

## 6. Diodoak

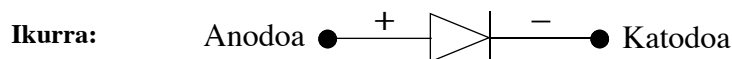
### A) Jakin beharreko kontzeptuak

- **Diodoa eta bere polarizazioa**

Diodoa elementu biterminala da; hots, bi mutur ditu. Elementu elektronikoen artean sinpleena da; hemen elektronikaren oinarriak aztertuko ez ditugun arren (ikus 3. eranskina), esan behar da erdieroalezko diodoa PN juntura bat besterik ez dela eta hortik datozkio bere ezaugarriak. Hemendik aurrera, oro har, siliziozko diodoez arituko garen arren, esandako guztia aplikagarria da beste edozein motatako diodoetarako, parametro zehatzak aldatuz gero.

Zirkuituetan, diodoek beti pasibo gisa jokatzen dute, potentzia xurgatuz.

Orain arte aztertutako elementuetan bi muturrak trukakorrak izan dira, baina diodoaren kasua bestelakoa da: mutur bat positiboa edo anodoa da (PN junturaren P aldea) eta bestea negatiboa edo katodoa (PN junturaren N aldea), eta hori ikurrean ere islatzen da, mutur positibotik mutur negatibora zuzenduta dagoen gezi baten itxura baitauka:



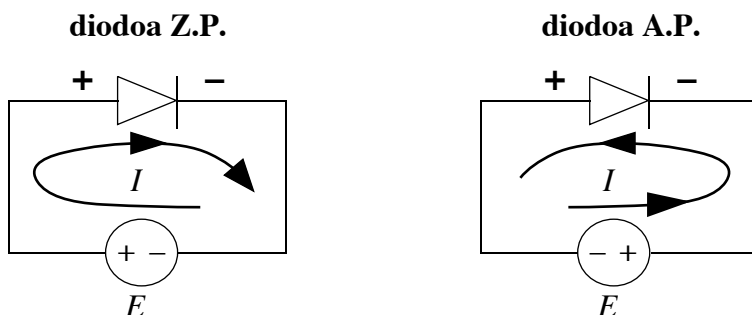
Muturren arteko ezberdintasun hori dela eta, diodoa zentzu batean ala bestean konektatu, bere portaera aldatu egiten da, ikusiko dugun legez. Portaera desberdin horiek direla eta, diodoaren polarizazioaz mintzatzen gara.

#### **Zuzeneko polarizazioa:**

Diodo bat zuzeneko polarizazioan edo zuzenki polarizatuta dago (hemendik aurrera, laburbiltzearen: Z.P. = zuzenki polarizatuta), diodoari ezarritako tentsioaren alde positiboa diodoaren mutur positiboarekin eta tentsioaren alde negatiboa diodoaren mutur negatiboarekin konektatuta daudenean, edo beste modu batera esanda, korrontea diodoaren mutur positibotik sartu eta diodoaren mutur negatibotik irteten denean (hots, diodoaren "gezia" eta korrontearena bat datozenean). Ikus ondoko irudia.

#### **Alderantzizko polarizazioa:**

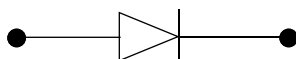
Diodo bat alderantzizko polarizazioan edo alderantziz polarizatuta (A.P.) dago, diodoari ezarritako tentsioaren alde positiboa diodoaren mutur negatiboarekin eta alde negatiboa diodoaren mutur positiboarekin konektatuta daudenean, edo beste modu batera esanda, tentsioaren eraginez, korronteak diodoaren mutur negatibotik sartu eta diodoaren mutur positibotik irteteko joera duenean (hots, diodoaren "gezia" eta korrontearena kontrakoak direnean). (Oharra: "joera" esan dugu, zeren, ikusiko dugun legez korronte hori zero baita kasu askotan.) Ikus ondoko irudia.



### • Zenbait diodo-mota

**Diodo artezleak:** diodorik erabilienak edo arruntenak dira hauek. Besterik gabe, zuzeneko polarizazioan eroaten dute korrontea, eta alderantzizko polarizazioan ez.

