

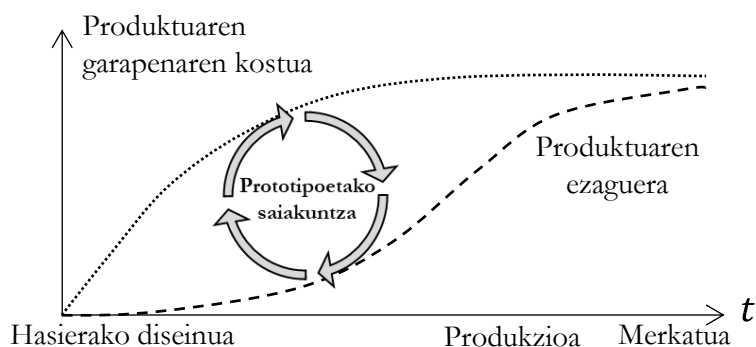
8. GAIA: ELEMENTU FINITUEN METODOAREN SARRERA

1. PRODUKTUA ELEMENTU FINITUEN BIDEZ GARATZEA. EREDU TRADIZIONALA VS EGUNGO EREDUA

Tradizionalki, produktu baten prozesua edo garapena diseinu kontzeptual “intuitibo” batean oinarritu da, eta prototipoetan hainbat saiakuntza egin dira. Diseinu kontzeptualetik abiatzen zen, eta diseinu zehaztua egiten zen hortik abiatuta. Ondoren, prototipo bat edo gehiago eraikitzen ziren, eta behin eta berriz entseatzeko ziren piezak edo elementuak bere bizitza baliagarrian izango zituen zerbitzu-baldintzak simulatuz.

Prototipoaren erantzuna egokia bazen, diseinua behin betikotzat jotzen zen (saiakuntza gehiago ere egin zitezkeen diseinua optimizatzeko, diruak eta denborak uzten zuten bitartean). Kontrari, erantzuna egokia ez bazen, arazoak konpontzen saiatzen ziren, diseinuan ahalik eta aldaketa gutxien sartuz, produktu-garapenaren denbora eta kostua gehiegi ez handitzeko (prototipoa aldatu eta berriz entseatu behar zen).

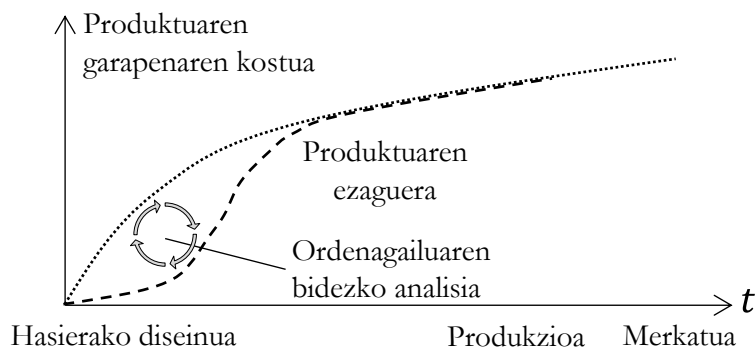
Produktua garatzeko filosofia horrek tarte handia eskatzen du produktuaren ezagutzaren eta hura garatzeko kostuaren artean, diseinu kontzeptualaren eta produktua merkatura ateratzeko artean dagoen denbora gehiengatik. Izan ere, prototipoen saiakuntza-fasea ongi aurreratu arte (dagozkien gastuekin), ia ez da ezagutzen zer portaera izango duen zerbitzu-baldintzen aurrean. Azalduko eskematizatzen du.



1. irudia. Produktua garatzeko eredu tradizionala. Egileen irudia.

Gaur egun, produktuaren ezagutzaren eta hura garatzeko kostuaren arteko hutsunea minimizatzen saiatzen da produktu baten prozesua edo garapena, gastuak eta garatzeko denbora murrizteko eta produktu hobek sortzeko.

Horretarako tresna nagusia ordenagailu bidezko analisia da, eredu tradizionalaren oinarri ziren prototipoen saiakuntzek baino azkarrago, moldaerazagoa eta merkeago ulertzen laguntzen baitu produktuaren portaera (ikus 2. irudia). Izan ere, karga kasu asko azter daitezke, diseinu ordezkoak probatu, eta abar, modu arin eta ekonomikoan, denborari eta diruari dagokienez. Horrela, printzipioz, prototipoen saiakuntzak ordenagailu bidez lortutako diseinua egiaztatze baino ez du balio.



2. irudia. Produktua garatzeko egungo eredu. Egileen irudia.

Azken baieztapen hori eztabaidagarria da edo, gutxienez, ñabardura daiteke; izan ere, ordenagailuz lortutako emaitzen onargarritasuna honako faktore hauen mende dago: ordenagailu-eredua behar bezala definituta egotea (materiala, kargak...), ordenagailuak erabiltzen duen analisi-metodoaren mugak ezagutzera, emaitzak interpretatzen jakiteko behar diren ingeniari-taldeen ezagutzak izatea, etab. Gainera, analisi-mota askok (adibidez, aurreko kapituluan azaldutako neke-analisiak) saiakuntza esperimentalak behar dituzte, konplexuak eta/edo emaitzen dispersioa ematen delako. Hala ere, ordenagailu bidezko analisiak, behar

bezala planifikatuak eta gauzatuak, aukera ematen du prototipoen entseguen kopurua nabarmen murrizteko.

