

# 1. Kontrolerako sarrera

Kontrola gure bizian oso zabaldua den prozesua da, bereziki industrian, baina ez bakarrik. Aldagai bat kontrolatzean/menperatzean datza. Aldagai hori mota askotakoa izan daiteke: abiadura, posizioa, presioa, indarra, maila, emaria, korronea, tentsioa, fluxua, tenperatura, eta abar. Gizakiok ohartu gabe ere, momentu oro, gure gorputzari loturiko hainbat aldagai kontrolatzen ditugu, erraterako gure gorputzaren tenperatura, odolean dugun oxigeno-maila edo zainetako presioa. Inguruan ditugun beste hainbat aldagai ere kontrolatzen ditugu, erraterako edateko, gure eskuaren bidez basoa ahora eramatean, edo jats edo erratz baten bidez lurra garbitzeko eskuak, besoak, zangoak eta gorputzeko beste hainbat atal mugituz.

Teknologiaren bidez, antzeko kontrol-ekintzak aplikatzen dira beste hainbat jakintza-arlotan (mekanikan, elektrizitatean, kimikan, elektronikan, biologian, ekonomian...) eta aplikaziotan (industrian bereziki, baina baita ere etxetresna elektrikoetan, autoetan, ordularietan, telefono mugikorretan...). Erraterako industriako prozesu batzuetan, labe bateko tenperatura kontrolatu behar da, edo uhal baten abiadura, edo robot baten besoaren posizioa, edo ontzi baten barnean den likido baten maila edo gas baten presioa. Milaka adibide aurki daitezke.

Kontrolari loturiko kontzeptu, teknika eta metodoak, Automatika deituriko jakintza-arlokoak, oso zabalak dira. Liburu honetan, soilik jakintza-arlo horri loturiko ezagutza zati txiki bat aztertzen dugu, oinarritzko zatia. Ezagutza hori nahikoa da errealitatean aurkitzen ditugun hainbat problema ebazteko, eta ezinbestekoa da Automatikaren jakintza-arloan gehiago sakontzeko.

Kapitulu honetako ondorengo ataletan, Kontrolari loturiko hainbat oinarritzko kontzeptu azaltzen dira. Azalpen horiei esker, hobeki irudikatzen da Automatika jakintza-arloaren zabalera eta hemen aztertzen dugun zatia, eta, bereziki, azalpen horiek ondorengo kapituluak ulertzeko ezinbesteko informazioa ematen dute.

## 1.1. Sistema

Sistema bat «ingurunearekin elkarrekintza duen elementu multzo» gisa defini daiteke. 1.1 irudian agertzen den bezala, sarrera aldagai batek sistema kitzika dezake eta horrek irteera aldagaian eraginen du.

Erraterako zirkuitu elektriko bat sistematzat har daiteke. Sistema horren sarrera nodo batean aplikatzen den tentsioa izan daiteke, eta irteera zirkuituko korronea. Beste sistema adibide bat labe batena izan daiteke. Kasu horretan, sarrera berotzeko erresistentzia bati aplikatzen zaion tentsioa izan daiteke, eta irteera labeko tenperatura. Mekanika-arloan, auto bat sistema modura ikus daiteke, non sarrera aplikatzen zaion indar bat izan daitekeen, eta irteera autoaren abiadura erraterako.



1.1 irudia. Sistema baten adierazpena bloke gisa.

Kontrollean, sistemari nahitara aplikatu ohi zaio sarrera. Hala ere, sistemaren irteera borondatezkoa ez den sarrera baten menpekoea ere izan daiteke. Halako sarrerak perturbazioak deitzen dira.

Sistema bakoitzari loturiko lege fisikoak adieraziz, sarrera eta irteera aldagaien arteko harreman bat lortzen da, gehienetan ekuazio diferentzial bat.

Aztertzen ditugun sistemak kausalak dira. Horrek erran nahi du irteera sarreraren ondorioz gertatzen dela. Beraz, sarrera bat une batez aldatzen bada, irteeran izanen duen eragina une hori baino beranduago agertuko da.