**Ikurra:**

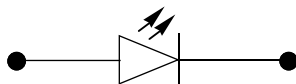


**LED (Light Emitting Diode) diodoak:** ingelesezko izenak dioen moduan, diodo argi-emaileak dira hauek. Zuzeneko polarizazioan korrontea eroaten dute, eta aldi berean argia ematen dute; alderantzizko polarizazioan, berriz, ez dute eroaten eta, ondorioz, ez dute argirik ematen.

(Gogoratu, elementu biterminaletan, bi muturren arteko potentzial-diferentziaren eraginez igarotzen dela korronte elektrikoa eta, horren ondorioz, potentziaren bidez islatzen dugun energia-aldaketa bat gertatzen dela elementu horietan. Diodo arruntetan, erresistentzien antzera, energia hori bero bihurtzen da; LED diodoetan, berriz, energia hori argi bihurtzen da.)

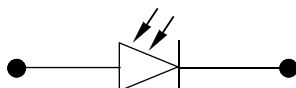
LED diodoei ematen zaizkien erabilerak ugariak dira. Ohikoak dira, adibidez, kalkulagailuetako edo polimetroetako digituetan. Zazpi LED diodo elkartuz, 7 segmentuzko digituak eratzen dira.

**Ikurra:**



**Fotodiodoak:** LED diodoen kontrakoak dira. Argia eman beharrean, alderantzizko polarizazioan argia sumatzen dutenean argi hori xurgatu eta korrontea eroaten dute. Alderantzizko polarizazioan erabiltzen dira.

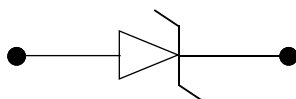
**Ikurra:**



Azken bi motetako diodoak, LED diodoak eta fotodiodoak, elkarlanean erabiltzen dira detektatzaile gisa. Adibidez, igogailu bateko atean: LED diodoari zirkuitu igorlean Z.P. funtzionarazten zaio eta etengabe igorriko du argia. Fotodiodoari, berriz, zirkuitu jasotzailean A.P. funtzionarazten zaio. Bata bestearen parez pare kokatzen dira atearen bi aldeetan, eta modu horretan LED-ak igorritako argia fotodiodoak jasotzen du bien artean ezer ez dagoenean. Baina atetik pertsona bat pasatzen ari denean, bien arteko argi-izpien bidea oztopatu egingo du, eta denbora-tarte batez LED-aren argia ez da fotodiodora iritsiko: hori alarma gisa erabil daiteke.

**Zener diodoak:** diodo hauek diodo arruntak dira zuzeneko polarizazioan; baina alderantzizko polarizazioan tentsio-maila jakin bat gaingitzen bada (Zener tentsioa), korrontea eroan egiten dute, horretarako bereziki diseinatuta baitaude. Gehienetan alderantzizko polarizazioan erabiltzen dira erregulatzaile gisa, egoera horretan tentsioa konstante samar mantentzen baitute.

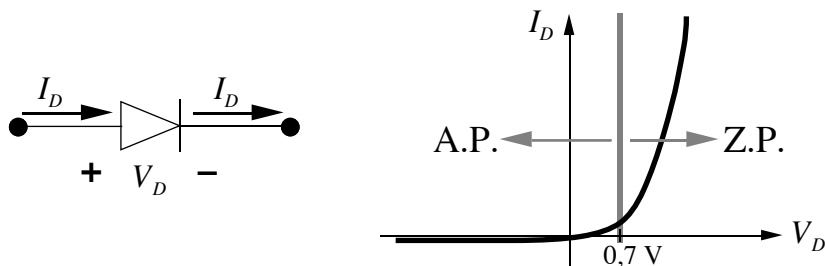
**Ikurra:**



## • Korronte/tentsio ezaugarri grafikoak

### Diodo artezlea:

Diodoaren borneen arteko potentzial-diferentziaren eta diodotik pasatzen den korrontea-ren arteko erlazioa da diodoaren ezaugarri grafikoa.



Kurba hori esperimentalki lortzen da, eta agerikoa denez, diodoan korrontearen eta tentsioaren arteko erlazioa ez da lineala, esponentziala baizik.