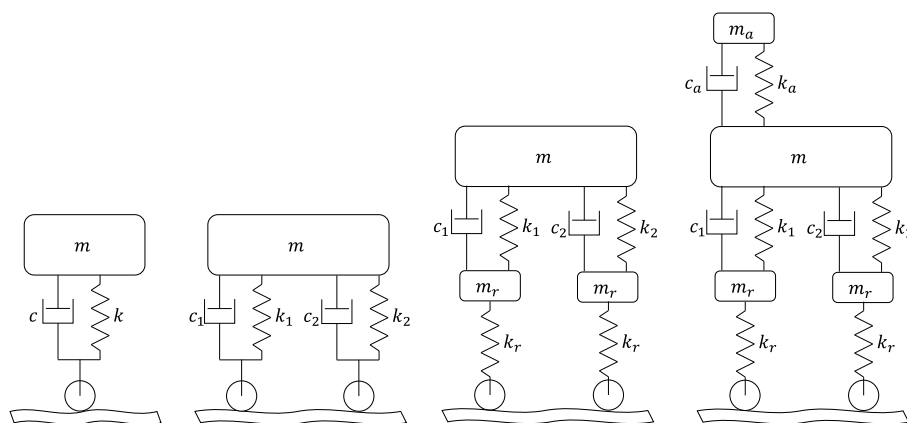
Ordenagailu bidezko analisi-metodoen artean, ingeniarietza mekanikoaren arloan gehien erabiltzen dena Elementu Finituen Metodoa (EFM) da.

2. EREDU BATEN KOSTU/KONPROMISOA

Edozein sistema fisiko aztertzeke, eredu sinplifikatuak erabili behar dira, hala nola abakoak, taulak, metodo analitikoak, zenbakizko metodoak... Nolanahi ere, eredu batek konplexutasunaren eta azterketa-kostuaren arteko konpromisoari eutsi behar dio.

Adibidez, errepide irregular batean aurrera egiten duen ibilgailu baten dinamika bertikala aztertzeke, besteak beste 3. irudian agertzen diren ereduak erabil daitezke. Lehenengo ereduak (ezkerrekoenak) askatasun-maila bakarra du; bigarrenak, hirugarrenak eta laugarrenak, berriz, 2, 4 eta 5 askatasun-gradu dituzte, hurrenez hurren. Zenbat eta askatasun-maila handiagoa izan ereduak, orduan eta zehatzagoa da sistemaren portaera xehetasun gehiagoz ezagutzeko bidea ematen duen zentzuan: adibidez, bigarren ereduak gai da luzetarako balantza-mugimendua aztertzeke (lehenengo ereduak ezin du), eta laugarrena gai da gidariak xaxisarekiko egiten duen mugimendu bertikala simulatzeko ere (lehenengo hirurek ezin dute).

Hala ere, ereduak zenbat eta konplexuagoa izan, haren zehaztasuna handitu ez ezik, haren azterketaren kostuak ere handitzen du. Hala, behar dugun informazioa ahalik eta zehaztasun handienarekin eta ahalik eta kostu txikienarekin ematen diguna da eredurik onena; 3. irudiko adibideari jarraituz, gidariaren mugimendua ezagutzea interesatzen ez bada, ez du zentzurik laugarren ereduak aztertzeak.



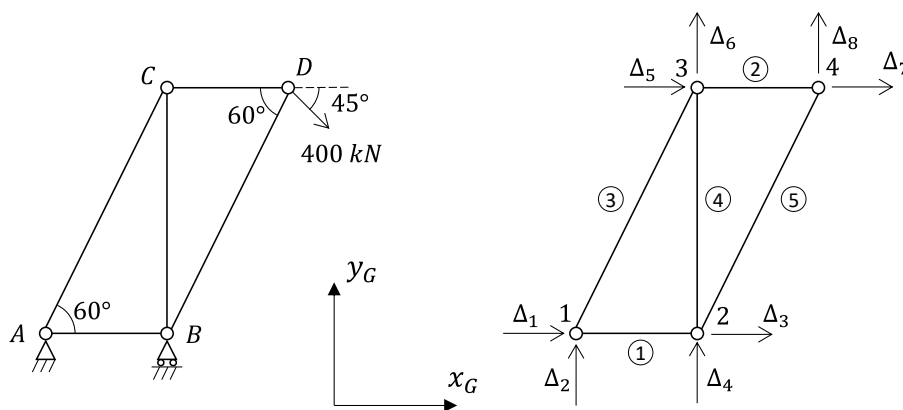
3. irudia. Ibilgailu baten dinamika bertikala aztertzeke hainbat eredu. Egileen irudia.

Ordenagailuen abantaila da oso kalkulu konplexuak (eta, beraz, oso zehatzak) abiadura handian (hau da, oso denbora-kostu txikian) egiteko aukera ematen dutela. Horrela, 1950eko hamarkadan hasi zen Elementu Finituen Metodoaren gorakada, ordenagailuen gorakadarekin batera. Gaur egun, merkatuan programa komertzial asko daude, eta horien bidez analisi estatiko eta dinamikoak, linealak eta ez-linealak, bibrazio libre eta behartuak, talkak, analisi termikoak, gilbordurakoak, akustikoak, elektrostatisakoak, magnetikoak, fluidoen dinamikoak... egin daitezke.

