

Resum

Davant la creixent exigència de les normatives europees sobre contaminació, els fabricants de vehicles es troben cada vegada amb més necessitat de reduir el pes dels nous models que desenvolupen.

El present projecte consisteix a realitzar un estudi d'optimització i reducció de pes respecte dels actuals mecanismes de fre de mà per tal d'oferir una alternativa que s'ajusti millor a les noves normatives.

A la primera part s'exposen les principals normatives que regulen els nivells de contaminació permesos als vehicles de combustió a Europa. En aquesta part s'hi reflecteix la relació entre pes i contaminació per aquests vehicles així com el paper que representen els frens d'estacionament i la importància d'optimitzar aquests paràmetres per part dels fabricants. A més, es realitza una breu comparativa entre els diferents models de fre d'estacionament existents en el mercat: arquitectura i peces principals.

La segona anàlisi consisteix en la presentació dels diferents models de fre de mà dissenyats i els criteris utilitzats per tal d'optimitzar cadascun d'ells en quant a pes i volum.

Per últim es procedeix amb una simulació mitjançant software de càlcul per elements finits dels models escollits. Aquesta simulació permet avaluar i analitzar amb més profunditat els resultats d'una manera molt visual i entenedora.

Sumari

Resum	1
Sumari	3
1. Glossari	5
2. Introducció	7
2.1 Objectius	8
2.2 Metodologia.....	8
2.3 Abast del projecte.....	9
3. Estat de l'art.....	10
3.1 Normatives sobre emissions a Europa	10
3.2 Arquitectura dels frens de mà.....	12
3.2.1 Comparativa entre tipus i característiques dels frens de mà	12
3.2.2 Components principals dels frens de mà	13
4. Disseny.....	16
4.1 Model original.....	16
4.1.1 Base i braç de palanca.....	17
4.1.2 Sistema de bloqueig/desbloqueig	19
4.1.3 Sistema de tracció i peces d'estil	21
4.2 Model realitzat i criteris de disseny.....	22
4.2.1 Geometria.....	23
4.2.2 Materials	29
5. Simulacions	32
5.1 Mallat i condicions de contorn	32
5.2 Assajos aplicats i requeriments	36
5.2.1 Esforç lateral.....	37
5.2.2 Esforç inclinat	37
5.2.3 Esforç tangencial a compressió	38

5.2.4 Esforç tangencial a tracció	39
5.3 Anàlisi de resultats	39
5.3.1 Esforç lateral	40
5.3.2 Esforç inclinat.....	42
5.3.3 Esforç tangencial a compressió.....	45
5.3.4 Esforç tangencial a tracció	47
5.3.5 Resum de resultats	50
6. Optimització	51
6.1 Modificacions realitzades al disseny	51
6.2 Simulacions de comprovació	56
7. Estudi econòmic.....	61
7.1 Valoració econòmica del disseny.....	61
7.2 Anàlisi d'inversió necessària.....	63
7.3 Pressupost de l'estudi	66
8. Estudi d'impacte ambiental	67
Conclusions	71
Agraïments	72
Bibliografia	73

1. Glossari

- Pes en ordre de marxa: XXXX
- **Fre d'estacionament:** Dispositiu mecànic que serveix per immobilitzar vehicles quan es troben parats ja sigui manual o automàticament. També serveix per aturar el vehicle en cas de fallida del fre de servei (funció d'emergència). A la majoria de vehicles, acciona les rodes posteriors.
- **Layout:** Paraula anglesa que significa disposició d'una sèrie d'elements en un espai determinat.
- **Túnel central:** Zona d'un vehicle que forma part del xassís del mateix i que s'ubica longitudinalment a sobre de l'eix de simetria del mateix. A sobre d'ell es fixen generalment els comandaments com el fre de mà o el canvi de marxes entre d'altres.
- **Consola:** Zona central d'un cotxe que es visible pels usuaris del mateix. En ell es troben generalment la majoria de comandaments del vehicle.
- **Angle de desmoldeig:** A la injecció de peces per pressió, és la diferència entre la orientació real i la teòrica mesurada en les cares paral·leles a la direcció d'apertura del motlle.
- **Sobre-injectar:** A la injecció de peces per pressió, és la tècnica que consisteix a posar un element aliè (normalment una peça metàl·lica) a l'interior del motlle per tal que quedi totalment envoltat del material a injectar. La unió entre els dos materials dota el conjunt de major resistència.
- **Mòdul elàstic o mòdul de Young:** és una constant elàstica que relaciona la tensió i deformació a la qual està sotmès un material.
- **Ultimate Tensile Strength (UTS):** valor màxim del gràfic tensió deformació el qual separa la zona plàstica amb la zona on el material comença a experimentar el fenomen d'estricció.

- **Coeficient de Poisson:** és una constant elàstica que proporciona una mesura de l'estrenyiment de secció d'un prisma de material elàstic lineal isòtrop quan s'estira longitudinalment i s'aprima en les direccions perpendiculars a la d'estirament.
- **Coeficient de seguretat:** és el coeficient entre un nombre que mesura la capacitat màxima d'un sistema dividit del requeriments tècnics o admesos.
- **Límit de ruptura:** és el valor del gràfic tensió deformació en el qual el material es trenca.
- **Límit elàstic:** és la tensió màxima que un material elàstic pot suportar sense patir deformacions permanents.
- **Mallat:** és el conjunt d'elements que s'obté d'un procés de discretització d'un model analitzat per mètodes d'elements finits.
- **Zona elàstica del gràfic tensió deformació d'un material:** zona en la qual el material pateix deformacions al aplicar-hi un esforç, però un cop es deixa aquest esforç el material recupera la forma original.
- **Zona plàstica del gràfic tensió deformació d'un material:** zona en la qual el material pateix deformacions al aplicar-hi un esforç i no recupera la forma original un cop es deixa aquest esforç.

2. Introducció

Les emissions de CO₂ s'estan convertint en una obsessió per als fabricants de vehicles a Europa degut als límits imposats per la Unió Europea. Aquests límits depenen principalment del volum de cotxes que matriculen i del pes en ordre de marxa de cada vehicle.

L'any 2012, la mitjana d'emissions de la indústria automobilística a Europa es trobava al voltant dels 136 g de CO₂/km i només va ser aconseguida per uns quants fabricants. No obstant això, l'objectiu determinat per al 2015 per part de la Unió Europea és de 130 g de CO₂/km de mitjana ponderada i es preveu una reducció de més del 25% de cara al 2020.

A més, les sancions es preveuen endurides també de forma molt significativa. I és que excedir per 4 g el límit de CO₂/km imposat per la normativa europea l'any 2020 ocasionarà una multa de 95€ per vehicle venut. Per aquest motiu, les companyies constructores de vehicles ja han començat a fer fortes inversions per assolir aquests objectius.

Per part d'aquests fabricants de turismes, les fórmules adoptades per millorar les emissions de les seves flotes han estat força diverses. Entre elles es poden trobar:

- Fomentar l'augment de les vendes de cotxe més petits o de baixes emissions i reduir o suprimir les de models potents i/o grans.
- Reduir el pes dels components.
- Millorar l'aerodinàmica del vehicle.
- Reforçar la presència dels vehicles de gasoil davant dels de benzina.
- Desenvolupar vehicles elèctrics, ja que les emissions són nul·les i desequilibren el càlcul d'emissions al seu favor.

En aquest projecte ens centrarem a la segona de les esmentades mesures: la reducció de pes en els components.

2.1 Objectius

L'objectiu primari d'aquest projecte és dur a terme un estudi d'optimització d'un fre de mà ja existent al mercat per tal d'arribar a una solució el més lleugera possible. Aquest estudi es basa principalment en la millora del disseny actual del producte (geometria i material) i es complementa amb la verificació del comportament del mateix mitjançant una simulació matemàtica.

L'objectiu secundari del projecte és la l'avaluació de la viabilitat i la rendibilitat de la millora proposada mitjançant estudi econòmic i estudi mediambiental. Per a assolir aquest objectiu secundari, es du a terme una sèrie de càlculs estimatius per tal d'aplicar a la totalitat del disseny d'un vehicle, els resultats obtinguts a través de l'optimització del disseny de la palanca de fre de mà.

2.2 Metodologia

Per tal de realitzar tot l'anterior, es fixa una metodologia per a aquest projecte que facilita assolir els esmentats objectius:

1^{er}: Recollida d'informació

Es fa una cerca profunda sobre el tema a tractar i s'elabora, basat en la informació trobada, un context legislatiu que marca la tendència a seguir per la següent fase.

2^{on}: Disseny

Primerament s'estableixen els paràmetres de disseny i els criteris d'elecció dels mateixos. A continuació i utilitzant un software de disseny en tres dimensions es dibuixen els components que formen el model.

3^{er}: Simulacions

S'utilitza un software d'elements finits per portar a terme totes les simulacions dels diferents casos. S'estableixen els criteris utilitzats a l'hora de simular així com les condicions de contorn emprades per tal d'aproximar al màxim possible el model de càlcul a la realitat.

4^{art}: Anàlisi de resultats i optimització del disseny

Un cop obtinguts tots els resultats de les simulacions és procedeix a analitzar-los i extreure les respectives conclusions. Gràcies a aquests resultats, es du a terme una última millora a la geometria del disseny amb l'objectiu d'arribar a la una versió el més optimitzada possible.

2.3 Abast del projecte

L'abast del projecte inclou el re-disseny d'un fre de mà existent actualment, fent-lo alhora equivalent en quant a rendiment de frenada i més lleuger. També s'inclou un estudi econòmic que permeti avaluar els costos associats a cadascun dels dissenys. Per tant, en aquest projecte es proposen diversos models factibles en quant a materials i tecnologies utilitzades, i també es validen quant a resistència als esforços. Malgrat això, en aquest projecte no es descriuen els assajos en peces físiques ni es donaran detalls sobre el procés de fabricació dels components i/o muntatge dels conjunts. Tampoc es planteja en profunditat el funcionament d'un fre de mà.

La part de validació és porta a terme mitjançant simulació per elements finits. Cal dir que si bé es descriurà breument la metodologia emprada per fer-ho; no es plasmen de forma detinguda en el present projecte els passos seguits amb el software de simulació. Tampoc es considera a l'abast d'aquest projecte l'estudi de la influència del mallat utilitzat pels càlculs per elements finits en els resultats dels mateixos. Això es deu a que les característiques del mallat utilitzat són les recomanades per experts en aquest tipus de càlculs per aquest producte.

3. Estat de l'art

En aquest apartat es fa un breu repàs a les principals normatives que regulen les emissions a Europea explicant els condicionants en que es tradueixen pels fabricants de vehicles.

D'altra banda també es fa un breu introducció a l'arquitectura de les palanques de fre de mà: parts principals i configuracions.

3.1 Normatives sobre emissions a Europa

Actualment, a Europa són d'obligat compliment les normes Euro. Fins al 2014, la norma vigent era la Euro 5 que ha estat reemplaçada per la Euro 6 a partir de l'1 de setembre d'aquest mateix any. Aquesta família de normatives, reflectides al Reglament (CE) n° 715/2007 [1], posa límits a alguns dels gasos contaminants que s'emeten per part dels vehicles equipats amb motor de combustió com ara els òxids de nitrogen (NOX), Hidrocarburs (HC), Monòxid de carboni (CO) i partícules en suspensió.

La normativa Euro, d'una banda, força a millorar molt l'eficiència dels motors ja que si no es compleixen, no es poden vendre cotxes a Europa. Però, d'altra banda no contempla el CO₂ de cap manera.

És per això que la Unió Europea ha establert uns clars objectius de millora d'emissió de CO₂ pels fabricants d'aquest continent. Així doncs, l'abril del 2009 es va publicar el Reglament (CE) n° 443/2009 [2], establint diverses normes per tal de delimitar les emissions d'aquest gas d'efecte hivernacle. El límit de contaminació estipulat per part de la norma per a la mitjana de la flota de vehicles de cada fabricant és de 130g de CO₂/km fins al 2019 i de 95g/km a partir del 2020.

Tot i això, la normativa permet que aquest càlcul ponderat, pateixi un augment gradual en el temps; de manera que només la contaminació d'una part dels vehicles matriculats és comptabilitzada. Els percentatges permesos són:

- L'any 2012, tenint en compte el 65% dels vehicles matriculats;
- El 75% pel 2013;
- El 80% pel 2014;
- Fins al 100% l'any 2015.

Existeix una altra excepció a l'hora de calcular la mitjana ponderada de contaminació de tots els vehicles. I és que, amb l'objectiu de fomentar la inversió en noves tecnologies per part dels fabricants, aquells vehicles amb emissió específica per sota de 50g/km (híbrids o elèctrics principalment) obtindran un major pes a la fórmula. Així doncs, cada vehicle que complia aquells requisits, era comptabilitzat de la següent forma:

- Com 3,5 vehicles l'any 2012 i 2013;
- Com 2,5 vehicles durant el 2014;
- Com 1,5 vehicles el 2015;
- Com 1 sol vehicle a partir del 2016.

A més, la Unió Europea declarà a la normativa que, s'imposarien sancions econòmiques als fabricants que no complissin els límits imposats. Així doncs, les penalitzacions entre 2012 i 2018 es van definir de la següent manera:

- El primer gram d'excés: 5€/vehicle
- El segon gram d'excés: 15€/vehicle
- El tercer gram d'excés: 25€/vehicle
- A partir del quart gram d'excés: 95€/vehicle

A partir de 2019, està estipulat que cada gram d'excés costarà directament 95€/vehicle.