Grafikoan ikus daitekeen moduan, alderantzizko polarizazioan diodoak ez du ia korrontarik eroaten (benetan, negatiboa den oso korronte txikia igarotzen da, asetasun-korrontea deritzona; nA batzuetako korrontea besterik ez denez gero, kasu praktikoetarako mesprezagarria da). Zuzeneko polarizazioan, berriz, badirudi korrontea oztoporik gabe pasatzen dela, baina bi alde bereiz daitezke: 0,7 V inguruko tentsioa (siliziozko diodoetarako) gaingitu arte, diodoak ez du eroaten; balio horretatik aurrera, ordea, ia oztoporik gabe eroaten du. Eroaten hasteko gaingitu beharreko 0,7 V-eko tentsioari atari-tentsio esaten zaio, eta normalean hor jartzen da alderantzizko polarizazioaren eta zuzeneko polarizazioaren arteko muga, hurbilketetan ikusiko dugun legez.

**Portaera-ekuazioa:** erresistentzietan Ohm-en legea betetzen den moduan, badago diodoarentzat ere tentsioa eta korronea erlazionatzen dituen adierazpen matematiko bat. Zer esanik ez, ez da erlazio lineal bat izango, kurba lineala ez dela argi geratu baita. Hona hemen diodoari dagokion ekuazio esponentziala:

$$I_D = I_S \cdot \left( e^{\left( \frac{qV_D}{KT} \right)} - 1 \right)$$

non  $I_S$  diodoaren asetasun-korronea den;  $q$ , elektroien karga ( $1,602 \cdot 10^{-19}$  C);  $K$ , Boltzmann-en konstantea ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K); eta  $T$ , tenperatura absolutua (gradu Kelvinetan, K).

**Magnitude-mailak:** Diodo batetik igarotzen den korronea mA-tan izan ohi da. Tentsioaren balioa are finkoagoa da: zuzeneko polarizazioan 0,7 V ingurukoa izan ohi da, gehienez ere 2 V-eraino irits daitekeelarik.

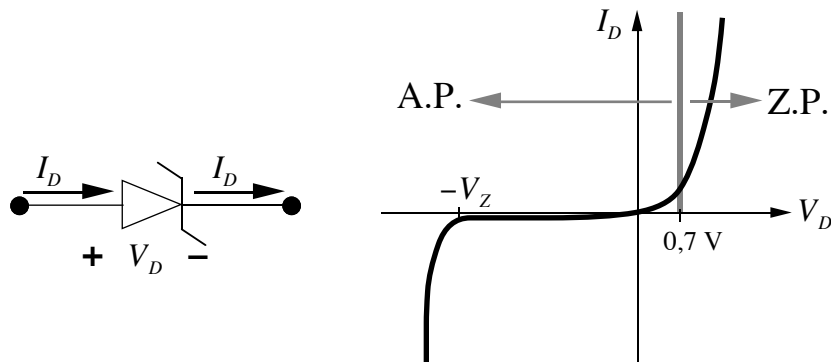
**Diodoa alderantzizko polarizazioan: haustura.** Erresistentziek badute jasan dezaketen muga bat potentzian, potentzia maximoa delakoa; potentzia hori gaindituz gero, erre egi-ten dira. Diodoek ere badituzte mugak jasan dezaketen potentzia maximoan, eta baita jasan dezaketen tentsio maximoan ere. Beste modu batean esanda, diodoak hondatu aurretik jasan dezakeen alderantzizko tentsio maximo bat badago; tentsio hori gaindituz gero, haustura izeneko fenomeno gertatzen da (Zener diodoetan izan ezik).

## LED diodoa:

LED diodoaren ezaugarri grafikoak diodo artezlearenaren itxura berdina du: aldatzen dena, atari-tentsioaren balioa da. LED diodoen kasuan 1,7 V - 2,2 V ingurukoa izan ohi da.

## Zener diodoa:

Zener diodoaren ezaugarri grafikoa ez da diodo artezlearen eta LED diodoaren ezaugarrien berdina, kontuan eduki behar baita Zener diodoaren berezitasuna: alderantzizko polarizazioan, Zener tentsioa ( $V_Z$ ) gainditzen bada, Zener haustura izeneko fenomeno gertatzen da eta, hondatu beharrean, diodo hauek alderantzizko korronea eroaten dute, horretarako bereziki diseinatuak izan baitira.



Kurba hau ere ez da lineala, esponentziala baizik. Dena den, kurba honi dagokion ekuazioa ez dugu emango, ondoko atalean azaltzen baita nola erabili diodoen ekuazioak.