3. ELEMENTU FINITUEN METODOAREN OINARRI INTUITIBOA

Aurreko atalean esan denez, EFMen gorakada 1950eko hamarkadatik aurrera gertatu zen, baina horrek ez du esan nahi EFMen oinarri teorikoa garai hartan garatu zenik; EFMen oinarritzko ideia barrasareak kalkulatzeko erabiltzen den bera da, XIX. mendekoa. Hala ere, 1950eko hamarkadara arte, EFM ez zen oso erabilgarria, ez baitzegoen ordenagailu batekin ematen duen kalkulu-ahalmen azkar eta zehatzik. Izan ere, ordenagailuek kalkulu-ahalmena ez ezik, ereduak eta haien emaitzak eroso eta arin ikusteko gaitasun grafikoa ere ematen dute.

EFMaren oinarritzko ideia oso sinplea da: sareten kalkuluan egiten den bezala, EFMak sistema edo medio jarraia ezaugarri ezaguneko elementu finituetan diskretizatzen du. Sareten kalkuluan, sistema jarraia (barrasarea) diskretizatu egiten da propietate ezaguneko elementu finitu (barra) batzuetan (L luzera, A azalera eta E elastikotasun-modulua). 4. irudiak adibide bat erakusten du. Lotura-puntuei nodo deritze, eta nodo bakoitzak askatasun-gradu jakin batzuk ditu; barrasarearen kasuan, nodo bakoitzak bi askatasun-gradu ditu, X eta Y norabideko desplazamenduak.



4. irudia. Ingurune jarraituaren diskretizazioa (barrasarea) propietate ezaguneko elementu finituetan (barrak) (E, A, L). Egileen irudia.

Horrelako kalkulu estatiko batean, honako ekuazio hau ebatzi behar da: $\{F\}=[K]\cdot\{\Delta\}$. $\{F\}$ eta $\{\Delta\}$ bektoreek ereduaren askatasun-graduen indarrak eta desplazamenduak dituzte:

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \end{Bmatrix} \quad \{\Delta\} = \begin{Bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \\ \Delta_5 \\ \Delta_6 \\ \Delta_7 \\ \Delta_8 \end{Bmatrix}$$

4. irudiko adibidean, $\Delta_1=\Delta_2=\Delta_4=0$, $F_3=F_5=F_6=0$, $F_7=400\cdot\cos(45)$, $F_8=-400\cdot\sin(45)$.

Barrasarearen zurruntasun-matrizea diskretizatu den barra-elementu bakoitzaren zurruntasun-matrizetik abiatuta kalkulatzen da. Izan ere, barra-elementu baten zurruntasuna ezaguna da: bere balioa $k=EA/L$ da barraren norabidean eta $k=0$ barrarekiko norabide perpendikularrean. Hala, eta kontuan hartuta desplazamenduak 4. irudiko askatasun-graduenak direla, hau da barrasarearen zurruntasun-matrizea:

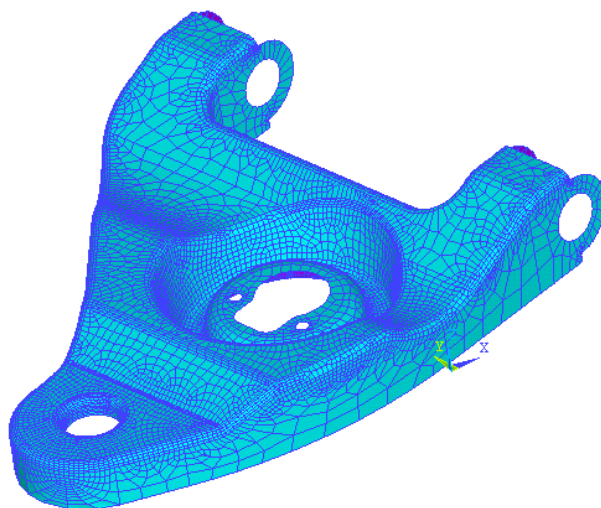
$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L}\cos 2\alpha & \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & -\frac{EA}{L} & 0 & -\frac{EA}{L}\cos 2\alpha & -\frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & 0 & 0 \\ \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & \frac{EA}{L}\sin 2\alpha & 0 & 0 & -\frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & -\frac{EA}{L}\sin 2\alpha & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L}\cos 2\alpha & \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & 0 & 0 & -\frac{EA}{L}\cos 2\alpha & -\frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha \\ 0 & 0 & \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L}\sin 2\alpha & 0 & -\frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & -\frac{EA}{L}\sin 2\alpha \\ -\frac{EA}{L}\cos 2\alpha & -\frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & 0 & 0 & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L}\cos 2\alpha & \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & -\frac{EA}{L} & 0 \\ \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & -\frac{EA}{L}\sin 2\alpha & 0 & -\frac{EA}{L} & \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L}\sin 2\alpha & \frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{EA}{L}\cos 2\alpha & -\frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & -\frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} + \frac{EA}{L}\cos 2\alpha & \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha \\ -\frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & -\frac{EA}{L}\sin 2\alpha & \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & \frac{EA}{L}\sin 2\alpha & 0 & 0 & \frac{EA}{L}\sin\alpha\cos\alpha & \frac{EA}{L}\sin 2\alpha \end{bmatrix}$$

Ikus daitekeenez, 1. barrak (1. eta 2. nodoen artean) $k=EA/L$ zurruntasuna ematen die 1. eta 3. askatasun-graduei, eta $k=0$ sistemako 2. eta 4. askatasun-graduei.

