

INDUSTRIA TEKNOLOGIAREN INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

***IBILGAILU BATEN ATEA LORTZEKO APLIKATZEN
DEN ENBUTIZIO PROZESUAREN ELEMENTU FINITU
BIDEZKO SIMULAZIOA***

Ikaslea: De Paz, Sololuze, Aitor

Zuzendaria : Ortega, Rodriguez, Naiara

Ikasturtea: 2018-2019

Data: Bilbo, 2019ko uztailearen 22a.

Ikasturtea
2018/2019

PROIEKTUAREN OINARRIZKO DATUAK

- *Proiektuaren izenburua:* Ibilgailu baten atea lortzeko aplikatzen den enbutizio prozesuaren elementu finitu bidezko simulazioa.
- *Laburpena:* Proiektu honetan ibilgailuen atea egiteko aplikatutako enbutizio prozesua simulatzen da. Simulazio horiek elementu finitu bidezkoak dira eta ordenagailu bidez egingo dira PamStamp softwarea erabiliz. Enbutizio prozesuan eragina duten parametro kritikoen eragina aztertuko da eta ate baten bukaerako diseinua optimoa lortzeko saiakera egingo da.
- *Hitz gakoak:* Enbutizioa, txapa, deformazioa.

-
- *Titulo del proyecto:* Simulación mediante elementos finitos del proceso de embutición aplicado para obtener puertas de los coches.
 - *Resumen:* En este proyecto se simulará el proceso de embutición usado para obtener las puertas de los coches. Las simulaciones se realizarán mediante elementos finitos y a través del ordenador utilizando el software PamStamp. Se estudiará la influencia que tienen los parámetros críticos en la embutición y se intentará conseguir un diseño óptimo de la puerta final.
 - *Palabras clave:* Embutición, chapa, deformación.

-
- *Project title:* Finite element simulation of deep drawing process applied to obtain car doors.
 - *Abstract:* In this project the deep drawing process used to obtain the doors of the cars will be simulated. The simulations will be carried out by means of finite elements and through the computer using PamStamp software. The influence of the critical parameters on the drawing will be studied and an optimal design of the final door will be attempted.
 - *Keywords:* Deep drawing, sheet, deformation.

AURKIBIDEA

1	SARRERA	1
2	TESTUINGURUA	2
2.1	Automozio sektorearen egoera	2
2.1.1	Automozioaren egoera mundu mailan	2
2.1.2	Automozioaren egoera Espainian	4
2.1.3	Automozioaren egoera Euskal Herrian	5
2.2	Autoaren atal multzo nagusien deskribapena	6
2.3	Simulazioaren garrantzia	8
3	PROBLEMAREN ANALISIA	9
3.1	Enbutizio prozesua	9
3.2	Enbutizio prozesuaren erreminta eta parametroak.....	10
4	HELBURUAK ETA IRISPENA	12
4.1	Helburu nagusia eta irispena	12
4.2	Bigarren mailako helburuak	12
5	LANAK DAKARTZAN ONURAK	13
5.1	Onura teknikoak.....	13
5.2	Onura ekonomikoak.....	13
6	AUKEREN ANALISIA	14
6.1	Materiala.....	14
6.2	Simulazio softwareak.....	15
6.3	Prentsa mota	17
6.3.1	Energia emateko moduaren araberako sailkapena	17
6.3.2	Prentsaren efektu kopurua.....	18

7	EGIN BEHARREKOEN DESKRIBAPENA ETA FASEAK	20
7.1	Simulatuko den pieza.....	20
7.2	Prozesuan eragina izango duten aldagai kritikoaren identifikazioa.....	21
8	EMAITZAK ETA HAUEN ANALISIA.....	23
8.1	Atearen bukaerako diseinua	25
8.2	Pisadorearen geometriaren eragina.....	27
8.3	Addendumaren eragina	29
8.4	Materialaren eragina	31
8.5	Txaparen lodiera.....	33
8.6	Ijezketa norabidearen eragina.....	35
8.7	Frenoen eragina	36
8.8	Pisadorearen indarraren eragina	39
8.9	Springback fenomenoaren analisisa	42
9	ZEREGINEN DESKRIBAPENA	45
10	GANTT DIAGRAMA.....	46
11	AURREKONTUAREN DESKRIBAPENA	47
12	ONDORIOAK.....	48
13	INFORMAZIO ITURRIAK.....	49

IRUDIEN AURKIBIDEA

1.irudia. 2017ko autoen produkzioa herrialdeko.....	3
2.irudia. Auto baten elementuak.....	6
3.irudia. Ate baten ohiko forma.....	7
4.irudia. Enbutizio prozesua.....	9
5.irudia. Enbutizio prozesuko parametroak eta erremintak.....	10
6.irudia. Simulazio softwaren logoak.....	15
7.irudia. Prentsa hidraulikoa.....	18
8.irudia. Prentsa mekanikoa.....	18
9.irudia. Atearen hasierako eta bukaerako diseinua.....	20
10.irudia. FLD kurba baten adibidea.....	23
11.irudia. Atearen bukaerako diseinuaren bistak.....	25
12.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba.....	25
13.irudia. Atearen zona kritikoak.....	26
14.irudia. Pisadore zuzena eta kurbatua.....	27
15.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (2).....	28
16.irudia. Addenduma lerro gurutzatuekin.....	29
17.irudia. Forma estandar eta kurbatuko addendumak.....	29
18.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (3).....	30
19.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (4).....	31
20.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (5).....	32
21.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (6).....	33
22.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (7).....	33
23.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (8).....	35
24.irudia. Haustura ematen den gunea.....	35
25.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (9).....	36
26.irudia. Freno ezberdinen geometriak.....	37

27.irudia. Erabilitako frenoaren geometria.....	37
28.irudia. Fr eta Fo indarren kurba.....	38
29.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (10).....	39
30.irudia. Zona kritikoko haustura.....	40
31.irudia. Atearen tentsio egoera eta FLD kurba (11).....	40
32.irudia. Springback fenomenoaren bukaerako diseinuan.....	42
33.irudia. Springback fenomenoaren erresistentzia altuko altzairuain.....	43
34.irudia. Springback fenomenoaren aluminioan.....	44

TAULEN AURKIBIDEA

1.taula. Atearen onura ekonomikoak.....13

2.taula. Materialen lehentasun taula.....14

3.taula. Simulazio softwarearen lehentasun taula.....16

4.taula. Prentsa motaren lehentasun taula.....17

5.taula. Prentsa motaren lehentasun taula (2).....19

6.taula. FLD kurbako koloreen interpretazioa.....24

7.taula. Gantt diagrama.....46

8.taula. Aurrekontuaren deskribapena.....47

1 SARRERA

Lan honetan ibilgailuen atea egiteko aplikatzen den elementu finitu bidezko simulazioari buruz hitz egingo da. Simulazio hauen bidez, atea fisikoki egin aurretik, ahalik eta diseinu optimoena lortzeko saiakera bat egingo da horrela atea lortzeko prozesua ahalik eta merkeena bihurtuz. Simulazio horietan eragina duten parametroei buruz hitz egiteaz gain, lortzen den atearen diseinua erakutsiko da.

Gaian kokatzen joateko, testuinguruan automozioaren egoerari, autoen atal ezberdinei eta simulazioaren garrantziari buruz hitz egingo da. Honen ostean, gradu amaierako lan honen helburuak azaltzeaz gain, garatuko den problemaren analisia egingo da. Jarraian lan honek dakartzan onurei eta egongo diren alternatibei buruz ere hitz egingo da.

Gaian kokatu, egin beharreko lana ulertu eta erabiliko diren baliabideak zehaztu ondoren, simulazioan eragina duten parametroei buruz hitz egingo da. Lehendabizi, enbutizio prozesua egiteko erabiliko diren erremintak lortu beharko dira eta honen ostean, prozesu horretan eragina izango duten parametroak identifikatu. Parametro hauek identifikatzeaz gain, hauetako bakoitzak simulazioan eta batik bat, atearen bukaerako diseinuan duen eragina aztertuko da. Hau eginik lortzen den atearen bukaerako diseinuaren eta parametro ezberdinak aldatuz lortuko liratekeen emaitzak erakutsi eta analizatuko dira.

Honen ostean, proiektua burutzeko egindako atazen deskribapena, Gantt-en diagrama eta aurrekontua deskribatuko dira eta azken pausoa, lanetik ateratako ondorioak laburbiltzea izango da. Bukaeran informazio iturriak agertuko dira.

2 TESTUINGURUA

2.1 AUTOMOZIO SEKTOREAREN EGOERA

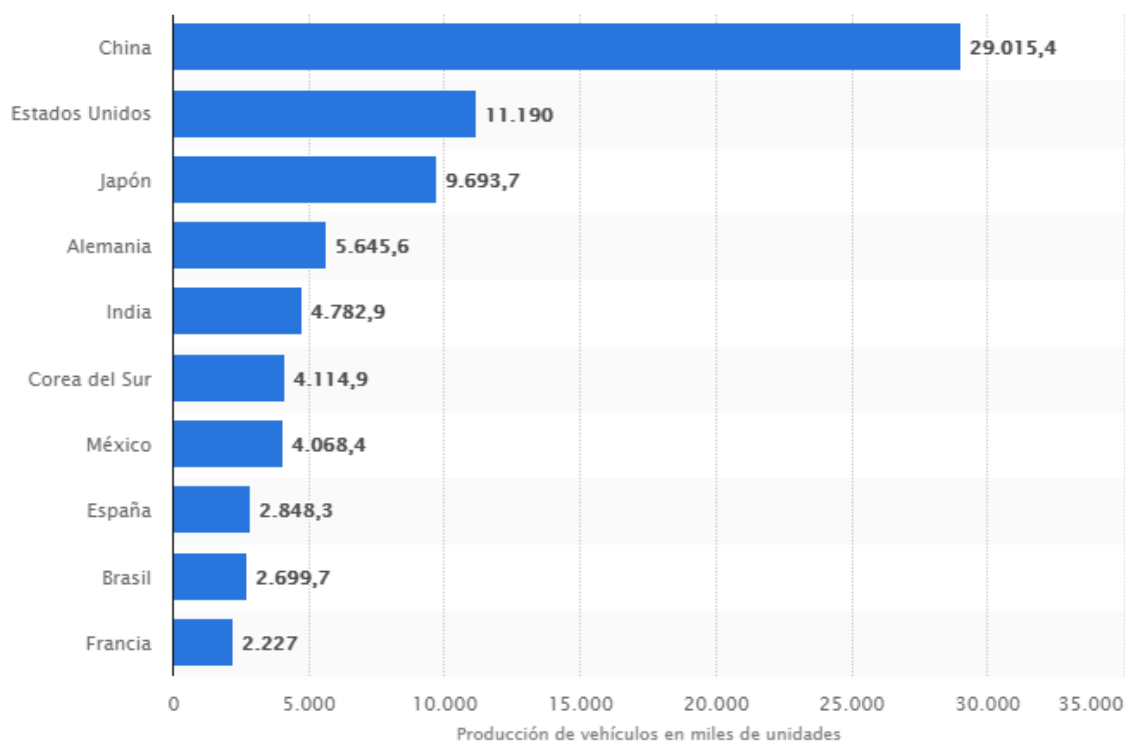
Gradu amaierako proiektu honetan landuko den pieza automobil bati dagokio. Lehendabizi automozioaren egoera aztertuko da mundu mailatik hasi, ondoren Espainiara heldu eta Euskal Herrian bukatuz. Honen ostean, auto baten atal multzoa adierazi eta aztertuko den piezaren deskribapena egingo da, bere itxura eta funtzioak azalduz eta azkenik, lan hau simulazioetan oinarrituta dagoenez, simulazioaren garrantziari buruz hitz egingo da.

2.1.1 Automozioaren egoera mundu mailan

Automozioa munduko ekonomiaren sektore estrategiko bat da, baita industriaren oinarritzko pilare bat ere. Mundu mailako ekonomian aldaketak gertatzen ari dira, eta ekonomiaren ardatza, Asiako kontinenterantz desplazatzen ari da. Automozioaren sektorean ere, gauza bera gertatzen ari da, ekialdeko herrialde horietan dituzten kostu laboral baxuen ondorioz. Duela urte batzuk, automozioan gertatzen zen guztiak eragin handia zuen sektore industrialean eta sektore honen ezaugarrietako bat izan da, beste sektoreekiko izan duen arraste gaitasuna joera berriak ezartzeko orduan eta kontsumo ohituretan. Baina hau ere aldatzen ari da, automozioa inizatiba galtzen ari baita, portaera sozialen aldaketan eragina duten sektoreekiko. Automobiletan ere inizatiba Apple, Tesla eta Bankuena da eta beraz, argi dago automozioa, beste sektore batzuk bezala, ez dela azkarra teknologia berrien pertzepzioan eta horren ondorioz, behartuta daude automobil elektrikoak egiten hastera presio sozialaren eta ekonomia eta ingurumenaren kutsaduraren ondorioz. Honek erakusten du, munduan aldaketa teknologikoa eta sozial garrantzitsua gertatzen ari dela.

Mundu mailako automozioaren merkatua etengabeko gorakada bat jasaten ari da, 2008 eta 2009 urteetan jasan zuen beherakada handiaz geroztik. Beherakada hura krisi ekonomikoak eragindako kolapsoaren ondoriozkoa izan zen. 2010ean egoera egonkortu zen, eta orduetik, pixkanaka igotzen joan da sektore honetako merkatua.

Automozioak 8 urte daramatza goranzko bidean, eta horrela jarraitzea espero da, baina urte horietan zehar aldaketa ugari jasan ditu. Duela 10 urte, automobilen produkzioaren %58a Europa, E.E.U.U. eta Japoniarena zen. 10 urte geroago, berriz, %44a soilik. Gainera, hurrengo irudian ikusi daitekeen bezala, produkzioaren %30a Txinari dagokio eta produkzioaren %55a Asiarena izango da. Horien atzetik, Estatu Batuak eta hirugarren lekuan, Europa egongo litzateke, %10 inguruko jaitsiera jasan duena. Beraz, garbi ikusi daiteke automozioaren sektorea ekialdeko kontinenterantz desplazatzen ari dela.



1.irudia. 2017ko autoen produkzioa herrialdeko.

Automozioaren sektorean eragin handia duten bi gertaera politiko egon dira 2015etik gaur egun arte: hasteko, E.E.U.U.n gertatutako diesel motoreen krisia eta ondoren, Donald Trumpek hartu zuen erabakia, Estatu Batuetara esportatzen diren fabrikatutako automobilei muga-zergak ezartzea. Bi gertaera hauek, automozio sektorearen elektrifikazio prozesua azeleratu dute nahiz eta gaur egun, soilik automobilen %2 izango diren elektrikoak.

Bi arrazoi horiez gain, aipatu behar da aldaketa klimatikoa dela elektrifikazio prozesuaren eragile nagusia. Aldaketa klimatikoaren ondorioz, kontaminazioa murriztea ezinbestekoa da eta prozesu horretan, diesel autoak kotxe elektrikoek bidez ordezkatzeko da helburua, hauek ez baitute kontaminatzen. Hortaz, azken urteetan automobil elektrikoek kantitateak gora egin du, nahiz eta gaur egun, soilik automobilen %2a diren elektrikoak. Automobil elektrikoek ekoizpenak, gora egingo duela suposatzen da ondorengo urteetan, gertatzen ari den trantsizio energetikoarekin batera mugikortasun garbi bat lortzeko asmoarekin.

Trantsizio hau ez litzateke izango posible berrikuntza teknologikorik gabe, batez ere, litiozko bateriei dagokienez. Hauen fabrikazio kostua ohiko bateriena baino handiagoa den arren geroz eta autonomia handiagoa dute. Bateria hauen %15-40a kobaltoa da, eta honen prezioa etengabe ari da igotzen, automozio enpresa berriak kotxe elektrikoak ekoizten doazen heinean. Estimazio kontserbakorrek diote, 2030erako kobaltoaren eskaria 5 aldiz

handiagoa izango dela, eta momentuz, ezin daiteke ziurtatu, erreserba mundialak kantitate horiek izango dituztenik.

Hala ere hauek ez dira izango etorkizunean egongo diren automobil bakarrak, propulsioko modelo ezberdinak egongo baitira epe motz edo ertainean. Bestalde, gidari gabeko automobilaren etorrerak jaitziera handia ekarriko du sektore honetako diru-sarreretan. Beraz, argi ikusten da automozioaren sektoreak apustu egin duela iraultza digitalarekin, industria 4.0 bezala ezagutzen dena.

2.1.2 Automozioaren egoera Espainian

Orain automozioaren egoera aztertuko da Espainian. 2017an automobilen produkzioari dagokionez, Espainia munduko 8.postuan kokatu zen 2,3 milioi ibilgailu esportatuz Espainiako mugetatik kanpo. Ibilgailu elektriko eta autonomoen agerrerek ekarri duen egoera berri honetan, ibilgailuen fabrikatzaileek osagai ezberdinak eskatzen dituzte, batik bat, osagai elektronikoak. Beraz, Espainiak ahalik eta azkarren egokitu nahi du egoera berri honetara.