Resulta prou clar doncs, que els fabricants hauran de realitzar un esforç enfocat a la reducció d'emissió de CO₂. Sigui quina sigui la fórmula adoptada pels diferents fabricants d'entre les ja esmentades a la introducció, aquesta disposarà d'un alt marge en quant a cost d'inversió (és a dir, sempre que sigui inferior a la sanció imposada per les autoritats si no s'apliqués).

Al capítol d'Estudi Econòmic del present projecte, es realitza una avaluació de la factibilitat d'inversió necessària per a la proposta de reducció de pes (a menys pes del vehicle menys contaminació), tot situant-la dintre del marge format pel cost de dites sancions. D'aquesta forma es pretén donar una idea de l'oportunitat de millora tecnològica que presenta el sector.

3.2 Arquitectura dels frens de mà

En aquest apartat es dóna una breu i esquemàtica visió de les principals configuracions de fre de mà així com dels components que habitualment els formen i les seves funcions.

3.2.1 Comparativa entre tipus i característiques dels frens de mà

La palanca de fre de mà acciona el sistema de fre secundari (disc o tambor) per tal d'immobilitzar el vehicle. Aquest accionament és dut a terme mitjançant l'element primari de transmissió i els cables de fre secundaris que uneixen la palanca amb el sistema de fre secundari.

Així doncs, les principals funcions de la Palanca de Fre d'estacionament (PKB, per les sigles en anglès de *Parking Brake*) són: frenar el vehicle, mantenir el vehicle frenat i desbloquejar el vehicle.

Tot i haver de complir ineludiblement aquestes tres funcions principals, els PKB han de reunir una sèrie de requisits secundaris que els fan característics i ens ajuden a classificar-los dins de diferents grups. Alguns d'aquests requisits són: la forma de l'empunyadura, el pes, el *layout* dels seus components, l'espai que ocupen, la seva ergonomia, entre d'altres.

En base a aquestes característiques secundàries s'ha elaborat una classificació:

Tipus	Configuració	Avantatges	Desavantatges
Clàssica		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construcció senzilla ▪ Pes reduït ▪ Compatible LHD & RHD 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Túnel central ocupat ▪ Disseny limitat
Base forma "U"		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Túnel central alliberat ▪ Millor rigidesa mecànica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construcció complicada ▪ Pes elevat
Avió		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Túnel central alliberat ▪ Bona rigidesa mecànica ▪ Llibertat disseny estil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construcció complicada ▪ Pes elevat ▪ Mecanisme desbloqueig
"Z"		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integració en consola ▪ Forat consola petit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construcció complicada ▪ Mecanisme desbloqueig
Maneta		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integració en entorn ▪ Alliberació total túnel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construcció complicada ▪ Mecanisme desbloqueig

Taula 3.1 : Classificació de palanques de fre de mà

3.2.2 Components principals dels frens de mà

Tal i com s'ha vist al apartat anterior, els frens de mà que es poden trobar al mercat poden ser molt diversos i amb diferents configuracions. Tot i això, les principals peces que habitualment els componen són les següents:

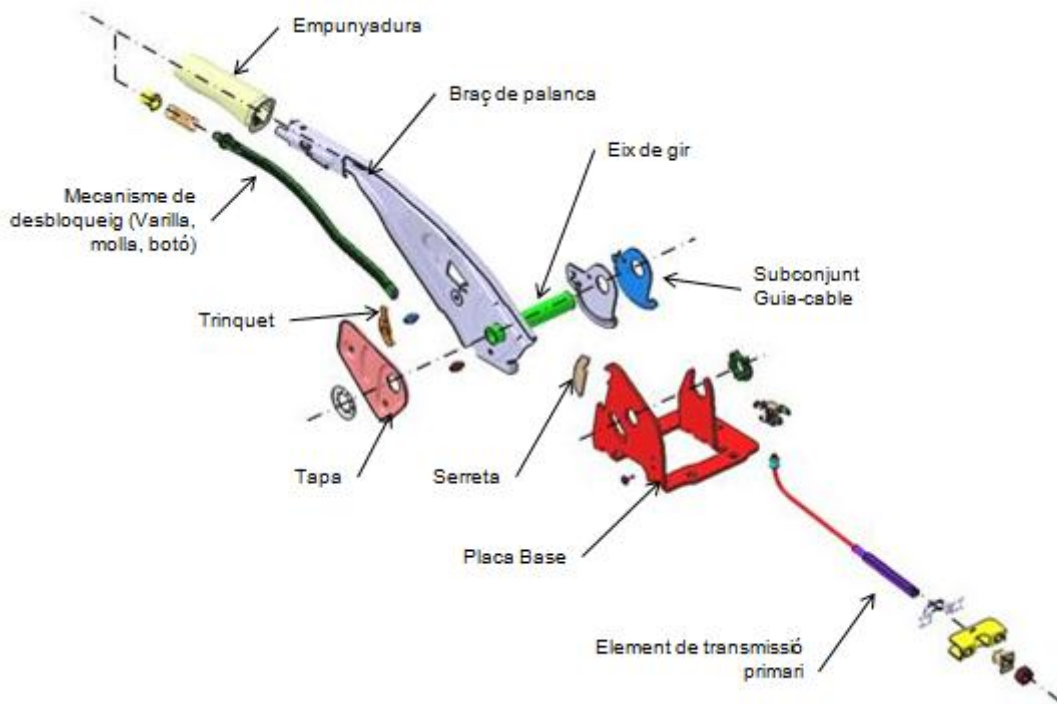


Figura 3.1 Vista explosionada d'un fre de mà

- **Base:** Element estructural sobre el qual se suporten la resta de components. És el nexa d'unió entre el sistema i el vehicle a més de l'encarregada de permetre el moviment de rotació del braç.

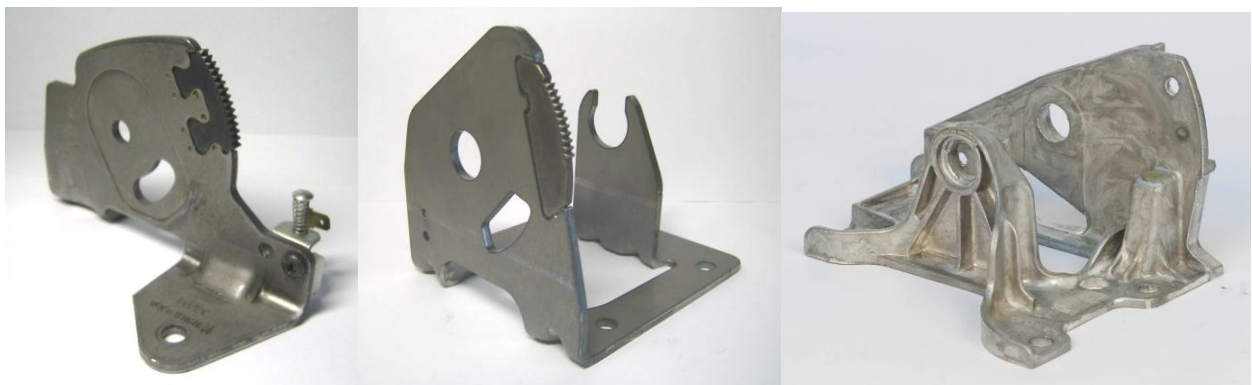


Figura 3.2 Plaques base de diverses construccions

- **Braç de palanca:** Component sobre el qual actua directament el conductor per frenar i desferenar el vehicle. Suporta part del mecanisme de retenció, el sistema de desbloqueig i les peces d'estil.

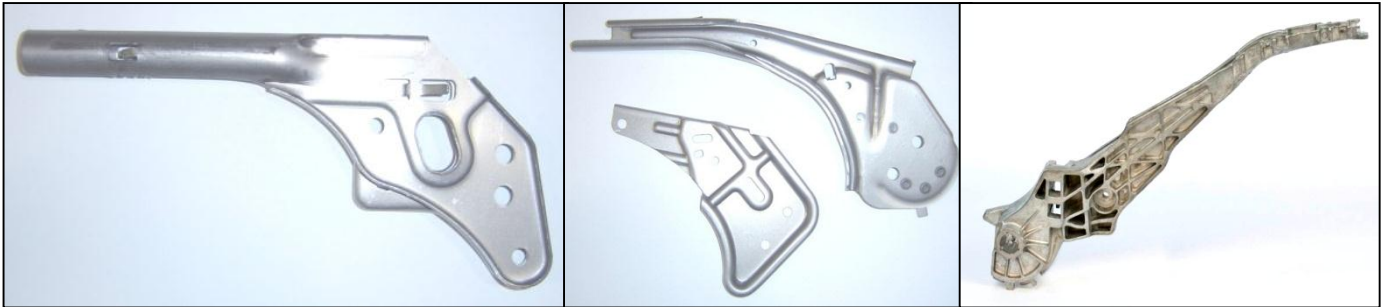


Figura 3.3 Braços de palanca d'una peça, Sandvitx i aliatge lleuger respectivament

- **Elements de transmissió primaris:** Elements encarregats de suportar i transmetre tota la càrrega al sistema secundari per immobilitzar el vehicle. Pot constar d'una varilla roscada i rígida o d'un cable d'acer amb terminals units mitjançant operació de premsat.

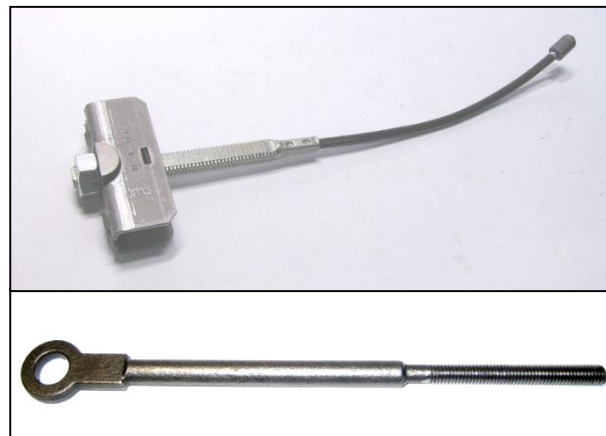


Figura 3.4 Cable d'acer amb terminals premsats (part superior) i varilla rígida (part inferior)

- **Trinquet/Serreta:** Elements de retenció que engranen entre sí i sobre els que recau directament la funció de mantenir bloquejat el fre de mà.



Figura 3.5 Exemple de trinquet i serreta actualment utilitzat

- **Mecanisme de desbloqueig:** Sub-sistema que ens permet desbloquejar el sistema i procedir a mobilitzar el vehicle. Actua directament sobre el trinquet per permetre desengranar respecte a la serreta.



Figura 3.6 Diferents configuracions de mecanismes de desbloqueig

- **Peces d'estil:** Components la funció principal dels quals és proveir d'ergonomia la palanca tot respectant els criteris d'estil dissenyats per l'interior del vehicle. Solen estar formades pel botó i l'empunyadura, aquesta última, a més, pot estar formada per més d'una peça.



Figura 3.7 Empunyadures actualment utilitzades

4. Disseny

En aquest apartat s'exposa quin fre de mà s'escull per iniciar l'estudi. També es detallen les característiques de les peces i subsistemes que el formen: principalment funcions i materials emprats a les principals peces estructurals.

4.1 Model original

Per a la realització de l'estudi s'ha escollit com a referència el fre de mà que equipa el Volkswagen Golf de les sèries V i VI. Val la pena esmentar que aquest model de la marca alemanya ha estat el cotxe més venut a Europa des de l'any 2008 fins a l'any 2013 i per tant un vehicle de bastant èxit.



Figura 4.1 Imatge de l'interior d'un Golf sèrie V

Tal i com es pot observar a la Figura 4.2, es tracta d'una configuració clàssica amb les peces estructurals fetes d'aliatge lleuger (magnesi). Cal indicar que s'ha utilitzat aquest model com a referència i punt inicial per a aquest estudi.

Així doncs, els dissenys realitzats a partir d'aquest model, són equivalents en quant a volum ocupat i característiques de frenat (cursa de frenada i multiplicació de força) i, per tant, totalment intercanviables a vehicle per la peça original.

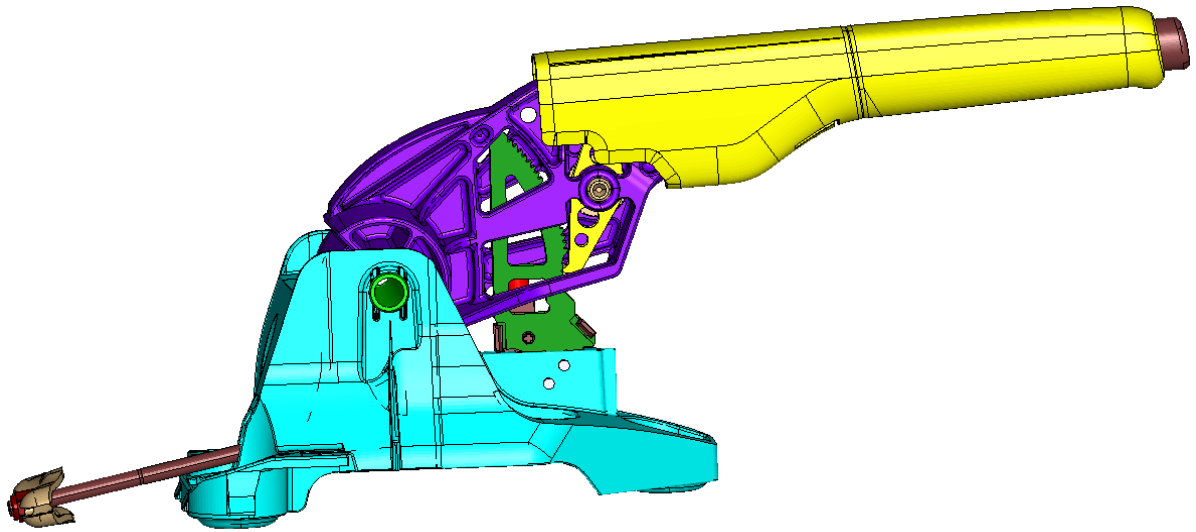


Figura 4.2 Vista general del model 3D inicial

Les característiques principals d'aquest model són (model 1 d'ara endavant):

<u>MODEL 1</u>	Braç de palanca	Base	Resta de components	TOTAL
Material	Mg	Mg	Diversos	-
Pes (g)	306,4	385,3	328,0	1019,7

Taula 4.1 : Pesos i materials pel model 1

A continuació es procedeix a analitzar breument les principals parts del model en qüestió.

