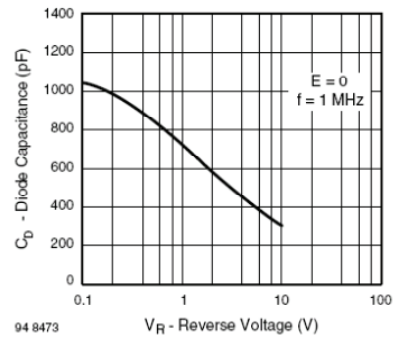


Fig. 6 - Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

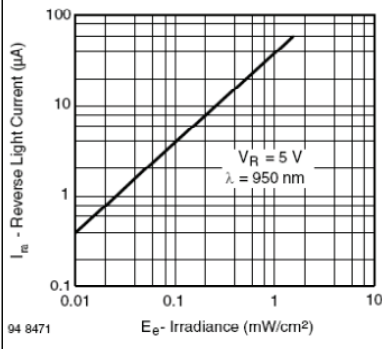


Fig. 4 - Reverse Light Current vs. Irradiance

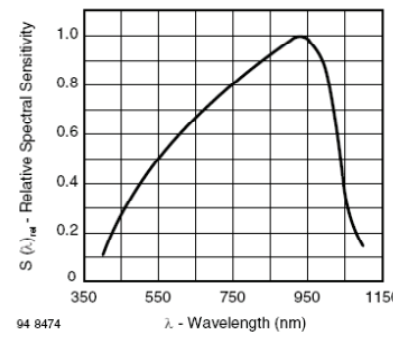


Fig. 7 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

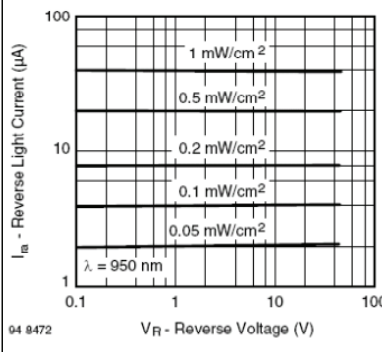


Fig. 5 - Reverse Light Current vs. Reverse Voltage

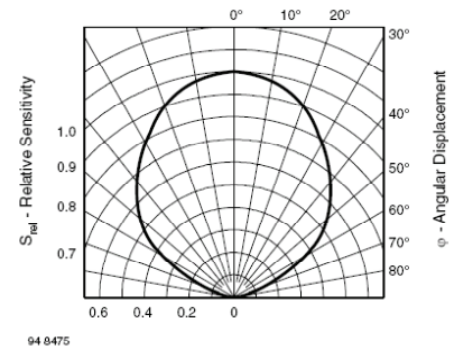


Fig. 8 - Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

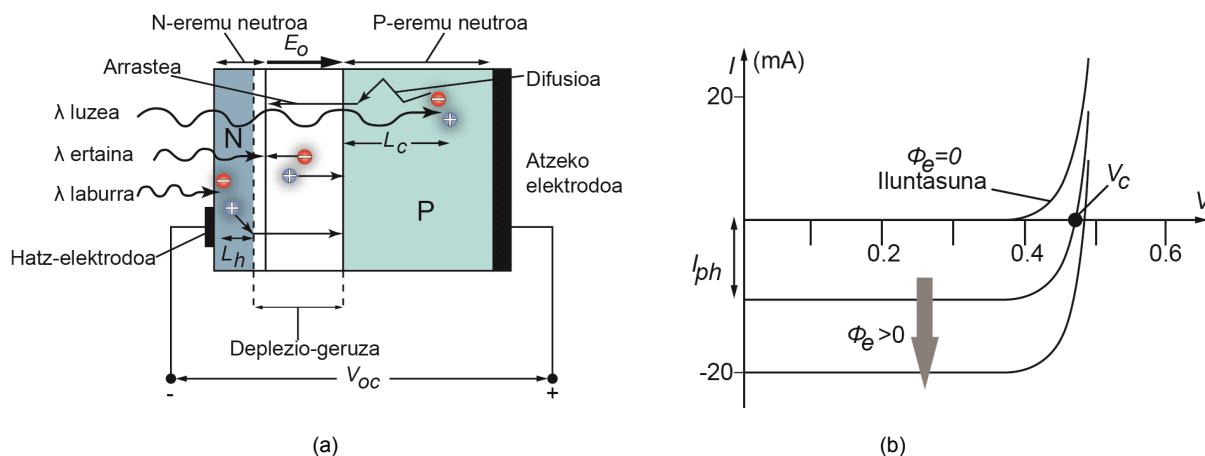
4.1 Orria (2/2): Siliziozko fotodiodo baten ezaugarri orrietatik erausitako informazioa.

### 4.2.2.3 Fotopilak edo zelula fotovoltaikoak

Fotodiodoek argi-erradiazioa jasotzen dutenean, elektrodo-arteko tentsio elektrikoa sortzen da. Elektrodoak zama elektrikora konektatuz gero, korrante elektrikoaren iragatea lor daiteke. Argi-energiaren bihurketa horri *efektu fotovoltaikoa* deritzo. Efektu fotovoltaiko nabarmena lortzeko, fotodiodoaren fabrikazioa modu berezian egin behar da. Horretarako,  $N$  eremua, argi-irradiazioa jasoko baitu, estua eta ezpurutasun-kontzentrazio handikoa egiten da.  $P$  eremua, aldiz, zabala eta ezpurutasun-kontzentrazio txikikoa da (ikus 4.11 (a) irudia). Fotoiek sorrarazitako eramaileak beren kargaren zeinuaren arabera banatuta egongo dira; barreiapenez,  $P$  eta  $N$  eremuetan, eta, eremu elektrikoaren indarrez, deplezio-geruzan, hutsuneak anodorantz eta elektroiak katodorantz. Karga-banaketa horren ondorioz, *tentsio fotovoltaikoa* ( $V_{OC}$ ) sortzen da:

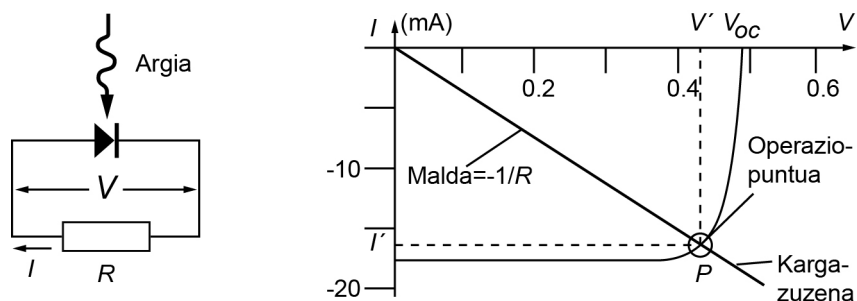
$$V_{OC} = Ln \left[ \frac{I_L}{I_o} + 1 \right] \frac{kT}{q} \tag{4.10}$$

Noski, erradiazioa desagertuz gero, tentsio fotovoltaikoa ere desagertuko da (4.11 (b) irudia).



4.11 Irudia: Zelula fotovoltaikoaren oinarriko egitura (a) eta dagokion kurba bereizgarria (b).

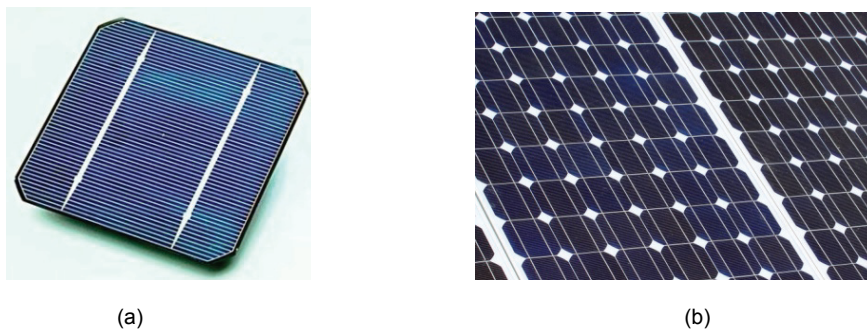
Fotopilak, beraz,  $V$ - $I$  kurba bereizgarriaren laugarren koadrantean dute operazio-puntua, non tentsioa positiboa baita eta, zirkuitua itxiz gero, korrantea negatiboa baita. Argi dago, beraz, osagaiak potentzia elektrikoa sortzen duela, eta ez xahutu ( $P = I \cdot V < 0$ ).



4.12 Irudia: Zelula fotovoltaikoak energia elektrikoa sortzeko gai da  $V$ - $I$  kurba bereizgarriaren laugarren koadrantean duenean operazio puntua non  $P < 0$  baita.

Zelula fotovoltaiko anitz eguzki-paneletan paraleloan edo seriean akoplatuz, tentsio edo korrante handiagoak lor daitezke hurrenez hurren.

Zelula fotovoltaikoen teknologiak konplexu xamarrek dira, eta erabilitako materialaren arabera sailkatu ditzakegu. Gehien erabiltzen dena silizio kristalinoa da, fosforoz (*N mota*) eta boroz (*P mota*) kutsatua. Teknologia horrekin, % 11-16ko etekinak lortzen dira. Bestalde, silizio kristalinozko olatak garestiak direnez, material merkeagoak erabiltzen dituzten prozedurak sortu egin dira; geruza meheko teknologiak deritze horiei. Geruza meheko zelulak lortzeko, silizio amorfoa, kadmio-teluroa (CdTe) edo kobre-indio/galio seleniuroa (CdInSe edo CdInGaSe) erabiltzen dira, baina lortutako etekinak ez dira silizio kristalinoarekin lortzen direnen adinakoak.



4.13 Irudia. Zelula fotovoltaikoa (a), eta zelula anitzez osaturiko eguzki panela (b). Iturria: [http://www.eere.energy.gov/solar/pv\\_systems.html](http://www.eere.energy.gov/solar/pv_systems.html) (Creative Commons)

### 4.2.3 Fototransistoreak

Junturazko transistore arrunten egitura berdintsua dute, baina kolektore-baseko juntura estali gabe dute, argi-erradiazioa jasotzeko. Operazio-printzipioa fotodiodoarena bezalakoa da. Batea konektatu gabeak (ohikoena) edo basea eta kolektorearen arteko konexioa eginda erabil daiteke; horrela, osagaiaren sentikortasuna handitzea lortzen da, baina konmutazio-abiadura txikituko dugula ere kontuan izan beharko dugu.

#### 4.2.3.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

##### ***Korrante-tentsio kurba bereizgarria***

Batea irekita utzita, kolektorean lortuko dugun korrontearen balioa:

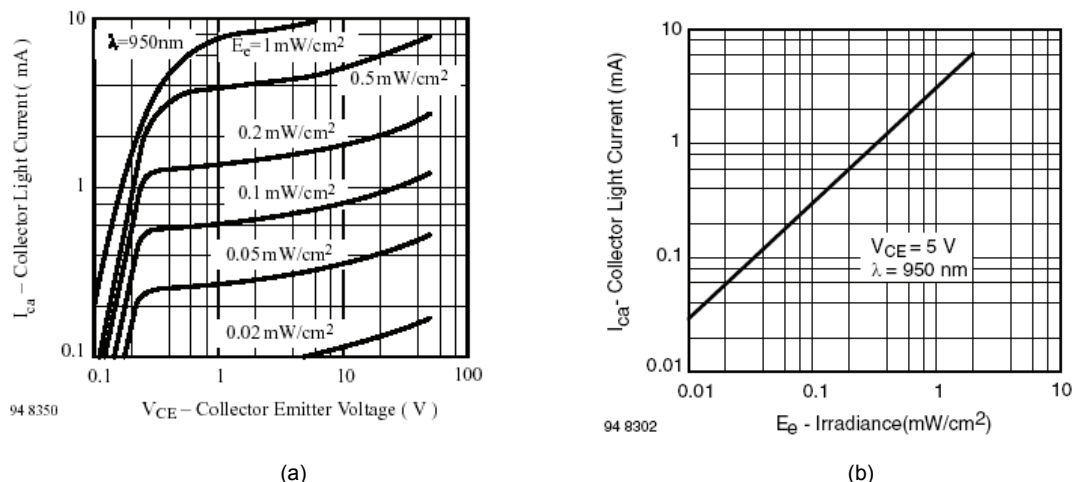
$$I_C \approx (\beta + 1)(I_{C0} + I_L) \quad , \quad I_B = 0 \quad (4.11)$$

non  $I_L \gg I_{C0}$

non  $I_L$  argiztapenaren ondorioz sortzen den korrontea baita. Zenbat eta argiztapen handiagoa (irradiatze-fluxua, irradiantzia), orduan eta kolektoreko korrontea handiagoa izango dugu. Korrontearen intentsitatearen aldakuntza, aplikatutako polarizazio eta argiztapenaren arabera, korrante-tentsio kurba bereizgarriak erabiliz adierazten da (ikus 4.14 (a) irudia)

##### ***Korrante-irradiantziaren kurbak***

Fotodiodoen kasuan bezala, sarritan, uhin-luzera eta polarizazio jakinerako, osagaiaren irteerako korrontea sarrerako irradiantziaren arabera adierazten duen grafikoa aurkituko dugu ezaugarri-orrietan (4.14 (b) irudia).



4.14 Irudia : Siliziozko NPN fototransistore baten  $I$ - $V$  kurba bereizgarria (a) eta korrante-irradiantiz kurba. Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.

**Alderantzizko korronea argiarekin/iluntasunean:  $I_{ca}/I_{CE0}(I_D)$**

$I_{ca}$  kolektoreko alderantzizko korronearen balioa fotodiodoa argizatuta dagoenean. Ohikoena  $1\text{mW/cm}^2$ -ko irradiantziarako neurtzea da (edo  $1000\text{ lx}$ -eko argiztapenerako).  $I_{CE0}=I_d$  kolektoreko korronea da argiztapenik ez dagoenerako.

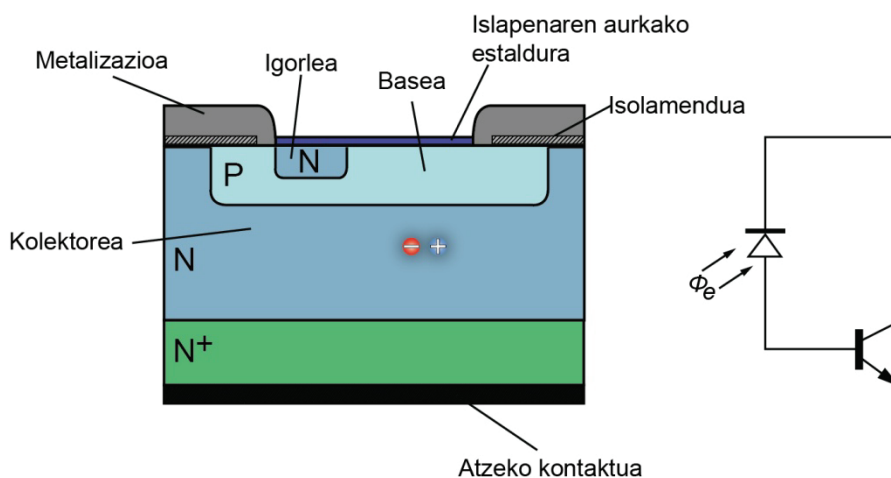
**Sentikortasun maximoko uhin-luzera:  $\lambda p$**

Fototransistore batek zein uhin-luzeratarako duen sentikortasun maximoa adierazten du.


Ondorengo orrialdeetan, plastikozko kapsulan muntatutako siliziozko *NPN* fototransistore baten ezaugarri-orri laburtuak dituzu aztergai (4.2 Orria).

**4.2.3.2 Egitura eta fabrikazio-teknologia**

Fototransistoreak ere teknika planar-epitaxialarekin fabrikatzen dira eskuarki, egitura bertikalarekin (ikus 4.15 irudia). Izatez, fototransistorea eta transistore bipolar batez aplikatutako fotodiodoa elementu baliokideak dira. Sarritan, batez ere baseko hankatxoa ez duten kapsulak erabiltzen ditugunean, ezinezkoa da fototransistoreak fotodiodoetatik bereiztea.

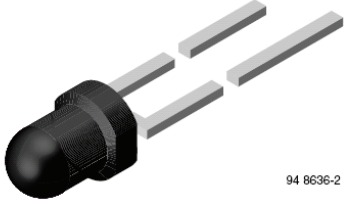


4.15 Irudia: *NPN* fototransistore planarraren egitura. Argi-erradiazioa igorlea eta basearen arteko *pn* junturan eragiten du batez ere, eramaile bikoteak sortaraziz eta korrone elektrioa handituz.



**TEFT4300**  
 Vishay Semiconductors

## Silicon NPN Phototransistor, RoHS Compliant



94 8636-2

**DESCRIPTION**



TEFT4300 is a silicon NPN phototransistor with high radiant sensitivity in black, T-1 plastic package with daylight blocking filter. Filter bandwidth is matched with 900 nm to 950 nm IR emitters.

**FEATURES**

- Package type: leaded
- Package form: T-1
- Dimensions (in mm):  $\varnothing 3$
- High radiant sensitivity
- Daylight blocking filter matched with 940 nm emitters
- Fast response times
- Angle of half sensitivity:  $\varphi = \pm 30^\circ$
- Package matched with IR emitter series TSUS4300 and TSAL4400
- Lead (Pb)-free component in accordance with RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

**APPLICATIONS**

- Optical switches
- Counters and sorters
- Interrupters
- Encoders
- Position sensors

  
  
**RoHS**  
 COMPLIANT

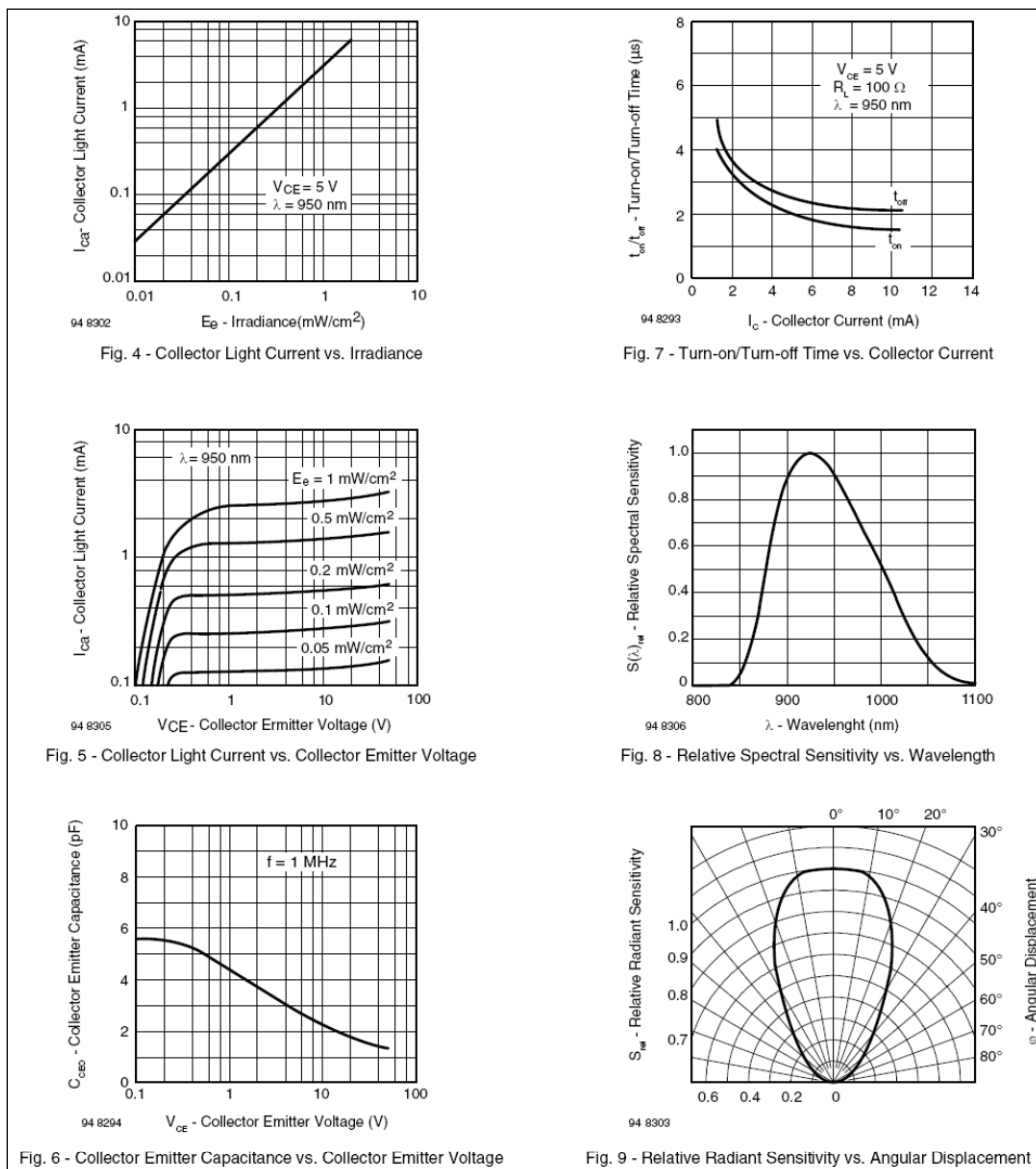
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector emitter voltage		$V_{CEO}$	70	V
Emitter collector voltage		$V_{ECO}$	5	V
Collector current		$I_C$	50	mA
Collector peak current	$t_p/T = 0.5, t_p \leq 10 \text{ ms}$	$I_{CM}$	100	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 55^\circ\text{C}$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_j$	100	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		$T_{amb}$	- 40 to + 100	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 40 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	$t \leq 3 \text{ s}, 2 \text{ mm from case}$	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance junction/ambient	Connected with Cu wire, 0.14 mm <sup>2</sup>	$R_{thJA}$	450	K/W

**Note**

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

BASIC CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector emitter breakdown voltage	$I_C = 1 \text{ mA}$	$V_{(BR)CEO}$	70			V
Collector emitter dark current	$V_{CE} = 20 \text{ V}, E = 0$	$I_{CEO}$		1	200	nA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 5 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, E = 0$	$C_{CEO}$		3		pF
Collector light current	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2, \lambda = 950 \text{ nm}, V_{CE} = 5 \text{ V}$	$I_{ca}$	0.8	3.2		mA
Angle of half sensitivity		$\varphi$		$\pm 30$		deg
Wavelength of peak sensitivity		$\lambda_p$		925		nm
Range of spectral bandwidth		$\lambda_{0.5}$		875 to 1000		nm
Collector emitter saturation voltage	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2, \lambda = 950 \text{ nm}, I_C = 0.1 \text{ mA}$	$V_{CEsat}$			0.3	V
Turn-on time	$V_S = 5 \text{ V}, I_C = 5 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega$	$t_{on}$		2.0		$\mu\text{s}$
Turn-off time	$V_S = 5 \text{ V}, I_C = 5 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega$	$t_{off}$		2.3		$\mu\text{s}$
Cut-off frequency	$V_S = 5 \text{ V}, I_C = 5 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega$	$f_c$		180		kHz

4.2 Orria (1/2): Siliziozko fototransistore baten ezaugarri orrietatik erazutako informazioa.



4.2 Orria (2/2): Siliziozko fototransistore baten ezaugarri orrietatik erazutako informazioa.

#### 4.2.3.3 Aplikazioak: fotodiodoa ala fototransistorea?

Fotodetektagailuen aplikazioak hiru taldetan sailka daitezke:

1. Fotometria, hau da, argi-mailak neurtzeko.
2. Kommutazioa, argi-mailaren arabera zirkuituak edo eragingailuak aktibatu zein eteteko.
3. Isolamendu elektrikoak (lotura optikoak).
4. Komunikazio optikoetan, seinale optikoaren hartzaile modura.

Ikusi dugun bezala, fotodiodoen eta fototransistoreen funtzionamendua baliokideak dira (osagai biei *fotodetektagailua* deritze). Beraz, fotodetektagailu bat behar dugunean, zein aukeratuko dugu? Badira osagai biak desberdintzen dituzten ezaugarriak. Hala nola, fototransistoreen sentikortasuna fotodiodoena baino handiagoa da; hau da, argiztapen-maila bererako, irteera-korrante handiagoa lortuko dugu. Ostera, fotodiodoen kommutazio-abiadura azkarragoa da (batez ere PIN fotodiodoena), eta, beraz, komunikazio optikoetarako aproposagoak. Azkenik, fotodiodoen erantzuna jasotako argiztapenaren arabera linealagoa da, fototransistoreenaren aldean, eta argiztapen-neurketak edo fotometriarako aproposagoak, beraz.

### 4.3 Osagai elektrolumineszenteak

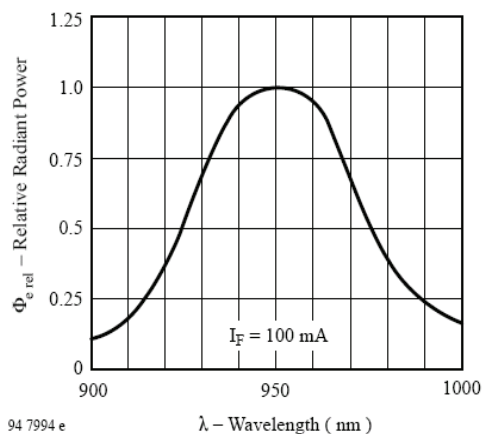
Elektrolumineszentzia-efektua funtzionamendu-oinarri duten osagaiak dira *osagai elektrolumineszenteak*. Argi-erradiazioa igortzen duten osagaiak dira; beraz (diodo-igorleak edo LED), aplikazio anitz dituzte: pantaila elektronikoak, komunikazio optikoak, argiztapena, etab. Aparteko aipamena merezi duen osagaia laser-diodoa da; gaur egun, hainbat tresna elektronikotan erabiltzen baita: CD/DVD irakurleak eta grabatzaileak, neurketa-tresnak, fotokopiagailuak, inprimagailuak, medikuntza-tresneria eta abar luze bat. Osagai bakoitzaren deskribapena egin aurretik, osagai elektrolumineszente guztientzat komunak diren kontzeptu batzuen definizioak eman ditzagun.

#### **Indar optikoa: OP (Optical Power ala Radiant Power)**

*Indar optikoak* osagaiak kitzikapen elektrikoaren ondorioz igortzen duen erradiazioaren intentsitatea adierazten du. Igorritako argi-erradiazioaren maila adierazteko, irradiatze-fluxua (edo argi-fluxua) edo irradiantzia (edo argiztapena) erabiltzen dira:

$$\begin{aligned} OP &= \frac{\Phi_e}{I} \quad [\text{WA}^{-1}] \\ OP &= \frac{M_e}{I} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{A}] \end{aligned} \quad (4.12)$$

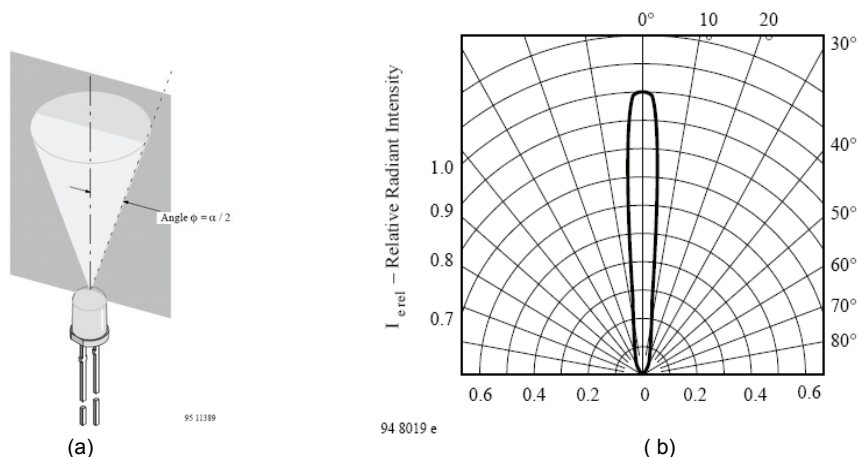
Osagai igorle baten indar optikoa ezberdina da uhin-luzera bakoitzerako; hau da, osagai bakoitzak igorpen-espektro bat du, eta osagaia fabrikatzeko erabili diren material erdiekoaleen arabera izango da. Igorpen-espektroa grafikoki adierazten da balio erlatiboekin, sentikortasun espektrala adierazten den antzera (4.16 irudia).



**4.16 Irudia:** Diodo igorle baten indar optiko espektrala. Diodo honek 950nm-tan du igorpen maximoa, hau da, argi infragorria igortzen du (IRED). *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

#### **Norabide-kurba**

Osagai igorleen kasuan, norabide-kurbak argia zein angelurekin igortzen den adierazten da. Kapsuletan jarritako optikaren ezaugarrien ondorio da, eta, aplikazioaren arabera, igorpen kontzentratuak (norabide-kurba estuak) edo igorpen barreiatuak (norabide-kurba zabalak) aukeratuko ditugu.

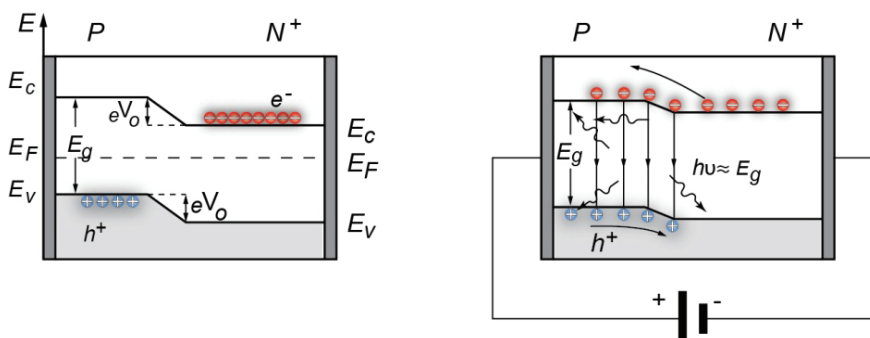


**4.17 Irudia:** Diodo igorle (LED) baten erradiazio-igorpene espazioan nola zabaltzen den kapsula eta erabilitako optikaren mendekoa da (a), eta ezaugarri-orrietan norabide-kurbarekin adierazita dago. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

### 4.3.1 Diodo elektrolumineszenteak edo LED



LEDak (*Light Emmiting Diode*) elektrolumineszentziaz argia igortzen duten juntura-diodoak dira. Argi ikusgaia igortzen dutenei VLED (*Visible LED*) deritze, eta argi infragorria, igortzen dutenei IRED (*Infra Red Emmiting Diode*). Elektrolumineszentzia efektua lortzeko, korrante zuzen positiboa igaroarazten da, *p-n* junturan zehar. Horrela, eramaileen barreiapen-korrontea sortu eta junturaren ingurunean birkonbinazio-tasa handia lortzen da, eta, hala, fotoi-kopuru handia igortzen da (ikus 4.18 irudia).



**4.18 Irudia:** LEDa tentsio zuzenarekin polarizatuz *pn* junturako birkonbinazio-tasa nabarmenki handituko da. Erdieroale zuzeneta, birkonbinazio horien ondorioz galdutako energia fotoiak igoriz kanporatzen da.

Igorritako argiaren intentsitatea (fluxua) aplikatutako korrontearen araberakoa da, baina igorpen-espektroa (kolorea) LEDa fabrikatzeko erabilitako materialak zehazten du. Argi ikusgaia igortzeko,  $E_g = 1,8$  eta  $3,1$  eV arteko erdieroale zuzenak erabiltzen dira. Horretarako, III (Al, Ga, In) eta V (N, P, As, Sb) taldeetako elementuen konbinazioak erabiltzen dira, gehienbat. 4.3 taulan laburbiltzen dira kolore/espektro bakoitzerako erabiltzen diren konposatuen adibideak.

Kolorea	Teknologia	$\lambda_p$ (nm)
DH-gorria	GaAlAs - GaAs	650
Errendimendu handiko gorria	GaAsP - GaP	635
Laranja gozoa	GaAlAs - GaP	605
Horia	GaAsP - GaAs	585
AllnGaP-horia	AllnGaP - GaAs	590
Berdea	GaP - GaP	565
Urdina	SiC - SiC	467

**4.3 Taula:** Material erdieroale desberdinak erabiliz, Kolore ezberdineko argia igorriko dituzten LEDak fabrikatzen dira.



Argi infragorria igortzeko  $E_g$  txikiagoko erdieroaleak behar dira; ohikoenak GaAs eta AlGaAs dira. Argi ultramorea igortzea ere lor daiteke, adibidez AlN eta AlGaN erabiliz.

#### 4.3.1.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

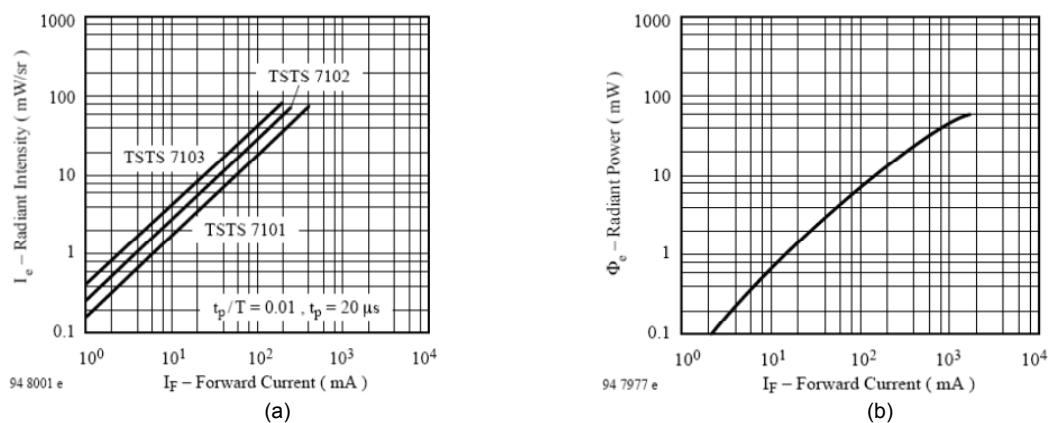
Diodoen ezaugarri tekniko arruntez aparte (korrante eta tentsio maximoak, potentzia, konmutazio-abiadurak, etab.), igortzen den argi-intentsitatea (indar optikoa) eta espektroa dira kontuan izan beharrekoak LED bat aukeratzekoan.

##### **Korrante-tentsio kurba bereizgarria**

Diodo arruntekin konparatuta, LEDek atariko tentsio handiagoak dituzte ( $V_\gamma = 1,3V-3V$ ), eta erresistentzia dinamiko handiagoa ere bai.

##### **Intentsitatea/fluxua-korrontea kurba bereizgarria**

Igorritako argiaren intentsitatea edo argi-fluxuaren balioa uhin-luzera jakinerako (eskuarki  $\lambda_p$ -rako) aplikatutako korrante elektriko zuzenaren intentsitatearen arabera irudikatzen da.



**4.19 Irudia:** LEDak igortzen duen argi-intentsitatea (a) edo erradiazio-fluxua (b) igarotzen den korrante elektrikoaren intentsitatearekin mendekoa da. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

##### **Igorpen uhin-luzera maximoa eta espektroaren banda-zabalera: $\lambda_p, \Delta\lambda_p$**

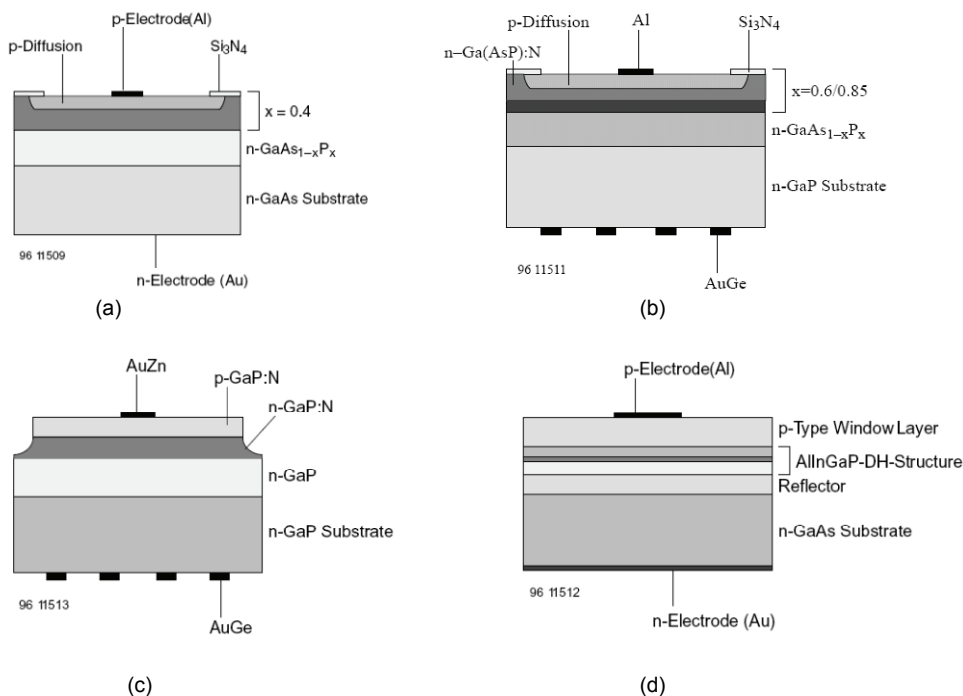
$\lambda_p$ -k adierazten du argi-igorpenak zein uhin-luzeratarako duen intentsitate maximoa, eta  $\Delta\lambda_p$  igorpen-espektroaren uhin-luzera maximo eta minimoaren arteko aldea da.

##### **Intentsitate erdiko angelua: $\varphi$**

Intentsitate erdiko angelua da, bertikalarekiko, diodoaren argi-igorpenaren intentsitatea erdira murrizten deneko angelura. Norabide-kurbaren osagarri da datu hori.

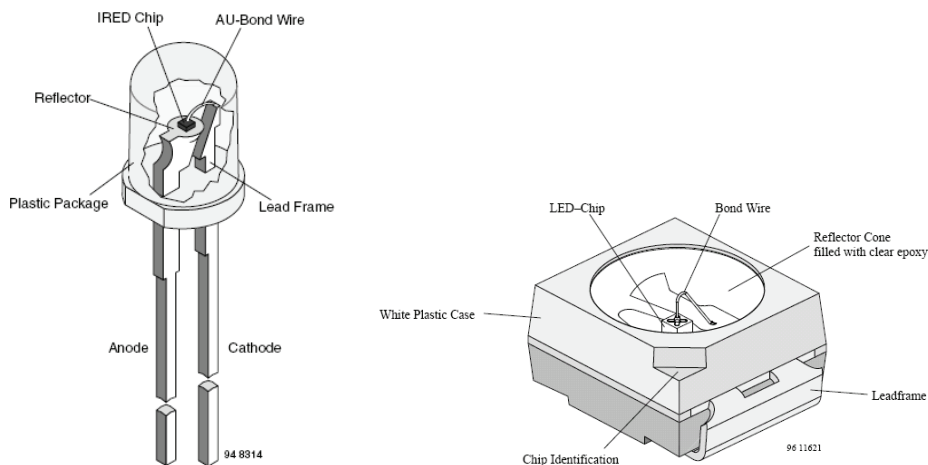
#### 4.3.1.2 Egitura eta fabrikazio-teknologiak

LED gehienak teknologia planar-epitaxiala erabiliz fabrikatzen dira.  $n/p$  substratuaren gainean bigarren  $n/p$  geruza hazi (epitaxia) eta, horren gainean,  $n/p$  motako erdieroalea difusioz ezartzen da. Geruza kopuruaren eta elektrodoen kokapenaren arabera, badaude hainbat aldaera (ikus 4.20 irudiak).



**4.20 Irudia:** Teknologia planarrez fabrikatutako LEDen ohizko egitura batzuk: (a) LED gorri estandarra, (b) kolore laranja eta horia, (c) kolore berdea, (d) etekin lumineszente handiko LEDa. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

LED kapsulak argia ahalik eta etekin handiarekin igortzeko diseinatzen dira; horretarako, barrualdea islatzailea izaten da, eta, irteerako leihotxoan, forma desberdinetako lenteak jartzen dira. Aplikazioaren arabera, forma eta tamaina askotako kapsulak aurkituko ditugu.



**4.21 Irudia:** LED estandarra plastikozko kapsularekin (a), eta SMD muntaiarako diseinu tipikoa (b). *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

### 4.3.1.3 Aplikazioak

VLED edo argi ikusgaia igortzen duten diodoen aplikazioak bi multzo nagusitan sailkatu daitezke:


1. Bistaratzea: Sistemen egoerak ezagutzeko erabiltzen dira (gailuren bat martxan dagoela, autoko gasolina bukatzen ari zaigula edo sistema baten tenperatura gehiegizkoa dela

adierazteko, adibidez). Bistaratze konplexuagoak egin daitezke zazpi segmentuko LEDekin, eta are konplexuagoak LEDez osaturiko pantaila matritzialekin, adibidez.

- Argiztapena: Azkenengo urteotan, izugarri garatu da LED teknologia, eta, etekin handiko LEDak erabilia, argiztapen-sistemak merkaturatzen hasiak dira. Hala nola, gaur egun, arruntak dira LEDez osaturiko linternak, eta, ibilgailuen optiketan ere, gero eta ohikoagoa da LEDak izatea. Oraindik, ordea, goritasun-lanparak edo gas-lanparekin lortzen diren argiztapen-mailak lortzea ezinezkoa da.

IRED edo argi infragorria igortzen duten LEDak isolamendu optikoetan eta komunikazio optikoetan erabiltzen dira (urrutiko kontrolak barne) batez ere.

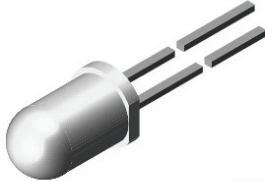
Hurrengo orrialdeetan, argi infragorriko LED igorle baten (IRED) ezaugarri teknikoak azter daitezke (4.3 Orria).



**TSAL7300**

Vishay Semiconductors

**High Power Infrared Emitting Diode, 940 nm, GaAlAs/GaAs**




94 8389

**FEATURES**

- Package type: leaded
- Package form: T-1 $\frac{3}{4}$
- Dimensions (in mm):  $\varnothing$  5
- Peak wavelength:  $\lambda_p = 940$  nm
- High reliability
- High radiant power
- High radiant intensity
- Angle of half intensity:  $\varphi = \pm 22^\circ$
- Low forward voltage
- Suitable for high pulse current operation
- Good spectral matching with Si photodetectors
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC
- Halogen-free according to IEC 61249-2-21 definition

**APPLICATIONS**

- Infrared remote control units with high power requirements
- Free air transmission systems
- Infrared source for optical counters and card readers



**RoHS**  
COMPLIANT  
HALOGEN  
**FREE**

**DESCRIPTION**

TSAL7300 is an infrared, 940 nm emitting diode in GaAlAs/GaAs technology with high radiant power molded in a clear, untinted plastic package.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage		$V_R$	5	V
Forward current		$I_F$	100	mA
Peak forward current	$t_p/T = 0.5, t_p = 100 \mu s$	$I_{FM}$	200	mA
Surge forward current	$t_p = 100 \mu s$	$I_{FSM}$	1.5	A
Power dissipation		$P_V$	160	mW
Junction temperature		$T_J$	100	$^\circ C$
Operating temperature range		$T_{amb}$	- 40 to + 85	$^\circ C$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 40 to + 100	$^\circ C$
Soldering temperature	$t \leq 5$ s, 2 mm from case	$T_{sd}$	260	$^\circ C$
Thermal resistance junction/ambient	J-STD-051, leads 7 mm soldered on PCB	$R_{thJA}$	230	KW

**Note**

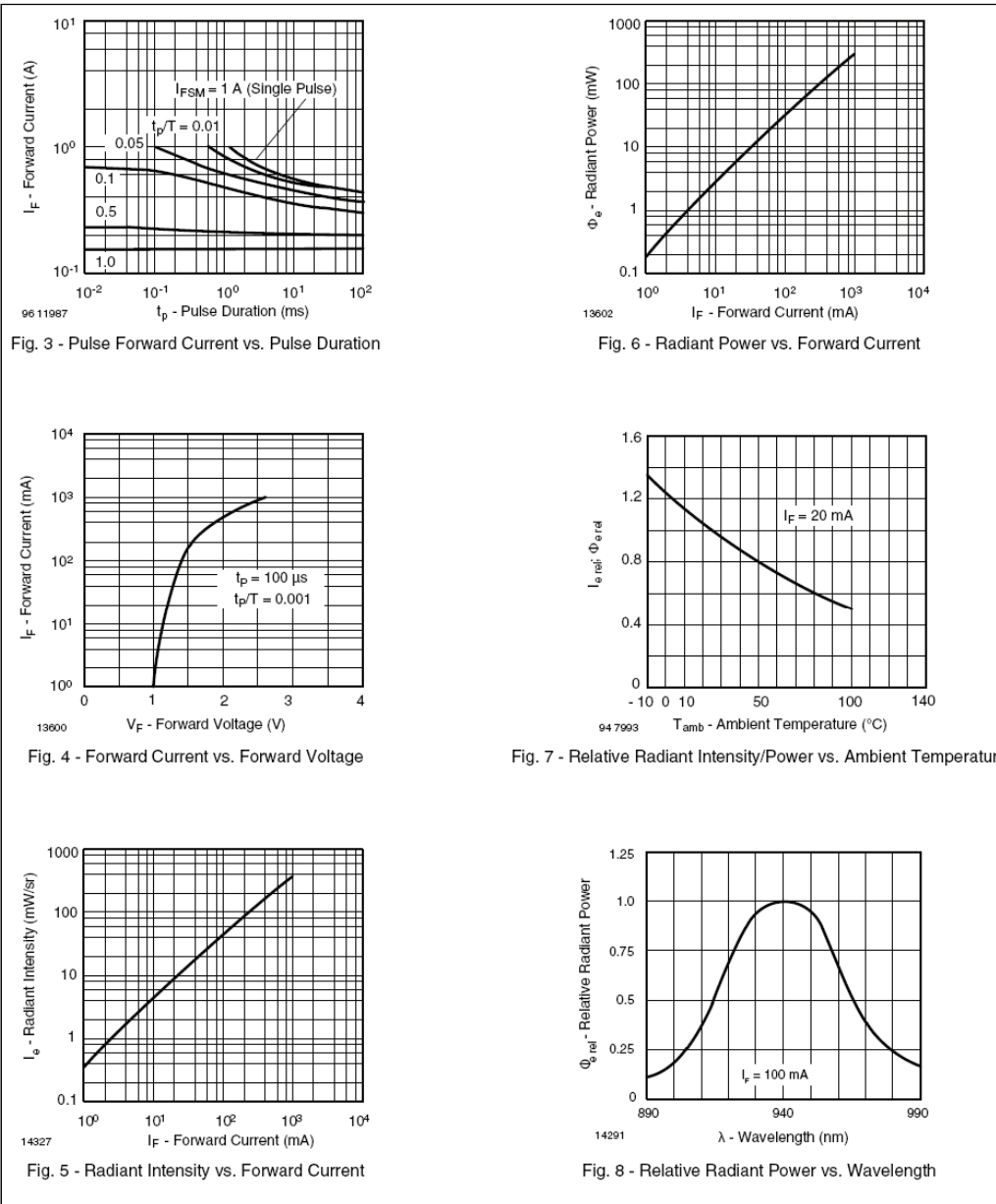
$T_{amb} = 25 \text{ }^\circ C$ , unless otherwise specified

**4.3 Orria (1/2): IRED baten ezaugarri orrietatik erausitako informazioa**

BASIC CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 100 \text{ mA}, t_p = 20 \text{ ms}$	$V_F$		1.35	1.6	V
	$I_F = 1 \text{ A}, t_p = 100 \mu\text{s}$	$V_F$		2.6	3	V
Temperature coefficient of $V_F$	$I_F = 1 \text{ mA}$	$TK_{V_F}$		- 1.8		mV/K
Reverse current	$V_R = 5 \text{ V}$	$I_R$			10	$\mu\text{A}$
Junction capacitance	$V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, E = 0$	$C_j$		25		pF
Radiant intensity	$I_F = 100 \text{ mA}, t_p = 20 \text{ ms}$	$I_e$	30	45	150	mW/sr
	$I_F = 1 \text{ A}, t_p = 100 \mu\text{s}$	$I_e$	260	350		mW/sr
Radiant power	$I_F = 100 \text{ mA}, t_p = 20 \text{ ms}$	$\phi_e$		35		mW
Temperature coefficient of $\phi_e$	$I_F = 20 \text{ mA}$	$TK_{\phi_e}$		- 0.6		%/K
Angle of half intensity		$\varphi$		$\pm 22$		deg
Peak wavelength	$I_F = 100 \text{ mA}$	$\lambda_p$		940		nm
Spectral bandwidth	$I_F = 100 \text{ mA}$	$\Delta\lambda$		50		nm
Temperature coefficient of $\lambda_p$	$I_F = 100 \text{ mA}$	$TK_{\lambda_p}$		0.2		nm/K
Rise time	$I_F = 100 \text{ mA}$	$t_r$		800		ns
	$I_F = 1 \text{ A}$	$t_r$		500		ns
Fall time	$I_F = 100 \text{ mA}$	$t_f$		800		ns
	$I_F = 1 \text{ A}$	$t_f$		500		ns
Virtual source diameter	Method: 63 % encircled energy	d		2.3		mm

**Note**

$T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

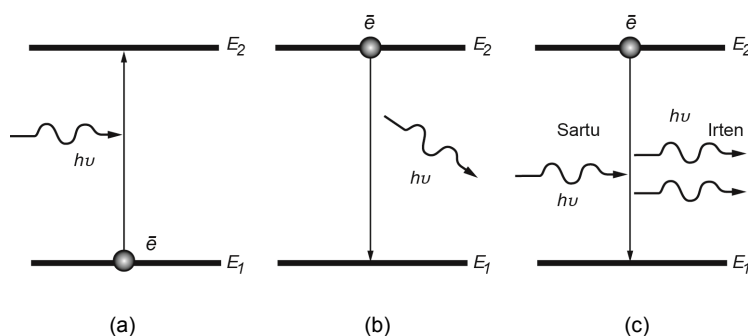


**4.3 Orria (2/2): IRED baten ezaugarri orrietatik erausitako informazioa**

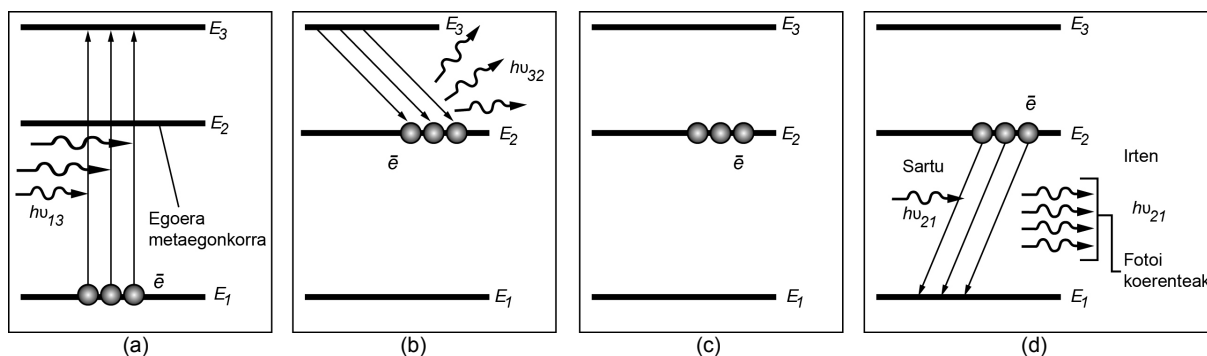
### 4.3.2 Laser-diodoak (LD)

LDak (*Laser Diode*) laser-argia (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) igortzeko gai diren LED bereziak dira. Laser-argia argi monokromatikoa (uhin-luzera bakarrekoa) eta koherentea (fotoi guztien fasea bera da) da, eta optikoki amplifikatutako izpi zuzen batez igorria da. Laser-argia lortzeko, fotoien *igorpen estimulatua* gertarazi behar da. Lehenengo laser-sorgailuak gas-laserrak (argon edo He-Ne, adibidez) eta egoera solidoko laserrak (errubia) ziren, handi xamarak eta pisutsuak. Laser-diodoei esker, miniaturizazioa eta integrazioa ahalbidetu eta potentzia txikiko laserraren aplikazioak izugarri hazi ziren.