## 1.2. Linealtasuna

Sistema bat lineala dela erraiten da sarreraren eta irteeraren arteko harremana lineala bada. Demagun  $f$  funtzio batek adierazten duela sarreraren eta irteeraren arteko harremana:  $y=f(x)$ . Sistema lineala izanen da,  $f$  funtzioa lineala bada, erran nahi da bi propietate hauek betetzen baditu (gainezarpeneren printzipioa):

- Batukorra:

$$\forall x_1, x_2, f(x_1 + x_2) = f(x_1) + f(x_2) = y_1 + y_2 \quad (1-1)$$

- Homogeneoa:

$$\forall x, l, f(lx) = lf(x) = ly \quad (1-2)$$

Adibide gisa, diferentziazioa eragiketa lineala da; aldiz, berreketa ( $f(x)=x^2$ ) ez da eragiketa lineala.

Gehienetan, sarreraren eta irteeraren arteko harremana ekuazio diferentzialetan oinarritzen da. Sistema lineala izango da, ekuazio diferentziala lineala bada, erran nahi da haren koefizienteak aldagaiekiko konstanteak badira:

$$a_0 y(t) + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + \dots + a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} = b_0 x(t) + b_1 \frac{dx(t)}{dt} + \dots + b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} \quad (1-3)$$

Errealitatean, sistema gehienak ez dira linealak, baina horietako askok joera lineala dute funtzionamendu-eremu batean. Horregatik, 2. kapituluan ikusiko den moduan, sistema ez-linealak funtzionamendu puntu baten inguruan linealizatu daitezke.

Automatikan, sistema ez-linealak aztertzeke teknikak eta metodoak sortu dira. Dena den, liburu honetan soilik sistema linealak aztertzen dira. Jakituria hori nahikoa da errealitatean aurkitzen ditugun problema gehienak ebazteko.

### 1.3. Sistema aldakorrek eta ez-aldakorrek

Aurreko ataleko ekuazio diferentzialeko koefizienteak denboraren menpe badaude, sistema aldakorra dela erraten da:

$$a_0(t)y(t) + \dots + a_n(t)\frac{d^n y(t)}{dt^n} = b_0(t)x(t) + b_1(t)\frac{dx(t)}{dt} + \dots + b_m(t)\frac{d^m x(t)}{dt^m} \quad (1-4)$$

Koefizienteak denborarekiko konstanteak badira, sistema ez da aldakorra.

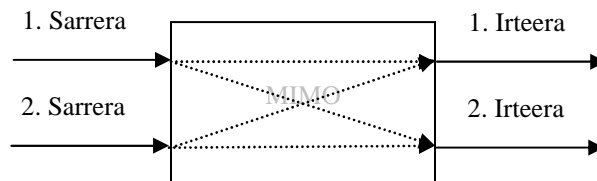
Sistema ezegonkor adibide gisa, Euler-en bigarren graduko ekuazio hau har daiteke erraterako:

$$0,01t^{-2}y(t) + 0,25t^{-1}\frac{dy(t)}{dt} + \frac{d^2y(t)}{dt^2} = 0 \quad (1-5)$$

Liburu honetan soilik sistema ez-aldakorrek aztertzen dira. Sistema erreal gehien-gehienak halakoak kontsidera daitezke.

### 1.4. SISO eta MIMO sistemak

1.1n agertzen den sistema *Single-Input Single-Output* (SISO) motakoa da, hau da sarrera eta irteera bakarrekoa. Oro har, sistema batek sarrera eta irteera gehiago izan ditzake, 1.2 irudian agertzen den bezala. Kasu honetan bi sarrera eta bi irteera dira, baina gehiago izan daitezke. Halako sistemak *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) deitzen dira.



1.2 irudia. MIMO sistemak

MIMO sistema batzuetan, sarrera bakoitzak soilik irteera batean du eragina. Kasu hauetan, MIMO sistemak hainbat SISO sistemetan transforma daitezke. Aldiz, sarrera eta irteera desberdinen arteko elkarrekintzak direlarik, 1.2 irudian bezala non bi sarrerek bi irteeretan eragiten duten, MIMO sistema ezin da errazki sinplifikatu.

Liburu honetan soilik SISO sistemak aztertuko ditugu. Problema errealetan ebazten diren gehienak halakoak dira.