4.1.1 Base i braç de palanca

La base i el braç de palanca són considerades peces estructurals i per tant les més importants.

El disseny de la base conté 3 punts de fixació al vehicle que venen donats per les restriccions del xassís. També disposa d'uns forats d'igual diàmetre situats a les parets laterals per acollir l'eix de rotació sobre el qual pivoten la resta d'elements. A més, en aquesta peça s'han inclòs també uns topalls que limiten la cursa angular del conjunt.

Els espessors generals utilitzats pel disseny de la peça oscil·len entre els 2 i 3mm i, en aquelles zones amb major sol·licitació, com per exemple al voltant dels punts de fixació o dels forats de rotació, s'han utilitzat espessors de 4mm.

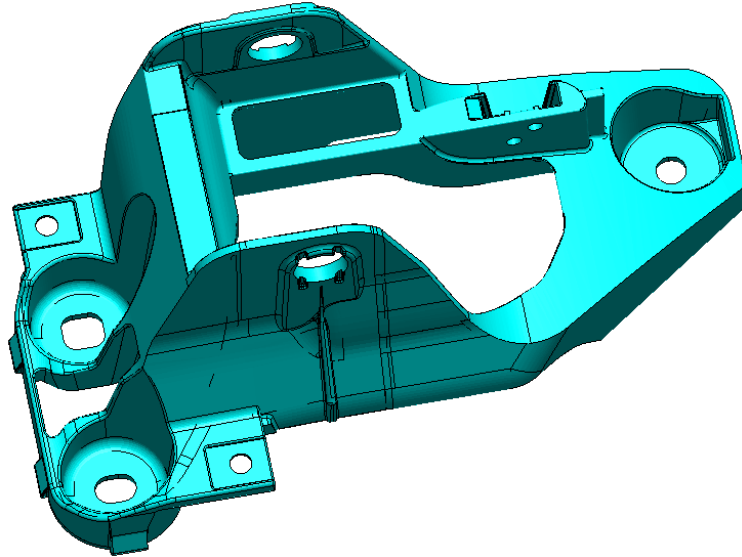


Figura 4.3 Base del model inicial

Per la seva banda, el braç de palanca presenta un disseny descentrat la qual cosa fa pensar que la versió per conducció dreta d'aquest vehicle faria servir una geometria completament simètrica a la mostrada a la Figura 4.2. La zona de l'empunyadura, també coneguda com a canya, consisteix en una secció tubular unida a l'àrea de rotació, en forma de rodet, mitjançant una sèrie de nervis disposats de manera radial al voltant d'aquest últim per tal de reforçar la zona.

En aquest component, els espessors generals utilitzats es troben entre 2,5 i 3mm. També es poden trobar algunes zones intermèdies amb espessors de 2mm i de manera homòloga a la base, en aquelles zones amb major sol·licitació, s'utilitzen gruixos de 4 i fins i tot 4,5mm. Es el cas dels nervis de la zona del carret.

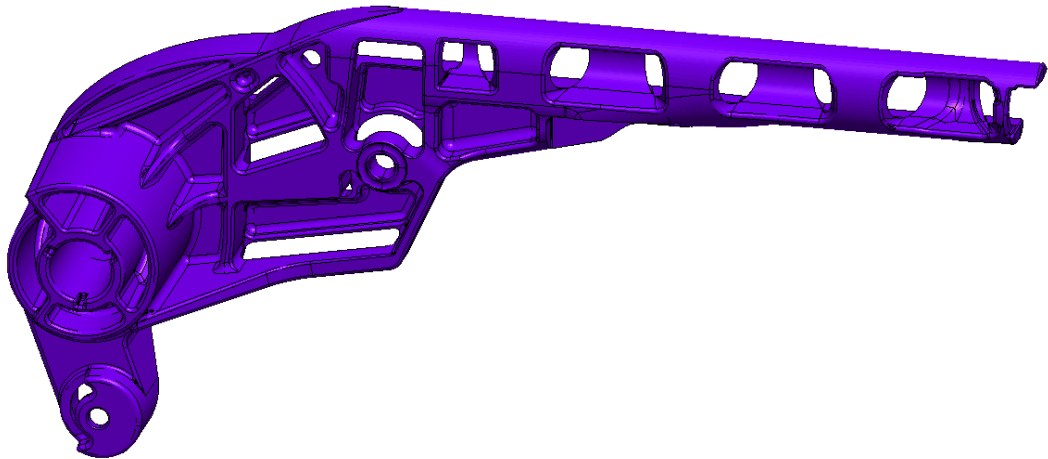


Figura 4.4 Braç de palanca del model base

Les dues peces presenten un disseny bastant optimitzat i enfocat a simplificar el motlle utilitzat per la seva fabricació mitjançant injecció per pressió. Així doncs, en aquestes peces s'intenten evitar aquelles geometries per les que es requereixi una zona d'exclusiu desmoldeig. D'altra banda, l'acabat d'algunes zones es requereix un posterior mecanitzat que encareix el preu unitari de la peça.

L'aliatge de magnesi utilitzat a les peces estructurals d'aquest model és el MC21120 donat que és un dels més utilitzats al sector de l'automoció. Es tracta d'un material injectable i que després del seu processament, presenta les següents característiques teòriques segons la normativa vigent a Europa:

Densitat (g/cm ³)	Resistència a tracció (MPa)	Límit elàstic al 0,2% (MPa)	Allargament (%)	Mòdul elàstic (GPa)
1,74	200-260	140-170	1-6	45

Taula 4.2 Característiques mecàniques de l'aliatge de magnesi moldejat per pressió. Font: Elaboració pròpia + "EN-1753. Magnesio y aleaciones de magnesio. Lingotes y piezas moldeadas de aleaciones de magnesio"

4.1.2 Sistema de bloqueig/desbloqueig

El fre de mà incorpora també un sistema de bloqueig i de desbloqueig. Tot i que, no es té en compte a l'hora de realitzar les simulacions, ja que en aquest cas no té cap funció estructural.

Els components principals que formen aquest sistema són: varilla, serreta, trinquet, molla i dues anelles per eliminar joc.

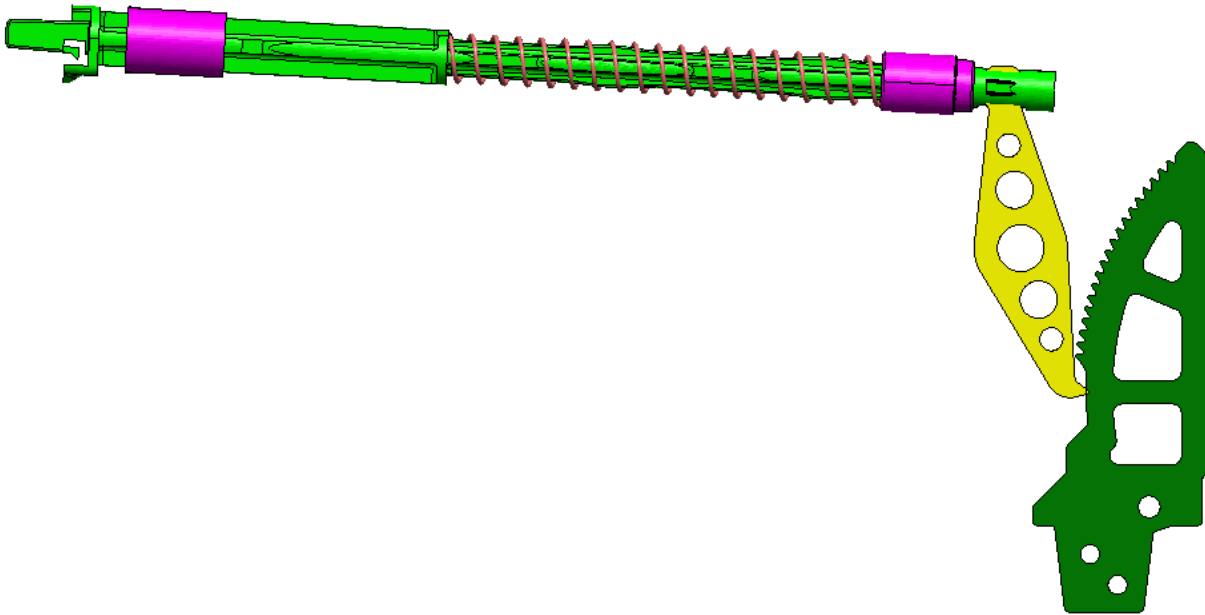


Figura 4.5 Vista lateral del sistema de bloqueig/desbloqueig

La varilla és l'element que transmet el moviment de desbloqueig del botó al trinquet. Està feta en Polipropilè reforçat amb el 20% de fibra de vidre per tal de dotar-la de resistència als esforços.

La serreta i el trinquet són els encarregats de proveir el fre de mà de la funció de bloqueig i, per tant, de mantenir el vehicle frenat quan l'usuari final l'abandona. Es fabriquen per estampació en acer al carboni mitjançant la tècnica del tall fi i s'endureixen mitjançant tractament tèrmic fins a obtenir la duresa superficial necessària.

La molla és un element flexible que ajuda, d'una banda a obtenir una sensació de pulsació i retorn agradables pel botó i, d'altra banda a mantenir els elements de bloqueig (serreta i trinquet) en posició d'engranatge complet.

Les anelles són fetes de Polipropilè ja que és un dels plàstics més econòmics. Aquestes peces són fixades al braç de palanca i serveixen per eliminar el joc radial de la varilla al llarg del seu moviment i així evitar possibles sorolls per vibració no desitjats.

4.1.3 Sistema de tracció i peces d'estil

El sistema de tracció està format per una varilla rígida, un equalitzador i una femella de regulació. La funció principal d'aquest sistema és la de transmetre la força i la cursa de frenada a les rodes posteriors del vehicle.



Figura 4.6 Vista explosionada dels components del sistema de tracció

Quant a les peces d'estil, es consideren les següents: botó i empenyadura (també coneguda com a *grip* degut a la denominació en anglès). La funció única d'aquest dos components és ornamental i per tant han de presentar certa harmonia amb el disseny de l'interior del vehicle.

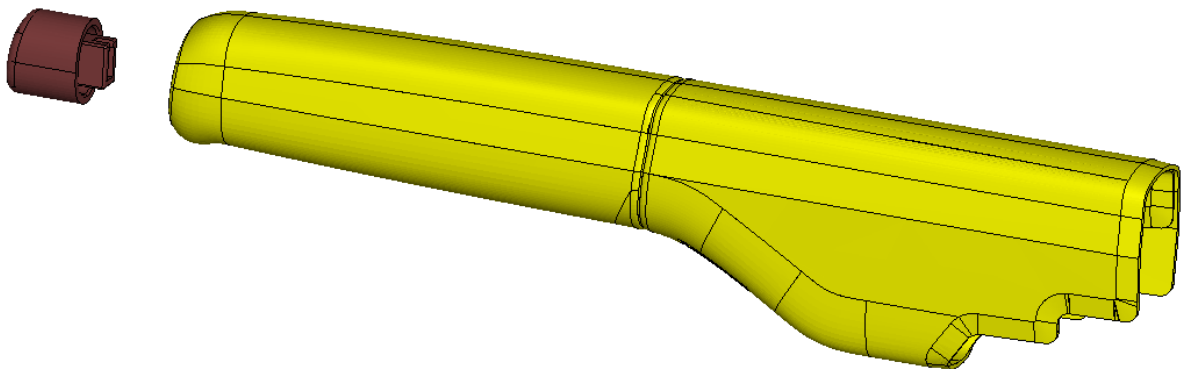


Figura 4.7 Vista explosionada de les peces d'estil

Donat que la intenció d'aquest projecte és la de crear una versió més optimitzada de fre de mà que sigui totalment intercanviable pel model existent al vehicle, no es contempla l'opció de modificar cap d'aquests dos grups de components.

D'una banda, el sistema de tracció és la part del fre de mà que té interfície amb la resta de components del sistema secundari de frenada. Per tant no s'ha de modificar si no es vol impactar en la resta de components del vehicle o en el comportament del mateix.

D'altra banda, les peces d'estil són visibles des de la posició de l'usuari final del vehicle per tant es mantindran invariables per tots els models posteriorment presentats.

4.2 Model realitzat i criteris de disseny

En aquest apartat es descriuen tot els criteris i hipòtesis de disseny que s'han aplicat per tal de millorar i crear models equivalents i el més lleugers possibles comparats amb l'inicial.