Baina zer da igorpen estimulatua? Laburki esanda, fotoi batek beste fotoi baten igorpena eragiten duenean diogu igorpena estimulatuta dela. Fotoien berezko igorpenean ez bezala, igorpen estimulatuz sortutako fotoi berriaren energia (eta, horren ondorioz, maiztasuna), fasea eta hedapen-norabidea lehenengoaren berdinak dira (ikus 4.22 irudia). Igorpen estimulatua lortzeko, ordea, elektroien *populazio alderantzua* lortu behar da, hau da,  $E_2$  energia-mailan elektroien asko eta  $E_1$  energia-mailan hutsune asko (elektroi gutxi). Egoera hori ez da materialetan berezkoa edo naturala, eta populazio alderantzuko egoera lortzeko elektroien etengabeko *ponpaketa* eragin beharko dugu. Laser-diodoen kasuan, ponpaketa hori junturaren polarizazio zuzenarekin lortzen da, eta, atariko korrante jakin bat gainditzean, populazioaren alderantzizkatzea lor daiteke (4.23 irudia).



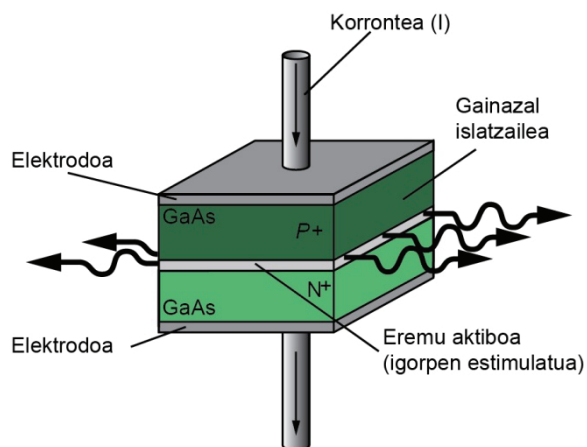
**4.22 Irudia:** Fotoi baten absorzioa (a), berezko igorpena (b) eta igorpen estimulatua (c). Elektroien trantsizioa fotoi batek eraginkoa edo *estimulatua* izan bada, energia-trantsizio horretatik sortzen den fotoi berriak lehenengoaren propietate berdinak izango ditu: maiztasuna, fasea eta norabide berdinak.



**4.23 Irudia:** Fotoien igorpen estimulatua lortzeko, berez naturala ez den egoera bortxatu behar da: elektroien populazio alderantzua (c). Energia altuko egoera kuentikoetan ( $E_2$ ) energia txikiko egoeratan baino elektroien gehiago izatea lortzen badugu (ponpaketa bidez), fotoien igorpen estimulatua lortzeko probabilitate handiak izango ditugu (d).

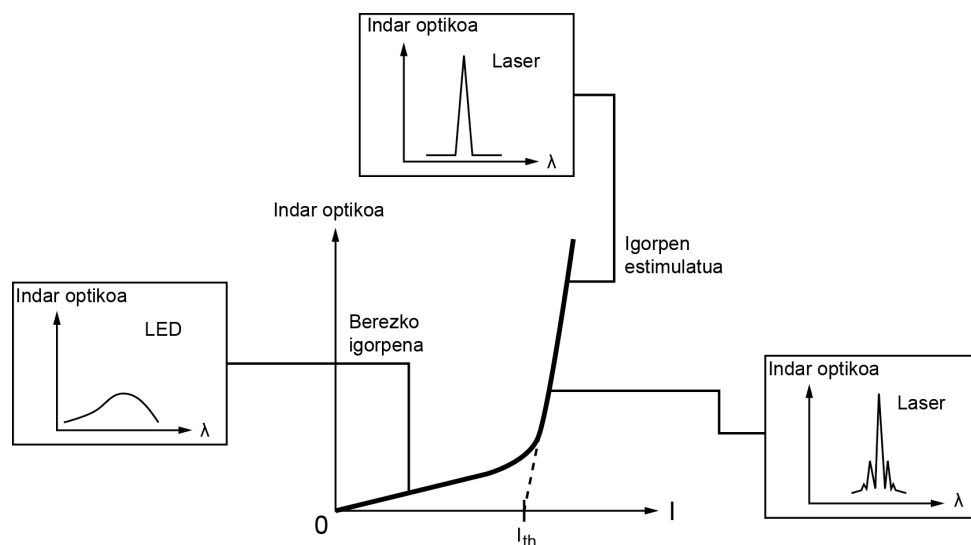
Azkenik, fotoien igorpen estimulatua amplifikatu egin behar da, etengabeko fotoi-igorpen boteretsua lortzeko. Horretarako, optikoki erresonantea den barrunbea behar da (interferometroa), fotoi-igorpena norabide jakinean amplifikatzeko. Didoaren kristal erdieroalearen aurrez aurreko aurpegiak leunduz, partzialki islatzaileak diren gainazalak lortzen

dira, eta, hala, barrunbe erresonantea lortu egiten da (4.24 irudia). Emaitza: uhin-luzera jakin eta isolatuekin (bat edo gehiago) laser argia-izpi boteretsua igortzen duen LEDa.



4.24 Irudia: Laser diodoen egitura sinplifikatua.

Laser-diodoek korronte minimo bat behar dute laser-argia igortzeko, hain zuzen ere, igorpen estimulatua lortzeko behar den korronte minimoa. Korronte minimo horri *atariko korrontea* deritzo ( $I_{th}$ ), eta, haren azpitik, argi arrunta igortzen du, hau da, ez-monokromatikoa, ez-koherentea.



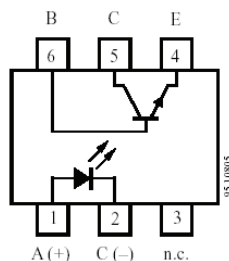
4.25 Irudia: Laser diodoek korronte minimoa behar dute polulazioaren aldaranzketa lortu eta laser-argia igortzeko ( $I_{th}$ ). Atariko korronte hori gainditu ezik LED arruntan antzera igortzen dute argia

Laser-diodoen teknologia LED arruntena baino konplexuagoa da. *P-N* juntura bakarra ez da nahikoa, eta, diodoaren juntura erre gabe laser-argia lortzeko, energia-maila desberdineko juntura anitz behar dira (heterojunturazko diodoak).

## 4.4 Optoisolatzaileak eta egoera solidoko erreleak

Isolamendu elektrikoa beharrezkoa denean (adibidez, tentsio-maila desberdineko zirkuituen artean), seinale elektrikoa optikoki transmiti daiteke, igorle optiko bat (LEDa) eta hartzaile bat (fotodiodoa edo fototransistorea) aurrez aurre jarrita. Konfigurazio hori ohikoa izanik, akoplamendu optikoa egiteko beharrezko igorlea eta hartzailea txip bakarrean integratu eta

kapsulatuta fabrikatzen da. Hori da, labur esanda, optoisolatzaile (edo optoakoplatzaile) bat: LED baten (eskuarki IRED bat) eta fototransistore baten arteko akoplamendu optikoa burutzen duen integratua.



**4.26 Irudia:** Optoisolatzaile integratuaren irudi eskematikoa (a) eta osagaiaren itxura (b). Txip berean igorlea (LED) eta hartzailea (fototransistorea) integratuta daude. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

#### 4.4.1 Ezaugarri tekniko orokorrak

Osagai optoelektronikoz osatutako osagaia izanik, ez dugu parametro optikoei erreferentziarik aurkituko optoisolatzaile baten ezaugarri-orrietan. Akoplamendu optikoa integratuaren barnealdean gertatzen da; igorlea eta hartzailea, optikoki, bateragarriak dira, eta argi-transmisioa optimizatuta dago.

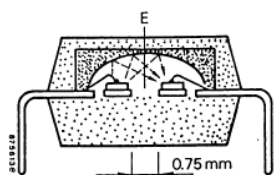


Figure 6. In-line emitter and transmitter chip design

(a)

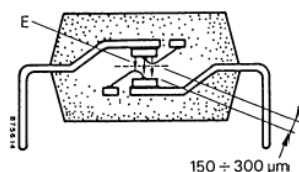


Figure 7. Face-to-face design

(b)

**4.27 Irudia:** Akoplamendu optikoa optoisolatzailearen barnean: (a) kokapen lerrokatua, (b) aurrez-aurreko kokapena. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Horren ondorioz, optoisolatzaile bat aukeratzerakoan, parametro elektrikoak soilik izan beharko ditugu aintzakotzat:

1. Sarrerako parametroak: diodoetan ohikoak diren parametro eta balio maximoak zaindu beharko ditugu, hau da,  $V_{\gamma}$ ,  $IF$ ,  $VR$ ,  $IFSM$ ,  $P_{tot}$ .
2. Irteerako parametroak: transistoreetan ohikoak diren parametro eta balio maximoak, hau da,  $V_{CE0}$ ,  $IC$ ,  $ICM$ ,  $P_{tot}$ ,  $ICE0$ ,  $V_{CEsat}$ .
3. Akoplamenduko parametroak: seinalea nola transmitituko den eta isolamenduaren mugak zein diren esaten diguten ezaugarriak dira ( $R_{I0}$ ,  $V_{I0}$ ,  $CTR$ ).

#### **Isolamendu-erresistentzia: $R_{I0}$**

$R_{I0}$ , optoisolatzaileak sarreraren eta irteeraren artean duen isolamendu-erresistentziaren balio maximoa da.

#### **Isolamendu-tentsioa: $V_{I0}$**

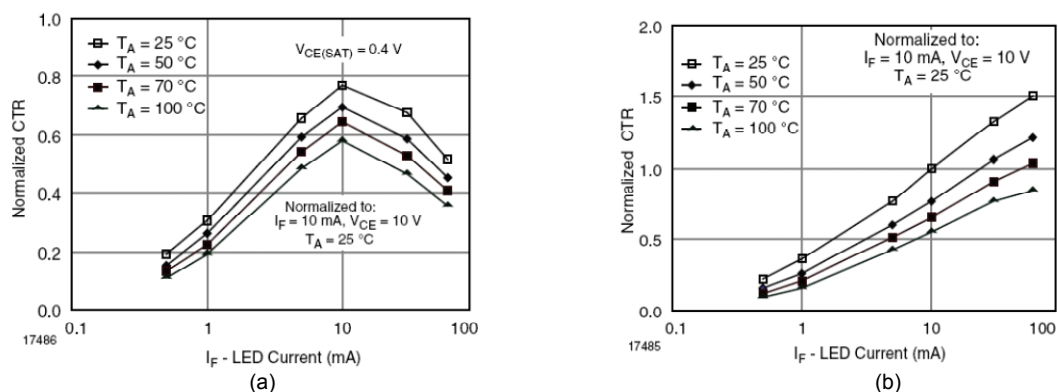
$V_{I0}$ , optoisolatzaileak sarreraren eta irteeraren artean jasan dezakeen tentsio-jauzi maximoa da.

**Korronte-transferentzia erlazioa: CTR**

Korronte-transferentzia erlazioak edo CTR (*Current Transfer Ratio*), sarrerako diodoan dugun korrontearen ( $I_F$ ) eta irteerako transistorearen kolektorean izango dugun korrontearen arteko erlazioa adierazten du (ehunekotan); hau da, korronte-transferentziaren efizientzia adierazten du.

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \times 100 \quad (4.13)$$

CTRaren balioa %100 baino txikiagoa da, optoisolatzaille arruntetan; hau da, korrontearen intentsitatea txikitu egiten da transferentzia optikoaren ondoren. Badira ordea korronte irabazia ematen duten optoisolatzailleak, gehienbat irteerako fototransistorea Darlington konfigurazioan dutenak. CTR parametroa ez da konstantea, ordea, eta zenbait faktoreren mendekoa da. Gure zirkuituak dituen lan-baldintzetarako CTRaren balioa kalkulatzeko, optoisolatzailleen ezaugarri orrietan, CTR-kurbak ematen dira. Hiru faktore izan beharko ditugu kontuan, batez ere CTRaren kalkulu egokia egiteko: sarrerako korrontearen intentsitatea ( $I_F$ ), giro-temperatura ( $T_{amb}$ ) eta fototransistorearen operazio-puntua (asea edo asegabea).



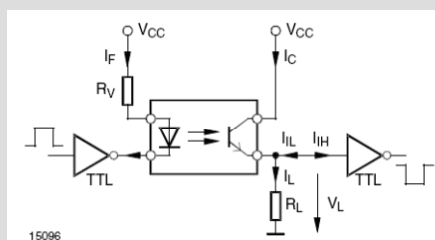
**4.28 Irudia:** CTR normalizatuaren balioa kalkulatzeko ezaugarri-orrietan aurkituko ditugun grafikoak: (a) irteerako fototransistorea ase denean, (b) irteerako fototransistorea ase ez denean. *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

Demagun beheko irudian adierazita dagoen akoplamendu optikoa diseinatu behar dugula, erabilitako optoisolatzailleen  $CTR(I_F=10\text{mA}) = \%60$  dela jakinda eta 4.28 irudiko CTR kurbak erabilia. Kalkulatu  $R_V$  eta  $R_L$  balio izendatuak.

$$V_{CC} = 5\text{ V}$$

$$T_{en} \in [-20^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}]$$

**Ebazpena:**






### Parametro dinamikoak

Konexio- eta deskonexio-denborak ( $t_{on}$ ,  $t_{off}$ ) dira ohikoenak. Irteerako fototransistorearen konmutazio-denborak dira muga. Banda-zabalera erabilgarria ere adierazten da batzuetan.

### 4.4.2 Aplikazioak

Optoisolatzaileak seinale elektrikoak isolatzeko erabiltzen dira, babes- zein segurtasun-helburuekin. Isolamendua beharrezkoa izaten da sistema "seguru" eta "sistema arriskutsu" eta zaratatsuen artean: tentsio maila desberdineko sistemen artean (kontrol-zirkuituak eta potentzia-zirkuituen artean edo estandar logiko desberdineko sistema digitalen artean), bizidunak neurketa-sistema elektrikoetatik isolatzeko (medikuntza-tresnerian adibidez), eta abar.

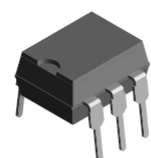
Hurrengo orrialdeetan, Vishay etxeko optoisolatzaile integratu baten ezaugarri-orrietako informazio laburbildua duzu aztergai (4.4 Orria).



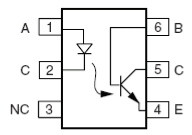
## H11A1/H11A2/H11A3/H11A4/H11A5



Vishay Semiconductors

### Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



H119004



**RoHS  
COMPLIANT**

**FEATURES**

- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in line 6-pin package
- Isolation test voltage: 5300 V<sub>RMS</sub>
- Lead (Pb)-free component
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

**APPLICATIONS**

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

**AGENCY APPROVALS**

- UL1577, file no. E52744 system code H or J, double protection
- CSA 93751
- BSI IEC 60950; IEC 60065
- DIN EN 60747-5-5 available with option 1
- FIMKO

**DESCRIPTION**

The H11Ax family is an industry standard single channel phototransistor coupler. It includes the H11A1/H11A2/H11A3/H11A4/H11A5 couplers. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor. The isolation performance is accomplished through Vishay double molding isolation manufacturing process. Compliance to DIN EN 60747-5-5 partial discharge isolation specification is available by ordering option 1. These isolation processes and the Vishay ISO9001 quality program results in the highest isolation performance available for a commercial plastic phototransistor optocoupler. The devices are available in lead formed configuration suitable for surface mounting and are available either on tape and reel, or in standard tube shipping containers.

Note:  
Designing with data sheet is covered in Application Note 45.

**4.4 Orria (1/3):** Optoisolatzaile integratu baten ezaugarri-orrietatik erazutako informazioa.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT</b>				
Reverse voltage		$V_R$	6	V
Forward current		$I_F$	60	mA
Surge current	$t \leq 10 \mu\text{s}$	$I_{FSM}$	2.5	A
Power dissipation		$P_{diss}$	100	mW
<b>OUTPUT</b>				
Collector emitter breakdown voltage		$V_{CEO}$	70	V
Emitter base breakdown voltage		$V_{EBO}$	7	V
Collector current		$I_C$	50	mA
	$t < 1 \text{ ms}$	$I_C$	100	mA
Power dissipation		$P_{diss}$	150	mW
<b>COUPLER</b>				
Isolation test voltage		$V_{ISO}$	5300	$V_{RMS}$
Creepage distance			$\geq 7$	mm
Clearance distance			$\geq 7$	mm
Insulation thickness between emitter and detector			$\geq 0.4$	mm
Comparative tracking index	per DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$R_{IO}$	$\geq 10^{12}$	$\Omega$
	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	$R_{IO}$	$\geq 10^{11}$	$\Omega$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 55 to + 150	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		$T_{amb}$	- 55 to + 100	$^\circ\text{C}$
Junction temperature		$T_J$	100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	max. 10 s, dip soldering: distance to seating plane $\geq 1.5 \text{ mm}$	$T_{sld}$	260	$^\circ\text{C}$

Note

ELECTRICAL CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT</b>							
Forward voltage	$I_F = 10 \text{ mA}$	H11A1	$V_F$		1.1	1.5	V
		H11A2	$V_F$		1.1	1.5	V
		H11A3	$V_F$		1.1	1.5	V
		H11A4	$V_F$		1.1	1.5	V
		H11A5	$V_F$		1.1	1.7	V
Reverse current	$V_R = 3 \text{ V}$		$I_R$			10	$\mu\text{A}$
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$		$C_O$		50		pF
<b>OUTPUT</b>							
Collector emitter breakdown voltage	$I_C = 1 \text{ mA}, I_F = 0 \text{ mA}$		$BV_{CEO}$	30			V
Emitter collector breakdown voltage	$I_E = 100 \mu\text{A}, I_F = 0 \text{ mA}$		$BV_{ECO}$	7			V
Collector base breakdown voltage	$I_C = 10 \mu\text{A}, I_F = 0 \text{ mA}$		$BV_{CBO}$	70			V
Collector emitter leakage current	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 0 \text{ mA}$		$I_{CEO}$		5	50	nA
Emitter collector capacitance	$V_{CE} = 0 \text{ V}$		$C_{CE}$		6		pF

ELECTRICAL CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>COUPLER</b>							
Collector emitter, saturation voltage	$I_{CE} = 0.5 \text{ mA}, I_F = 10 \text{ mA}$		$V_{CEsat}$			0.4	V
Capacitance (input-output)			$C_{IO}$		0.5		pF

Note

 $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

Minimum and maximum values were tested requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluations. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

CURRENT TRANSFER RATIO							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 10 \text{ mA}$	H11A1	$CTR_{DC}$	50			%
		H11A2	$CTR_{DC}$	20			%
		H11A3	$CTR_{DC}$	20			%
		H11A4	$CTR_{DC}$	10			%
		H11A5	$CTR_{DC}$	30			%

SWITCHING CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	UNIT
Switching time	$I_C = 2 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega, V_{CE} = 10 \text{ V}$	$t_{on}, t_{off}$		3			$\mu\text{s}$

## 4.4 Orria (2/3): Optoisolatzaila integratu baten ezaugarri-orretatik erazitako informazioa.

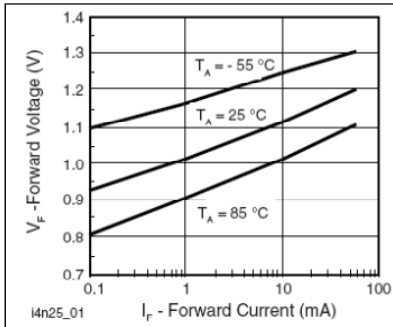


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

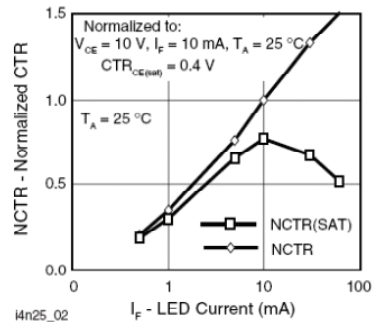


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

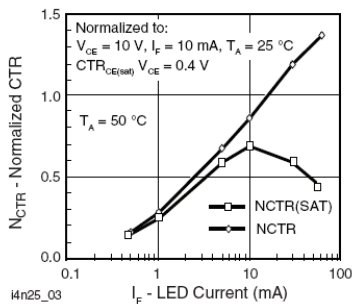


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

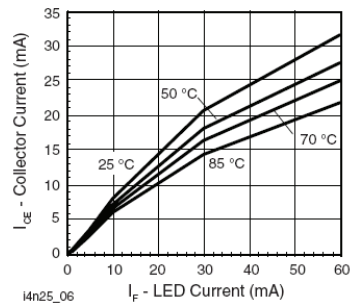


Fig. 6 - Collector Emitter Current vs. Temperature and LED Current

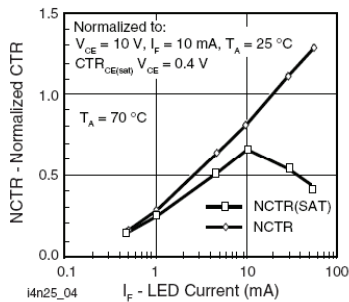


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

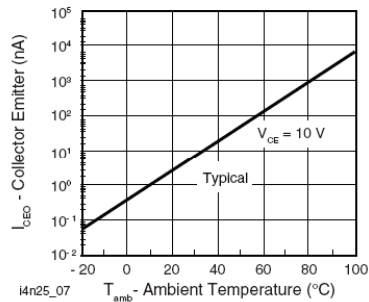


Fig. 7 - Collector Emitter Leakage Current vs. Temperature

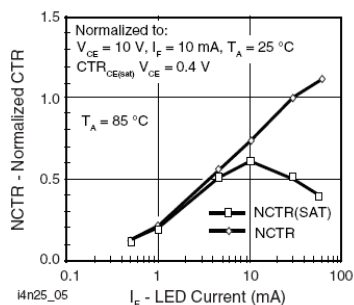


Fig. 5 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

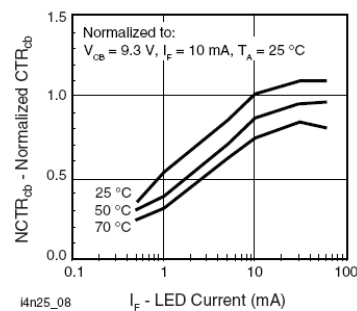
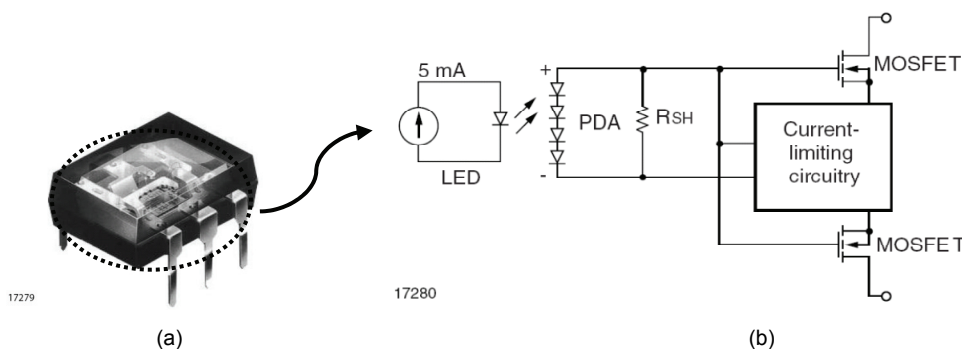


Fig. 8 - Normalized CTR<sub>cb</sub> vs. LED Current and Temperature

4.4 Orria (3/3): Optoisolatazile integratu baten ezaugarri-oretatik erazitako informazioa.

### 4.4.3 Egoera solidoko erreleak (SSR)

Sarritan, optoisolatzaileak erabiltzen dira kontrol-zirkuitu batek sortutako seinalearekin zama elektrikoak konmutatzeko, hau da, errele mekanikoak ordezkatuz. Ikusitako ohiko optoisolatzaile-konfigurazioak baditu, ordea, eragozpen batzuk horrelako aplikazioetan, hala nola: noranzko bakarrean igaro daiteke korronte; fototransistorearen  $I_C$  eta  $V_{CE}$  mugatuak, edo fototransistorearen ihes-korronte mozte-egoeran. Eragozpen horiek gainditzeko, irteeran fototransistore soil bat jarri beharrean, zamen konmutaziorako aproposagoak diren zirkuituak integratzen dira: MOSFET bikoteak, tiristoreak edo IGBTak. Txip integratu horiei optikoki akoplatutako egoera solidoko erreleak edo SSRak (*Solid State Relay*) deritze (badira magnetikoki akoplaturikoak ere).



**4.29 Irudia:** SSR integratu bat DIP kapsulan (a), eta dagokion zirkuituaren eskema (b). *Information courtesy of Vishay Intertechnology, Inc.*

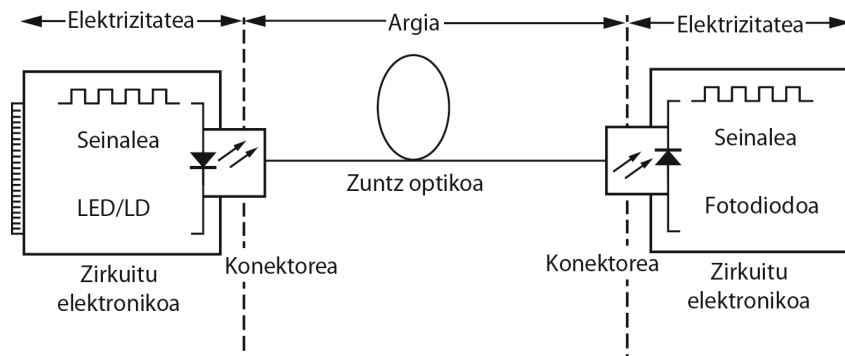
Zer da, beraz, komenigarria, errele mekanikoak erabiltzea ala optoisolatzaile/SSRak? Optoisolatzaileak (eta SSRak) badituzte errele mekanikoekin konparatuta abantaila asko, baina desabantailak ere badira. 4.4 Taulan, teknologia bakoitzaren ezaugarri nagusienak laburbilduta daude. Abantailak eta eragozpenak kontuan izanik, aplikazio mota eta bestelako baldintzen arabera (ekonomikoak, bateragarritasun teknologikoa eta abarrek) egingo dugu aukeraketa.

Gailua	Abantailak	Desabantailak
Optoisolatzailea/SSR	<ul style="list-style-type: none"> <li>Merkea</li> <li>Fidagarritasun handia</li> <li>Banda-zabalera, 0-MHz</li> <li>Isolamendu-tentsio handia</li> <li>Isolamendu -erresistentzia handia</li> <li>Isolatze-kapazitate txikia</li> <li>Txikia</li> <li>Bibrazioak jasan ditzake</li> <li>Potentzia txikia</li> <li>Ez du kontaktu-errebiterik</li> <li>Ez du EMIrik sortzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kondukzio-erresistentzia ez-nulua</li> <li>Mozte-erresistentzia ez-infinitua</li> <li>Kondukzio-korronte mugatua</li> <li>Alderantzizko <math>V_{CE}</math> tentsio mugatua</li> <li>Potentzia konmutagarri txikia</li> <li>Korronte-transmisio baxua</li> </ul>
Errelea	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentzia konmutagarri handia</li> <li>Kondukzio-erresistentzia txikia</li> <li>DC transmisioa</li> <li>Isolamendu-tentsio handia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Garestiak</li> <li>Potentzia asko xahutzen dute</li> <li>Fidagarritasun txikia</li> <li>Operazio-abiadura txikia</li> <li>Tamaina handia</li> </ul>
Pultsu-transformadorea	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transmisio-abiadura handia</li> <li>Tamaina ertaina</li> <li>Transmisio-efizientzia handia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ezin daiteke maiztasun txikiekin erabili</li> <li>Garestiak isolatze-tentsio edo erresistentzia altuak behar direnean</li> </ul>

**4.4 Taula:** Zer erabili? Errelea ala SSRa? Erabakia aplikazio mota eta bestelako baldintzen arabera izango da.

## 4.5 Komunikazio optikoak eta zuntz optikoak

Oraingoz, kalkulu optikoa eremu ia guztiz esperimentalean soilik erabiltzen bada ere, gaur egun, gero eta ohikoagoa da seinalea optikoki transmititzea. Transmisio optikoak hainbat abantaila ditu seinale elektrikoaren transmisioaren aldean, baina, oraingoz, komunikazio optikoko sistemetan, seinalearen igorpena, harrera eta prozesatzea zirkuitu elektroniko bidez egiten da. Komunikazio optikoko sistemetan, zuntz optikoa da oinarritzko elementua, komunikazio elektriko sistemetan kobrezko haria den bezala (4.30 irudia). Zirkuitu elektroniko igorleak seinalea modulatu eta, igorle optiko baten bidez (LED edo LD), seinalea zuntz optikoaren sarreran akoplatzen du. Seinalea (argi modulatu) zuntz optikoan zehar transmititzen da, bere helmugara heldu arte, non zirkuitu elektroniko hartzaileko argi-detektagailu batek (fotodiodoa edo fototransistorea) seinale optikoa seinale elektriko bihurtzen baitu berriz. Milimetro gutxi batzuk dituen diametroko zuntz optikoan zehar, ehunka kobrezko hariz osatutako kable mordoak transmiti dezakeena baino informazio gehiago transmiti daiteke. Gainera, seinalearen galerak askoz ere txikiagoak dira, eta, hala, beharrezkoa da seinale-errepikatzaile gutxiago jartzea. Azkenik, argiaren bidez transmititutako seinalearekin ez dago interferentzia- eta zarata-arazorik.



**4.30 Irudia:** Komunikazio optikoetarako oinarritzko eskema. Oraingoz seinalearen prozesamendua, bai igorlean eta bai hartzailean zirkuitu elektronikoekin egin behar dugu; seinalearen transmisioa ordea, optikoki egin daiteke zuntz optikoa erabilita.

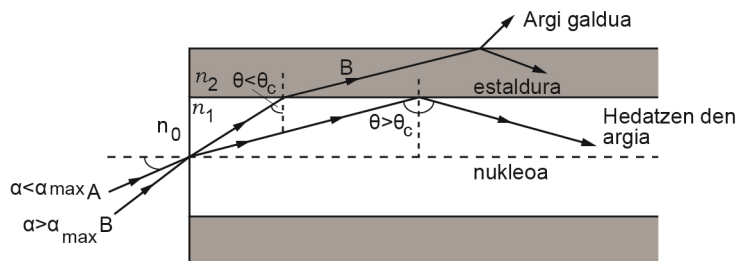
### 4.5.1 Zuntz optikoaren egitura

Zuntz optikoa beira-zuntzez fabrikatutako hari fina da (gaur egun, material plastikozkoak ere oraindik fabrikatzen dira). Baina nola lor dezakegu argia diametroan milimetro hamarren gutxi batzuk dituen zuntzaren zehar bidaiatzea, seinalea galdu gabe eta zuntza okertu arren? Gakoa zuntz optikoaren egituran datza. Argiak zuntz optikoaren barnealdean zehar bidaiatu dezan, argiaren *erabateko barne-islapen optikoa* gertatu behar da. Barne-islapena erabatekoa izan dadin, zuntz optikoak bi eremu desberdin ditu: gunea,  $n_1$  errefrakzio-indize handikoa, eta estaldura,  $n_2 < n_1$  errefrakzio-indize txikiagoa (4.31 irudia). Horrela, argia zuntzean akoplatzerakoan, gunearen eta estalduraren arteko interfazean islatzen da etengabe, islatze- eta errefrakzio-legeei jarraituz.



**4.31 Irudia:** Zuntz optikoaren egitura sinplifikatua. Barnealdean, zuntzaren errefrakzio indizea kanpoaldean baino handiagoa da.

Baina, zuntzaren barnean barne-islapen osoa gertatzeko, argia ezin da edonola akoplatu sarreran. Sarreran, argia akoplatzeko eraso-angulu maximoa dago ( $\alpha_{max}$ ). Angulu maximoa gaindituz gero, argiaren zuntz-barneko islapen osoko angulu minimoa ( $\theta_c$ ) ez genuke lortuko, eta argia errefraktatu eta zuntzetik ihes egingo luke (4.32 irudia).



**4.32 Irudia:** Argia barne-islapen osoz hedatuko da baldin eta sarrerako eraso-angulu maximoa gainditzen ez bada. Bestela, argi galerak gertatzen dira..

Zuntzaren errefrakzio-indizeak ezagunak izanik, eta airearen errefrakzio-indizea  $n_0$  bada, erraza da eraso-angulu maximoaren balioa kalkulatzeko:

$$\frac{\sin \alpha_{\max}}{\sin(90^\circ - \theta_c)} = \frac{n_1}{n_0}; \quad \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}; \quad \sin \alpha_{\max} = \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_0} \quad (4.14)$$

## 4.5.2 Ezaugarri tekniko nagusiak

### ***Irekiera numerikoa: NA***

NA (*Numerical Aperture*) edo irekiera numerikoa, zuntz optikoen ezaugarri teknikorik aipatuena da. Zuntzak argia harrapatzeko duen gaitasuna adierazteko erabiltzen da, eta zuntzaren errefrakzio-indizeen arteko erlazioak definitzen du. (4.14) ekuazioa erabilita:

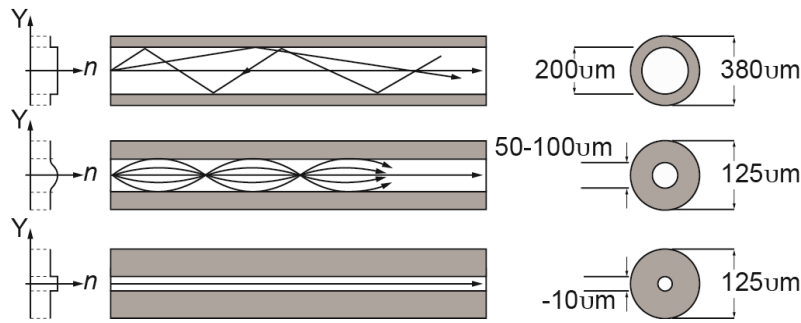
$$\sin \alpha_{\max} = \frac{NA}{n_0} \rightarrow NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (4.15)$$

### ***Errefrakzio-indizearen perfilak***

4.31 Irudiko zuntz optikoak errefrakzio-indize konstanteak ditu bai gunean eta bai estalduran. Horrelako perfilei *perfil mailakatuak* deritze. Badira, ordea, bestelako perfilak dituzten zuntz optikoak, zeinetan errefrakzio-indizearen aldakuntza ez baita bortitza, graduala baizik. Horrelako perfilei *perfil gradualak* deritze, eta aldakuntza-lege parabolikoak betetzen dituzte eskuarki (ikus 4.33 Irudia).

### ***Hedapen Moduak eta maiztasun normalizatua: V***

Zuntz optikoaren *moduak* esplikatzeke, erabiltzen ari garen eredu geometrikoa baino, argiaren uhin-eredua erabiltzea komeniko litzateke, baina analisi hori testuliburu honen helburuetatik at dago. Esan dezagun, uler dadin, argia zuntz optikoan zehar  $\theta$  hedapen-angulu desberdinekin heda daitekeela, eta hedapen-angulu bakoitzari hedapen *modua* deritzogu. Horrela, badira *modu anitzeko zuntzak* eta *modu bakarreko zuntzak*. Modu anitzekoek —diametro handiagokoak dira— informazio gehiago transmititzeko gaitasuna dute.



**4.33 Irudia:** Hiru zuntz optiko mota: modu anitzekoa perfil mailakatuarekin (goian), modu anitzeko perfil gradualarekin (erdian) eta, meheena, modu bakarrekoa (behean).

Badago sarritan erabiltzen den parametro bat, zuntzaren *maiztasun normalizatua* edo *zuntz-parametroa* ( $V$ ) deritzona, eta zuntzaren propietateak nolabait laburbiltzen dituena. Parametro horren bidez, gainera, erraz kalkulatu da zuntzak izango dituen modu kopurua erabilitako argiaren uhin-luzerarako:

$$V = \frac{\pi d}{\lambda} NA \quad (4.16)$$

non  $d$  zuntzaren guneren diametroa baita.  $V \leq 2,405$  bada, zuntzak modu bakarra du emandako uhin-luzerarako. Modu anitzeko zuntzetan, modu kopurua ( $N$ ) honela kalkula daiteke:

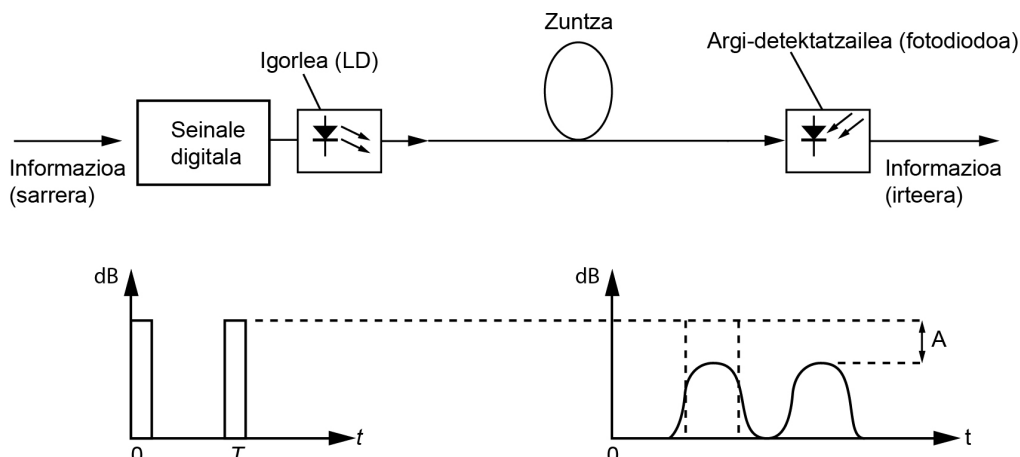
$$\begin{aligned} N &= \frac{V^2}{2} && \text{perfil mailakatuak} \\ N &= \frac{V^2}{4} && \text{perfil gradualak} \end{aligned} \quad (4.17)$$

### **Indargabetzea: $A$**

Zuntz optikoaren sarreran akoplatutako argi-pultsuak ahulagoak dira zuntz-optikoaren irteeran. Indargabetze hori beirak, edo hobeto esanda, beiran dauden ezpurutasunek argia absorbatu eta barreiatu egiten dutelako gertatzen da. Irteerako eta zuntzari akoplatutako argiaren potentzien arteko erlazioari zuntzaren *indargabetze-indizea* deritzo ( $A$ ), eta dB/Km-tan adierazten da. Beirazko zuntzen indargabetze-indizeak erabilitako uhin-luzeraren mendekoak dira, eta badira uhin-luzera batzuk zeinentzako indargabetzea txikiagoa baita:  $A=f(\lambda)$ -ren minimoak; zuntz optikoaren "leihoak" deritze. Ohiko zuntzetarako, indargabetze-leihoak argi infragorriarako gertatzen dira, eta, horregatik, argi infragorria igortzen duten LEDak erabiltzen dira gehien komunikazio optikoetan.

### **Dispertsioa: $\sigma$**

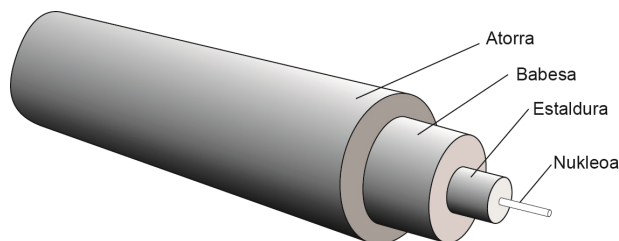
Argiak, zuntz optikoan zehar hedatzen denean, ez du potentziaren indargabetzea soilik jasaten; baizik eta argi-pultsuen dispertsioa ere gertatzen da; hau da, denboran zabaldu edo "luzatu" egiten dira argi-pultsuak. *Dispertsioa* denbora-parametroa da, beraz, eta ns/Km-tan adierazten da. Dispertsioak informazioaren transmisio-abiadura mugatzen du; izan ere, argi-pultsuak, hasieran, estuak dira, eta, denborarekin zabalduz doazenez, aurrekoa hurrengoarekin nahasten dira azkenean. Pultsuen dispertsioa materialen errefrakzio-indizeak ( $n$ ) uhin-luzera guztietarako berdinak ez direlako gertatzen da. Horren ondorioz, argi-pultsuen espektroko uhin-luzera batzuk besteak baino azkarrago hedatzen dira, eta pultsuaren zabaltzea gertatzen da. Dispertsioaren arazoa ekiditeko, laser diodoak erabiltzen dira, uhin-luzera bakarrekoko argia igortzeko gaitasuna dutelako (errealitatean, laser-diodoen argia ez da guztiz monokromatikoa, ordea).



**4.34 Irudia:** Argia, zuntz optikoan zehar hedatzem denean, bi efektu negatibo pairatzen ditu: alde batetik bere indar optikoaren indargetzea (pultsuen amplitudearen txikitzea), eta bestetik pultsuen dispersioa denboran (pultsuen zabaltzea).

### 4.5.3 Materialak eta teknologia

Zuntz optikoak silizio-oxidozko (silizea) beirazko zuntzez fabrikatzen dira. Beirazko zuntzaren errefrakzio indizeak aukeratzeko, beirari ezpurutasunak gaineratzen zaizkio. Errefrakzio-indizea handitzeko, ohikoena silizeari germanio-oxidoa gaineratzea da (%4-%10) eta txikitzeko, boro-oxidoa ( $B_2O_3$ ). Badira, ordea, dopatzaile gisa erabil daitezkeen beste material asko, hala nola  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$  eta  $Al_2O_3$ . Silizea eta dopatzaileak labean urtzen dira, eta, motelki atereaz, hoztuz doa, eta hari fin eta luzea osatzen du. Haria polimerozko estalki batez babesten da.



**4.35 Irudia:** Zuntz optikoaren egitura.

Berrogeita hamarreko hamarkadan egin zen zuntz optikoaren gaineko lehenengo ikerkuntza plastikozko zuntzekin egin zen. Ondoren, silizezko zuntzak nagusitu badira ere, oraindik erabiltzen dira material plastikoak aplikazio jakin batzuetarako: konexio laburrak, medikuntza-tresnak, instrumentazio industrialak eta hi-fi tresnak, adibidez. Akoplatzeko erraztasuna eta kostuen txikitzea da abantailarik nagusiena. Gaur egun, ordea, plastikozko zuntz optikoekin lotutako ikerkuntza berriz suspertu da.



# 5 Teknologia mikroelektronikoaren hastapenak

Mikroelektronika elektronikaren atal bat da, osagai oso txikiz, mikroimetroaren azpiko tamainako osagaiz osatutako kontsumo txikiko zirkuituak ikertzen dituen; sarritan, zirkuitu integratuen teknologiaren sinonimo gisa erabiltzen da. Mikroelektronikak izugarritzko garrantzi teknologiko eta ekonomikoa lortu zuen, XX. mendeko azkenengo hamarkadetan, eta, teknologia horri esker gertatu da gaur egun bizi dugun informazioen eta komunikazioen iraultza. Kapitulu honetan, teknologia mikroelektronikozko gailuak egiteko prozesurik garrantzitsuenak aztertzen dira, milimetro edo zentimetro gutxi batzuk neurtzen duten txipetan milloika trantsistore integratzeko erabiltzen direnak.

## 5.1 Historia pixka bat

Konputazioa, telekomunikazioak, automozioa, industria aeroespaziala eta kontsumo-elektronika teknologia elektronikoaren bitartez sortzen diren gailuetan oinarrituta daude. Zirkuitu integratuak (ZI edo IC, *Integrated Circuits*) dira, hau da, kapsulatu bakar batean hainbat gailu elektroniko dituzten zirkuituak, teknologia elektroniko modernoaren oinarri. Hainbat gailu txip bakar batean sartu behar badira, gailu horiek zenbat eta txikiagoak izan, orduan eta hobeto, tokia aurreztu egiten delako, xahututako energia txikitu eta tresna elektroniko txikiagoak egin daitezkeelako tresna handien funtzionamendu berarekin. Gailu elektronikoak oso tamaina txikiak direnean, horiek gauzatzeko teknologiarik teknologia mikroelektronikoa deritza.

Nahiz eta gailu elektronikoak egoera solidozko material erdieroalez egiten hasi zirenetik zientzialariek teknologia elektroniko mikroteknologiarantz eboluzionatu behar zuela antzeman, 1970. urtera arte itxaron behar izan zen, zientziak eta teknikak horren osagai txikiak egiteko aukera eman zuten arte. Teknologia mikroelektronikoaren zirkuitu integratuak material erdieroalez eginak dira. Material erdieroale horiek bakunak (germanioa eta silizioa, besteak beste) zein konposatuak (galio artseniuroa, adibidez) izan daitezke. Material erdieroaleek, atomoen azkeneko geruzean lau elektroi izateaz gainera, kristal-egitura dute. Giro-tenperaturan elektroi batzuk kristal-saretik askatzen direnean, kristal-sare horretatik aske mugitzeko gai izango dira (eta, horrenbestez, korrante elektrikoa eragin). Material erdieroaleek honako hau dute interesgarri: Gizakiak nahierara kontrola ditzakeela korrante elektrikoa eragitea ala ez.

Transistorea da teknologia mikroelektronikarako funtsezko osagaia. Haren *ON* eta *OFF* egoeren arabera, korrante elektrikoa alde batetik bestera iragatea baimendu edo oztopa dezake (hots, nahierara kontrolatu korrante elektrikoa eragin ala ez). Lehenengo transistorea, 1947an sortu zuten Bardeenek eta Brattainek. Lehenengo transistore hori mikroelektronikaren tamainetatik (mikroimetroetatik) urrun bazegoen ere, mikroelektronikarako abiapuntua izan zen. Germanioz eginda zegoen transistore hura, baina, denborak aurrera egin ahala, eta 1960tik aurrera batez ere, silizioak lortu du esparru horretan nagusitasuna.



**5.1 Irudia:** Bardeenek eta Brattainek egindako lehen transistore bipolarra. Puntazko transistorea zen: erdiko germanio-kristalezko zati triangeluarrak metalezko kontaktu bi presionatzen ditu.

Silizioa ez da naturan aurkitu daitekeen erdieroalerik hobereena: Aireak eta silizioak elkar ukitzean, silizioa oxidatu egiten da (eta ezaugarri erdieroaleak galdu); tenperatura altuetan hasten da elektroiak askatzen (banda debekatu handiagoa du germanioak baino), baina, munduan dagoen bigarren elementurik ugariena denez, merke lortzen da, eta asko dago (lurrazalaren % 28 silizio baita).

Galio artseniuroaren mugikortasuna —silizioarenarekin konparatuta— oso handia da; hau da, baldintza kaskarretan ere, korrontea eroateko gai da, baina galio artseniurozko gailuak fabrikatzea garestia da, eta, horregatik, doitasun handiko edo maiztasun handietan erabiltzeko tresnetarako soilik erabilzen da. Galio artseniuroak, gainera, teknologia konplexua behar du gailuak gauzatzeko, eta horrek integrazeko zailtasunak dakartza. Egun, sateliteak orbitan mantentzeko egiten diren eguzki-zeluletan erabiltzen da.

1947. urtetik aurrera, eta zientziaren aurrerakuntzei esker, osagaien tamainak txikituz joan dira, gaur egun arte; izan ere, *Gordon Moore* 1965ean aditzera eman zuenez, “zirkuitu integratu batean sar daitekeen transistore kopurua hemezortzi hilean behin bikoiztu egiten da gutxi gorabehera”. Joera horri “Mooren legea” deritzo, eta berrogeita hamar urtez mantendu da, eta ez da espero 2015era arte gelditzea!

Ondoko 5.1 taulan, erdieroaleekin sortutako tresnen bilakaera agertzen da, sortu zituztenen ikertzaileen izenekin batera.

