

# 1 GAIA: SARRERA

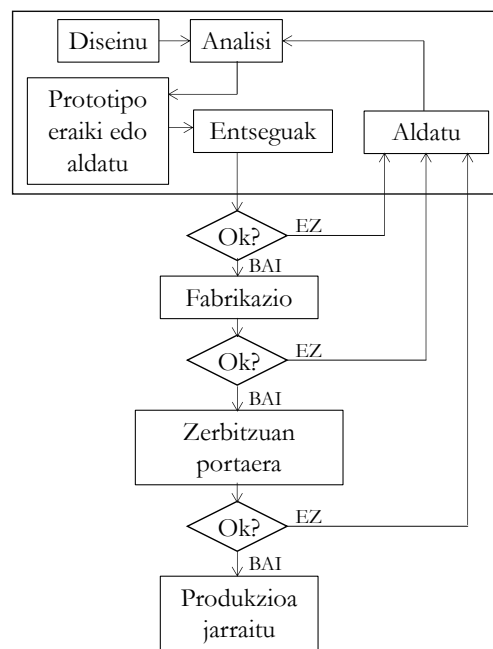
## 1. GAUR EGUNGO EGOERA MAKINEN ANALISI ETA DISEINUAN

---

Diseinatzea behar espezifiko bat asetzeko edo arazo bat ebazteko plana egitea da. Planetik produktu baten sorrera ateratzen bada, orduan honek funtzionala izan behar du, segurua, fidagarria, lehiakorra, erabilgarria, etab; azken finean, diseinu-irizpide batzuk bete behar ditu, hauetako asko aurrerago gai honetan zerrendatuko direlarik. Diseinua prozesu berritzailea eta oso iteratiboa da, erabaki jarraituak hartzean oinarrituta dagoelarik.

Edozein sistema edo azpisistemaren diseinu mekanikoan (sistema mekaniko bat diseinatzeko, beharrezko osagaien diseinuari buruzko ezagutza zabala izan behar da), hainbat fase bereizten dira prozesu iteratiboan zehar, 1. irudiko diagraman adierazten den bezala diseinu, analisi, prototipoak eta probak. Prozesu iteratibo hau aldi berean, fabrikazio prozesuarekin eta dagoeneko merkaturatu dauden elementuen zerbitzu portaeraren jarraipenenarekin lotuta dago.

Diseinuaren prozesua sistemaren bere osotasunean planteatuz hasten da, sistema azpisistemetan zatituz (bat bakarrik ere izan daiteke) eta hauek beraien osagaietan. Honen ondoren, osagai nagusien dimentsionaketa orokorra egiten da, zehatz-mehatz aztertu gabe; azpisistemaren hezurduraren eskema edo bozeto deitu ahal izango zaio. Une honetan hasierako erabakiak hartu ahalgo dira osagai nagusiek erabiliko duten materialen, segurtasun-faktore (CS) eta ezarri beharreko fidagarritasunaren gainean.



**1 Irudia. Diseinu mekanikoaren prozesu iteratiboaren diagrama. Egileen irudia.**

Hemen diseinu eta analisi mekanikoa jorratuko denez, ondoren beharrezkoa izango da sistemak jasango dituen esfortzuen estimazioa egitea (determinista edo ausazkoa). Lan hau oso zaila izan ahal da hurbilketa nahikoarekin egin nahi bada, gehien bat produktuaren garapenaren hasierako faseetan. Sistemak orokorrean jasango dituen esfortzuetan hasita, azpisistema bakoitzean ematen diren esfortzuak kalkulatu dira eta, bakoitzaren barnean elementu edo osagai dagokienak. Zeregin hau oso zaila da aurrera eramatea, hurbilketa eta hipotesi sinplifikatzaileei lotuta dagoelarik, eta honen kuantifikazioa lan taldearen esperientzia eta ezagutzan oinarritzen da. Adibidez, auto baten bezalako makina konplexuaren kasuan, bere barnean beste azpisistema konplexuak dituelarik (eskidura, transmisioa, balaztatze sistema, txasisa, etabar), halaber, osagai konplexuz osatuta (ardatzak, errodamenduak, engranajeak, eta abar).