Ereduaren ekuazio estatikoa eraiki ondoren, ebatzi egiten da eta emaitza bezala euskarrietako erreakzioak eta nodoen desplazamenduak lortzen dira.

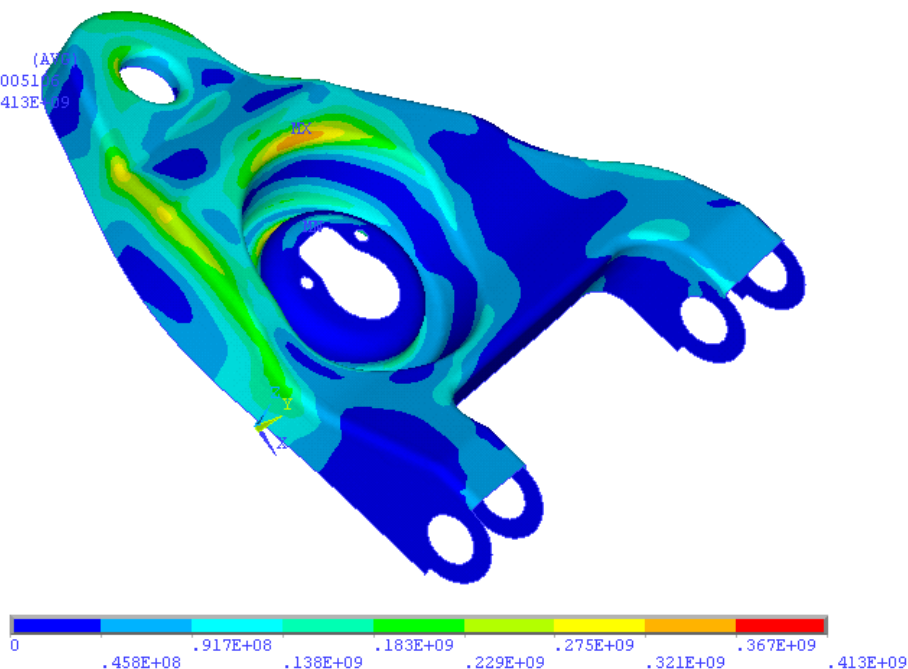
Horixe da EFMen jarduteko modua. Hala, horrelako pieza konplexu bat aztertu nahi bada (automobil baten esekidura-triangelua), ezaugarri ezaguneko elementu finituetan diskretizatzen da (triangelu eta laukizuzen motako elementu horien zurruntasuna ez da barra baten $k=EA/L$ zurruntasuna bezain sinplea, baina kalkulatuta daiteke. 4. irudian agertzen den barrasarearen analisia posible da eskuz egitea bere ekuazioa: $\{F\}=[K]\cdot\{\Delta\}$ erlatiboki txikia eta erraza da ebatzi eta emaitzak lortzea. Pentsaezina da ordea 5. irudiko pieza eskuz aztertzea, oso konplexua delako; hala ere, ordenagailuak ekuazioa zailtasunik gabe eraiki eta

ebazten du. Ordenagailuak, gainera, emaitzak modu erosoan ikusteko aukera ematen du, eta horrek emaitzak interpretatzen laguntzen du; adibidez 6. irudiak, Von Mises-en tentsioak erakusten ditu, piezari indar jakin batzuk aplikatu ondoren (tentsioak askatasun-gradu desplazamenduen bidez kalkulatzen dira).



5. irudia. Medio jarraiaren diskretizazioa (esekidura-triangelua) ezaugarri ezaguneko elementu finituetan (triangeluak eta laukiak). Egileen irudia.

```
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV      (AVERAGE)
DMX =.0051167
SMX =.413E+09
```



6. irudia. 5. irudiko esekidura-triangeluaren emaitzak (Von Misesen tentsioa) bistaratzea. Egileen irudia.