Autoen produkzioari dagokionez, 2017an auto elektrikoen hazkuntza-tasa %15ekoa izan zen, nahiz eta hauek produkzio totalaren %0,3 diren; %76koa izan zen hibridoen kasuan, nahiz eta hauek produkzio totalaren %0,08a izan; eta %74koa gas naturalekoan kasuan, produkzio totalaren %0,2a diren arren.

Hala ere aipatu behar da Espainiako automobil industriarentzat ez direla onak izan azkenengo urte biak, Espainiarentzat garrantzitsuak diren bi merkatuk zailtasunak izan dituztelako. Erresuma Batua Espainiaren 3. esportazio herrialdea zen eta Europar Batasunetik ateratzeko erreferendumaz geroztik, Espainiaren esportazio kantitateak jaitsi egin dira. Horrez gain, Turkiaren ezegonkortasunak ere eragina izan du, Espainiaren esportazio herrialde nagusia baita.

Dieselaren krisiak ere eragina du automozioaren egoeraren kaltetze honetan. Krisi honen ondorioz aldaketak egin behar dira produkzio kate osoan, eta aldaketa prozesu horrek denbora asko ematen du. Horren ondorioz, diesel bidez funtzionatzen duten ibilgailuetara bideratuta egon den merkatuak jada ez du berdin funtzionatzen. Horregatik, 2018an ibilgailu gutxiago saldu dira. Tendentzia hau Europa osoan ari da zabaltzen.

2.1.3 Automozioaren egoera Euskal Herrian

Azkenik automozioaren egoera Euskal Herrian nolakoa den ikusiko dugu. Automozioaren industria oso garatuta dago Euskal Herrian, 300 enpresa daudelarik honetan lan egiten dutenak. Hauek Estatuko osagaien heren bat fabrikatzen dute, eta bi enpresa nagusi egongo dira: Mercedes-Benz Gasteizen, Araban eta Grupo Irizar Ormaiztegin, Gipuzkoan. Honek erakusten du Euskal Herria bezalako leku txiki batean kontzentrazioa oso handia dela.

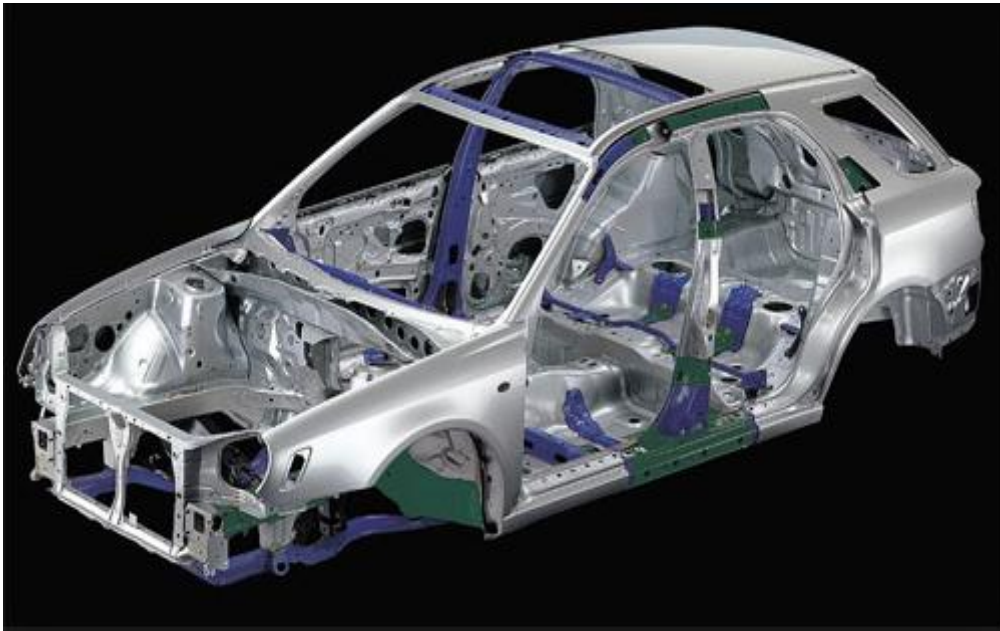
Automozioaren sektorea Euskal Herriko ekonomiarentzat sektore estrategiko bihurtu da eta altzairuarekin batera, industriak EAEko BPGean duen eragina mantentzen lagundu du, EAEko BPGren %25a izanik. Automozio sektoreari dagokionez, estatuko BPGren %50 inguru izango da.

Sektore honen arrakasta hainbat faktoreren ondorioz gertatu da: Euskal Herriko ibilgailuen salmentaren hazkundea, nazioarteko merkatua berreskuratzea eta nazioarteko ikuspuntu ekonomikoaren hobekuntza. Baina horrez gain, badira Euskal Herriko enpresen identitatea markatzen duten faktore batzuk, kanpoko faktoreez gain, sektore hau arrakastara eraman dutenak. Hemengo enpresek efikazia eta efizientzia maila handia dute eta horrez gain, funtzio ezberdinetan espezializatutako langileak dituzte: mekanizatzaileak, ekipo-ondasunen fabrikatzaileak, makina-erreminta ekoizleak, ingeniariak, ikerkuntza zentroak, etab.

Euskal Herriko enpresen bereizgarri bat da I+G+B-ari ematen dioten garrantzia. Fakturazioaren %4 inguru inbertitzen dute ikerketa eta berrikuntzan, 3000 pertsona baino gehiago alderdi horietan lanean egonik. Horrez gain, Euskal Herriko sektore internazionalizatuenetako bat izango da, planta ugari dituelarik (200 baino gehiago) 29 herrialde ezberdinetan zehar, batez ere, arlo honetan sortu berriak diren herrialdeetan, adibidez, Txina, Errusia edo Indian, hauei pieza eta osagaiak eskainiz.

Amaitzeko, aipatu behar da Euskal Herrian automozioaren sektoreak hazkuntza izan duela azken urteetan, 2017.urtean 18.390 milioi euro lortuz fakturazioan, aurreko urtearekiko %11,7 haziz, eta hurrengo urteetan gorantz jarraitzea espero da.

2.2 AUTOAREN ATAL MULTZO NAGUSIEN DESKRIBAPENA



2.irudia. Auto baten elementuak.

Auto baten karrozeriari dagozkion elementu nagusiak hurrengo hauek izango dira: pilareak, aletak, atek, kapotak eta sabaia.

Elementu guztiak karrozeriaren parte diren arren, ezaugarri ezberdinak izan beharko dituzte, beraien funtzioak ez baitira berdinak izango. Pilareak atzeko eta aurreko atearen artean egongo dira eta erresistentzia handikoak izan beharko dira, istripuren bat egon ezker ezingo direlako hautsi barruan doazen bidaiarien segurtasuna bermatzeko. Sabaia ere gogortasun handikoa izan beharko da, kolperen bat jaso ezker garrantzitsua delako ez deformatzea edota haustea. Ateak, aletak eta batez ere, kapota, ez dira horren gogorak eta erresistenteak izango aurreko elementuekin alderatuz, hauen funtzio nagusia ez baita segurtasunarekin lotuta egongo.

Enbutizio prozesuaren bidez autoaren karrozeriari dagozkion elementu ezberdinak egin daitezkeen arren, proiektu hau automobilen atean zentratuko da. Automobilen atek autoetatik sartu eta irtetzeko erabiltzen dira eta auto gehienek 4 izaten dituzte, nahiz eta badauden 2 ate dituztenak ere. Haez gain, maletategiaren atea egon ohi da autoaren atzeko aldean, baina proiektu honetan ez dira horiek aztertuko. Ate hauek, manualki edo elektronikoki ireki eta itxi daitezke giltz baten bidez, autoaren gamaren arabera.

Autoetako ateen hurrengo irudian ikus daitezkeen forma izaten dute, goiko aldean zulo bat izaten dutelarik, leihoa izango dena, autoaren barrualdetik kanpoaldea ikusi ahal izateko.

Atearen neurriak autoaren arabekoak izango dira, baina altuera metro baten ingurukoa izan daiteke, eta zabalera, hori baino txikiagoa. Beheko irudian ikusi daitezkeen atearen kurbaturak ere ezberdinak izango dira auto motaren arabera.



3.irudia. Ate baten ohiko forma.

2.3 SIMULAZIOAREN GARRANTZIA

Simulazioa, konputagailu digital batean esperimenduak aurrera eramateko teknika numerikoa da. Esperimendu hauek, erlazio matematiko eta logikoak izango dituzte, mundu errealeko sistema konplexuen egitura eta portaera ulertzeko ezinbestekoak direnak. Gaur egun, ordenagailuek duten kalkulu ahalmen handiaren ondorioz, metodo numerikoek (ordenagailu bidezkoak) metodo esperimentalak ordezkatu dituzte kasu askotan. Metodo numerikoen bidez, errazago eta azkarrago ulertuko da pieza baten portaera, eta metodo esperimentalekin alderatuz, askoz merkeagoak izango dira. Beraz, simulazioa ordenagailu bidez egingo da eta garrantzi handia izango du diseinu prozesuetan.

Pieza bat fabrikatzean, bere amaierako diseinua lortu aurretik, simulazio ugari egin beharko dira eta simulazio horiek elementu finitu bidezkoak izaten dira. Simulazioari esker, soluzio analitikorik izango ez luketen problema konplexuak aztertu daitezke sistema fisiko errealik erabili gabe, hortaz, fabrikazio kostua murrizten da. Simulazioak datu ezberdinak erabiliz egingo dira, simulazio bakoitzak izango dituen emaitzak ikusiz, eta honen helburua, parametro ezberdinak probatzen joatea izango da, lortzen den emaitza optimoa izan arte.

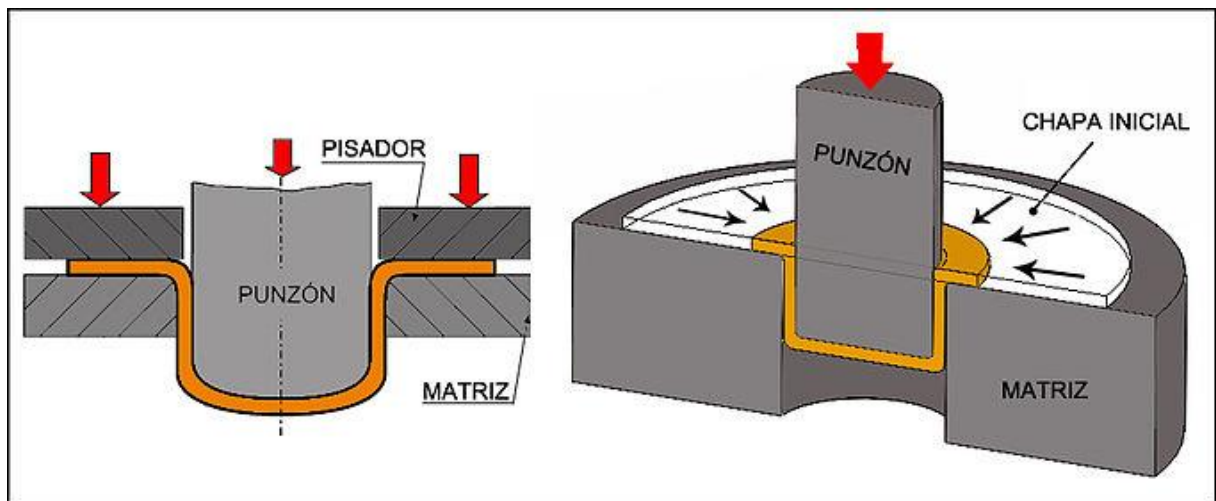
Elementu finituen software ugari daude, eta bakoitzak bere berezitasunak dituen arren, egitura berdina izango da guztietan. Hiru atal nagusi izango dituzte: preprozesatzailea, prozesatzailea eta postprozesatzailea.

Preprozesatzailea, EFM-ren (Elementu Finituen Metodoaren) hasierako atala izango da. Bertan, aztertu nahi den piezaren geometria, materiala, honengan eragingo duten kargak, ingurune baldintzak eta analisi mota (estatikoa edo dinamikoa) zehaztuko dira. Ondoren, prozesatzaileak, preprozesatzailean definitu eta diskretizatutako eredua sortu eta ebatziko du. Azkenik, postprozesatzaileak, EF-en programak egindako analisisien emaitzak ikustea ahalbidetzen du, analista batek sistemaren erantzuna ezagutu eta interpretatu ahal izateko. Sistema ongi dagoela egiaztatu ondoren, analistak erabaki beharko du diseinua baliozkoa den ala ez, sistemaren erantzunean eta erabilitako hutsegite teorietan oinarrituz.

3 PROBLEMAREN ANALISIA

Gradu amaierako lan honetan enbutizio prozesu bat landuko da, konkretuki, auto baten ate bat lortzeko egiten den lehenengo enbutizioa. Honen bidez atearen bukaerako diseinura hurbiltzea izango da helburua, ondoren beste eragiketa batzuk aplikatuz azken diseinua lortzeko. Beraz, lehenengo pausoa, enbutizio prozesua nolakoa den azaltzea izango da.

3.1 ENBUTIZIO PROZESUA



4.irudia. Enbutizio prozesua.

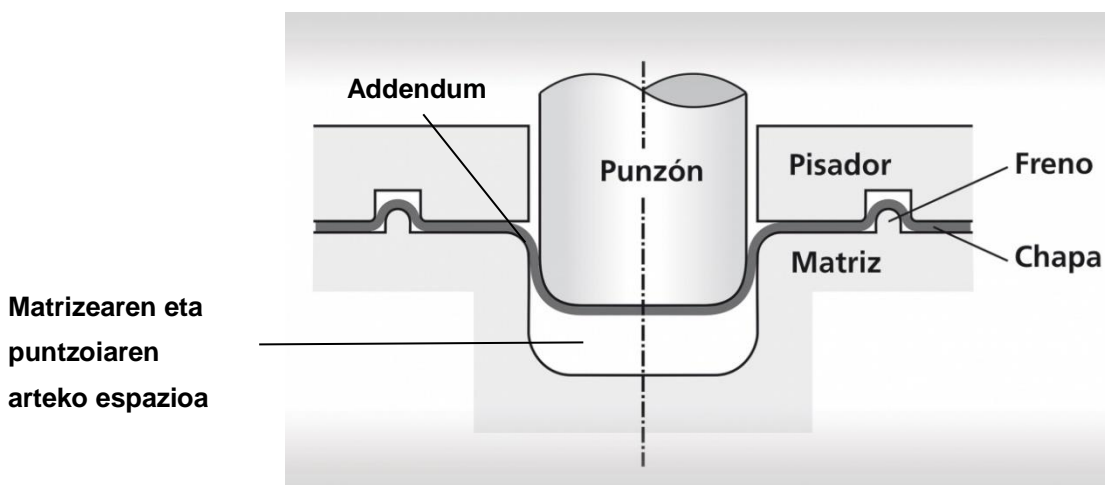
Enbutizio prozesua industriaren alor ugarian erabiltzen da eta bere helburua, txapa metalikoetatik abiatuz, ontzi formako piezak lortzea izango da. Lan honetan, efektu bikoitzeko enbutizio prozesua landuko da, nahiz eta efektu bakarreko eta efektu hirukoitzeko enbutizioak ere eman daitezkeen. Goiko irudian ikusi daitezkeen bezala, puntzoiak txapa matrizearen aurka bultzatzen du, barrunbe bat sortuz. Eragiketa konplexua izango da; alde batetik, txapan deformazio handiak sortzen direlako, tentsio egoera aldakor eta konplexuekin; eta bestetik, indar handiak egin behar direlako txapa deformatzeko, eta honek, trokeletan higadura eta deformazioak sortzen dituelako. Eragiketa modu kontrolatuan egin ezean, piezan akatsak sortzen dira. Akats horiek, zimurdurak zein arrakalak (hausturak) izan daitezke. Horrek esan nahi du, pieza bere neurrian tenkatuta egon beharko dela, gehiegi tenkatu ezkerro arrakalak agertuko direlako, eta gutxiegi tenkatu ezkerro berriz, zimurdurak.

Enbutizioa hotzean nahiz beroan eman daiteke, eta prozesu hauek ezberdintasuna batzuk izango dituzte. Beroan konformatutako ($T=800-850\text{ }^{\circ}\text{C}$) piezetan deformazio handiagoak eman daitezke, eta indar txikiagoak behar direnez, azkarrago emango dira. Metala edo aleazioa hotzean konformatu ezin daitezkeenean eta txaparen ezaugarrien ondorioz, hotzean aplikatu daitezkeena baino indar handiago bat behar denean erabiltzen dira. Hala ere,

zehaztasun baxuagoa izango dute hotzeko konformazioaren bidez lortutako piezek baino. Hotzeko konformazioan (giro tenperatura), zehaztasunaz gain, azal akabera eta perdoi hobeak dituzten piezak lortuko dira. Posible denean hotzean konformatzen dira piezak ez delako aldaketarik ematen materialen propietateetan.