Behin osagai bakoitzak jasango duen esfortzuak zehaztuta, haren analisisa egitera abiatzen da honen erantzuna ezagutzeko esfortzuen aurrean, egiaztatzeko betetzen baditu diseinu baldintzak. Aurreko adibidearekin jarraituz, aztertu beharko litzateke ardatzak (aurredimentsionatua) huts egiten duen nekean, abiadura kritikoan, etabar. Azterketa horiek era ezberdinetan egin daitezke: metodo tradizionala, zenbakizko metodoak (adibidez Elementu Finituen Metodoa, EFM) eta/edo proba esperimentalak erabilia. Analisisirako metodo hauek osagaiaren erantzuna ezagutzen eta bere diseinuaren baliotasunaz erabakitze laguntzen dute. Ondoren metodo hauek azaltzen dira:

## 2. MAKINEN DISEINU ETA ANALISIA: KALKULU HURBILDUAK, EFM, PROTOTIPOAK

---

Elementu edo pieza baten diseinua aurre-dimentsionaketa hurbildu batekin hasten da. Behin aurre-dimentsionatuta, bere aplikazioan eta diseinatzailearen esperientzian oinarrituta, bere portaeraren analisi bat egitea beharrezko den edo ez erabakitzen da, egiaztatzeko hasierako diseinu honek diseinu baldintzak betetzen dituen. Horrela, piezaren analiza egitea ezinbestekoa da industria aeroespazial eta nuklearrean, oso pieza optimizatuak eta ardura handikoak erabiltzen baitituzte. Auto eta makina-erreminta industrietan ez da beharrezko pieza denak analizatzea, adibide batzuk jartzearren.

Behin analisiaren emaitzak lortuta, elementuaren erantzuna behatu eta interpretatzen da, eta erantzuna balio gabea bada edo hobetu ahal dena, diseinu originalean aldaketak egiten dira, ahalik eta diseinu optimoena bilatu arte proba-errore zikloen bidez.

Pieza bat analizatzean, zein analisi prozedura erabiliko den aukeratu behar da. Prozedura bakoitzak bere ezaugarriak ditu eta beraien artean konbinatu ohi dira, ez dira baztertzailerak. Prozedura nagusiak metodo tradizionalak, zenbakizko metodoak eta entsegu esperimentalak dira. Ondoren bakoitza deskribatzen da:

a) Metodo tradizionalak (eskuzko kalkuluak): Elastikotasun Teoria, Materialen Erresistentzia, Egituren Teoria, Bibrazioen teoria...-tik eratorriak dira. Prozedura hauek hipotesi sinplifikatzaileetan oinarrituta egon ohi dira eta analiza era erraz baten egiten da. Aitzitik, ematen duten doitasun, oro har, ez da oso altua eta aplikazio maila nahiko mugatua dute. Adibidez, Materialen Erresistentziako formulek axialki kargatutako barra batek jasaten dituen tentsioak kalkulatzeko ( $\sigma = F/A$ ) erabili ahal da, ordea formula hau habe lerden eta deformazio txikidunei mugatzen da, eta ez ditu kontuan hartzen tentsio kontzentrazioak, barraren sekzio aldaketek eragindako tokiko fenomenoak. Aurrez adibide bezala jarritako formulaz gain, metodo tradizionalak abakoak, taulak, grafikoak, etab errekurtsu erabiltzen ditu pieza edo elementua aztertzeko.

b) Ordenagailu bidezko zenbakizko metodoak (CAE, Computer Aided Engineering): metodo tradizionalen bidez aztertu ezin diren analisiak egiteko gai dira. Hau da, elementuen geometria, karga-baldintzak, materialen edo bestelako ezaugarriek ez dutenean betetzen metodo tradizionala oinarritzen den hipotesi sinplifikatzaileak, kasu hauek aztertzeko erabiltzen dira. Adibidez, sareta baten analisi teknika tradizionalak erabiliz egin ahal da,

berriz, auto baten talka analisia zenbakizko metodoen bidez (geometria konplexuak, talka karga, kontaktua, deformazioak handiak, materialaren erregimen elastiko-plastikoa, etabar) tratatu behar da. Zenbakizko metodo erabiliena analisi mekanikoan gaur egun Elementu Finituen Metodoa (EFM) da eta ikasmaterial honetako gaitako bat da.

c) Azkenik, saiakera esperimentalak emaitza zehatzenak eskaintzen dituzte, baina era berean garestienak lortzeko (denboran eta dirutan), horregatik bakarrik piezaren diseinu prozesuan behar beharrezkoak direnean erabili behar dira.