Cal dir que tots els models que es presentaran a partir d'aquest apartat, estan pensats per l'ús de materials polimèrics i per tant es dissenyen partint des de zero i no modificant la geometria inicial.

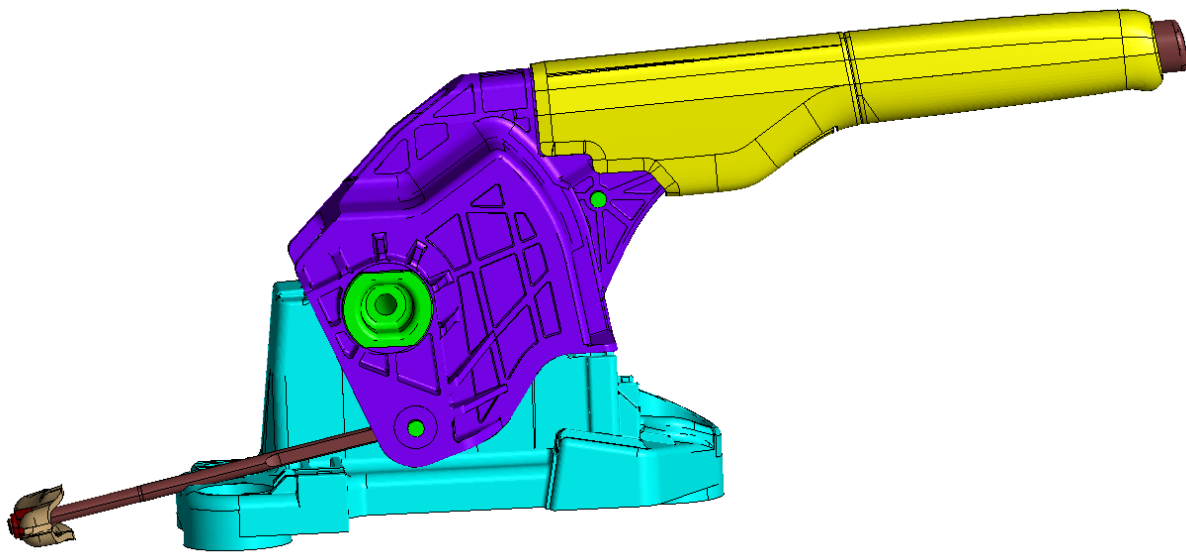


Figura 4.8 Vista general del disseny 3D realitzat (models 2 i 3)

Aquesta estratègia respon al fet que el magnesi (material utilitzat en el model inicial) és un dels metalls més lleugers que existeixen dins dels considerats com fàcils de processar. Així doncs, és pràcticament impossible reduir el pes del producte utilitzant metalls. En canvi, entre els polímers, tal i com es veurà més endavant, es poden trobar opcions que possibiliten assolir l'objectiu principal.

Per tot això, s'ha decidit separar la informació d'aquest apartat en dos blocs: geometria i materials.

4.2.1 Geometria

Des del punt de vista del disseny en tres dimensions, s'ha treballat principalment en els dos components més importants: la base i el braç de palanca.

Així doncs, la resta de components han estat adaptats a l'espai disponible després del redisseny tot procurant assegurar la simplificació i l'optimització de material, mantenint totes les funcions del producte totalment equivalents.

A continuació s'exposaran els criteris utilitzats per la realització de la nova geometria dels components que formen el nou model.

Braç de palanca

Per aquest component, s'ha mantingut la idea d'una secció tubular per la zona de l'empunyadura però aquesta vegada s'ha decidit aprofitar la geometria interior de l'empunyadura existent per a realitzar la superfície exterior del braç de la palanca.

Així doncs, la cara exterior de la canya del braç de palanca té la forma idèntica de l'interior de l'empunyadura. D'aquesta manera s'aconsegueix millorar la retenció del *grip* i s'evita la rotació del mateix causada per un ús incorrecte de l'usuari final.

Aquesta retenció consisteix en 3 nervis longitudinals a la part superior i 2 més a la part inferior que impedeixen la rotació relativa entre grip i braç de palanca (veure Figura 4.9).

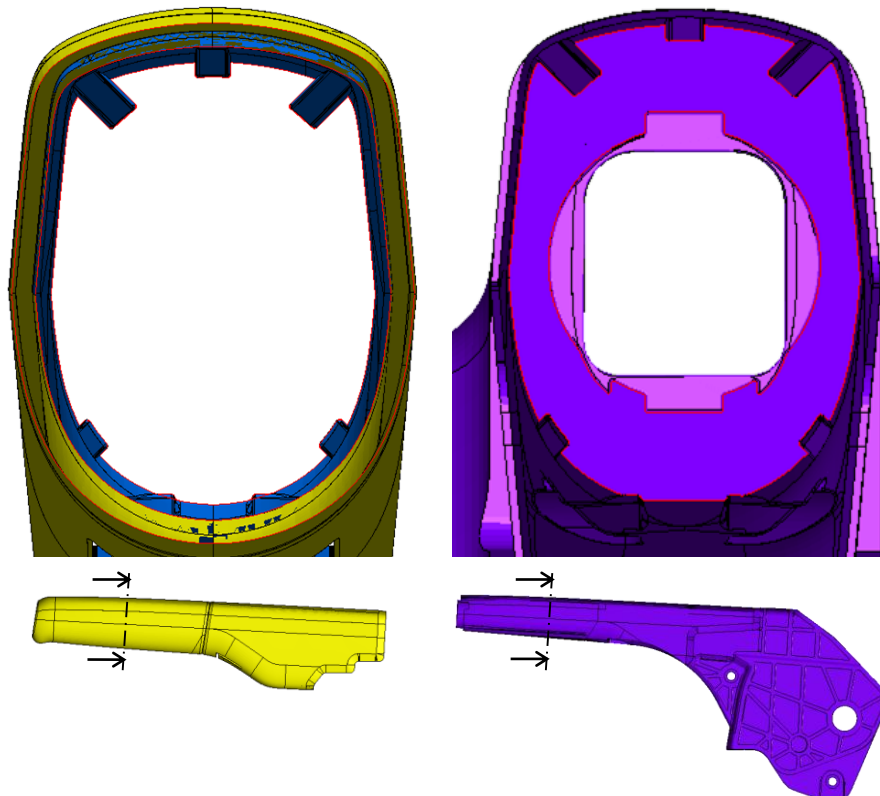


Figura 4.9 Vistes de secció frontal d'empunyadura i braç de palanca respectivament

A més, en el braç de palanca, s'ha incorporat l'allotjament per 2 pestanyes situades també a la part inferior més allunyada del botó així com 2 topalls que fan contacte amb l'empunyadura a la zona del botó (veure Figura 4.10). D'aquesta manera, es limita el moviment longitudinal de la peça cosmètica, eliminant també la possibilitat d'arrencament de la mateixa.

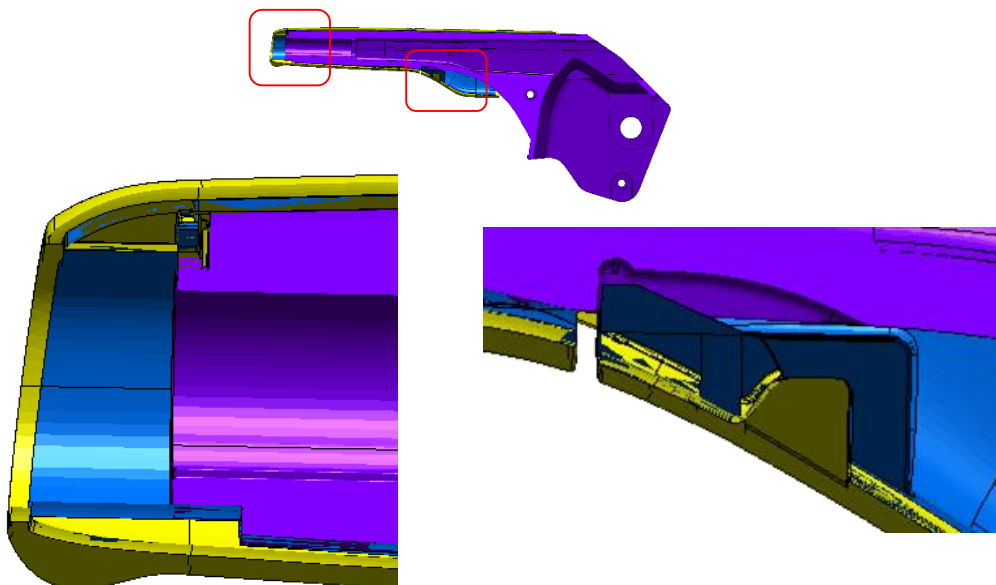


Figura 4.10 Vista de secció longitudinal d'empunyadura i braç de palanca

A diferència del model inicial, en aquesta versió de plàstic, s'ha optat per canviar totalment el disseny de la canya i cobrir els buidats alternatius existents per tal de dotar el model de més resistència.

A més, s'ha modificat també l'àrea del rodet substituint-les per dues parets laterals. D'aquesta manera, el braç de palanca se subjecta per les cares exteriors de la base a diferència del model inicial on eren les cares laterals de la base les que subjectaven el braç de palanca (veure la Figura 4.11). A les cares exteriors d'ambdues parets laterals s'han inclòs una sèrie de nervis d'1,5mm d'alçada per tal d'incrementar la rigidesa de les mateixes.

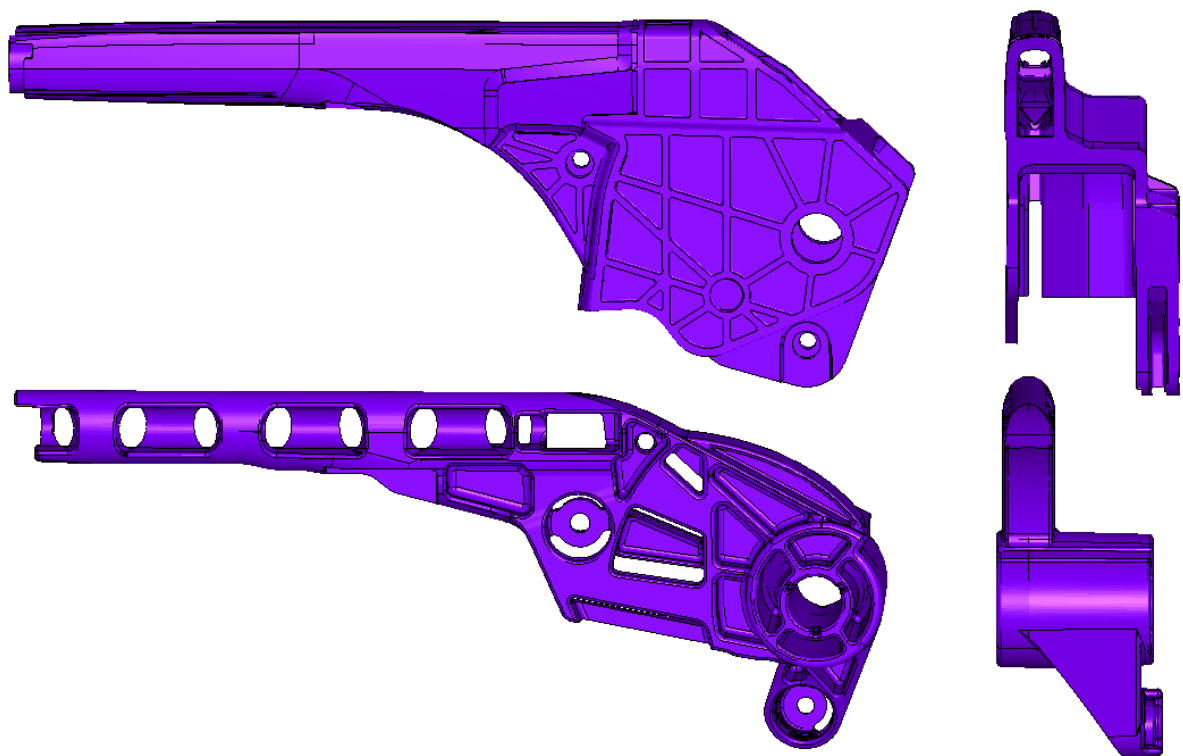


Figura 4.11 Vista de perfil i part posterior del braç pels models realitzat i inicial

Quant a la fixació del sistema de tracció, s'han conservat les mateixes coordenades del punt de pivotament del sistema, aprofitant una de les cares laterals dissenyades per tal d'incorporar aquesta fixació.

Els espessors generals utilitzats, d'igual forma que al model inicial, són variables al llarg de la peça. Així doncs, a les cares laterals de la zona de rotació s'han utilitzat 3mm de material encara que a la cara superior d'aquesta mateixa zona, el gruix és de 4,5mm. A aquest mateix espessor s'utilitza també per reforçar l'àrea del voltant de la fixació del sistema de tracció. En

canvi, a la zona de la canya, s'ha optat per optimitzar la quantitat de material i utilitzar espessor progressiu des de 2mm a la punta fins a 3,5mm a la unió amb la resta de la peça.

Base

Pel disseny d'aquest component, s'ha partit de la posició dels tres punts de fixació la qual s'han mantingut invariable. Amb el material disposat al voltant d'aquests tres punts s'ha format una geometria rectangular sobre la qual se sustentarà la resta de zones del component.