3.2 ENBUTIZIO PROZESUAREN ERREMINTA ETA PARAMETROAK

Enbutizio prozesuan, hurrengo irudian ikusi daitekeen bezala, hiru erremintak parte hartzen dute. Atal honetan, erreminta horien ezaugarri garrantzitsuenak azalduko dira, baita garrantzitsuak diren beste parametro batzuen ezaugarriak ere.



5.irudia. Enbutizio prozesuko erreminta eta parametroak.

- Puntzoia. Gogortasun handiko altzairuzko pieza bat da, zilindrikoa zein prismatikoa izan daitekeena eta prozesu honetan, txaparen gainean indarra egingo duena, txapan deformazio plastikoa eraginez, matrizearen forma hartzen duen arte. Puntzoiak izango duen jaiste-abiadura prentsa hidraulikoaren bidez kontrolatuko da.
- Matrizea. Txapa matrizearen zati lauaren gainean mantenduko da. Bere helburua txapak forma konkretu bat hartzea izango da puntzoiak zapaltzen duenean. Matrizearen forma eta irekiera angeluaren arabera, txapak forma ezberdin bat hartuko du.
- Pisadorea. Matrizearen gainean dagoen txapari presioa egingo dio, hau bere lekuan mantenduz. Bere helburua gilbordura fenomenoak ekiditu eta txapan zimurduririk ez agertzea izango da.
- Frenoak. Materialaren fluxua frenatzeko erabiltzen dira, modu horretan, zimurdurak agertzen direnean, pieza gehiago luzatu eta hauek ez agertzea ahalbidetuz. Matrizean jartzen dira, eta freno forma ezberdinak dauden arren, hauen eragina

zenbait parametroren menpe egongo da: kurbatura erradioak, frikzio koefizientea, erresistentzia indarra, etab.

- Puntzoi eta matrizearen arteko espazioa. Lortutako piezaren gainazalaren kalitatea honen arabera izango da. Geroz eta txikiagoa izan puntzoi eta matrizearen arteko tartea, piezaren kalitatea eta zehaztasuna handiagoak izango dira, aldiz, tarte hori handitzen joan ahala, zimurdurak agertu daitezke gilborduraren ondorioz. Tartea handitzean, erremintak jasango duen nekea eta higadura txikiagoak izango dira.
- Addenduma. Matrizeak izango duen kurbatura izango da addenduma, zati lau eta kurbatua bereiztuko dituen muturra hain zuzen ere. Kurbatura erradio ezberdinak izan ditzake eta honek eragina izango du enbutizioan. Erradio hori txikiagia bada, materialaren fluxua ez da egokia izango eta haustura gertatu daiteke. Handiegia bada, berriz, pisadorearen eragina deuseztatuko da eta posible izango da zimurdurak agertzea.

4 HELBURUAK ETA IRISPENA

4.1 HELBURU NAGUSIA ETA IRISPENA

Gradu amaierako lan honen helburu nagusia ibilgailu bateko atea lortzeko aplikatzen den enbutizio prozesuaren elementu finitu bidezko simulazioa egitea izango da. Irispenari dagokionez, esan behar da, enbutizio prozesu honen bidez atearen bukaerako diseinuaren %80a egingo dela, beraz, atearen diseinu finala lortzeko beste prozesu batzuk burutu beharko dira honen ostean. Simulazio hori ordenagailu bidez egingo da eta horretarako, PamStamp softwarea erabiliko da.

4.2 BIGARREN MAILAKO HELBURUAK

Helburu nagusia lortu ahal izateko, bigarren mailako helburu batzuk lortu beharko dira. Orden kronologikoa jarraituz:

- Atearen geometria egin edo lortzea CAD formatu batean.
- Enbutizioa burutzeko erremintak (puntuoia, matrizea eta pisadorea) lortzea. Enbutizio prozesuan, txaparen konformaketa, erreminta horien bidez egingo da eta ezinbestekoa izango da hauen geometria optimoa lortzea, emaitzak egokiak izan daitezen.
- Simulaziorako parametro egokiak aukeratzea, hala nola, pisadorearen indarra eta forma, addendumaren erradioa eta txaparen lodiera, nahiz eta azken hau, konstantea izango den prozesu osoan zehar.
- Simulazioa burutu ostean, emaitzen analisia, tentsioak eta txaparen zimurdura edo haustura posibleak aztertuz.

Bigarren mailako helburu hauez gain, esan behar da PamStamp softwarea erabiltzen ikastea eta eskaintzen dituen baliabideak aprobetxatzen jakitzea, egin beharreko proiektuarekin inplizituki doan helburu bat izango dela.

5 LANAK DAKARTZAN ONURAK

Lan honetan helburuetan aipatzen den bezala, ate bat lortzeko elementu finitu bidezko simulazioa lantzen da eta atal honetan, simulazio horrek dakartzan onurak aipatuko dira. Onura hauek bitan banatuko dira: alde batetik, teknikoak eta bestetik, ekonomikoak.

5.1 ONURA TEKNIKOAK

Onura teknikoei dagokionez, aipatu behar da ordenagailu bidezko simulazioarekin atearen portaera azkarrago ulertzen dela. Simulazio ugari egin daitezke parametro ezberdinak aldatzen joanez, eta horrela parametro kritiko horietako bakoitzak duen eragina ikusi daiteke bere aldetik. Simulazioen iraupena nahiko laburra izango da, analisi bera esperimentalki egiteak eramango lukeen denborarekin alderatuz, hortaz, denbora aurrezten da. Laburbiltzearen, simulazioen bidez denpora eta kalitatearen aldetik eraginkorragoa izatea lortuko da eta hau nahitaezkoa izango da produktibitate handia lortu nahi bada.

5.2 ONURA EKONOMIKOAK

Aurretik aipatutakoaz gain, onura ekonomikoak ere ekarriko ditu proiektu honek. Ordenagailu bidez egindako simulazioetan parametroen eragina aztertuko da eta hau askoz merkeagoa izango da esperimentalki egitea baino. Simulazio hauek egiteko softwarearen lizentziaren prezioa txikia izango da, simulazio bakoitzerako material ezberdinak erostearekin alderatuz. Honez gain, enbutizio prozesu hauek tirada handian egiten dira ahalik eta produktibitate handiena bilatuz. Erreminta berdinekin pieza ugari egiten dira (1000 unitate) eta beraz, ekonomikoki bideragarria izango da proiektua hurrengo taulan aztertu daitekeen bezala.

1.taula. Atearen onura ekonomikoak.

	Unitate kopurua	Prezioa	Prezio totala
Erremintak	1	-400,00 €	-400,00 €
Txapa	1000	-20,00 €	-20.000,00 €
Atearen salmenta	990	500,00 €	495.000,00 €
GUZTIRA			474.600,00 €

Hau izango da lortuko den onura ateen tirada bakoitzeko. Gastu hauez gain, softwarearen lizentziari dagokion gastua egongo da. Honen urteko kostua ez da oso altua izango, gainera, urtean zehar tirada asko egingo dira. Hortaz, irabaziak oso handiak izango dira.

6 AUKEREN ANALISIA

Lan bat aurrera eraman ahal izateko ezinbestekoa da alternatibak izatea, hasieran finkatutako planak burutu ezin diren kasurako. Horregatik, nahitaezkoa da proiektuan zehar burutuko diren prozesu ezberdinentzat alternatibak izatea, eta alternatiba horiek, proiektuarekin hasi aurretik analizatu beharko dira. Hortaz, lanaren arlo ezberdinetarako, hala nola, materialaren, simulazio softwaren edo prentsaren kasuerako, egongo diren aukera posibleak identifikatu eta aztertuko dira atal honetan.

6.1 MATERIALA

Atal honetan, proiektu hau aurrera eramateko erabili daitezkeen material ezberdinek emango dizkiguten aukerak aztertuko ditugu, ondoren, guztien artean aukera onena hautatzeko. Horretarako ponderazio taula bat egingo dugu, erabili daitezkeen material eta materialetan garrantzitsuak izango diren propietateak jarritz. Propietate bakoitzak pisu ezberdin bat izango du, honen garrantziaren arabera. Honi esker, aukera onena zein den erabakiko dugu.

2.taula. Materialen lehentasun taula.

	Kostua (x0,4)	Pisua (x0,3)	Konformagarritasuna (x0,4)	Trakzioarekiko erresistentzia (x0,5)	GUZTIRA
Altzairua	2	4	4	2	4,6
Karbono altzairua	3	4	4	3	5,5
Kevlar + karbono zuntzak	1	5	2	5	5,2
Aluminioa	4	3	3	2	4,7

Teknologia berrien garapenarekin, aeronautikatik deribatutako materialak erabiltzen hasi ziren automobilgintzan, adibidez, kevlar eta karbono zuntzak. Material hauek oso erresistenteak dira eta pisu gutxi dute, baina hauen kostu altua dela eta, soilik gama altuko autoetan edo lehiaketako autoetan erabiltzen dira.

Kasu honetan, lehentasun taulari erreparatuz, ikus daiteke karbono altzairua erabiliko dela. Altzairu honen karbono kantitatea %0,26 ingurukoa izango da eta altzairu gozo bezala ezagutzen da.

6.2 SIMULAZIO SOFTWAREAK

Gure kasuan, erabiliko den softwarea PamStamp izango da. Hau, xaflen konformaketa prozesuak simulatzeko eta estanziaziorako erreminten diseinurako erabiltzen da eta honi esker, ingeniariak birtualki egin dezakete konformaketa metalikoaren prozesu guztien diseinua, optimizazioa eta egiaztatpena. Software honek, bai hotzean bai beroan egindako xafla, hodi, etab.en konformazioetarako balioko du eta sektore industrialeko enpresek erabiltzen dute, horien artean, automotzio enpresek.

Eskaintza fasean, erabiltzaileek formatua definitu dezakete materialaren kostuaren estimazioa egin eta trokelaren diseinuarekin hasi ahal izateko. Eginkortasun fasean, diseinatzaileek trokelaren gainazalak sortzen dituzte eta estanzazio prozesu optimoa definitzen dute, baldintza beharrezkoak betez, haustura eta zimurdurarik gabe. Azkenik, onspen faseari esker, ingeniariak enbutizioa aplikatu zaion piezaren berreskurapen elastikoa eta piezak izango dituen akatsak aurreikusi ditzakete.

Software honentzat alternatibak egongo dira, adibidez, Autoform, Hyperform eta Sheet metal forming softwareak.



6.irudia. Simulazio softwareen logoak.

Autoform, txapa metalikoen konformaziorako software bat izango da eta ingeniariari, piezak diseinatzeko, erabiliko diren erremintak aztertzeko, kostuen estimazioa egiteko eta produktu espezifikozat plan eta metodoak diseinatzeko aukera emango die. Software honen soluzioak, “know-how” industrialean, praktikan eta txapa metalikoen konformaketako esperientzian oinarritzen dira. Software hau ezaguna izango da emaitzen zehaztasuna, kalkuluen abiadura eta interfaze intuitibo bat izatearen ondorioz.

Hyperformek Altair enpresak fabrikazio eta simulazioan duen esperientzia baliatzen du, Altair-en hainbat teknologia konbinatuz, geometriaren manipulaziotik modeloaren konfiguraziora arte. Elementu finituen problemak azkar eta zehaztasunez zuzenduko ditu eta aurreko softwareak bezala, simulazioen bidez kostu totalak murriztea izango du helburu.

Software egokia aukeratzeko kontuan izan beharreko faktore garrantzitsuenak hurrengo lehentasun taulan aztertuko dira:

3.taula. Simulazio softwarearen lehentasun taula.

	Abiadura konputazionala (x0,3)	Zehaztasuna (x0,5)	Emaitzen analisirako erraztasuna (x0,4)	GUZTIRA
PamStamp	4	5	4	5,3
Autoform	4	4	4	4,4
Hyperform	5	4	3	4,7

Taula honetatik ondorioztatzen software egokiena PamStamp dela eta horregatik, proiektu honetan erabiliko da.

6.3 PRENTSA MOTA

6.3.1 Energia emateko moduaren araberako sailkapena

Prentsaren bidez materialetan deformazio homogeneoa lortzen da, eta perdoi egokiak lortzen dira kasu gehienetan. Prentsa baten gaitasuna, estanpen beherako ibiltartearen araberakoa izaten da eta goiko estampa mugitzeko erabiltzen den mekanismoaren arabera, prentsa mekaniko eta hidraulikoak bereizten dira. Bi prentsa horiek aztertuko dira garrantzitsuenak direlako, baina prentsa gehiago ere badaude: prentsa pneumatikoa, prentsa birakaria, etab.

Prentsa hidraulikoaren kasuan, zilindro hidrauliko serbokontrolatu baten bidez mugitzen dira estanpak, eta indarra eta abiadura, zilindro hidraulikoaren presio eta emariaren menpe egongo dira.

Prentsa mekanikoa, berriz, sistema mekaniko baten bidez mugitzen da. Biela-biradera mekanismoa eta inertzia bolantea egongo dira. Biradera mugitu nahi baldin bada, ondoren biela mugiarazteko, biradera inertzia bolantearekin kontaktuan jarri beharko da, inertzia bolante motor elektriko batekin konektatuta egongo baita. Kasu honetan, indarra eta abiadura prentsaren zinematikaren menpe egongo dira.

4.taula. Prentsa motaren lehentasun taula.

	Indarra (x0,5)	Zehaztasuna (x0,4)	Produktibitatea (x0,3)	Kostua (x0,4)	GUZTIRA
Prentsa mekanikoa	2	3	4	4	5
Prentsa hidraulikoa	4	4	3	3	5,7

Enbutizioa prozesu geldo bat izango denez eta puntzoiaren indar handia behar denez, prentsa hidraulikoa erabiliko da, nahiz eta gainerako txapa konformaketarako prozesuetan prentsa mekanikoa erabili. Hortaz, indarra izango da garrantzi gehien izango duen faktorea. Erabiliko den prentsa hidraulikoa izango da, nahiz eta prentsa mekanikoak produktibitatea handiagoa eduki eta merkeagoak izan.

Aipatutako prentsen berezitasunak hurrengo irudietan erreparatu daitezke



7.irudia. Prentsa hidraulikoa.



8.irudia. Prentsa mekanikoa.

6.3.2 Prentsaren efektu kopurua

Prentsa hidrauliko eta mekanikoaren artean erabakitzeaz gain prentsa efektu bakarrekoa, efektu bikoitzekoa edo efektu hirukoitzekoa izan daiteke. Prentsa mota horien analisia egingo da jarraian.

Efektu sinple edo bakarreko enbutizioa pisadorerik gabe egingo da eta sakontasun txikia duten piezak egiteko erabili daiteke soilik.

Efektu bikoitzeko enbutizioa deritzo txapa laua kubeta itxurako pieza baten bihurtzen duen prozesuari, txaparen lodiera konstante mantenduz gutxi gora behera. Kasu honetan, pisadorea egongo da, txaparen gainean eta puntzoiaren inguruan. Honen funtzioa zimurduren agerpena ekiditea izango da.

Bi prentsa hauek enbutizio altura ezberdinetan erabili daitezkeen arren, efektu sinpleko prentsaren erabilera altuerak mugatuta egongo dira zimurduren agerpenaren ondorioz. Efektu bikoitzeko prentsak berriz, teorikoki edozein altueratan erabili daitezke.

Efektu hirukoitzeko enbutizioak efektu bikoitzeko enbutiziorako elementuez gain, kuxin pneumatiko edo hidrauliko bat izango dute, hirugarren efektua egiteaz arduratuko dena. Enbutizio hauek efektu bikoitzeko antzekoak izango dira baina ezberdintasun bat izango dute. Pisadorea pistoi hidrauliko edo prentsaren bielaren bidez kontrolatzen da efektu hirukoitzeko enbutizioetan. Beraz, pisadorean eta puntzoiaren eragiten duten bielak

ezberdinak izango dira eta horren ondorioz posible izango da bietako bat erregulatzea bestean aldaketarik egin gabe.

Prentsaren efektu kopurua hautatzeko orduan kontuan izango diren faktoreak aurreko ataleko berdina izango dira: indarra, zehaztasuna, produktibitatea eta kostua.

5.taula. Prentsa motaren lehentasun taula (2).