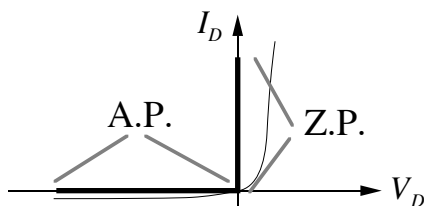
### • Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

Diodoei dagozkien ekuazioak ez dira linealak eta, ondorioz, hurbilketarik erabiliko ez bagenu, diododun zirkuituak ebazteko zailtasun matematikoak edukiko genituzke (ekuazio esponentzialak). Hau dela eta, aurreko grafikoen zenbait hurbilketa lineal erabiltzen dira. Gogoratu behar dugu 0. kapituluan aipatutakoa, hots, kurbari egindako hurbilketaren arabera, diodoaren zirkuitu-eredu bat lortzen dela, eta eredu horren konplexutasun-mailak finkatzen duela kalkulueta zehaztasuna.

#### Diodo artezlea:

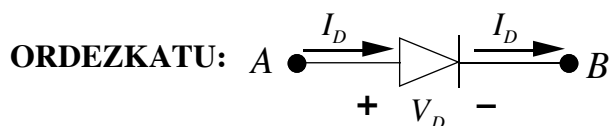
**Lehenengo hurbilketa (diodo idealaren hurbilketa):** Zuzeneko polarizazioan diodoak zirkuitulaburra balitz bezala eroaten du korrontea eta alderantzizko polarizazioan, berriz, ez du eroaten.

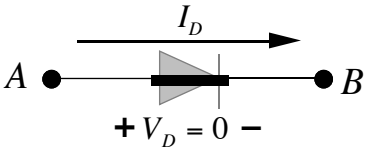
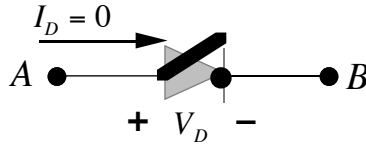
Grafikoki:



Hau jatorrizko kurbatik aldenduen dagoen hurbilketa denez gero, zehaztasunik txikiena lortuko dugu hurbilketa honi dagokion ereduaren erabiltzean. Dena den, ariketetan ikusiko den bezala, askotan zehaztasun hori nahikoa izan ohi da.

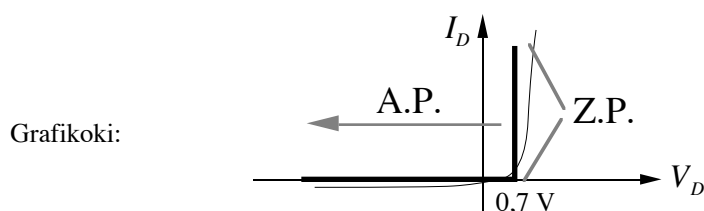
Diododun zirkuitu bat ebazteko hurbilketa hau erabiliz, honako eredu, ekuazio eta baldintzak erabili behar dira:



	Modeloa zirkuituan	Ekuazioa	Baldintza
<b>Z. P. :</b>	A  B	$V_D = 0$	$I_D \geq 0$
		(zirkuitulaburra)	
<b>A. P. :</b>	A  B	$I_D = 0$	$V_D \leq 0$
		(zirkuitu irekia)	