Sorkuntza-urtea	Tresna erdieroalea	Ikertzailea
1874	Metal-erdieroale kontaktua	<i>Braun</i>
1907	Elektrolumineszentzia	<i>Round</i>
1947	Transistore bipolarra, BJTa	<i>Bardeen &amp; Brattain; Shockley</i>
1949	p-n juntura	<i>Shockley</i>
1952	Tiristorea (potentzia-transistorea)	<i>Ebers</i>
1954	Eguzki-zelula	<i>Chapin, Fuller &amp; Pearson</i>
1958	Tunel diodoa	<i>Esaki</i>
1960	MOSFETa	<i>Kahng &amp; Atalla</i>
1963	Laser-diodoa	<i>Hall et al.</i>
1963	Gunn diodoa	<i>Gunn</i>
1966	MESFETa	<i>Mead</i>
1967	Erdieroalezko memoria ez-lurrunkorak	<i>Kahng &amp; Sze</i>
1970	CCD dispositiboak	<i>Boyle &amp; Smith</i>

5.1 taula. Tresna erdieroaleen bilakaera.

Hortik aurrera, MODFETa (*Modulation-Doped Field Effect Transistor*), HEMTa (*High Electron Mobility Transistor*) eta bestelako gailuak sortuz joan dira.

Osagaien integrazioari dagokionez, honako hauek dira historian eman diren urratsik esanguratsuenak:

- 1958an: Germanioz egindako *flip-flop*aren patentea, Texas Instruments etxearena. Lehenengo zirkuitu monolitikoa (txip berean integratutako hainbat osagai) izan zen eta sei osagaiz osatuta zegoen.
- 1959an: Teknologia lauko siliziozko zirkuitu integratuaren patentea, Fairchild etxearena.
- 1971ean: Intel etxeak lau biteko CPUa txip bakar batean integratu zuen, 3 mm x 4 mm-ko tamaina zuen eta 2300 MOSFETa (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) integraturik zeuzkana.

Teknologia mikroelettronikoaren joera gero eta integrazio maila handiagoa lortzea da, azalera unitateko gero eta osagai gehiago (eta txikiagoak) integratuz. Gaur egun (2011. urtea), 22 nanometroko CMOS teknologia dagoeneko eskura dugu maila industrialean, hau da, 22 nanometroko ezaugarriak (adibidez. MOSFETaren kanalaren luzeera) dituzten zirkuitu-patroiak fabrika daitezke. Hurrengo urratsa 16 nanometroko teknologia lortzea da, baina erronka teknologikoa gero eta handiago da, materiaren eta argiaren muga fisikoetara heltzen ari baikara.

## 5.2 Areto garbia

Areto garbia da ingurunearen garbitasuna kontrolpean duen aretoa. Areto garbiak zirkuitu integratuak fabrikatzeko kaltegarri izan daitezkeen partikulak, kutsadura organikoa (bakterioak), ezpurutasun metalikoak, berezko oxidoak eta deskarga elektrostatikoak

kontrolpean ditu. Ingurumen garbia lortzeko garrantzi handia du gailu mikroelektronikoak ekoizterakoan; izan ere, hain tamaina txikiak maneiatuta, hauts-partikula batek galera handiak ekar ditzake.

Areto garbi bat lortzeko, aretoko geletan, aire-garbiaren fluxua kontrolatu egiten da, batez ere garbien egon behar duen gelan presiorik handiena ezarrita. Presio hori txikituz doa gelaz gela, garbitasuna horren faktore kritikoa ez den geletara heldu arte. Presio-jaitsiera horrek laguntzen du nahi ez diren partikulak toki garbientatik garbitasuna horren kritikoa ez den tokietara eramaten.

Areto garbiak airearen garbitasunaren arabera sailkatuta daude. 5.2 taulan areto garbien sailkapena agertzen da, ISO 14644-1 arauak sailkatu bezala, metro kubiko bakoitzeko areto garbiek izan ditzaketan ezpurutasun-partikula maximoen arabera:

Maila	Partikula kopuru maximoa /m <sup>3</sup>					
	≥ 0,1 μm	≥ 0,2 μm	≥ 0,3 μm	≥ 0,5 μm	≥ 1 μm	≥ 5 μm
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1000	237	102	35	8	
ISO 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7				352000	83200	2930
ISO 8				3520000	832000	29300
ISO 9				35200000	8320000	293000

5.2 Taula. Areto garbien sailkapena, ISO 14644-1 arauaren arabera.

## 5.3 Fabrikazio-urratsak

Edozein dispositibo mikroelektroniko ekoizteko prozesuan, urrats hauek egin beharko dira ezinbestez:

1. Substratua sortzea.
2. Oxidazioa.
3. Fotolitografia eta erauzketa.
4. Dopaketa.
5. Geruza meheak ezartzea.

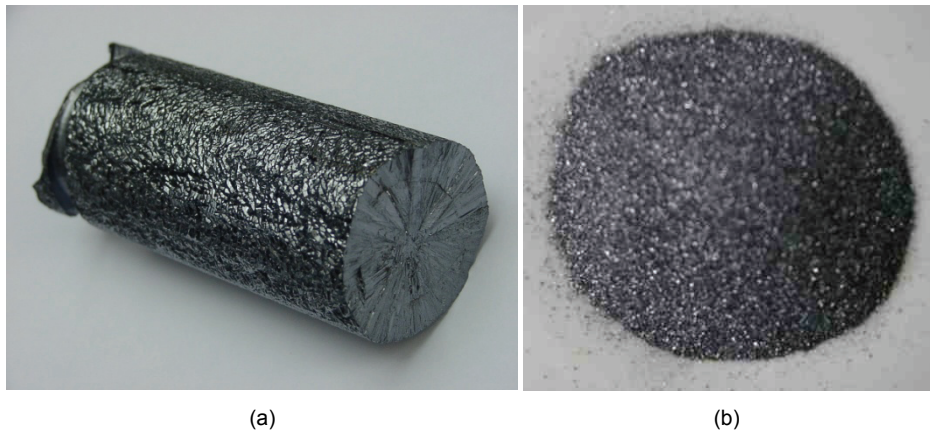
Gailu mikroelektronikoak ekoizti eta gero, egiaztatu eta paketatuko dira, merkaturatu baino lehen. Aurreko ekoizpeneko bost urrats horiek eta gailu mikroelektronikoak gauzatu ostean egiten diren test-probez arituko da teknologia mikroelektronikoaren hastapenak gaia hemendik aurrera.

### 5.3.1 Substratua sortzea

Gailu mikroelektronikoak sortzeko erabiltzen diren oinarrizko materialak silizioa (Si) eta galio artseniuroa (AsGa) dira. Silizioa, alde batetik, munduan dagoen bigarren elementurik ugariena delako —lehenengoa oxigenoa da—, eta galio artseniuroa, bestetik, silizioak baino ezaugarri elektriko hobekak dituelako. Material horiek, alabaina, dispositibo elektronikoak egiteko erabilgarriak izan daitezzen, lehenik eta behin, naturatik hartu eta prestatu egin behar dira. Silizioaren kasua aintzat hartuta, lurrazaletik hartutako silizioa araztu egin behar da prestaketa-prozesu horretan.

Silizioa da hemen deskribatuko diren prozesuetako oinarria, galio artseniuroa baino erabiliagoa da-eta. Silizioa zenbat arazten den, lortutako produktuak izen bat edo beste jasoko du, eta aplikazio baterako edo besterako erabiliko da:

- **Metalurgia mailako silizioa:** Kuartzita abiapuntu hartuta (% 90 silizio dioxidoa du Kuartzidak), lortzen den silizioaren purutasuna % 98-99 da. Mikroelektronikarako ez da nahikoa.
- **Teknologia mailako silizioa:** Metalurgia mailako siliziotik abiatuta, silizio horren arazketaren azkeneko etapan, Siemens erreaktore batetik iraganarazten da. Azken pauso horrek ekoizpena garestitzen du energetikoki, eta, ekonomikoki, prezioak igoarazten ditu. Mikroelektronikako gailuak sortzeko erabiltzen den silizioa da.
- **Polisilizioa:** Purutasun handiko silizio-garauak dira.
- **Eguzki mailako silizioa:** Teknologia mailako silizioak baino bost aldiz ezpurutasun gehiago ditu. Mikroteknologian, gailuak egiteko nahikoa ez da, baina beste aplikazio batzuetarako balio du (eguzki-zelulak ekoizteko, adibidez). Teknologia mailako silizioa baino merkeagoa da.



5.1 Irudia: 300 gramoko teknologia mailako silizio polikristalinoa (a) eta polisilizio-garauak (b). Creative Commons (Warut Roonguthai and Silane).

Purutasun-maila jakineko silizioa sortu eta gero, haren morfologiari begiratu behar zaio; izan ere, gailu mikroelektronikoak gauzatzeko, hasierako substratuak kristal-eitea izan behar du, hau da, substratuaren atomo guztiek kristal-antolakuntza bera izan behar dute. Prestaketa-prozesu horri substratua sortzea deritzo. Substratua sortzeko teknikarik erabilienak honako bi hauek dira:

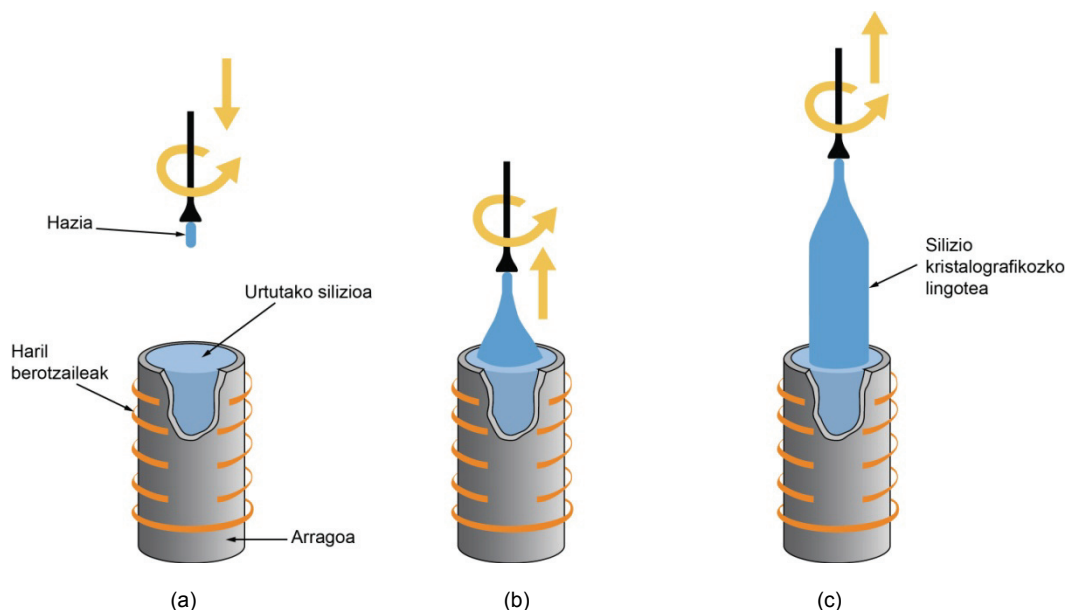
1. Czochralski teknika.
2. Eremu flotatzailearen teknika.

### 5.3.1.1 Czochralski teknika

Czochralski teknikaren hiru pausoak 5.2 irudian ikusten dira. Lehenik eta behin, arrago batean, 1400 °C inguruan mantentzen dira, polisilizio-garauak urtuta. Etengabe biraka dabilen ardatz batek egitura monokristalezko hazi solido hotz bati eusten dio (5.2.a irudia). Ardatz hori arragoan sartu, eta haren hazi hotz-solidoak eta urtutako polisilizioak elkar ukitzen dutenean, urtutako polisilizioa solidifikatuz doa haziaren inguruan, tenperatura-gradiente dela-eta (5.2.b irudia). Gero, ardatz birakaria poliki-poliki ateratzen da arragotik, gorantz mugituta. Goranzko mugimendua behar bezain motela bada, urtutako polisiliziozko atomoek badu tekristal-haziaren arabera antolatze denbora; hortaz, kristal-haziaren egitura berarekin solidifikatu egingo dira (5.2.c irudia). Horrela, sortutako lingote monokristal egituratua haziaren luzapentzat har daiteke.

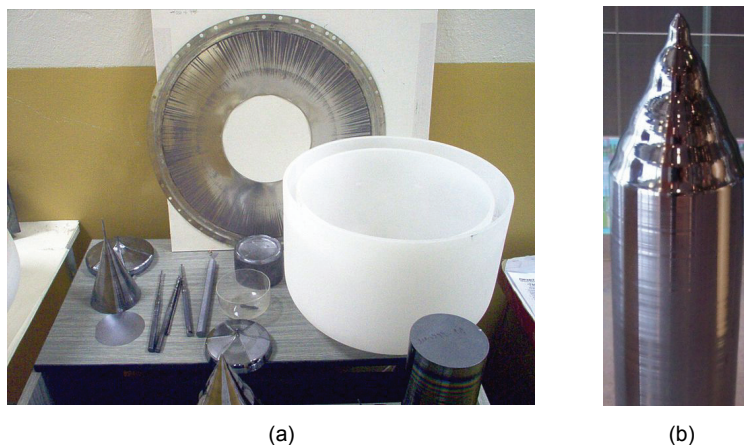
Fusio-kristalizazioaren prozesu horretan, materialaren purutasuna handitu egiten da, ezpurutasunek material likidoan gelditzeko joera dutelako. Czochralski prozesuarekin hasi baino lehen, urtutako silizioari boro edo fosforo kantitate txiki eta kontrolatuak gehitu ohi zaizkio, silizioa kontrolpean ezpurutzeko, hau da, bide batez  $p$  motako edo  $n$  motako silizioa sortzeko (ikus dopaketa, 5.7 puntua).

Czochralski teknikaren prozesuak 20 bat ordu iraun dezake. Silizio monokristal gogortuari eusten dion ardatza 0,1 - 0,2 cm/min-ko abiadura irago egiten da. Prozesu hori bukatzean lortzen den silizio kristalografikozko lingoteak 15 cm-ko diametroa du, 1 m-ko luzera eta 40 kg-ko pisua.



**5.2 irudia.** Czochralski teknika. (a) Urtutako polisiliziozko garauak, arragoan sartuta, eta ardatz birakaria, behealdean hazi monokristala duela. (b) Urtutako polisilizioa hazi ukitzuz hoztu eta solidifikatzen da, eta, horren ondorioz, haziaren egitura monokristalino bera hartzen du. (c) Silizio monokristalinozko lingotea.

Prozesu horretarako erabiltzen den arragoa silizio dioxidoz ( $\text{SiO}_2$ ) eginda dago, tamalez, eta, hortaz, arragoa bera ezpurutasun-iturria da, oxigeno ( $\text{O}_2$ ) eta karbono (C) atomoak sartzen dituelako lingotean, eta, hala, arragoak lingotearen kalitatea eskasten du.

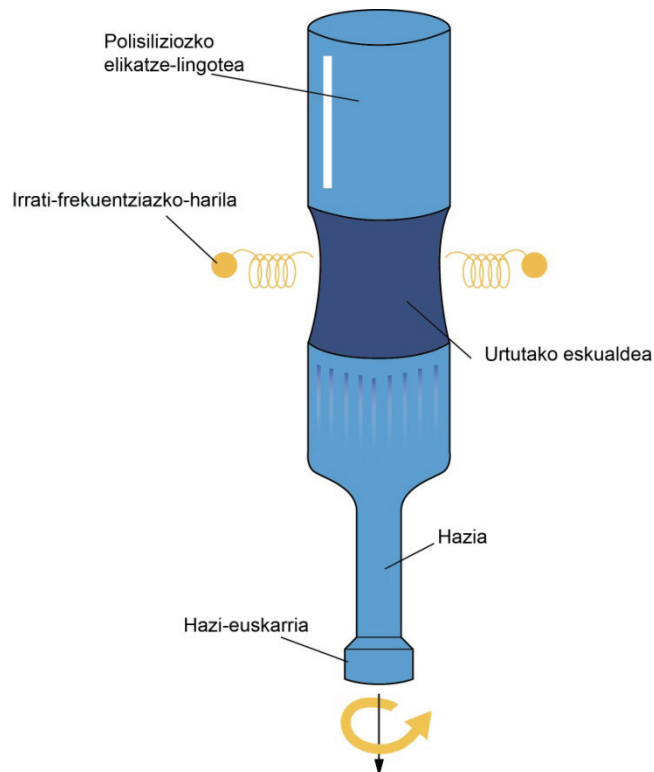


**5.3 irudia:** Czochralski teknikarako tresna eta produktuak (a), eta lortutako siliziozko lingotea (b). *Creative Commons (Auth. Stahlkocher).*

### 5.3.1.2 Eremu flotatzailearen teknika

Eremu flotatzailearen —edo FZ (*Float Zone*)— teknikan, polisiliziozko totxo bat lokalki urtzen da, irradi-frekuentziatzko haril baten bitartez. Irradi-frekuentziatzko harilak polisiliziozko totxo lokalki berotu eta urtuko du. Urtutako aldea gainazal-tentsioari esker dago eutsita; beraz, ez du inolaz ere beste materiala ukitzen (Czochralskin ez bezala, ez dago arragorik), eta, hortaz, ezpurutasun-iturririk ez da sortuko. Totxoaren behealdean, egitura monokristalinozko hazi hotz solidoa dago. Irradi-frekuentziatzko harila zenbait aldiz arituko da totxoan zehar, gora eta behera,

eta ezpurutasunak bazterretara eramango ditu. Bitartean, silizio urtua totxoaren behealdean kokatuz joango da. Urtutako polisilizioak eta hazi hotzak elkar ukitzean, temperatura-gradienteak dela-eta berriz ere solidotuko da, eta haziaren kristal-egitura berarekin antolatu.



5.4 Irudia. Eremu flotatzailearen teknika.

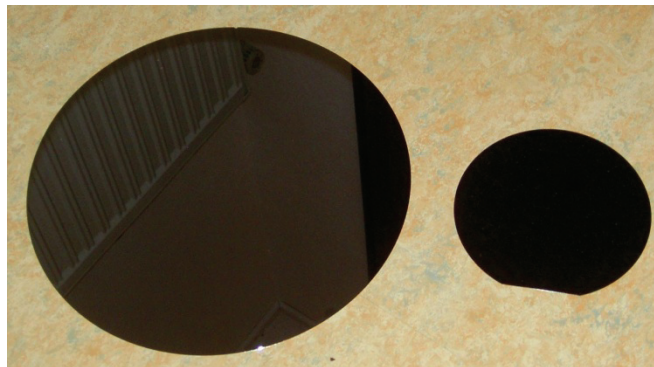
Lingote berrantolatuaren hazkunde-abiadura 0,3–0,5 cm/min da. Prozesu hori bukatzean lortzen den silizio kristalografikozko lingoteak 12,5 cm-ko diametroa eta 100 cm-ko luzera du. Eremu flotatzailearen teknikaren bitartez lortzen den silizio monokristalinozko lingotea Czochralski teknikaren bitartez lortzen dena baino kalitate handiagokoa da, baina eremu flotatzaile metodoa garestia da oso.

Aztertutako bi prozesu horietaz gainera, beste batzuk ere badira, besteak beste, galio artseniuroarentzako *Bridgman* haziera.

### 5.3.1.3 Esmerilatua, ebaketa eta leunketa

Bai Czochralski teknikaren bitartez, bai eremu flotatzailearen teknikaren bitartez, morfologikoki siliziozko kristal-antolamendudunak lortzen dira lingote osoan, non siliziozko atomo guztiak berdin antolatuta baitaude. Siliziozko lingotea moztu baino lehen, hala ere, totxoari silueta leundu behar zaio eta gainazala esmerilatu, lingote horrek zilindro forma homoginoa izan dezan. Gero, zilindro horri leunketa bat edo batzuk (ingelesezko *flat*) egiten zaizkio, olataren egitura kristalinoaren planoen orientazioa jakinarazteko (eskuarki {110} aurpegia). Forma homoginoa lortu ondoren, diamantezko zerra erabilia xaflatan mozten da lingotea. Xafla horiei olata —ingelesez *wafers*— deritze, eta dispositibo mikroelektronikoak han bertan sortzeko euskarri gisa erabiliko dira.

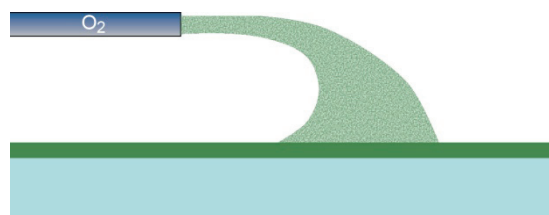
Olata mehe horiek 250 mikroimetroko lodierarekin mozteko, honako tresna hau da erabili izan da orain arte: zerra bat, zeinean hariak diamante hautsez bustita baitaude. Olatak moztu eta gero, eraso kimiko batetik pasaratzen dira, olaten gainazalean zerrak eragindako kalteak konpontzeko. Isuri kimiko horiek sodio hidroxidoa (NaOH, sosa), potasio hidroxidoa (KOH, potasa) edo aluminazko eta glizerinazko nahasketa izan dezakete, besteak beste.



**5.5 irudia:** Mikroteknologian erabiltzen diren olatak, substratuak, euskarriak edo waferrak esmerilatua, ebaketa eta leunketa prozesuen ostean. Ezkerrean 12"-ko olata eta eskuman 6"-ko olata, non totxoari egindako leunketa (*flat*) nabaritu bi daiteke.

### 5.3.2 Oxidazioa

Oxidazio-prozesua, mikroteknologian, silizio dioxidozko ( $\text{SiO}_2$ ) geruzak sortzeko erabiltzen den prozesua da. Silizioa oxigenoarekin konbinatzean datza prozesu hori; hau da, oxigenozko atomoek silizioarekin erreakzionatzean sortzen den geruza mehea sortzean datza oxidazioa.



**5.6 irudia.** Oxigenoa siliziozko substratuarekin erreakzionatzean, silizio dioxidozko geruza mehea hazten da, substratuaren gainazalaren gainean. Siliziozko substratua, marroiz, eta sortutako  $\text{SiO}_2$  geruza, berdez.

Silizioaren oxidazioa —edo oxidazio termikoa— geruza elektrikoki isolatzaileak sortzeko prozesua da; izan ere, nahiz eta silizioa erdieroalea izan,  $\text{SiO}_2$  elektrikoki isolatzailea da. Geruza isolatzaileak oso erabilgarriak dira gailu mikroelettronikoak egiterakoan. Hiru dira oxido geruzen erabilera nagusiak zirkuitu integratuen ekoizpenean:

- MOS ateetako oxidoa sortzea.
- Eremu ezberdinen arteko isolamendu elektrikoa lortu (eremu-oxidoa).
- Difusio-prozesuetan erabiltzeko maskaratze-oxido gisa (ikus 5.16 irudia 5.3.5.4 atalean).

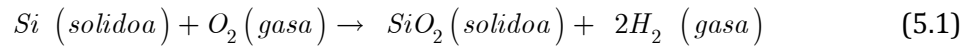
Oxidazio-prozesuak sortzeko erreaktorea behar da. Erreaktorea erresistentzia bidez berotutako labea da. Labe horietan, 900-1200 °C inguruko temperatura egonkorretara sartuko dira olatak. Olatak hain temperatura garaietan dauden labeetan sartzeko, kuartzozko erretilu batean jarriko dira, lehenik eta behin, eta kuartzozko hagatxo luze batek erretilua poliki-poliki bultzatuta sartuko dira labean. Olatak oso abiadura txikian sartu behar dira labean, labe kanpoko eta labe barruko temperatura-alde handia poliki-poliki jasan dezaten eta hautsi ez daitezten. Olatak labe barruan daudenean, oxigenoa ( $\text{O}_2$ ) edo ur-lurrun garbia ( $\text{H}_2\text{O}^+$ ) sartzen da labera, horretarako berariaz dauden hodi batzuetatik. Hain temperatura altuetan, olaten gainazala egoera erdi-solido erdi-gaseosoan dagoenez, oxigenozko atomoek kanpoaldeko silizioarekin erreakzionatuko dute, eta geruza mehe bat sortuko da olataren gainean, edozein metali oxigenoa ukitzean hazten zaion geruza berdexkaren antzekoa (ikus 5.6 irudia).



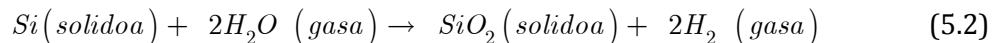
Bi oxidazio-mota daude: oxidazio lehorra eta oxidazio hezea. Bi oxidazio-prozesu horien arteko desberdintasuna errektiboan datza,  $O_2$  edo  $H_2O^+$  izan baitaiteke hori. Oxidazio hezea lehorra baino azkarragoa da.

Oxidazio-prozesuan gertatzen den errektzio kimikoa honako hau da:

- Oxidazioa lehorren kasuan:



- Oxidazioa hezearen kasuan:



Sortutako  $SiO_2$ -zko geruzaren lodiera hainbat faktoreren menpe dago, besteak beste, labearren barruan egondako denboraren eta labeko tenperaturaren menpe. Sortutako  $SiO_2$ -zko geruza geruza amorfoa da —olataren siliziozko egitura kristalinoa ez bezala—, hau da,  $SiO_2$ -zko geruzaren atomoek ez dute egitura atomiko periodiko antolatuturik.

Oxidazio-prozesua *batch* edo sorta-prozesua da; hau da, olatak oxidazio-erreaktoretan sortaka sartzen dira. Oxidazioa ez da banakako prozesua.

### 5.3.3 Fotolitografia eta erauzketa

#### 5.3.3.1 Fotolitografia

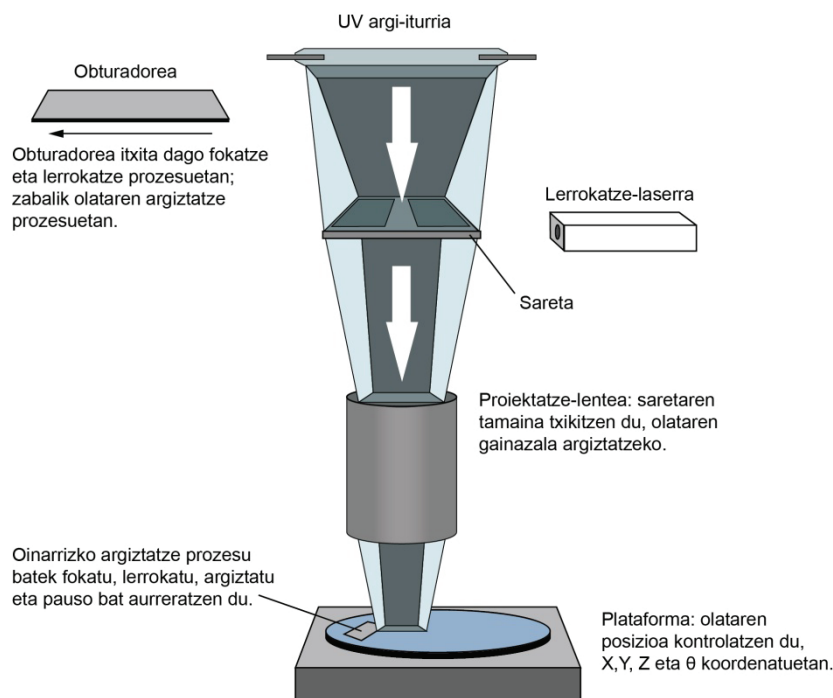
Litografia grekerazko *lithos* (harria) eta *graphie* (marrazki) hitzetatik dator. Fotolitografia argiaren eragin kimikoaren bidez irudiak xafla litografiko batean erreproduzitzeko eta finkatzeko teknika da. Gailu mikroelektronikoen kasurako, fotolitografia zera da: Maskara edo fotolito batean dauden itxura geometrikoko marrazkiak (maisua) osagai fotosentikorrezko geruza mehe baten bidez olata edo substratu batera transferitzeko prozesua. Fotolitografiak argi ultramorea erabili ohi du gehienbat ( $\lambda \approx 0,2-0,4 \mu\text{m}$ ), uhin-luzera laburrek bereizmen handiagoa ahalbidetzen baitute zirkuituen marrazkiak transferitzerakoan.

Fotolitografia dispositibo mikroelektronikoak sortzeko pausorik garestiena, zailena eta kritikoen da. Edozein gailu mikroelektroniko egiteko, gainera, zortzi prozesu fotolitografikotik gora behar dira, eta, prozesu bakoitzeko, ezinbestekoa da maisuen arteko lerrokadurarako bereizmen handiak izatea. Fotolitografiaz eginiko marrazkiak eskualde selektiboak mugatzeko erabiltzen dira, kontaktuak egiteko edo dopaketak egiteko eremuak zehazten baitituzte (ikus 5.11 puntua, Adibidea. C-MOS egitura bat sortzeko pausoak).

Areto garbiaren tokirik garbiena izan behar du fotolitografiarenak. Ezin da ahanzi teknologia mikroelektronikoaren bidez ekoitziko diren gailuek mikroimetroen inguruko tamainak izango dituztela, eta, baldintza hori beteta, hauts-partikula baten tamaina (nahi ez den partikula baten tamaina, alegia) marrazkien tamainaren parekoa izan daiteke. Horrek prozesua zapuztea lekarke.

Prozesu fotolitografiko orokor bat zortzi pausotan banatzen da:

1. Lurrun-prestaketa: Olataren gainazalaren garbiketa.
2. *Spin coat*: Geruza fotoerresistiboa ezartzea. Geruza fotoerresistiboa, olataren gainazalean, modu uniforme batean kokatzen da. Nola? Lehenik eta behin, likido fotoerresistiboa olataren erdian kokatuta, eta gero, olata biraraziz, zentrifugazioaren bidez likido fotoerresistibo hori gainazal osora hedada dadin.
3. Erreketa arina: Likido fotoerresistiboaren disolbatzaileak erauzteko. Osagai fotoerresistiboa da olataren gainean geldituko dena, argiztapenaren zain.



5.8 irudia. Fotolitografia-prozesuan ematen diren pausoak.

4. Lerrokadura: Argiak olataren gainazaleko zein tokiri eraso behar dion aukeratu behar da, gero toki horretan argitzatzeko. Lerrokatze-prozesuan maskarak/txantiloiak olatari lerrokatzen zaizkio.
5. Argiztapena: Argiak selektiboki erasotzen die olataren zenbait tokiri. Argiak material fotosentikorri eragingo dio.
6. Argizatze ondorengo erreketa: UV argiarekin sentikortu den erretxinaren disolbagarritasuna areagotzeko erreketa.
7. Errebelatzea: Isuri errebelatzaile batek erretxina disolbagarria erauzten du. Olatan gelditutako erretxina, argiztatuta izan ez den erretxinaren eskualdea da; hau da, maskarak/txantiloiak babestutakoa.
8. Errebelatzearen ikuskaketa: Prozesuaren kalitatea aztertzeko.

### 5.3.3.2 Maskara

CAD (*Computer Aided Design*) tresnetatik sortutako diseinuetatik hasita, siliziozko osagai bat egiteko zortzi maskaratik gora behar dira; teknologia aurrera doan heinean, gainera, maskara kopurua handituz doa, eta lerro gero eta txikiagoak ekoizten dira, osagaiek ahalik eta tamaina txikiena izan dezaten.

Azken urteotan sortutako maskarak beira gainean emulstioa ezarrita sortu badira ere, orain arteko metodo klasikoetan, beira gainean kromoa ezarrita zeukaten maskarak erabili ohi dira (COG, *Chrome-On-Glass*), eta, txantiloia transferentziarako, elektroien sorta bat. Beiran, ingurune gardenak (kromorik ez badago) eta opakak (kromoa badago) sortzen dira. Eskualde horiek olatetan grabatuko (inprimatuko) diren zirkuituen diseinua eratzen dute.

Oso erresoluzio handiak behar ez diren tokietan, laser bitartez graba daitezke maskarak beiran. Laserra elektroien sortaren metodoa baino azkarragoa da, eta, elektroien sortaren metodoak ez bezala, ez du hutseko ingurunerik behar txantiloia beiran inprimatzeko.

Gailu mikroelektronikoen fabrikazio-prozesuaren arabera, maskara bakoitzak diseinu desberdina izango du.

### 5.3.3.3 Geruza fotoerresistiboa

Geruza fotoerresistiboa sortzeko, bi erretxina-mota daude: erretxina fotopositiboa eta erretxina fotonegatiboa. Erretxina fotopositiboa eta erretxina fotonegatiboa material fotosentikorriak dira;

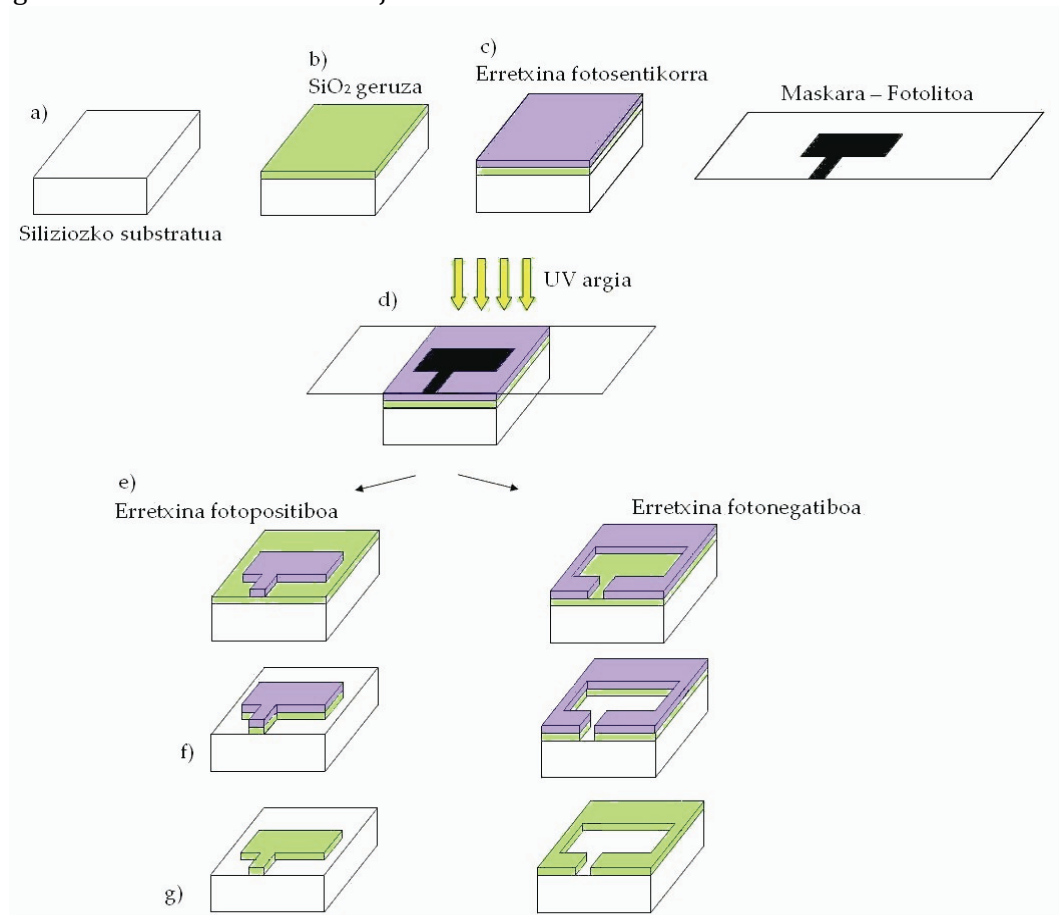
hau da, argiak horien izaera aldatu egingo du. Erretxina fotopositiboaren kasuan, argiak erretxinaren disolbagarritasuna handitu egiten du, eta, horrela, soluzio errebelatzaile batek erraz erauzi ahal izango du. Aldiz, argiztatu gabeko erretxina fotopositiboa ezin izango du material errebelatzaileak erauzi, harentzat disolbagaitza delako.

Erretxina fotonegatiboak erretxina fotopositiboaren kontrara jokutzen du. Hasiera batean, disolbagarria da, baina argiztapenak disolbagaitz bihurtzen du. Soluzio errebelatzaileak, beraz, ezin izango du argiztatutako erretxina fotonegatiboa erauzi, baina bai, oster, argiztatu gabeko erretxinaren eskualdea.

#### 5.3.3.4 Maskara baten erabilera generikoa

5.9 irudiaren arabera, hasierako osagaia siliziozko substratua da, olataren gainazaleko laukitxoa (a). Hor, oxidozko edo nitrurozko geruza bat hazi egingo da lehenbizi (b). Horren ondoren, olata erretxina fotosentikor batez estaliko da (c). Hurrengo urratsean, erretxina horri argi jakin batek erasoko dio, baina, argiaren eta olataren artean maskara bat (kasu honetan fotolito bat) jarritz gero, argiak olataren toki jakin batzuei bakarrik erasoko die (d). Erretxina fotopositiboaren kasuan, errebelatu egingo da, hots, disolbagarri bihurtutako eskualdea erauzi egingo du likido errebelatzaile batek, eta, olataren gainean, maskararen diseinua geldituko da grabatuta. Maskararen diseinuaren arabera, agerian geldituko da oxidoz edo nitruroz hazitako geruza (e). Eraso kimiko batek oxidozko edo nitrurozko geruza hori desegingo du, baina erretxinari ez dio kalterik egingo (f). Azkenik, erretxina kendu beharko da, olata oraingoan maskararik gabe argiztatuta. Likido errebelatzaileak olataren gainazalean gelditzen den material fotosentikorra —eta orain, disolbagarria— erauziko duelako. Olatan, hasierako maskararen diseinuaren erreplika grabatuta geldituko da (g).

Azalpenak erretxina fotopositiboaren inguruan emanda badaude ere, erretxina fotonegatiboaren kasuan berdintsu jokatuko litzateke.



5.9 irudia. Fotolitografia eta erauzketa prozesuak bai erretxina fotopositiboa bai erretxina fotonegatiboa erabilia.

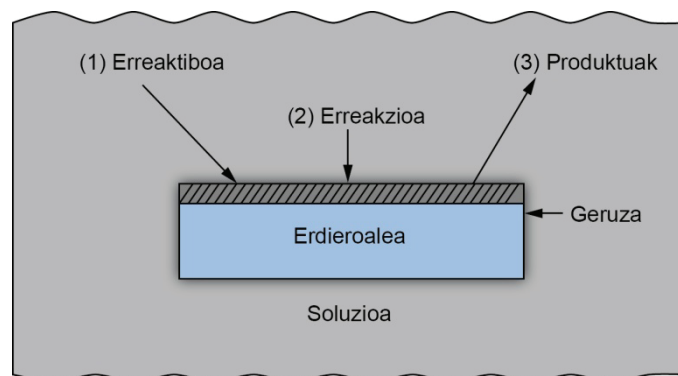
### 5.3.3.5 Erauzketa

Aurreko atalean aipatu bezala, fotolitografia olataren gainazalean diseinu zehatz batzuk grabatzeko metodoa da. Diseinu horiek olatan grabatuta gera daitezten, selektiboki ezarritako material fotoerresistiboa (erretxina fotopositiboa edo erretxina fotonegatiboa) errebelatzaileak eraman ondoren azpiko oxidozko edo nitrurozko geruza erauzi behar da (5.9.f irudia). Erauzketa hori bi metodo erabiliz egin daiteke: erauzketa hezea eta erauzketa lehorra.

**Erauzketa hezea:** Erauzketa hezea osagai mikroelektronikoak fabrikatzeko hainbat pausotan aplikatzen da. Siliziozko lingote bat, diamantezko zerraren bidez moztuta sortzen diren olata matxuratuak leuntzeko, adibidez. Erauzketa hezeak gainazala kimikoki jan/erauzi egiten du, eta gainazalaren zimurdurak berdindu.

Erauzketa hezea hiru urratsetan egiten da:

1. Erreaktibo kimikoak olataren gainazalean kokatzen dira.
2. Erreaktibo kimikoak olataren gainazalarekin kimikoki erreakzionatzen du.
3. Erreakzio kimikoak geruza erauzi egiten du.



**5.10 irudia.** Erauzketa hezearen hiru urratsak: erreaktiboa kokatu, erreakzio kimikoa, eta produktuaren erauzketa.

Erauzketa hezea olata erreaktibo kimikoz betetako upel batean murgilduta egin daiteke, edo erreaktibo kimikoa olataren gainean ihintzatu. Erauzketaren sakonera erreaktibo kimikoaren kontzentrazioaren, tenperaturaren eta esposizio-denboraren mendekoa da, besteak beste.

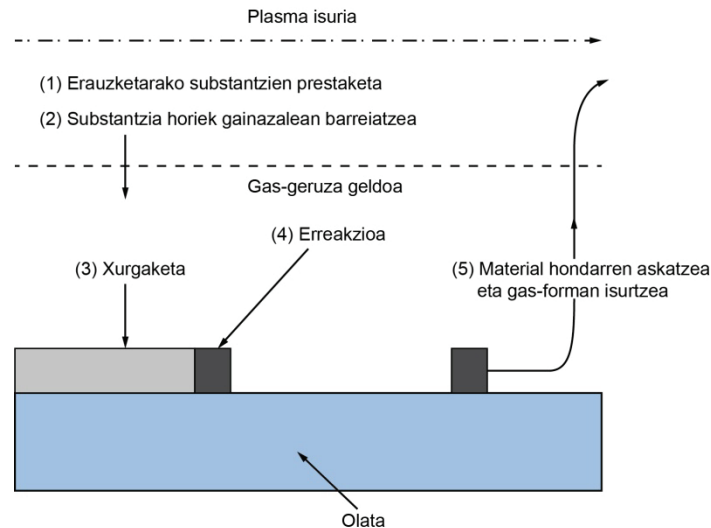
Erauzketa hezea prozesu isotropoa da, hau da, erauzketa ezberdin gertatzen da plano horizontalean eta plano bertikalean. Eta, horren ondorioz, lor daitekeen bereizmena mugatua da (ikus 5.9 (a) irudia).

**Erauzketa lehorra:** Erauzketa lehorrak plasma erabiltzen du olatatik material selektiboak erauzteko. Plasmak bai erreakzio fisiko baten bitartez, bai erreakzio kimiko baten bitartez erauz dezake materiala (kasuan-kasuan).

Erauzketa lehorra dielektrikoa silizioa eta metala erauzteko erabiltzen da. Metalaren erauzketa lehorra, besteak beste, aluminiozko aleazioak erauzteko erabiltzen da, horren bitartez egindako zuloetan geroago kontaktu-kabilak txertatu ahal izateko adibidez (ikus 5.32.b irudia).

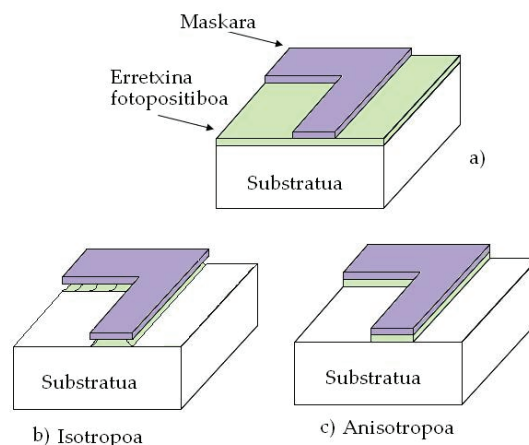
Erauzketa lehorra bost urratsetan egiten da:

1. Erauzketarako substantzien prestaketa.
2. Substantzia horiek gainazalean difunditzea.
3. Xurgaketa.
4. Erreakzioa.
5. Material-hondarrak askatzea eta gas-forman isurtzea.



5.11 Irudia. Eratzketa lehorren bost urratsak.

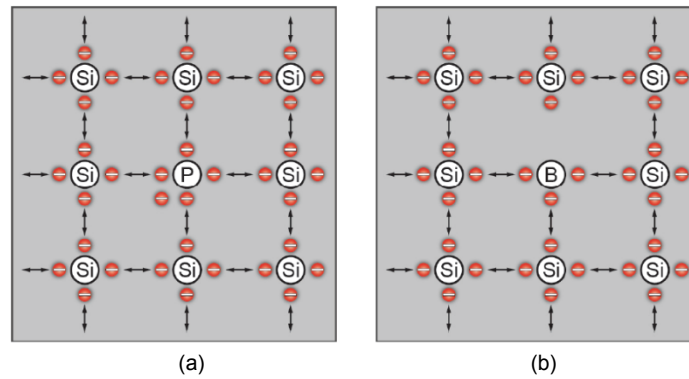
Eratzketa lehorra prozesu anisotropoa da, hau da, ez du berdin erazten plano horizontalean (gutxiago) eta plano bertikalean (gehiago), eta lor daitekeen bereizmena, eratzketa hezearen aldean, handiagoa da (ikus 5.12.b irudia).



5.12 Irudia. Eratzketa prozesuaren xehetasuna: (a) Maskara fotoerresistiboak aukeratutako eskualdea agerian uzten du. Eratzketak, gero, babestu gabeko eskualdeak erazi egingo ditu; (b) Eratzketa hezea prozesu isotropoa da. (c) Eratzketa lehorra prozesu anisotropoa da.

### 5.3.4 Dopaketa

Elementu dopatzaile bat (ezpurua, arrotza) substratu baten kristal-egituraren barruan sarraraztean datza dopaketa; substratu horren ezaugarri elektronikoak aldatzeko helburua du. Teknologia mikroelektronikoan, substratu hori material erdieroalea da (silizioa, oro har). Dopaketari esker, erdieroalea  $p$  motako zein  $n$  motako bihurtu daiteke; erdieroalea  $p$  motako bihurtuko da, bere azkeneko geruzan balentziatzko 3 elektroi dituen atomo ezpuruak sartzen bazaizkio (dopatzailerik arruntenak boroa eta arsenikoa dira), eta erdieroalea  $n$  motako bihurtuko da, bere azkeneko geruzan balentziatzko 5 elektroi dituen atomo ezpuruak sartuz gero (dopatzailerik arruntena, fosforoa). Dopaketarekin, azken finean, honako hau bilatzen da: Erdieroaleen ezaugarri elektrikoak hobetzea, erdieroale horiek elektroi/hutsune libre ugari hornituta (gogoratu silizioak balentziatzko 4 atomo dituela).



**5.13 Irudia.** (a) Siliziozko  $n$  motako egitura, non siliziozko atomo baten ordez, fosforozko atomo batek elektroi aske bat gaineratzen baitio egitura kristalinoari. (b) Siliziozko  $p$  motako egitura, non siliziozko atomo baten ordez, borozko atomo batek hutsune aske bat gaineratzen baitio egitura kristalinoari.

Dopatzaila substratuan nola sartzen den —abiadura eta sakonera— oso zehazki kontrolatu behar da, ezpurutasunen kontzentrazioa eskualde jakin eta zehatz batean ezarri nahi bada.

### 5.3.4.1 Difusioa

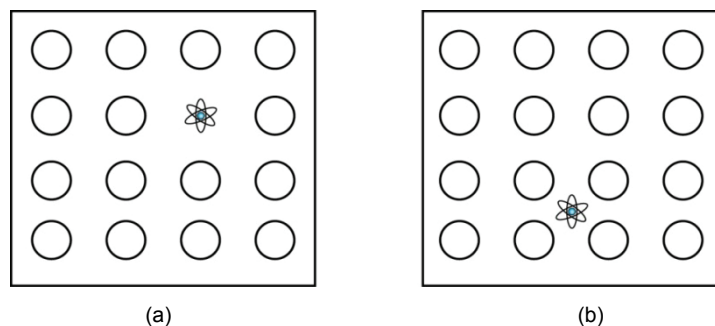
Difusioa substratu bat dopatzeko erabili izan den teknika aitzindaria da. Prozesua aurrera eroateko, material erdieroalezko olatak kuartzozko tubo-formadun labeetan sartzen dira, oso temperatura garaietan. Silizioan difusio bat egiteko, hau da, siliziozko olata batean atomo arrotzak sartzeko, labearen temperaturak  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  artekoa izan behar du, eta, galio artseniuroaren kasuan, berriz,  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  eta  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  artekoa. Olatak difusio-labean kokatu eta gas dopatzailea sarraraziko da. Temperatura garaien ondorioz, gas molekulak siliziozko substratuaren gainazalean barrena sartuko dira. Noraino? Olata labean zenbat denbora dagoen, labeko temperaturaren eta labean sartzen den gas dopatzaileak duen presio partzialaren arabera.

Ezpurutasun-iturria solidoa, likidoa zein gaseosoa izan daiteke. Atomo ezpuruen iturria mugatua edo mugagabea izan daiteke. Iturria mugatua bada, iturria era konstantean ari da ezpurutasunak isurtzen dopaketa prozesuak irauten duen bitartean. Iturria mugagabea izanez gero, hasierako unean besterik ez da isurtzen ezpurutasun-kontzentrazioa eta atomo ezpuru horiek beroak sarraraziko ditu substratuan.

Difusioan, molekula arrotzak bi modu ezberdinetan barneratzen dira substratuaren egitura kristalinoan: hutsunearen arabera eta interstizioaren arabera.

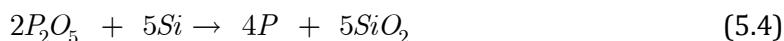
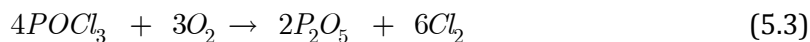
**Hutsunearen arabera:** Egitura kristalinoak ez dira perfektuak, hau da, badituzte akatsak. Hutsunearen araberrako metodoan, egitura kristalinoan, atomo batek egon behar lukeen lekuan ez dago atomorik. Atomo ezpurua hutsune horretan kokatuko da.

**Interstizioaren arabera:** Egitura kristalinoetan, badaude atomoen arteko energia txikiko puntuak, simetria handiko kokaguneetan; atomo ezpuruak horretaz baliatuko dira, hain zuzen ere, energia txikiko puntu horietan kokatzeko.



**5.14 Irudia.** (a) Hutsunearen araberrako dopaketa. (b) Interstizioaren araberrako dopaketa.

$N$  motako silizio erdieroalea sortzeko, adibidez, fosforoa erabiliz gero, honako erreakzio kimiko hauek gertatuko dira:



Hau da, tenperatura altuetan, isuri dopatzaileak eta silizioak elkar ukitzen dutenean,  $P_2O_5$  geruza kokatu egiten da, silizioaren gainean; hortik, fosforoa askatu; fosforoa silizioan barrena sartu, eta kloroa airean gelditzen da.