	Indarra (x0,5)	Zehaztasuna (x0,4)	Produktibitatea (x0,3)	Kostua (x0,4)	GUZTIRA
Efektu sinplea	2	2	2	5	4,4
Efektu bikoitza	5	4	4	3	6,5
Efektu hirukoitza	5	5	4	1	6,1

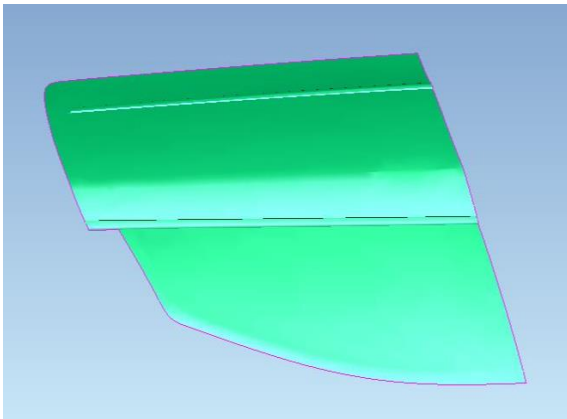
Efektu hirukoitzeko prentsaren bidez emaitza onak lortzen dira, lehen aipatu bezala ezaugarri onak baititu. Baina horrek kostuan igoera nabarmen bat ekarriko du eta efektu bikoitzeko prentsaren antzeko emaitza emango duenez, efektu bikoitzeko prentsa erabiliko da atearen enbutizio prozesua garatzeko.

7 EGIN BEHARREKOEN DESKRIBAPENA ETA FASEAK

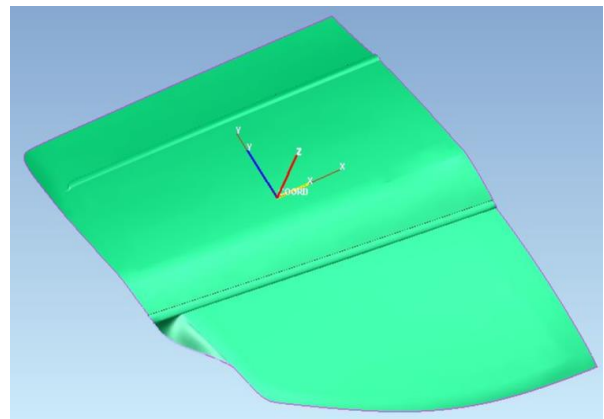
Proiektuan egingo diren zereginak deskribatuko dira fase honetan. Lehendabizi, simulatuko den piezari buruz hitz egingo da, bertan egin behar diren aldaketak azalduz eta ondoren, simulazioan eragina duten aldagai kritikoak identifikatuko dira. Aldagai kritiko horiek erremintekin zein simulazioarekin lotuta egon daitezke eta hauek izango duten eragina emaitzen atalean ikusi daiteke. Atal honetan soilik identifikatu egingo dira, simulazioan eragina zergatik izango duten azalduz.

7.1 SIMULATUKO DEN PIEZA

Aurretik aipatu den bezala, proiektu honetan simulatuko den pieza automobil bateko atea izango da. Atearen CAD fitxategia 7.irudian ikusi daiteke. Bertan ikusi daitekeen bezala, atea bere ezkerreko aldean, sargune bat izango du. Sargune hori atearen bukaerako diseinuarekin bat etorriko da, baina proiektu honetan lehenengo enbutizioa soilik aztertzen denez, mutur hori kendu eta txapari kurbatura uniforme bat eman beharko zaio, 8.irudian ikusi daitekeen moduan.



9(A).irudia. Atearen hasierako diseinua.



9(B).irudia. Atearen bukaerako diseinua.

Proiektuan aurretik azaldu den bezala, lehenengo enbutizioa simulatzen da eta honen bidez, pieza finalaren %80a lortuko da. Honen ostean, azkeneko ebaketak egingo dira, leihoak eginez eta muturrei forma konkrituak emanez, ezkerreko irudian ikusi daitekeen bezala. Horregatik, garrantzitsua da, simulazioak egiteko eskuineko irudia erabiltzea, errealitatera gehiago hurbilduko baigara, mutur horren kurbatura uniformearen bidez, nahiz eta mutur gehigarri hori ez den guztiz lineala izango. Hortaz, izkina horrek errealitatera hurbilduko duen arren prozesua, linealtasun falta horrek, arazoak ere ekarriko ditu simulazioetan piezaren zonalde kritikoetako bat bihurtuz.

7.2 PROZESUAN ERAGINA IZANGO DUTEN ALDAGAI KRITIKOEN IDENTIFIKAZIOA

Enbutizio prozesuan hainbat parametrok izango dute eragina. Batzuk erreminten geometriarekin lotuta egongo dira eta beste batzuk, erremintek egin ditzaketan indarrekin, txaparen ezaugarriekin edo enbutizioko parametro konkretu batzuekin. Atal honetan, parametro horietako bakoitzak simulazioan duen eragina aztertuko da. Parametro hauen identifikazioa, simulazioan jarraitzen den orden kronologiko baten arabera egingo da.

- Pisadorearen geometria. Aurretik azaldu den bezala, pisadoreak, matrizearen gainean dagoen txapari presioa egingo dio bere lekuan mantenduz. Beraz, piezaren geometriaren arabera, garrantzitsua izango da pisadorea lineala edo kurbatua izatea, bere funtzioa ahalik eta modu onenean betetzeko. Kurbatua izatekotan, honen kurbatura definitu beharko da. Horretaz aparte, pisadorearen eta piezaren arteko distantzia ere garrantzitsua izango da, urrunegi jarri ezker, ez delako atearen behar bezalako deformazioa lortuko; aldiz, hurbilegi egon ezker, indar handia egingo dio piezari eta hausteko arriskua areagotuko da.
- Addenduma. Garrantzitsua izango da addendumak izango duen kurbatura erradioa, materialaren fluxua egokia izan dadin. Erradioa txikiegia izan ezker, txaparen deformazio prozesua zakarra izango da, aldiz, addendumak erradio egokia badu, materialaren deformazio prozesua erraztu egingo da. Erradio hori handiegia balitz, pisadorearen eragina deuseztatuko luke, eta zimurdurak agertzeko arriskua egongo litzateke.
- Materiala. Materiala ondo aukeratzea ezinbestekoa izango da lortzen diren emaitzak egokiak izateko. Material bakoitzak propietate ezberdinak izango ditu eta horren ondorioz, emaitza oso ezberdinak lortuko dira egiten den aukeraren arabera. Horretaz aparte, materialaren prezioa ere kontuan izan beharko da, material batzuk propietate mekaniko bikainak izan arren, kostu oso handia dutelako. Eragina duten propietate batzuk: pisua, konformagarritasuna, trakzioarekiko erresistentzia, etab.
- Txaparen lodiera. Txaparen lodiera simulazio prozesuan aldaezina den parametro bezala kontsideratzen den arren, garrantzitsua izango da prozesuaren hasieran piezaren lodiera egokia aukeratzea. Lodiera aukeratzeko orduan, piezaren erresistentzia bermatuz, ahalik eta pisu gutxien duen pieza bilatzea izango da helburua. Autoen karrozerian eta konkretuki ateetan, piezen lodiera 0,5-0,7mm-koa izan ohi da orokorrean.
- Ijezketa norabidea. Pieza baten aleak ijezketa prozesu batean, ijezketa ematen den norabide berean orientatzen dira eta honen ondorioz, txaparen propietateak

ezberdinak izango dira aukeratzen den norabidearen arabera. Hortaz, aukeratzen den kasuaren arabera, piezan agertzen diren tentsioak ezberdinak izango dira.

- Frenoak. Frenoak materialaren fluxuari oztopoa egiteko jarriko dira matrizean, piezak jasango duen tentsioa handituz. Freno mota ezberdinak egongo dira, eta garrantzitsua izango da egokia aukeratzea, hausturarik eta zimurdurarik agertu ez dadin piezan. Kontuan izan beharko diren parametroak, geometriaren arabera egon daitezkeen luzera eta erradio ezberdinak, frikzioa eta erresistentzia indarra izango dira. Horrez gain, freno bakoitzaren tamaina eta kokapena ere oso garrantzitsuak izango dira. Beharrezkoak diren zonaldeetan kokatu beharko dira eta txapak beheranzko deformazioa hasten duten lekutik distantzia konkretu batera jarriko dira. Zenbat eta gehiago urrundu freno txaparen deformazioa hasten den lekutik, tentsio handiagoa eragingo du txapan.
- Pisadoreak egiten duen indarra. Aurretik azaldu den bezala, pisadoreak txaparen gainean indarra egingo du. Parametro honek eragin handia izango du, indarra txikiegia bada, gilbordura fenomeno eman daitekeelako, zimurdurak agertuz eta indarra handiegia bada, berriz, tentsioak handiegia izan daiteke, piezaren haustura eraginez.

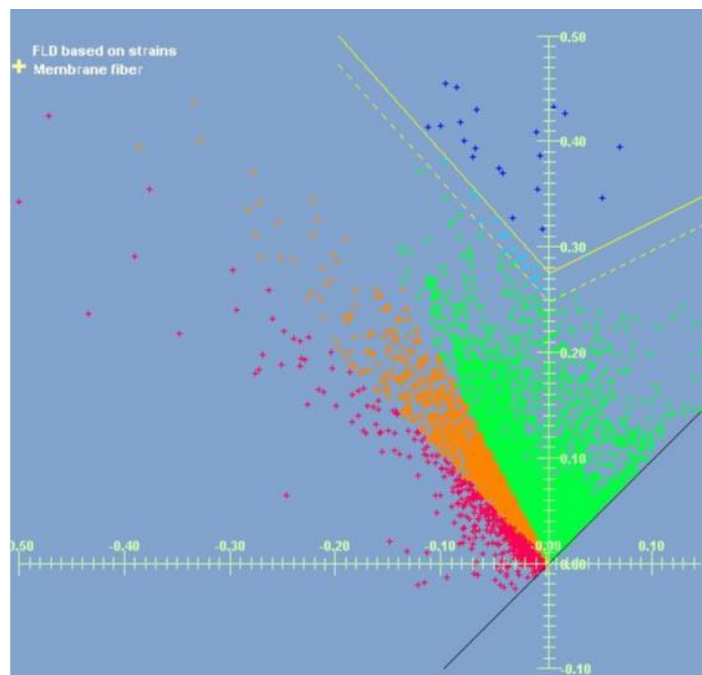
8 EMAITZAK ETA HAUEN ANALISIA

Atal honetan, hasteko, simulazio prozesuen bidez lortutako atearen diseinu finala erakutsi eta analizatuko da. Ondoren, aurreko atalean definitutako parametro bakoitzak emaitzean izango duen eragina aztertuko da. Emaitzen azterketa egiteko FLD diagrama erabiliko da. Hortaz, lehendabizi, FLD diagrama ulertu beharko da.

FLD edo konformazio limitearen diagrama Keeler eta Backhofen-ek (1963) eta Goodwin-ek (1968) proposatu zuten eta txapa metaliko baten konformatzeko gaitasuna karakterizatzeko erreminta erabiliena da. FLD grafikoak txaparen deformazio lau egoera batean deformazio nagusi handiena deformazio nagusi txikienarekiko konparatzen du. Abzisa ardatzean ϵ_2 deformazio txikiak adierazten dira eta positibo zein negatiboak izan daitezke. Ordenatu ardatzean berriz, ϵ_1 deformazio handiak jartzen dira eta beti positiboak izaten dira.

Diagraman FLC kurba edo konformazio limitearen kurba adierazten da eta honek txapa metalikoan hutsegitea gertatzeko deformazio lau nagusi handienaren eta txikienaren balio limiteak adierazten ditu. Beraz, FLC kurbak muga adieraziko du, haustura eragiten duten tentsioen eta gainerakoen artean. Kurba honen azpian egon ohi den lerro ez-jarraituak segurtasun koefizientea adieraziko du.

FLD diagrama baten adibidea erabiliko da.



10.irudia. FLD kurba baten adibidea.

Goiko irudian ikusi daitekeen bezala, FLD diagrama baten, kolore ezberdinetako gurutze edo puntutxo txikiak agertu daitezke. Gurutze horiek nodoak adierazten dituzte, eta kolorearen arabera, nodo horrek izango duen egoera ezberdina izango da. Kolore bakoitzaren esanahia hurrengo taulan adieraziko da:

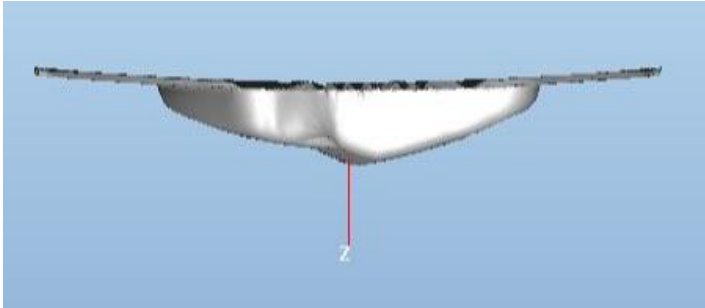
6.taula. FLD kurbako koloreen interpretazioa.

	Haustura
	Haustura gertatzenetik hurbil
	Tentsio egoera egokia
	Ez du tentsio nahikorik jasaten
	Zimurdura txikiak
	Zimurdura larriak

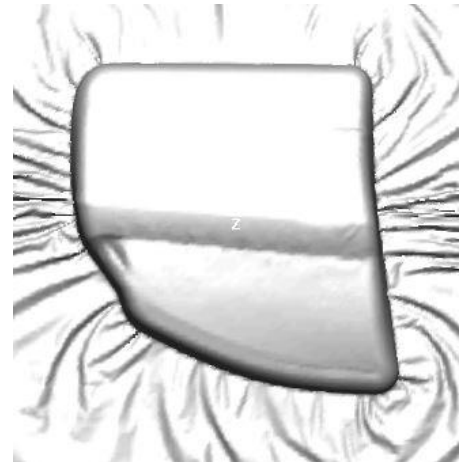
Simulazioen helburua piezan inolako zimurdura eta hausturarik ez agertzea izango da eta beraz, FLD diagraman puntu berde ilunak lortu beharko dira, tentsio egoera optimoa adierazten dutenak. Kontuan izan beharko da soilik piezan agertzen diren nodoak direla garrantzitsuak. Prozesuaren bukaeran pisadorea egoten den txaparen zonaldean zimurdura handiak agertzea ohikoa izango da, baina ez du garrantzirik izango soilik atea izango baitugu kontuan. Izan ere, enbutizio prozesuaren ostean atea ebaki egiten da eta soberan dauden txapa zati guztiak kendu.

8.1 ATEAREN BUKAERAKO DISEINUA

Aurreko ataletan deskribatu diren erremintak erabiliz eta aldagai kritikoetan aldaketak eginez hainbat simulazio egin ondoren, atearen bukaerako diseinua lortu da. Jarraian, ate horren itxura ikusi daiteke:

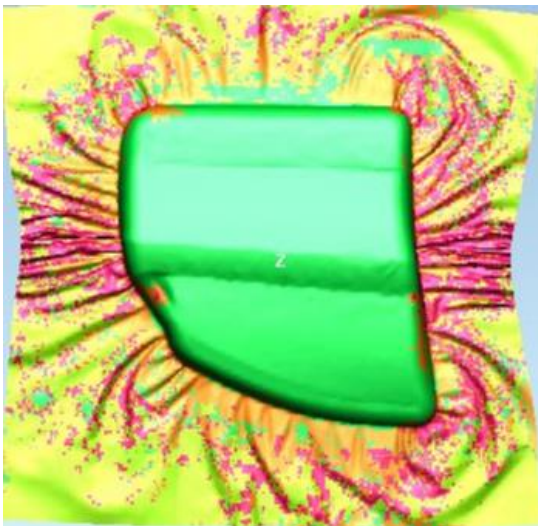


11(A).irudia. Atearen bukaerako diseinuaren bista horizontala.

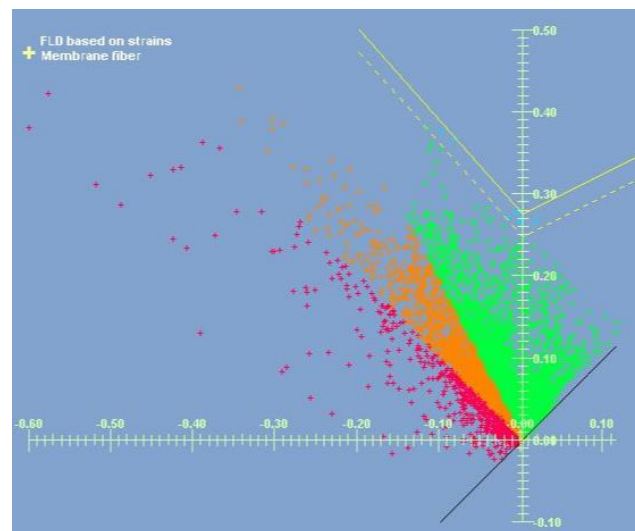


11(B).irudia. Atearen bukaerako diseinuaren bista bertikala.

Bukaerako diseinu honi dagokion FLD kurba aztertuko da jarraian.