## 1.5. Seinale jarraitua eta digitala/diskretua

Seinaleak sistemetan agertzen diren aldagaien irudiak dira, askotan tentsio edo korrante modura adierazten direnak. Erraterako, termopare batek temperatura baten irudia emanen du tentsio gisa. Erranen dugu termoparearen bidez temperatura bat neurtu dugula. Termopareak sentso-re-funtzioa betetzen du, ezagutu nahi dugun aldagai baten balioa emanez, ez zuzenki, beste aldagai bat bilakatuz (tentsioa).

Aipatu ditugun seinale eta aldagaiak jarraituak dira mundu errealean. Une oro balio bat dute eta eremu baten baitan (adibidez,  $\pm 5$  V-eko tentsio-seinale batentzat) edozein balio har dezakete.

Baina ordenagailu, automata edo mikrokontrolagailu baten ikuspegitik, errealitatea ez da jarraitua, digitala edo diskretua baizik. Seinale digitalak seinale jarraituak laginduz lortzen dira. Kuantifikatuak dira (soilik balio batzuk har ditzake, bihurtu analogiko/digitalaren erresoluzioaren arabera) eta denboran laginduak (lagin-denboretan ezagutzen dira soilik). Horrela, mikrokontrolagailu batetik ikusten diren sistemak ez dira jarraituak, digitalak baizik.

Luzaz kontrolagailuak amplifikadore operazionalerik osaturiko zirkuitu elektronikoetan oinarritzen ziren, baina gaur egun, kontrol-sistema gehienak automata edo mikrokontrolagailuetan oinarrituak dira. Kontrolagailu horiek diseinatzeko, komeni da sistema digitalen teoria ezagutzea.

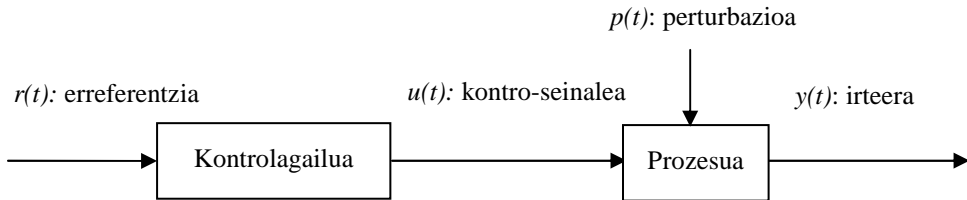
Liburu honetan soilik sistema eta kontrolagailu jarraituak aztertzen dira. Haien ezagutza ezinbestekoa da geroago sistema digitalak aztertzeko. Gainera, askotan, kontrolagailu jarraitu batetik kontrolagailu digital bat lor daiteke nahiko errazki.

## 1.6. Kontrola begizta irekian eta begizta itxian

Automatikan helburu nagusia aldagai batzuk kontrolatzea da, hau da, aldagai horiek desiratzen den balio batera helaraztea. Helburu hori bi modu desberdinetan lor daiteke, ondorengo azpiataletan agertzen den bezala.

### 1.6.1. Kontrola begizta irekian

1.3 irudian begizta irekiko kontrol-sistema baten bloke-diagrama erakusten da.  $r(t)$  erreferentzia-seinalea sistemaren  $y(t)$  irteerak lortu behar duen balioa da. Horretarako, kontrolagailuak,  $u(t)$  kontrol-seinalea sortu eta kontrolatu nahi den sistemari edo prozesuari aplikatzen dio.