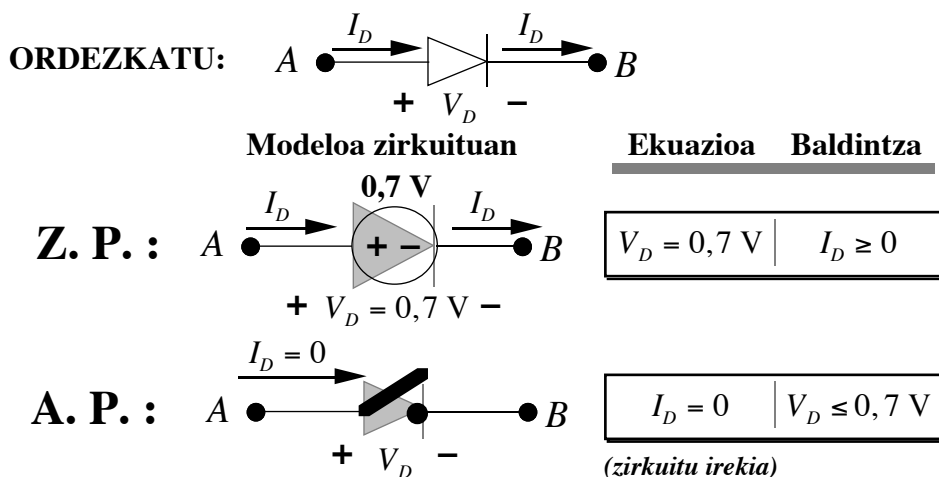
Hurrengo atalean, diododun zirkuituen ebazpidea azaltzean, gauza bera aipatuko dugun arren, liburuaren egileoi iruditzen zaigu hemen ere, aurrera jarraitu baino lehen, guztiz beharrezkoa dela azpimarratzea honako hau: diodoak bi portaera desberdin dituenez gero, aldez aurretik finkatu behar da, edo aurreikusi behinik behin, nola dagoen polarizatu-ta diodoa, modelo bata edo bestea erabiltzeko: hots, diodoaren polarizazioari buruzko hipotesi bat egin behar da. Ondoren, zirkuitu osoaren soluzioa bilatu behar da aukeratu-tako modeloa erabiliz: hots, elementu guztien tentsioak eta korronteak kalkulatu, diodoa barne. Azkenik, erabilitako modeloari edo hipotesiari dagokion baldintza egiaztatu be-har da, hipotesia zuzena edo okerra den jakiteko. Zuzena bada, kalkulaturakoa zirkuitua-ren soluzioa da; zuzena ez bada, berriz, diodoaren beste modeloa erabili behar da. Hortik dator, hain zuzen, portaera-ekuazioarekin batera eman dugun baldintzaren garrantzia.

**Bigarren hurbilketa** (erabiliena): Diodoak zuzeneko polarizazioan oztoporik gabe eroaten du, baina soilik 0,7 V-eko tentsioa gainditzen denean; alderantzizko polariza-zioan, berriz, ez du eroaten. Zehaztasunari begira, hurbilketa hau lehenengoa baino ze-hatzagoa da, diodoaren atari-tentsioa kontuan hartzen baita.



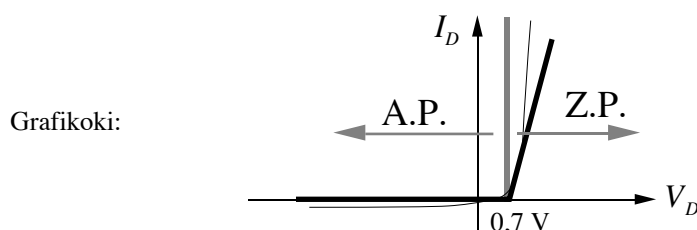
Ereduari dagokionez, bere muturren arteko tentsioa 0,7 V baino txikiagoa denean diodoa alderantzizko polarizazioan dagoela suposatzen da; bestela, zuzeneko polarizazioan da-go, eta tentsio hori konstante mantentzen du bere muturren artean. Eredu hau, aurrekoa baino pixka bat konplexuagoa izango da, zirkuitulaburraren ordeztentsio-sorgailu bat erabili behar baita zuzeneko polarizazioan, ondoko irudian ageri den bezala.

Diododun zirkuitu bat ebazteko hurbilketa hau erabiliz, honako eredu, ekuazio eta bal-dintzak erabili behar dira:



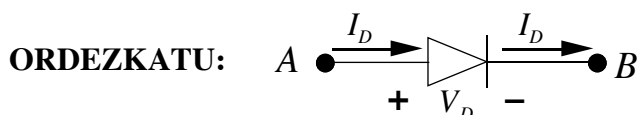
Diodoa Z.P. dagoenean tentsio-sorgailu batez ordezkatzun dugun arren, gogoratu behar dugu elementu pasiboa dela beti, potentzia xurgatzen duela. Izan ere, zuzeneko polarizazioan diodotik igarotzen den  $I_D$  korrontea sorgailura sartzen da, eta baldintzaren arabera positiboa behar du izan, hots, beti noranzko horretan, tentsio-sorgailuari potentzia xurgarazten diola. Ez dago esan beharrik hori hurbilketa guztietan eta diodo-mota guztietarako betetzen dela, diodo guztiak beti pasiboak baitira.