12(A).irudia. Atearen tentsio egoera (FLD).



12(B).irudia. Atearen FLD kurba.

Goiko irudian ikusi daitekeen bezala, atean puntu berde illunak lortzen dira, eta beraz, tentsio egoera egokia izango da. Aurretik azaldu den bezala, pisadorean zimurdura handiak emango diren arren, hauek ez dira garrantzitsuak izango. Hala ere, badaude 2 zonalde kritiko, non zimurdura txiki batzuk agertuko diren. Piezaren bukaerako diseinuaren bista horizontala ematen duen irudian, ikusi daiteke, piezak bere erdialdean malda aldaketa bat jasango duela, eta horren ondorioz, zailagoa izango da zonalde horietan tentsio egoera guztiz perfektua izatea. Gainera, malda aldaketa hori ematen den gunearen ezkerreko muturrean, hasieran aipatu den bezala, txapa zati bat gehitu zaio ateari eta honek ere zaildu egingo du prozesua. Hortaz, guztiz logikoa izango da zimurdura txiki batzuk agertzea, justu malda aldaketa ematen den zonaldeko bi muturretan; bai eskuinean eta bai ezkerrean. Ondorengo irudietan hurbiletik ikusi daitezke zona kritikoak:



13(A).irudia. Atearen zona kritikoa.



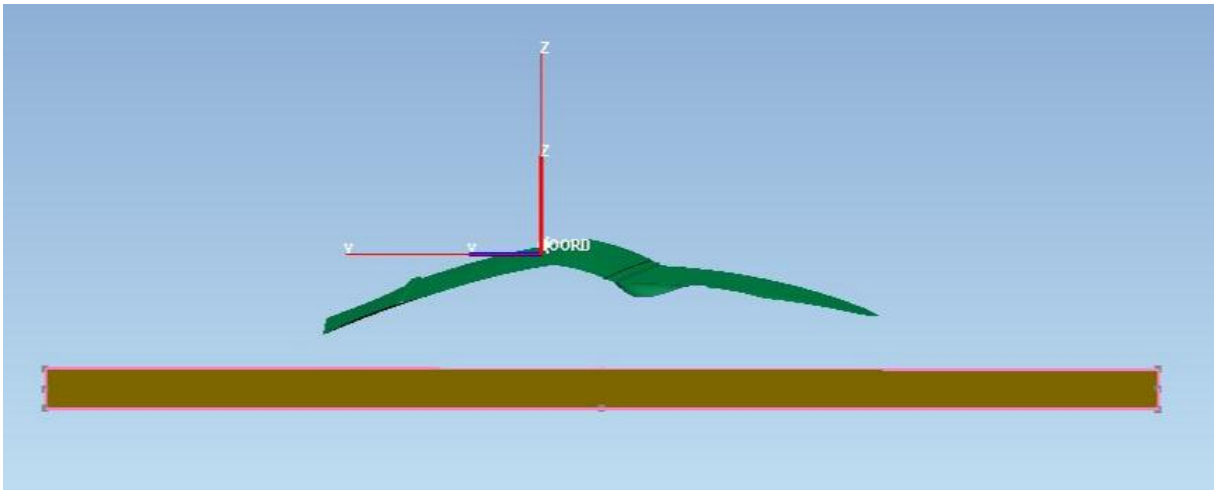
13(B).irudia. Atearen zona kritikoa.

Ikusi daitekeen bezala, bi zonalde horietan egongo da zimurdura gehien, eta gainera, eskuineko irudian, pareta bertikalean puntu urdin argi txiki bat ikusi daiteke, ia haustura egon dela adierazten duena. Beraz, garbi egongo da, zonalde horiek izango direla arazo gehien emango dituztenak. Baina zona horiek portaera ezberdina izango dute. Ezkerreko aldean, zimurdura ugari agertzea izango da arazoa eta eskuinekoan berriz, haustura ematea.

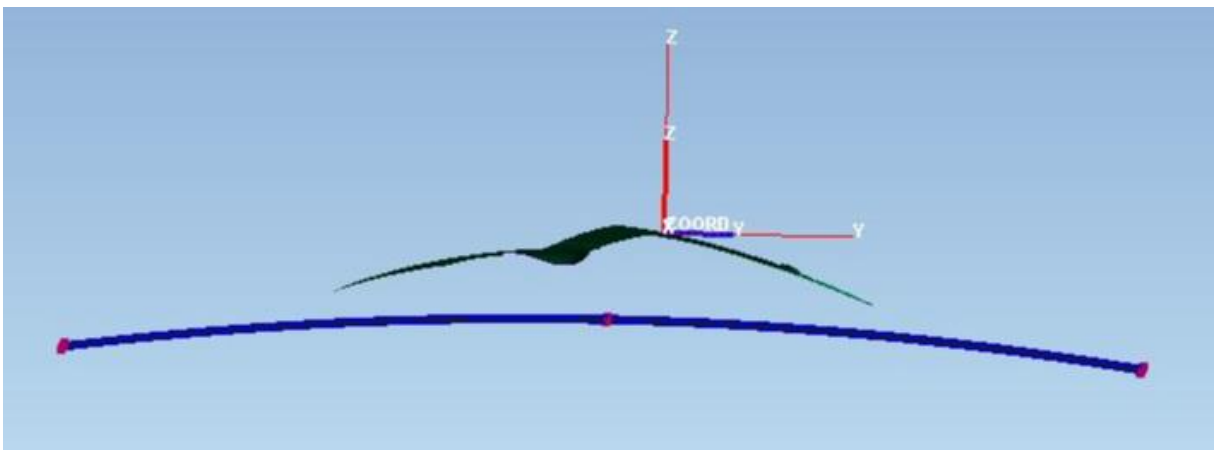
Baina pareta bertikalean zimurdurak egoteak ez du garrantzirik izango, helburua ateari tentsio egoera ona izatea baita, eta goiko irudietan ikusi daitekeen bezala atea bere jatorrizko formarekin ebakiko den unean, ez da zimurdura ez hausturarik egongo pieza honetan.

8.2 PISADOREAREN GEOMETRIAREN ERAGINA

Pisadorearen geometriak, honek egiten duen indarrak eta honen eta piezaren arteko distantziak garrantzi handia izango dute, baina kasu honetan geometriari zentratuko gara soilik. Bere geometria kurbatua edo lineala izan daiteke, eta kasu bietan ematen diren ezberdintasunak azalduko dira jarraian.



14(A).irudia. Pisadore zuzena.

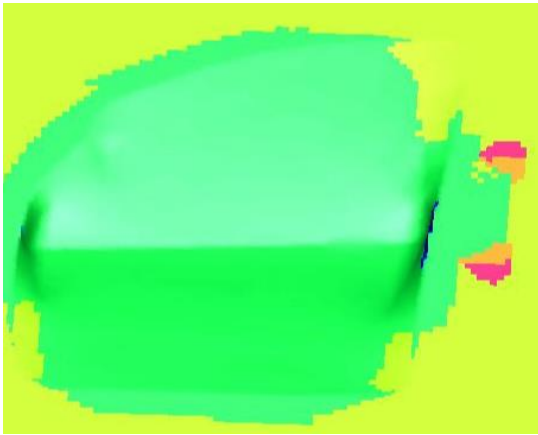


14(B).irudia. Pisadore kurbatua.

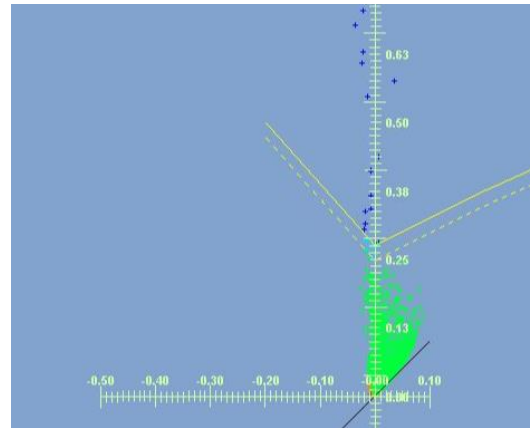
Goiko irudietatik ondorioztatzen da pisadore kurbatuarekin lortuko diren emaitzak hobeak izango direla, gehiago hurbiltzen baita piezak yz planoan izango duen forma kurbatura. Pisadoreak piezaren antzeko geometria izango duenez, modu hobean egokituko da piezara eta honen ondorioz, piezan agertuko diren tentsioak uniformeak izango dira. xz planoan, piezak ez du kurbaturarik izango eta horren ondorioz, pisadoreak forma lineala izango du.

Goiko atalean adierazi den atearen bukaerako diseinua lortzeko, beraz, yz planoan kurbatua eta xz planoan zuzena den pisadorea erabiliko da.

Hurrengo irudian ikusi daiteke pisadore zuzena erabiliz lortzen den atearen bukaerako diseinua. Nahiz eta txapa deformatu, ez da atearen forma egokia lortzen, txapa ez delako behar bezain beste deformatzen. Gainera, ematen den deformazioa txikia izan arren, hausturak agertuko dira zona kritikoetan. Honek garbi erakusten du, pisadore zuzena ezin daitekeela erabili.



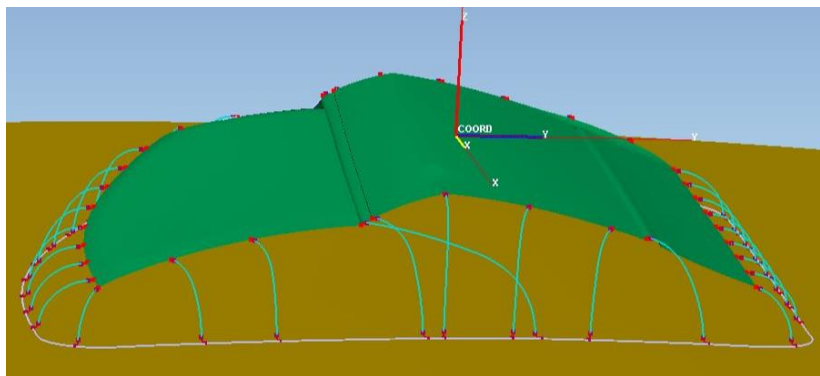
15(A).irudia. Atearen tentsio egoera (2).



15(B).irudia. Atearen FLD kurba (2).

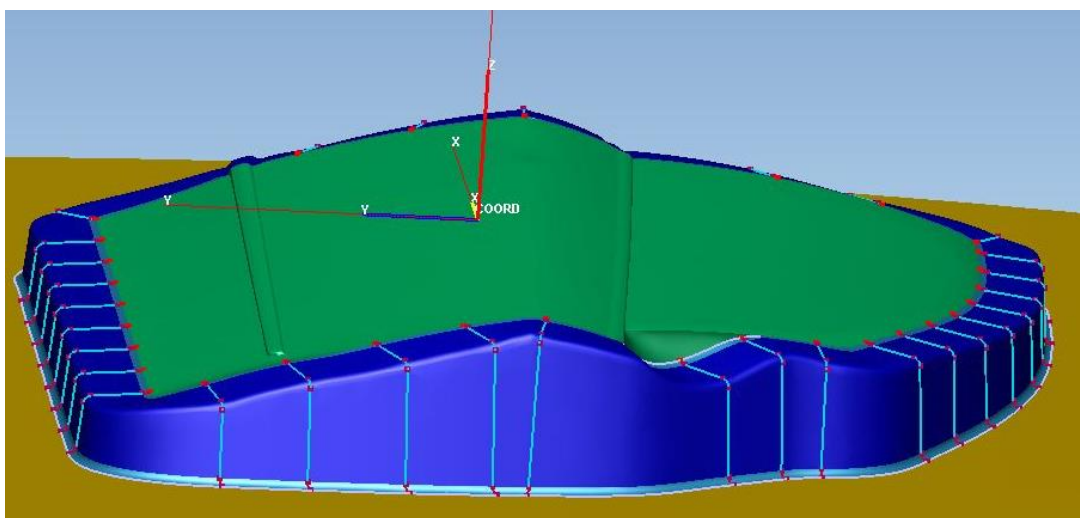
8.3 ADDENDUMAREN ERAGINA

Aldagai kritikoan identifikazioari dagokion atalean aipatu den bezala, addendumaren geometriak eragina izango du simulazioaren bidez lortuko den atean. Addendum forma ezberdinak dauden arren, forma ohikoenak eta piezara hobekien egokitzen direnak aztertuko dira atal honetan. Baina horrekin hasi aurretik, honekin lotutako kontzeptu bat azaltzea ezinbestekoa izango da, emaitzak esperotakoak izan daitezen. Hurrengo irudian ikusi daitekeen bezala, addendumaren lerro batzuk gurutzatuta egongo dira. Horrek addendumaren gainazala guztiz uniforme ez izatea eragingo du, malda aldaketak agertuko direlako eta honen ondorioz, materialaren fluxua kaskarragoa izango da, lortzen den emaitza okerragoa bilakatuz. Beraz, gurutzatutako lerroak ezabatu egin beharko dira.

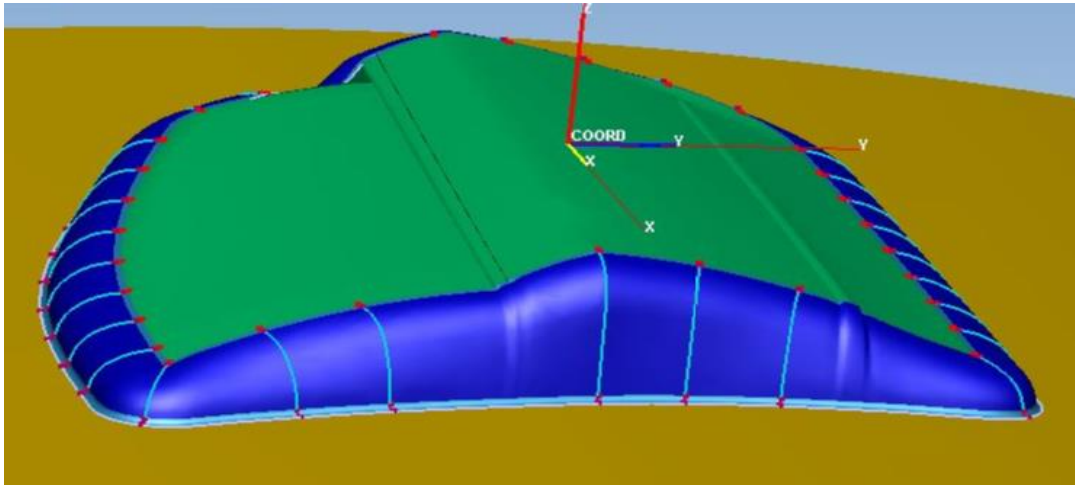


16.irudia. Addenduma lerro gurutzatuekin.

Bi addendum aztertuko dira; alde batetik, forma estandarrekoa; eta bestetik, forma kurbatua duena.

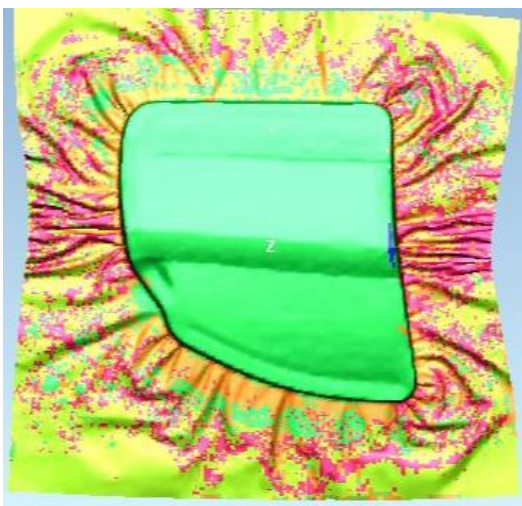


17(A).irudia. Forma estandarreko addenduma.

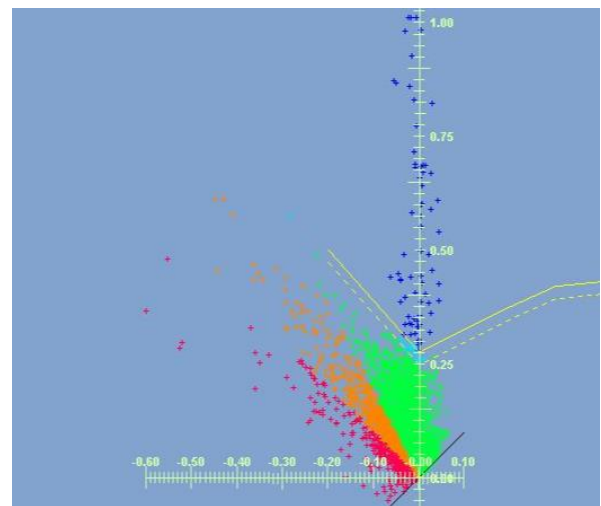


17(B).irudia. Forma kurbatua duen addenduma.