Baina, metodo bat edo beste noiz erabili behar da? Aurrez aurkeztutako adibideei jarraituz, sareta bat aztertu nahi bada, hau da, barrek jasaten dituzten indar, tentsio eta desplazamenduak lortu nahi badira, zentzugabea litzateke proba esperimentalak erabiltzea; metodo tradizionalak oso emaitza zehatzak ematen dituelako, oso analisi kostu murriztarekin. Ordea, auto baten talkaren eragina aztertu nahi bada ohiko metodoak ez dira bideragarriak. Kasu honetan, beharrezkoa da zenbakizko metodoak erabiltzea, autoaren egituraren elementu finituen modeloa ordenagailu bidez aztertuz. Gainera, aztertzeke fenomenoaren konplexutasunaren ondorioz beharrezkoa da proba esperimentalez ere baliatzea ("crash test"). Bertan, prototipo bat bloke zurrun baten aurka talka egiten da bere egituraren erantzun zehatza lortzeko eta bidaiariengan dituen segurtasun inplikazioak ikusteko; hala eta guztiz ere, Elementu Finituen bidezko analisiak, kostu-doitasun konpromiso onargarri batekin, egituraren puntu ahulak detektatzeko eta geometria edo material ezberdindun diseinuak frogatzeko balioko du, beraz nabarmen murriztuko da beharrezkoak diren proba esperimental kopurua.

Aurrerago ikasmaterialean eztabaidatuko den bezala, zerbait antzekoa gertatzen da pieza baten neke analisiarekin. Fenomenoaren konplexutasun handiak eta dispertsioak ia ezinbesteko egiten dute froga esperimentalak burutzea, baina aurretik analisi tradizional prozedurak erabiltzean, ikasmaterialean azaltzen den metodo orokorra adibidez, osagarri perfektua bihurtzen du. Metodo orokorraren bidez, nahiz eta ez kontsideratu behin-behinekoak, piezak izango duen portaeraren ideia bat ematen du eta honen aurreko diseinu edo aurre-diseinu on bat lortzea ahalbidetzen du. Gainera, metodo honen formula samurrek posible egiten dute egiaztatzea zelan aldatzen den piezaren neke portaera, hau eragiten duten faktoreak aldatuz (gainazal akabera, tentsio kontzentrazioak, tamaina, etabar) eta honela, burutu behar diren proba esperimentalak ondorena hobeto planifikatuan eta gutxiago izango dira. Laburbilduz, ez da existitzen analisi prozedurarik besteak baino hobea denik. Kasu

bakoitzean, analisia egiten ari den pertsonak bere behar konkretuetara hobekien egokitzen dena erabili beharko du, ohikoa izanik prozedura ezberdinak konbinatzea.

### 3. KODE ETA ARAUAK

---

Ikasmaterial honetan makinaren elementuen analisia egiteko metodoak jasotzen dira eta osagai hauek diseinatzeko erabiltzen dira. Hala ere, kasu askotan gobernu-kode eta industriak ateratako arauak jarraitu behar dira, nahiz eta gehienetan bakarrik gomendioak diren, batzuk legez betebeharrekoak dira. Diseinu ingeniaria jakitun izan behar da kode eta arau hauen existentziatz.

Jarraian Ingeniaritza Mekanikoaren diseinu edo segurtasunaren inguruan kode eta arau espezifikoak eratu dituzten erakunde batzuk zerrendatzen dira: American Society of Mechanical Engineers (ASME), American Gear Manufacturers Association (AGMA), International Standards Organization (ISO), Society of Automotive Engineers (SAE), etabar. Estatu eta hiriek ere bere kodeak izaten dituzte, nahiz eta gehiengoa sarrera publikodun egiturei, jasotzaileen osagaiak, eskailera elektrikoak eta suteen prebentzio araudien buruzkoak diren.