**Hirugarren hurbilketa** (kalkulu gehien eskatzen duena): Diodoa zuzeneko polarizazioan 0,7 V-eko tentsioa gainditzen denean hasten da korrontea eroaten, baina korrontea handitzen doan heinean, tentsioa ere handiagotzen da. Alderantzizko polarizazioan, berriaz, ez du eroaten.



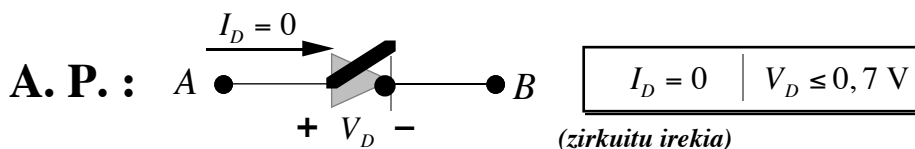
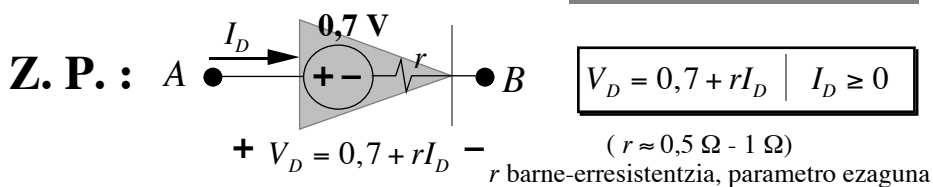
Zehaztasunari begira, hurbilketa hau aurreko biak baino zehatzagoa da, diodoaren atari-tentsioa eta barne-erresistentzia kontuan hartzen baitira. Diodoaren ordezkari erabiltzen den ereduari begira, beraz, aurrekoa baino pixka bat konplexuagoa izango da (barne-erresistentzia dela kausa).

Diododun zirkuitu bat ebazteko hurbilketa hau erabiliz, honako eredu, ekuazio eta baldintzak erabili behar dira:



**Modeloa zirkuituan**

**Ekuazioa      Baldintza**

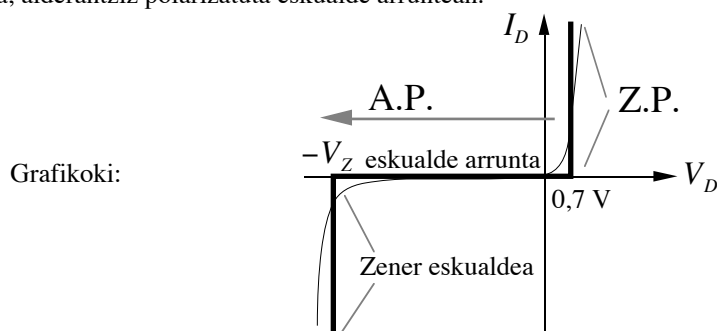


**LED diodoaren kasuan**, hurbilketa berak erabil daitezke, aldatzen den gauza bakarra atari-tentsioaren balioa izanik.

### Zener diodoa:

Zener diodoak dituzten zirkuituak ebazteko, beste diodoekin egiten den moduan, hurbilketak erabiltzen dira. Lehengo hiru hurbilketak egin daitezkeen arren, ariketak egitean bakarrik erabiliko dugu, diodo artezlearen 2. hurbilketaren parekoa dena, hain zuzen ere. Hona hemen:

Zener diodoak zuzeneko polarizazioan oztoporik gabe eroaten du 0,7 V-eko tentsioa gainditzen denean; eta alderantzizko polarizazioan, berriz, Zener tentsioa gainditzen ez bada, ez du eroaten, eta tentsio hori gaindituz gero, alderantzizko korronea sortzen da. Azken kasu honetan esaten da Zener diodoa alderantziz polarizatuta dagoela Zener eskualdean; bestela, alderantziz polarizatuta eskualde arruntean.



Beraz, Zener diododun zirkuitu bat ebazteko eredurik erabiliena honako hau da:

ORDEZKATU:			
Modeloa zirkuituan		Ekuazioa	Baldintza
<b>Z. P. :</b>		$V_D = 0,7 \text{ V} \mid I_D \geq 0 \equiv I_Z \leq 0$	
<b>A. P. :</b> zona arruntean:		$I_D = 0 \mid -V_Z \leq V_D \leq 0,7 \text{ V}$ $V_Z$ parametro ezaguna	
<b>Zener eskualdean:</b>		$V_D = -V_Z \mid I_Z \geq 0 \equiv I_D \leq 0$	



Diodo artezleen modura, zehaztasun handiagoa lortu nahi izanez gero, Zener diodoa Z.P. zein A.P. Zener eskualdean dagoenean, Zener diodoaren barne-erresistentziaren eragina kontuan har daiteke, modeloetan tentsio-sorgailuekin batera barne-erresistentzia sericari ipiniz.