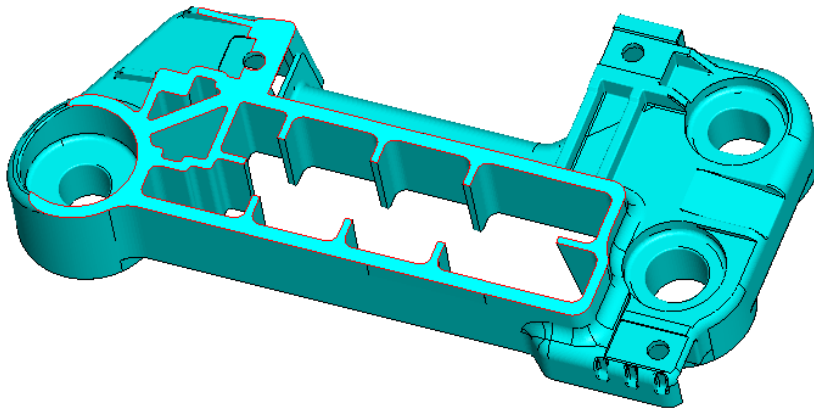


Figura 4.12 Vista de secció de la base per un pla paral·lel a terra

Tal i com s'ha mencionat pel component anterior, el disseny de la base d'aquest model es contraposa totalment al del model inicial ja que treballa per la part interior del braç de palanca i no per l'exterior (veure la Figura 4.14). Per tant, a partir de la base rectangular s'aixequen les cares laterals que van a buscar la zona de l'eix de rotació. Un cop amb aquesta estructura exterior, es reforça tota la part interior amb una disposició de nervis tant longitudinalment com transversalment.

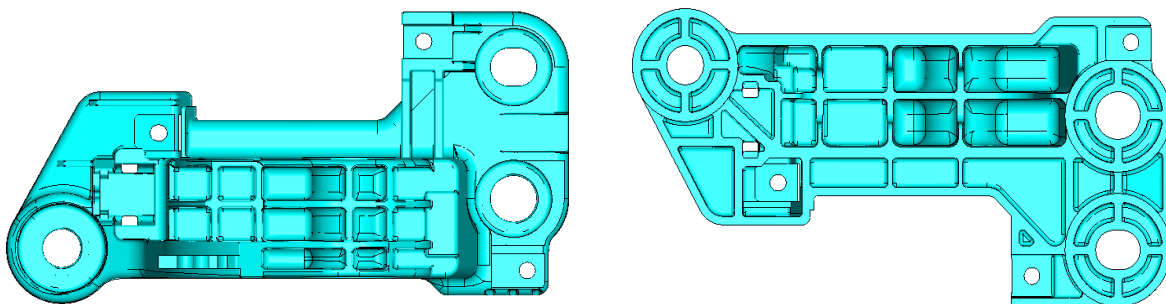


Figura 4.13 Vista superior (esquerra) i vista inferior (dreta) de la base

En quant a espessors de material, per aquest component s'han utilitzat també diferents espessors. 2,5mm pels nervis que formen part del reforç inferior i superior. 3mm pel material que forma la geometria rectangular que conté els punts de fixació així com a la paret de darrera i frontal. I, finalment, 4mm per les parets laterals que formen les cares exteriors de la peça.

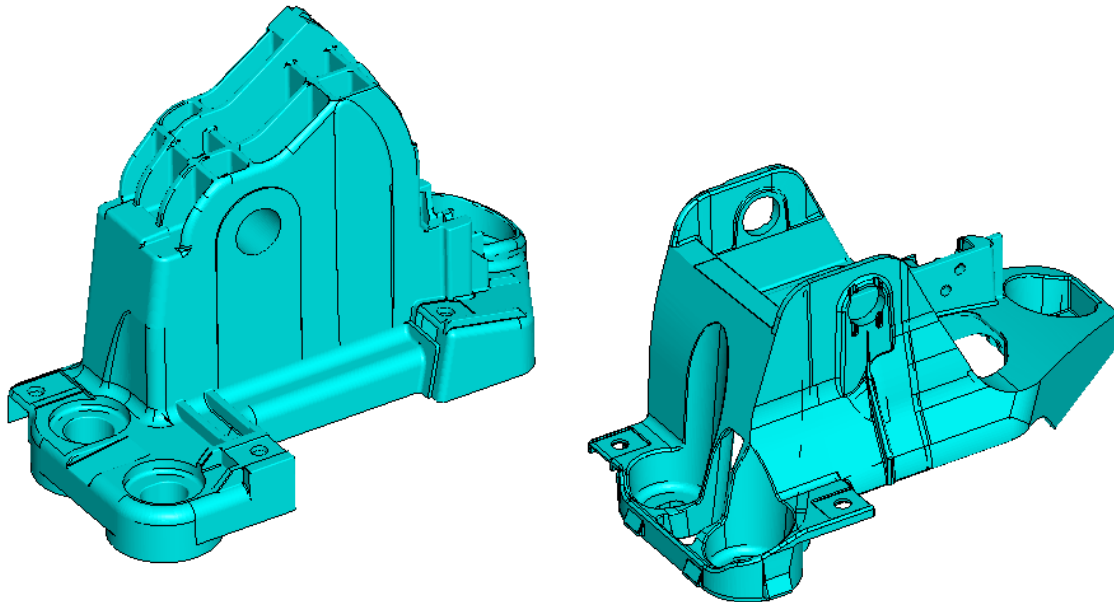


Figura 4.14 Vista en perspectiva de la base pels models realitzat i inicial

Sistema de bloqueig/desbloqueig

El sistema de bloqueig i de desbloqueig dissenyat presenta dues principals millores comparat amb el del model inicial.

La primera millora consisteix en el fet que la serreta és sobre-injectada dins de la base. Per tant, al procés d'assemblatge del conjunt s'està estalviant l'operació de premsat dels rivets que uneixen la serreta a la base. D'aquesta manera, els dos components serien fabricats com un sol subconjunt, sent la serreta inserida dins del motlle de la base just abans de cada injectada del plàstic.

Així doncs, amb l'objectiu de garantir la suficient retenció de la serreta dins del subconjunt, s'ha dissenyat una geometria dentada de manera que els esforços aplicats a la serreta siguin transmesos el més uniformement possible a la base. També s'han realitzat uns forats de buidat a la serreta per tal d'alleugerar el component al màxim possible sense debilitar-la.

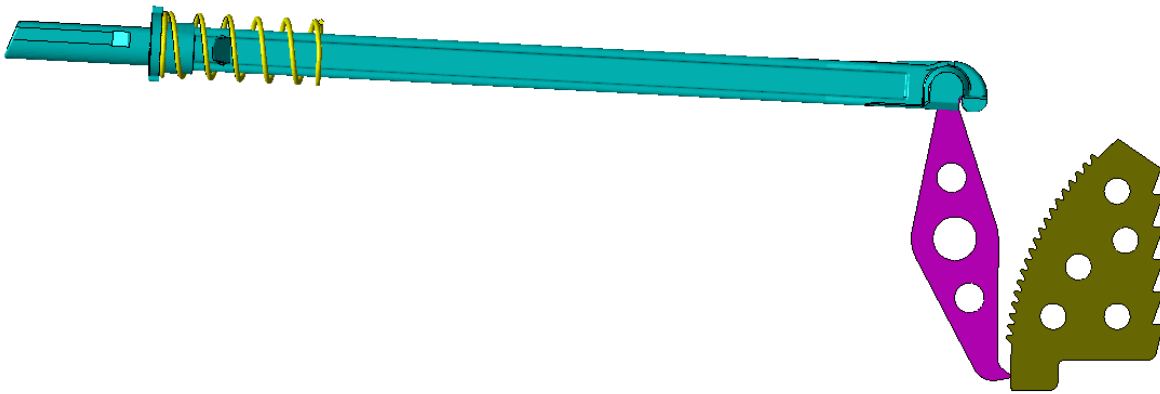


Figura 4.15 Vista general del sistema de bloqueig/desbloqueig dissenyat per aquest model

La segona millora és la d'haver eliminat les anelles de polipropilè utilitzades al model base. La funció de guiatge es fa amb una geometria directament incorporada a la varilla per tal d'evitar el moviment radial d'aquesta (veure Figura 4.16).

Així doncs, aquesta geometria mencionada és retinguda per la part interior del braç de palanca de manera que a l'usuari final se li dificulta la possibilitat d'introduir moviment de torsió a la varilla a través del botó i fer fallar el sistema. També s'evita d'aquesta manera que les vibracions provoquin sorolls no desitjats causats pel joc entre varilla i braç.

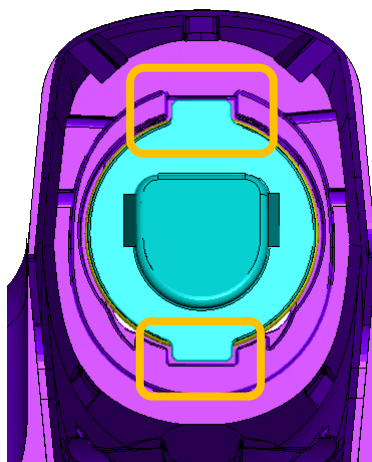


Figura 4.16 Vista frontal. Contacte entre varilla i braç de palanca per limitar el moviment relatiu

Adicionalment, s'han modificat les dimensions de la molla per tal d'adaptar-la a les noves dimensions del seu allotjament.

Amb totes aquestes millores, s'ha aconseguit reduir el pes total d'aquest sub-sistema de 328g al model inicial fins a 281g en aquest model realitzat.

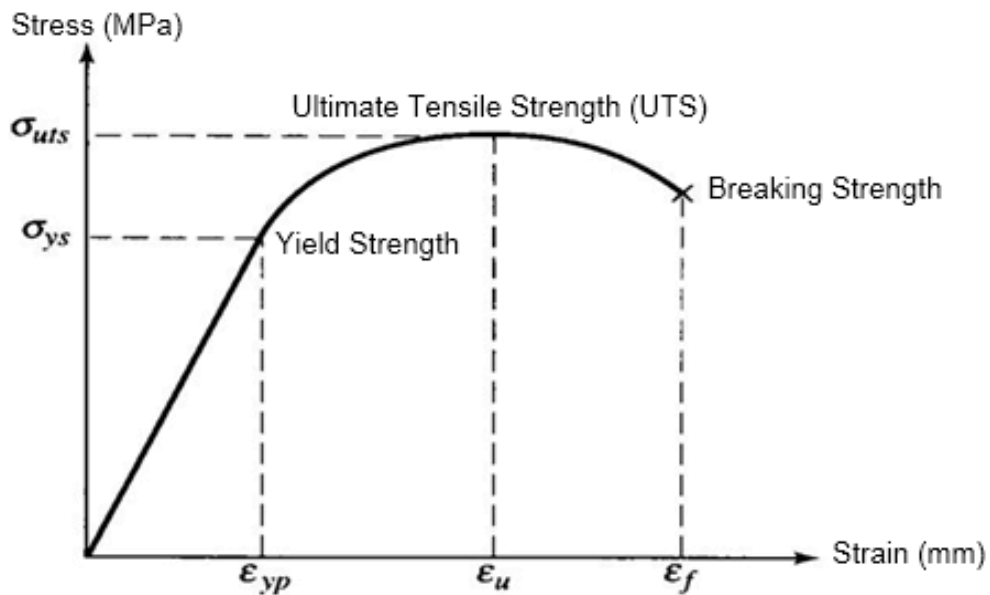
4.2.2 Materials

L'elecció dels materials és complexa degut a la gran varietat d'aquests i podria ser objecte d'un projecte només dedicat a aquest tema. A més, tal i com s'ha explicat en apartats anteriors, el model realitzat ha estat dissenyat per utilitzar materials polimèrics i, per tant, queden descartats els metalls. Per això s'han fet servir, especialment per la base i el braç de palanca, criteris generals enfocats a optimitzar el procés de fabricació per a la injecció de polímers (per exemple espessors i angles de desmoldeig).

Com que l'objectiu principal d'aquest projecte és el de reduir el pes total del sistema, s'ha escollit la família de les poliamides ja que, dins dels materials polimèrics, són les que presenten un rang de valors de mòdul d'elasticitat (o mòdul de Young) més elevat i per tant permeten utilitzar una menor quantitat de material a igualtat de sol·licitació. És a dir, que presenten, en general, menys deformacions davant una mateixa tensió aplicada.

Dins d'aquesta família, s'ha decidit l'estudi de dos materials en concret: la Poliamida 6-6 (PA66) i la Poliamida 12 (PA12) totes dues sempre reforçades amb fibres per tal d'augmentar la seva rigidesa i resistència. Així doncs, s'ha decidit utilitzar d'una banda, la Poliamida 6-6 reforçada amb un 50% de fibra de vidre (PA66-50GF segons la ISO 1043-1 [4] i la ISO 1043-2 [5]) ja que és un dels materials més utilitzats a la indústria de l'automòbil. Això es deu al fet que presenta una més que acceptable relació Densitat-Resistència a tracció (veure Taula 4.3) i per tant té un cost baix.

En canvi, la Poliamida 12 reforçada amb un 30% de fibra de carboni llarga (PA12-30LCF segons la ISO 1043-1/2), té una densitat molt baixa i un valor de Resistència a tracció molt elevat. Això fa que el seu cost sigui elevat però permet alhora un marge d'optimització més gran en comparació amb la PA66-50GF i per tant possibilita la utilització d'una menor quantitat de material.