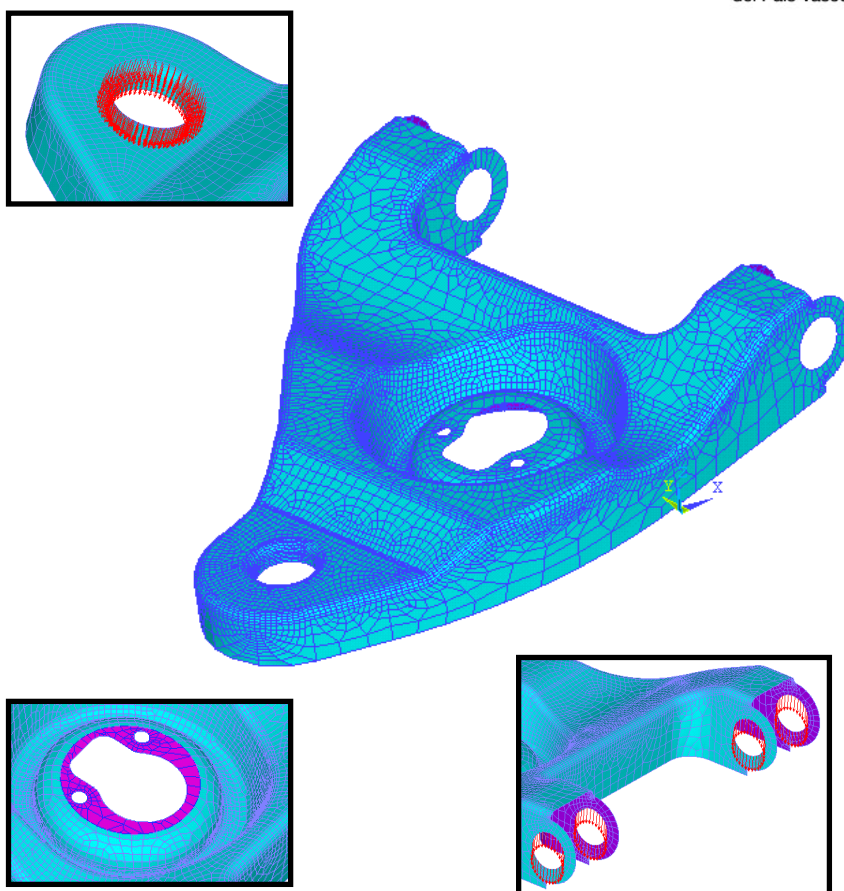
4. ELEMENTU FINITUEN PROGRAMA BATEN ANTOLAMENDUA

EF bidezko analisi-programek hiru zati nagusi dituzte: aurreprozesadorea, prozesadorea eta postprozesadorea. Hurrengo puntuetan, hiru zati horietako bakoitza zertan datzan deskribatzen da, eta pieza edo elementu bat aztertzerakoan kontuan hartu beharreko alderdiak azpimarratzen dira.

Aurrera egin aurretik, argi utzi behar da EFMa analisi-tresna bat dela, eta ez diseinu-tresna. Programak analistak definitu duen pieza bakarrik aztertzen du (bere geometria, sarea, kargak, inguruko baldintzak...), eta bere erantzuna deformazio, tentsio edo dagokionaren arabera kalkulatzen eta bistaratzen du. Programak ez du inoiz pieza zerotik diseinatzen (geometria, materiala... aukeratuz) deformazio, tentsio edo dagokion balio onargarri jakin batzuk bete ditzan.

4.1 Aurreprozesadorea

Aurreprozesadorea da aztertu beharreko piezaren materiala, geometria, kargak eta inguru-baldintzak definitzen dituen zatia. Halaber, medio jarraia elementu finituetan diskretizatzen da, eta prozesu horri “mailaketa” deitzen zaio. 5. irudiko esekidura-triangeluaren geometria, inguru-baldintzak, kargak eta mailaketa erakusten ditu 7. irudiak.



7. irudia. Esekidura-triangeluaren geometria, mugalde-baldintzak, kargak eta mailaketa (aurreprozesatua). Egileen irudia.

4.1.1 GEOMETRIA

Ereduren geometria definitzeko lehen urratsa analisiaren helburua argi ezartzea da. Eredua eta analisi-mota desberdinak izango dira lortu nahi denaren arabera. Demagun, adibidez, EFek aztertu nahi duela 8. irudiko iraulketa-errodamendua, garabi eta aerosorgailuetan asko erabiltzen dena, besteak beste.

Adibidez, indar bat aplikatzen zaionean kanpoko eraztuna zenbat mugitzen den jakin nahi bada (barne-eraztuna euskarri finkora torlojututa), bolak zurruntasun baliokideko malgukien bidez modeliza daitezke (ikus 9. irudia). Hala, bola osatzen duten hiru dimentsioko zenbait elementu erabili beharrean, malguki-elementuak erabiltzen dira (barra-elementuaren antzekoak), eta, askatasun-gradu gutxiago duenez, askoz txikiagoa da analisiaren kostu konputazionala (gainera, bola-pista kontaktua definitzea aurreztuko da, oraindik konputazio kostua gehiago handituko lukeena). Trukean, ezin izango dugu zelakoa izango den bola-pista eremua, ez eta zer presio gertatzen diren ere. Hala ere, zehaztasunez lortzen da kanpo-