#### 5.3.4.2 Ioi-ezarketa

Ioi-ezarketa prozesu fisikoa da. Ioi-ezarketan, eremu elektrostatis batego atomo ionizatu ezpuruak azeleratzen ditu, eta atomo horiek substratuaren gainazalaren kontra egingo dute talka. Ionizatutako atomo kopuruaren arabera, dopatzailearen kontzentrazioa aldatu egin daiteke, eta, eremu elektrostatis kontrolatuz, berriz, ezpurutasunak kristalean zenbateraino sartzen diren.

Ioi-ezarketaren prozesurako behar den sistemak bost atal nagusi ditu: ioi-iturria, azelerazio-hodia, masa-analizatzailea, izpi-eskaneatzailea eta *Faraday*ren kaiola.

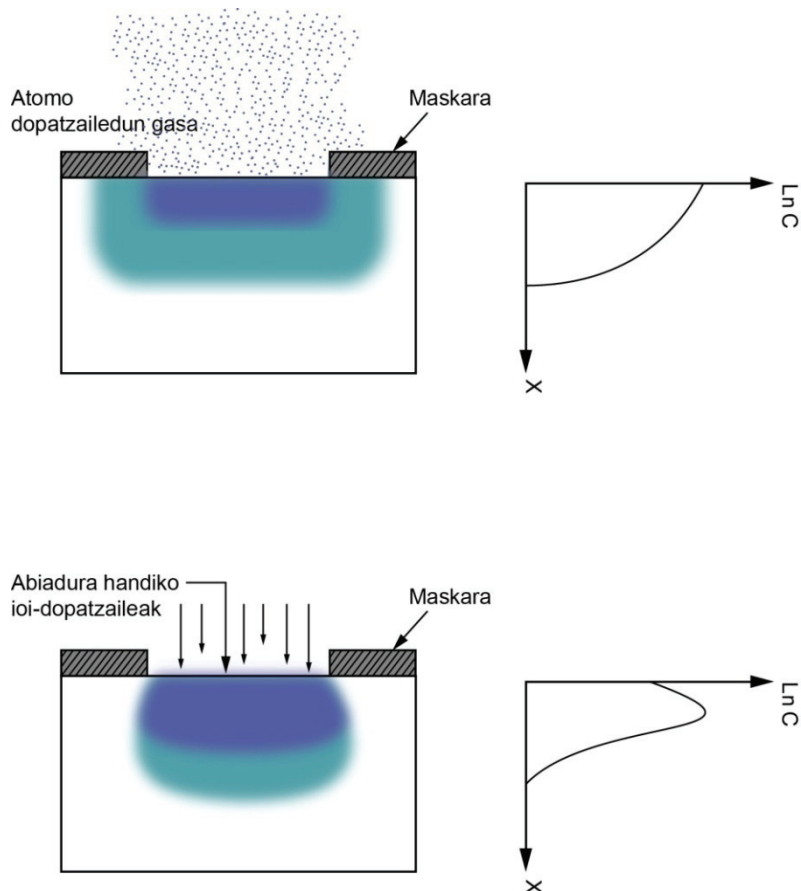
1. **Ioi-iturria:** Substratuaren gainazalean ezarri nahi diren ioiak dituen gas batez elikatzen da; silizozko substratua dopatu nahi bada, gasik arruntenak  $BF_3$ ,  $AsH_3$  eta  $PH_3$  dira. Ezpurutasunak dituen gas hori arku-itxurako ganbera batera isurtzen da. Ganbera horretan, gasa apurtu egingo da, eta molekula eta atomo bihurtu.  $BF_3$ -ren kasuan, adibidez,  $BF_3$ -tik  $B$ ,  $B^+$ ,  $BF_2$ ,  $BF_2^+$  eta  $F^+$  molekulak sortuko dira.
2. **Azelerazio-hodia:** Ioi-iturriak hornitutako gas-molekulak ( $BF_3$ -ren kasurako  $B$ ,  $B^+$ ,  $BF_2$ ,  $BF_2^+$  eta  $F^+$ ) azeleratu egingo dira, talkarako energia jakin bat lor dezaten. Azelerazio hori eremu elektriko bat aplikatuta lortzen da.
3. **Masa-analizatzailea:** Dopaketa prozesurako iragazkia da masa-analizatzailea. Analizatzaile magnetiko batego azelerazio-hoditik etorritako ioi guztietatik dopatzeko egokia dena aukeratzen du;  $BF_3$ -ren kasuan adibidez,  $B^+$ .
4. **Izpi-eskaneatzailea:** Ioi dopatzaileak ( $B^+$ ) izpi batean multzoka higitzen dira; hori dela eta, izpiaren norabidea aldatzen ez bada, ioiek substratuaren toki berean egingo dute talka beti. Eraso substratuaren gainazal guztian zehar uniformea izan dadin, izpi-eskaneatzaileak izpia nahierara mugitzen du eskaneatze-sistema elektrostatis batego baten bitartez.
5. **Faradayren kaiola:** Ezarketaren dosia kontrolatzeko, olata *Faraday*ren kaiola batean sartzen da. Han sartzen den karga guztia harrapatzen duen kaiola da *Faraday*ren kaiola. Substratua ezartzen den ioi-korrontea zuzenean neurtuko da hor, *Faraday*ren kaiolaren eta lurreko terminalaren artean anperometro bat konektatuta. Ezpurutasun-dosia kalkulatzeko, korrontearen denborarekiko integralaren eta substratuaren azaleraren arteko zatiketa egiten da.

#### 5.3.4.3 Ioi-ezarketa vs. difusioa

Ioi-ezarketaren bidezko prozesuak tenperatura baxuagotan gertantzen dira; zehaztasun handiagoa dute, eta errazago kontrola daitezke. Ioi-ezarketan dopatzaileen (ezpurutasunen) kontzentrazioa eta dopatzaile horiek substratuaren kristal-egituraren duten barneratze-maila oso ondo kontrola daitezke, difusio prozesuaren aldean. Ioi-ezarketak, hala ere, nahiko kaltetuta uzten du olataren gainazala.

5.15 irudian ikus daitezkeen bezala, dopaketaren bitartez atomo ezpuruak silizioaren gainazaletik barnealderantz sartuz doaz. Difusioan, baina, dopaketa alboetara ere hedatzen da, hots, dopatu nahi ez diren eskualdeak ere —nahiz eta maskara batekin babestu— dopatu egiten dira; hori ez da gertatzen ioi-ezarketaren bitartez. 5.12 irudian, urdin kolore biziarekin zera

adierazten da: Dopatzaileen gehiengoa non kokatzen den; irudiaren arabera, dopatzaileen gehiengoa eskualdearen gainazalean kokatzen da, eta, substratuan barrena joan ahala, dopatzaileen kontzentrazio hori txikituz doa.



5.15 Irudia: Difusioz egindako dopaketa (goian) eta ioi-ezarketaz egindakoa (behean).

Oro har, difusioaren metodoa ezpurutasunak substratuan sakon sartu nahi direnean erabiltzen da, eta ioi-ezarketaren metodoa, berriz, ezpurutasunak substratuaren gainazalean gelditzea nahi denean.

### 5.3.5 Geruza meheen sorkuntza

Geruza meheen sorkuntza euskarri erdieroaleen gainean geruza mehe bat sortzeari esaten zaio. Geruza mehe berri hori euskarri edo sustratuaren bestelako material batekoa da, eta baliteke kristalinoki egituratua izatea ere. Dopaketan ez bezala, geruza meheak sortzean, geruza berria sortuko da substraturaren gainean (dopaketan ez da geruza berririk sortzen, ezpurutasunak era kontrolatuan euskarri erdieroalean sartu egiten baitira). Egun, bost teknikaren arabera sortzen dira geruzak:

1. Oxido termikoak: ikus 5.5 puntua. Oxidazioa.
2. Geruza epitaxialak.
3. Geruza dielektrikoak.
4. Silizio polikristalinoa.
5. Geruza metalikoak.

#### 5.3.5.1 Geruza epitaxialak

Epitaxia hitza grekerazko *epi* (gainean) eta *taxis* (antolamendua) hitzetatik dator; teknologia mikroelektronikoaren inguruan, zera esan nahi du: egitura kristalino ordenatua duen material

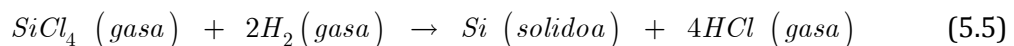


baten hazkuntza, beste material desberdin baten gainazal kristalinoaren gainean. Bi metodo nagusi daude geruza epitaxialak hazteko: CVD erreaktorea (*Chemical Vapor Deposition*) eta MBE (*Molecular Beam Epitaxy*).

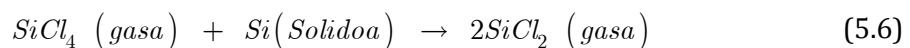
**CVD erreaktorea:** Kamera bat da, non gasak, temperatura altuetan eta presio jakin baten menpe, erreakzio kimikotara eramaten baitira; horren ondorioz, gas horiek, substratuaren/euskarri erdieroalearen gainean, geruza mehe gisa ezarri, eta solidifikatu egiten dira.

Substratu baten gainean siliziozko geruza film bat ezarri nahi den kasurako, adibidez, silizioa duen iturri batetik hasi behar litzateke,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiHCl}_3$  edo  $\text{SiH}_4$ . Erreakzioa  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ -ra gertatzen da.

Iturria  $\text{SiCl}_4$  izatekotan, honako erreakzio kimiko hau da gertatzen da:



Hala ere, erreakzio kimiko hori labe batean gertatzen denez, honako erreakzio kimiko hau ere gertatuko da:



Hau da,  $\text{SiCl}_4$ -k silizioarekin erreakzionatzen duenean, silizioa erauzi egingo du, substratuaren gainazalarekin. Hori dela eta, kontu handia eduki behar da  $\text{SiCl}_4$ -ren kontzentrazioarekin; izan ere, oso kontzentrazio handikoa bada, (5.5) erreakzioak siliziozko geruza substratuan ezarri ostean,  $\text{SiCl}_4$  horrek siliziozko geruza hori kimikoki erauz dezake.

Gainezarritako geruza mehea —siliziozkoa— silizio hutsekoa izan beharrean dopatu nahi bada, labe horretan bertan sartuko dira ezpurutasunak ( $p$  motako silizioa nahi bada boroa,  $\text{B}_2\text{H}_6$ -aren bitartez, eta  $n$  motako silizioa nahi bada, fosforoa,  $\text{PH}_3$ -aren bitartez).

Geruza epitaxiala sortzeko jarraitu behar diren pauso nagusiak honako hauek dira:

1. Erreaktanteak (gasak eta dopatzaileak) substratuak dauden kamerara eroan.
2. Erreaktanteak substratuaren gainazalarekin kontaktuan jarri.
3. Erreakzio kimikoa gertatzen da. Horren ondorioz, substratuaren gainazalean geruza mehea sortuko da.
4. Askatutako gas ezpuruak, arrotzak direnak —hau da, ez-nahiak—, erreakzio kameratik atera.
5. Erreakzioa bukatutzat eman bezain pronto, olatak kameratik atera.

**MBE:** Metodo horrekin ez da prozesu kimikorik gertatzen. Substratua arrago batean sartzen da, eta, beroaren poderioz, lurrundutako atomoak substraturantz bideratzen dira, hutsezko ingurune batean, substratuaren gainazalean kokatu eta solidotzen diren arte. MBE metodoaren bitartez oso geruza meheak lor daitezke (atomo bakarreko lodierakoak izateraino!). Bestalde, oso prozesu motela da ( $1\text{ }\mu\text{m/h}$ -ko abiadura inguru) CVD erreaktorearen prozesuaren aldean.

### 5.3.5.2 Geruza dielektrikoak

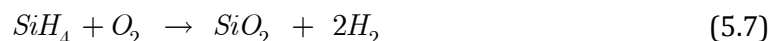
Geruza dielektrikoak oso baliagarriak dira mikroelektronikaren esparruan. Silizio dioxidoa ( $\text{SiO}_2$ ) eta silizio nitruoa ( $\text{Si}_x\text{N}_y$ ) material dielektrikoak dira, hau da, elektrikoki isolatzaileak. Silizio erdieroalea oxigenoarekin edo nitrogenoarekin harremanetan besterik ez da jarri behar geruza elektrikoki isolatzailea sortzeko. Bai  $\text{SiO}_2$  geruza, bai  $\text{Si}_x\text{N}_y$  geruza, gainera, isolatzaile izateaz aparte, pasibatzaile ere badira, hau da, aurreko erreakzio kimikoren batean gertatutako kalteak konpon ditzakete.

Geruza dielektrikoak sortzeko, CVD (*Chemical Vapor Deposition*), LPCVD (*Low-Pressure CVD*) eta PECVD (*Plasma-Enhanced CVD*) metodoak aplikatzen dira, besteak beste.

**Silizio dioxidoaren kasurako:** CVD bidez lortutako silizio dioxidozko geruzak ez dira termikoki hazitako oxidoak bezain onak, baina silizio dioxidoak hazteko beste metodo bat da. CVDaren metodoa maila anitzeko metalizazioak isolatzeko, ioi-ezarketarako eta difusiorako maskara gisa edota termikoki hazitako oxido geruzen lodiera handitzeko erabil daiteke, besteak beste.

Siliziozko substratuaren gainean silizio dioxidozko geruza mehea hazi nahi bada, eragiten den prozesu kimikoaren arabera, temperatura ezberdinak erabiliko dira.

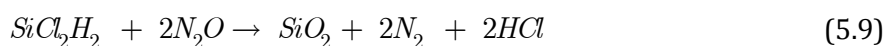
- Temperatura baxuak (300 °C - 500 °C):



- Temperatura ertainak (500 °C - 800 °C):

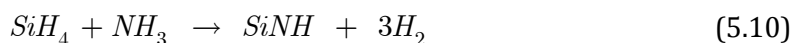


- Temperatura garaiak (900 °C):

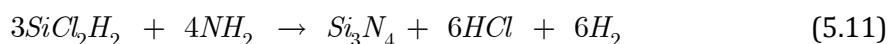


**Silizio nitruoaren kasurako:** Silizio dioxidoa ez bezala, silizio nitruoa termikoki haztea ez da horren erraza, alde batetik, hazkuntza-abiadura oso motela delako eta, bestetik, hazkuntza horretarako oso temperatura garaiak behar direlako. Hori dela eta, bai temperatura baxuetan (300°C inguru) baita temperatura ertainetan ere (750°C inguru) LPCVD eta PECVD metodoen bitartez lortu egiten da hazkuntza epitaxiala. Erreakzio kimikoak honako hauek:

- Temperatura baxuak (300 °C inguru):



- Temperatura ertainak (750 °C inguru):



Silizio nitruoa bai pasibaziorako bai silizio dioxidoaren geruzaren haziera gelditzeko erabiltzen da.

### 5.3.5.3 Silizio polikristalinoa

Silizio polikristalinoa edo polisilizioa oso kalitate handiko silizioa da. Dispositibo mikroelektronikoetan, elektrodoak gauzatzeko erabiltzen da, silizioarekin oso kontaktu ona egiten duelako (ikus 5.11 puntua, Adibidea. C-MOS egitura bat sortzeko pausoak). Polisilizioa erabilia, oso erresistentzia ohmiko txikiko junturak gauzatzeko dira, polisilizioen eta elektrodoen arteko galera erresistiboak txikituta.

Silizio polikristalinozko geruza siliziozko substratuaren gainean jartzeko, presio baxutako errektoreak erabiltzen dira, 600 °C - 650 °C-an honako erreakzio honek dakarren silanoaren pirolisiari esker:



### 5.3.5.4 Geruza metalikoak

Erresistentzia txikiko kontaktuak, kontaktu ohmikoak eta metal-erdieroaleko junturak —Shottky diodoak— sortzeko, geruza metalikoak gainjartzen zaizkio erdieroalezko substratuari.

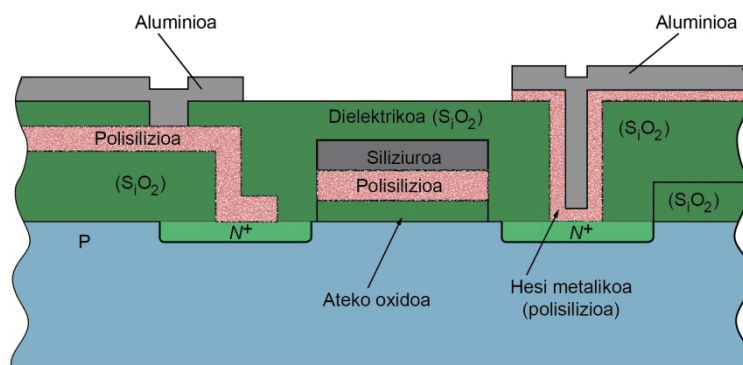
Geruza metalikoak ezartzeko metodoak bi dira nagusiki:

- PVD (*Physical Vapor Deposition*).
- CVD (*Chemical Vapor Deposition*).

**PVD (Physical Vapor Deposition):** Metal-lurruna substratuaren gainazalean ezartzeko, lurrunketa, elektro-sortaren bidezko eraso (*e-beam evaporation*), plasma-spray bidezko ezarketa edo *sputtering* (ziprztinketa) metodoa erabiltzen dira. Titanioa (Ti), aluminioa (Al), kobrea (Cu), titanio nitruroa (TiN) eta tantalio nitruroa (TaN) gisako metal eta metal konposatuak ezartzen dira PVD teknikaren bidez elementuak. Lurrunketa, hau da, material bat bere urte-tenperaturatik gorako beroketara eramatea, hutseko ganbera batean egiten da. Beroketarako iturria erresistentzia bat, irratifrekuentziazko haril bat edo fokatutako ioi-sorta bat izan daitezke. Hasiera batean, lurrunketa eta elektro sorta bidezko eraso zeharo erabiliak baziren ere, *sputtering* (ziprztinketa) metodoa erabiltzen da ULSI zirkuitu integratuak garatu nahi direnean (ULSI, *Ultra Large Scale Integration*, zirkuitu integratu bakoitzeko 100000 eta 1000000 transistore txip berean integratzen direnean).

**CVD (Chemical Vapor Deposition):** Dielektrikoen gainjartzean eta polisilizioaren gainjartzean erabiltzen den metodo hori metalizazioetarako egokia da, geruza uniformeak ezartzen dituelako substratuaren gainazalean, eta behin egindako prozesu batean hainbat olata metaliza daitezkeelako (sorta bidezko prozesua, ingelesezko *batch*).

Presio baxuetako CVDa gai da PVD teknika baino erresistibitate elektriko txikiagoak dituen geruza uniforme gainjartzeko. Geruza uniforme hori, gainera, ondo moldatzen da hainbat profil topografiko ezberdinetara. Horren adibide, 5.13 irudiko hesi metalikoak hartzen dituen profil topografiko ezberdinak.



5.16 irudia. Erliebe desberdineko hesi metalikoak MOS trantsistore baten egituran.

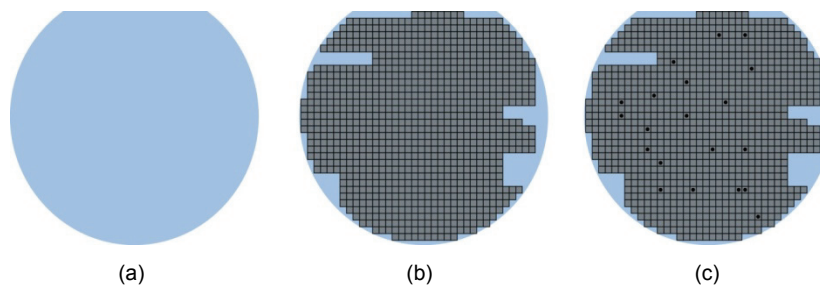
## 5.4 Olataren Azterketa

Gailu mikroelektronikoak substratuan gauzatu ondoren, dispositibo mikroelektroniko horien zenbait parametro aztertu beharra dago, hasierako zehazpenak betetzen diren ala ez egiaztatzeko. Olataren azterketa *wafer prober* deitutako test-ekipo batek egiten du. Test proben artean, honako hauek nabarmendu daitezke:

1. Begi bistaz (pertsona batek) olatak duen itxura ikuskatzea.
2. Makina bati kargatutako txantiloari esker automatikoki begi elektroniko batek (*software* batek kontrolatutakoa) olatak duen itxura ikuskatzea.
3. *Wafer sort* edo proba elektrikoak. Proba elektriko horiek aurretiaz ezarri egiten dira, jarraitutasuna neurtzeko, irteerako balioak neurtzeko edota erdibideko balioak neurtzeko.

Hurrengo ataleko adibidean ikusiko den bezala, euskarri edo substratu bakoitzeko, hainbat gailu ekoitzi egiten da. 5.14.b irudiak zera ematen du aditzera: Laukitxoetako bakoitza gailu edo zirkuitu mikroelektroniko bat dela. Aurreko hiru *test*-proba horiek kubotxo –ingelesezko *dice*– bakoitzeko errepikatu egiten dira, eta, kubotxoetako baten emaitza espero zena ez bada, kubotxo hori puntu beltz batez markatuko da. Olata kubotxotan moztu eta gero (gailu

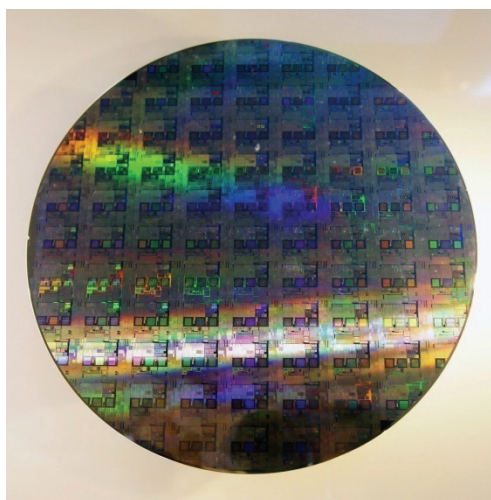
mikroelektronikoak kapsulatze), makina batek markatu gabeko kubotxoak aukeratu eta kapsulatze-prozesura eramango ditu.



**5.17 irudia.** (a) Hasierako substratua edo waferra. (b) Laukitxo bakoitzak gailu edo zirkuitu mikroelektroniko bat adierazten du. (c) Testa pasatu ez duten dispositiboak puntu beltz batez markatzen dira.

## 5.5 Osagaien integrazioa

Euskarri bereko kristalean osagai aktiboak eta osagai pasiboak txantilo metaliko baten bitartez zirkuitu beran bateratzeari deritzogu integrazioa. Integrazioak hainbat abantaila ditu, hala nola miniaturizazioa, gailu diskretuen arteko konexioek eragindako parasito elektrikoak murriztea, silizio gainazalaren aprobetxamendu osoa lortzea eta ekoizpen prozesuaren berebiziko murriztea. Osagaiak burutu eta integratu ondoren, kapsulatzea besterik ez litzateke faltako ekoizpen-prozesua bukatutzat hartzeko. Kapsulatzeak lau funtzio nagusi ditu: dispositiboa ingurunetik eta maneiuetatik babestea, seinaleak ondo konektatzen lagatzea, bero-xahutzeak erraztea eta, batez ere, dispositibo horiek euskarri fisikoz hornitzea.

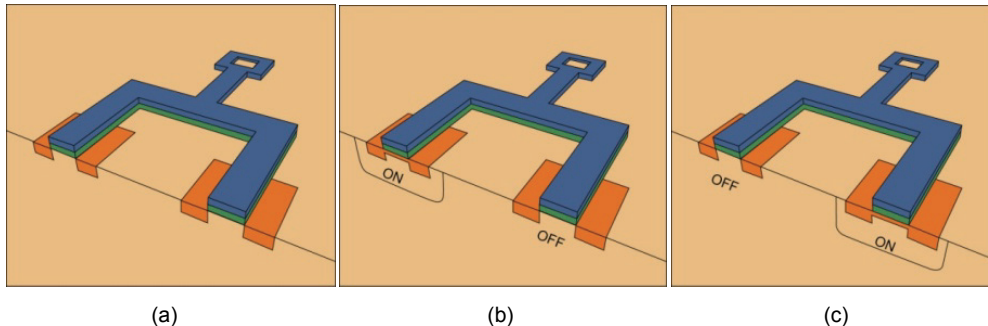


**5.18 Irudia:** Argazkiko olatan ikus daitekeen lauki bakoitza zirkuitu integratu bat da (mikroprozesadore oso bat izan daiteke!). *Creative Commons (Auth. Peellden).*

### Adibidea: C-MOS egitura bat sortzeko pausoak

Orain arteko ataletan, gailu mikroelektroniko bat gauzatzeko erabiltzen diren teknikarik ohikoenak aztertu dira. Oraingo honetan, aurretik ikusitako teknika horiek zirkuitu integratu baten ekoizpenean noiz eta zertarako aplikatzen diren adibide baten bidez azalduko dugu. C-MOS transistore baten pausoz pausoko fabrikazioari erreparatuko diogu, zirkuitu integratu simpleena izanik, gaur egun oinarritzko egitura mikroelektroniko erabiliena baita.

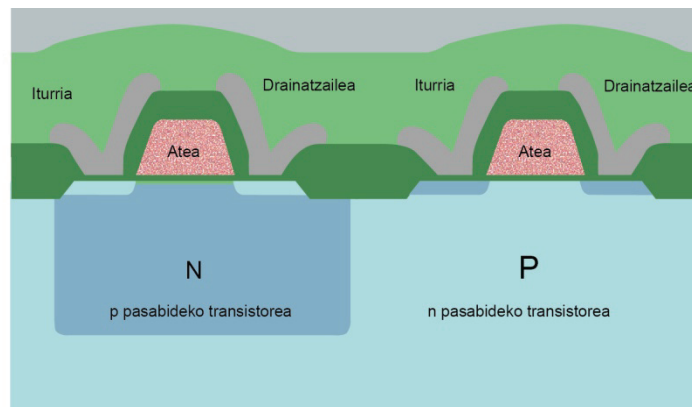
C-MOS edo *Complementary MOS* bat zera da: Bi MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) transistore osagarri, gailu bakar batean integratuta. Transistoreetako bat  $n$  motako pasabidekoa (kanalekoa) da eta bestea  $p$  motako pasabidekoa (kanalekoa). Osagarriak (*complementary*) direnez, transistoreetako bat asetasunean dagoenean, bestea etenduran egongo da, eta alderantziz. C-MOS teknologia da gaur egunean zirkuitu integratu digitalak ekoizteko erabiliena.



**5.19 irudia.** (a) Siliziozko C-MOS dispositiboaren egitura. (b) eta (c) Portaera osagarriaren adierazle, transistoreetako bat ON egoeran dagoenean, bestea OFF egoeran dago.

Siliziozko C-MOS egitura bat gauzatzeko,  $p$  motako olata batetik abiatuta gauzatu beharreko prozesuak aztertuko dira hemen. Aurretik silizioa lurrazaleetik atera eta araztu egin dela suposatzen da. Substratua sortzeko, Czochralski teknika erabili da, adibidez. Substratua sortzen ari zenean,  $p$  motako atomoak sartu zaizkio, eta suposatzen da azkenik kristal egituradun lingotea esmerilatu, moztu eta leundu dela. Lingotea gero moztuko da, handik olatak ateratzeko. Dispositibo mikroelettronikoak gauzatzen dituzten enpresek aurretik  $p$  atomoz edo  $n$  atomoz dopatutako olatak erosten dituzte. Beraz, adibide honen abiapuntua hauxe bera izango da:  $p$  atomoz dopatutako olata bat.

Adibide honetan, azaldu nahi da siliziozko olata batetik (*wafers*, euskarri edo substratu batetik) hasita C-MOS egitura bat nola gauzatzen den. 5.20 irudiak C-MOSaren bukaerako egitura adierazten du; adibide honetan, hori gauzatuz joango gara, pausoz pauso, 5.20 irudiko egitura lortu arte.



**5.20 irudia.** Bukatutako C-MOS egitura mikroelettroniko integratua.

Hortik aurrerako prozesu oro areto garbian gauzatuko dira:

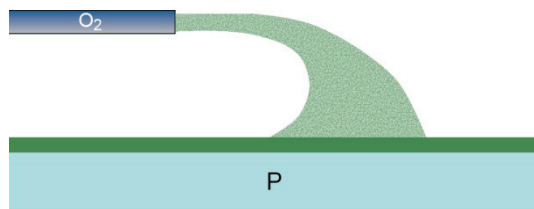
### 1. *Olataren gainazaleko prestaketa.*

Olatak garbitu behar dira, azidoetan sartuta, zikinkeria (ezpurutasun organiko eta metalikoak) kentzeko. Pauso hori edozein erreakzio kimiko gertatzen dela errepikatu behar da, kasik, une oro.

### 2. *N motako eskualdearen sorkuntza.*

C-MOS transistorea gauzatzeko, bai  $n$ , bai  $p$  motako eskualdeak behar dira, hor transistoreen iturriak, drainatzaileak, kanalak eta atea gauzatzeko. Hasierako

substratutzat  $p$  motako olatak hartu badira,  $n$  motako eskualde bat dopatu beharko da, hor bigarren transistorea gauzatzeko. Horretarako, lehenik eta behin, silizio dioxido geruza bat haziko zaio olatari, eta hori gainazalean (geruza meheen sorkuntza), azpiko substratuaren babesle izango da.



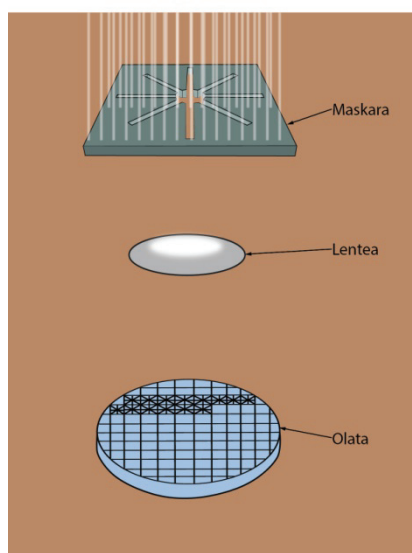
**5.21 Irudia.** Oxigenoa silizioarekin erreakzionatzen, silizio dioxidozko geruza mehea sortzeko.

Substratuaren gainazala babestu ondoren, gainazal horretan erretxina fotopositiboa ezarriko da.



**5.22 Irudia.** Fotoerretxinazko geruza, arrosaz irudikatua. Argiztatu gabea.

Eskualde selektibo bat agerian uzteko, erretxinazko geruzaren eskualde bat argiztatu egingo da. Horretarako guztirako, maskara batek agerian utzi beharko du erauzi nahi den eskualdea, eta beste gainazal guztia estali. 5.23 irudian agertzen den bezala, olata argiztatuz gero, zenbait alde babestuta gelditzen dira (argiak ezin baititu maskararen alde grisak zeharkatu). Argiztatutako eskualdeetan, erretxina fotopositiboa disolbagarri bihurtzen da eta horixe izango da, hain zuzen ere, errebelatzaileak gero eroango duen aldea.



**5.23 Irudia.** Prozesu fotolitografikoa.

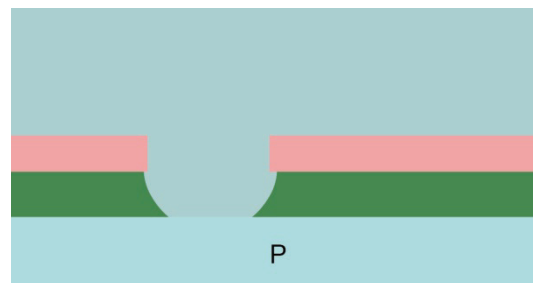
5.23 irudiarekin, aditzera eman nahi da olata batean hainbat gailu aldi berean gauzaten direla, maisuan zirkuitu integratua hainbat aldiz errepikatuta baitago. Lehenengo prozesu fotolitografikotik aurrera, beste prozesu guztiak kritikoak direla antzeman

daiteke; izan ere, hortik aurrera egiten diren prozesu guztiek lerrokaturik egon beharko dute, gailu guztiak berdin-berdin gauzatu daitezten. Kubotxo —ingelesezko *dice*— bakoitzean C-MOS gailu bat integratuko da (bi transistore osagarri). Prozesua gauzatu eta gero, kubotxoak (C-MOS gailu bakoitza) aztertu eta baieztatu egin beharko dira, azkenik olata kubotxotan moztu eta kapsulatu egingo dira.



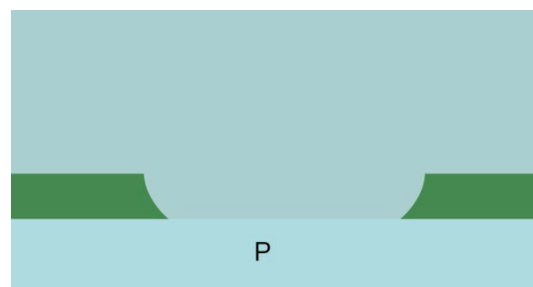
**5.24 irudia.** Argiztatutako erretxina errebelatzaileak errotan du.

5.24 irudian, errebelatzaileak argiztatutako erretxina fotopositiboa errotan duela ageri da. Gero, erauzketa hezearen bitartez, silizio dioxidozko geruza errotan egingo da. Erauzketa hezeak —prozesu isotropoak—  $\text{SiO}_2$  errotan egiten du, baina erretxina fotopositiboa ez. Izan ere, soluzio kimiko batzuk gai dira material batzuk errotzeko, baina beste material batzuetan ez dute eraginik.



**5.25 irudia.**  $\text{SiO}_2$  geruza errotia.

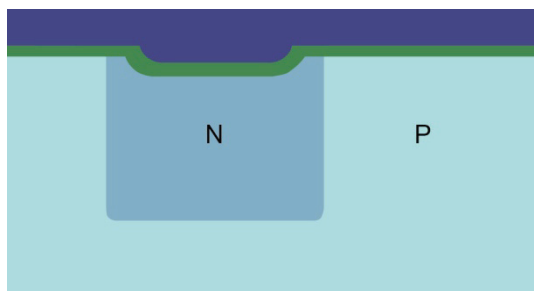
Hurrengo pausoa honako hau da: Olata, berriz ere, argiztatu, maskararik gabe oraingoan, gelditzen den erretxina fotopositiboa disolbagarri bihurtzeko eta errebelatzaileak errotan dezan.



**5.26 irudia.** Agerian daude substratuaren zati bat (P) eta silizio dioxidozko geruza mehea.

### 3. **Dopaketa:**

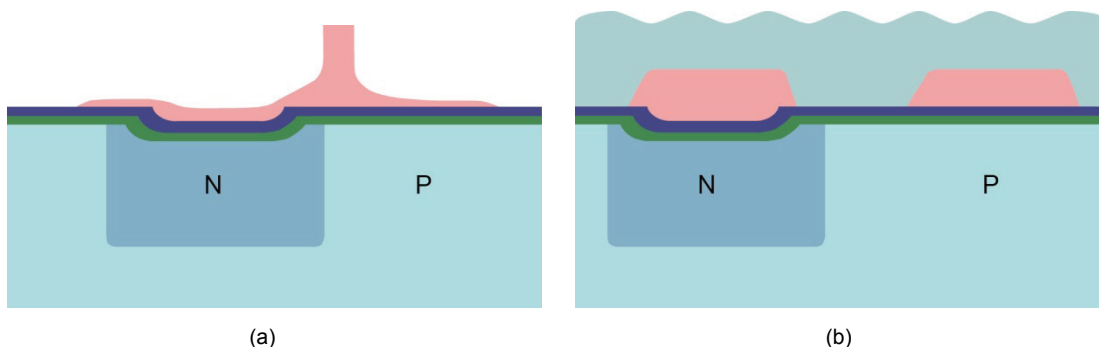
Agerian dagoen substratuaren zatian, ioi-ezarketa teknikaren bitartez,  $n$  motako atomoak sarraraziko dira,  $p$  motako eskualdean, eskualde hori  $n$  motakoa bihurtu arte (5.27 irudia). Silizio dioxidozko geruza mehe bat haziko da (berdez), gainazal osoan zehar, gero substratua babesteko. Ondoren, silizio nitrurozko geruza bat haziko da (urdinez), silizio dioxidozko geruza gehiago haz ez dadin (aurreko erreakzioa gelditzeko).



5.27 irudia. C-MOS transistorearen N eta P eskualdeak, silizio dioxido eta silizio nitruro geruzen pean.

#### 4. C-MOS transistoreetako ateen sorkuntza

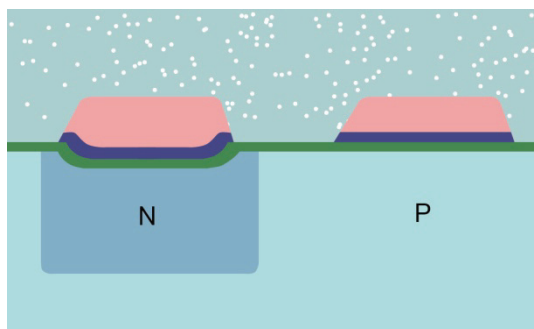
Erretxina fotopositiboa berriz ere maskara berria ezartzeko.



5.28 irudia. (a) Erretxina fotopositiboak substratuaren gainazala estaltzen du. (b) Fotolitografiari esker, eta dagokion maskara erabilia, argiztatu ostean disolbagarri bihurtu den aldea darama errebelatzaileak.

Bigarren aldia da fotolitografian erabiltzen dena. Fotolitografiarako erabiltzen diren maskarek —fotolitoek— oso zehatzak eta doiak izan behar dute; izan ere, lehenago esan bezala, olata batean hainbat dispositibo berdin gauzatzen direnez, maskaren arteko lerrokadura perfektua ezinbestekoa da.

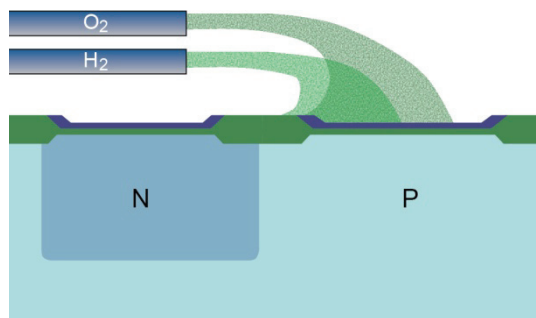
Plasma bidezko erauzketaren bidez —erauzketa lehorra—, silizio nitrurozko geruza erauzi egiten da. Plasma bidezko erauzketak hormak arras bertikalki erauzten ditu (5.29 irudia).



5.29 irudia. Erauzketa lehorra.

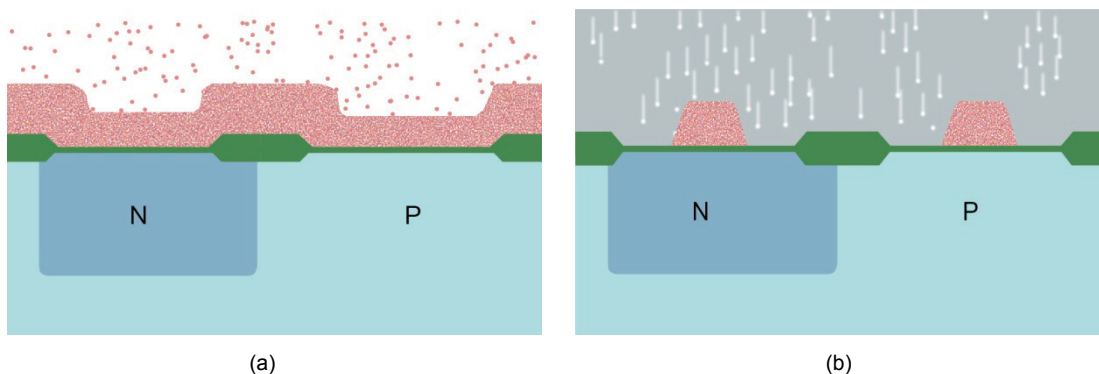
Beharrezkoa ez den erretxina fotopositibozko geruza erauzi eta gero, berriz ere sartzen da olata silizio-dioxidozko labean, silizio-nitruroa erauzi den tokietan silizio-dioxido geruza lodia haz dadin (*field oxide* edo eremuko oxidoa deitutakoa). Isolatze-geruza horrek azpiko geruzen eta gainazalaren artean sor daitekeen eremu elektrikoa txikitzen du, bai eta bi transistore osagarriak elektrikoki bereizi ere (5.30 irudia).





5.30 Irudia. Silizio dioxidozko geruza isolatzailea.

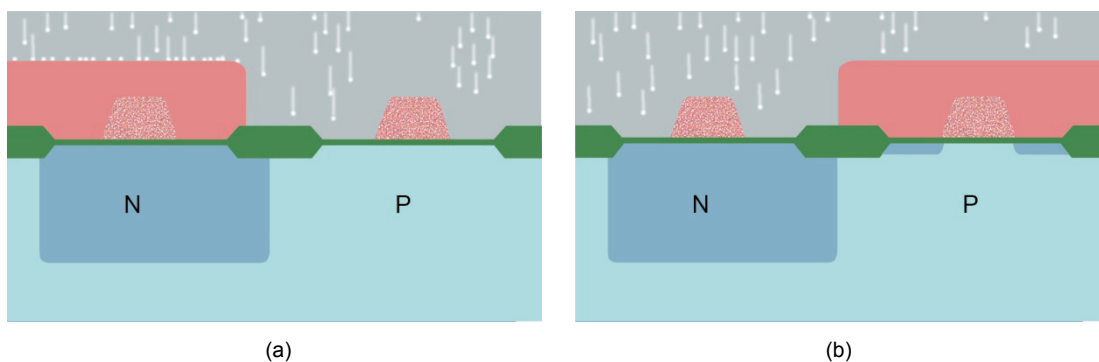
Gelditzen den silizio nitruro geruza erauzi egiten da, erauzketa hezearen bitartez. Ondoren, fosforo dopatutako polisiliziozko geruza bat ezarriko da, C-MOS gailuen atek gauzatzeko. Hirugarren maskara batek fotolitografia prozesuan nahi diren polisiliziozko eremuak (ateak) babestuko ditu, eta nahi ez diren polisiliziozko eremuak kimikoki erauziko.



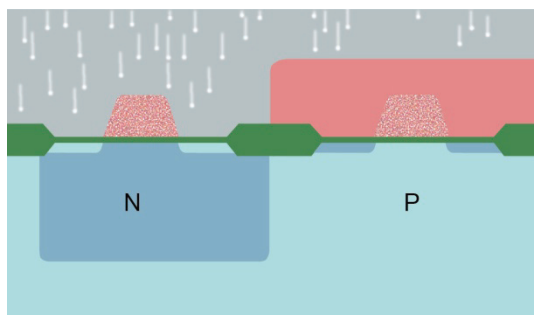
5.31 Irudia. (a) Polisilizio geruza substratuan zehar ezarria (arrosaz). (b) Fotolitografiaren eta erauzketaren bitartez nahi ez den polisilizioa erauzi egiten da.

### 5. C-MOS transistoreetako iturrien eta drainatzaileen sorkuntza.

Laugarren maskara batekin,  $n$  motako eskualdea babestuko da, eta,  $p$  motako eskualdean,  $n$  motako dopatzaileak sartuko dira,  $n$  kanaleko transistorea sortzeko. Bosgarren maskara batek  $n$  motako eskualdea babestuko du,  $n$  motako eskualdean  $p$  motako dopatzaileak sartzeko eta  $p$  kanaleko transistorea sortzeko.

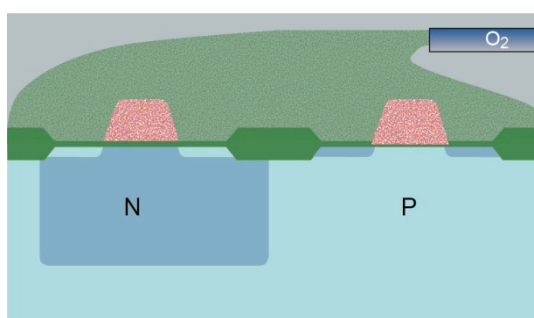


5.32 Irudia. (a)  $N$  eskualdea babestuta,  $p$  eskualdean  $n$  motako iturria eta drainatzailea gauzaten dira, dopaketaren bitartez. (b)  $P$  motako eskualdea babestuta,  $n$  motako eskualdea agerian uzten da.



5.33 irudia. P motako dopaketa, n motako eskualdean.

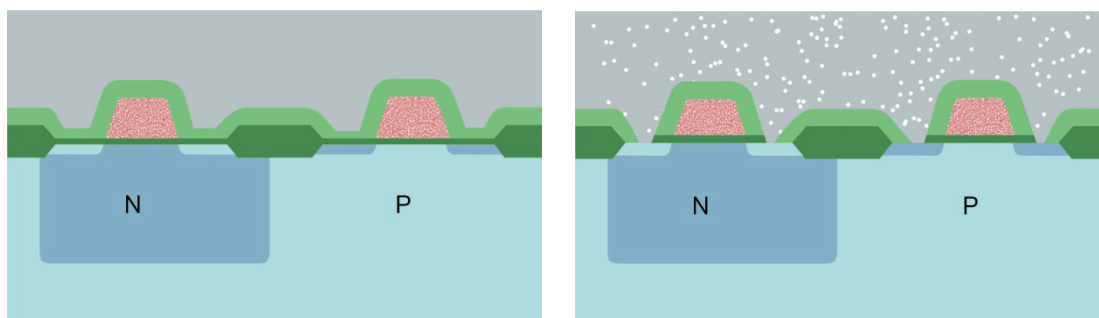
Transistore bakoitzeko iturria eta drainatzailea gauzatuta daude. Olatak, gero, oxidazio labe batera sartzen dira berriz ere, ioi-ezarketak sortutako gaitzak konpontzeko.



5.34 irudia. Beste oxidazio bat aurreko pausoetako gaitzak konpontzeko.

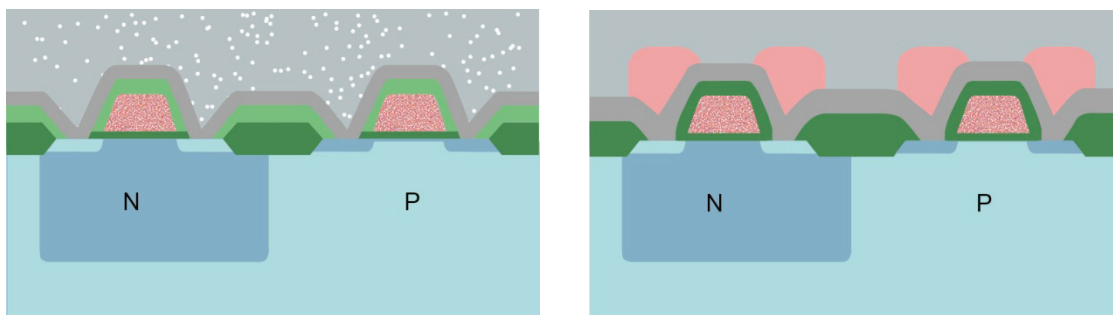
## 6. *Kontaktu elektrikoaren sorkuntza.*

C-MOS dispositiboaren atea, iturria eta drainatzailea gauzatuta daude, baina kontaktu metalikoak atxiki behar zaizkio, seinaleak kanpoaldeko zirkuituetarantz eroan nahi badira. Tenperatura baxutako labe batean, beira isolatzailezko geruza bat ezarriko zaio substratuari, babesteko (berde argiz). Dagokion fotolitografia- eta maskaratzeko prozesuaren ostean, erauzketa lehor batek kontaktu elektrikoak ezartzeko zuloak sortuko ditu, iturrietan eta drainatzaileetan.



5.35 irudia: (a) Beirazko geruza isolatzailea (berde argiz). (b) Erauzketa lehorrak iturria eta drainatzailea kontaktatzeko zuloak egiten ditu (maskaratzearen ostean).

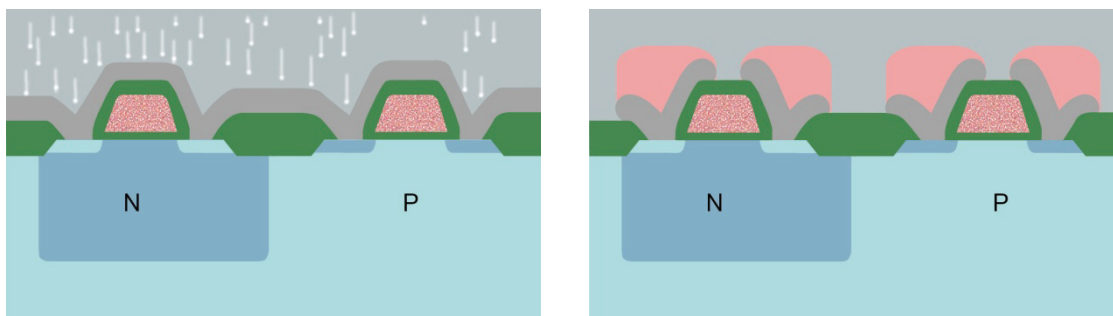
Siliziozko eta aluminiozko aleazio bat ezarriko da ondoren, kontaktu elektriko gisa. Ezarpena gainazal osoan egiten da. Fotolitografia-, maskaratzeko- eta erauzketa-prozesu bati esker, nahi ez den aleazioa erauzi egingo da (erauzketa lehorra zein hezea).



(a)

(b)

**5.36 Irudia:** (a) Siliziozko eta aluminiozko aleazioa substratuan gainjarrita. (b) Erauzketarako maskara.

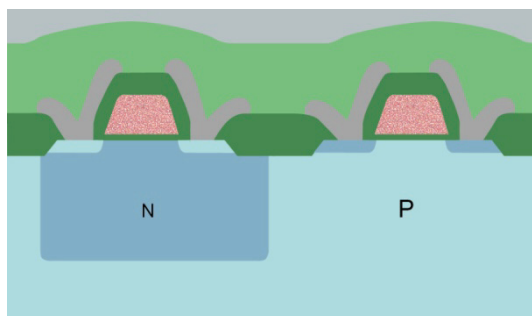


(a)

(b)

**5.37 Irudia:** (a) Aleazio-geruzaren erauzketa. (b) C-MOS egituraren bi transistoreen iturri eta drainatzaileetako kontaktu elektrikoak maskaratuak.