Gràfic 4.1 Corba tensió deformació d'un material genèric

A continuació es resumeix en una taula les principals propietats físiques i mecàniques a 23°C dels dos materials polimèrics escollits (veure annex A amb les taules de totes les propietats d'aquests dos materials):

Propietats físiques i mecàniques	Materials polimèrics	
	PA66-50GF	PA12-30LCF
Densitat (g/cm ³)	1,57	1,15
Resistència a tracció (MPa)	190	250
Mòdul elàstic (GPa)	13	19
Allargament (%)	3,2	1,7

Taula 4. 3 Principals propietats dels materials polimèrics escollits

Un cop aplicades les propietats dels materials escollits, les característiques principals dels models dissenyats queden de la següent forma:

<u>MODEL 2</u>	Braç de palanca	Base	Resta de components	TOTAL
Material	PA66-50GF	PA66-50GF	Diversos	-
Pes (g)	295,4	435,8	281,0	1012,2

Taula 4.4 Pesos i materials pel model 2

<u>MODEL 3</u>	Braç de palanca	Base	Resta de components	TOTAL
Material	PA12-30LCF	PA12-30LCF	Diversos	-
Pes (g)	216,4	319,2	281,0	816,6

Taula 4.5 Pesos i materials pel model 3

5. Simulacions

En el capítol anterior s'han descrit els diferents dissenys de fre de mà realitzats en aquest projecte.

Per tant, en aquest apartat s'exposa breument el procediment d'assaig que se segueix a l'hora de simular. Aquest procés s'ha dut a terme de manera comparativa, és a dir, que en tot moment es realitzen els mateixos càlculs pels tres models anteriorment exposats.

5.1 Mallat i condicions de contorn

El mallat i la introducció de les restriccions del model és el primer pas a l'hora de simular els models pel mètode dels elements finits.

Així doncs, per tal d'iniciar el procés, s'importa l'assemblatge des del software de disseny en 3D. Cal dir que només són necessaris els elements estructurals per tal de dur a terme els assajos que aquí es realitzen, és a dir, la base i el braç de palanca. A continuació es defineix el material d'aquests dos components introduint els següents valors al programa:

- Densitat
- Mòdul elàstic (mòdul de Young)
- Coeficient de Poisson
- UTS (Ultimate Tensile Strength)

Per aquest últim paràmetre, es pot introduir de diferents maneres segons la naturalesa del material a simular. Per exemple, pel model 1 els components del qual estan fets de magnesi, s'introdueixen els valors de límit elàstic i de límit plàstic mínims considerats per la normativa EN-1753 [3]. D'aquesta manera, s'assegura tenir en compte sempre el cas més desfavorable pel càlcul.

En canvi, pels models 2 i 3, on s'utilitzen materials plàstics, s'introdueixen les corbes "Stress-strain" calculades segons la normativa ISO 527-1 [6] i proporcionades pel fabricant del material en qüestió (veure annex A) mitjançant l'equació de regressió adient. Respecte a les dades del proveïdor de la matèria primera, quan es tracta de PA66 reforçada amb fibres, amb l'objectiu de considerar el cas més desfavorable, sempre es prenen els valors del material condicionat i mai en sec. Això es causat per la capacitat d'absorció d'aigua que tenen aquests materials i que pot fer variar fortament les seves propietats mecàniques. Aquest fenomen, en canvi, no

afecta a la PA12 i, per tant, es considera que pràcticament no es comet error en prendre les dades del material sec.

Cal dir que, també amb l'objectiu d'obtenir un major marge de seguretat en el disseny, es realitza la simulació en unes condicions de temperatura desfavorables. A l'automoció, per components que són muntats a l'interior de l'habitacle com és el cas del fre de mà, el valor habitual de temperatura utilitzat per assajar és de 80°C. Per tant, els paràmetres dels materials introduïts al programa són a aquesta temperatura.

Propietats físiques	Mg	PA66-50GF	PA12-30LCF
Densitat (g/cm ³)	1,74	1,57	1,15
Mòdul elàstic (GPa)	45	13	13,5
Coefficient de Poisson	0,33	0,35	0,35
Resistència a tracció (MPa)	200	115	180

Taula 5.1 Propietats dels materials a 80°C utilitzades per a la simulació

Seguidament es defineixen les connexions entre les peces que componen l'assemblatge. En el cas d'un fre de mà, principalment és necessari definir el contacte entre base i braç de palanca. Per fer-ho, s'han d'introduir elements infinitament rígids a l'interior del forat entre base i braç per poder simular el comportament del component físic anomenat també eix. Addicionalment, es deixa lliure el grau de llibertat de rotació al voltant de l'eix longitudinal del mencionat forat. D'aquesta manera base i braç poden girar lliurement al voltant d'aquests elements rígids.

A més, en funció del test a calcular, s'immobilitza també el contacte entre topalls de base i braç mitjançant un contacte entre cares de les diferents peces. Aquest contacte simplement impedeix la penetració d'un sòlid amb l'altre però permet lliscaments o rotacions si es donés el cas.



Figura 5. 1 Vista detall dels elements rígids introduïts a zona de rotació entre base i braç

A continuació, s'aplica el mallat al model de simulació. A l'hora de generar aquest mallat, s'han tingut en compte les següents consideracions generals:

- El tipus d'element escollit és de tetraedre amb 4 nodes/element ja que resulta el més adient per la geometria dels sòlids. Generalment s'escullen elements tetraèdrics (o fins i tot hexaèdrics) quan s'ha de mallar geometries més o menys regulars mentre que per peces on una de les dimensions és molt més petita que les altres dues (per exemple si s'emprés xapa d'acer) s'utilitza un element de forma més irregular com és un ortoedre.
- La mida d'element escollit és d'entre 2mm i 2,5mm. Aquest punt és important ja que una mida massa petita tindria com a conseqüència un elevat nombre de nodes fent créixer significativament el temps de càlcul. En canvi, emprar una mida d'element massa gran no ajuda a la precisió dels resultats. La decisió final és un equilibri entre temps i precisió basat en l'experiència adquirida en aquest tipus de producte.
- És necessari garantir que a les zones corbades continguin més d'un element així com aquelles zones que, per experiència, es puguin considerar de probable concentració de tensions on s'ha de procurar la homogeneïtat en la distribució dels elements. És convenient fins i tot utilitzar una mida de malla més petita així, es permet tenir un resultat més acurat.
- El rati d'aspecte dels elements és un dels indicadors de la qualitat de malla. Es calcula com el quocient entre l'alçada i la base dels triangles que formen les cares dels tetraedres que componen el mallat. Com més s'assemblen aquestes cares a triangles

equilàters, és a dir, més proper es troba el seu rati a la unitat, més qualitat es diu que posseeix el mallat. El rati màxim utilitzat en aquestes simulacions és de 3.

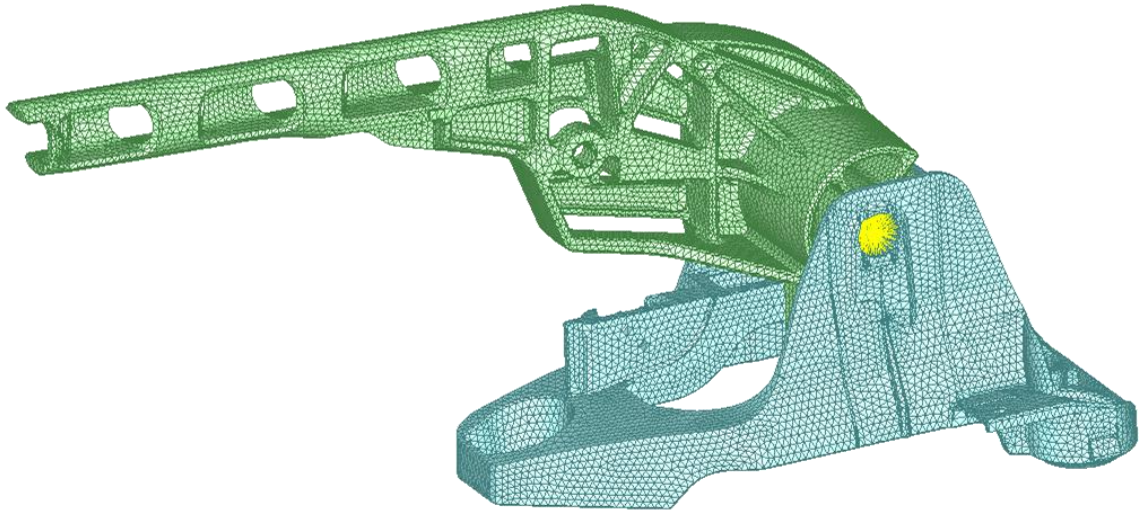


Figura 5.2 : Imatge del model 1 amb mallat i restriccions

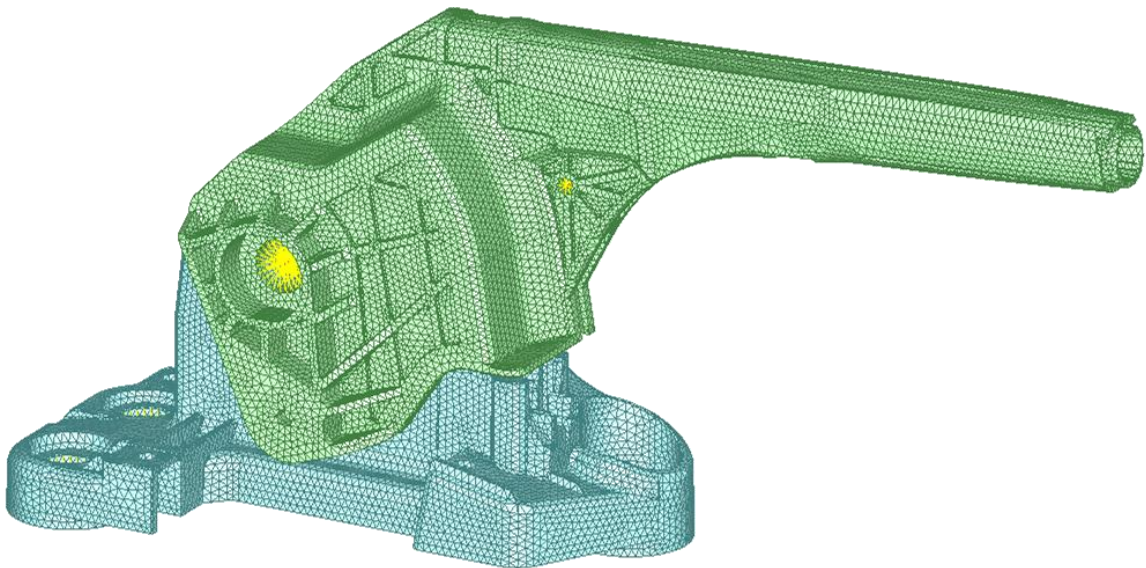


Figura 5.3 : Imatge dels models 2 i 3 amb mallat i restriccions

Finalment, cal introduir al programa les restriccions pels punts de fixació del model. En aquest aspecte, la metodologia seguida és molt similar a la utilitzada per simular l'eix de rotació. S'introdueixen elements rígids a l'interior dels forats de fixació de la base amb el vehicle i se'ls hi restringeixen les tres rotacions i les tres translacions per tal que no introdueixin desplaçaments no desitjats. No obstant, s'ha de tenir en compte que s'està considerant la

fixació al vehicle con una unió infinitament rígida, ignorant així, el parell de fixació que s'utilitza a la realitat. A conseqüència d'aquesta suposició, es provoca un augment "artificial" de tensió al voltant dels punts de fixació que cal menystenir a l'hora d'analitzar els resultats.

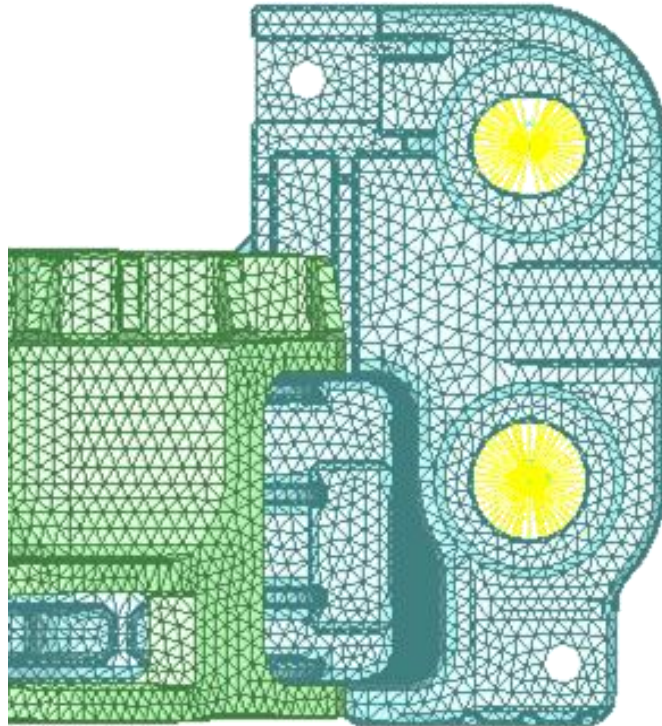


Figura 5.4 Vista detall dels elements rígids utilitzats per simular les fixacions del fre de mà al vehicle

5.2 Assajos aplicats i requeriments

Per tal de validar els diferents dissenys i, amb l'objectiu de poder considerar els models realitzats a l'alçada de les prestacions del model original, se sotmetran tots ells a una sèrie de quatre assajos extrets directament del plec de condicions proporcionat pel fabricant. Per tant, per poder afirmar que els models realitzats són totalment intercanviables pel model original a vehicle, tots ells han de complir els requeriments demanats a 80°C.