Goiko irudietan ikusi daitekeen moduan, addendum bien arteko diferentzia nabaria izango da. Goiko addendumaren kurbatura oso txikia da, forma kurbatuko addendumarekin alderatuz. Bigarren kasuan, addendumak kurbatura handiagoa izango duenez, txaparen deformazioa modu uniforme batean egitea errazagoa izango da. Lehenengo kasuan berriz, kurbatura oso txikia denez, deformazio prozesua askoz bortitzagoa izango da, eta beraz, haustura gertatzeko probabilitatea handiagoa izango da. Arrazoi hauek direla medio, forma kurbatuko addenduma erabili da atearen diseinu finala lortzeko. Diferentziak behar bezala ikusteko, forma estandarreko addenduma erabiliz lortzen den emaitza adieraziko da hurrengo irudietan.



18(A).irudia. Atearen tentsio egoera (3).



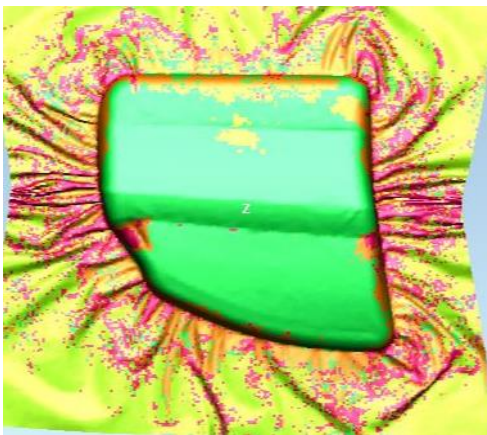
18(B).irudia. Atearen FLD kurba (3).

Forma estandarreko addendumak kurbatura erradio txikiagoa duenez, deformazio bortitzagoa jasango du txapak eta horren ondorioz, goiko irudietan ikusi daitezkeen haustura puntuak izango ditu. Haustura puntu asko izango dituenek, ondorioztatzen da addendum kurbatua egokiagoa izango dela forma estandarrekoa baino.

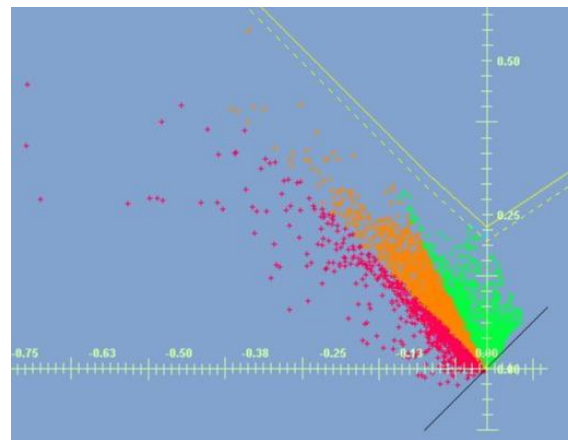
8.4 MATERIALAREN ERAGINA

Materialaren aukeren analisia aztertzeko egindako lehentasun taulan antzematen den bezala, atearen diseinurako karbono altzairua erabiltzen da, bere propietateak direlako egokienak atea diseinatzeko. Hala ere, atal honen helburua, materialak duen eragina aztertzea denez, aluminioa eta erresistentzia altuko altzairua erabiliz lortuko lirakeen emaitzak ikusiko dira eta dituzten ezberdintasunak aipatu.

Erresistentzia altuko altzairua erabiliz lortzen diren emaitzak hurrengo irudietan ikusi daitezke.



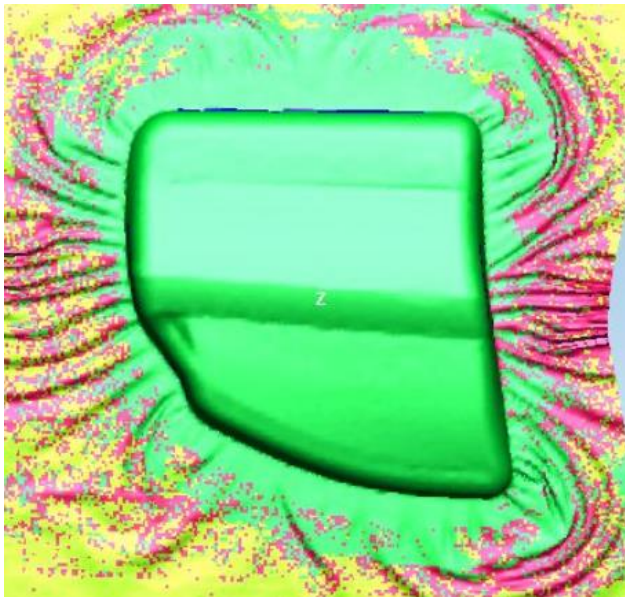
19(A).irudia. Atearen tentsio egoera (4).



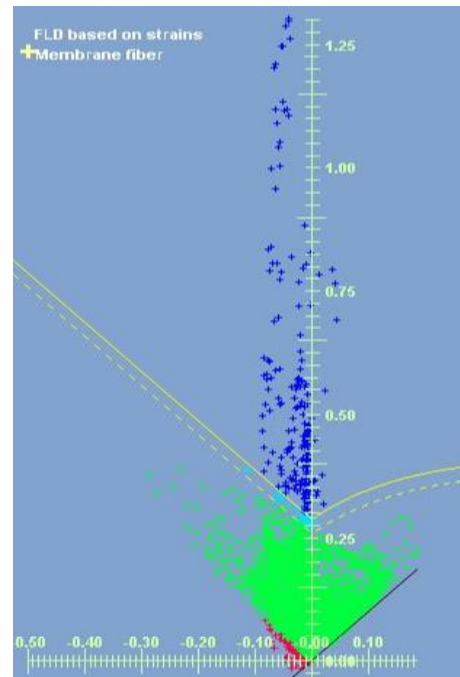
19(B).irudia. Atearen FLD kurba (4).

Goiko FLD kurban ikusi daitekeen moduan, material honen erresistentzia handiagoa izango denez, bere tentsio egoera haustura adierazten duen lerrotik urrunago egongo da. Beraz, atearen puntu gehienek tentsio handiago bat jasatea posible izango da. Zimurdura ugari izango ditu atearak, batez ere, beheko muturretan. Horrez gain, piezaren erdialdean, zonalde berde argi bat ikusi daiteke, non ez zaion tentsio nahikorik aplikatzen txapari eta hau ez den deformatzen. Guzti honek erakusten digu ate honek arazo ugari izango dituela, beraz, material hau erabili ezker askoz tentsio handiagoak aplikatu beharko lirakeke tentsio egoera on batera hurbiltzeko. Material hau erabiliz, kasurik onenean ere, karbono altzairuarekin baino emaitz kaskarragoa lortuko litzateke.

Jarraian aluminioa erabiliko balitz lortuko liratekeen emaitzak ikusi daitezke.



20(A).irudia. Atearen tentsio egoera (5).



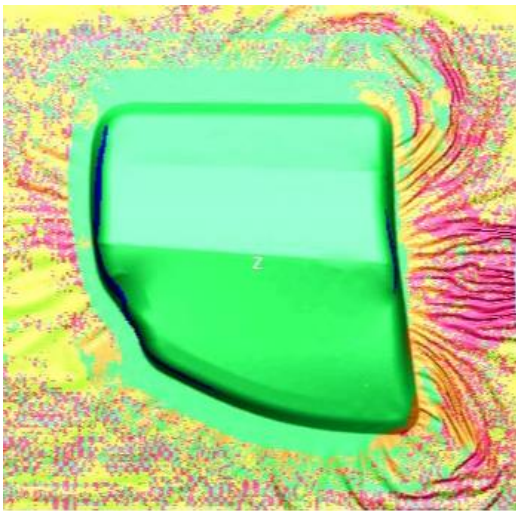
20(B).irudia. Atearen FLD kurba (5).

Irudi hauek argi eta garbi erakusten dute, aluminioa ezin daitekeela erabili ate honen diseinurako. Erresistentzia altuko altzairuaren kasuan gertatutakoaren aurkakoa gertatzen da kasu honetan. FLD kurban ikusten den moduan, haustura puntu asko izango ditu, eta horretaz aparte, gauza arraro bat antzeman daiteke. Ezkerreko irudian ikusten da, pisadorearen zati batzuetan ere tentsio egoera ona lortzen dela, ia zimurrik gabe. Beraz, ondorioztatu daiteke aluminioa erabili ezkerreko tentsio hau handiegia izango litzatekeela eta tentsio askoz txikiago bat erabili beharko litzatekeela arrazoizko ate bat lortzeko. Haustura horiek piezaren ezkerreko eta eskuineko muturretan gertatzen dira, lehen esan bezala, zona kritikoak baitira.

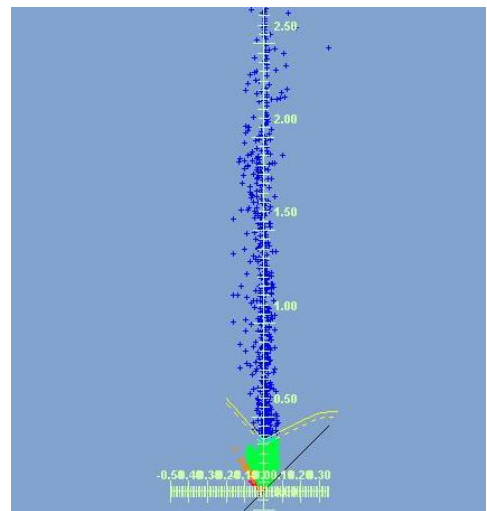
8.5 TXAPAREN LODIERA

Gaur egun, autoetan pisua garrantzi handiko faktore bat denez, ahalik eta pisu gutxieneko piezak egiten dira. Horren ondorioz, autoen karrozeria osatzen duten txapak oso finak izaten dira. Atearen kasuan 0,5-0,7mm-ko lodierako txapak erabiltzen dira. Proiektu honetan, atearen simulaziorako erabili den txaparen lodiera 0,6mm-koa izan da atearen tentsio egoera hobe bat lortzea ahalbidetu duelako. Lanean aurretik aipatu bezala, parametro aldaezin bat kontsideratzen den arren, lodiera hori aldatzeak izango duen eragina aztertuko da.

Txaparen lodiera 0,5mm-koa den kasua aztertuko da, gainerako baldintza guztiak konstante mantenduz. Lortzen diren emaitzak hurrengoak izango dira:

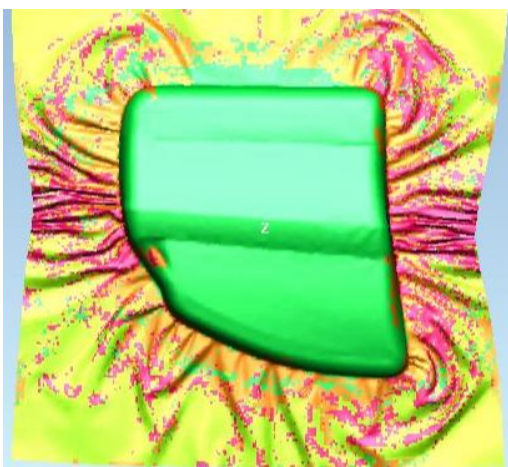


21(A).irudia. Atearen tentsio egoera (6).

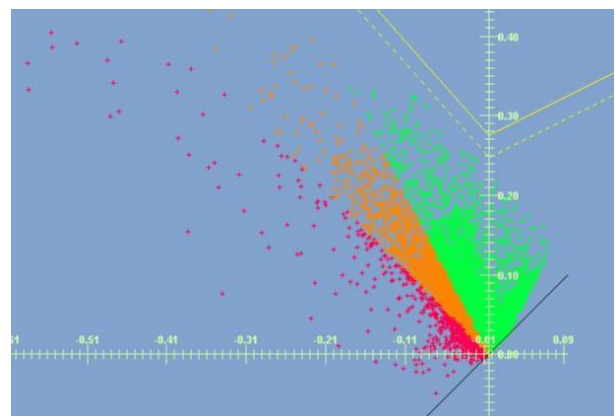


21(B).irudia. Atearen FLD kurba (6).

Orain, lodiera handiagoko txapa bat erabiliz lortuko liratekeen emaitzak aztertuko dira. Hau azaltzeko 0,7mm-ko txapa bat erabiliko da.



22(A).irudia. Atearen tentsio egoera (7).



22(B).irudia. Atearen FLD kurba (7).

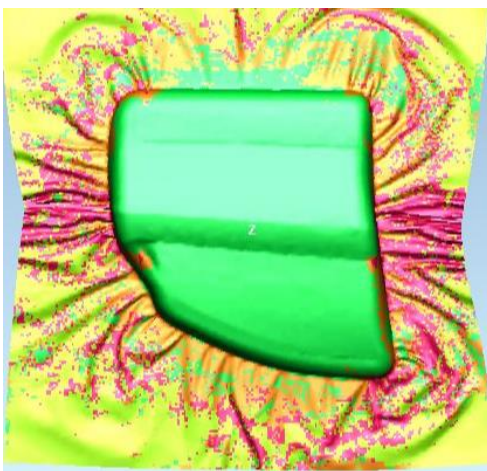
Irudi hauetatik ondorioztatu daiteke txaparen lodiera geroz eta finagoa izan, jasaten dituen tentsioak handiagoak izango direla. Horren ondorioz, 0,5mm-ko txapa erabili ezkerro haustura puntu pila bat egongo dira zona kritikoetan, goitiko bistan eta FLD kurban ikusten den moduan. Aldiz, txaparen lodiera handiagoa bada, tentsioaren balio txikiagoek eragingo diote txapari. Horregatik emaitzetan, atearen bukaerako diseinuan baino zimurdura gehiago ikusiko dira eta FLD kurban haustura adierazten duen lerrotik urrunago egongo dira nodoak.

Horrez gain, nabarmentzekoa da txaparen lodiera aldaketa txiki batek tentsio egoeran izango duen eragin handia. Adibide hauetan ikusi den bezala, 0,1mm-ko aldaketa batek emaitzetan aldaketa oso handiak ekarriko ditu. Hortaz, txaparen lodiera optimoa bilatzeko orduan, aldaketa oso txikiak egin beharko dira.

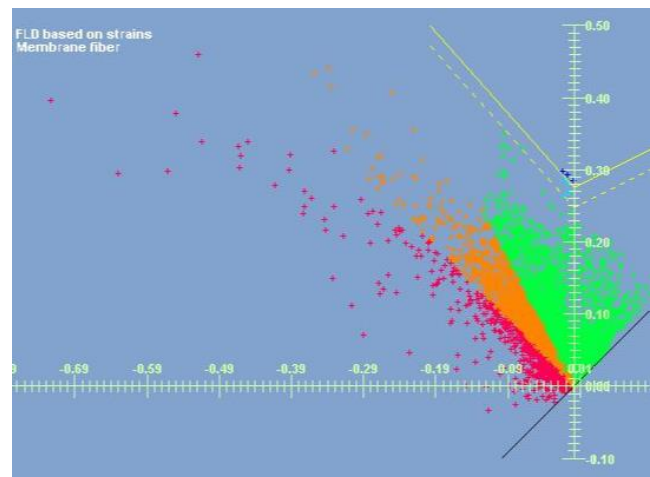
8.6 IJEZKETA NORABIDEAREN ERAGINA

Txapa metalikoa ijezketa prozesuaren bidez lortzen da eta prozesu hori x edo y norabidean egin daiteke. Ijezketa prozesuan, txapa metalikoa osatzen duten aleak, aplikatzen den indarraren norabide berean luzatzen dira. Hortaz, ijezketa norabidearen arabera txapak izango dituen propietate mekanikoak ezberdinak izango dira eta emaitza ez da berdina izango.

Proiektu honetan, ijezketa norabidea x ardatza izatea erabaki da eta jarraian, y norabidea hautatu ezkerreko lortuko liratekeen emaitzak erakutsiko dira.

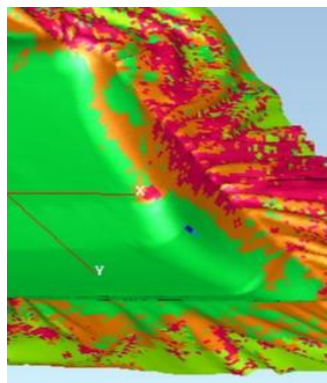


23(A).irudia. Atearen tentsio egoera (8).



23(B).irudia. Atearen FLD kurba (8).