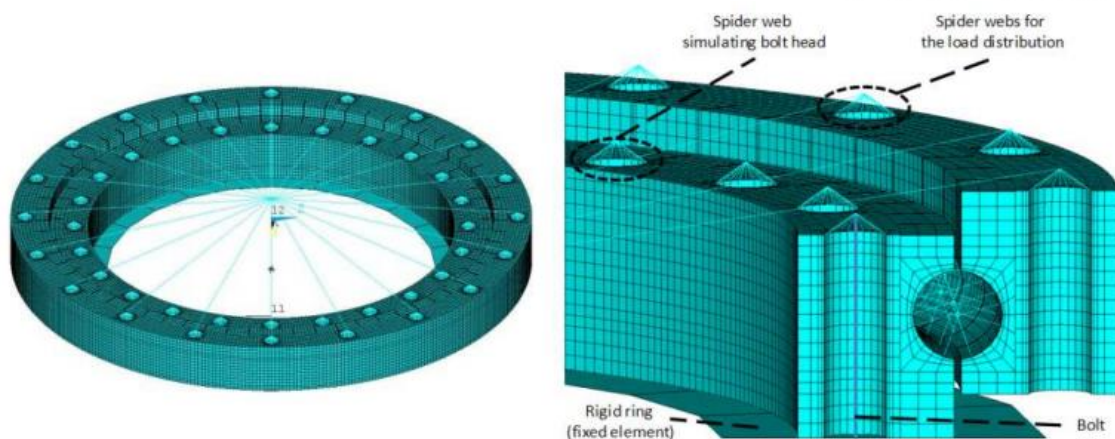
eraztunak barrualdearekiko duen desplazamendua, horixe zehaztu nahi baita azterketa honen bidez. Ildo horretatik, kontuan izan behar da torlojuak habe-elementu gisa modelatu direla, eta, beraz, ezin izango dugu zehatz-mehatz jakin zer gertatzen den barne-eraztunaren eta harien arteko ukipenean, baina ez zaigu axola; torlojuak modelatzeak ez digu zehaztasun gehiago ematen kanpoko eraztunak barrualdearekiko duen desplazamenduaren kalkuluari dagokionez, konputazio-kostua baino ez luke handituko.

Kontaktu-eremuaren egoera ezagutu nahi bada, kasu horretan, noski, bolak modelatu egin behar dira; gainera, bola-pista kontaktuan zer gertatzen den zehaztasunez atzemateko, askoz finagoa den sare batekin diskretizatu behar da. Kasu horretan erabili beharreko eredua erakusten du 10. irudiak, non, gainera, findu handiagoa duen kontaktu-eremu eliptikoa ikusten baita. Azken finean, eta esan bezala, eredua eta analisi-mota desberdinak izango dira lortu nahi denaren arabera: ereduak ez du zertan sistema fisiko errealaren antzekoena izan, baizik eta gure beharrak egokitu egin behar dira, kostu onargarri baten arabera.

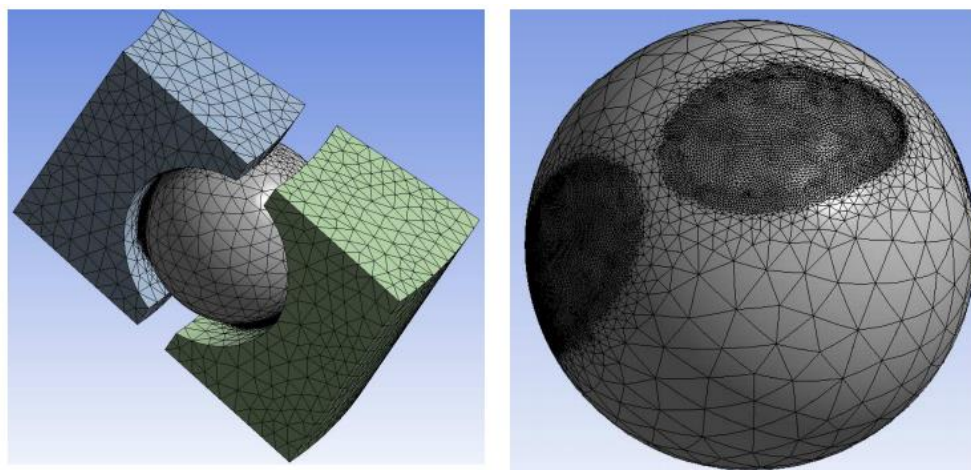
Beste adibide bat, urrunago joan gabe, 4. irudiko barrasarea litzateke. Erabili beharreko eredua 5 barra-elementuk osatzen dute, artikulazioekin elkartuta, aipatu den bezala. Barrasarearen barrak hiru dimentsioko elementuekin, barren arteko loturekin (adibidez, txapa torlojutuak) eta abarrekin modelatzeak ez du inolako zentzurik, emaitzei ez baitie doitasunik gehitzen eta analisiaren kostua nabarmen handitzen baitu.



8. irudia. *EF bidez aztertu beharreko errodamendua. Egileen irudia.*

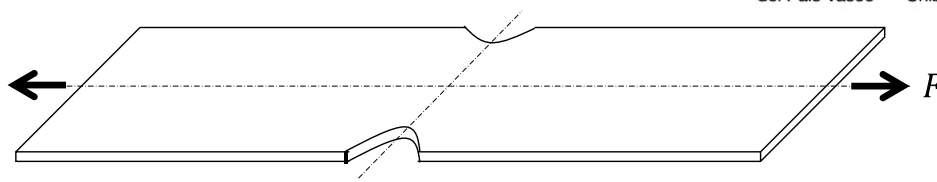


9. irudia. 8. irudiko errodamenduaren eredua, kanpoko eraztunak indarra aplikatzen zaionean egiten duen desplazamendua kalkulatzeko (euskarri finkoari finkatutako barneraztuna). Egileen irudia.