## • Diododun zirkuituen ebazpidea

### Zenbakizko ebazpidea:

Ebazpide honen funtsa, zirkuituan dauden diodoak beren modeloez ordezkatzeta da. Baina, ikusi berri dugun legez, ereduak polarizazioaren menpekoak dira; hots, diodoa zuzeneko polarizazioan baldin badago, eredu bat erabili behar da, baina alderantziz polarizatuta baldin badago, beste eredu bat, zeharo desberdina. Hori dela kausa, zenbakizko ebazpideak badu berezitasun bat: hasteko, diodoen polarizazioari buruzko hipotesiak egin behar dira; ondoren, aukeratutako hipotesiari dagokion ereduak erabiliz, zirkuitua analizatu behar da; prozesuari amaiera emateko, guztiz beharrezkoa da abiapuntuko hipotesia egiaztatzea, faltsua izatea gerta baitaiteke. Hots, hipotesi batetik abiatuta, pauso guztiak eman ondoren, baliteke lortzen den emaitza zuzena ez izatea, eta, ondorioz, beste hipotesi batetik abiatuz prozesua errepikatu behar izatea. Agerikoa da hipotesiren bat egiazkoa izango dela. Dena den, hipotesi guztiak bat izan ezik faltsutzat eman ondoren, geratzen den azkena frogatzen denean ere egiaztatu behar da horren egokitasuna, analisisan egindako balizko akatsak detektatzeko laguntza ederra izan baitaiteke.

Hona hemen jarraitu beharreko pausoak, metodologia sistematiko gisa:

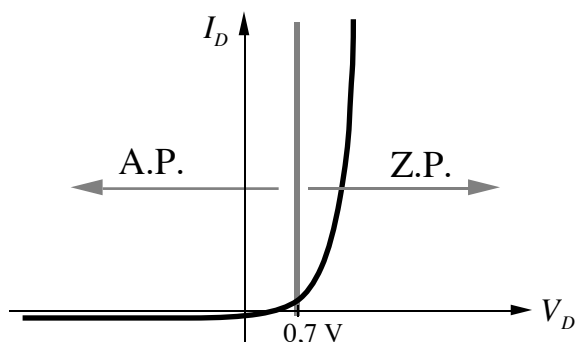
1. Aukeratu diodoentzat erabiliko den hurbilketa (gehienetan ariketaren enuntziatuan adierazten da).
2. Sorgailuen arabera, aurreikusi adarretako korronteen noranzkoa edo finkatu arbitrarioki.
3. Korronte horien arabera, egin diodoen polarizazioari buruzko hipotesi bat.
4. Egindako hipotesiaren eta aukeratutako hurbilketaren arabera, ordezkatu diodoak dagozkien elementuekin.
5. Ebatzi zirkuitua.
6. Egiaztatu hipotesiaren zuzentasuna, hots, aztertu hipotesiei dagozkien baldintzak betetzen ote diren.
7. Baldintzak betetzen badira, egindako hipotesia zuzena da; amaitu da prozesua eta zirkuitua ebatzita dago.

Baldintzak betetzen ez badira, berriz, okerreko hipotesia egin dugu. Beraz, kalkulaturako soluzioak ez du balio eta hipotesi berri bat egin behar dugu, 3. pausotik aurrerako atal guztiak errepikatuz. Noiz arte? Harik eta hipotesi guztiei dagozkien baldintzak betetzen diren arte.

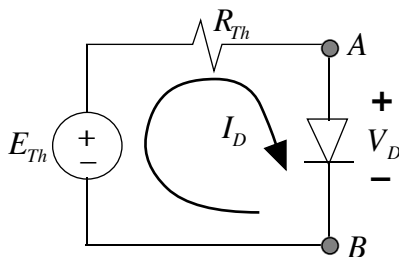
### Ebazpide grafikoa:

Badago diodo batetik pasatzen den korronea eta borneen arteko potentzial-diferentzia ezagutzeko beste modu bat. Zenbait kasutan, diodoaren ezaugarri grafikoa ezagutuz, diodoaren aldiuneko korronearen eta tentsioaren soluzio zehatza bilatu beharko dugu.