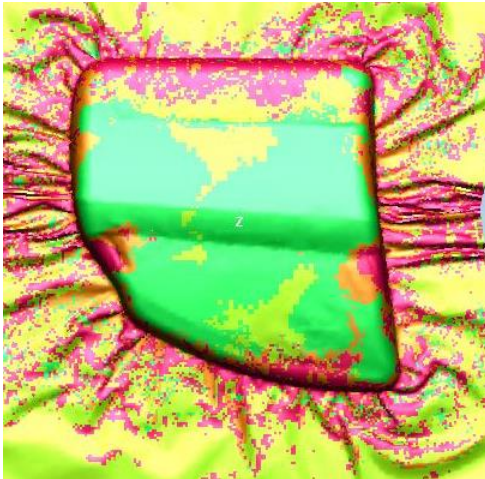
Kasu honetan, diferentzia ez da oso handia izango, atearak nahiko tentsio egoera egokia aurkeztuko duelako atearen bukaerako diseinuan bezala. Baina FLD kurban ikusi daitezke haustura adierazten duten nodo gutxi batzuk. Haustura ematen denez, x norabidea aukeratzen da ijezketa norabide bezala. Hurrengo irudian, haustura ematen den zonaldea erakutsiko da. Haustura hau kasu gehienetan bezala zona kritikoan ematen da.



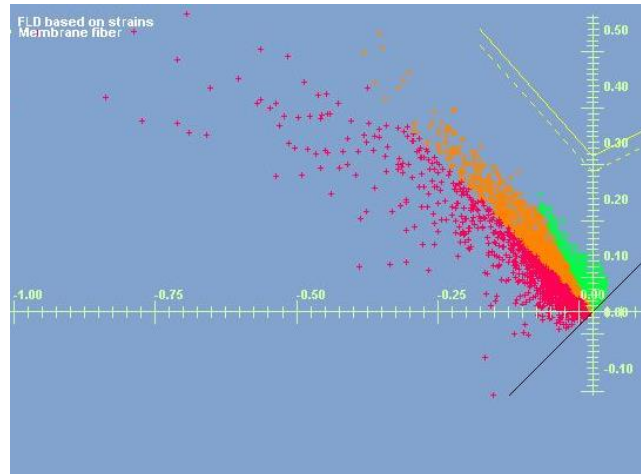
24.irudia. Haustura ematen den gunea.

8.7 FRENOEN ERAGINA

Frenoen bidez materialaren fluxuari oztopoa jarriko zaio, horrela txapak jasandako tentsioak handiagoak izan daitezten. Beraz, lehenengo frenorik jarri gabe eta gainerako parametroak mantenduz lortuko litzatekeen emaitza ikusiko da.



25(A).irudia. Atearen tentsio egoera (9).



25(B).irudia. Atearen FLD kurba (9).

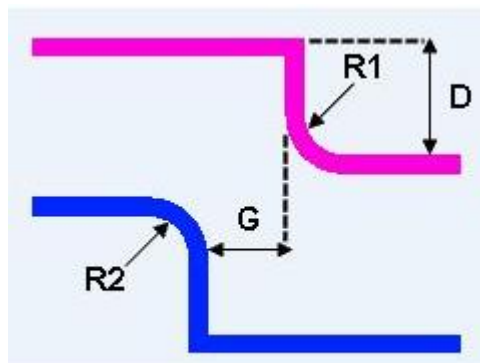
Tentsio egoera adierazten duen irudian ikusi daiteke zimurdura puntu ugari egongo direla atean, baita zonalde berde argi batzuk ere, txapa behar bezain beste luzatzen ez dela adierazten dutenak. FLD kurban egiaztatu daiteke hori, non tentsio egoera optimoa adierazten duten puntu berde gutxi ikusten diren. Gainera puntu horiek haustura adierazten duen lerro inklinatutik oso urrun egongo dira eta horrek erakusten du txapari tentsio handiagoa aplikatu behar zaiola. Txapak jasan behar duen tentsio gehigarri hori oso handia denez frenoak jartzea erabakitzen dan eta hauek erabiliz lortu da atearen bukaerako diseinua. Piezak zimurdura ugari dituen eta hauek pieza osoan zehar zabalduta daudenez, freno perimetral bat jartzea erabakitzen da, piezaren perimetro osoaren inguruan, zonalde batean izan ezik. Zona kritikoaren parean ez da frenorik jarriko. Zonalde hori tentsioaren limitean dagoenez, bertan freno gehitu ezker haustura emango litzateke eta beraz, freno perimetral bat jarriko da, justu zonalde horretan izan ezik. Freno hori piezatik tarteko distantzia batera jartzen da, hau gehiegizkoa edo txikiegia izan gabe. Freno geroz eta urrunago egon txaparen beheranzko deformazioa ematen den perimetrotik, txapak jasango duen tentsioa handiagoa izango da eta haustura probabilitatea handiagoa izango da zonalde kritikoetan. Freno perimetrotik hurbilegi jartzen bada berriz, ez du ia efekturik izango.

Frenoa jartzeko orduan, lehenengo pausua erabiliko den freno mota aukeratzea izango da. Hurrengoak izango dira erabili daitezkeen freno geometriak:



26.irudia. Freno ezberdinen geometriak.

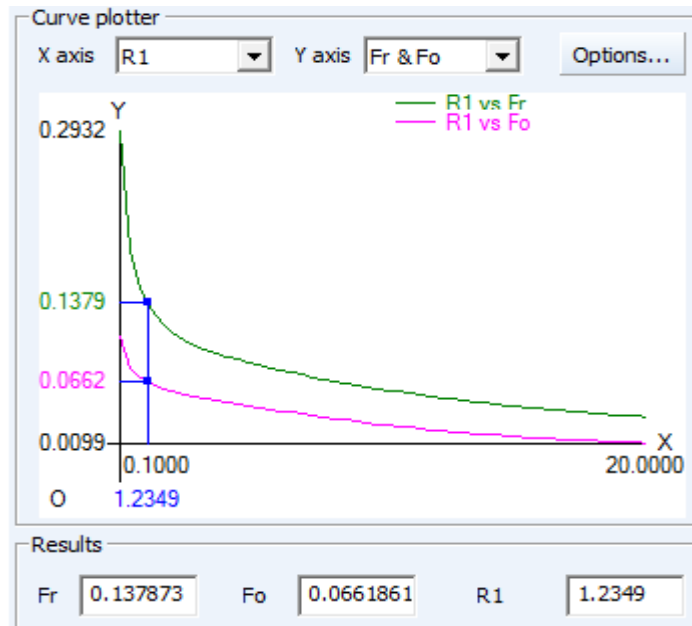
Geometria aukeratzeko orduan kontuan izan behar da frenoak materialaren fluxua oztopatu behar duen arren, oztopo hori gehiegizkoa bada txaparen haustura ekarriko duela. Goiko freno artean, azkeneko biek kurbatura erradio txikiegiak izango dituzte eta horregatik ez dira erabiliko, txaparen deformazioa kurbatura horietan bortitzegia izango delako. Gainerako hiruen artean lehenengoa aukeratzea erabaki da, kurbatura egokia izateaz gain, beste biek kurbatura bikoitza dutelako (gora eta behera). Beraz, aukeratutako frenoaren geometria:



27.irudia. Erabilitako frenoaren geometria.

Ikusi daitezkeen bezala, freno honetan lau parametro definitu beharko dira: D , G , $R1$ eta $R2$. Baina horrez gain, frenoak frikzioa, F_o eta F_r izango ditu. Kurba arrosa eta urdinaren artean txapa igaro beharko da, horregatik, garrantzitsua da G distantzia txaparen lodiera baino zertxobait handiagoa izatea eta D distantzia handiegia ez izatea. Bestalde, $R1$ eta $R2$ erradioek materialaren fluxuan eragina izango dute, hau oztopatuz. Kurbatura erradioa geroz eta handiagoa izan, tentsioa handiagoa jasango du txapak deformatzean. Frikzioa 0,12-koa izango da kasu honetan, eta hau materialaren eta erreminten kontaktuaren araberakoa izango da.

Fr eta Fo parametro horien kalkulurako hurrengo grafika erabiltzen da.



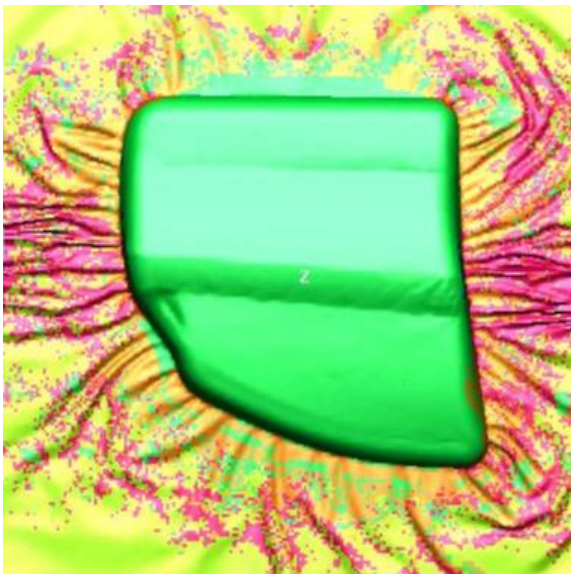
28.irudia. Fr eta Fo indarren kurba.

Aurrez aipatutako lau parametroentzat (D,G,R1, R2) kurba bana egongo da eta kurba horretan zehar mugituz Fr eta Fo indarrentzako balio ezberdinak lortzen dira. Kurban eskuinerantz desplazatu ezkeror R1 erradio txikituz, indarraren balioek behera egingo dute. Aldiz, kurban gorantz egiten bada, indarraren balioak esponentzialki handituko dira.

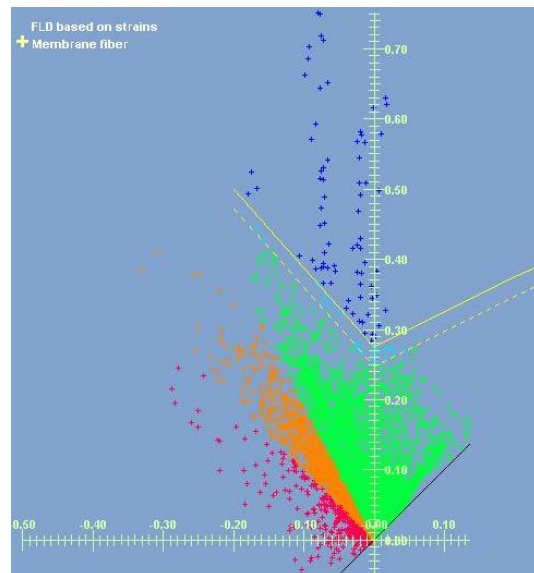
8.8 PISADOREAREN INDARRAREN ERAGINA

Aurretik aipatu den bezala, pisadoreak egiten duen indarra aldagai kritiko bat izango da enbutizio prozesuan, honek txapari egiten dion indarraren arabera izango baita txaparen tentsio egoera. Simulazio prozesu honetan, atearen diseinurik egokiena eta proiektuaren emaitza finala lortzeko 60N-eko indarra aplikatu da froga ezberdin ugari egin ondoren. Jarraian, pisadorean indar txikiagoa edo handiagoa aplikatzeak izango lukeen eragina aztertuko da.

Lehendabizi, indar handiago bat aplikatzeak izango lukeen eragina aztertuko da, horretarako 80N aplikatzen direneko adibidea aztertuko da.

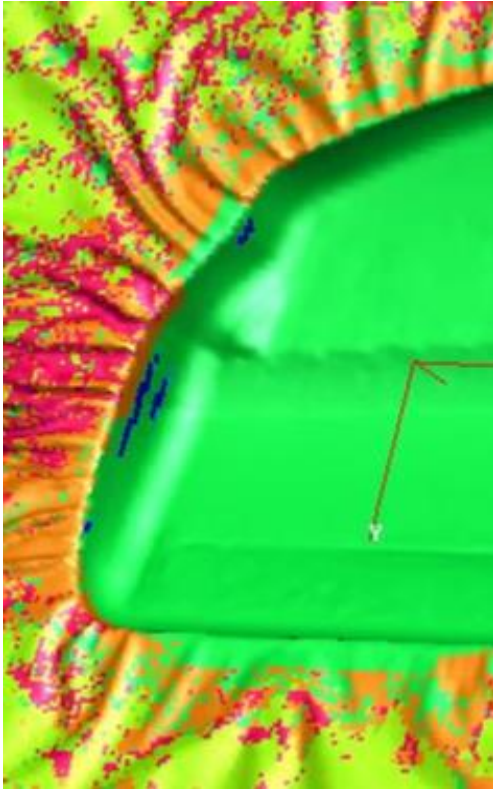


29(A).irudia. Atearen tentsio egoera (10).

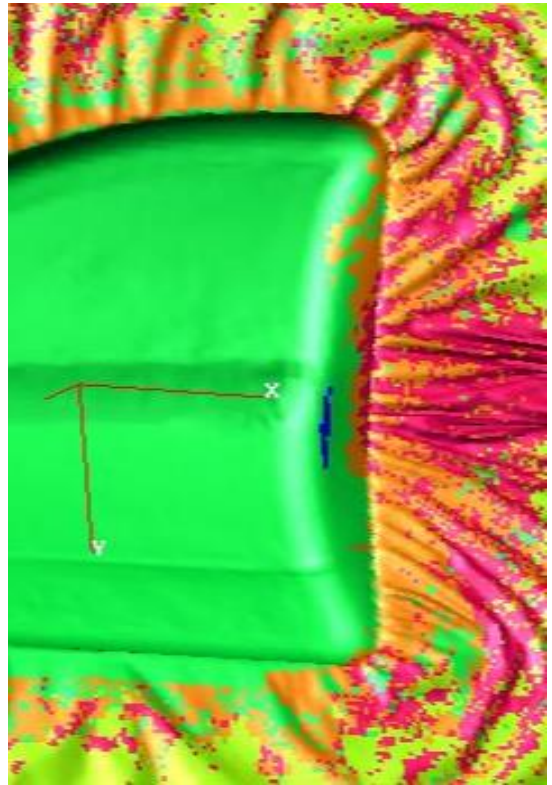


29(B).irudia. Atearen FLD kurba (10).

Atearen goitiko bistak itxura ona duen arren, atearen forma eta tentsio egoerak egokiak direlako, FLD kurban ikusten da haustura puntu ugari izango dituela. Haustura horiek pareta bertikaletako zona kritikoetan agertuko dira, lehen azaldu den bezala zonalde arriskutsuenak baitira txaparen ezaugarrien ondorioz. Pareta bertikalen egoera eta haustura zonaldeak hurbiletik aztertuko dira beheko irudietan. Irudi horietan ikusi daiteke hausturak piezaren zonalde kritikoetan hasiko direla logikoa den bezala.

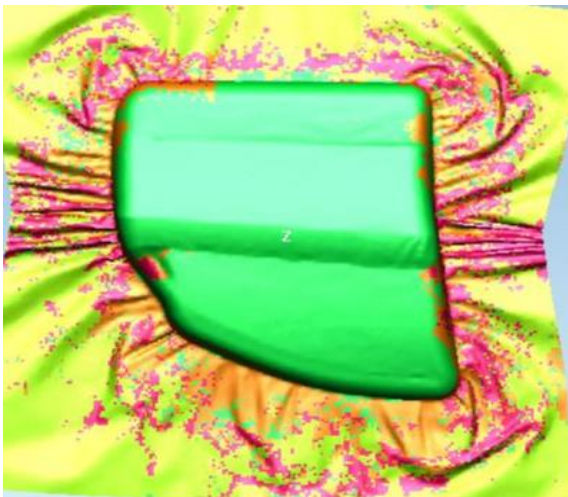


30(A).irudia. Zona kritikoko haustura.

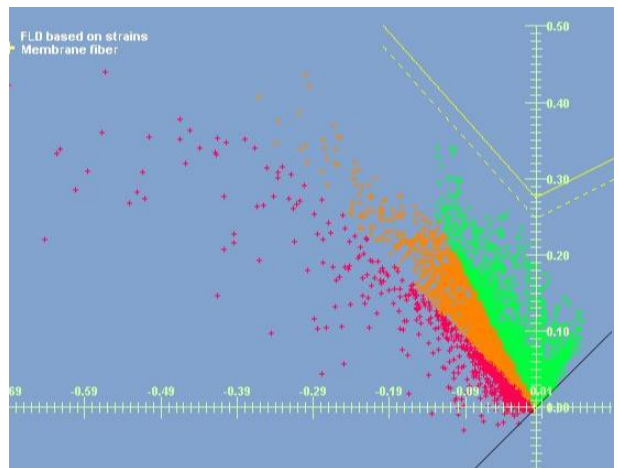


30(B).irudia. Zona kritikoko haustura.

Orain, pisadorearen indarra 60N baino txikiagoa deneko kasu bat aztertuko da, 40N aplikatzen diren kasua konkretuki. Emaitzak hurrengoak izango dira:



31(A).irudia. Atearen tentsio egoera (11).



31(B).irudia. Atearen FLD kurba (11).