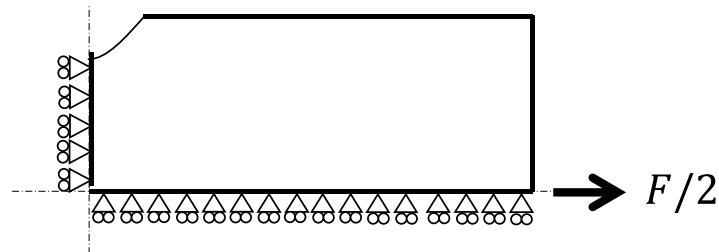


10. irudia. 9. irudiko errodamenduaren eredua, bola-pista kontaktu eremua (kontaktu-azalera, presioak...) aztertzeko. Egileen irudia.

Ahal den guztietan, simetriak, tentsio lauaren baldintzak, deformazio laua eta abar aprobetxatu behar dira, bai eta analisiaren kostua zehaztasunik galdu gabe murrizteko gainerako tresnak ere. Adibidez, 11. irudiko a pieza aztertu beharrean, 11-b-ren pieza azter daiteke, tentsio laua eta simetria dituela aprobetxatuz.



a)



b)

11. irudia. a) aztertu beharreko pieza b) simetria duen tentsio lauko 2D eredua. Egileen irudia.

4.1.2 MUGALDEKO KARGAK ETA BALDINTZAK

Ereduren inguruan kargak eta mugalde-baldintzak sartzea erraza dirudien arren, arreta handia eskatzen duen prozesua da. Askotan, zaila izaten da pieza edo elementu batek funtzionamenduan zehar jasango dituen kargak kalkulatzeko, hala nola egitura baten gaineko haize-kargak edo automobil-eseqidura baten indarrak. Sartutako kargak ez badira piezak bere bizitzan benetan jasango dituenak (edo, gutxienez, balio bereko zerbaitekin), EFen analisiaren emaitzak ez dira baliozkoak izango. Gauza bera gertatzen da inguruko baldintzekin; euskarri zurruna ez denean edo antzeko erroreak direnean, emaitza ez-baliozkoak lortzen dira.

Gogoratu behar da, aurreko atalean ikusi dugunez, EF programak mugaldeko kargak eta baldintzak eredu askatasun-gradutara eramaten dituela, ebatzen duen ekuazio askatasun-graduei baitagokie.

4.1.3 MAILAKETA

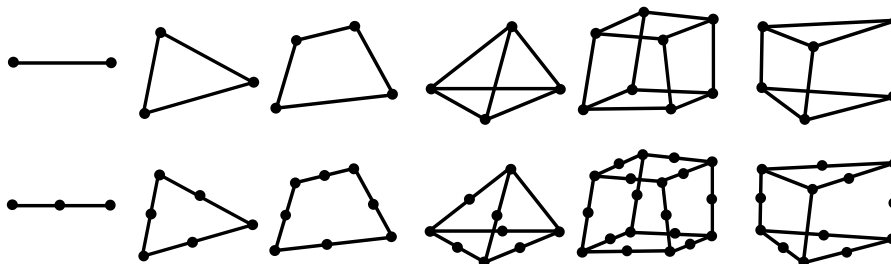
Mailaketari dagokionez, elementuak zenbat eta txikiagoak izan, orduan eta nodo gehiago ditu, eta, beraz, askatasun-gradu gehiago, ereduak berak 3. irudian azaldu duen bezala, horrek zehaztasun handiagoa dakar, baina baita azterketa-kostu handiagoa ere. Hala, elementuaren tamainak doitasunaren eta kostuaren arteko konpromisoa bete behar du. Alde horretatik, tentsio-kontzentrazioko eremuetan, sare finduago bat behar da (elementu txikiagoak), emaitzek zehaztasunez islatu ditzaten tentsio-kontzentrazio horren ondorioak (ziur aski, Makinen Diseinua

Mikel Abasolo, Edurne Iriondo eta Javier Corral

11

piezaren tentsio maximoa gertatuko den eremu horietan gertatuko da, eta, beraz, beharrezkoa da zehaztasuna izatea); tentsio-kontzentrazioarik ez duten eremuek, a priori, tentsio txikiagoa dute, eta, beraz, ez dira hain zehatzak izango, eta, beraz, ez dugu hain zehatza izango. Aipatu berri dena argi eta garbi ikus daiteke 7. irudian, non piezaren forma-aldaketako guneek (tentsio-kontzentrazioko guneak) elementu-dentsitate handiagoa baitute (elementu txikiagoak).

Elementu finitu motei dagokienez, beharren arabera erabili beharreko hainbat mota daude: barra, habe, triangulu, laukizuzen, tetraedro, hexaedro, goiko ordenako elementuak, oskola eta abar. Hala ere, EFen edozein programatan dozenaka elementu mota daude, eta horien artean analistak aukeratu behar ditu, komeni zaionaren arabera. Elementu horietako batzuk erakusten ditu.



12. irudia. EF programa batean dauden elementu finitu mota batzuk. Egileen irudia.