### 4. DISEINU IRIZPIDEAK

---

Diseinu irizpide deitzen zaie elementu edo sistema baten diseinuan eragina duen ezaugarri denei. Makina arruntenen diseinu irizpideak: erresistentzia, zurruntasuna, fidakortasuna, kostua, fabrikazioa, pisua, bizitza, estiloa, forma, tamaina, ezaugarri termikoak, gainazal egoera, lubrikazioa, mantenua, erantzukizun legala, etabar, dira. Diseinu irizpideak, azken finean, diseinatzaile batek kontuan izan behar dituen alde denak dira elementu edo sistema baten diseinua burutu behar duenean. Ikasmaterial honetan makinaren diseinua ingeniaria mekanikoarekin erlazionatutako irizpideak izango ditugu kontuan (erresistentzia, zurruntasuna, fidakortasuna, bizitza, ...). Honela ere, ezin da ahaztu ingeniaria esparrutik kanpo dauden beste irizpide asko kontutan izan behar direla (estetika, erantzukizun legala, etabar).

## 5. MATERIALEN AUKERAKETA: EZAUGARRI KUALITATIBO ETA KUANTITATIBOAK

Makinen osagai eta sistemen funtzionamendu ona, diseinatzaileak aukeratutako materialak baldintzatzen du neurri handi batean. Makinen elementuak metal edo besteak beste altzairua, aluminioa, burdinurtua eta titanio bezalako metal aleazioetan fabrikatzen dira. Ezaugarriak ezagutzeak material egokiena aukeratzeko laguntzen du pieza eta aplikazio zehatz baterako. Materialen ezaugarri garrantzitsuenen artean jarraian agertzen direnak dira:

- a) Ezaugarri erresistenteak eta beraien fidakortasuna: materialak nahiko erresistentzia maila izan behar du (estatikoa, dinamikoa, nekera, etabar) piezak bere gainean aplikatutako esfortzuak jasan ahal izateko hutsegiterik eman gabe.
- b) Lehengaiaren prezioa: pieza ekoizteko erabili behar den lehengaiak kostu arrazoizkoa izan behar du.
- c) Fabrikazio prozesua: materiala fabrikatzeko erraztasuna kontutan izatea komeni da.
- d) Manipulazioa, garraioa eta biltzea: erraztasuna ematen duen materialak erabiltzen saiatu behar da (adibidez beirak ez du betetzen).
- e) Konponketa erraztasuna: materialak erraz konpontzekoa izan behar du (adibidez, altzairuzko “apurtutako” pieza bat soldatze bidez konpondu daiteke, eta plastikozko bat ez)
- f) Horniketa: materialaren hornitzaileak hornitze jarraitasuna eta entrega epeen bermea eskaini behar ditu.
- g) Análisi metodoen bideragarritasun, kostu eta zehaztasuna: materialak piezaren análisis ez konplikatzeko ezaugarriak izan behar ditu. Adibidez, altzairuaren onuretako bat bere joera homogeen, isotropo eta elastikotasun lineala dira (isurpena heldu aurretik). Honek asko errazten du bere análisis.

Material baten ezaugarri mekanikoak aztertzeko, kualitatiboki nahiz kuantitatiboki sailka daitezke. Honako hauek direlarik garrantzitsuenak.

### 5.1 Ezaugarri mekaniko kualitatibo nagusiak

Materialen ezaugarri kualitatiboak neurtu ezin direnak dira. Jarraian azaltzen dira laburki garrantzitsuenak:

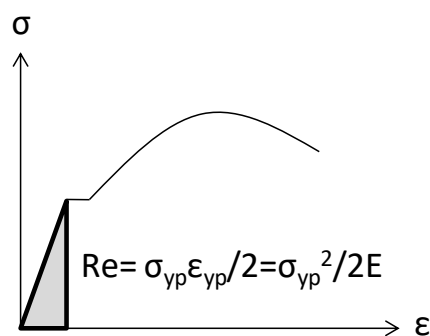
- a) Homogeneotasuna: materiala homogeneoa da ezaugarri berdinak dituen bere puntu guztietan. Altzairuak, aluminio aleazioak, titanioa eta ia metal denak eta beste ez-metal asko homogéneo bezala kontuan har daitezke, ez horrela matrize organikodun eta zuntzez (beira edo karbonozko zuntzez indartutako polimeroak) konposaturiko materialak, hormigoi armatua, etabar.
- b) Isotropia: materiala isotropoa da ezaugarri berdinak dituen norabide guztietan. Metalezko material gehienak har daitezke isotropikotzat, injekzio bidez egindako plastikozko piezak eta ia konposite guztiak dira aldiz anisotropikoak.
- c) Elastikotasuna: kargak desagertzean materialak hasierako forma berreskuratzeko duen ahalmena da. Ikuspegi orokor batetik esan dezakegu makinaren diseinuan erabilitako ia material denak elastikoak direla, nahiz eta karga handitzen den heinean erregimen plastikoan sartu.
- d) Linealtasuna: materiala lineala da tentsio-deformazio kurba lerro zuzen bat denean. Ez nahastu kontzeptu hau elastikotasunarekin, linealtasunak gainjartzearen printzipioa aplikatzea ahalbidetzen du eta, beraz, analisisa sinplifikatzen du portaera ez-lineala duten materialekin konparatuz.
- e) Plastikotasuna: tentsio muga baten barnean hautsi gabe deformatzeko ahalmena da, baina karga desagertzean deformazioa guztiz desagertzen ez delarik.
- f) Harikortasuna eta hauskortasuna: material harikor batek hausturan  $\epsilon_u$  deformazio handi bat dauka, gune plastiko handi bati dagokiona. Material hauskor bat deformazio txiki batekin  $\epsilon_u$ , hausten da,  $\sigma_u$  haustura tentsioa handia izan daitekeen arren. Material harikor eta hauskorren arteko muga ez da erraza definitzea: ikuspuntu teoriko batetik, oro har, material hori harikortzat hartzen da  $\epsilon_u > 5\%$  bada eta hauskortzat  $\epsilon_u < 5\%$  bada. Material harikor baten ezaugarri nabarmena piezen hutsegitea eman gabe gaitasuna xurgatzeko duen gaitasuna da (hau aurrerago azalduko da), eta horregatik makinaren diseinurako gehienbat material harikorrak erabiltzen dira.

## 5.2 Ezaugarri mekaniko kuantitatibo nagusiak

Materialaren ezaugarri kuantitatiboak espezimen proba bidez neur daitezkeenak dira, adibidez trakzio entsegu bidez. Ezaugarri kuantitatibo garrantzitsuenen artean ondorengoak aurki daitezke: trakziora erresistentzia, isurpenera erresistentzia, tortsiora erresistentzia,

erresilientzia, zailtasuna, gogortasuna, neke erresistentzia eta creep termikoa.

- a) Trakzio erresistentzia ( $\sigma_u$ ): azken tentsioa ere deitua,  $\sigma_u$ , probetak trakzio saiakeran haustura unean duen tentsioa da. Makinen diseinuan erabiltzen diren material askok erresistentzia ezaugarri ezberdinak dituzte trakzio eta konpresiora. Material hauskorrek konpresioko azken tentsio altuagoa dute trakziokora baino ( $\sigma_{uc} > \sigma_{ut}$ ).
- b) Isurpen erresistentzia:  $\sigma_{yp}$  tentsioa, balio horretatik aurrera deformazioa nabarmen hazten da kanpo indarra handitu gabe, era plastiko eta iraunkorren. Material batzuetan ez dago argi eta garbi definituta isurpen gune hori, baina oso garrantzitsua denez isurpen tentsioa diseinu mekanikoan, akordio bidez  $\sigma_{yp}$  trakzioko saiakuntza probetan %0,2-ko deformazio iraunkorra sortzean hartuko da.
- c) Bihurdura erresistentzia: kontzeptu hau ez da asko erabiltzen, bihurtura portaera trakzio saiakeratik abiatuta aztertu daitekeelako. Entsegua egiten den kasuan, sekzio zirkularra duen probeta bati bihurtura ezarri eta T bihurtura momentuaren eta  $\theta$  bihurtura angelua erregistratzean datza. Emaitzak  $\tau$ - $\theta$  diagrama batean irudikatu daitezke, trakzio entseguko  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramarekiko analogoa izanik. Aurrerago ikasmaterial honen gai batean eztabaidatu bezala, bihurtura erresistentzia isurpenean  $\tau_{yp} = 0.5-0.57\sigma_{yp}$  da eta  $\tau_u = 0.5-0.57\sigma_u$  hutsegitera.
- d) Erresilientzia: materialak energia elastikoa absorbatzeko duen ahalmena da. Bere neurria erresilientzia modulua (Re) da eta trakzio diagramatik lortzen da, 2 Irudian adierazten den bezala. Horrela, material bat erresilienteagoa da bere isurpen tentsioa  $\sigma_{yp}$  handitzen den heinean eta Young-en modulua E txikiagoa denean. Ezaugarri honek garrantzi handia du energia elastikoa gordetzen duten elementuetan, hala nola, malgukien kasuan bezala.