Tenperatura baxutan berriz ere, beira isolatzailezko geruza bat ezartzen da, aluminiozko (aluminio oxidozko) kontaktu hauskorrak babesteko.



**5.38 Irudia:** C-MOS egiturako bi transistoreak beiraz babestuta.

Azkeneko fotolitografia-prozesuan, hiru terminaleko goialdea soilik utziko da agerian, konexio elektrikoak kapsulatua baino lehen egin ahal izateko.



# 6 Kapsulak eta bero-irradiagailuak

Osagai elektroniko gehienak eta, batez ere, osagai erdieroale aktiboak eta zirkuitu integratuak kapsula egokietan muntatu behar dira, erabilgarriak izan daitezen. Kapsulak osagai elektronikoen babes fisikoa eta euskarri mekanikoak dira aldi berean. Are gehiago, kapsulek osagaiaren propietate termikoak ezartzen dituzte; hau da, potentzia elektrikoa bero moduan zein eratan xahutuko duten erabilitako kapsularen arabera da. Batzuetan, kapsulak beroa xahutzeko duen ahalmena ez da nahikoa izaten, eta osagai elektronikoek tenperatura altuegiak hartzeko arriskua dute. Horrelako kasuetan, beroa xahutzen laguntzeko irradiagailu metalikoak edo bero-xahutzaileak erabili beharra dago. Kapitulu honetan, kapsulez, bero-xahutzaileez eta osagaien ezaugarri termikoez arituko gara. Kapsulen teknologia etengabe berrituz doa, zirkuitu elektronikoen muntaketarako gero eta zorrotzagoak diren eskakizunak betetzeko. Merkatuan diren kapsula mota guztien deskribapena lan entziklopedikoa litzateke, eta ez da kapitulu honen helburua, baina baliogarria da gaur egun diren kapsulen eta bero xahutzaileen ikuspegi orokorra izateko, bai eta osagaien parametro termikoekin oinarritzko kalkulu egokiak nola egin behar diren ikasteko ere.

## 6.1 Kapsulak

Kapsulak osagai elektronikoen babes fisikoa eta euskarri mekanikoa dira aldi berean. Are gehiago, kapsulek osagaiaren propietate termikoak ezartzen dituzte. Gaur egun, kapsulen diseinu eta fabrikazioa faktore kritikoak dira osagai elektronikoen kostu eta funtzionamendurako. Merkatuan den kapsula-moten kopurua izugarria da, eta, sistema eta gailu elektronikoen dentsitate funtzionala handitu ahala, kapsula berrien beharra dago. Edonola ere, badaude ezaugarri nagusi komunak dituzten kapsula multzoak, kapsulen sailkapen bat egiteko baliogarriak direnak. Kapsulen ezaugarri nagusiak honako hauek dira: materiala, tamaina eta forma, hankatxo kopurua eta muntaketa mekanikoa (soldaketa mota).

### 6.1.1 Kapsulen sailkapena

- Kapsulatutako osagai-kopuruaren arabera:
  - Osagai diskretuetarako (osagai bakarra)
  - Zirkuitu integratuetarako
- Materialaren arabera:
  - Beirazkoak
  - Metalezkoak
  - Zeramikazkoak
  - Plastikozkoak
- Muntaketa mekanikoa:
  - Zulo zeharkakoak edo THD (*Through Hole Device*)
  - Gainazaleko muntaketarako edo SMD (*Surface Mount Device*)
  - Kontaktu gabekoak (*contactless*)
- Xahutu beharreko potentzia
  - Potentzia handia
  - Potentzia txikia



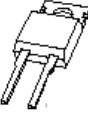


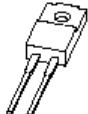

Erabilitako materiala potentziarekin zuzenki erlazionatuta dago. Potentzia txiki eta ertainetarako plastikoak erabiltzen dira, eta potentzia ertain/handietarako zeramikak eta metalak. Tamaina potentziarekin ere erlazionatuta dago, osagai diskretuen kasuan, potentzia handiko osagaiak handiagoak baitira, eta, bero handiagoa xahutzeko ere, kapsula handiak egokiagoak dira. Zirkuitu integratuen kasuan, kontaktu-hankatxoen kopuruak baldintzatzen du gehienetan kapsularen tamaina. Bestalde, SMD muntaketarako kapsulak oso txikiak dira, THD kapsulen aldean. Gaur egun, THD muntaketak gero eta urriagoak dira produktu komertzialetan, eta oso zirkuitu sinpleak edo laborategiko prototipoak egiteko baino ez dira erabiltzen. Kapsulen diseinu eta fabrikazioak estandar desberdinek ezarritako arauak betetzen dituzte, hala nola IEC (*International Electrotechnical Commission*) edo JEDEC (*Joint Electron Device Engineering Council, USA*)

### 6.1.2 Osagai diskretuen kapsulak

Osagai diskretuak kapsulatzeko, diseinu anitz dago. Lehenengo eta behin, THD edo SMD muntaketarako nahi ditugun erabaki behar dugu, eta, ondoren, kapsula, fabrikatzaileek emandako aukeren artean, hautatu. Ikus ditzagun adibide batzuk.

#### ***Diodoak***

Beirazkoak, plastikozkoak eta zeramikazkoak, bai THD eta bai SMD muntaketarako. Adibide batzuk (ikus 6.1 irudia):

OUTLINE	DESCRIPTION	3D VIEW (not to scale)
SOD27	Hermetically sealed glass package; axial leaded; 2 leads	
SOD57	Hermetically sealed glass package; axial leaded; 2 leads	
SOD59	Plastic single-ended package; heatsink mounted; 1 mounting hole; 2-lead TO-220	
SOD91	Hermetically sealed glass package; Implotec™(1) technology; axial leaded; 2 leads	
SOD95	Plastic single-ended package; 2-lead low-profile TO-220	
SOD100	Plastic single-ended package; isolated heatsink mounted; 1 mounting hole; 2-lead TO-220F exposed tabs	
SOD106	Transfer-moulded thermo-setting plastic small rectangular surface mounted package; 2 connectors	

**6.1 Irudia:** Diodoak muntatzeko erabiltzen diren kapsula batzuk. *Information courtesy of Philips Semiconductors.*


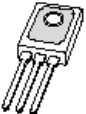
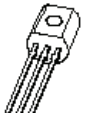

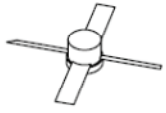
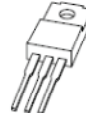

### **Transistoreak**

Kapsulen materiala eta tamaina xahutu beharko den potentziaren arabera dira: plastikoa merkea da, baina ez du beroa ondo xahutzen (TO-18, TO-39, TO-92, SOT-23, SOT-32 ...); potentzia ertainetarako, metalezko xaflak jartzen dira, irradiagailuak finkatzeko (TO-220, TO-218, TO-247 ...); potentzia handietarako, metalezko kapsula handiak erabili behar dira (TO-3, TO-66, TO-123 ...).

**TO:** *Transistor Outline*

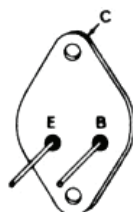
**SOT:** Small Outline Transistor

Kontuan izan behar da transistore desberdinak kapsula berdinekin merkaturatzen direla, eta hankatxoaren identifikazioa ez dela zertan berdina izan nahiz eta kapsula berdina erabili.

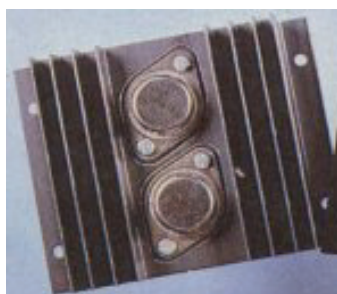
SOT23	Plastic surface mounted package; 3 leads	
SOT32	Plastic single-ended leaded (through hole) package; mountable to heatsink, 1 mounting hole; 3 leads	
SOT54	Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads	
SOT54 variant	Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads (on-circle)	
SOT172D	Studless ceramic package; 4 leads	
SOT186	Plastic single-ended package; isolated heatsink mounted; 1 mounting hole; 3 lead TO-220 exposed tabs	
SOT186A	Plastic single-ended package; isolated heatsink mounted; 1 mounting hole; 3 lead TO-220	

**6.2 Irudia:** Transistoreak muntatzeko erabiltzen diren kapsula batzuk. *Information courtesy of Philips Semiconductors.*

**TO-3 kapsula:** Potentzia handiko transistoreetan erabiltzen da. Eskuarki, irradiagailu bati akoplatua erabiltzen da. Kolektorearen kontaktua gorputza metalikoa izaten da, eta, horren ondorioz, mikazko isolatzaileak erabili behar dira muntaketarako (ikus 6.2.5. atala).



(a)

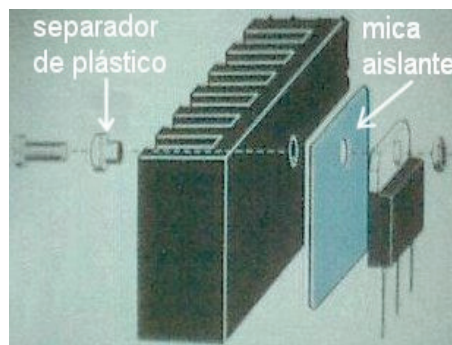
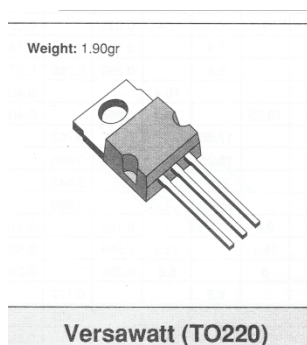


(b)

**6.3 Irudia:** TO-3 kapsularen azpialdeko irudia (a), eta TO-3 kapsula bi irradiagailu estrusionatu baten muntatuak.

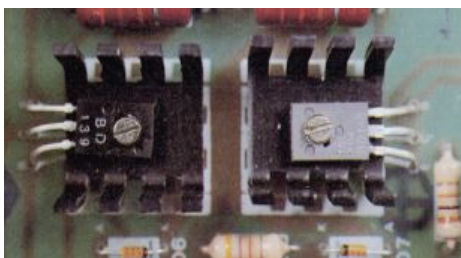
**TO-220 kapsula (SOT-226):** Potentzia ertaineko transistoretarako (tentsio erreguladoreak eta potentzia txikiko tiristore eta triacenzat ere bai). Sarritan irradiagailuetan akoplatuak.





6.4 Irudia: TO-220 kapsula.

**TO-126 kapsula (SOT-32):** Potentzia txikiko transistoreetarako. Gehienetan ez da irradiagailurik erabiltzen, baina akopla dakioke (ikus 6.5 irudia).



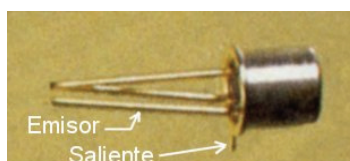
6.5 Irudia: TO-126 kapsula bi irradiagailu txikietan horizontalki muntatuak.

**TO-92 kapsula (SOT-54):** Seinale txikiko transistoreetan askotan erabilia.



6.6 Irudia: TO-92 plastikozko kapsula txikiak.

**TO-18 kapsula:** Seinale txikiko transistoreetan erabilia. Karkasa metalikoa dute, irten txiki batekin, emisorearen kontaktu-terminala zein den adierazteko.



6.7 Irudia: TO-18 metalezko kapsula.

### 6.1.3 Zirkuitu integratuen kapsulak

Zirkuitu elektronikoak lehenengoz txip bakarrean integratu zirenetik, osagai-dentsitatea 18 hiletik behin, bikoiztu egin da (Moore-n legea). Gaur egun,  $10^7$  transistore baino gehiago integratzen dira txip bakarrean. Horren ondorioz, ZI-en kapsulen diseinu eta fabrikazioak gero eta garrantzi handiagoa du, eta etengabe berritzen ari da, bai propietate termiko hobek izateko, bai azalera handiagoak hartzeko, bai eta kontaktu-kabilen (*pin*)-kopurua handitzeko ere. Gaur egun, 30etik gorako ZI kapsula-mota dago, bakoitza bertsio desberdinekin (ikus irudia).

Kapsulek kontaktu-kabilen kopuru desberdinak izan ditzakete, kapsula motaren arabera. Pin edo hankatxo-mota desberdinak ere badaude: daratulu-zuloetan sartzekoak, gainazaleko muntaketarako, zokaloetan sartzekoak, etab. Bestalde, garrantzitsua da pin arteko distantziak edo neurri-pausoak ezagutzera, zirkuituaren muntaketa eta soldadurarako. Kapsula mota guztiek badituzte neurri-pauso normalizatuak: 0,1", 0,05" etab.

6.8 irudiak ZI-en kapsulen eboluzioaren joera erakusten du. Kapsulak gero eta txikiagoak dira, zirkuitu integratuen miniaturizazioaren ondorioz. Pin edo hankatxo kopurua gero eta handiagoa da, integrazio-mailaren hazkuntzak sarrera/irteerako seinale kopuru handiagoa eskatzen baitu. Hasieran, kapsula gehienak THD (daratulu-zuloetan sartu eta soldatzekoak) baziren ere, gaur egun, SMD (zirkuitu inprimatuen gainazalean itsastekoak) kapsulak dira ohikoena.

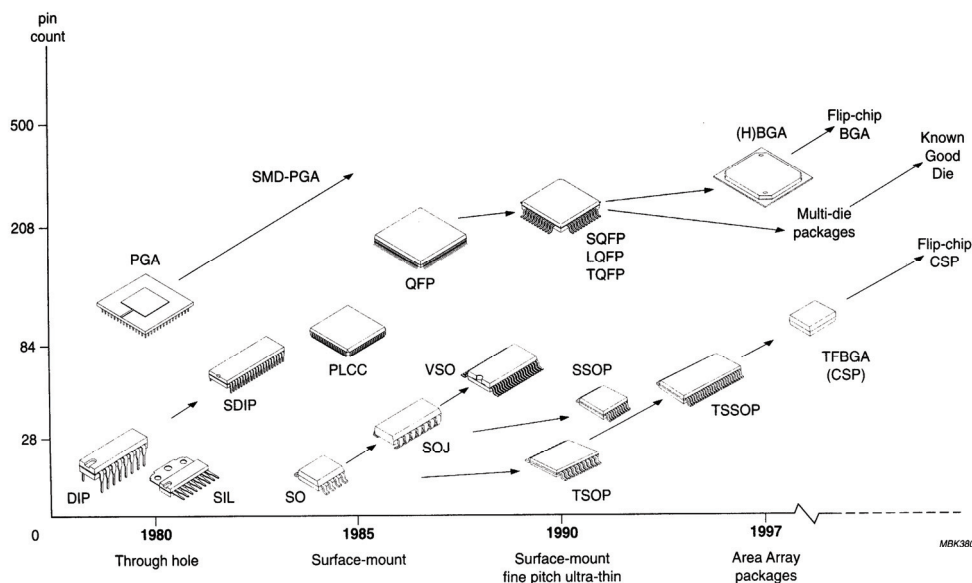
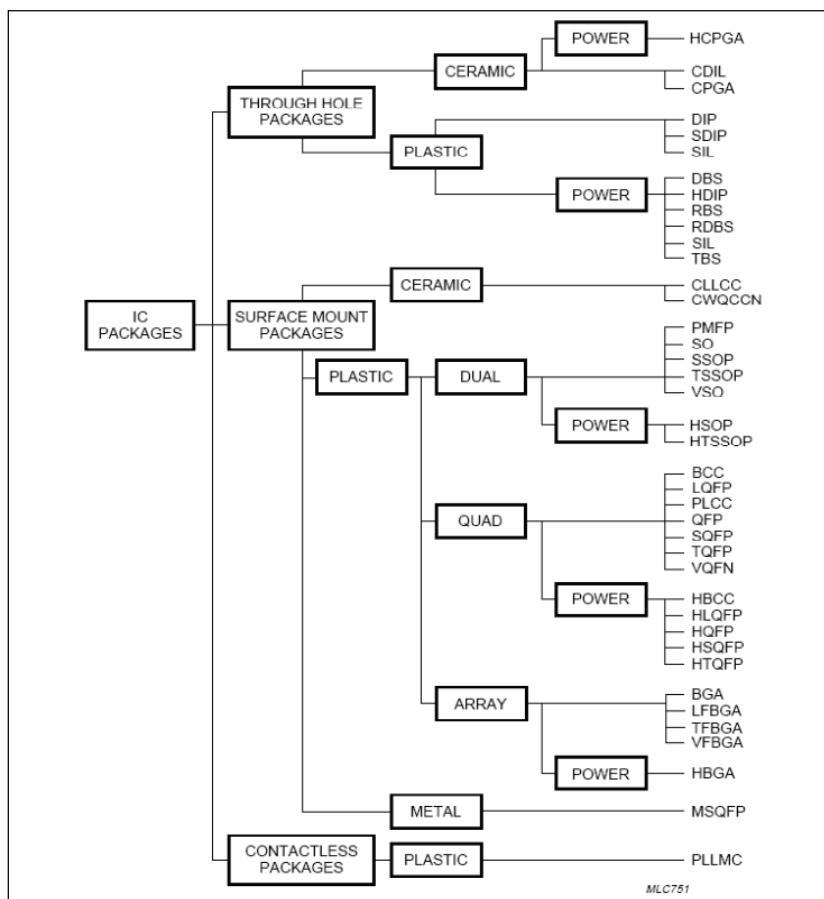


Fig.1 Worldwide IC package trends.

**6.8 Irudia:** Zirkuitu integratuak muntat<sup>eko</sup> erabili izan diren eta erabiltzen ari diren kapsulak. Information courtesy of Philips Semiconductors.

Ondorengo irudietan, Philips etxearen zirkuitu integratuen kapsulen sailkapena azter dezakegu. Lehen mailako sailkapena dagokien muntaketaren arabera da (THD edo *Through Hole*, SMD edo *Surface Mount*) eta kontaktu gabekoak. Bigarren mailan, materialaren arabera sailkatzen ditu: zeramikoak, plastikozkoak edo metalikoak. Azkenik, hankatxoek nolako banaketa (*dual, quad, array*) duten eta potentziazkoak diren ala ez adierazita dago. 6.9 eta 6.10 irudietan, kapsula batzuen benetako itxura ikus daiteke.



6.9 Iru dia: ZI kapsulen sailkapena. Information courtesy of Philips Semiconductors.

### **Ikurren esanahia:**

**BGA:** Ball Grid Array

**CDIL:** Ceramic Dual Inline Package (metalezko zigilua)

**CDIP:** Ceramic Dual Inline Package (metalezko zigilua)

**CLCC:** Ceramic Leaded Chip Carrier

**CLLCC:** Ceramic LeadLess Chip Carrier

**CPGA:** Ceramic Pin Grid Array

**CQFP:** Ceramic Quad Flat Package

**CSO:** Ceramic Small Outline package

**DBS:** plastic DIL-bent SIL power package

**DIP:** plastic Dual Inline Package

**HDIP:** plastic Heat-dissipating Dual Inline Package

**HLQFP:** plastic Heat-dissipating Low profile Quad Flat Package

**HSOP:** Heat-dissipating Small Outline Package

**HSQFP:** Heatsink Sink Quad Flat Package

**LFBGA:** Low Profile Fine pitch Grid Array

**LQFP:** plastic Low profile Quad Flat Package

**PLCC:** Plastic Leaded Chip Carrier

**PMFP:** Plastic Micro Flat Package

**QFP:** plastic Quad Flat Package

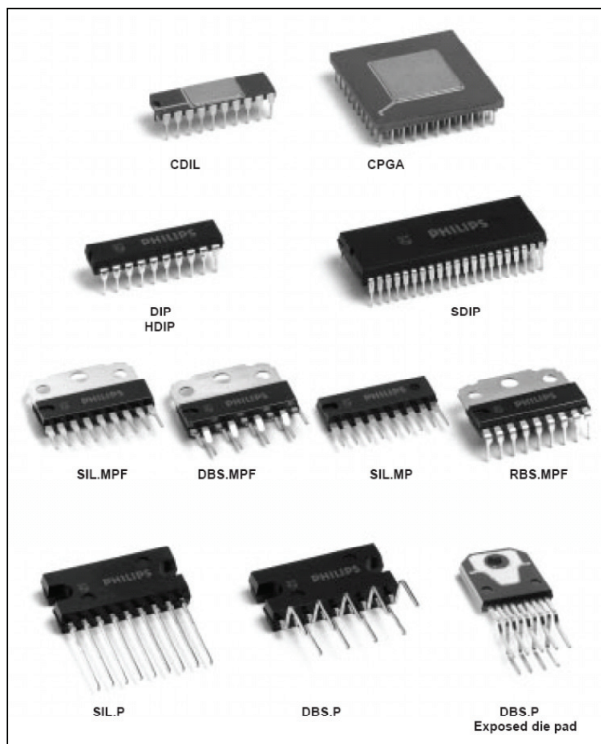
**RBS:** plastic Rectangular-Bent Single in-line

**RDBS:** plastic Rectangular-DIL-Bent-SIL (reberse bent)

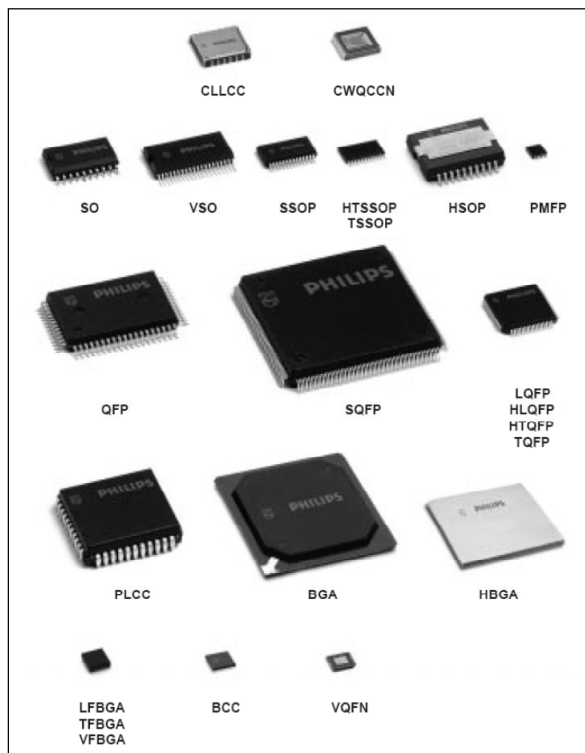
**SDIP:** plastik Shrink Dual In-line Package

**SIL:** plastic Single In-Line

**SO:** plastic Small Outline package  
**SQFP:** plastic Shrink Quad Flat Package  
**SSOP:** plastic Shrink Small Outline Package  
**TQFP:** plastic Thin Quad Flat Package  
**TSSOP:** plastic Thin Shrink Small Outline Package  
**VSO:** plastic Very Small Outline package



6.10 irudia Information courtesy of Philips Semiconductors.



6.11 irudia Information courtesy of Philips Semiconductors.

## 6.2 Bero-irradiagailuak

Osagai elektronikoek bero moduan kanporatzen dute xahututako potentzia elektrikoa. Osagaiaren barnealdean sortzen da beroa (osagaiaren siliziozko "junturatan", osagai aktiboaren kasuan), eta bero hori kanporantz, hau da, osagaia inguratzen duen ingurunerantz (inguruneko airea eskuarki), hedatzen da. Osagai guztiek lan-tenperatura maximo bat daukate definituta, osagaia matxuratuta gertatu ez dadin gainditu behar ez dena. Osagaia gai bada bere barruan sortzen den beroa kanporantz modu eraginkorrean bideratzen, gai izango da junturako tenperatura maila egokian mantentzeko. Beroa xahutzeko gaitasuna osagaiaren kapsulak ezartzen du, eta, ikusi dugunez, kapsulen tamaina eta materialak helburu hori betetzeko aukeratzen dira, hein handi batean.

Baina gerta daiteke kapsularen gaitasuna beroa kanporatzeko nahikoa ez izatea osagaiaren tenperatura maila egokian mantentzeko emandako lan-baldintzetarako, hau da, osagaiak xahutu beharko duen potentzia eta lan egin behar dueneko ingurune-tenperaturarako. Kasu horietan, posiblea da osagaiaren bero xahutze-ahalmena hobetzea osagaia bero-irradiagailu batekin batera muntatzen badugu. Garrantzitsua da, beraz, emandako lan-baldintza jakinerako osagai eta zirkuitu integratu elektronikoaren junturako tenperaturak kalkulatzeko jakitea eta, behar izanez gero, beroa modu eraginkorragoan kanporatzen lagunduko dien irradiagailu egokia aukeratzen ikastea ere.

### 6.2.1 Bero-transmisioa eta erresistentzia termikoa

Beroa tenperatura desberdineko gainazalen artean gertatzen da, beroago dauden gainazaletatik hotzago dauden gainazaletarantz. Beroaren transmisioak hiru hedabideri jarraitzen die:

#### ***Irradiazioa:***

0°K-tik gorako tenperatura duen edozein gorputzek beroa uhin elektromagnetikoak igorriaz *irradiatzen* du. Gorputza zenbat eta beroago izan, orduan eta irradiazio handiagoa igorriko du. Irradiazio handiena espektro infragorrian igortzen da, baina, tenperatura nahikoa altua bada, eta materialaren arabera, ikusgai ere igor daiteke (goritasuna).

#### ***Konbekzioa:***

Gorputz solidoak, fluido hotzago batez inguratuta daudenean (airea, ura, olio eta abar), beroa gorputz solidotik inguruneko fluidoetara transmititzen dute. Fluidoaren dentsitatea tenperaturarekin aldatzen denez, fluidoetan, *konbekzio-mugimenduak* sortzen dira, eta, hala, solidoaren beroa kanporatzen laguntzen dute. Fluidoaren konbekzioa berezkoa edo *naturala* izan daiteke, aipatutako dentsitate-aldaketan ondorioz, baina *bortxatua* ere izan daiteke, haizagailu edo ur-ponpa batek eraginda, adibidez.

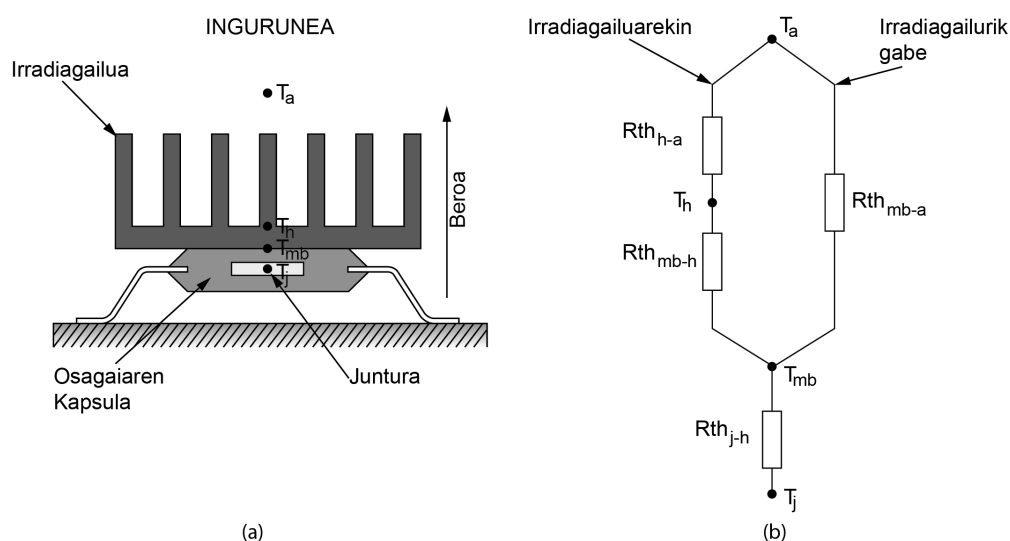
#### ***Kondukzioa:***

Beroak tenperatura baxuagoko eremuetatik tenperatura altuagoko eremuetara hedatzeko joera naturala du. Joera horri jarraituz, gorputz solidoen barnean gertatzen den bero-transmisioari *kondukzioa* deritzen. Kondukzioa are indartsuagoa da puntu beroaren eta puntu hotzaren arteko tenperatura-aldea handiagoa denean. Gorputz eta gorputz-sistema batzuek beroa kondukzioz hedatzeko erraztasun handiagoa dute beste batzuek baino. Bero-fluxuaren hedapenaren aurka sistema batek duen faktore multzo isolatzaileari *erresistentzia termikoa* ( $R_{th}$ ) deritzen. Guk honela diogu: beroa kondukzioz transmititzeko erraztasun handia duten sistemek erresistentzia termiko txikia dutela, eta, alderantziz, beroa transmititzeko zailtasuna dituztenek erresistentzia termiko handia dutela. Erresistentzia termikoa neurtu egin daiteke. Osagai elektronikoaren kasuan, haren balioa °C/W edo °K/W-etan adierazten da. Erresistentzia termikoaren balioak dioskuna, beraz, zera da: xahututako potentzia elektriko unitate bakoitzeko (Watt) zenbat gradutan handituko den osagaiaren tenperatura. Balio hori txikia bada, horrek esan nahi du

osagaiak erraztasunez kanporatzen duela beroa, eta bere tenperatura maila egokian mantentzeko gaitasun hobea duela.

## 6.2.2 Osagai erdieroaleen zirkuitu termikoa

Osagai erdieroaleetan, beroa siliziozko kristal-junturetan sortzen da, eta horixe da sistemaren punturik beroena eta bero-iturria. Beroa kapsulara hedatuko da, kapsula-hondoa eta silizioaren arteko kontaktu-gainazalean zehar. Ondoren, beroa kapsularen gainazalera hedatuko da, eta, hortik aurrera, bi egoera izan ditzakegu: bero-irradiagailurik ez badago, beroa zuzenean inguruneko airera transmitituko da. Kapsula bero-irradiagailu batekin muntatu bada, orduan, bero gehiena kapsulatik bero xahutzailerara transmitituko, da eta, azkenik, bero-xahutzailetik, inguruneko airera (ikus 6.12.a irudia).



**6.12 Irudia:** (a) SMD kapsula bat erradiadorearekin muntatuta beroga hobea xahutzeko. Beroa puntu beroenetik (juntura) puntu hotzenarantzko (ingurunea) bidea egiten du. (b) Zirkuitu termikoa erakusten du, beroaren ibilbidea erakutsiz.

Osagai erdieroaleen ezaugarri termikoekin aritzeko eta kalkulu egokiak egin ahal izateko, zirkuitu elektrikoaren itxura duen zirkuitu termikoa erabiliko dugu. Hor, beroak juntura erdieroaleetatik hasita (punturik beroena) eta inguruneko airera heldu arte (punturik hotzena) egiten duen ibilbidea adierazita dago. Ibilbide horretan, beroak (korrante elektrikoaren antzera) gaintitu behar dituen juntura edo interfazeen erresistentzia termikoak (erresistentzia elektrikoaren antzera) ere adierazten dira, eta, erresistentzia termikoen mutur bakoitzean, osagaien tenperaturak (tentsio edo potentzialen antzera) adierazten dira. Zirkuituaren energia-iturria (korrante-sorgailua) osagaiak xahututako potentzia osoa sortzen duen sorgailu termikoa da (ikus 6.12.b Irudia).

$T_j$  : Junturako tenperatura

$T_{mb}$  : Kapsula-hondoko tenperatura

$T_{case}$  : Kapsulako tenperatura

$T_h$  : Irradiagailuko tenperatura

$T_{amb}$  : Ingurune-tenperatura

$T_{stg}$  : Biltegitratze-tenperatura

$R_{thj-mb}$  : Junturaren eta kapsula-hondoaren arteko erresistentzia termikoa

$R_{thmb-h}$  : Kapsula-hondoaren eta bero-xahutzaileraren arteko erresistentzia termikoa

$R_{thh-a}$  : Bero-xahutzaileraren eta ingurunearen arteko erresistentzia termikoa

6.1(b) irudiko zirkuituari begira, eta baliokidetasun elektrikoari jarraituz, parametro termikoekin kalkuluak egiteko baliogarriak zaizkigun funtsezko bi lege idatz daitezke:

### **Kirchoffen lege termikoa:**

Puntu beroenaren eta puntu hotzenaren arteko temperatura-aldea tarteko puntu guztien temperatura-aldeen batuketa da, eta sistemaren erresistentzia termiko osoaren balioa erresistentzia termiko partzialen batuketa da.

$$(T_j - T_a) = (T_j - T_{mb}) + (T_{mb} - T_h) + (T_h - T_a) \quad (6.1)$$

$$R_{thj-a} = R_{thj-mb} + R_{thmb-h} + R_{thh-a} \quad (6.2)$$

### **Ohmen lege termikoa**

Osagaiaren junturaren eta ingurune-tenperaturaren arteko aldearen balioa osagaia xahutzen ari den potentzia osoa eta haren erresistentzia termiko osoaren arteko biderkaduraren berdina da:

$$T_j - T_a = P_{tot} \times R_{thj-a} \quad (6.3)$$

Bero-xahutzailerik ez badago:

$$T_j - T_a = P_{tot}(R_{thj-mb} + R_{thmb-h} + R_{thh-a}) \quad (6.4)$$

Eta bero-xahutzailea erabili badugu:

$$T_j - T_a = P_{tot}(R_{thj-mb} + R_{thmb-a}) \quad (6.5)$$

(6.3) adierazpena sistema termikoaren edozein x junturatarako orokortu daiteke:

$$T_x - T_a = P_{tot} \times R_{thx-a} \quad (6.6)$$

Ohmen lege termikoaz baliatuz, eta osagaien ezaugarri-orrietan aurkituko ditugun parametro termikoak hartuta, erraz kalkulatu dugu zenbat potentzia xahutu dezakegun, emandako lan-baldintzetan, osagaiaren junturaren temperatura-maximoa gainditu gabe. Adibidez, demagun TO-220 (SOT78) kapsularekin fabrikatu den potentziazko MOSFET baten junturako lan-tenperatura maximoa  $T_j=175^\circ\text{C}$  dela. Osagaiaren ezaugarri-orrian aurkituko dugun ezaugarri termikoen taulan begiratuta (6.1 Taula),  $R_{thj-mb}=0,9 \text{ }^\circ\text{K/W}$  eta  $R_{thj-a}=60 \text{ }^\circ\text{K/W}$  direla irakur dezakegu.

Table 4: Thermal characteristics						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$R_{th(j-mb)}$	thermal resistance from junction to mounting base	Figure 4	-	-	0.9	K/W
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient					
	SOT78	vertical in still air	-	60	-	K/W
	SOT404	SOT404 minimum footprint, mounted on a PCB	-	50	-	K/W

6.1 Taula: MOSFET baten ezaugarri termikoak.

Gure ustez MOSFETak lan egin beharko dueneko ingurunekeko tenperatura  $35^\circ\text{C}$ -ra hel daiteke. Baldintza horietan MOSFETak xahutu dezakeen potentzia maximoa:

$$T_j - T_a = P_{tot} \times R_{thj-a} \rightarrow 175^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C} = P_{tot} \times 60^\circ\text{C}/\text{W} \rightarrow P_{tot} = 2,3\text{W} \quad (6.7)$$

Eta ezaugarri orrietan begiratuta (6.2 Taula),  $P_{tot\ max} = 149\text{ W}$  dela dio! Nola da posible hori? Gure lan-baldintzetan, zergatik dugu horren potentzia txikia xahutzeko gaitasuna? Gertuago begiratzen badiogu ezaugarri-orrietan agertzen den balio maximoen taulari, ikusiko dugu aipatuko potentziaren balioa  $T_{mb} = 25^\circ\text{C}$  baldintzarako adierazita dagoela.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Max	Unit
$V_{DS}$	drain-source voltage (DC)	$25^\circ\text{C} \leq T_j \leq 175^\circ\text{C}$	-	60	V
$I_D$	drain current (DC)	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}; V_{GS} = 10\text{ V}$	-	73	A
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$	-	149	W
$T_j$	junction temperature		-	175	$^\circ\text{C}$
$R_{DSon}$	drain-source on-state resistance	$T_j = 25^\circ\text{C}; V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 25\text{ A}$	12	14	$\text{m}\Omega$

6.2 taula: MOSFETaren potentzia- eta temperatura-mugak.

Zein da, ordea, gure lan-baldintzetan izango dugun kapsula-hondoko temperatura?

$$T_{mb} - T_a = P_{tot} \times R_{th(mb-a)} = P_{tot} \times (R_{th(j-a)} - R_{th(j-mb)}) = 2,3\text{W} \times 59,1^\circ\text{C}/\text{W} = 137,9^\circ\text{C} \quad (6.8)$$

Askoz ere handiagoa! Kapsularen temperatura txikitu nahiko bagenu gure lan-baldintzetan potentzia gehiago xahutzeko gaitasuna izateko, bero-irradiagailu bat erabili behar genuke erresistentzia termiko osoaren balioa txikitzeko. Demagun 15 W xahutu behar dituela gure MOSFETak. Junturako temperatura maximoa ez gaintzeko jarri behar genukeen irradiagailuaren erresistentzia termiko maximo onargarria honako hau litzateke:

$$P_{tot} = \frac{T_j - T_a}{R_{thj-a}} \rightarrow R_{thj-a} = \frac{140^\circ\text{C}}{20\text{W}} = 7^\circ\text{C}/\text{W} \quad (6.9)$$

$$R_{thj-a} = R_{thj-mb} + R_{thmb-h} + R_{thh-a} \rightarrow R_{thh-a} = 7^\circ\text{C}/\text{W} - 0,9^\circ\text{C}/\text{W} - R_{thmb-h}$$

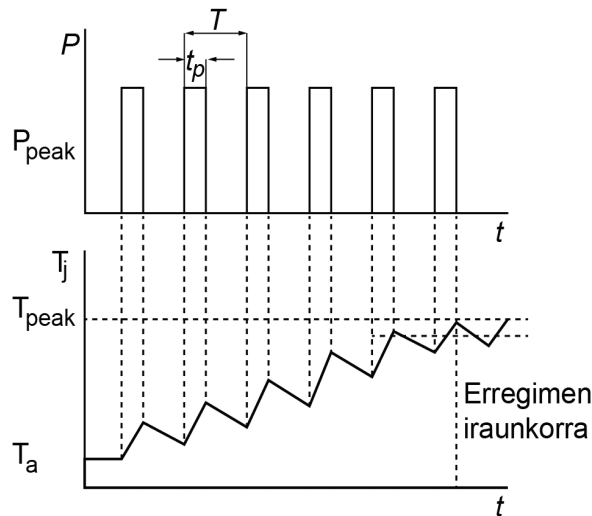
Kalkulua egiteko falta zaigun datua SOT78 kapsulak (JEDEC TO-220) irradiagailu batekin muntatzerakoan izango duen kapsularen eta irradiagailuaren arteko erresistentzia termikoaren balioa da. Aurrerago ikusiko dugunez, irradiagailua nola muntatuko denaren arabera da balio hori, baina tauletan aurkitu ditzakegu erresistentzia termikoen balio hurbilduak kapsula mota desberdinetarako (ikus aurrerago 6.3 Taula). SOT78 kapsularako, balio hurbildu maximoa  $1,3^\circ\text{C}/\text{W}$  da; beraz, jarriko dugun irradiagailuaren erresistentzia termiko maximoa  $R_{thh-a} = 4,8^\circ\text{C}/\text{W}$  litzateke (hobe balio txikiagoa badu).

### 6.2.3 Inpedantzia termikoa

Erresistentzia termikoa kontzeptu baliogarria da seinale zuzenerako, osagaiak modu jarraituan eta etengabe potentzia xahutzen ari denean. Osagaiak potentzia modu diskretuan edo kommutatuan xahutzen duenean —hau da, pultsuetan (adibidez, ohikoa da diodo edo transistore bat seinalea kommutatzeko erabiltzea)—, erresistentzia termikoa ez da parametro egokia kalkulu termikoak egiteko. Erraz ulertzen da osagaiak pixka bat hozteko astia izango duela potentzia xahutzen aritzen ez den denbora-tarteetan. Horren ondorioz, baldintza termiko berdinetarako, osagaiak xahutu dezakeen potentzia zuzen osoa ( $P_{tot}$ ) baino muturreko potentzia ( $P_{peak}$ ) handiagoa xahutzeko gai izango da, temperatura-balio maximoa gaintitu gabe (6.13



Irudia). Seinaleak etenak direnean, beraz, beharrezkoa da kalkulu termikoak egiteko erresistentzia termikoa kontzeptua orokortzea: *inpedantzia termikoa* ( $Z_{thj-mb}$ ), hain zuzen ere.

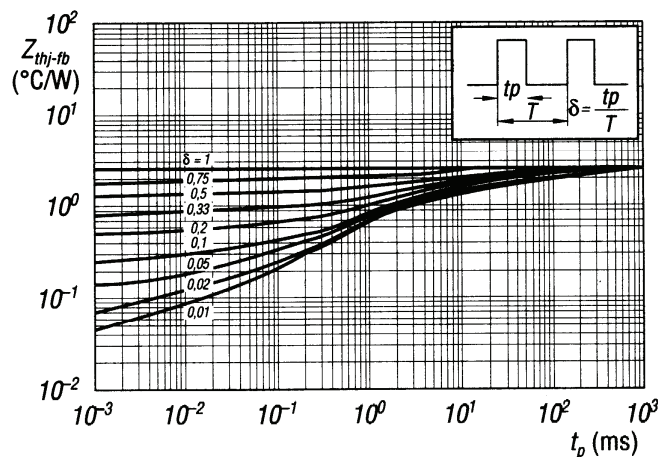


**6.13 Irudia:** Seinale etenarako tenperatura ez da konstantea, eta inpedantzia termikoaren kontzeptua behar da kalkulu termikoak egiteko.

Inpedantzia termikoaren balioa seinale etenaren pulsu-zabalera ( $t_p$ ) eta periodoaren ( $T$ ) mendekoa da, hau da, seinalearen lan-zikloaren ( $\delta$ ) mendekoa. Emandako seinale etenari dagokion osagaien inpedantzia termikoaren balioa jakinez gero, Ohmen lege termikoa aplikatu dezakegu hemen ere:

$$T_{j_{\max}} - T_{mb} = P_{\text{peak}} \times Z_{thj-mb} \quad (6.10)$$

Emandako  $T$  periodoko seinale etenerako, zenbat eta lan-ziklo zabalagoa izan, inpedantzia termikoaren balioa handiagoa izango da (gogoratu lan-zikloa  $\delta = t_p/T$  dela). Lan-ziklo konstanterako, zenbat eta pulsu-zabalera handiagoa izan, inpedantzia termikoaren balio handiagoa ere izango dugu. Limitean,  $t_p = T$  denean (hau da,  $\delta = 1$  denean), inpedantzia termikoak hartzen duen balioa erresistentzia termikoaren balioa da ( $Z_{thj-mb} = R_{thj-mb}$ ). Berdintasun hori ez da harrigarria,  $\delta = 1$  lan-zikloa duen seinale etena seinala zuzena baita! Fabrikatzaileek 6.4 irudian ikus daitekeen grafikoaren modukoa jartzen dituzte osagaien ezaugarri-orrietan, inpedantzia termikoaren balioa lan-baldintzen arabera grafikoki kalkulatu ahal izateko (batez ere, konmutazioarako fabrikatzen diren osagaien ezaugarri-orrietan).



**6.14 Irudia:** Potentziazko MOSFET baten inpedantzia termikoko kurbak.



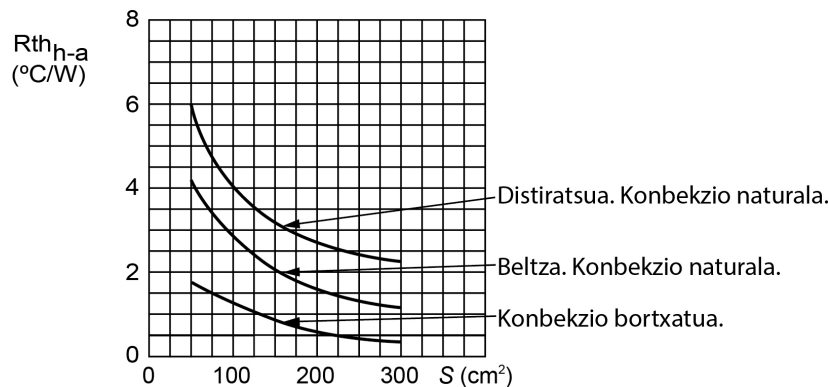
Materialaren eroankortasun termikoa ( $\sigma$ ) eta lodiera ( $l$ ) ezagututa, erraz kalkula dezakegu beharrezkoa den irradiagailuaren azalera ( $A$ ), emandako erresistentzia termikoa lortzeko. Muntatze bertikalerako:

$$A = 1 / (R_{thh-a} \cdot \sigma) \quad (6.12)$$

Muntatze horizontalerako, gainazal bikoitza beharrezkoa dugu:

$$A = 2 / (R_{thh-a} \cdot \sigma) \quad (6.13)$$

Irradiagailu lauen gainazalaren akabera garrantzitsua da, xahutzen duten beroaren heren bat inguru erradiazioz lortzen baita. Akabera beltz mateak (ke beltza) egokienak dira erradiazioa hobetzeko. 6.16 irudian akabera metalikoaren eta akabera beltzari dagokien erresistentzia termikoen arteko aldearen adibidea dugu.



**6.16 Irudia:** Irradiagailu lau baten erresistentzia termikoaren kurbak. Gainazalaren akaberak eragin nabaria du horrelako irradiagailuetan.

### ***Irradiagailu estanpatuak***

Forma anitzekin estanpatzen diren kobre edo aluminiozko xaflak dira. Xahutzaile lauak baino eraginkorragoak dira, eta potentzia handiagoak xahutzeko balio dute. Kapsula estandarretarako (TO220, TO-3, TO126 ...) egokiak diren tamaina eta daratulu-zuloekin fabrikatzen dira.

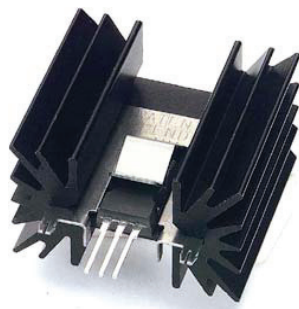


**6.16 Irudia:** Irradiagailu estanpatuak.

### ***Estrusioz fabrikatutako irradiagailuak***

Estrusioz, bi dimentsiotako forma konplexuak lor daitezke, eta zama termiko handiak xahutzeko gai diren irradiagailuak egin. Profil estrusionatu luzeak izaten dira, ondoren norberak behar

duen erresistentzia termikoa lortzeko adinako luzerako zatietan mozteko (ikus 6.22 irudia). Batzuek hegal zerratuak dituzte, xahutzailearen eraginkortasuna %10-20 handitzea lortzeko.



**6.17 Irudia :** Transistore bat irradiagailu estrusionatu batetan muntatua.

### ***Itsatsitako/fabrikatutako irradiagailu hegaldunak***

Aluminioz betetako epoxia erabiltzen da, hegal lauak estrusioz lortutako xafla ildotuan itsasteko. Profil estrusionatuak erabilia baino hozte-ahalmen handiagoa lortzen da bolumen bererako.



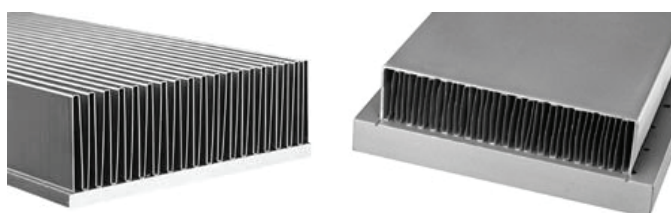
**6.18 Irudia :** Irradiagailu hegalduna. (*Aavid thermalloy*)

### ***Galdaketaz fabrikatutako irradiagailuak***

Galdaketaz fabrikatzen dira, dentsitate handiko aluminioa edo kobre eta/edo brontzea erabilia. Potentzia handietarako erabiltzen dira. Pisutsuagoak eta garestiagoak dira.

### ***Hegal tolestudun irradiagailuak***

Metal korrugatuzko xaflak erabilia (aluminio zein kobrezkoak), irradiagailuaren gainazaleko azalera handitzea lortzen da eta, horren ondorioz, eraginkortasun bolumetrikoa hobetu ere. Ez dira eraginkorrenak, baina aukera ona dira xahutzaile estrusionatuak edo itsatsitako hegaldunak erabiltzea ezinezkoa den aplikaziotarako.



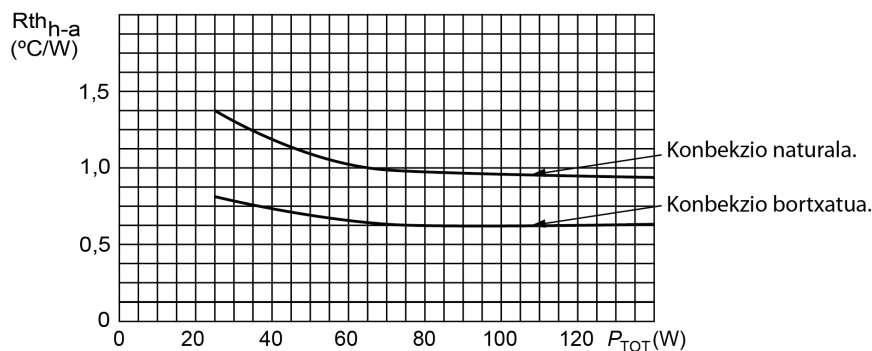
**6.19 Irudia:** Hegal tolestudun irradiagailuak. (*Aavid thermalloy*)

### 6.2.4.2 Kurba bereizgarri termikoak

Bero xahutzaileen ezaugarri-orrietan, sarritan aurkituko ditugu aukeraketa egokia egiteko balioagarriak izango zaizkigun ezaugarri termikoak ezagutzeko kurba bereizgarri termikoak.