Tots els assajos consisteixen a introduir un esforç en el punt d'aplicació de forces que es troba al pla mig de l'empunyadura (a una distància de 266,3mm del centre de gir segons el fabricant) però cadascun d'ells imposa unes condicions en quant a direcció d'aplicació de l'esforç i posició de la palanca en el moment d'aplicació. Es requereix mesurar el desplaçament del punt d'aplicació i la deformació permanent patida pel mateix punt. Els detalls de cada assaig, s'exposen a continuació.

5.2.1 Esforç lateral

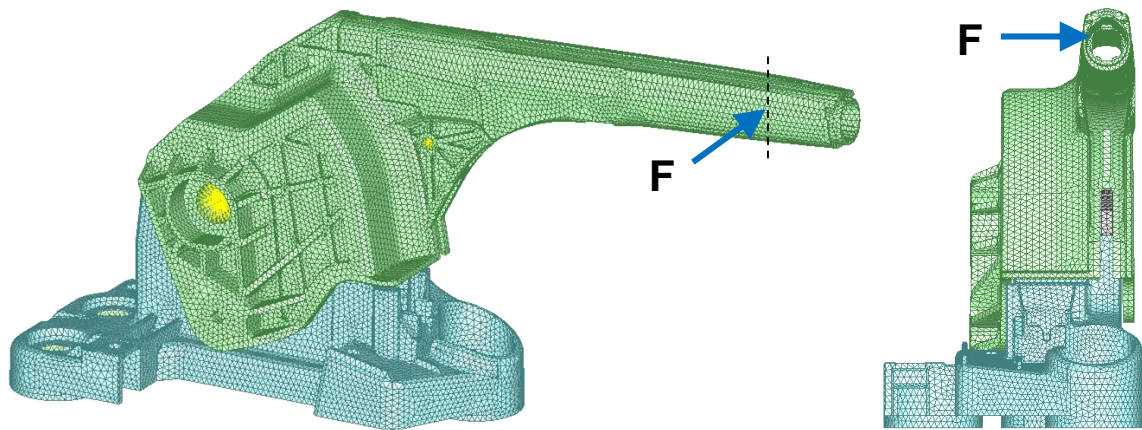


Figura 5.5 Descripció gràfica de l'aplicació de càrrega per l'assaig d'Esforç lateral

F (N)	Posició palanca	Desplaçament MAX (mm)	Def. permanent MAX (mm)
400	Inferior	25	1

Taula 5.2 Condicions de l'assaig d'Esforç lateral

5.2.2 Esforç inclinat

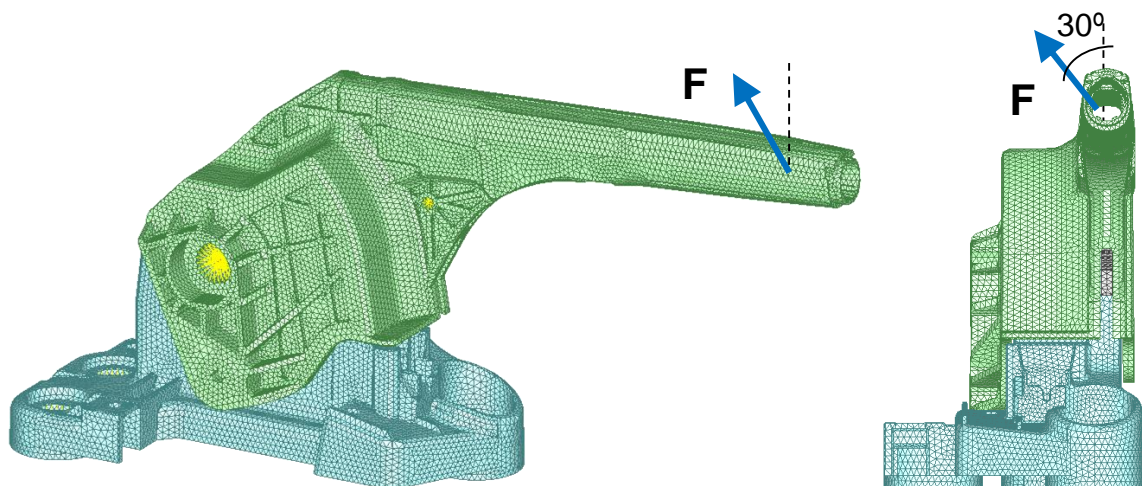


Figura 5.6 Descripció gràfica de l'aplicació de càrrega per l'assaig d'Esforç inclinat

F (N)	Posició palanca	Desplaçament MAX (mm)	Def. permanent MAX (mm)
600	Inferior	18	1

Taula 5.3 Condicions de l'assaig d'Esforç inclinat

5.2.3 Esforç tangencial a compressió

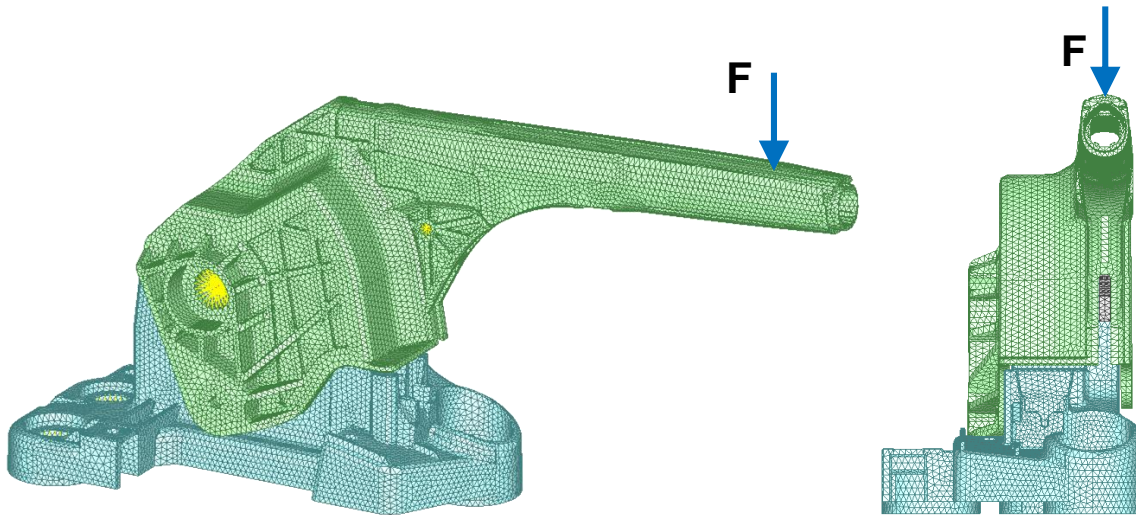


Figura 5.7 Descripció gràfica de l'aplicació de càrrega per l'assaig d'Esforç tangencial a compressió

F (N)	Posició palanca	Desplaçament MAX (mm)	Def. permanent MAX (mm)
800	Inferior	20	2

Taula 5.4 Condicions de l'assaig d'Esforç tangencial a compressió

5.2.4 Esforç tangencial a tracció

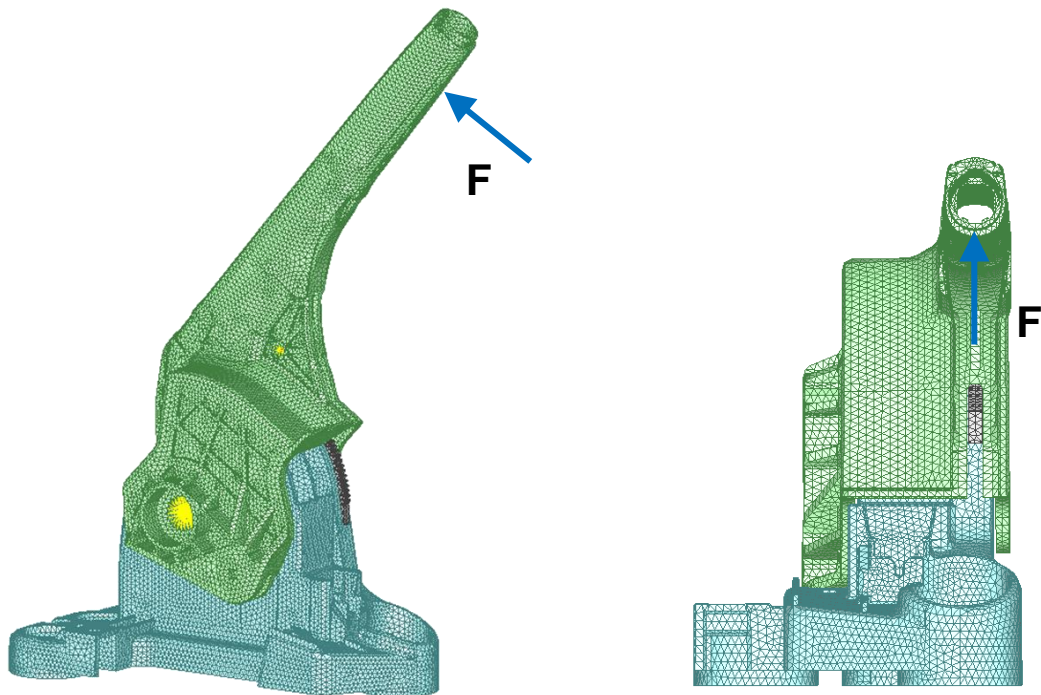


Figura 5.8 Descripció gràfica de l'aplicació de càrrega per l'assaig d'Esforç tangencial a tracció

F (N)	Posició palanca	Desplaçament MAX (mm)	Def. permanent MAX (mm)
800	Superior	20	2

Taula 5.5 Condicions de l'assaig d'Esforç tangencial a tracció

5.3 Anàlisi de resultats

Les eines que s'utilitzen per fer una revisió dels principals resultats obtinguts de les simulacions són les següents:

- Mapa de tensions equivalent de Von Mises: Aquest gràfic permet veure quina és la concentració de tensions acumulada al fre de mà. Resulta útil per les sol·licitacions de cada zona del conjunts i components.
- Desplaçament i deformació total: S'han extret els mapes que permeten visualitzar gràficament les deformacions assolides per cada zona del fre de mà. No obstant, els resultats visuals no aporten gaire informació ja que són pràcticament idèntics entre ells (el punt d'introducció de la càrrega és sempre el mateix) i els resultats s'expressen de forma numèrica mitjançant taules.

- Tensions màximes: Amb els valors obtinguts es determinen els coeficients de seguretat obtinguts a cada disseny; és a dir, el ràtio entre l'UTS explicat anteriorment i la tensió màxima que pateix cada punt del fre de mà. Cal dir que segons l'experiència dels experts en aquest producte, convé treballar amb coeficients de seguretat mínims d'1,2 en quant a la tensió suportada pel disseny.

A continuació, es veuran els principals resultats obtinguts de les simulacions. A l'annex B es poden consultar la resta de mapes de Von Misses així com totes les mesures per cada assaig dut a terme.

5.3.1 Esforç lateral

Els resultats obtinguts en aquest assaig es recullen a la següent taula:

ESFORÇ LATERAL				
Model	Tensió màxima (MPa)		Desplaçament (mm)	Deformació permanent (mm)
	Base	Braç		
1	75	142	12,2	0,1
2	50	92	24,6	0,5
3	35	123	15,8	0,2

Taula 5.6 Resultats obtinguts pels 3 models a l'assaig d'Esforç lateral

Tal i com es pot observar a la Taula 5.6, el model 1 suporta una tensió màxima més elevada que els dos dissenyats. En canvi, els models 2 i 3 presenten desplaçaments majors, fins el punt que un d'ells es troba al límit de l'especificació requerida pel fabricant del vehicle.

Per tots tres models és prou clar que el component més sol·licitat és el braç de palanca (veure Figura 5.9, Figura 5.10 i Figura 5.11). Això és degut a que l'aplicació de la força de manera

lateral, genera un moment que fa que es concentrin tensions a la zona que uneix la canya amb el carret.