**2 Irudia. Material baten erresilientzia (Re). Egileen irudia.**

- e) Zailtasuna: materialak hausturara arte energia xurgatzeko duen ahalmena da.



Zailtasun estatikoaren modulua trakzio diagramaren azpiko azaleraren berdina da. Ezaugarri hau garrantzi handikoa da talka gogor azpian lan egiten duten elementuentzat. Zailtasun dinamikoko saiakuntzetan, hala nola, Charpy edo Izod kasuetan, hozkadadun probeta batek pendulu baten talkaren eragina jasaten du, zailtasunaren balioa talkaren eraginez penduluak galtzen duen energia potentziala delarik (materialak gordetako energia berdina hutsegina arte).

f) Gogortasuna: material batek sarketari kontra egiten dion erresistentzia da; higadura erresistentzia neurtzeko balio du. Brinell eta Rockwell dira makinaren elementuetan gehien erabiltzen diren prozedurak altzairuetan kalkulu hurbilduetarako. Bi metodoek zulagailua erabiltzen dute (gogortutako altzairuzko bola), materialean barneratu eta aztarna iraunkor bat utziz: gogortasuna sartze indarra eta utzitako aztarnarekin batera erlazionatzen da. Beraz, indar jakin baten kasuan, zenbat eta handiagoa izan utzitako aztarna, txikiagoa izango da material horren gogortasuna. Altzairuetan, hurbilketa kalkuluetan esperimentalki ohartu da BHN Brinell gogortasuna dela:

$$BHN(en\ kg/mm^2) = \frac{\sigma_u(MPa - tan)}{3.1} \quad (1)$$

g) Neke erresistentzia: karga aldakorak jasaten duten elementuek nekeagatik hutsegiten dute milaka edo milioika ziklo ondoren. Neke erresistentziak fenomeno honi egiten dio erreferentzia eta ikasmaterialean zehar nekera hutsegitea landuko den gaietan aztertuko da.

h) Creep: fenomeno hau dela eta, tenperatura nahiko handietan tentsio estatikodun (konstantea) pieza baten deformazioa denboran zehar progresiboki eta behin betiko handitu egiten da, tentsioa  $\sigma_{yp}$  azpitik egonda ere.

## 6. METALAK ETA ALEAZIOAK IZENDATZEKO SISTEMAK

Elementu edo sistema mekanikoak fabrikatzeko erabilitako materialen aukeraketa zeregin garrantzitsu bat da eta, horretarako, hainbat elkartek hartzen dute erantzukizuna arauak ezartzeko eta metalak eta aleazioak sailkatzeko. Bakoitzak bere zenbakikuntza sistema propioa du. Nahasketak saihesteko, adostu da Zenbakikuntza Batuaren Sistema erabiltzea (UNS Unified Numbering Systems).

Alde batetik, metalak eta aleazioak sailkatzeko American Society for Testing and Materials o

ASTM izendapena erabiltzen da. Bestalde, elkarteak daude materialak mota eta/edo aplikazio sektorearen arabera izendatzeko, adibidez:

- a) Aluminioaren erakundea (AA, Aluminum Association).
- b) Estatubatuar Burdin eta Altzairuaren Institutua (AISI, American Iron and Steel Institute).
- c) Kobrearen Garapenerako Elkarte (CDA, Copper Development Association).
- d) Automobilgintzako Ingeniarien Elkarte (SAE, Society of Automotive Engineers).

Oso litekeena da altzairua izatea makina elementuetan material erabiliena dituen ezaugarri nabarmenengatik: erresistentzia, zurruntasuna, iraunkortasuna eta fabrikazioa eta azterketa erraza duena. Altzairua burdina, karbono, manganesoa eta, besteak beste, sufre, fosforoa, silizioa, nikela, kromoa, banadioa, molibdenoa eta beste elementuen aleazioa da.

Burdinazko aleazioentzako, burdina eta altzairu-mota ezberdinak izendatzeko erabilitako sistemak hainbat faktoreren arabera aldatzen dira (sektorea, merkatua, hornitzaileak...). 1. taulan industria mailan gehien erabiltzen diren batzuk erakusten dira.