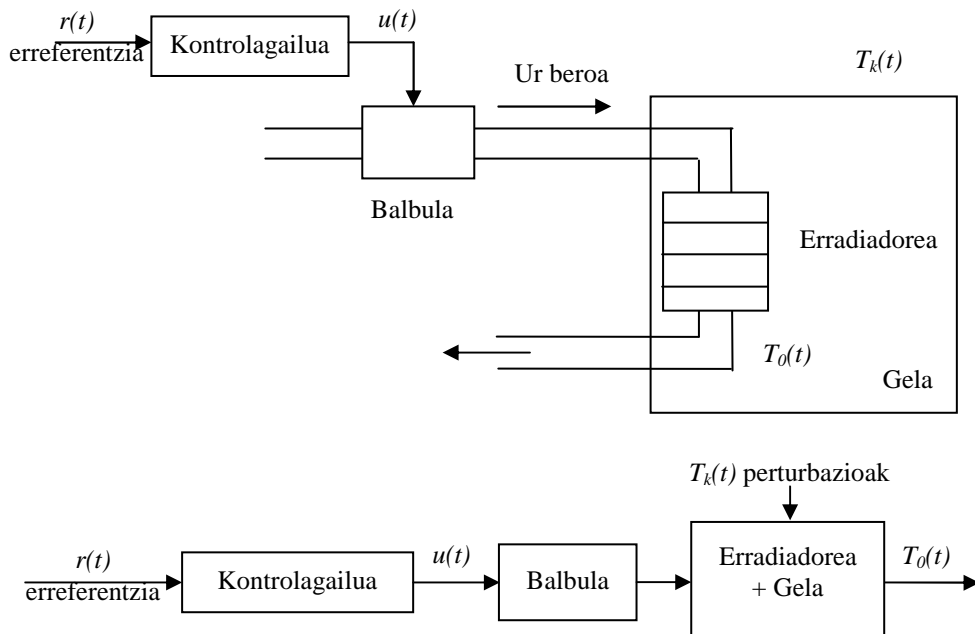


1.3 irudia. Begizta irekiko kontrola.

Sistema ongi ezagutzen bada, egonkorra eta ez-aldakorra bada, eta gainera perturbaziorik ez badu jasotzen, begizta irekiko kontrola eraginkorra izan daiteke. Hala ere, gehienetan, sistemaren joera ez dugu zehazki ezagutzen eta gainera sistemak  $p(t)$  kanpo-perturbazioak jasaten ditu. Kontrolagailua ez da fenomeno horietaz ohartzen, ez baitu irteerari buruzko informaziorik. Horregatik, kontrol-eskema hau ez da eraginkorra kasu gehienetan. Soilik erabil daiteke sistema egonkorra delarik, perturbazio txikiak direlarik edo sistemek inertzia handia dutelarik, eta irteerak erreferentziaren baliora zehazki ez heltzea onartzen delarik.

Erraterako, gela baten tenperaturaren kontrola begizta irekian egin daiteke, 1.4 irudian agertzen den gisan irudi horren goiko partean sistemaren eskema agertzen da, eta behekoan dagokion bloke-diagrama. Sistemari eragiten dion eragingailua balbula bat da.  $r(t)$  erreferentzia-seinalearen arabera  $u(t)$  kontrol-seinale bat aplikatzen zaio balbulari, gehiago edo gutxiago irekiaraziz. Horren arabera, erradiadorera doan ur beroaren emaria lortu nahi den tenperaturari egokitzen zaio. Gela kanpoko  $T_k$  tenperatura perturbazio modura ikus daiteke. Haren balioaren arabera, gelako  $T_0$  tenperatura desberdina izanen da. Beraz,  $T_0$  ez da beti nahi dugun baliora ( $r(t)$  erreferentziaren baliora) helduko.

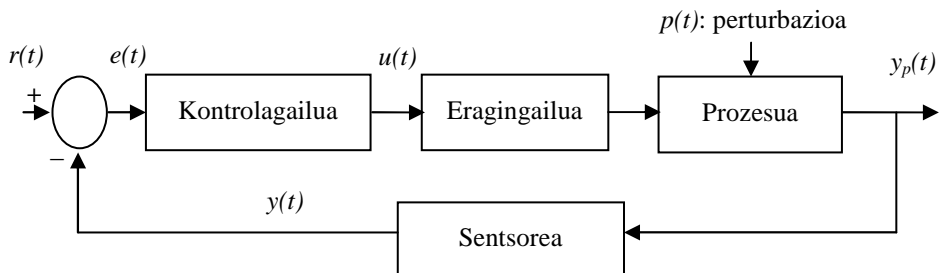
Tenperatura edozein baldintzatan balio zehatz batera heltzea nahi badugu, tenperatura horren informazioa lortu beharko dugu, nolabait perturbazioen eta kontrolatu nahi den sisteman ezagutzen ez denaren ondorioak konpentsatzeko. Sentsore batek ematen duen informazio berri horrekin, begizta itxian lan egiten da, ondorengo atalean azaltzen den moduan.