#### *R<sub>thh</sub>* vs. *Potentzia*

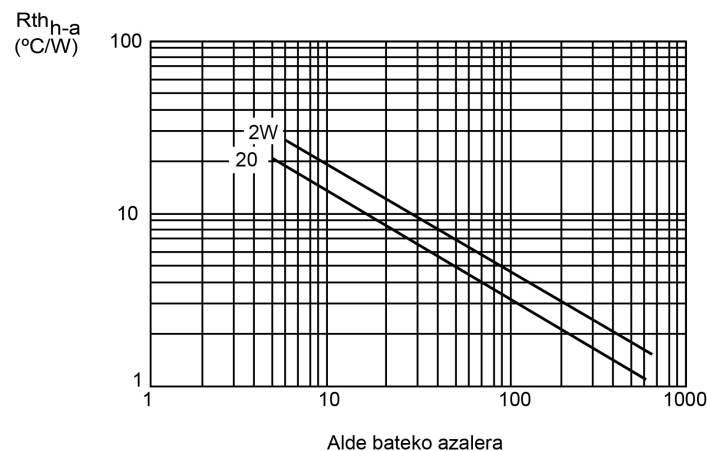
Xahutzaileen erresistentzia termikoa atxikita duen osagaiak xahutzen duen potentziarekin txikitzen da. Txikitze hori ez da nabarmenena, baina osagaia babesten laguntzen du. Efektu hori, harrigarria badirudi ere, erraz esplika daiteke, beroaren transmisioa nola gertatzen den gogoratzen badugu. Osagai baten tenperatura are handiagoa da potentzia handiagoa xahutzen duenean. Horren ondorioz, sistema termikoaren puntu beroaren (kapsula, kasu honetan) eta puntu hotzaren (xahutzailearen hegal-muturrak) arteko aldea handitzen da, eta, hala, bero-transmisioa hobetu.



**6.20 Irudia:** Xahututako potentzia handitzean, irradiagailuen erresistentzia termikoa txikitzeko joera dute. Harrigarria?

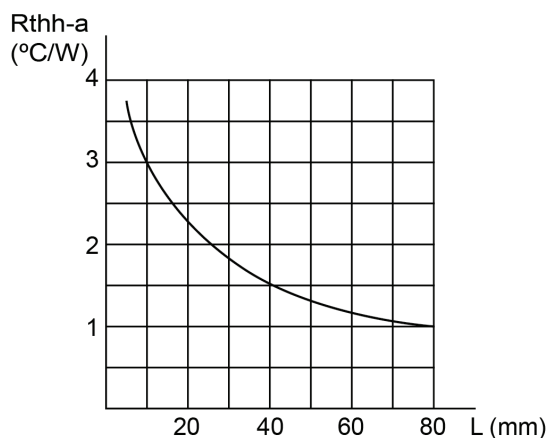
#### *R<sub>thh</sub>* vs. *Azalera*

Irradiagailuen erresistentzia termikoa azaleraren handitzearekin txikitzen da, bai konbekzioa bai konduktzioa hobetzen direlako. Irradiazioaren aldakuntza handirik ez dugu nabaritutako xahutzaile hegaldunetan, erradiazioa igortzen eraginkorrek diren gorputzak erradiazioaren xurgatzaile onak ere badirelako eta, horren ondorioz, hegal batek irradia dezakeen beroa aurrez aurre dituen hegalek xurgatuko baitute.



**6.21 Irudia:** Azalera handiek bero-transmisioa hobetzen dute eta, horren ondorioz, erresistentzia termikoa txikitzen dute.

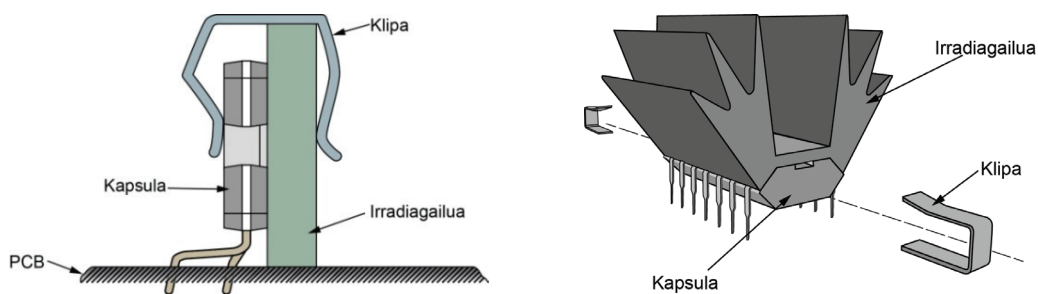
Profil estrusionatuen kasuan, erresistentzia termikoaren eta profilaren luzeraren arteko erlazioa erakusten dituzten grafikoak erabiltzen dira (6.22 Irudia).



**6.23 Irudia:** Profil estrusionatu jakin bat aukeratu ondoren, zein luzerarekin moztuko dugun erabaki beharko dugu.

## 6.2.5 Xahutzaileen muntaketa egiteko elementu osagarriak

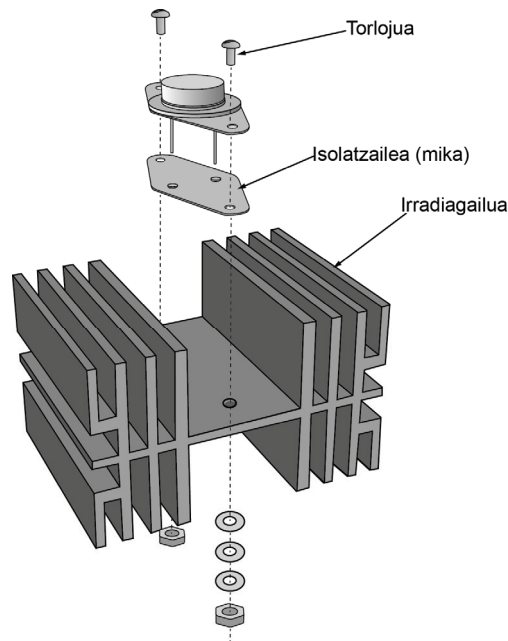
Beroaren ezabatze egokia lortzeko, osagaiaren kapsularen eta bero-xahutzailearen arteko kontaktuak ahalik eta onena izan behar du. Kontaktu egokia eta sendoa lortzeko erabil ditzakegun elementuak kapsularen eta irradiagailuaren formaren eta materialen arabekoak dira. Osagai diskretuen kapsula metalikoak xahutzaileari lotzeko, gehienetan, torlojuak erabiltzen dira (6.25 irudia). Beste batzuetan, batez ere daratulu zuloa egitea ezinezkoa denean edo komenigarria ez denean, klipak erabiltzen dira (6.24 irudia). Zirkuitu integratuen kapsula lauetarako, gehienetan, pasta itsaskorrek erabiliz lotzen da kontakturik onena.



**6.24 Irudia:** Klipen bidezko muntaia erabillita daratulu-zuloak ez dira beharrezkoak.

Nolanahi ere, edozein kapsulatarako, bero-transmisioa hobetu daiteke eroankortasun termiko handiko pastak erabiliz (silikonazkoak edo epoxizkoak). Erregela orokor gisa esan dezakegu kapsularen eta irradiagailuaren arteko erresistentzia termikoa ( $R_{thmb-h}$ ) % 50 txikitzen dela pasta horiek erabiliz. Batzuetan, ordea, kapsularen eta irradiagailuaren arteko isolamendu elektrikoa garrantzitsua da. Kasu horietan mikazko eraztun isolatzaileak erabili izan dira, kapsularen eta irradiagailuaren artean ezartzeko. Mikazko eraztunek, ordea, bero-transmisioa oztopatzen dute, eta  $R_{thmb-h}$ -ren balioa handitu (erabilitako kapsularen eta eraztunaren lodieraren arabera). Gaur egun, ordea, elektrikoki isolatzaileak diren pastak ere badira. 6.3

taulan, ohiko kapsula batzuen erresistentzia termikoen balioak laburbilduta daude, muntaketa-motaren arabera.



**6.25 Irudia:** TO3 kapsula estrusioz fabrikatutako profileen muntatzeko prozedura. Irradiagailua eta kapsularen artean isolamendu elektrikoa lortzeko mikazko isolatzailea tartekatuta dago.

Kapsula	$R_{thmb-h}$ (°C/W)			
	lehorra	mikarekin	silikonarekin	mika eta silikonarekin
TO 3	0,3 - 0,5	1,0	0,3 - 0,5	0,3 - 0,6
TO 126	1,0	6,0	0,5	3,0
TO 220	1,0 - 1,3	2,5	0,5 - 0,8	0,8 - 1,4
TO 218	0,8	-	0,3	0,8
SOT 3	0,5	1,0	0,25	0,5
SOT 9	0,5	1,5	0,25	0,8
SOT 32	1,0	6,0	0,5	3,0
SOT 78	1,5	2,5	0,8	1,3
SOT 82	-	-	0,42	2,0

**6.3 Taula:** Kapsula eta erradiadorearen arteko erresistentzia termikoa erabiliko den muntaia motaren arabera.

### ***Konbektzio bortxatua***

Xahutzailea inguratzen duen fluidoaren (eskuarki airea) konbektzioa bortxatuz, beroaren ezabapen hobea lortuko dugu. Horretarako, haizegailuak dira elementurik erabilienak. Haizegailua txartela elektronikoa gordeta dagoeneko kutxa osoa haizatzen duena izan daiteke, edo zuzenean bero xahutzailearen gainean lotzen direnak izan daitezke (gure ordenagailuaren kutxa zabaltzen badugu, bietarikoak aurkituko ditugu). Merkatuan, badaude tamaina, potentzia eta forma askotakoak. Bestalde, hozketa-eskakizun zorrotzak dituzten aplikazio berezietarako erabiltzen diren potentzia handiko osagai batzuek likidoz hoztutako irradiagailuak erabiltzen dituzte.





# 7 Zirkuitu inprimatuak

Aurreko kapitulu batean esan bezala, konputazioak, telekomunikazioak, automozioak, industria aeroespazialak eta kontsumo-elektronikak teknologia elektronikoa, ezinbestez, beharrezkoa dute. Industria elektronikoa zirkuitu elektronikoen aplikazioetan oinarritzen den industria da. Zirkuitu elektroniko horiek, halaber, nonbait eta nolabait muntatuta egon behar dute, osagaien arteko lotura elektriko egokiak eta beharrezko duten elikadura elektrikoa zihurtatzeko. Nonbait muntatuta egoteak zera esan nahi du: euskarri bat beharrezkoa dela; nolabait muntatuta egoteak, berriz, esan nahi du osagaiak euskarri horietan —zirkuitu inprimatuetan— muntatzeko irizpide batzuk hobesten direla. Kapitulu honetan, honako hau aztertzen da: Zirkuitu inprimatua zer den, nola egiten den eta han osagaiak kokatzeko jarraitu behar diren oinarritzko irizpideak zein diren zirkuitu elektroniko batek oso-osorik ondo funtziona dezan.

## 7.1 Zirkuitu inprimatua edo euskarri isolatzailea

Zirkuitu inprimatua edo ingelesezko PCB (*Printed Circuit Board*) osagai elektronikoen euskarria den plaka isolatzailea da; definizioz, pista eroaleak inprimatuta dauzka, osagaiak elkarren artean konektatzeko. Definizio horren arabera, zirkuitu inprimatu batek bi osagai nagusi ditu:

- Euskarri isolatzailea.
- Pista eroaleak.

Euskarri isolatzaileari modu askotara deitu badakioke ere, oro har, *txartel* edo *plaka* deitzen zaio. Diseinu elektronikoen baten funtzionamendu egokirako behar diren gailuak —osagaiak— txartel edo plaka horietan kokatzen dira, eta hori dela eta deitzen zaie euskarri (osagaietarako erabiltzen direlako).

Seinale elektrikoek beren bidea egin dezaten, hots, elektronikak funtziona dezan, osagaiak beren artean komunikatu beharra dago, eta komunikazio hori, oro har, txartelean bertan inprimatutako kobrezko pista eroaleen bidez egiten da. Txartelei, kobrezko pistak inprimatuta dauzkatenez, *inprimatu* abizena jartzen zaie, hau da, *txartel inprimatu*, *plaka inprimatu*, *zirkuitu inprimatu* edo *PCB*.

### 7.1.1 Txartelak

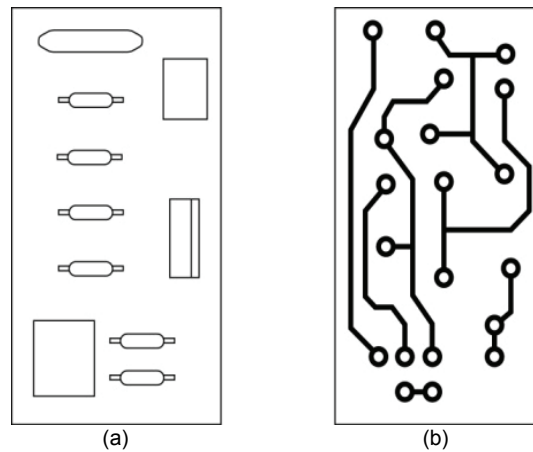
Ohikoena txartelak laukizuzen itxurakoak izatea da. Txartelen lodierak bat baino gehiago izan daitezke, eta plakaren substratuak elektrizitatearen isolatzailea eta suaren kontrakoa izan behar du. Izatez, txartelen inguruko hainbat faktore araututa daude gaur egun; UNE 20-621-85 arauak, adibidez, zulo metalizatudun aurpegi bakarrekota eta bi aurpegiko zirkuitu inprimatuak egiteko zehazpenak arautzen ditu.

Txartelak egiteko materialak honako hauek izan daitezke, UNE 20-621-83/3 arauaren arabera:

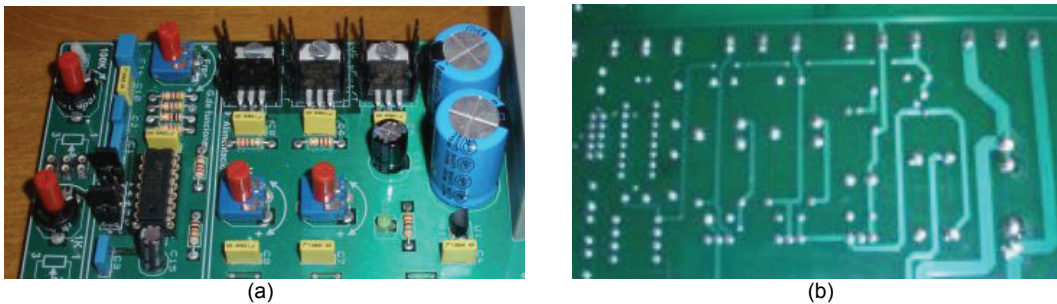
1. Erretxina sintetikoaren aglomeratu-xafla edo kobrezko erretxinaz estalitako polimerozko filma. Kobrezko erretxinaz estalitako polimerozko filmetan, eskualde isolatzailea nahi ez den kobrezko erretxinaren erazketa selektiboaren bitartez lortzen da.
2. Erretxina sintetikoaren aglomeratu-xafla edo polimerozko film hutsak. Pista eroaleak, material eroalea —kobrea— euskarri isolatzailearen gainean selektiboki kokatuta lortzen dira.

UNE 20-621-83/3 arau horrek ezaugarri mekaniko, elektriko eta funtzionamendurako eta soldadurarako portaerak ere aztertzen ditu, besteak beste, txartelaren materialaren arabera.

Txartel klasikoak alde edo aurpegi bikoak dira; alde bati *osagaien alde* (edo aurpegia) deritzaio, osagaiak eta sarrera eta irteerarako konektoreak kokatzeko alde baina. Beste aldeari berriz, *pisten alde* (edo aurpegia) deritzaio, eta, han, pista eroaleak, nodoak eta abar kokatuko dira (ikus 7.2.2 puntua). 7.1.a irudian osagaien alde ikusten da; hor osagaiak muntatu gabe marraztu bada ere, osagaiak non eta nola muntatu adierazten duen mapa antzerako bat ageri da; serigrafiaren bitartez marraztu egin ohi da (ikus 7.5.3 puntua). 7.1.b irudian, berriz, kobrezko pista eroaleen alde euskarri isolatzailean ageri da, inprimatuta. Gaur egun ordea, osagai elektronikoen miniaturizazioaren ondorioz osagai eta gailu kopuru handia koka daiteke txartelaren alde bakarrean inprimatuz. Ondorioz, osagaien aldean ere pistak inprimatu behar dira (alde biko zirkuitu inprimatua) eta sarritan, txartelaren barnealdetik ere pista eroaleak kokatu beharra dago (alde anitzeko zirkuitu inprimatua). Zer esanik ez, alde edo planu-kopurua handitu ahala, txartela fabrikatzeko prozedura teknologikoa zaildu eta gerestitu egiten da.



7.1 Irudia. (a) Osagaien aldearen serigrafia. (b) Pisten aldearen serigrafia.



7.2 Irudia. (a) Zirkuitu inprimatu baten zati bateko osagaien aldearen argazkia. (b) Zirkuitu inprimatu baten zati bateko pisten aldearen argazkia.

7.2.a eta 7.2.b irudietan, zirkuitu inprimatu baten osagaien aldearen eta pisten aldearen argazkiak erakusten dira, osagaien aldearen argazkiak muntatuta daudela eta pisten aldearen argazkiak pistak txartelean inprimatuta daudela.

### 7.1.2 Txartel-motak

7.1 irudia aurpegi biko txartel inprimatu klasiko baten marrazkia bada ere, beste mota askotako txartelak badaude, betiere, teknologiak aurrera jo duen heinean garatutakoak. Hona hemen txartel moten sailkapenetako bat:

- Aurpegi bakarreko txartela: Pistak aurpegi bakarrean inprimatuta dauden txartela (pisten alde).
- Bi aurpegiko txartela: Osagaien aldean ere pistak inprimatuta duen txartela. Bi aldean arteko konexioa lortzeko daratulu metalizatuak edo *bideak* erabiltzen dira.
- Geruza anizkoitzeko txartela: Pistak anitz geruzatan kokatuta daude (gainazalean eta barne-planuetan). Bide metalizatu bertikalek planu-artearen konexioak ahalbidetzen dituzte.
- Alde anizkoitzekoa eta kableatua: Izatez ez da txartel bakarra, baizik eta hainbat txartel bata bestearen gainean jarrita, konektore jakin batek konektatzen dituen (*multiwire* konexioa). Geruza anizkoitzeko txartelaren bertsio "merkea" da.
- Malgua: Txartel inprimatu gehienak zurrinak badira ere, malguak ere existitzen dira.
- Malgua eta alde anizkoitzekoa.
- Zurrun-malgua.

Geruza anizkoitzeko txartelak 10etik gorako geruza izan ditzakete txartel bakarrean integraturik (industriaren eskakizunaren eta teknologiaren ahalmenaren arabera, 24tik 48ra ere bai).

Aurreko zirkuitu inprimatuen mota horietako bakoitzak, fabrikazio-prozesuan, betekizun desberdinak eskatzen ditu —diseinurako arau desberdinak—, nahiz eta oro har, guztiek arau nagusiak komunak izan.

### 7.1.3 Txartelen fabrikazio klaseak

Txartel inprimatuak fabrikatzean zeren arabera sailkatzen diren behatuta, sailkapen desberdinak egin daitezke:

- Txartel inprimatuek izango duten erabileraren arabera:
  1. klasea: Zirkuitu arruntak eta erdiprofesionalak.
  2. klasea: Zirkuitu profesionalak.
  3. klasea: Doitasunezko zirkuituak eta bereizmen handiko zirkuituak.
- Txartel inprimatu baten dentsitatearen (osagaien kopuruaren) arabera, bi zifrako zenbakiak erabiltzen dira. Lehenengo zifrak txartel-mota edo *klasea* zehazten du:
  1. klasea: Dentsitate txikia. Aurpegi bateko edo bi aurpegiko txartelak, gailuak konektatzeko metalizatu gabeko zuloak dituztenak.
  2. klasea: Dentsitate ertaina. Aurpegi biko txartelak, gailuak konektatzeko metalizatutako zuloak dituztenak.
  3. klasea: Dentsitate handia. Geruza anizkoitzeko txartelak, gailuak konektatzeko metalizatutako zuloak dituztenak.

Bigarren zifrak dentsitatea adierazten du; zenbat eta handiago den, orduan eta dentsitate handiagoa adierazten du.

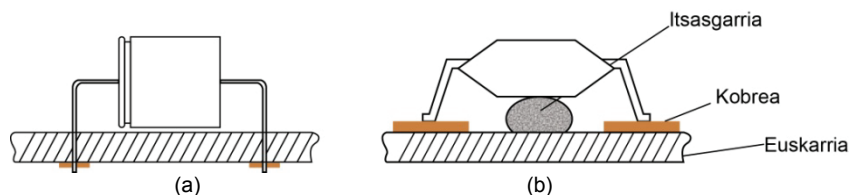
## 7.2 Zirkuitu inprimatuetako elementuak

Txartel batean kokatuko diren elementuak talde bitan banatu daitezke: zirkuitu elektronikoen funtzionamendurako behar diren zirkuituetako osagaiak eta osagai horiek pista eroaleetara konektatzeko ezinbestekoak diren elementu eroaleak.

### 7.2.1 Zirkuituetako osagaiak

Bi osagai-mota desberdin daude (kapsularen muntaia):

- THD osagaiak (*Through Hole Device*): Osagaien hankatxoak txartelean eginiko zuloetan sartzen dira, pisten aldetik soldatzeko.
- SMD osagaiak (*Surface Mounted Device*): Oso osagai txikiak dira eta osagaien hankatxoak plakaren gainazalean soldatzen dira. Ez da zulorik behar, eta, osagaien aldetik ere, pistak badaude. Gaur egungo osagairik erabilienak dira, dentsitate handiagoa ahalbidetzen baitute, eta, gainera aproposagoak dira maiztasun altuetako zirkuituetarako.



7.3 Irudia: (a) THD osagaia. (b) SMD osagaia.



(a)



(b)

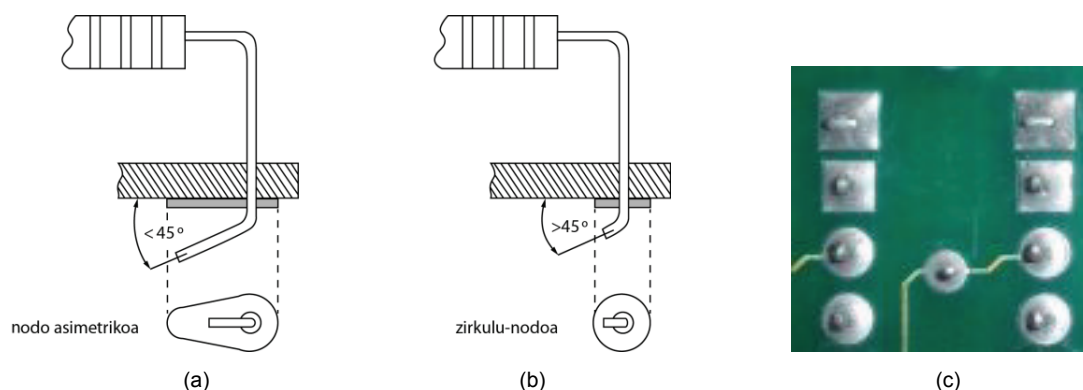
7.4 Irudia: (a) THD osagaiak. (b) SMD osagaiak.

## 7.2.2 Elementu eroaleak

Pista eroaleak dira funtsezko elementu eroaleak, baina osagaiak elkarren artean konektatzeko beste zenbait osagai ere beharrezkoak dira, hala nola nodoak, *pad*ak, aztarnak eta bideak. Elementu horiek guztiak osatzen duten irudiari zirkuitu inprimaturaen *layout*a deritzo.

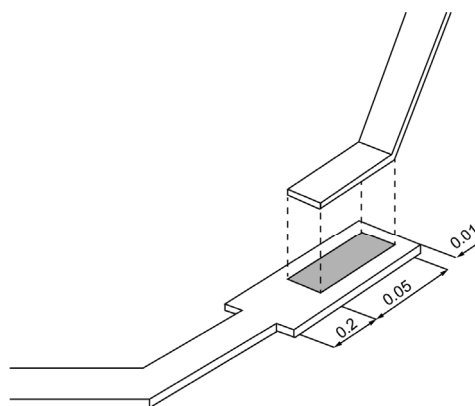
**Pista:** Seinale elektronikoa garraitzeko euskarri eroalea da, gehienetan kobrezkoa, txartelaren euskarri isolatzailearen gainean inprimatu egiten dena.

**Nodoa:** Kobrez inguratutako zuloa, THD osagaien hankatxoak soldatzeko erabiltzen dena.



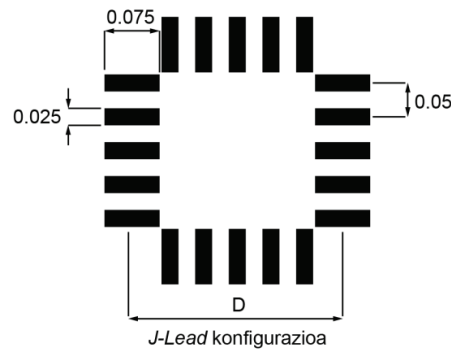
7.5 Irudia: Nodoek hainbat eite izan ditzateke. (a) Nodo asimetricoa. (b) Zirkulu-nodoa. (c) Zirkuitu inprimatu bateko zirkulu-nodoak eta nodo laukiak.

**Pad-a:** Kobrezko gainazala, karratua edo laukizuzena, SMD osagaien hankatxoak soldatzeko erabiltzen dena.



7.6 Irudia: Pad laukizuzena grisez marraztua.

**Aztarna (footprint):** Osagai bat zirkuituan soldatzeko behar den nodo edo *pad* multzoak osatzen duen irudia da.



7.7 irudia. PLCC kapsulatu baten aztarna. Neurriak hazbetetan datoz.

**Bidea (path):** Daratuluz egindako zulo metalizatua da, txartela goitik behera —bere lodieran— zeharkatzen duena seinale elektrikoa txartelaren alde edo aurpegi batetik bestera eramateko.

## 7.3 Zirkuitu inprimatuen diseinua

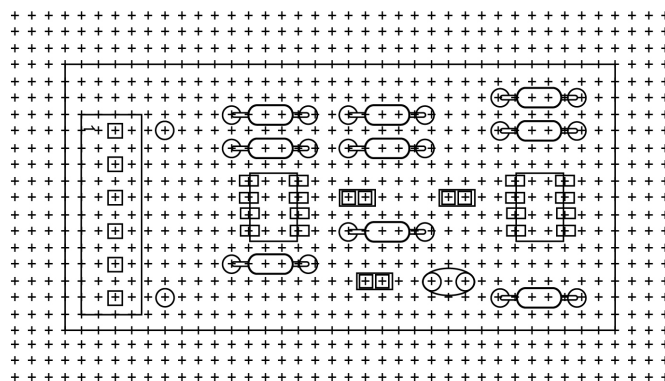
Edozein zirkuitu elektronikoa fisikoki muntatu aurretik, diseinu bat egin beharra dago. Paperean garatuta dagoen eskema elektriko batzuetatik abiatuta (zirkuitu elektronikoa sinplea bada) edo ordenagailu bidezko *software* baten bidez sortutako eskema elektrikoetatik abiatuta (gaur egun prozeduararik arruntena) euskarri isolatzaileetan osagaien antolaketa eta osagaiak elkarren artean konektatzeko pisten antolaketaren planoak egiteari deritza zirkuitu inprimatuen diseinua. Antolaketa-plano horiek 7.1 irudiko osagaien aldeko serigrafia eta pisten aldeko trazadura dira.

Zirkuitu inprimatuen diseinuan, osagaien aldeko antolamendurako irizpide batzuei jarraituko zaie, eta pisten aldeko trazadura egiteko, beste irizpide batzuei. Atal honetako hurrengo azpipuntuetan, zirkuitu inprimatua osatuko duten elementuak txartel batean kokatzerakoan diseinu egoki bat egiteko jarraitu behar liratekeen gutxienezko irizpide orokorrak ageri dira. Irizpide horiei jarraituz, txartelen gainazalean aurrezteaz gain, seinale elektronikoen arteko interferentzia elektromagnetikoak —zarata— txikitzea lortzen da.

### 7.3.1 Osagaien antolamendua

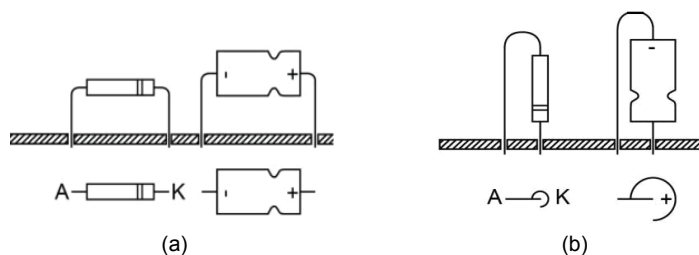
Edozein osagai (THD zein SMD) euskarri isolatzailean kokatzeko, gutxienez, honako aholku hauek kontuan hartu beharko lirateke:

1. Osagaiak saretxo uniforme baten egiturari jarraituz kokatzea. Erretikularen tamaina: 0,1 hazbete = 25,4 mm.

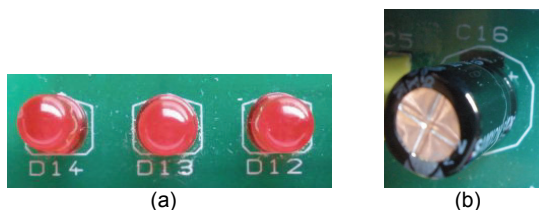


7.8 irudia. Saretxo uniformearen eitea.

2. Diseinuan erregularrak eta funtzionalak izatea. Erregularitasunak eta funtzionaltasunak serieko fabrikazioa errazten dute. Serieko fabrikazioa ezinbestekoa da industria elektronikoan etekinak izateko.
3. Osagaien arteko distantzia minimoa zaintzea.
4. Osagai polarizatuen orientazioa txartelean nolabait markatzea, muntaketan okerrrik gerta ez dadin. 7.10.a irudian ageri den bezala, LED diodoen anodoa zein den markatuta dago, goialdea, behealdea ez bezala, biribilduta dagoelako. 7.10.b irudian, berriz, kondentsadore elektrolitiko baten hankatxo positiboa (+) zein den agertzen da, izkinatxo batean.

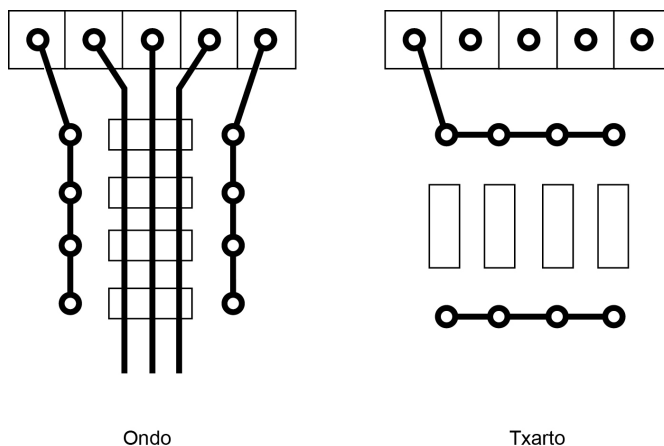


**7.9 irudia.** Polarizatutako osagaien kokapena (goian) eta serigrafia (behean). (a) Posizio horizontalean kokatutako osagaiak. (b) Posizio bertikalean kokatutako osagaiak.



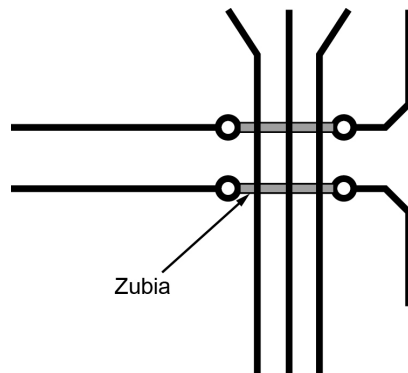
**7.10 irudia.** (a) Serigrafiak LED diodoen anodoa eta katodoa bereizten ditu. (b) Kondentsadore elektrolitikoaren hankatxo positiboak zein aldetan egon behar duen markatuta dago + zeinuaren bidez.

5. Txip edo zirkuitu integratuen arteko interferentziak txikitzeko, zirkuitu analogikoak alde batetik kokatzea; zirkuitu digitalak, beste alde batetik, eta zirkuitu mistoak, beste alde batetik.
6. Daratulu-zulo bakoitzeko konexio-hankatxo bakararra kokatzea.
7. Pistak trazatzen direnean, konexioak erraztea, osagaiak elkarren artean konektatzeko eta osagai bakarturik gera ez dadin.



**7.11 irudia:** Pisten trazadura erraztua, osagaiak isolatuta gera ez daitezten.

8. Ezinbestekoa denean, osagaiak elkarren artean konektatzeko zubiak erabil daitezke, bidegurutzerik ez izateko.

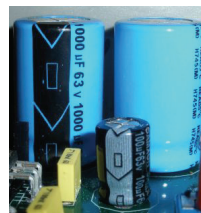


**7.12 irudia.** Zubiaren erabilera, pisten trazadura erraza ez den kasuetarako.

9. Osagaiak X eta Y ardatzen norabidean kokatzea, kodeak, balioak eta identifikazio-kodeak agerian utzita.
10. Talde bereko osagaiak (erresistoreak, kondentsadoreak eta abar) noranzko berean kokatzea.



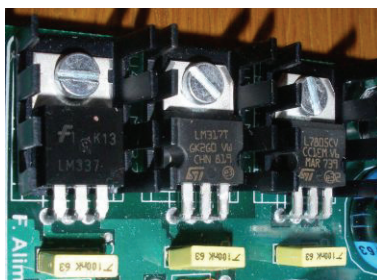
(a)



(b)

**7.13 irudia.** (a) Posizio horizontalean kokatutako erresistoreak. Ikus nola kolore-kodeak noranzko berean berdinean kokatuta dauden. )b) Posizio bertikalean kokatutako kondentsadoreak, polarizazioaren norantza errespetatuz.

11. Tamaina handiko osagaiak txartelera finkatzeko, klipak edota torlojuak erabiltzea, txartelean bibrazioarik ez izateko.



**7.14 irudia.** THD osagaiak torlojuen bidez irradigailuetara eta txartel inprimatura finkatuak.

### 7.3.2 Pisten diseinua

Pistak sortzeko, hots, seinale elektronikoak osagai batetik bestera eroateko txartelek duten kobrezko bide eroaleak sortzeko, diseinua kritikoa izan daiteke doitasunezko zirkuituak edota



bereizmen handiko zirkuituak gauzatzeko baldin bada. Diseinua ez da horren kritikoa izango, halaber, dentsitate txikiko zirkuitu erdiprofesionalak badira.

THD eta SMD osagaiak euskarrian kokatzeko aholkuak ikusi eta gero, pisten diseinuaren inguruan, honako aholku hauei jarraitzea gomendatzen da:

1. Pista eroaleak kobrezkoak dira. Nahiz eta kobrea elektrizitate-eroalea ona izan, erresistibitate txiki bat du atxikita. Kobrezko pista baten erresistentzia honako formula honekin kuantifika daiteke:

$$R = \frac{\rho L}{S} = 0,0172 \frac{L}{S} \quad [m\Omega] \quad (7.1)$$

non  $L$ , kobrezko pista eroalearen luzera baita.  
 $S$ , kobrezko pista eroalearen sekzioaren azalera baita.  
 $\rho$ , kobreakaren erresistibitatea baita.

Gerta daiteke erresistentzia hori aintzat ez hartzeko modukoa izatea, baina, pista oso luzea den kasuetan, edo  $L/S$  erlazioa aintzat ez hartzeko modukoa ez denean, pista horren muturren artean potentzial diferentzia ez da horren aintzat ez hartzeko modukoa izango, handik iragango den seinalearen kalterako. Beharrezkoa izatekotan, pista eroalearen erresistentzia kalkulatzeko modu zuzenak badaude; hala nola, UNE 20-621-84/3 arauak aditzera ematen duen bezala, kobrezko pista batek izango lukeen erresistentzia grafiko batetik atera daiteke, pista eroale horren zabalera, lodiera, tenperatura eta 10 mm-ko luzerarekiko (argibide gehiagorako, AENORen arauak ikusi).

2. Pisten erresistentzia elektrikoa dela eta, korrante elektrikoak pistak berotuko ditu (batez ere intentsitate handietarako). Pista batetik iragan daitekeen korrante maximoa pista horren zabalera minimoarekin hertsiki erlazioatua dago, hurrengo taulan ageri den erlazioaren arabera.

Korrantea	Zabalera minimoa
2,5 A	0,8 mm
5 A	2 mm
10 A	4,5 mm

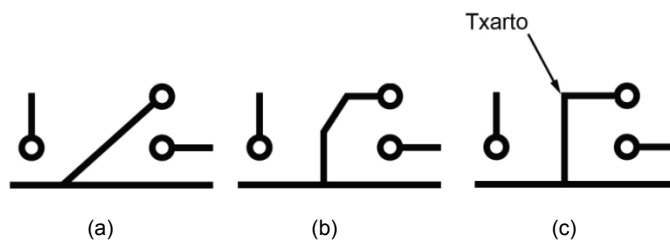
**7.1 taula.** Pista batetik iragan daitekeen korrante maximoa, haren zabalera minimoaren arabera.

3. Zirkuitu inprimatu batean, zenbat eta osagai dentsitate handiagoa egon, orduan eta toki gutxiago gelditzen da pistetarako. Hori dela eta, eroaleen arteko distantzia minimoa osagaien dentsitatearekiko aldatzen da, 7.2 taulan aditzera ematen den bezala:

Osagaien dentsitatea	Pisten arteko distantzia
Txikia (1. klasea)	0,3 mm (normala)
Ertaina (2. klasea)	0,2 mm (mehea)
Handia (3. Klasea)	0,15 mm (ultramehea)

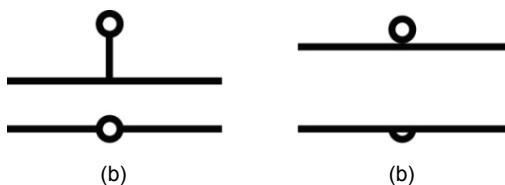
**7.2 taula.** Pisten arteko distantzia, zirkuitu inprimatu batek izan dezakeen osagaien dentsitatearen arabera.

4. Maiztasun handietarako kontu handiagoz ibili beharko dugu pisten diseinuarekin; angelu zorrotzik eta 90 °ko norabide aldaketarik gabe egitea aholkatzen da, seinaleen islapenik ez izateko asmoz.



7.15 irudia. Maiztasun handietarako pisten diseinurako irizpidea. (a) Txarto (angelu zorrotza) (b) Ondo. (c) Txarto (angelu zuzena).

5. Pista paraleloen arteko distantzia uniforme mantentzea.
6. Pisten eta nodoen arteko konexioa elkarzuta egitea.



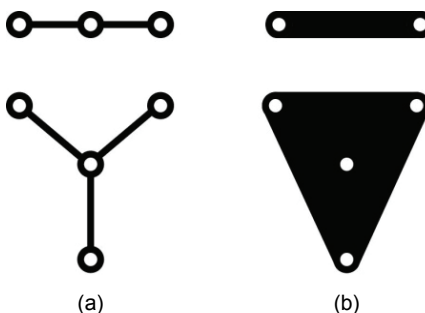
7.16 irudia. Pista eta nodoen arteko konexioa. (a) Ondo. (b) Txarto.

7. Komenigarria da 90ºko pisten loturak eta bidegurutzak material eroalezko triangeluen bidez leuntzea , batez ere maiztasun handiko seinaleetarako.



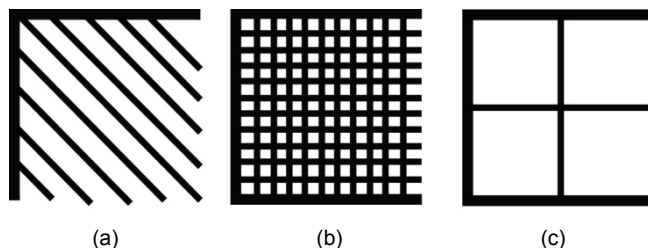
7.17 irudia. 90ºko pisten konexiorako irizpidea (xehetasuna).

8. Soldadura egokiak bermatzeko asmoz, komeni da kobrezko azalera handirik ez izatea; izan ere, soldadura zabal batek, hurbileko kontaktuak soldatzean, zirkuitulaburrak egiteko arriskua handitzen du.



7.18 irudia. Kobrezko azalera handiak ekiditeko modua. (a) Ondo. (b) Txarto.

9. Aurreko puntuari lotuta, kobrezko azalera handi horiek ezinbestekotzat hartzen diren kasuetarako (masa-planoak, blindajeak), gomendatzen da sare-itxurako diseinuak erabiltzea.



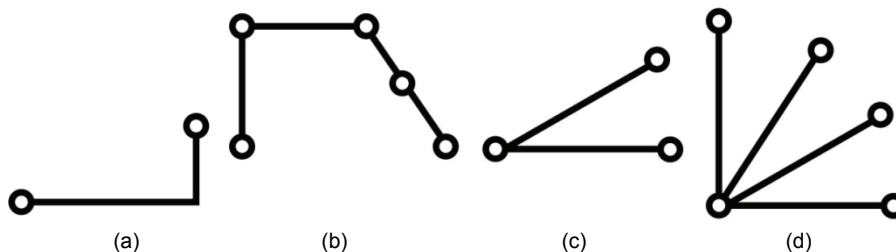
7.19 Irudia. Kobrezko azalera handiak betetzeko modua. (a) Ondo (b) Ondo. (c) Txarto.

10. Hurbileko bi nodo konektatu behar direnean, pista zati bat marraztu behar da bi nodo horiek konektatzeko; hala, hankatxo bat soldatu behar denean, aldameneko hankatxoa ez da askatuko soldadura horrek eragiten dion beroagatik.



7.20 Irudia. Hurbileko nodoen konexioa. (a) Ondo. (b) Txarto.

11. Nodoak pistetara konektatu behar direnean, angelu zorrotzik ez izatea.

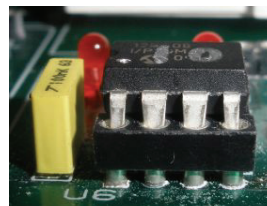
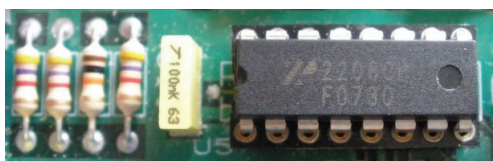


7.21 irudia. Nodoak pistetara konektatzeko irizpidea. (a) Ondo (b) Ondo. (c) eta (d) Txarto.

### 7.3.3 Elikatze-pistak

Elikatze-zirkuitu guztietan badira elikadura seinaleak ezegonkortzeko joera handitzen dituzten R-L-C efektu parasitoak, uhindura-tentsioak edo eta interferentzia elektromagnetikoak. Elikatze-zirkuituen egonkortasuna hobetzeko, hots, zirkuitu elektroniko baten funtzionamendu egokiaren mesederako, gomendatzen da honako pauso hauei jarraitzea:

1. Zirkuitu analogikoek, zirkuitu digitaletan eta zirkuitu mistoek masa-pista desberdinak izatea.
2. Zirkuitu integratu guztien elikatze-hankatxoak kondentsadoreen bidez desakoplatzea.



7.22 irudia. Zirkuitu integratuak, desakoplatze-kondentsadoreak alboan dituztela.

3. Masa-planoak gutxienez plakaren azaleraren % 50 betetzea.

4. Elikatze-pisten zabalera minimoa 2 mm izatea.

## 7.4 Diseinurako prozedurak

Zirkuitu inprimatuen *layoutak* ekoizteko (marrazteko), hainbat prozedura ditugu. Oro har, gauzatu nahi den zirkuitu elektronikoaren konplexutasunaren arabera, hiru diseinu-mota daude:

1. Eskuzko diseinua: Zirkuitu inprimatuak konplexutasun sinplekoak direnerako.
2. Diseinu semiautomatikoa: Zirkuitu inprimatuak konplexutasun ertainekoak direnerako.
3. Diseinu automatikoa: Zirkuitu inprimatu konplexuetarako.

### 7.4.1 Eskuzko diseinua

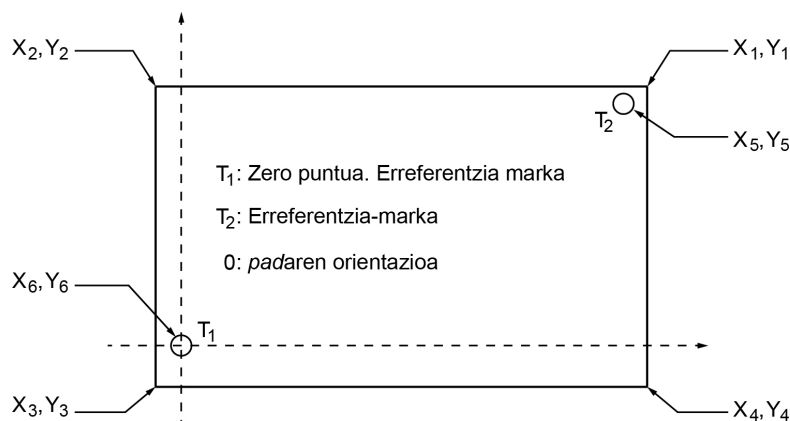
Ordenagailuaren bidezko marrazketa eta inprimaketa baliabideak erabiltzeko erraztasuna dela eta, gaur egun, inork gutxi erabiltzen du eskuzko diseinua zirkuitu inprimatuen *layoutak* marrazteko, baina, oraindik, prozedura interesgarria izan daiteke konplexutasun txikiko diseinuak zuzenean egiteko, aplikazio arrunt edo erdiprofesionalen kasurako (adibidez, laborategiko prototipoak egiteko). Gainera, eskuzko diseinurako erabiltzen diren irizpide asko aplikagarriak dira ordenagailuz egindako diseinu interaktiboetan ere.

Pista eroaleak txarteletan marrazteko, objektu bereziak erabiltzen dira, hala nola 2,54 mm-ko erretikuladun orriak (7.8 irudiaren antzera), orri itsasgarriak eta tinta ezabagaitzak. Marrazketa-eskala 2:1 edo 4:1 izan daiteke, azken hori doitasun handiagoak lortzeko; hala ere, eskuzko diseinua doitasun handia behar ez den aplikazioetarako erabili ohi da. Kasu horietan guztietan, aurretik jakin beharko dugu txartelaren azalera minimoa, eta hori osagai-dentsitatearen arabera mugatuta dator. 7.3 taulan, diseinu elektronikoa bat osatzeko zirkuitu inprimatu batek izan behar lukeen azalera minimo hori ebaluatzeko ageri da, hor kokatu beharreko osagaien azaleraren ( $A_0$ ) arabera.

Osagai-mota	Zirkuitu integratuen mota	
	Aurpegi bakarrekoa	Bi aurpegikoa
Osagaietatik gehiengoa osagai diskretuak direnean	$2A_0 - 3A_0$	$1,5A_0 - 2A_0$
Osagai diskretuen kopurua eta osagai integratuen kopurua parekoak direnean	$2,5A_0 - 4A_0$	$2A_0 - 3A_0$
Osagaietatik gehiengoa osagai integratuak direnean	$3A_0 - 5A_0$	$2,5A_0 - 4A_0$

7.3 taula. Txartelen azalera minimo gomendatua, osagaiak betetzen duten azaleraren arabera.

Bi aurpegiko txarteletan erreferentzia-marka batzuk ezinbestekoak dira, bi aldetako nodoak eta bideak lerrokaturik egon daitezten.

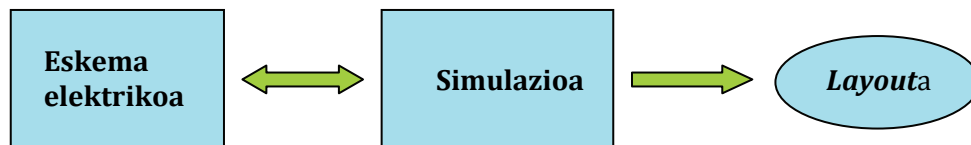


7.23 irudia. Bi aurpegiko zirkuitu inprimatuan egon beharreko erreferentzia-markak.

## 7.4.2 Ordenagailu bidezko diseinua

Ordenagailu bidezko diseinua ezinbestekoa da konplexutasun handiko diseinuetarako, edota doitasuna eta kalitatea ezinbestekoak dituzten diseinuetarako. Ordenagailuaren *software*aren funtzionaltasunaren arabera, diseinua automatikoa, erdiautomatikoa edo interaktiboa izan daiteke.

7.24 irudian, modu simple batean ageri da ordenagailu bidezko *software*ak nola egiten duen lan. Hasierako datua eskema elektriko teoriko bat izan ohi da. Eskema elektriko teoriko hori abiapuntu gisa hartuta, *software*ak proiektu horren funtzionaltasuna konprobatzen du, simulazio baten bitartez. Simulazioa egoki burutuz gero, *software*ak emaitza gisa proiektuaren irteerako mapak edo eskemak ematen ditu. Simulazioa egoki burutzen ez bada, berriz ere, eskema elektrikoa aztertu behar litzateke, hau da, aldaketak egin, *software*ak funtzionamendua egokitzat jo arte.



7.24 Irudia. Ordenagailu bidezko diseinuaren oinarriko pausoak.

Irteerako mapa edo eskema horiei pisten trazadura eta osagaien aldeko mapa zehatza emango dioten marrazkiak dira, besteak beste. Horretarako, bi programa nagusi erabiltzen dute CAD bidezko PCBak egiteko diseinatutako *software*ak:

- *Autoplacement*: Osagaien banaketa eta kokapen automatikoa egiten du.
- *Autorouting*: Pisten trazaketa automatikoa egiten du.

Ordenagailu bidezko diseinu *software*ak osagaiak zirkuitu inprimatuan guztiz automatikoki antola baditzake ere (7.24 irudia), eskertu egiten da *software* hori interaktiboa izatea. *Software*a interaktiboa denean, aditu batek ordenagailuak egindako *layout*ak eskuz aldatzeko aukera izango du; izan ere, *software*ek egindako antolamendu automatikoak sarritan ez dira perfektu, eta, aplikazioaren arabera, gerta daiteke aditu horrek *software*ak egindako antolamendu horretan aldaketak egin nahi izatea. Konplexutasun txikiko zirkuituen kasuan, gainera, *software* interaktiboari esker, eskuzko diseinuak egiteko erabiltzen den prozedura sinplea ordenagailuaren saguaren bidez erreproduzi daiteke, eta lortutako emaitza inprimagailu baten bidez gauzatu.