BURDIN ALEAZIOAK	IZENDAPENA
Burdin urtua	ASTM
Eraikuntza metalikorako altzairuak	UNE, SAE
Erreminta altzairuak	DIN, AISI
Enbutizio altzairuak	UNE
Altzairu herdoilgaitzak	AISI

*1. Taula. Burdin aleazioen izendapen erabiltzenak. Egileen taula*

## 7. SEGURTASUN KOEFIZIENTEA MAKINEN DISEINUAN

Edozein makinaren pieza edo elementuren diseinuan, segurtasun koefizienteak (CS) hutsegite arriskua “maila onargarri” bateraino murrizteko segurtasun tarte bat ematen du. Segurtasun koefizienteak “segurtasun koltxoi” bezala lan egiten du, diseinuko prozesuaren ziurgabetasun faktore ezberdinen aurrean, eta hauek jarraian aurkezten dira:

- a) Faktore jakin batzuk ez dira beharrezko sakontasunarekin ezagutzen eta ezta ere hauen eragina piezaren portaera mekanikoan. Adibidez, nekera fenomeno askok dute eragina eta oso zaila da hauen efektua balioztatzea.

- b) Faktore askok izaera estatistikoa dute, adibidez materialen ezaugarriak eta piezak jasaten dituzten kargak, hala ere, analisi bat egiterakoan oso ohikoa da balio deterministak erabiltzea azterketa probabilistikoa bat egin beharra saihesteko.
- c) Faktore asko hipotesi sinplifikatzaileen bidez sinplifikatzen dira. Sinplifikazio hauek analisi metodo tradizionalen adierazpenen abiatze puntua izan ohi dira.

Zenbat eta hobeto ezagutu ziurgabetasun faktoreak, hainbat eta hobeto estimatu ahalgo da beraien eragina, eta ondorioz, txikiagoa izango da erabili beharreko segurtasun koefizientea diseinuan.

Era sinpleenean bi balioen arteko zatidura bezala definitzen da: hutsegitea (piezak behar bezala lan egitea ezgaitzen duen balioa) zenbakitzailean eta onargarria izendatzailean. Diseinu mekanikoan balore hauek tentsioak, deformazioak, desplazamenduak, iraupenak, etabar izan daitezke:

$$CS = \frac{\text{Hutsegitearen balioa}}{\text{Balio onargarri maximoa}} \quad (2)$$

Osagai mekaniko gehienak altzairuzkoak izanik, zerbitzu baldintzetan portaera harikorra eta hauskorra duten altzairuen artean desberdindu behar da. Material harikorretan, hutsegite tentsioa isurpen tentsioa  $\sigma_{yp}$  da, deformazio handi eta iraunkorra dagokio eta piezari ez dio uzten modu egoki batean lan egiten. Material hauskorretan berriz, hutsegitea hausturako tentsioak  $\sigma_u$  markatzen du, non pieza bat-batean hausten da.

Inolako zalantzarik gabe, hutsegite hauskorra arriskutsuagoa da ze bat dakar pieza abisatu gabe "zatitu" izana, harikorra partez "bakarrik" nabarmenki desitxuratzen den bitartean (deformazio altu eta iraunkorra), modu honetan abisatuta apurtzera iritsi aurretik. Hori dela-eta, segurtasun koefiziente altuagoa gomendatzen da material hauskorretan harikorretan baino, normalean bikoitza erabiliz ( $CS_{\text{hauskorra}} \approx 2 \cdot CS_{\text{harikorra}}$ ).

Argi geratzen da segurtasun koefizientearen balorearen aukeraketa diseinu prozesuaren erabaki garrantzitsuenetakoa dela. Honela, kalte pertsonal edo ingurumen arrisku ardua asko duten sistemetan legislatutako CS balioak erabiltzen dira, derrigorrez betebeharrekoak (igogailu, eraikinen instalazio, presiodun gas depositu, etabarren diseinuan. Orokorrean, segurtasun koefiziente hauek kalkulu kode edo metodo batekin bateratuta doaz. Legislaziorik egon ezean, irizpide ona enpresaren esperientzian oinarritzea da zeren eta erabilitako CSak seguraski lan metodologiari (kalkulu prozedura, fabrikazio prozesu, kalitate kontrol, ...)

gehien egokitzen zaizkionak izango dira.