1.4 irudia. Gela bateko tenperatura begizta irekian kontrolatzeko adibide bat.

### 1.6.2. Kontrola begizta itxian

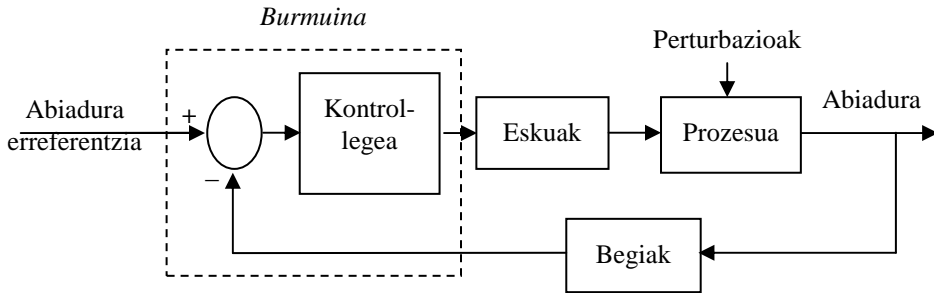
1.5 irudiak begizta itxiko kontrola irudikatzen du bloke-diagrama baten bidez.  $y(t)$  aldagai kontrolatua sentsore baten bidez neurtzen da eta  $r(t)$  erreferentziarekin konparatzen,  $e(t)$  errorea zein den jakiteko.  $u(t)$  kontrol-seinalea errorea txikitzeko kalkulatu du kontrolagailuak. Begizta itxiko eskemarekin konparatuz, sentsorea eta kontrolatu nahi den aldagaiaren neurketa-seinalearen berrelikadura agertzen dira hemen. Berrelikadura horri esker, sistemari eragiten dioten perturbazioak konpentsa ditzake kontrolagailuak.



1.5 irudia. Begizta itxiko kontrola.

1.6 irudian gizakien kontrolatzeko era naturalarekin konparaketa bat egiten da. Demagun jats edo erratz batek lurrean duen abiadura kontrolatu nahi dugula irudiko bloke-diagraman agertzen den moduan, lortu nahi denaren (erreferentzia) eta lortzen den

emaitzaren (begiak ikusten dutena) arteko desberdintasuna eta kontrolagailuaren lana burmuinak egiten du gizakion kasuan. Problema horretan, gure eskuak lirateke eragingailua, eta gure begiak sentsorea. *Prozesua* blokeak kontuan hartuko lituzke, adibidez, jatsaren masa, malgutasuna eta lurraren kontra gertatzen diren marruskadurak.



1.6 irudia. Konparaketa gizakien kontrolatzeko era naturalarekin.

Liburu honetako 2. zati honen 4. kapituluaren kontrolagailu arrunt batzuk aztertuko ditugu, denak begizta itxian.

## 1.7. Kontrol-sistema baten oinarriko bloke eta seinaleak

Aitzineko atalean kontrol-sistema baten bloke eta osagai nagusiak agertu dira. Liburu honetan askotan aipatuko dira. Horregatik, ezinbestekoa da hiztegi hau ongi menperatzea.

Blokeei dagokienez, hauek dira kontrol-sistema batek dituen blokeak:

- **Kontrolagailua:** kontrol-legea gauzatzen du.
- **Eragingailua:** kontrolatu nahi den prozesuan eragiten du. Kontrolagailuak emaniko kontrol-seinalea aplikatzen zaio.
- **Prozesua/Sistema:** kontrolatu beharreko sistema (bere irteera).
- **Sentsorea:** kontrolatuko den aldagaia neurtzeko gai den gailua.

Azken 3 blokeek gehienetan *Prozesua* edo *Sistema* deitzen dugun bloke berean sartzen dira. 4. kapituluaren hasieran esplikatzeko da zergatik.

Seinaleei dagokienez, hauek dira kontrol-sistema batean agertzen diren seinale nagusiak:

- **Erreferentzia (SP Set Point, kontsigna):** irteerak hartu behar duen balioa.
- **Kontrolaturiko aldagaia (PV Process Variable):** prozesuaren irteera neurtua.
- **Errorea:** kontrol-prozesuan azaltzen den errorea:  $e(t) = ST - PV$ .