40N-ko indarra aplikatzen den kasuan FLD kurban ikusi daiteke ez dela inolako hausturarik egongo, hortaz, ez da beharrezkoa izango zona kritikoa erakustea. Horrez gain, ikusten da nodo berdeak haustura adierazten den lerrotik nahiko urrun egongo direla, hortaz, ondorioztatu daiteke pisadorearen indarra geroz eta txikiagoa izan, txapak jasaten duen tentsioa txikiagoa izango dela. Txapak jasandako tentsioak txikiagoak direnez, gilbordura fenomenoak agertuko da zimurdurak eraginez goiko irudian ikusi daitekeen bezala, nahiz eta zimurdura hauek ez diren oso handiak izango.

80N-ko indarra aplikatzen den kasuan, justu kontrakoa gertatuko da. Pisadoreak txapari aplikatzen dion indarra gehiegizkoa izango denez, txaparen deformazio prozesuan zehar agertzen diren tentsioak handiegiak izango dira eta honek haustura eragingo du zona kritikoetan, 30.irudietan ikusi daitekeen bezala.

Hortaz, ondorioztatzen da garrantzitsua izango dela pisadorearen indarra zehaztasunez asmatzea, gehiegizkoa izan ezkerro haustura eragin dezakeelako, eta txikiegia izan ezkerro berriz, gilbordura fenomenoak emango delako zimurdurak eraginez.

8.9 SPRINGBACK FENOMENOAREN ANALISIA

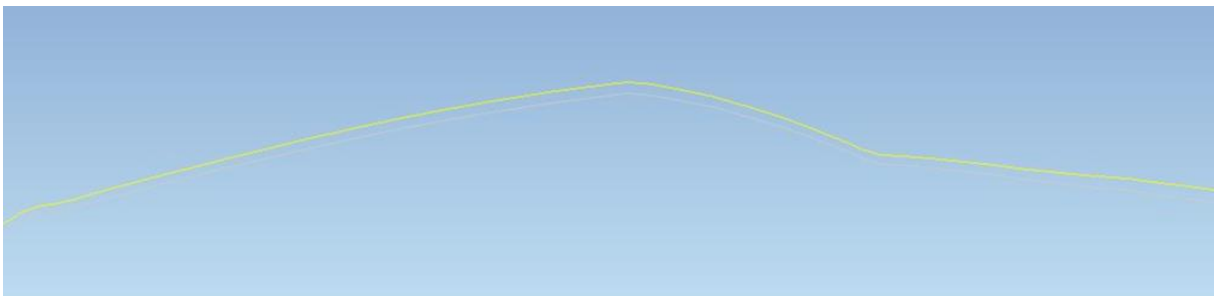
Springback deritzo deformazio prozesuaren bukaeran, konformaziorako erremintak kentzean piezak batek jasango duen aldaketa geometrikoari. Txaparen deformazioa bukatzen denean, enbutizioa jasan duten piezek berreskurapen elastiko bat jasango dute eta honek eragina izango du bukatutako piezaren diseinuaren zehaztasunean. Springback-aren ondorioz, bi arazo industrial izango ditu enpresa batek: bukaerako geometria zein izango den aurreikustea springback fenomenoaren eman ondoren eta erreminten diseinua efektu hau konpentsatu ahal izateko.

Bukaerako diseinuaren springback fenomenoaren hurrengo irudian ikusi daiteke:



32.irudia. Springback fenomenoaren bukaerako diseinua.

Irudi horretan enbutizio prozesuaren bukaeran atek izango duen forma ikusi daiteke horiz, eta springback fenomenoaren ondoren izango duen forma grisez. Ikusi daitekeen bezala, ez da bi lerroen artean ezberdintasun handirik ikusten. Hurrengo pausua, atearen egoera bien arteko distantzia handiena kalkulatzeko da. Horretarako distantzia handieneko puntua bilatu da, hau atearen erdialdean dagoelarik.



32(B).irudia. Springback fenomenoaren bukaerako diseinua.

Bi lerroen arteko distantzia maximoa 8,8095 mm-koa izango da. Berreskuperapen elastikoa txikia izango da eta horrek adierazten du enbutizioa prozesuan erabilitako erremintak egokiak direla, ez baita asko aldatzen erantzuna springback fenomenoaren ondoren.

Emitza hauek atearen bukaerako diseinuarekin kalkulatu dira, materiala karbono altzairua izanik. Orain materiala aldatzeak springback fenomenoan izango duen eragina aztertuko da. Horretarako, aurretik egin den bezala, erresistentzia altuko altzairua eta aluminio erabili dira.

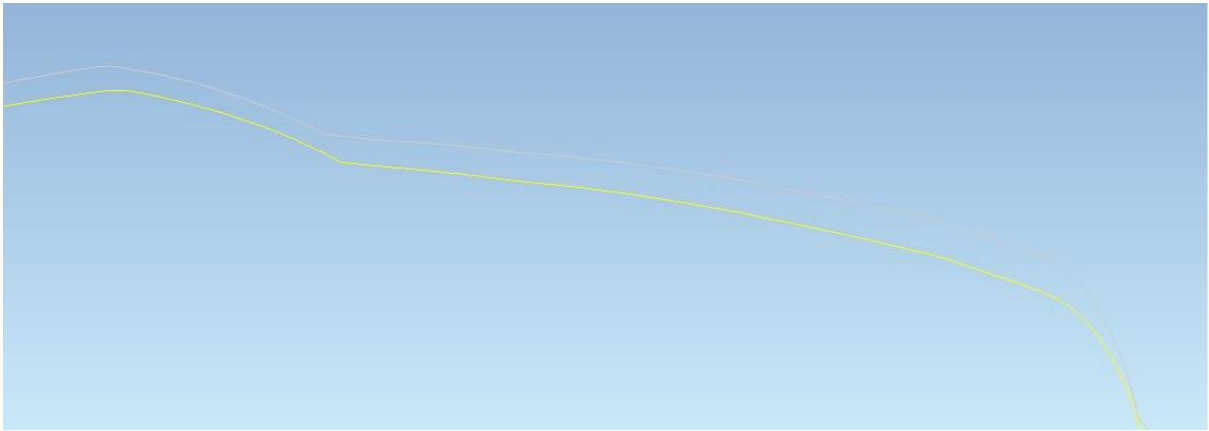
Erresistentzia altuko altzairuaren kasuan, hurrengo irudian ikusi daiteke springback fenomenoaren eragina. Kasu honetan ere atearen lerro sekzio osoa erakutsi ezker ez da lerro gris eta horiaren arteko ezberdintasunik antzemango. Beraz, springback fenomeno maximoa den zonaldea erakutsiko da.



33.irudia. Springback fenomeno erresistentzia altuko altzairuan.

Kasu honetan ere, horiz ikusi daiteke enbutizio prozesuaren amaieran atearak duen sekzioaren lerroa eta grisez springback fenomeno eman ondoren egongo den sekzioaren lerroa. Karbono altzairuaren kasuan gertatzen den bezala, lerroen arteko distantzia maximo atearen erdialdean ematen da. Distantzia kasu honetan 13,5721mm-koa izango da. Berreskurapen elastikoa oso handia ez den arren, karbono altzairuarekin lortzen dena baino handiagoa izango da. Helburua ahalik eta berreskurapen elastiko txikiena lortzea izango denez, esan daiteke karbono altzairuarekin springback fenomenoarentzako emaitzak hobeak lortuko direla erresistentzia altuko altzairuarekin baino.

Azkenik, aluminioak fenomeno honetan duen eragina aztertuko da. Aluminioaren kasuan ere, lerro hori eta grisaren arteko distantzia ongi ikusten den irudi bat jarriko da.



34.irudia. Springback fenomenoa aluminioan.

Kasu honetan, lerro grisak enbutizio prozesuaren bukaerako sekzioa adieraziko du eta lerro horiak springback fenomenoaren ondoren lortzen den sekzioa, aurreko kasuen alderantziz. Bi lerroen arteko distantzia maximoa kasu honetan ez da erdialdean emango. Erdialdetik eskuinerantz dagoen maldan baizik. Distantzia maximo hau 19,8565mm-koa izango da. Aurreko kasuetan baino distantzia handiagoa izango da, karbono altzairuaren kasuaren bikoitza, beraz, aztertutako hiru materialen artean okerrera izango da.

Beraz, springback fenomenoari dagokionez karbono altzairua izango da materialik onena. Honek materialaren eragina aztertu den atalean ateratako ondorioa indartu eta baieztatzen du.

9 ZEREGINEN DESKRIBAPENA

Atal honetan proiektuan burutu beharreko atazen deskribapena egingo da.

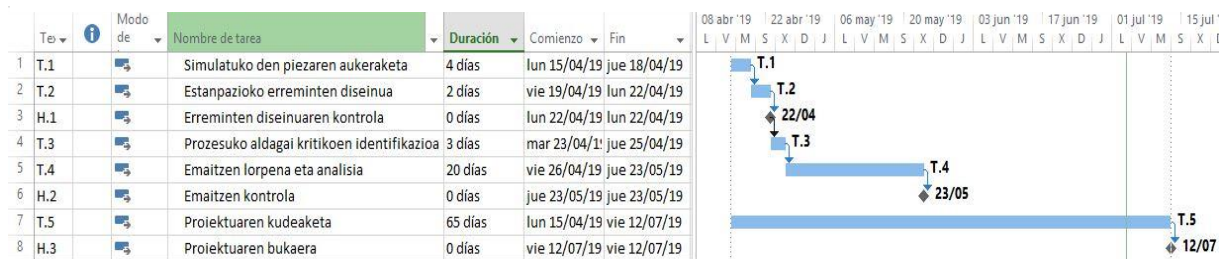
- Simulatuko den piezaren aukeraketa. Proiektuaren lehen pausua izango da eta simulazioekin hasi aurretik pieza bat aukeratu beharko da. Pieza hau gainazal motakoa izan beharko da enbutizio prozesua simulatu ahal izateko. Ataza honen iraupena 4 egunekoa izango da.
- Estanpaziorako erreminten diseinua. Simulazioak egin aurretik, aukeratutako piezaren enbutizio prozesurako beharko diren erremintak lortu beharko dira. Erreminta hauen geometria optimoa izatea komeni da, prozesua kalitatea hobea izan dadin. Ataza honen iraupena 2 egunekoa izango da.
- Prozesuko aldagai kritikoen identifikazioa. Pausu honetan enbutizio prozesuan eragina izango duten aldagaiak identifikatu beharko dira. Aldagai mota ezberdinak izango dira; erreminten geometriari dagozkien aldagaik, enbutizio prozesuko indarrei dagozkienak edota erabiliko den txapari dagozkienak. Honen iraupena 3 egunekoa izango da.
- Emaizten lorpena eta analisia. Ataza honetan atearen bukaerako diseinua lortzeaz gain, aurretik identifikatutako aldagai kritikoetan aldaketak eginez emaitz gehiago lortuko dira. Horrela aldagai hauetako bakoitzak atean izango duen eragina aztertu daiteke. Ataza honen iraupena 20 egunekoa izango da.
- Proiektuaren kudeaketa. Kasu honetan proiektuaren kudeaketa lehenengo atazarekin batera hasiko da eta azken bukatu. Proiektuaren kudeaketak aurretik azaldutako gauzetaz aparte egin beharreko lan guztiak batuko ditu, hala nola, lana idaztea eta proiektuarekin zerikusia duten gainerako lanak. Kudeaketaren iraupena 65 egunekoa izango da.
- Erreminten diseinu eta emaitzen kontrola. Lanaren bi mugarriak izango dira eta ordura arte egindakoaren kontrola egiteko erabiliko dira. Dena ongi dagoela ziurtatzeko erabiltzen dira, ondoren proiektuarekin jarraitu ahal izateko. Bata erreminten diseinuaren ostean egingo da eta bestea, emaitzak lortu eta aztertu ostean.

10 GANTT DIAGRAMA

Hurrengo irudian gradu amaierako lanaren Gantt diagrama ikusi daiteke. Proiektua apirilaren 15ean hasi eta uztailaren 12an bukatuko da. Asteburuetan ez da lanik egingo eta 65 eguneko lana izango da.

Bertan bost ataza nagusi daudela ikusten da eta horretaz aparte, bi mugarri egongo dira. Mugarri horiek kontrol puntuak izango dira. Lehenengo kontrol puntua erreminten diseinuaren kontrola egiteko izango da eta bigarrena lortutako emaitzen kontrola egiteko. Bukaerako mugarria proiektuaren bukaera finkatzeko jartzen da.

7.taula. Gantt diagrama.



11 AURREKONTUAREN DESKRIBAPENA

Atal honetan lana burutzeko garatu den aurrekontuaren deskribapena egingo da. Beheko taulan ikusi daitekeen bezala barne orduen gastua handiagoa izango da amortizazioena eta gastuena baino. Barne orduen barruan gastu handiagoa eragingo dute ikaslearen orduak, merkeagoak izan arren gehiago direlako. Amortizazioen barruan, gastu handiagoa eragingo dute office eta PamStamp-aren lizentziek Ms Projectarenak baino. Horretan eragina izango du Office eta PamStamp-aren erabilera orduak askoz handiagoak izateak bestearekin alderatuz. Gastuetan soilik bulegoko materiala eta bibliografiari dagozkien gastuak egongo dira eta hauen eragina ez da oso handia izango bukaerako gastuan. Horrez gain kostu ez-zuzenen portzentai bat gehitzen da, %7a konkretuki.

8.taula. Aurrekontuaren deskribapena.

AURREKONTUA	URTE KOPURUA	PREZIOA (€)	ORDUKO TASA (€/h)	ORDU KOPURUA (H)	KOSTU TOTALA
KONTZEPTUA					
BARNE ORDUAK					7000
Ingeniariaren orduak (irakaslea)			50	60	3000
Ingeniariaren orduak (ikaslea)			20	200	4000
AMORTIZAZIOAK					35,44520548
PamStamp lizentzia	2	4000	0,228310502	100	22,83105023
MS Project lizentzia	5	500	0,011415525	5	0,057077626
Office lizentzia	5	750	0,017123288	200	3,424657534
PC-a	5	1000	0,02283105	400	9,132420091
GASTUAK					100
Bulegoko materiala					50
Bibliografia					50
KOSTU ZUZENAK					7135,445205
Kostu ez-zuzenak (%7)					499,4811644
TOTALA					7634,92637

12 ONDORIOAK

Gradu amaierako lan honetatik ondorio ugari atera dira. Hasteko, aipatu behar da simulazio softwaren bidez atea egiteko prozesuan aurreztu egiten dela, atearen portaera hobeto ulertu eta simulaziorako parametro optimoak lortu daitezkeelako ondoren atea fisikoki garatzeko. Izan ere simulazioak esperimentera egingo balira prozesuaren kostua askoz handiagoa izango litzateke.

Atearen tentsio egoera optimoa bilatu beharko da. Ateak tentsio gutxiegi jasaten badu zimurrak agertuko dira bertan eta tentsio handiegia aplikatzen bazaio berriz, hautsi egingo da. Eta enbutzio prozesuari dagokionez, haustura ematea bezain txarra izango da zimurrak agertzea.

Tentsio egoera optimo hori aurkitzeko aldagai kritikoak aztertu behar dira. Aldagai kritiko ugari dauden arren, lanean aipatu eta aztertuak izan direnak, materiala, addenduma, pisadorearen forma eta honek egiten duen indarra eta frenoak izango dira pieza honetan eragin handiena izan dutenak. Gainerakoek ere eragina izan duten arren, emaitzetan ekarritako aldaketak ez dira horren garrantzitsuak izan.

Horretaz aparte, zonalde kritikoetan kontu handia izan beharko da. Zona horietan haustura gertatzeko probabilitatea handiagoa izango denez, ezingo zaizkio atearen gainerako zonaldeen baldintza berak aplikatu. Ate honen kasuan, zonalde kritikoetako batean ez zaio frenorik jarri ateari, bestela haustura emango litzatekeelako.

Amaitzeko kontuan izan behar da automozioaren mundua oso aurreratua dagoela gaur egun eta autoek ahalik eta pisu gutxien izan beharko dutela. Hortaz, erresistentzia ona mantenduz eta kostua handiegia izan gabe, ahalik eta atea finenak egiten dira hauen pisua txikiagoa izan dadin.

13 INFORMAZIO ITURRIAK

Hauek izan dira gradu amaierako lana garatzeko erabili diren informazioa iturriak:

[1] Otano Jimenez, G. (2018). *The conversation*. Recuperado de <http://theconversation.com/es-hora-de-hablar-del-impacto-social-y-medioambiental-del-coche-electrico-101264>

[2] (2018). *Situacion y perspectivas en el sector del automóvil*. Recuperado de <http://www.industria.ccoo.es>

[3] (2016). *El sector de la automoción, estratégico en el País Vasco*. Recuperado de <https://www.bizkaiatalent.eus/pais-vasco-te-espera/apuesta-de-futuro/automocion-estrategico-economia>

[4] Shannon, R; Johannes, D. (1976) *Simulación*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n>

[5] Resnick, R; Halliday, D. (1993). *Prensa hidráulica*. Recuperado en https://es.wikipedia.org/wiki/Prensa_hidr%C3%A1ulica