4.1.4 MATERIALA

Analisi estatiko elastiko lineala egiten ari bagara, interesatzen zaigun materialaren propietate bakarrak E elastikotasun-modulua eta Poisson-en koefizientea dira. Azterketa estatikoa, elastiko-plastikoa bada, gainera, haren σ - ϵ kurba definitzeko beharrezkoak diren parametro guztiak beharko ditugu. Analisia dinamikoa bada, zurruntasun-propietatez gain, materialaren masa eta moteltze-ezaugarriak ere zehaztu beharko dira. Materiala ez bada homogeneoa eta isotropoa altzairua bezala, materialaren definizioa konplikatu egiten da.

4.2 Prozesadorea

Aurreprozesadorea da EFen programak aurreprozesadorean zehaztutako eta diskretizatutako ereduaren ekuazioa eratzen eta ebatzen duen zatia (analisi estatiko baten kasuan, $\{F\}=[K]\cdot\{\Delta\}$). Gogoan izan behar da matrizeen tamaina ereduaskatasun-graduen kopuruaren berdina dela; beraz, zenbat eta nodo gehiago izan (maila finagoa), orduan eta zehatzagoa izango da emaitza, baina denbora gehiago beharko du ordenagailuak ekuazioa

ebazteko (analisiaren kostu konputazional handiagoa).

4.3 Postprozesadorea

Postprozesadorea da EF programak prozesadoretik lortutako emaitzak ikusteko tresnak eskaintzen dituen zatia, ezarritako eskaeren aurrean ereduak duen erantzuna ezagutzen eta interpretatzen laguntzeko. Analisi estatiko baten kasuan, bistaratu eta interpretatu beharreko emaitzak, deformazioak eta tentsioak dira.

Puntu horretan, emaitzen arabera, analistak erabakitzen du pieza baliozkoa den ala ez, eta hala ez bada, erabakitzen du nola birdiseinatu. Har itzazu, adibide gisa, 6. irudiko esekiduraren triangeluaren emaitzak. Demagun altzairua harikorra dela eta $\sigma_{yp}=250$ MPa isurpen-tentsioa duela. 6. irudiak adierazten du piezaren tentsio maximoa 413 MPa dela, eta tentsio-kontzentrazioiko eremu batean espero zitekeen bezala agertzen da. Tentsioen kontzentrazioari buruzko gaian azaldutako kontzeptuei jarraiki, material harikorretan, jariakortasun-tentsioa baino tentsio maximo handiagoa izateak ez du esan nahi, nahitaez, piezak huts egin duenik; deformazio onargarria izaten jarrai dezake, nahiz eta plastifikatutako eremu txikiak egon. Aipatutako gaian ikusi dugunez, hutsegitea gertatzen den ala ez balioesteko modu sinplifikatu eta orokorrean onartu bat tentsio nominala isurpen-tentsioarekin konparatzea da. Zoritxarrez, aztertzen ari garen pieza batean ezin da tentsio nominala zehaztu (edo, behintzat, ez da erraza), eta, beraz, irizpide hori ezin da aplikatu. Are gehiago, tentsio nominala kalkula badaiteke ere, kalkulu hurbildua besterik ez dela esaten genuen. Izan ere, gai hartan azaldutakoa aipatuz, material harikor batean hutsegitea gertatzen dela jotzen da, deformazio iraunkor “handiak” agertzen direlako, eta, ondorioz, pieza ez da gai diseinatu den eginkizuna betetzeko. Zer den deformazio iraunkor “handia”, aplikazioaren arabera, non pieza batentzat deformazio-maila jakin bat onargarria izan baitaiteke aplikazio batean eta ez onargarria beste batean. EFMek piezaren deformazioa ikusteko eta deformazio horiek piezak izango duen aplikazio zehatzean onargarriak diren edo ez balioesteko aukera ematen digute.

Azken finean, argi utzi behar da postprozesadoreko emaitzen interpretazioa pieza baten EFMen analisiaren alderdi garrantzitsuenetako bat dela. Behar bezala egiteko, analistak ingeniariartzaren eta EFMaren ezagutza izan behar du, eta bere ereduaren ezaugarriez eta berezitasunez jabetu behar du.

Azkenik, gai honen sarreran azaldu den bezala, kontuan hartu behar da EFMen analisiaren emaitzak ez direla beti behin betikoak. Adibidez, barrasare kalkulu baten emaitzak behin

betikotzat har daitezke, geometria sinplea baita, kargak ere, oro har, sinpleak baitira; analisi estatikoa sinplea da (zurruntasunak bakarrik hartzen du parte, barretan EA/L baita); hala ere, neke-egoeran dagoen pieza baten kalkulu baten emaitzak ez dira erabakigarriak, faktore askok eragiten baitute, eta faktore horien eragina zenbatesten zaila baita (azaleko akabera, talka-maila, soldadurak...). Kasu horietan, ezinbestekoa da saiakuntza esperimentalak a posteriori egitea, batez ere pieza kritikoa bada. Hau da, analisiaren emaitzak interpretatzen jakiteaz gain, emaitzen “norainokoaz” jabetu behar da, behin betikoak zein puntutaraino diren balioztatzeko.