- **Kontrol-seinalea:** kontrolagailuak sortzen duen seinalea eta prozesuari (eragingailuaren bidez) aplikatzen zaiona.

## 1.8. Erregulazioa eta jarraipen-kontrola edo serbomekanismoa

Sistema edo prozesu bat kontrolatzean, bi kontrol modu bereizten dira erreferentzia edo kontsignaren arabera. Problema batzuetan, erreferentzia konstantea da, eta kontrolagailuaren lana perturbazioen ondorioak konpentsatzea da, kontrolatzen ari garen irteera ez dadin aldatu. Erraterako, labe bateko tenperatura 100°-tan atxikitzea izan daiteke helburua, labeko atea irekitzeak edo labeko kanpoko tenperatura-aldaketek sortzen dituzten perturbazioen eragina baztertuz. Beste adibide bat izan daiteke prozesu industrial batean ontzi baten likido-maila konstantea atxiki nahi izatea, borondatezkoak ez diren sarrera eta irteerako emariak konpentsatuz. Kontrol modu horri *erregulazio* deritzo.

Beste batzuetan, erreferentzia aldatzen da, eta kontrolagailuak lortu behar du prozesuaren irteerak erreferentziari segitzea. Erraterako, robotikan, beso baten puntaren posizioari dagokion erreferentzia alda daiteke. Kontrol mota honek *serbomekanismoa* edo *jarraipen-kontrola* du izena.

Liburu honetan aztertzen diren metodo eta teknikek bi kontrol mota hauetarako balio dute.

## 1.9. Kontrolaturiko sistema baten espezifikazioak

Bezero batek hornitzaile bati produktu edo zerbitzu bat diseinatzea eskatzen diolarik, espezifikazio batzuk ematen ditu, edo bien artean adosten dituzte. Kontrolean ere, kontrolatu nahi den sistema edo prozesuari buruzko espezifikazioak adierazi behar dira, hau da, kontrolaturiko sistemak zer ezaugarri izan behar duen zehaztu behar da kontrolagailua modu egokian diseinatzeko. Automatikalari baten helburua zera da, sistema edo prozesu batentzat finkatu diren espezifikazioak lortzeko kontrolagailu egoki bat diseinatzea. Espezifikazioak hiru maila hauetan definitzen dira:

- *Egonkortasuna:* kontrolaturiko sistema egonkorra izan behar da. Adibidez, sarrera konstante bihurtzen bada, irteera denbora baten ondoren balio finitu batera heldu behar da. Behin kontrolaturik, sistema ezinbestean egonkorra izan behar da. Hau da espezifikazio garrantzitsua.
- *Dinamika:* erreferentzia berri bati edo perturbazio bati zein azkartasunez eta zein modutan (zuzenean nahi den baliora helduz, edo balio hori pasatuz eta gero berriz ere baliora hurbilduz...) erantzun behar zaion adierazi behar da espezifikazioetan. Oro har, kontrolaturiko sistema ahal bezain azkarra izatea nahi da.
- *Egoera iraunkorreko zehaztasuna:* kontrolatzen den sistema egoera iraunkor batera heltzen delarik, erreferentziaren balioaren eta kontrolaturiko aldagaiaren arteko desberdintasuna, hau da, errorea, zenbatekoa izatea nahi den (zein zehaztasun



nahi den) adierazten da espezifikazioetan. Askotan, egoera iraunkorreko errorea zero izatea nahi da, baina ez beti.