Interaktibotasunarekin, zera lortzen da: ordenagailuak lan konplexua egitea eta lortutako *layout* horren gainean erabiltzaileak aldaketak nahierara egitea.

Gerora *layout*ak txartel inprimatuan inprima daitezzen, ordenagailu bidezko diseinuen fitxategi bereziak eratzen dituzte, *Gerber* izeneko fitxategiak, hain zuzen ere, zeinetan zirkuitu inprimatuak ekoizteko beharrezko irudi guztien deskribapena gordetzen baita (kobrezko pisten geruzen deskribapena, soldatzeko maskaren deskribapena, daratuluen zuloen deskribapena, nodoena, padena, aztarnena eta abar). Ordenagailuak sortutako irteerako fitxategietan, halaber, beste zenbait datu ere gordetzen dira, hala nola:

- Diagrama elektrikoak.
- Aurpegi bakoitzaren pisten trazaduraren marrazketa.
- Osagaien aldeko serigrafia.
- Osagaien zerrendak, konexioen zerrendak eta abar.

*Gerber* formatua industriak txartel inprimatuetan irudiak transferitzeko erabiltzen duen formatu estandarra da.

Ordenagailu bidezko diseinuetan, merkataritza-marka bakoitzak bere *software* pribatua diseinatu du, adibidez, honako *software* hauek:

- *Altium* etxeak, diseinu elektronikorako erremintak garatu, sortu eta saltzen ditu, eta AD10 eta ORCAD programak ditu, besteak beste, PCBak diseinatzeko.
- *Cadence* etxeak, mundu osorako diseinu elektronikoak garatzen ditu, eta *Allegro softwarea* du, besteak beste, FPGAk programatzeko, eta zirkuitu inprimatuetan era egokian txertatzeko.
- *Menthor Graphics* etxeak, *Board Architect softwarea* garatu du PCBak diseinatzeko.

Nolanahi ere, erraza da interneten konplexutasun txikiko PCBak diseinatzeko dohaineko software aurkitzea ere.

## 7.5 Diseinuaren transferentzia

Diseinuaren transferentziaren bitartez, bai eskuz bai ordenagailuz sortutako pisten *layouta* txartelean inprimatuko da, *layoutaren* kobrezko “marrazketa” lortzeko. Diseinuaren transferentzia egiteko, lau metodo erabiltzen dira nagusiki: fotomarraztea, marrazketa zuzena, inprimaziorako prozedurak eta transferentzia automatizatua; hurrengo ataletan aztertuko dira.

### 7.5.1 Marrazketa zuzena

Marrazketa zuzenean, babes-geruzaren transferentzia zuzenean egiten da, eskuz, tinta ezabagaitza, errotulatzaille bereziak, eta abar erabilia. Pegatina itsasgarriak ere erabil daitezke, *layoutaren* diseinua dutenak. Antzeman daitekeenez, marrazketa zuzenaren metodoa prozedura merkea da, baina doitasun txikikoa.

### 7.5.2 Fotomarrazketa

Izenak aditzera ematen duenez, fotomarrazteak argia nolabait erabilia marrazten du. Prozedura fotografikoa da; *layouta* duten fotolitoak eta produktu fotosentikorretan oinarritutako teknika da.

**Abiapuntua:** Produktu elektronikoak saltzen dituzten dendetan erosten diren euskarri isolatzaileek, oro har, kobrezko orri bat izan ohi dute, alde batetik edota bi aldeetatik itsatsita (aurpegi bakarreko edo bi aurpegiko txartelak egin nahi diren). Kobrezko orri horiek, gainera, argi ultramorera fotosentikortutako erretxinazko geruza bat dute gainean barreatuta. Erretxinazko geruza hori positiboki edo negatiboki egon daiteke fotosentikortuta. Erretxina fotopositiboa argiarekin erreakzionatu eta disolbagarri bihurtzen da; horrela, errebelatzaile egoki bat gai izango da erretxina hori erauzteko. Erretxina negatiboaren portaera, aldiz, positiboarenaren alderantzizkoa da: argiaz, disolbagaitz bihurtzen da, eta errebelatzaileak ezin izango du erauzi.

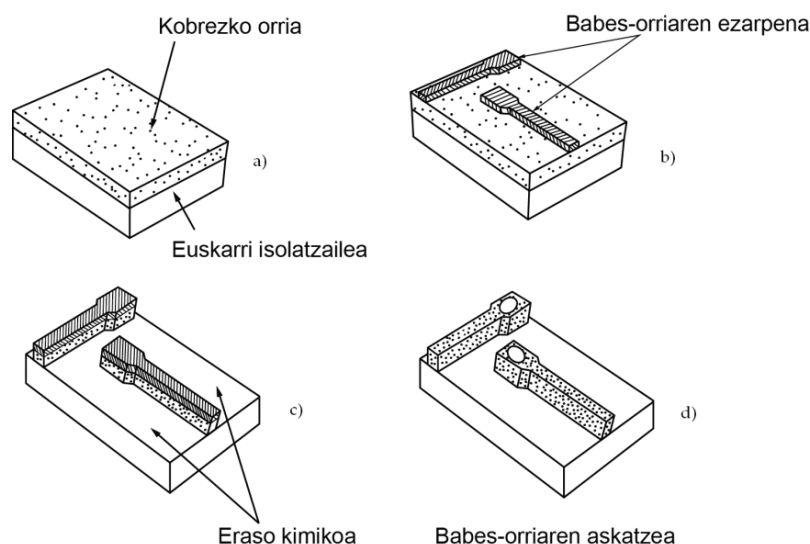
Demagun euskarri elektrikoki isolatzailea dugula (beirazko zuntza edo bakelita, eskuarki), gainaldean kobrezko orri eroalea duena, eta kobrezko orri eroale horrek gainean erretxina fotopositiboz babestutako geruza bat duela, 7.26.a irudian agertzen den antzera:

1. Diseinu-prozesuaren ondoren lortutako pisten *layoutarekin*, fotolito bat inprimatzen da; txartelaren gainean ezarri, eta txartela gehi fotolitoa intsolagailua deritzon makina batean sartuko dira. 7.26.b irudian fotolitoaren orde, babes-orria kokatu egiten da babestu nahi den eskualdeetan (marrazketa zuzena).
2. Intsolagailua argi ultramorearekin ematen duen gailua da (ikus 7.25 irudia). Txartela gehi fotolitoa denbora batez argi ultramorearen eraginean uzten badira, erretxina fotopositiboa disolbagarri bihurtuko da, baina agerian dagoen tokian soilik. Argi ultramorearekin ezin da heldu fotolitoak estali edo babestu egiten duen eskualdeetara, eta, hortaz, horko, erretxina ez da disolbagarri bihurtuko.



**7.25 irudia.** Zirkuitu inprimatu bat bi aurpegietatik intsolatzeko gailua.

3. Txartela gehi fotolitoa intsolagailutik atera eta gero, txartela produktu errebelatzailez betetako erretilu batean sartzen da. Likido errebelatzaileak babestu egin den erretxina (*layout*) kobreak gainazalean finkatuko du, transferentzia burutua delarik. Hemendik aurrerako pausoak (4 eta 6) transferitutako diseinua gauzatzeko balio du, transferentzia egiteko erabilitako prozedura edozein izan delarik.
4. Erauzitako erretxina zegoen eskualdeetan, orain, kobrea ageri da nabarmen. Txartela kobrea erauzteko isuri kimikoa duen beste erretilu batean sartzen da (azido klorhidrikoa edo kloruro ferrikoa, eskuarki). Isuri kimiko horrek agerian dagoen kobrea erauziko du, baina ezin du erauzi erretxinak babestutako gainontzeko eskualdea (ikus 7.26.c irudia).
5. Txartela, berriz ere, intsolagailuan sartzen da; oraingoan fotolitorik gabe, eta txartelean gelditzen den erretxina (aurrekoan fotolitoak babestutako eskualdea) sentikortu egiten du.
6. Berriz ere, isuri errebelatzailea duen erretiluan lagatzen da txartela. Oraingoan, fotosentikortutako erretxina erauzi egingo da, eta horren azpian agerian dauden kobrezko pista eroaleak txartelean inprimatuta nabarmen agertzen dira. Ikus 7.26.d irudia.

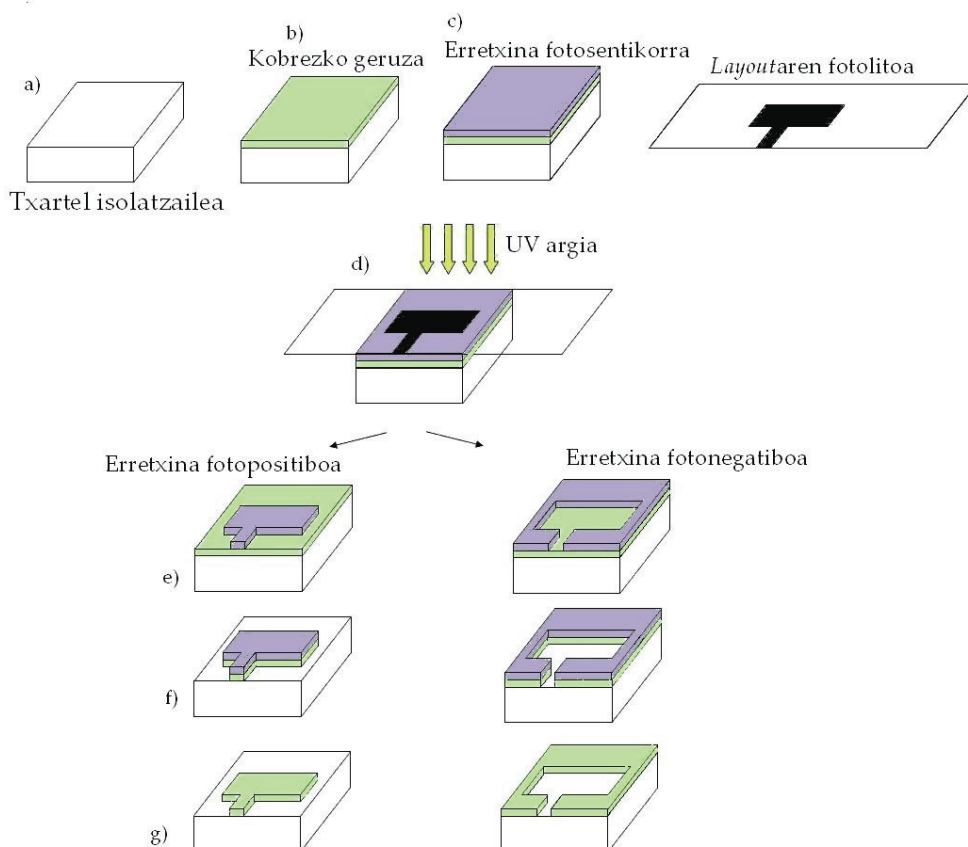


**7.26 irudia.** Txartel inprimatuetan kobrezko geruza selektiboki erauzteko sistema. Kasu honetan, babes-orriek fotolitoaren lana betetzen dute.

7.27 irudian, txartel bat inprimatzeko ematen diren pausoak erabilitako erretxinei erreparatuta agertzen dira:

- a) Abiapuntua txartel isolatzailea da.

- b) Txartel isolatzailean kobrezko geruza itsatsita dago.
- c) Kobrezko geruzaren gainean, erretxina fotosentikorra barreiatuta dago.
- d) Txartelean inprimatu nahi den *layouta* marraztuta daukan fotolitoa gainean kokatu eta intsolagailuan sartzen da, UV argiak estalitako eskualdeak argizta ditzan.
- e) Errebelatzaileak disolbagarri bihurtutako erretxinaren eskualdeak erauzten ditu. Erretxina fotopositiboa bada, argizatutako eskualdea. Erretxina fotonegatiboa bada, argizatutako eskualdea.
- f) Isuri kimiko batek agerian gelditutako kobrea erauzten du.
- g) Txartela, berriz ere, intsolagailuan sartzen da. Erretxina fotopositiboaren kasuan fotolitorik gabe. Errebelatzaileak erretxina erauziko du, eta kobrezko pista agerian geldituko dira.



7.27 irudia. Pisten *layouta* txartelean inprimatzerakoan ematen diren pausoak.

Beharbada, lagungarri izango zaizu interneten bideo hau ikustea: <http://wn.com/PCB Etching>

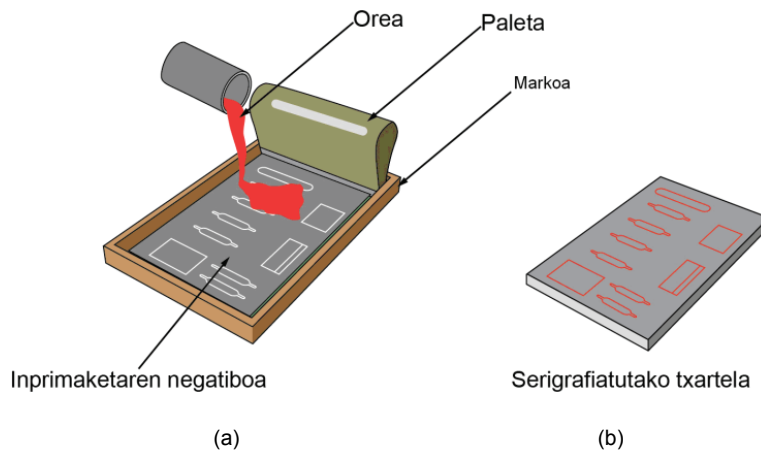
### 7.5.3 Inprimaziorako prozedurak: Serigrafia

Inprimaziorako prozedura, edo zeharkako marrazketa, kobrezko pista eroaleak erauzi nahiz ez diren tokien gainetik tinta babeslea lagatzean datza. Inprimategietan erabilitako metodoen berdintsua dela esan daiteke. Inprimaziorako prozeduretan, serigrafia da ohikoena, baina *offset* teknikak ere erabiltzen dira.

Serigrafia oso zabalduta dagoen inprimaketa-prozedura da, eta oso maila fineko ehuna duen bastidorez osatutako pantaila erabiltzen du. Kobrezko pista eroaleen *layouta* zirkuitu inprimatuaren gainazalean marraztuta gelditzeaz gain, osagaien aurpegiko mapa txartelean marrazteko ere erabili ohi da serigrafia, 7.1.a irudiko osagaien antolamendu eta identifikaziorako maparen marrazketa txartelean inprimatuta lagatzeko, hain zuzen ere. Atal



honetan ematen diren azalpenak osagaien aurpegiko mapa txartelean lagatzeko prozeduran oinarrituta daude. Pisten inprimaketa egiteko, noski, sistema berdintsua erabiltzen da.



7.28 irudia. Serigrafia-prozesua. (a) Serigrafiarako osagaiak. (b) Serigrafiatutako txartela.

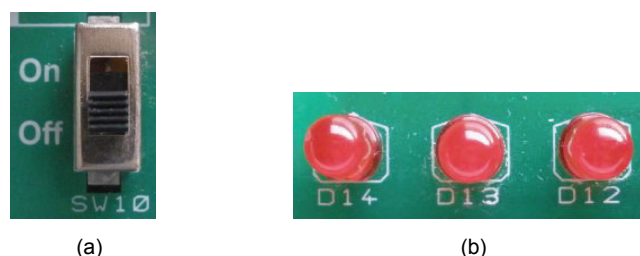
7.28 irudiari jarraituz, hauexek dira serigrafian parte hartzen duten osagaiak eta haien betekizunak:

**Pantaila:** Marko batez eta inprimaketaren negatiboaz osaturik dago. Markoak inprimaketaren negatiboari eusten dio.

**Inprimaketaren negatiboa:** Oro har, saretxo bat da, ehun metalikoz egina. Ehun metaliko horiek toki batzuetan estuagoak dira beste batzuetan baino. Oso estuak diren ehunetan zehar, ore bat ezin izango da iragan, eta saretxoaren gainazalean geratuko da. Aldiz, ehunen arteko distantzia zabalagoa den tokietan, ore horrek sarea zeharkatuko du. Horrela, ehunaren konfigurazioaren arabera, oreak nahi den tokietan zeharkatuko du ehuna. Inprimaketaren azpian txartel isolatzailea kokatuz gero, ehuna zeharkatu duen ore txartelaren goialdean kokatuko da, eta txartelean *layouta* marraztu. Ehunaren konfigurazioari inprimaketaren negatiboa deritzo.

**Paleta:** Orea saretxoaren izkina batean jarrita, paleta mugiarazten da, inprimaketaren negatiboa guztiz eskaneatu arte. Paletak oreari bultza egingo dio, eta ore, sareak uzten dion tokietan, inprimaketaren negatiboa zeharkatuko du, eta txartelean ezarriko da.

Osagaien aldearen mapa orokorrean, zuri koloreko tinta batez marraztuta egon ohi da. 7.29.a irudian ikus daitekeen bezala, *switch* edo etengailu bat nola konektatu behar den ematen da aditzera serigrafiaren bitartez (*On* eta *Off* posizioak kontuan hartuta); gainera, SW10 kodeketak esan nahi du *switch* bat dela eta txartel horretan dagoen 10. *switcha* dela; hau da, identifikazio-kodeak ere serigrafiaren bitartez marraztu egiten dira.



7.29 irudia. Serigrafiaz inprimatutako osagaien aurpegiko datuak. (a) Switch edo etengailua. (b) LED diodoak.

7.29.b irudian, aldiz, 3 LED diodo nola kokatu behar diren adierazita dago, serigrafiaren bitartez (anodoen aldea borobilduta dago, katodoen aldea berriz, zuzena da), baita osagai bakoitzaren identifikazio-kodea ere (D14, D13 eta D12 alegia).

**Offseta:** Serigrafiaren antzera, inprimaziorako prozedura bat da, hau da, *layoutak* zirkuitu inprimatura transferitzeko beste sistema bat. Gomazko ehun baten bidez transferitzen da *layouta* txartelera. Txartelean ezarritako tinta-geruza mehea da, serigrafia baino doitasun handiagoko sistema da, hortaz, baina, garestiagoa ere bai.

### 7.5.4 Transferentzia automatizatua

Transferentzia automatizatuak zera esan nahi du, irudiaren transferentzia zirkuitu inprimatuko txartelean zuzenean ekipo batek egiten duela, inolako tinta edo aurretransferentziaren beharrik gabe; hau da, ordenagailutik txartelera, automatikoki eta zuzenean. Laser-izpien bidez induzitutako fotolitografiak egiten duen antzera, non ordenagailuak *Gerberra* irakurri eta zuzenean laser izpiak erabiltzen dituen makina batek *layouta* “marrazten” baitu aurretik fotosentikortu egin den kobrezko gainazalean. UFTP edo neurri ultrameheko pausoko teknologia garatzeko erabil daiteke (*Ultra Fine Pitch Technology*) teknika hori.

Azkenik aipagarria da transferentzia-teknika zuzenena, hau da, ordenagailuak txarteletik plaka zuzenean erauzten duen makina baten (fresatzeko makina antzeko bat) mugimenduak kontrolatuz lortzen dena (*PCB milling/engraving*).

## 7.6 Fabrikazioa osatzeko gainontzeko prozesuak

Puntu honetaraino lortutako zirkuitu inprimatua txartel isolatzailea da, gainean zirkuitu elektroniko baten *layoutak* ezarri zaizkiona (pista eroaleak gehi osagaien antolamendurako mapa). Hemendik aurrera, honako pauso hauei jarraitu beharra dago, zirkuitu inprimatua bukatutzat hartzeko:

1. *Pad* eta/edo bideetan daratulu-zuloak egitea.
2. Bideen metalizazioa.
3. Osagaien ezarketa: eskuzkoa zein automatizatua (ingelesezko *pick and place* sistema).
4. Osagaien soldaketa zirkuitu inprimatuan:
  - a. Beroak materialetan garraiatzeko duen hiru moduez baliatuta: kondukzioz (solidoetan), konbekzioz (likidoetan) eta erradiazioz (gasetan).
  - b. Soldadura gogorak, soldadura eutektikoak, fusiorik gabeko soldadurak (ultrasoinuak erabilia, soldadura termosonikoa, termokronpresioa...).
5. Oxidazioaren kontrako babesa: berniza. Berniz hori urre-elektrolitikoak edo Sn-Pb aleazio-bainua izan daiteke, besteak beste.

## 7.7 Zarata elektromagnetikoa

Zirkuitu elektroniko baten funtzionamenduan, hainbat seinale ari dira zirkuitu inprimatuetako pistetatik bidaiatzen une berean. Seinale batek aldameneko beste baten funtzionamenduan eragina izan dezake, eta bigarren horren funtzionamendua kaltetu. Fenomeno horri zarata elektromagnetikoa deitzen zaio: zarata, nahi ez den energia-iturri batek beste energia-iturri baten portaera eralda dezakeelako, eta elektromagnetikoa, kasu honetan iturri “arrotza” edo aztoratzailearen eta hartzaile edo kaltetuaren arteko akoplamendua eremu elektromagnetikoa delako. Zarata elektromagnetiko hori ahalik eta txikien izatea nahi da, guztiz desagerrarazi ezin ez bada, bederen. Zirkuitu inprimatu elektroniko baten pistetatik zehar doazen seinaleek zarata-mota asko paira baditzakete ere, diafonia da, agian, zarata-motarik adierazgarrienetako bat.

### 7.7.1 Diafonia

Bi igorpen-bide hurbileko seinaleak gainjartzearen fenomeno da diafonia (ingelesezko *crosstalk*, XT). Maiztasun handiko edo azkar aldatzen diren seinaleak ditugunean gertatzen da eskuarki.

Demagun PCB batean bi pista oso hurbil daudela. Horren ondorioz, gerta daiteke pista horietako batetik doan seinale batek bigarren pistatik doan seinalean eragina izatea, eta hura eraldatzea. Oro har, eta zirkuitu inprimatuetan ahalik eta toki gehien aurrezteko asmoz, bai osagaiak bai pistak ahalik eta hurbilen kokatu ohi dira. Hori dela eta, kontu handia izan behar da diafoniarik sor ez dadin.

Bi diafonia-mota nagusi bereiz daitezke:

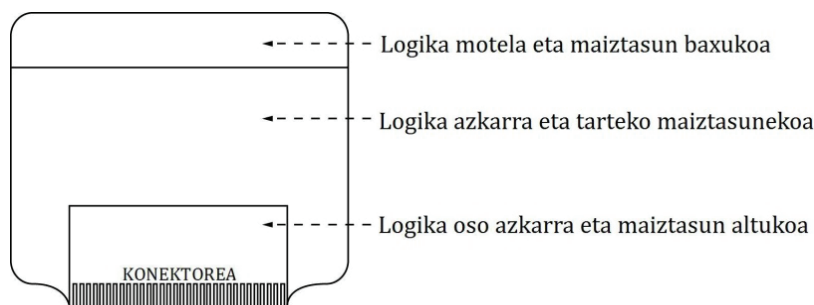
1. Akoplamendu inдукtiboaren ondoriozko diafonia: Zarata-iturriak sortutako eremu magnetikoak eragindako diafonia.
2. Akoplamendu kapazitiboaren ondoriozko diafonia: Zarata-iturriak sortutako eremu elektrikoak eragindako diafonia.

PCBetako diafoniaren eragina txikitzeko, besteak beste, honako puntu hauek izan beharko lirateke kontuan:

1. Pistek komunean dituzten distantziak txikitzea.
2. Pisten arteko distantziak handitzea.
3. Diafoniaren arazoa duten pisten artean babes-pistak kokatzea.
4. Iturri aztoratzailearen tentsioa ahal den neurrian txikitzea.
5. Pista paraleloen arteko distantzia/luzera erlazioa kontrolpean izatea.
6. Txartel inprimatuaren zabalera txikitzea, pisten eta masa-planoaren arteko distantziak txikiagoak izan daitezen.
7. Ahalik eta maiztasun baxuenetan lan egitea.

Horiek guztiak kontuan hartuta, txartel batean ager daitezkeen pisten arteko zarata-iturriak minimizatu egiten dira eta, hortaz, zirkuituak hobeto funtzionatzen du.

Bukatzeke, bi aurpegidun zirkuitu inprimatuetan, diafoniak eta bestelako zaratak txikitzeko, gomendatzen da logika-mota ezberdinak konektorearekiko nolabait antolatzea, logikarik azkarrena konektoretetik hurbil jarrita, eta logikarik motelena ahalik eta urrunen, 7.30 irudian ageri den bezala:



7.30 irudia. Diafonia eta bestelako zaratak txikitzeko logikaren antolakuntza.



# 8 Ekipo elektronikoen muntaketarako sistema modularrak

Ekipo elektronikoen muntaketa mekaniko eta elektrikoa egiteko txartel elektronikoei eusteko eta elkarren artean konektatzeko egitura mekanikoak behar dira. Fabrikatzaileek merkaturatzen dituzten txartel eta modulu elektronikoen arteko bateragarritasuna eta trukatzeko ahalbidetzeko, DIN eta IEC araudiek ezarritako estandarrak betetzen dituzten sistema mekaniko modularrak eta konektore-familiak erabiltzen dira. Sistema modular estandar erabiliena "19 hazbetekoa" deritzona da: txartel elektronikoak kokatzeko erabiltzen diren moduluen zabaleraren neurri estandarretik hartzen du izena. Kapitulu honetan, sistema elektronikoko osoak muntatzeko erabiltzen diren baliabide mekanikoak eta txartel eta modulu elektronikoak elkarren artean konektatzeko erabiltzen diren konektore eta kableatu-teknika estandarrak aztertuko ditugu.

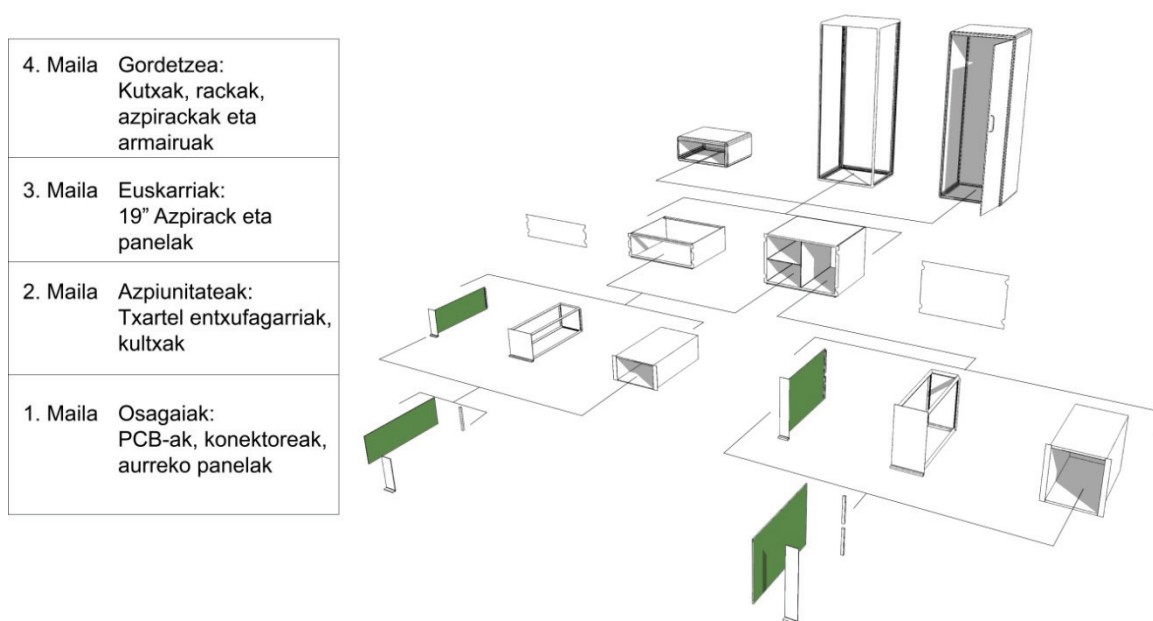
## 8.1 19"-ko sistema modularra

19"-ko (hemeretzi hazbeteko) sistema modular estandarra ekipo elektronikoaren muntaketarako sistemarik erabilitakoa da industriaren arloan. Sistemaren zehazpenak IEC 60297 (orain) eta DIN 41494 (lehen) arauetan deskribatuta daude. Muntaketa mekanikoko sistema modular estandarra erabiltzeak baditu hainbat abantaila:

1. Fabrikatzaile desberdinen moduluak konbina daitezke.
2. Sistema elektronikoak errazago testatzen dira.
3. Sistema elektronikoak errazago konpontzen dira.
4. Modulu eta txartel entxufagarriak elkarren artean truka daitezke.
5. Instalazio elektroniko industrialak seriean errazago fabrikatzen dira.

19"-ko sistema modularra lau eraikuntza-mailatan banatuta dago:

- **1. maila:** Txartelak (PCB), konektoreak eta aurreko panelak (IEC 60297-3 eta DIN 41494-3).
- **2. maila:** Txartel eta modulu konektagarriak (IEC 60297-3).
- **3. maila:** Azpirack-ak (IEC 60603) eta 19"-ko panelak (IEC 60297-1/-2/-3 eta DIN 41494 1-5).
- **4. maila:** 19"-ko *rack*, kutxa eta armairuak (IEC 60297-1/-2 eta DIN 41494 1-7).

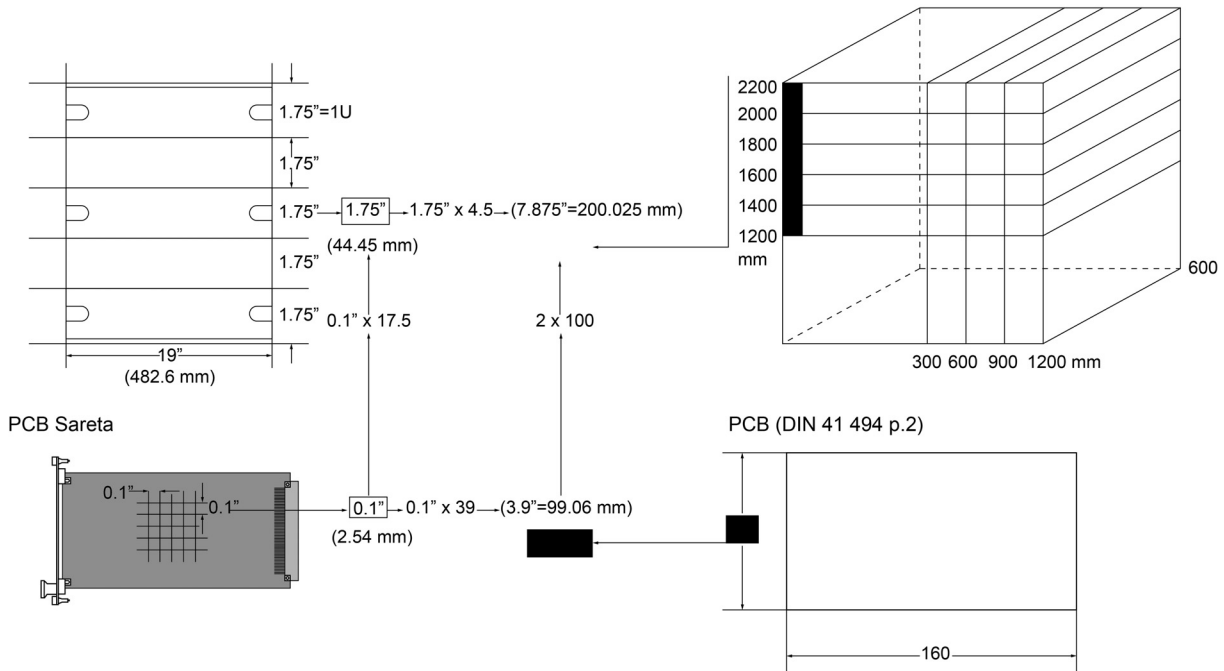


**8.1 irudia:** 19"-ko sistema modularren ikuspegi orokorra. Lau eraikuntza-maila definitzen dira, txarteletatik hasita eta armairuetara helduta.

Sistema osoaren egituraketa hierarkikoa oinarritzko neurri estandarretan oinarrituta dago. Hala, osagai elektronikoaren kokapenerako oinarritzko saretaren neurri-pausua 0,1" (2,54 mm) da; txartelen oinarritzko neurria *Europa* tamaina (*europcard*) da (100×160 mm); panelen zabalera 19" da, eta armairuetarako neurri-pauso metrikoak ezartzen dira (ikus 8.2 irudia). Ikus ditzagun banan-banan maila bakoitzari dagozkion moduluen xehetasun teknikoak.

(IEC 297) 19" Aurreko panelak

Armairuak (DIN 41 488 p.1)

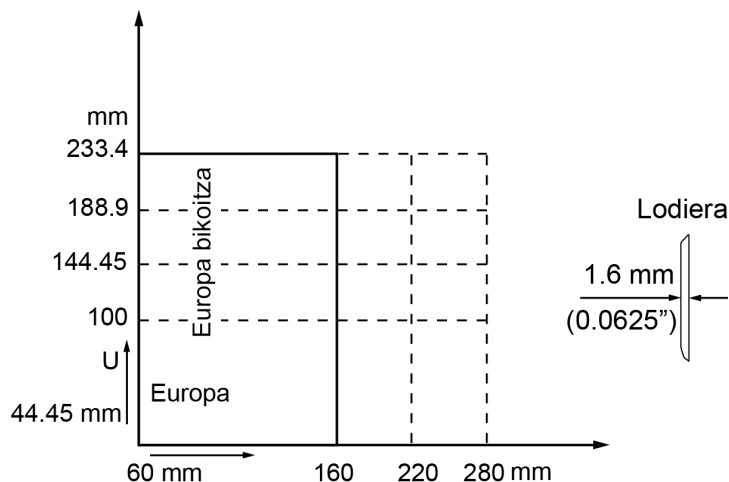


8.2 irudia: Sistema modularren oinarrizko neurri estandarrak.

## 8.2 1. maila: Osagaiak

### 8.2.1 PCBak

Txartel elektronikoak muntatzeko erabil daitezkeen PCBen neurriak IEC 60297-3 arauak ezarrita daude. Oinarrizko erreferentziako txartel-tamaina *Europa* tamaina da; 100 mm altuera (3U) eta 160 mm sakonera ditu. Erreferentziako neurri horietatik abiatuz eta 44,45 mm altuerako eta 60 mm sakonerako neurri-pausoak hartuta, beste txartel neurri estandarrak definitzen dira (ikus 8.3 irudia). Txartel-neurri erabilienak Europa (*Europcard*) eta Europa bikoitza dira (*double Europcard*); azken horrek 233,4 mm altuera (6U) eta 160 mm sakonera ditu. Gomendatutako txartel-lodiera 1,6 mm da tamaina guztietarako.



8.3 irudia: Zirkuitu inprimatuak egiteko neurri estandarrak. Ohizkoenak Europa txartela eta Europa bikoitza txartela dira.

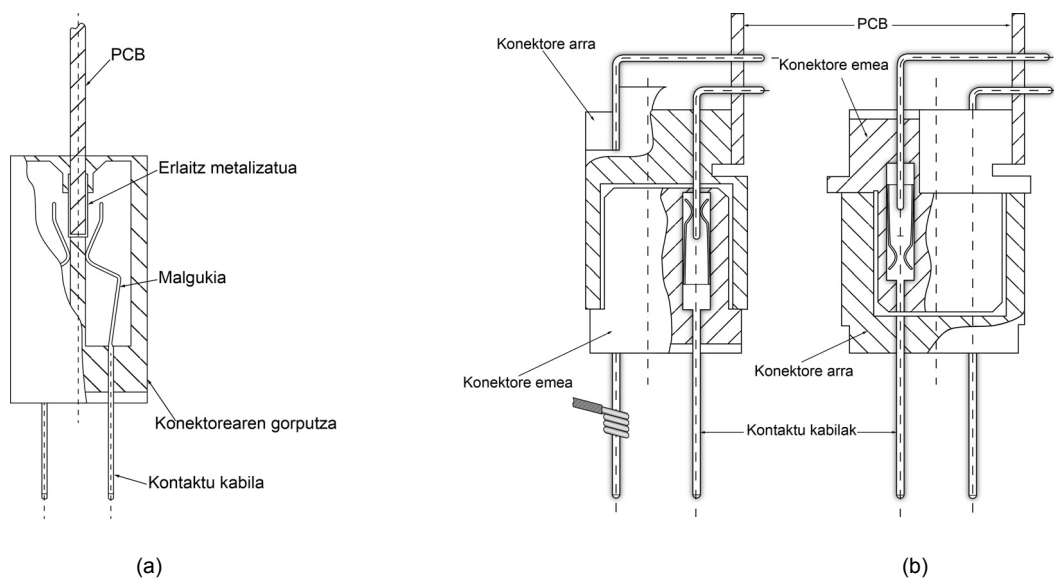
Txartelen aurreko ertzean, euskarri edo panel bat txertatzen da; hori hutsa egon daiteke baina led, display eta kontrol eta aginterako eragingailu txikiak ere izan ditzake. Txartelaren atzeko ertzean, konektoreak txertatzen dira, txartelen arteko eta horien eta beste moduluen arteko komunikaziorako eta beharrezko elikatze-lerroak konektatzeko. Konektoreen ezaugarri mekaniko eta elektrikoak IEC 60603 arauak ezartzen ditu (lehen DIN 41612). Ikus ditzagun zein diren konektore-mota horiek eta dagozkien kableatu-teknikak.

## 8.2.2 Konektoreak

Konektoreak eroaleak lotzeko balio duten bi piezako elementuak dira. Bi atalen arteko lotura mekanikoa eta elektrikoa dute helburu. Konektoreak, sistema modularrean, 2. mailako eraikuntza-taldeen eta 3. mailako euskarri mekanikoen (azpirack-ak) kableatu-eremuen seinale elektrikoaren arteko transferentzia gauzatzen dute. Konektoreen diseinua eta sailkapena baldintzatzen dituzten faktoreak honako hauek dira:

1. Txartelean ezarri diren osagai mota, elkarren arteko konexioak eta sarrera/irteera seinale kopurua.
2. Seinale elektrikoaren korrante eta tentsio mailak.
3. Kableatu-teknika eta erabilitako harien sekzioa.
4. Txartel eta kutxa konektagarrien diseinua eta euskarrien neurriak.
5. Kontaktuen segurtasun- eta fidagarritasun-eskakizunak.

Oro har, bi konektore talde desberdindu daitezke: konektore zuzenak eta zeharkako konektoreak. Konektore zuzenak sinpleenak dira, atal isolatu bakarria dutelako (*azpiracketan* finkatzen direnak), eta txartelen erlaitz metalizatuetan zuzenki konektatzen dira (8.4.a irudia). Konektore erabilienak, ordea, zeharkakoak dira, segurtasun eta fidagarritasun handiagoa baitute, eta bi atalez osatuak dira. Zeharkako konektoreak arruntak edo alderantzikatuak izan daitezke. Arruntak kasuan, atal arra PCBan finkatzekoa da, eta atal emea, euskarrietan (*azpiracka*) finkatzekoa; konektore alderantzikatuetan, alderantziz gertatzen da (8.4.b irudia).



8.4 irudia: Konektore zuzena (a) eta zeharkako konektoreak (b).

Zeharkako konektoreak, aldi berean, hiru talde nagusietan banatzen dira, erabilitako kableatu-teknikaren arabera: 1 taldea (Mini), 2 taldea (Midi) eta 3 taldea (Maxi). Mini taldekoek dituzte kontaktu-kabila txikiak, korrante maila txikietarako diseinatuak daudelako, eta Maxi taldekoek dituzte kontaktu-kabila zabalenak, korrante-maila handieneko seinaleak kableatzeko erabiltzen baitira. 8.1 taulan laburbilduta daude konektore talde bakoitzeko ezaugarri nagusiak.



Kableatu-teknika	1 taldea	2 taldea		3 taldea		
	Mini	Midi		Maxi		
Eroalearen tamaina	AWG32...AWG26	AWG26...AWG20		AWG20...AWG10		
Kontaktu-kabilen tamaina tipikoa	0,6 × 0,6 mm <sup>2</sup>	1 × 1 mm <sup>2</sup>		0,8 × 6,3 mm <sup>2</sup>		
Seriea	1 seriea	2 seriea	1 seriea	2 seriea	1 seriea	2 seriea
Korrente izendatu maximoa (70°C)	1 A	4 A	4 A	4 A	16 A	12 A
Kontaktu-kabila kopuru maximoa	96	48	48	64	11	15
Saretaren neurri-pausoa	2,54 0,1"	5,08 0,2"	5,08 0,2"	5,08 0,2"	7,62 0,3"	10,16 0,4"

8.1 Taula: Mini, Midi eta Maxi konektoreen ezaugarriak.

Isolamendu mailaren arabera ere taldekatu daitezke konektoreak (VDE-0110 araua). Isolamendu maila ingurumenaren eraginez (hautsa, lohikeria, hezetasuna eta abar) sortutako isolamenduaren degradazioarekin erlazionatuta dago, eta, helburuko aplikazioaren arabera, talde bat edo besteko konektorea aukeratuko dugu:

**A0 taldea:** Potentzia txikiko ekipoak, ingurune garbi, lehor eta girotuetan erabiltzeko.

**A taldea:** Ingurune garbi, lehor eta girotuetan erabiltzeko.

**B taldea:** Biltegi, laborategi, etxe, medikuntza gela eta abarretan dauden ekipoetan.

**C taldea:** Berogailurik gabeko lantegi komertzial eta industrialetan, nekazaritza-instalazioetan eta abar.

**D taldea:** Toki hezeetan, ibilgailuetan eta hauts eroalez kutsatutako tokietan.

Konektoreak izendatzeko DIN41612 arauari jarraituz (IEC 60603), izendapen-kode jakina erabiltzen da; konektorearen hainbat ezaugarriei buruzko informazio kodifikatua ematen du horrek. Sei letra eta lau zenbaki dituen kodea erabiltzen da:

DIN41612	L <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
----------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

**L<sub>1</sub>:** Konektorearen gorputzaren forma eta zabalera adierazten du (T = 2t = 0,2").

Mini (2,54mm) → B(2T), C(3T), R(3T), K(3T)\*

Midi (5,08mm) → D(3T), E(4T), F(3T)\*, G(4T), M(3T)

Maxi (7,62mm) → H(3T)

(\* ) 2 seriea

**N<sub>1</sub> N<sub>2</sub> N<sub>3</sub>:** Konektorearen polo edo kontaktu-kabilen kopurua adierazten duen zenbakia.

**L<sub>2</sub>:** Konektore-mota: F=emea, M=arra.

**L<sub>3</sub>:** Konektorearen gorputza: B=hutsik, C=kontaktuduna, S=kontaktu erauzgarriak.

**N<sub>4</sub>:** Kontaktuaren gainazalaren materiala: 1=urra/urre-aleazioa, 2=zilarra/zilar-aleazioa, 3=eztainua/eztainu-aleazioa.

**L<sub>5</sub>:** Zein kableatu-teknikatarako diseinatuta dagoen.

**L<sub>6</sub>:** Zein den konektorearen kalitatea edo klasea. Zenbat konexio/deskonexiorako bermatuta dagoen:

1 → 500 konexio/deskonexio.

2 → 400 konexio/deskonexio.

3 → 50 konexio/deskonexio.

### 8.2.3 Kableatu-teknikak

Konektoreez ari garenez, nahitaezkoa da kableatu-teknikei buruz argibideak ematea. Kableatua txartel eta modulu konektagarrien artean seinale elektrikoak transmititzeko erabiltzen da, eta erabilitako teknika konektoreen polo edo kontaktu-kabilen forma eta ezaugarrien arabera da (edo hobe, alderantziz). DIN41612 arauari jarraitzen dioten konektoreetarako eskuragarri diren kableatu-teknikak sei talde nagusitan sailkatzen dira.

## 1. Taldea: Klip-konexioak

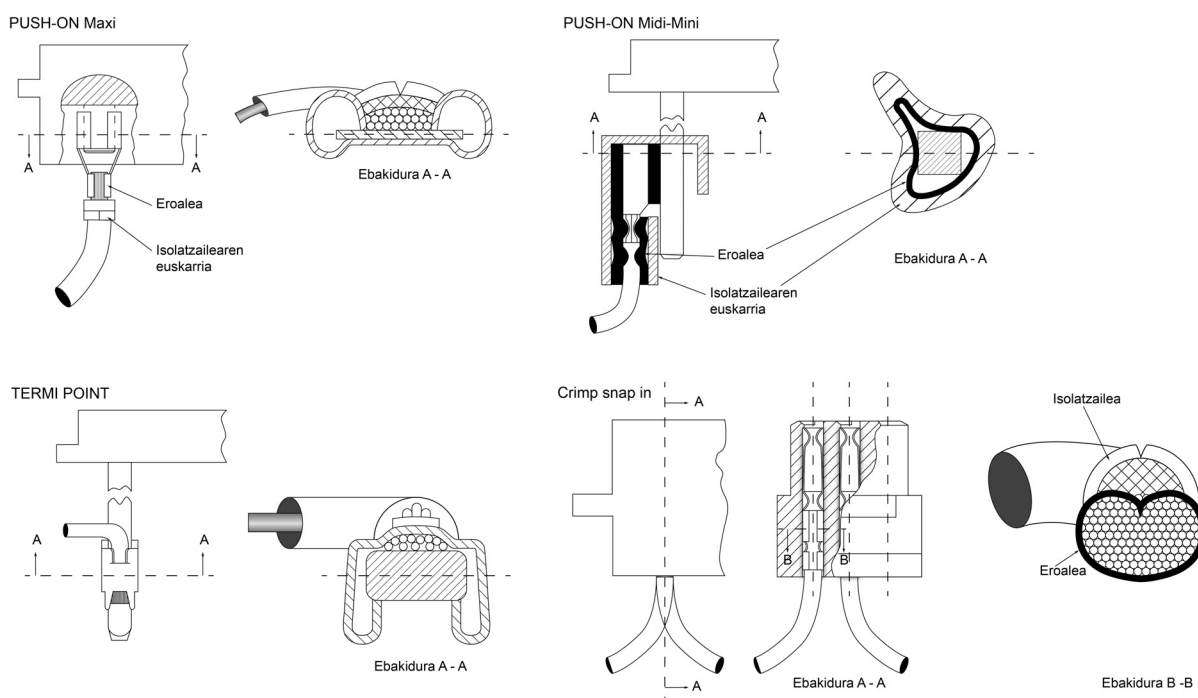
Kablearen muturrean, klip metalikoa dute, konektorearen kontaktu-kabilak hartzeko. Kontaktuaren forma eta tamaina eroan beharreko korrante intentsitatearen eta konektorearen poloen formaren arabera dira. Lau azpitalde desberdin daitezke:

**1.1-taldea:** Korrante handietarako ( $I \in [10A, 20A]$ ) erabiliak. Sakatzeko, kontaktu angeluzuzenak dituzte ( $6,3 \times 0,8 \text{ mm}^2$ ). Maxi konektoreekin erabiltzeko.

**1.2-taldea:** Korrante ertain eta txikietarako erabiliak. Sakatzeko, kontaktu angeluzuzenak dituzte ( $1 \times 1 \text{ mm}^2$  eta  $0,6 \times 0,6 \text{ mm}^2$ ). Midi eta mini konektoreekin erabiltzeko.

**1.3-taldea (Termi-Point®):** Klip batek konektorearen kabila eta kablea estuki hartzen ditu.

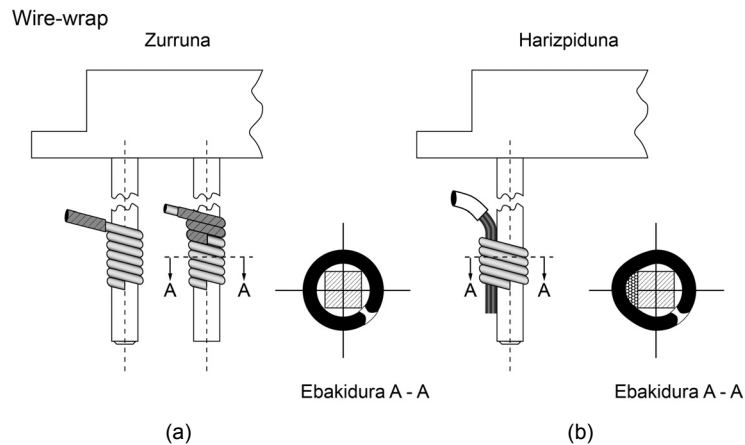
**1.4-taldea (crimp snap-in):** Kablearen hari eroalea eta inguruko isolatzailea 1.1 eta 1.2 taldeetan antzera estutzen dira, baina pieza eroale bakar bat erabiliz.



8.5 irudia: Klip-konexioak.

## 2. Taldea: Hariaren biraketa (wire wrapping)

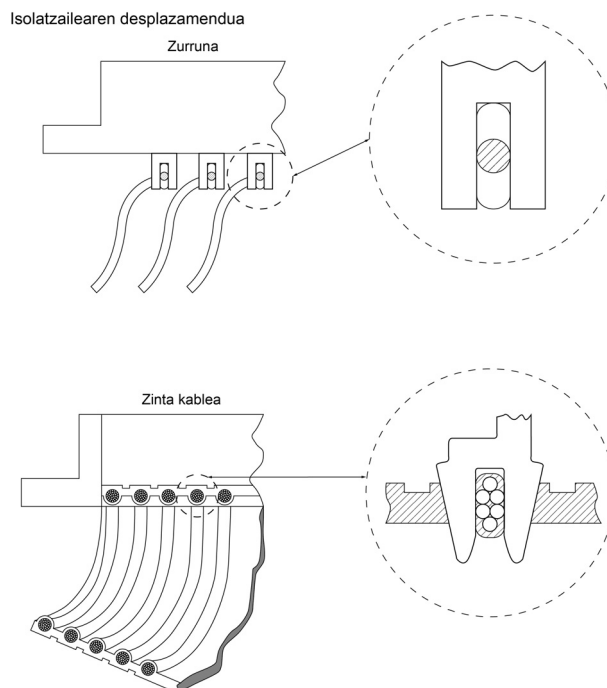
Kablea kabilaren inguruan, biribilkatu egiten da, zortzi bat aldiz presio handiarekin kontaktu-kabilaren ertzek kablearen isolatzailea apurtu eta hari eroalearekin kontaktua egin arte. Kablea zurruna ez denean, harizpiduna baizik, beste hari zurrun batez lotzen da.