Azkenik, ez badago arau zehatzik edo aurre esperientziarik, gomendatutako kasu tipikoentzako CS balio taulak badaude. Balio orientagarriak dira, ez dira zuzenak eta kasu batzuetan eztabaidagarriak. 2. Taulak balio horietako batzuk erakusten ditu, material harikorrei dagokienak; material hauskorren kasuan, aurrez aipatu bezala, balio horiek bikoiztu behar dira.

CSren GUTXI GORA BEHERAKO BALIOA	APLIKAZIOA	ZIURGABETASUNA
$1,25 \leq CS \leq 1,5$	Fidagarritasun ezohiko material harikorra, oso lan kondizio aurreikusietan, karga estatiko ezagunekin eta kalkulu metodo zehatza erabilia.	
$1,5 \leq CS \leq 2,0$	Ezaugarri ezagun dituen material harikorra, ingurugiro kondizio erlatiboki egonkorretan eta ez agresibotan eta karga estatiko ezagunekin eta kalkulu fidakorrak erabilia.	
$2 \leq CS \leq 2,5$	Bitarteko kalitatedun material harikorra baldintza ez oso zorrotz, agresibo edo oldarkorretan, karga estatiko pean eta hurbilketa bidez zehaztu ahal izango diren esfortzuak jasaten dituena.	
$2,5 \leq CS \leq 3,0$	Material harikorra bere ezaugarri erresistenteen balioak fidakortasunik gabeak, edo nolabaiteko doitasunez zehaztu ahal diren karga estatikoak jasaten dutenak.	
$3,0 \leq CS \leq 4,0$	Material harikorra eta oso gutxi ezagutzen dena, lan kondizio ezezagunetan. Ahal den neurrian, egoera hau saihesten saiatu behar da.	

**2. Taula. Gutxi gora beherako CS segurtasun koefizientearen balioak material harikorrentzat. (Material hauskorra bada, 2gatik biderkatu balioak). Egileen taula.**

## 8. UNITATEAK

Magnitude bezala neur daitekeen guztia ulertzen da (pisua, denbora, luzera, potentzia, indarra, lana...), eta horretarako unitatea beharrezkoa da. Ingeniaritza mekanikoaren alorrean badira oinarrizko hiru magnitude (masa, denbora eta luzera), horietatik eratorritzen dira besteak, unitate eratorriak deitzen direnak (indarra, lan potentzia...).

Honela, unitate sistema bat definitzeko, lehenik oinarrizko unitateak aukeratzen dira, hauek oinarrizko magnitudeak neurtzeko balioko dizkigute: adibidez Sistema Internazionalan (SI) kilogramoa (kg) erabiliko da masa neurtzeko, segundoak (s) denbora neurtzeko eta metroak (m) luzera neurtzeko. Hauetatik unitate eratorriak deduzitzen dira, hauei dagozkien unitate eratorriekin: indarra  $\text{kgm/s}^2$ -tan, lana  $\text{kgm}^2/\text{s}^2$ -tan edo potentzia  $\text{kgm}^2/\text{s}^3$ -tan. Unitate eratorri batzuk izen propioa jasotzen dute, adibidez:  $\text{kgm/s}^2$ =Newton (N),  $\text{kgm}^2/\text{s}^2$ =Nm=Joule (J) eta  $\text{kgm}^2/\text{s}^3$ =Nm/s=Watt (W).

Ikasmaterial honetan, ez bada kontrakoa adierazten, Sistema Internazionalako (SI) unitateak

erabiliko dira. 3. Taulak Ingeniaritza Mekanikoan gehien erabiltzen diren magnitudeak erakusten ditu eta hauei tokatzen zaizkien unitateak SI-n.

MAGNITUDEA	UNITATEAK ( SI)	MAGNITUDEA	UNITATEAK ( SI)
Luzera	m	Abiadura	m/s
Denbora	s	Azelerazioa	m/s <sup>2</sup>
Masa	kg	Indarra	kgm/s <sup>2</sup> (N)
Angelua	rad	Momentua	kgm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (Nm)
Frekuentzia	s <sup>-1</sup> (Hz)	Presioa	kg/(ms <sup>2</sup> ) (N/m <sup>2</sup> =Pa)
Azalera	m <sup>2</sup>	Lana, Energia	kgm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (Nm=J)
Bolumena	m <sup>3</sup>	Potentzia	kgm <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> (Nm/s=W)
Dentsitatea	kg/m <sup>3</sup>		

*3. Taula. SI-eko magnitude eta unitate batzuk. Egileen taula.*