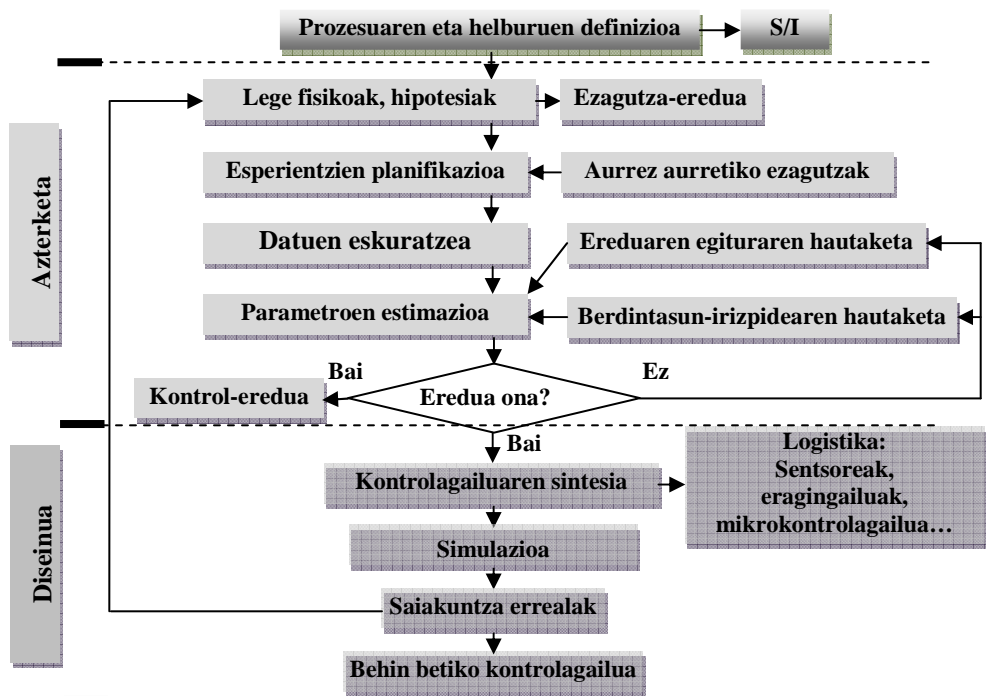
Egonkortasuna, dinamika eta egoera iraunkorreko prezisioa kontzeptuak liburuaren zati honetako 3. kapituluan aztertzen dira.

## 1.10. Diseinu-metodoa

1.7 irudiak kontrolagailu bat diseinatzeko egin beharreko pausoak zein diren erakusten du.

Metodo honen lehen etapa kontrolagailuaren helburuak zein diren definitzean datza. Beraz, hemen adierazten dira zein espezifikazio bete beharko dituen kontrolaturiko prozesuak. Hori egitean, zein aldagai kontrolatu nahi den (kontrolatu behar den sistemaren irteera) adierazten da, baita zein aldagairekin ere (prozesu edo sistemaren sarrera izanen denarekin).

Bigarren pausoan, kontrolatu nahi den sistema edo prozesua aztertzen da. Horretarako, sistemaren eredu pare bat lortu behar da. Eredu bat simulazioak egiteko erabiliko da. Eredu horri *simulazio-eredu* esaten zaio. Beste eredu bat, oro har sinpleagoa dena, kontrola diseinatzeko erabiltzen da. Eredu hori *kontrol-eredua* deitzen da. Batzuetan, simulazio- eta kontrol-ereduak berdinak dira. Heldu den kapituluan aztertzen da sistemen ereduak nola lortzen diren.



1.7 irudia. Kontrolagailu bat diseinatzeko segitu beharreko prozesua.

Metodoaren hirugarren pausoa kontrolagailuaren diseinuari dagokio. Liburu honetako 4. kapituluari zehazten da. Kontrolagailua diseinatzen eta doitzen da finkatu diren kontrol espezifikazioak lor ditzan. Gainera, etapa honetan, zein motatako eragingailu eta sentzoreak erabiliko diren hautatzen da, baita kontrolagailua nola gauzatuko den ere (anplifikadore operazionalerik osaturiko zirkuitu elektroniko baten bidez, edo mikrokontrolagailu bat edo automata bat programatuz...). Behin kontrolagailua diseinaturik, simulazioen bidez eta entsegu errealek bidez frogatzen da, egokia dela segurtatu arte.

## **1.12. Konklusioak**

Ikasgai honetan aztertuko ditugun sistemak, jarraituak, SISO motakoak, linealak eta ez-aldakorrak dira.

Heldu den kapituluari sistema fisikoaren ereduaren aztertzea da. 3. kapituluari, denboraren eremuan sistema desberdinek duten erantzuna arakatu da. Erantzun hori ereduaturiko prozesuaren ezaugarrien arabera da. Erran daiteke kapitulu hau dela Kontrolari buruzko garrantzitsua. 4. kapituluari oinarriko kontrolagailu batzuen diseinua nola egin azaltzen da.