Gogoratu diodoaren ezaugarri grafikoa diodoari dagokion ekuazioaren irudia dela, eta, beraz, beti beteko dela diodoan. Hau da, diodoaren tentsioaren eta korronearen arteko erlazioa kurba horretako puntuetako batek emango digu. Horrela, diodoaren ezaugarri grafikotik abiatuz, diodoaren operazio-puntua deritzona kalkula dezakegu.



Bestalde, diodoa zirkuitu batean egongo da, eta zirkuitu horri dagozkion ekuazioak ere beteko dira. Adibidez:



Zirkuituari dagokion ekuazioa: KTL:  $E_{Th} = R_{Th}I_D + V_D$

$$I_D = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} - \frac{1}{R_{Th}} \cdot V_D$$

Azken ekuazio honi, karga-lerrozuzena esaten zaio, zirkuituko "karga"ren aldaketa adierazten duelako denboran zehar eta, bestalde, lerro zuzen baten ekuazioa delako.

Beraz, momentu honetan, baditugu diodoaren magnitudeen artean betetzen diren bi ekuazio:

1. Diodoaren ezaugarri grafikoak ematen diguna.
2. Karga-lerrozuzenarena.

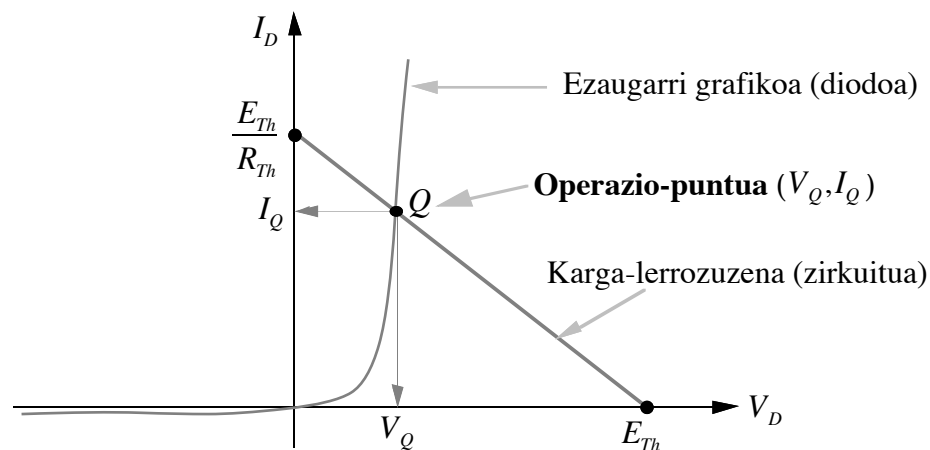
Hauek biak aldi berean betetzen dira diodoan. Beraz, diodoaren operazio-puntua (diodo-ari dagozkion tentsioaz eta korronteaz osatua) kalkulatu ahal izango dugu, bi kurben arteko ebakidura-puntua bilatuz. Honetarako, karga-lerrozuzena marraztuko dugu beste grafikoaren gainean.

Karga-lerrozuzena marrazteko, zuzen baten ekuazioa denez, nahikoa dugu bi puntu aurkitzearekin, ardatzekiko ebakidura-puntuak, hain zuzen:

$$V_D = 0 \quad \rightarrow \quad I_{D0} = \frac{E_{Th}}{R_{Th}}$$

$$I_D = 0 \quad \rightarrow \quad V_{D0} = E_{Th}$$

Hona hemen aipaturiko bi ekuazioen soluzio grafikoa:



Normalean, diodo baten ezaugarri grafikoa ezagutzen dugunean, ardatzetako eskalak ezagunak dira; modu horretan, kalkulaturako operazio-puntuaren balioak ezagunak izango dira.

Begi-bistakoa da aukeratu dugun zirkuitua sinpleena dela, baina begi-bistakoa da, halaber, edozein zirkuituren Thévenin-en baliokidea dela; ondorioz, ebazpide grafikoa diodo bat duen edozein zirkuitutarako erabil daiteke.