**8.6 irudia:** Hariaren biraketaren bidezko konexioak. Hari zurruna erabilia (a) eta hari harizpiduna erabilia (b).

### **3. Taldea: Isolatzailearen desplazamendua**

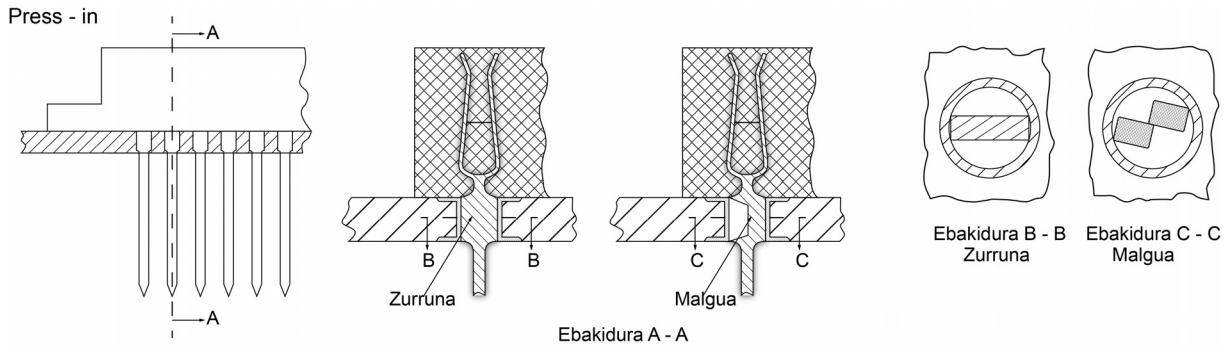
Kablea, “u” itxurako kabletan, presioa eginez sartzen da, tresna berezi bat erabiliz. Kablearen isolatzailea estutu egiten da guztiz desplazatu arte, eta, hala, kabila eta hari eroalearen arteko kontaktua lortzen du. Kasu horretan ere, kablea zurruna edo harizpiduna izan daiteke. Zinta-kableen kasuan, hari guztien kontaktua lortzen da aldi berean.



**8.7 irudia:** Isolatzailearen desplazamendua. Kable ximplearekin (goian) eta zinta-kablearekin (behean).

### **4. Taldea: Press-in**

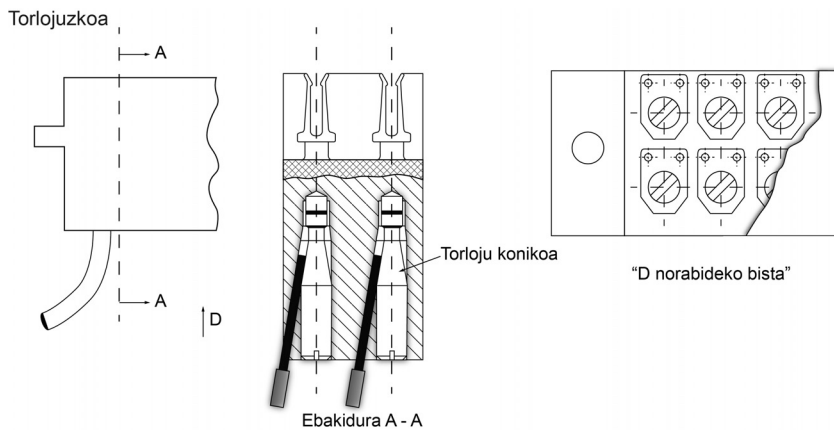
*Press-in* teknika aproposa da geruza anitzeko zirkuitu inprimatuetan erabiltzeko. Konexioak ez du soldaketarik behar, eta kontaktu-kabilak zuzenean sartzen dira zirkuitu inprimatuetan, egindako zulo metalizatuetan. Bi kontaktu mota daude, zurruna eta malgua, eta azken horrek presio txikiagoa behar du. Kontaktua zurrunarekin, berriz, zirkuitu inprimatu bat baino gehiago konekta daiteke konektore berarekin (*stacking* edo *sandwich*).



8.8 irudia: Press-in teknikaren bidezko konexioak. Ez da soldaketarik behar eta geruza anitzeko txartelak konektatzeko sarritan erabilia da.

**5. Taldea: Torlojuzko konektorea**

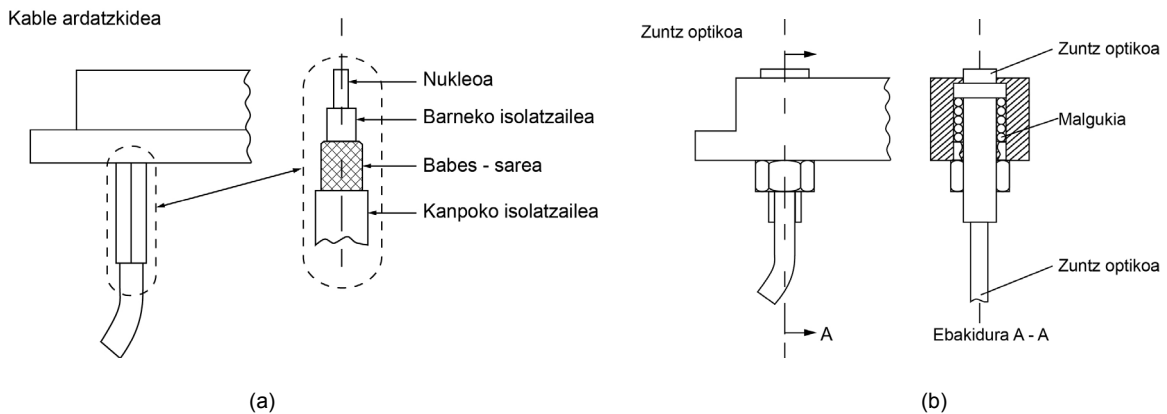
Kableatu-teknika zaharrena da. Kablea zulo metalizatu batean sartu eta torloju baten bidez estutzean datza. Modulu elektroniko indibidualek konektatzeko eta prototipoak egiteko erabiltzen da oraindik.



8.9 irudia: Torlojuzko konektoreak. Teknikarik zaharrena baina oraindik erabilia.

**6. Taldea: Kable berezietarako konektoreak**

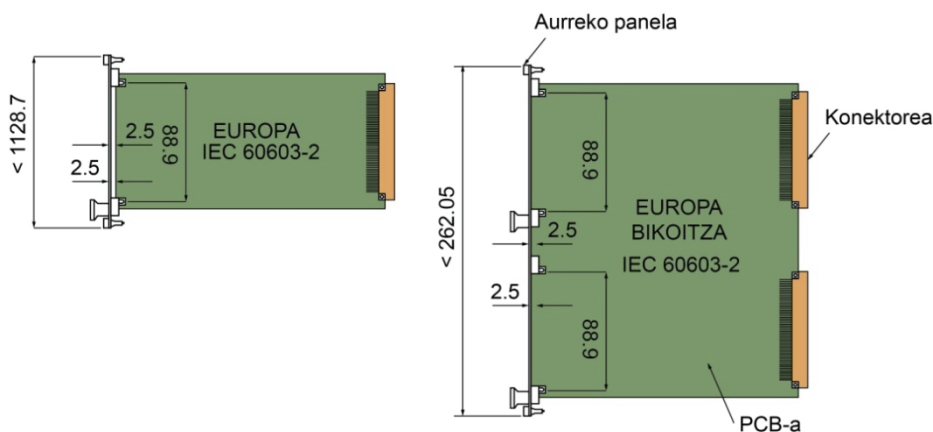
Kable ardazkidea edo zuntz optikoa konektatzeko konektore eta teknika bereziak erabiltzen dira.



8.10 irudia: Kable ardazkidea konektatzeko konektorea (a) eta zuntz optikoa konektatzeko konektorea (b).

## 8.3 2. maila: Eraikuntza-taldeak.

Eraikuntza-sistemaren bigarren mailan, txartelak jartzeko eta finkatzeko osagai mekanikoen ezaugarriak deskribatzen dira. Aipatutako txartel, euskarri edo panel eta konektoreak erabilia, *txartel konektagarriak* ekoizten dira, eta *azpiracketan* zuzenki entxufatzeko gai dira. Txartel konektagarriez gainera, *bloke edo kutxa konektagarriak* ere izan daitezke: funtzionaltasun jakin bat osatzeko txartel anitzen elkarketa izan daitezke edo tamaina handiko osagaiez osatutako unitate mekaniko eta funtzionalak izan daitezke (adibidez, elikatze-iturriak).

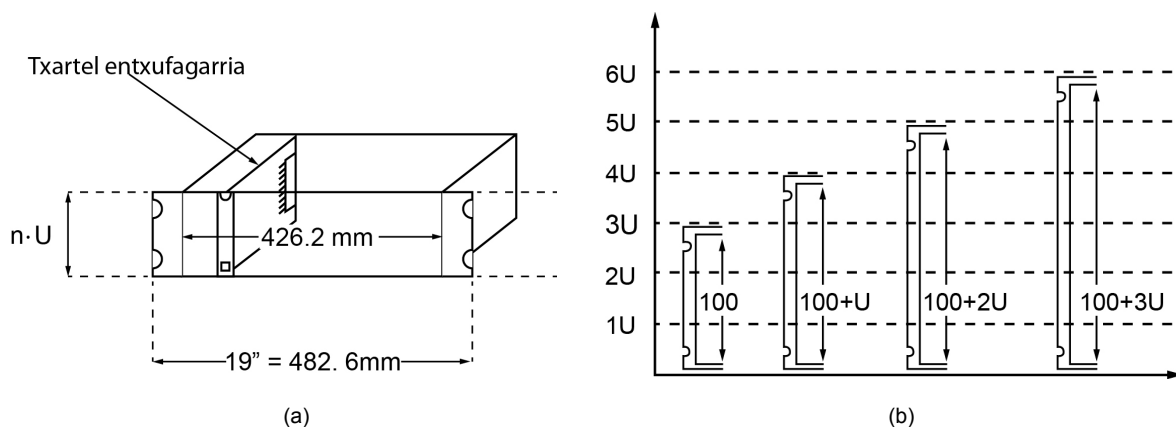


8.11 irudia: Txartel konektagarriak.

## 8.4 3. maila: Euskarriak

Unitate entxufagarriak (eraikuntza-taldeak) kokatzeko euskarriak *azpirackak* dira. Aluminiozko xasisak dira; atzealdetik, IEC 60603 konektoreak finkatzen zaizkie, eta unitate entxufagarriak eta 19"-ko panelak ahokatzeko erabiltzen dira. Altuerak eta zabalera IEC 60297-1 eta -3 arauak zuzenduta daude:

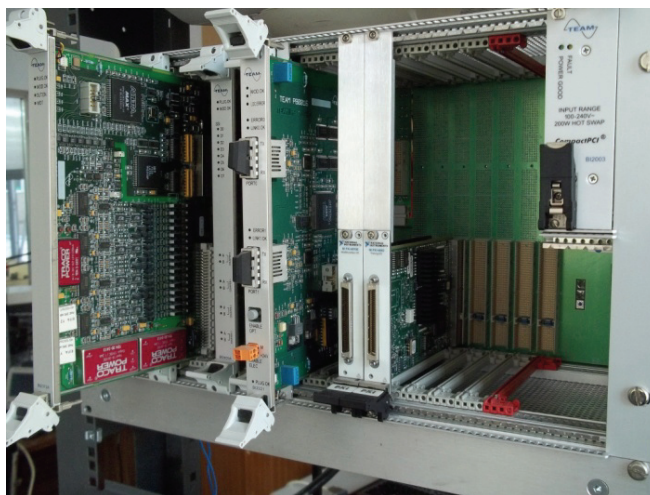
- Zabalera: 19" = 482,6 mm
- Zabalera erabilgarria: 16,8" = 426,72mm (eraikuntza-taldeak sartzeko zabalera neurri-pausoa  $T = 2t = 0,2" = 5,08\text{mm}$  da. Beraz, 84T da zabalera erabilgarria.
- Altuera:  $n \times U$
- Sakonera: zirkuitu inprimatu normalizatuak ekoiztutako txartelak (ikus 8.2.1 atala) hartzeko aproposak.



8.12 irudia: 19 hazbeteko euskarria txartel entxufagarri bat sartuta duela (a). Eskuman, euskarrien altuera normalizatuak (b).

## 8.5 4. maila: *Racka* eta armairuak.

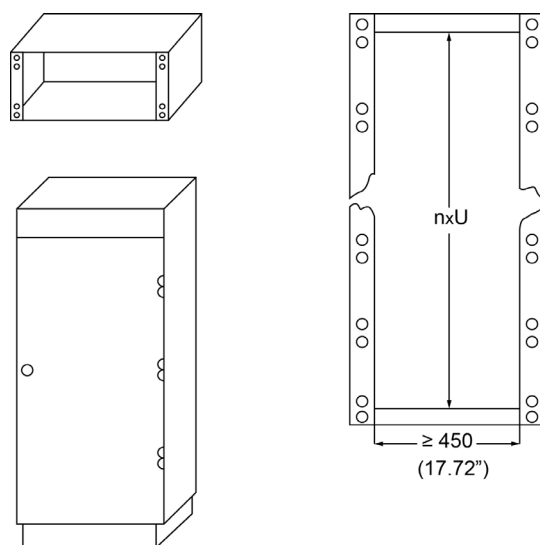
Muntaketarako azkeneko unitateak *racka* eta armairuak dira (gauza bera dira, baina, normalean, *rack* esaten diogu hormarik gabeko armairuari). Horietan, *azpirackak* eta 19"-ko panelak muntatzen dira, baita eta kableatu-eremu osoa ere. Bestelako gailu elektronikoak ere hartzen dituzte sarritan, hala nola korronte-zuzentzaileak edo etengailuak. Armairuek, horma metalikoak dituztenez, babes handiagoa ematen dute interferentzia elektromagnetikoen kontra.



8.14 irudia: 6U altuerako txartel konektagarriak RACK batean kokatuta.

Neurri normalizatuak IEC 60297-1 eta -2 (DIN 41494 1-7, UNE 20539-1 eta -2) arauak zuzenduta daude:

- Zabalera: 600, 900 eta 1200mm (300mm-ko neurri-tartea).
- Altuera: 1600, 1800, 2000 eta 2200mm (200mm-ko neurri-tartea).
- Sakonera: 400, 600 eta 800mm (200mm-ko neurri-tartea).



8.14 irudia: Kutxa eta armairuak sistema modularreko azkeneko maila dira. Sistema elektronikoak gorde eta babestu egiten dituzte. Hauetan ere neurri normalizatuak erabiltzen dira.

# 9 Osagai eta sistema elektronikoen fidagarritasuna

Osagai eta sistema elektronikoen, gaur egungo industriak ekoiztako beste edozein produkturen antzera, bizitza baliagarri mugatua dute. Bizitza baliagarria osagai edo sistemek zehazpenak betez lan egiteko gai direneko denbora da. Sistema jakin baten bizitza baliagarria zein izango den zehazki auresate ezinezkoa denez, sistemen fidagarritasunaren kontzeptua erabiltzen da, hau da, sistema batek bizitza iraupen jakina izateko duen probabilitatea. Sistemen fidagarritasuna zuzenki erlazionatuta dago fabrikazio-prozedurekin eta erabilitako materialekin (hemen, hardwarearen fidagarritasunaz arituko gara, eta ez dugu softwarearen eragina kontutan hartuko), eta, horren ondorioz, ekoizpen-kostuekin ere bai. Fabrikatzaileak bizitza iraupen minimo bat bermatzera behartuta daude (berme-epea), baina, epe horretatik aurrera gertatutako hutsegiteen gaineko erantzukizunik ez dutenez (markaren izen onaren onurez aparte), ekoizle batzuek produktuen fabrikaziorako kostuak ahalik eta gehien murrizten dituzte, eta, beraz, berme-epetik kanpoko hutsegiteak ohikoak dira (zaharkitze planifikatua edo programatua ere kontzeptu horiekin dago erlazionatuta). Kapitulu honetan, fidagarritasun kontzeptuaz arituko gara, sistema elektronikoen zaharkitzeko eta hutsegiteko arrazoiez eta fidagarritasuna estimatzeko erabiltzen diren kontzeptu eta kalkulu estatistikoez ere.

## 9.1 Sarrera eta definizioak

Sistemen fidagarritasuna aztertzeko, bi hurbilketa nagusi erabil daitezke: metodo tradizionalak, datuetan oinarritutako probabilitate kalkuluetan oinarritutakoak eta hutsegiteen analisisan eta hutsegite-mekanismoen fisikaren ikasketan oinarritutako metodoak. Metodo tradizionalak oraindik askotan erabiltzen dira, gauzatzeko errazagoak baitira, eta horiei jarraituko diegu gehienbat kapitulu honetan, baina hutsegite elektronikokoak sorrarazten dituzten mekanismo fisikoak ahaztu gabe. Aurretik ikus ditzagun fidagarritasunari buruz aritzeko beharrezkoak izango ditugun oinarriko kontzeptu eta definizio batzuk:

- **Fidagarritasuna:** Osagai edo sistema bat lan egiteko diseinatu deneko lan-baldintzapean eta denbora-tarte jakinean zehar modu egokian (zehazpenak betez) funtzionatzeko duen probabilitatea da. Konfiantza maila jakin batekiko neurtzen da.
- **Akatsa:** Sistema bere zehaztasunak betetzeko ezgai denean gertatzen da.
- **Hutsegitea:** Sistemaren egoera okerra da, sistemaren osagaietan gertatutako akatsak, diseinuan egindako okerrak, inguruneke interferentziek eragindako akatsak edo erabiltzaileak egindako okerren ondorioz eragindakoa.
- **Hutsegite iraunkorra:** Hutsegite jarraitua eta egonkorra da, sistemaren konponketa edo osagaien baten aldaketa eskatzen duena.
- **Aldizkako hutsegitea:** Noizean behin azaltzen den hutsegitea da; hardware ezegonkorraren ondorioa edo sistemaren egoera batzuetan soilik gertatzen da.
- **Hutsegite iragankorra:** Behin-behineko ingurumen-baldintza jakinen ondorioz gertatzen den hutsegitea da (tentsio-mutur baten ondorioz adibidez).

Sistemen hutsegiteen nolakotasuna bestelako irizpidez ere sailkatu daitezke. Hala, hutsegiteak funtsezkoak (lehen mailakoak) eta mendekoak (bigarren mailakoak) izan daitezke. Funtsezkoak direla diogu baldin eta beste hutsegiteekin erlaziorik ez badute. Mendekoak dira, berriz, baldin eta gertatutako bestelako hutsegiteekin lotuta badaude. Gertatzen direneko unearen arabera ere sailkatu daitezke: goiztiarrak dira sistemaren funtzionamenduaren lehenengo uneetan gertatzen badira (haurtzaroko hilkortasuna); zorizkoak, ohiko bizitza-iraupenaren zehar, eta higadurazkoak edo zahartzarokoak, sistemaren bizitza-iraupena agortuz doan eran. Gertatzen diren moduaren arabera, bat-batekoak eta katastrofikoak izan daitezke (osagai erreak adibidez), ala degradazioz edo deribaz gertatzen direnak.

Osagai baten zein sistema baten fidagarritasunak, beraz, denboran zehar hutsegiterik gabe aritzeko (zehazpenak betez aritzeko) gaitasuna adierazten du. Fidagarritasuna handia dela diogu hutsegiterik gabe aritzeko probabilitatea handia denean, baina probabilitate hori denboran zehar aldatuz doala kontuan izan behar da. Fidagarritasuna ebaluatzeko, hutsegiteen datu estatistikoak erabiltzen dira, eta bizitza-iraupena edo hutsegite arteko  $T$  denbora ausazko aldagai jarraitu gisa adierazten da:

$$P(t \text{ denborarate bizirik irauteko}) = P(T > t) \equiv R(t) \quad (9.1)$$

non  $R(t)$  **fidagarritasun funtzioa** baita, eta  $R(t) \rightarrow 0$   $t \rightarrow \infty$ -ra jotzen duenean. Hala,  $t$  denboran hutsegitea gertatzeko probabilitatea:

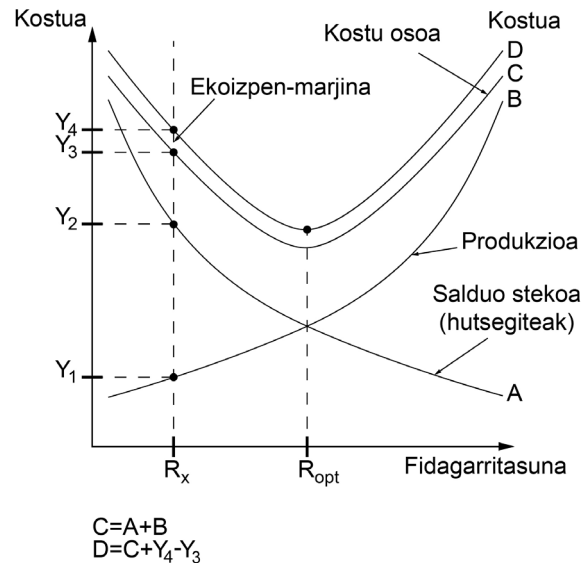
$$P(t \text{ denboran hutsegiteko}) = P(T \leq t) \equiv Q(t) = 1 - R(t) \quad (9.2)$$

non  $Q(t)$  **fidagaiztasun funtzioa** baita.

Printzipioz pentsa genezake produktu elektronikoen ekoizleek fidagarritasun handiena lortzeko ahalegina egingo dutela diseinu- eta fabrikazio-prozesuan zehar, eta *fidagarritasun optimoa* fidagarritasun handiena litzatekeela. Baina ekoizleek fidagarritasuna/kostua erlazioa



optimizatzeko ahalegina egiten dute, eta, hala, fidagarritasun optimoa kostu minimoko fidagarritasuna da. Horrela, produktuen fidagarritasuna optimotik beherakoa eta optimotik gorakoa izan daiteke, 9.1 irudian ikus dezakegun bezala.



9.1 irudia: Fidagarritasun optimoa kostu minimoko fidagarritasunari deritzo, ez fidagarritasun maximoari.

## 9.2 Fidagarritasunaren kalkulurako baliabideak

Ikuspegi estatistikoarekin jarraituz, fidagarritasunaren inguruko kontzeptuekin kuantitatiboki aritzeko, hainbat probabilitate funtzio eta kalkulu erabiltzen dira. Hemen, garrantzitsuenez arituko gara.

**Hutsegiteen dentsitate-funtzioa,  $f(t)$ :** Hutsegiteen maiztasun erlatiboa da, eta datu esperimentalekin lortzen da.

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (9.3)$$

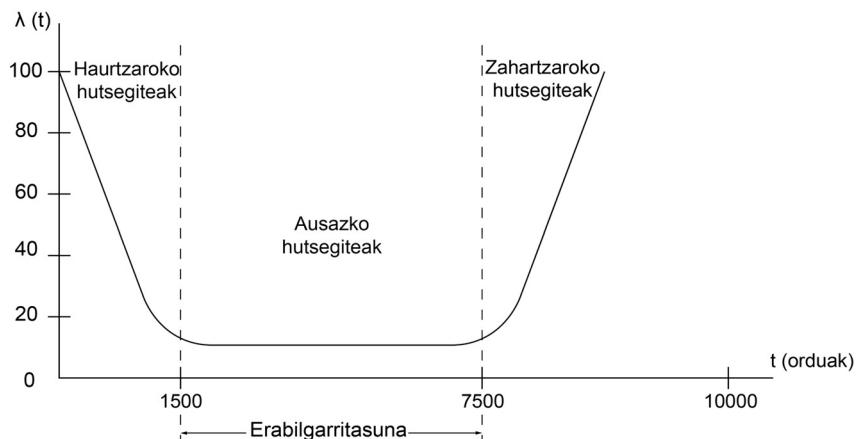
Hutsegiteen dentsitate-funtzioaren ereduak lortu eta gero, hutsegitea gertatzeko probabilitate metatua kalkula dezakegu,  $t$  denborarako, hau da, fidagaiztasunaren balioa:

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (9.4)$$

**Hutsegite-tasaren funtzioa,  $\lambda(t)$ :** Osagaien hutsegiteak zein abiadurarekin gertatzen diren adierazten du.

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (9.5)$$

Osagai edo sistemen hutsegite-tasa denborarekin (adinarekin) aldatuz doa. Ohikoena "bainuontzi-kurba" delako funtzioa betetzea da (ikus 9.2 irudia). Hiru fase edo garai desberdintzen dira:



**9.2 irudia:** Baisuontzi-kurba. Hauxe da ohizko elementu eta sistemese hutsegite-tasaren funtzioaren itxura denboran zehar.

1. **Hautzaroa:** Hutsegite-tasa beherakorreko fasea da, eta “hautzaroko hilkortasuna” deritzo (hutsegite goiztiarra). Aro honetan gertatzen diren hutsegiteak osagaiaren diseinu edo ekoizpenean gertatutako akatsetan dute iturria: ekoizpen-teknika okerrak, kalitatearen kontrol eskasa, manipulazio okerra eta abar. Ekoizleek sarritan osagaiak edo produktuak, merkatuan jarri baino lehen denbora batez, baldintza latzetan lanean izaten dituzte hautzaroko hilkortasuna osagaiak bezeroari heldu baino lehen gerta dadin.
2. **Bizitza erabilgarria:** Hutsegite-tasa ia konstantea eta ausazkoa da, iturri ezezagunekoa. Fase honetan, hutsegiteen *dentsitate funtzioa* esponentziala da:

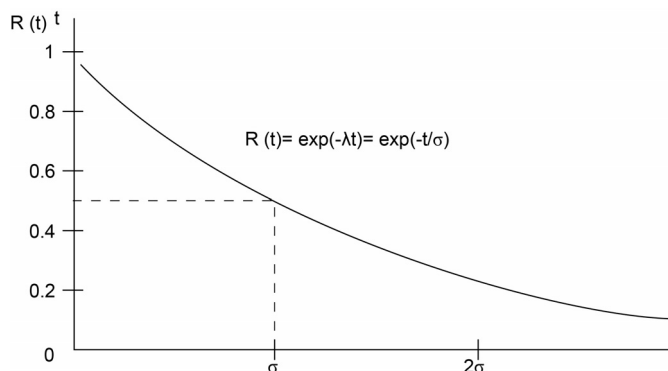
$$\lambda(t)dt = -\frac{dR(t)}{R(t)} \rightarrow -\int_0^t \lambda(t)dt = \ln R(t) \rightarrow R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \quad (9.6)$$

Hutsegite-tasa konstantea bada,

$$-\int_0^t \lambda(t)dt = -\lambda.t \rightarrow R(t) = e^{-\lambda.t} \quad (9.7)$$

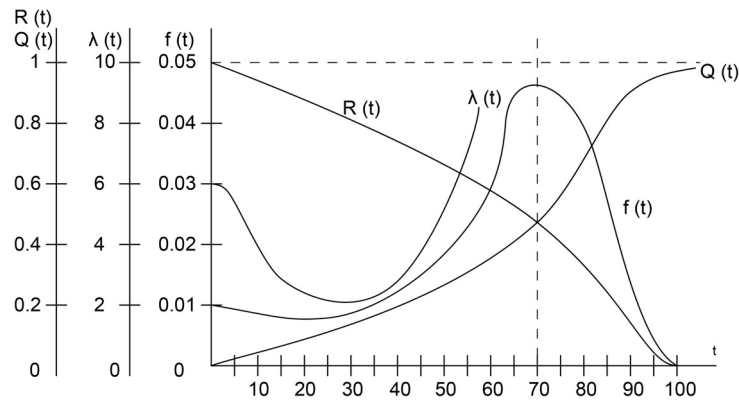
eta dentsitate-funtzioa:

$$f(t) = -\frac{d(e^{-\lambda.t})}{dt} = \lambda e^{-\lambda.t} \quad (9.8)$$



**9.3 irudia:** Hutsegite-tasa konstante denean, fidagarritasuna funtzio esponentzial beherakorra du.

3. **Zahartzaroa:** Hutsegite-tasa gorakorreko fasea da. Osagaien bizitza erabilgarriaren bukaera da. Hutsegiteak materialen degradazioak, higadurak eta nekeak eragindakoak dira.



**9.4 irudia:** Fidagarritasun-kurba ( $R(t)$ ), fidagaiztasuna ( $Q(t)$ ), dentsitate-funtzioa ( $f(t)$ ), eta hutsegite-tasa ( $\lambda(t)$ ).

**Hutsegite arteko batez besteko denbora, MTBF:** Estatistikoki, sistemaren bi hutsegiteren arteko denbora-tarte estimatua adierazten du (*Mean Time Between Failures*).

$$\theta = MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = - \int_0^{\infty} t \frac{dR(t)}{dt} dt = -t \cdot R(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (9.9)$$

$R(0)=1$  eta  $R(\infty)=0$  denez, honako hau idatz dezakegu:

$$\theta = MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (9.10)$$

Hau da,  $MTBF = \theta$  zera adierazten duela esan dezakegu: osagai edo sistema baten biziraupena  $\theta$  denbora lanean igaro ondoren. Sistemen bizitza erabilgarriko faserako kalkulua egiten badugu:

$$\theta = MTBF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (9.11)$$

Eta fidagarritasunaren balioa  $\theta$  denborarako:

$$R(\theta) = R(1 / \lambda) = e^{-1} \simeq 0,37 \quad (9.12)$$

Hau da, MTBF denbora igaro ondoren, osagai (edo sistema) kopuru osotik % 37k modu egokian lanean dira, eta % 63k hutsegite dute (gogoratu horiek kontzeptu estatistikoak direla, eta ezin zaizkiela osagai edo sistema indibidualei aplikatu).

### 9.3 Hutsegite-mekanismoak elektronikan

Ikusi dugunez, gailu elektronikoen hutsegiteen eta lotutako fidagarritasun-neurrien analisi klasikoa esperimenterki lortutako datuen tratamendu estatistikoaren bidez egiten da. Ikuspuntu estatistiko/esperimental horrek informazio gutxi behar du (eta ematen du) gailu eta sistema elektronikoetan gertatzen diren hutsegiteen arrazoi fisikoez. Fidagarritasunaren analisi modernoa, ordea, hutsegite-mekanismoen fisika du oinarri. Atal honetan ez dugu fisikan

oinarritutako fidagarritasun-analisiaren deskripzio sakonik egingo, baina hutsegiteak eragiten dituzten mekanismo fisikoen ikuspegi oinarritzko eta orokorra ematea, behintzat, komenigarria iruditzen zaigu.

### **9.3.1 Inguruneko fenomeno fisikoek sortutako hutsegiteak**

Gailu elektronikoen ingurune fisikoan murgilduta egin behar dute lan. Gailuen fidagarritasuna lan-baldintza jakinetan definitu eta bermatzen da, noski, eta lan-baldintza horietatik kanpo ezin daiteke aurrean hutsegiterik noiz eta nola gertatuko den (adibidez, 40°C-ko ingurune-tenperatura maximoan lan egiteko diseinatu den gailua labe baten barruan sartu eta 200°C-an lanean jartzen badugu, ia ziurta dezakegu “modu egokian eta zehazpenak betez” ez duela lan egingo). Baina, lan-baldintza egokietan ere, badira gailu elektronikoen funtzionamendu egokia oztopa dezaketen fenomeno fisikoak ere.

#### **1. Interferentzia elektromagnetikoak**

Gailu elektronikoen inguruko beste sistema elektriko eta elektronikoen sortutako eremu elektromagnetikotatik interferentziak jaso ditzakete, eta, horren ondorioz, seinaleen zarata mailak handitu eta funtzionamendu okerrak sorraz daitezke. Interferentzien iturriak azkar aldatzen diren korranteak sortutako edozein objektu natural zein artifizial izan daitezke: telekomunikazio-igorleak, beste gailu elektronikoen, ekaitzak eta abar.

#### **2. Bibrazioak eta astinduak**

Bibrazioak mugimendu mekaniko periodikoak dira, eta astinduak bat-batekoak edo ez-periodikoak. Tresna elektronikoen, sarritan, bibrazioak eta astinduak jasaten dituzte, bai martxan den makina edo ibilgailuarekin aktiboki elkartuta dagoelako, bai tresna garraiatzen denean. Bibrazioak maiztasun anitzekoak izan daitezke, eta erresonantziak sorraz ditzakete kutxa elektronikotan, eta nekez eta higaduraz eragindako hutsegite goiztiarrak sor daitezke.

#### **3. Beroa**

Tenperatura-aldaketek, dilatazio-koefiziente desberdineko materialen arteko junturetan, tentsioak sortzen dituzte, eta materialen nekea eta junturen degradazioa eragiten dute. Tenperatura altuek erreakzio kimikoa batzuen azkartzea dakar, eta, hala, hutsegite-mekanismoak errazten dira.

#### **4. Hezetasuna**

Hezetasunak kondentsazioa sorrazten du; ur kondentstua gailuen gainazalean itsasten da, eta, hala, eroankortasun elektrikoa handitu egiten da; korrante-ihesak sorrazten dira, eta, horren ondorioz, gailuen ezaugarri operazionalak aldatu egiten dira. Hezetasunak erreakzio kimiko eta elektrikoak ere azkartu ditzake, eta, horren ondorioz, korrosioa eragin.

#### **5. Presio atmosferikoa**

Presio atmosferiko baxuak (hegazkinetan, mendietan) elektrodoen arteko koroa-deskargak errazten ditu. Beroa irradiatzeko ahalmena ere txikitzen du, eta, hala, gailu elektronikoen gehiegizko berotzea errazago gertatzen da.

#### **6. Gazitasuna**

Gazitasunak kostaldean edo itsasontzietan dauden tresna elektronikoen kaltetu ditzake. Gatzak materialen isolatze-ahalmena murrizten du, eta korrosioa bortizki errazten du.

### **9.3.2 Gailuen diseinuarekin lotutako hutsegite-mekanismoak**

Osagai zein sistema elektronikoen fidagarritasuna produktuaren diseinu-faseak mugatua da, batez ere. Zirkuitu integratuen kasuan, transistoreen neurriek eta fidagarritasuna zein performantzia baldintzatzen duten bestelako faktoreak diseinu-fasean definitzen diren gailuaren

ezaugarri funtzionalen eskakizunek mugatzen dituzte (integrazio-maila, erlojuaren maiztasun maximoa, xahututako potentzia maximoa eta abar).

### 1. Dopatzailen aldakortasuna

Dopatzailen kontzentrazio-fluktuazioek transistoreen atariko tentsioen aldakortasuna eragiten dute, eta memoria estatikoen egonkortasuna kaltetu. Gaur eguneko miniaturizazio hazkorrek dopatzailen kontzentrazioak esponentzialki txikitzea eskatzen du, eta, hala, aldez aldeko transistoreek ezaugarri elektriko desberdinak izatea ohikoagoa da.

### 2. Migrazioa

Gailu erdieroaleen integrazioaren eta miniaturizazioaren hazkuntzak korrante-dentsitate eta energia-kontsumo handiagoak eskatzen ditu. Zirkuitu integratuen konexio-hari metalikoek egitura polikristalinoa dute, sarritan ahulki lotutako atomoak dituzten akatsekin. Atomo horiek tokiz aldatzeko joera dute, korrante-dentsitateak handiak direnean edo estres termikoak daudenean; horren ondorioz, atomo-hutsuneak eratu, eta harien erresistentzia handitu eta deskonexio elektrikoak sorrarazten dira.

### 3. Eramaile beroen degradazioa

Eramaile beroen injekzioa (HCI edo *Hot Carrier Injection*) erdieroaleetan gertatzen den fenomeno da, elektroiei zein hutsuneek gailuaren beste eremu batera migratzeko potentzial-langa gaintzeko beharrezko energia zinetikoa lortzen dutenean. Eramaile beroen talkek transistore-ateen dielektrikoak kaltetu ditzakete, eta elektroiei eta hutsune-tranpak sorrarazi eta korrante-ihesak eta atariko-tentsioen aldaketak eragin. Efektu horiek eskala handiko integrazioarekin eta miniaturizazioarekin larritzen dira.

### 4. Etendura dielektrikoa

Etendura dielektrikoa geruza isolatzailearen suntsipenari deritza gailu erdieroaleetan. Miniaturizazioarekin silizio-oxidozko geruzak gero eta finagoak dira, eta, hala, tentsio elektrikoek eragindako dielektrikoen zulaketa gertatzeko probabilitatea handitu egiten da.

### 5. Polarizazio-estresa

Osagai aktiboen operazio-puntuak finkatzeko erabiltzen diren polarizazio-tentsio eta korranteek sortutako karga-metaketak handitu egiten dira tenperatura altuekin, eta, horren ondorioz, tentsio- eta korrante-hazkuntzak eragiten dira eta gailu elektronikoaren degradazioa eta zaharkitzea azkartu.

## 9.3.3 Fabrikazio-prozesuekin lotutako hutsegite-mekanismoak

Fabrikazio-prozesuek hainbat pauso izaten dituzte, hala nola bero-tratamenduak, tratamendu kimikoak, prozesu mekanikoak, kapsulaketa edo soldaketak. Prozesu horietan guztietan gailu elektronikoaren fidagarritasunean eragin ditzaketen faktoreak anitz dira: prozesaketa-aldaketak, akatsak eta kalteak, manipulazio-erroreak eta abar. Fabrikazio-prozesu ohikoenei atxikitako honako hutsegite-mekanismo hauek baldintzatzen dute gehien fidagarritasuna:

- Erdieroalearen eta txiparen (kapsularen) hankatxoaren arteko kontaktuetan sortutako konposatu metaliko akastunek eragiten duten junturen degradazioa.
- Tentsio elektrikoak soldaketa-materialetan eragindako ioien migrazioak material isolatzaileetan sortzen dituzten zirkuitulaburrak.
- Tenperatura-aldaketek aluminiozko kontaktu-harrietan eragindako deformazioak.
- Erretxinekin erabiltzen diren masillek txiparen gainazalean eragindako kalteak, tenperatura-aldaketak izaten direnean.
- Gainazal metalikoetan hazten diren bibotetxo metaliko txikiek antenatxoarena egiten dute maiztasun handietan, eta zirkuitu digitalen inpedantziak aldatu egiten dute.

### 9.3.4 Gailuen erabilerarekin lotutako hutsegite-mekanismoak

Gizakiok modu askotan eragin dezakegu gailu elektronikoen fidagarritasunean, eta hutsegite askok gailuen erabilera ezegokian izan dezakete iturria. Horren adibide dira garraio arduragabeetan eragindako bibrazio eta kolpeak, gehiegizko beroa osagaiak soldatzean, etengailuak eragitean sortutako tentsio-muturrak, errele-kontaktu kaxkarrek edo motorrek sortutako zarata elektronikoa, zehaztutako lan-baldintzetatik kanpoko erabilera (tenperatura, tentsio maximoak eta abar), gehiegizko zamak eta abar. Ikus ditzagun erabilerak eragindako ohiko arazoak:

#### 1. Deskarga elektrostatikoak

Deskarga elektrostatikoak potentzial elektriko desberdina duten bi objektuen arteko bat-bateko korrante-fluxuari deritzo. Askotan, gizakiok karga elektrostatiko handi xamarra metatu dezakegu, igurztearen ondorioz, adibidez (12KV-25KV), eta osagai edo gailu elektronikoa ukitzean 10 ampereko intentsitatea izan ditzaketen eta nanosegundo gutxi batzuk irauten duten korrante-muturrak sor daitezke. Esan beharrik ez dago korrante horiek gailuak kaltetu edo eta suntsi ditzaketela, nahiz eta begi-bistara aldaketarik ez sumatu.

#### 2. Juntura-etendura

Juntura-etendura etendura termikoa da; *P-N* juntura betetik gehiegizko alderantzizko korrante elektrikoa igaroarazten denean gertatzen dena.

#### 3. Metalizazio-etendura

Metalizazio-etendura ere suntsiketa termikoa da; aplikatutako potentzia-dentsitatea metala urtzeko adinakoa denean gertatzen dena.

#### 4. Latchupa

*Latchup* ingeleseko terminoa CMOS zirkuituetan PNPN tiristore gisako egitura parasittoa sortzen denean erabiltzen da. *Latchupa* gertatzen denean, CMOS zirkuituak gaizki funtzionatzen du, eta, kasurik txarrean, suntsipena ere gerta daiteke. *Latchuparen* aktibazioa zarata elektrikoak eraginda gerta daiteke, CMOS zirkuituaren irteerako tentsioa ( $V_{out}$ ) erreferentziatzko tentsioaren ( $V_{GND}$ ) azpitik kokatzen bada.

#### 5. Ziklo termikoak

Ziklo termikoek metatu egiten diren kalte iraunkorrak sortzen dituzte, osagai elektronikoen pairatutako ziklo bakoitzarekin. Ziklo termiko luzeak maiztasun txiko tenperatura-aldaketekin gertatzen dira, tresna elektronikoen pizketa eta itzaltzearekin, adibidez. Ziklo laburrak, bestalde, zama elektrikoaren aldaketekin edo elikaduren kudeaketarekin gerta daitezke. Ziklo bakoitzak nekea eragiten du gailu elektronikoen materialetan, eta eragindako hutsegiteen probabilitatea aldaketen anplitudearekiko proportzionala da.

## 9.4 Sistemen fidagarritasuna

Sistema elektronikoa osagai eta azpisistemez osatuta daude. Horren ondorioz, sistemen fidagarritasuna osagai edo azpisistemen fidagarritasunez eta haien arteko elkarketez zehaztuta daude.

### 9.4.1 Sistemen fidagarritasunaren kalkulua

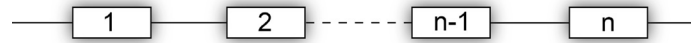
Fidagarritasunaren analisi klasikoak elkarketa-konfigurazioaren ereduak erabiltzen ditu sistema konplexuen fidagarritasuna kalkulatzeko:

- Serieko ereduak.

- Paraleloko eredua.
- Eredu mistoa.

### Serieko eredua

Eredu horretan, osagaiak kate bat osatuz kokatzen dira (ikus 9.5 irudia). Kateko osagai bakar batek huts egiten badu, sistema osoak huts egingo du.



**9.5 irudia:** Serieko eredua. Fidagarritasun txikieneko osagaiarena baino fidagarritasun txikiagoko sistema dugu.

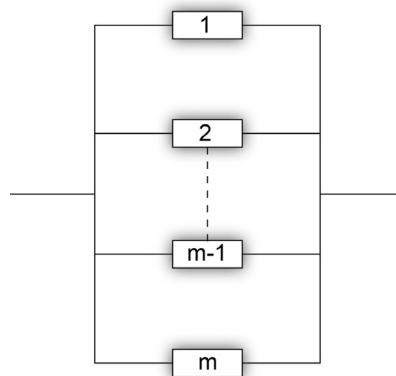
Osagai indibidualen hutsegiteek korrelaziorik ez badute (funtsezko hutsegiteak), sistemaren fidagarritasunaren balioa osagai guztien fidagarritasunaren arteko biderkadura da:

$$R_{ss}(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_{n-1}(t) \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (9.13)$$

Horren ondorioz, sistema osoaren fidagarritasuna fidagarritasun txikieneko osagaiarena baino txikiagoa izango da. Serieko sistema baten fidagarritasuna hobetzeko modu bakarra, beraz, fidagarritasun txikieneko osagaiarena hobetzea da.

### Paraleloko eredua

Eredu horretan, osagaiak sare paralelo bat osatuz kokatzen dira (ikus irudia). Sareko osagai bakar baten hutsegiteak ez du sistema osoaren hutsegitea eragingo (denek hutsegin behar lukete).



**9.6 irudia:** Paraleloko eredua. Fidagarritasun handieneko osagaiarena baino fidagarritasun handiagoko sistema dugu.

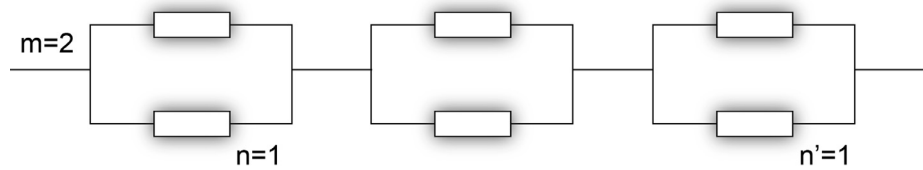
Eredu horretan, sistema osoaren fidagaiztasuna osagai guztien fidagaiztasunaren biderkadura da:

$$Q_{sp} = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot \dots \cdot Q_{m-1}(t) \cdot Q_m(t) = \prod_{i=1}^m Q_i(t) \quad (9.14)$$





Serieko paraleloak, berriz, 9.8 irudian erakusten den adibidearen eskema berari jarraituz adierazten dira.



**9.8 irudia: 9.7 irudia:** Eredu mistoa, paraleloko ereduaren eta serieko ereduaren arteko elkarketa da. Kasu honetan serieko paraleloa dugu.

Horrelako eredu baten fidagarritasun osoa kalkulatzeko, honako adierazpen matematiko hau erabil dezakegu:

$$R_s = \prod_{j=1}^{n'} \left( 1 - \prod_{i=1}^m R_{ij} \right) \quad (9.18)$$

Demagun 9.8 irudiko sistemaren osagai kopurua honako hau dela:

-  $n=3, m=4, n'=3$

Zein litzateke sistema horren fidagarritasun osoaren adierazpen matematikoa?

## 9.4.2 Erredundantzia

Erredundantzia dagoela diogu sistema baten osagaien bat (normalki funtzio kritikoa duena) erredundante badago, hau da, funtzio bera egiten duten osagai bat baino gehiago baditugu. Erredundantziaren helburua sistema osoaren fidagarritasuna handitzea da, sistemak hutsegina ez dezan osagai garrantzitsuren batek huts egiten duenean. Erredundantziak fidagarritasuna handitzeko bide erraz eta eraginkorra bada ere, baditu eragozpen batzuk, hala nola kostua handitzea, bolumen eta pisua handitzea, kontsumoa handitzea, arazo tekniko potentzialak eta abar. Erredundantzia gauzatzeko moduaren arabera, zenbait modelo bereizi daitezke, eta bi talde nagusitan sailkatu daitezke: erredundantzia aktiboa eta erredundantzia pasiboa.

### 9.4.2.1 Erredundantzia aktiboa

Eredu horretan, osagai erredundante guztiek etengabe eta aldi berean dihardute lanean. Konfigurazioaren arabera, hiru mota bereiz ditzakegu:

**Erredundantzia osoa**

Sistemak huts egin dezan, osagai erredundante guztiek huts egin behar lukete. Eredu paraleloa da, beraz, zeinean osagai guztiek funtzio bera betetzen baitute.

**Erredundantzia partziala**

Funtzioa modu egokian betetzeko, osagai kopuru minimo batek bizirik iraun behar luke. Pentsatu, adibidez, telekomunikazioetarako satelite-konstelazioa dugula. Zerbitzu egokia emateko, hamabi satelite behar dira lanean, baina, sistemaren fidagarritasuna handitzeko, hamasei satelite ezarri dira orbitan. Lau satelite baino gehiagok huts egiten badute, sistemak ez du bere funtzioa modu egokian beteko.

Sistema baten  $n$  osagaien artean  $k$  osagai bizirik irauteko duten probabilitatea honako hau da:

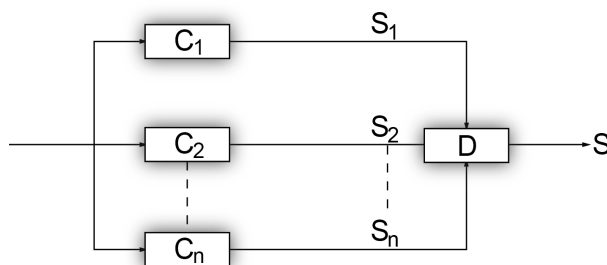
$$R_s = \sum_{i=k}^n C_n^k R_c^i (1 - R_c)^{n-i} \quad (9.19)$$

non

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (9.20)$$

**Gehiengoaren erredundantzia**

Eredu horretan, gutxienez, hiru osagai daude ( $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ ), beste horrenbeste irteerako seinale ematen dutenak ( $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ ). Gailu erabakitzailer batek ( $D$ ) osagai guztien seinaleak jaso, konparatu, eta gehiengoak ematen duen seinalearen irteera bera ( $S$ ) emango du.

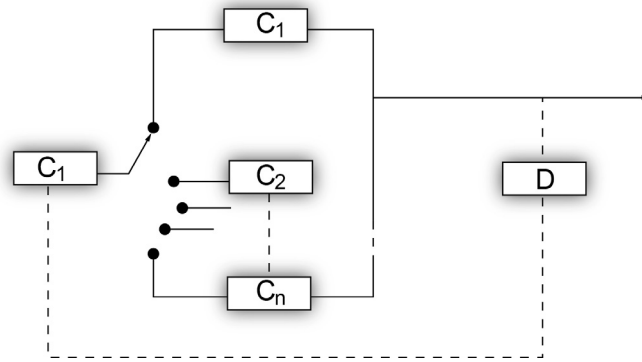


**9.9 irudia;** Gehiengoaren erredundantzia. Gailu erabakitzailerak ( $D$ ) gehiengoak ematen duen seinalea aukeratuko du.

Kasu horretan, sistemari beste osagai bat eransten zaio ( $D$ ); beraz, kontu izan behar da gailu erabakitzaileraren fidagarritasuna handia izan dadila.

**9.4.2.2 Erredundantzia pasiboa**

Erredundantzia sekuentziala edo kommutaziozkoa ere baderitzo. Erredundantzia pasiboan, badaude bigarren mailako gailuak, erreserban lehen mailako gailuak edo osagai nagusiak huts egiten duenean lanean hasteko. Sistema gauzatzeko, kommutagailu bat ( $C$ ) eta hutsegiteen detektagailua ( $D$ ) behar dira. Erredundantzia aktiboa gauzatzea ezinezkoa edo garestiegia gertatzen denean erabiltzen da erredundantzia pasiboa, eskuarki.



**9.10 irudia:** Erredundantzia pasiboa. Hutsegiteen detektagailuak (D) kommutagailuari informazioa ematen dio hutsegiterik gertatzekotan.