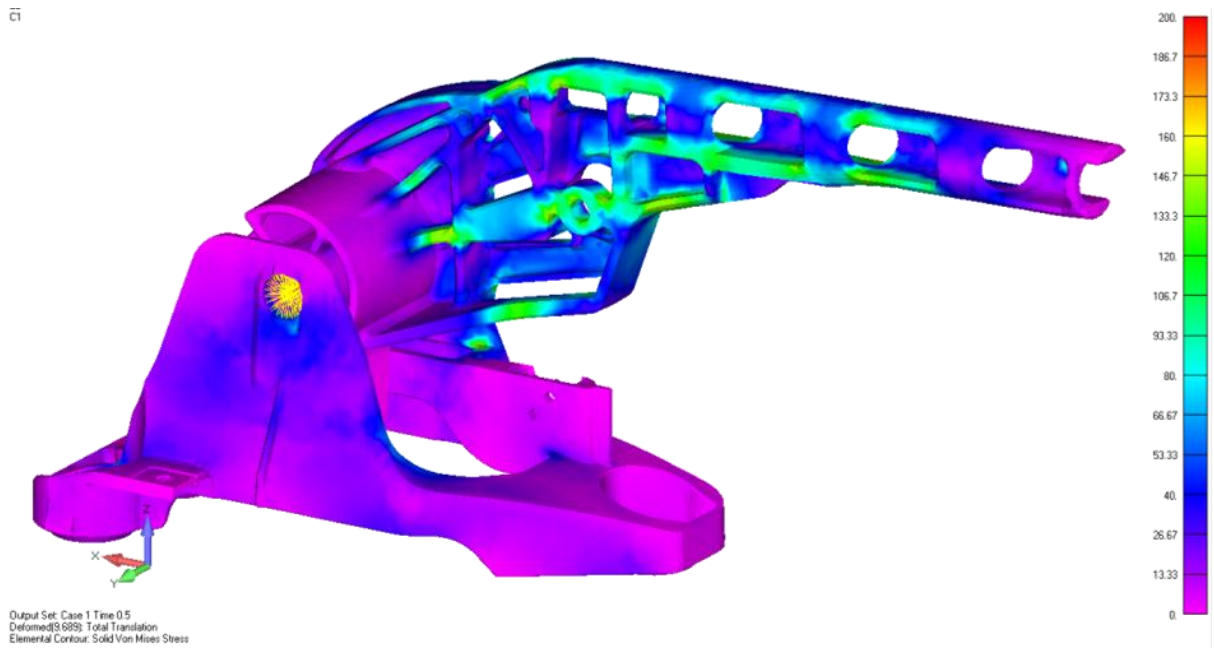


Figura 5.9 Mapa de tensions de Von Misses pel model 1 i assaig d'Esforç lateral

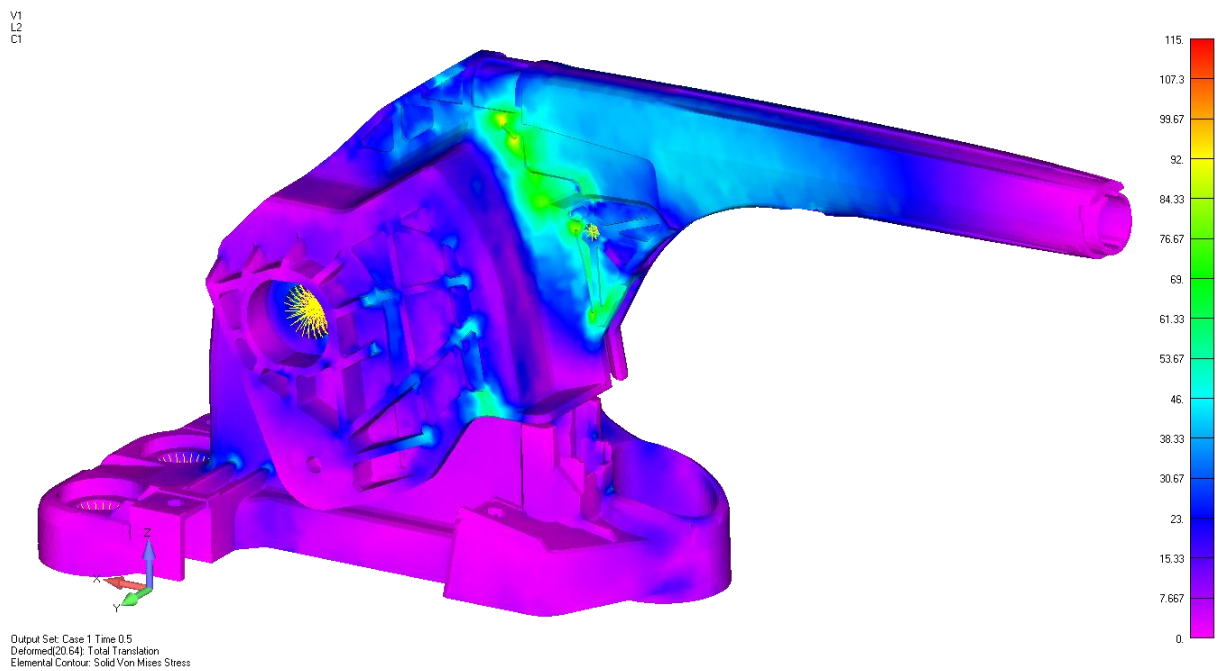


Figura 5.10 Mapa de tensions de Von Misses pel model 2 i assaig d'Esforç lateral

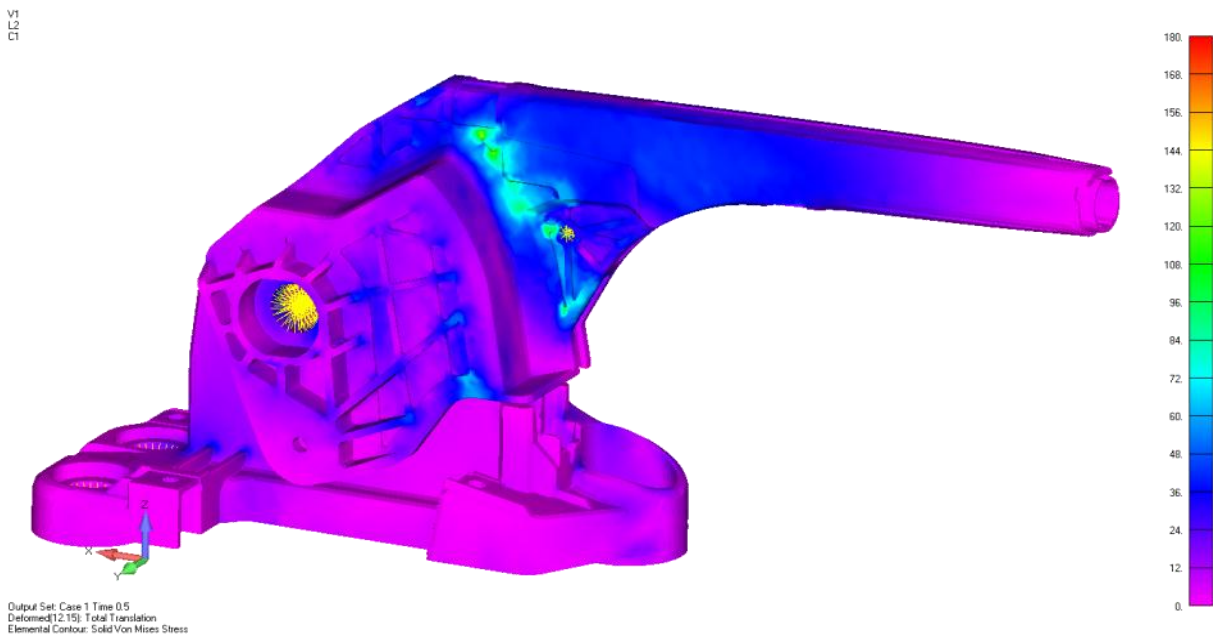


Figura 5.11 Mapa de tensions de Von Misses pel model 3 i assaig d'Esforç lateral

No obstant, tots tres models presenten coeficients de seguretat vàlids calculats amb les tensions màximes del component més sol·licitat de cadascun. Els desplaçaments i les deformacions plàstiques també es troben segons especificació per aquest test a la totalitat dels dissenys.

5.3.2 Esforç inclinat

Els resultats obtinguts en aquest assaig es recullen a la següent taula:

ESFORÇ INCLINAT				
Model	Tensió màxima (MPa)		Desplaçament (mm)	Deformació permanent (mm)
	Base	Braç		
1	139	114	9,8	0,1
2	33	63	17,1	0,8
3	34	70	13,8	0,3

Taula 5.7 Resultats obtinguts pels 3 models a l'assaig d'Esforç inclinat

En aquest assaig també és el model 1 el que suporta tensions més elevades en comparació als altres dos. Pels desplaçaments i les deformacions, també es repeteix el comportament: el model 2 és molt a prop del límit especificat pel fabricant mentre que, el model 3 es troba a una zona confortable.

En aquest cas, el component més sol·licitat és el braç pels models 2 i 3 (la tensió màxima identificada es troba al voltant del doble que la de la base). En canvi, com s'observa a la Figura 5.12, el model 1 presenta una zona de concentració de tensions força elevada que fa pensar que la mida de la secció de material en aquella zona s'hauria d'incrementar.

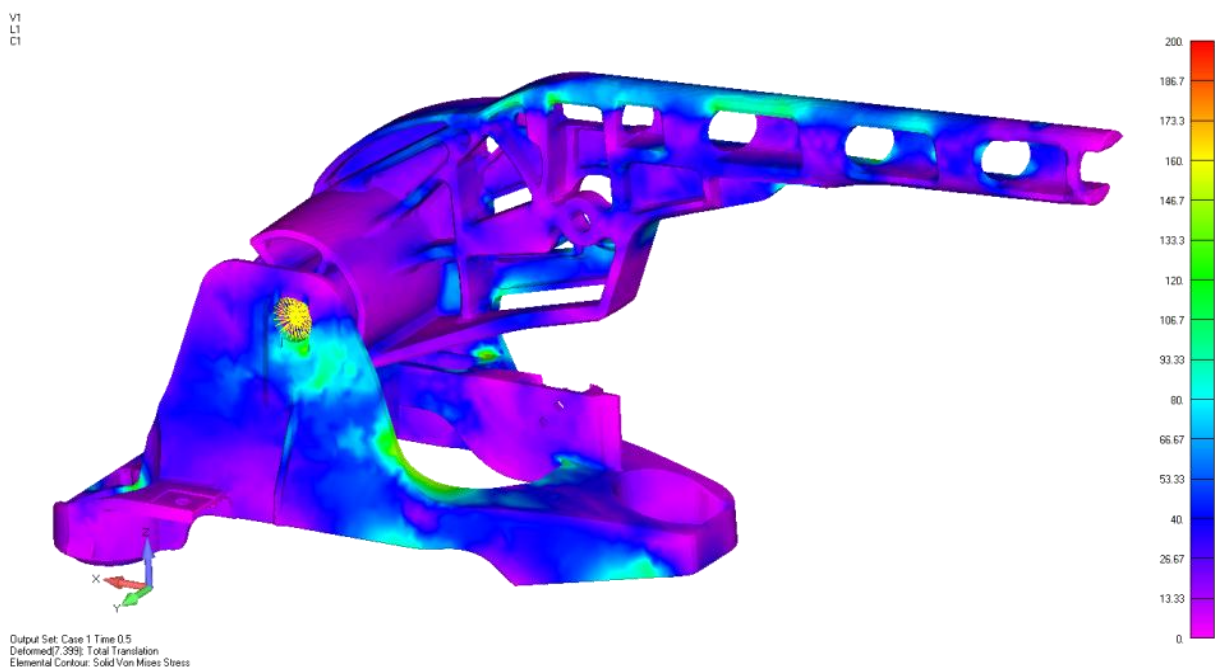


Figura 5.12 Mapa de tensions de Von Misses pel model 1 i assaig d'Esforç inclinat

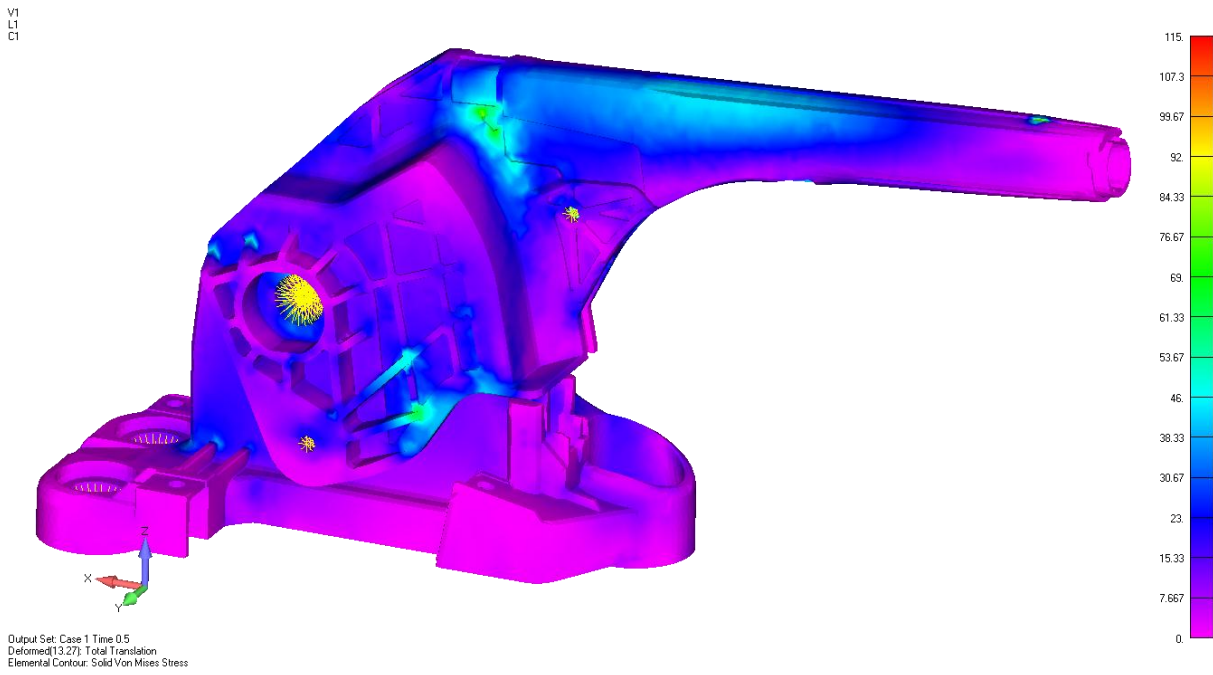


Figura 5.13 Mapa de tensions de Von Mises pel model 2 i assaig d'Esforç inclinat

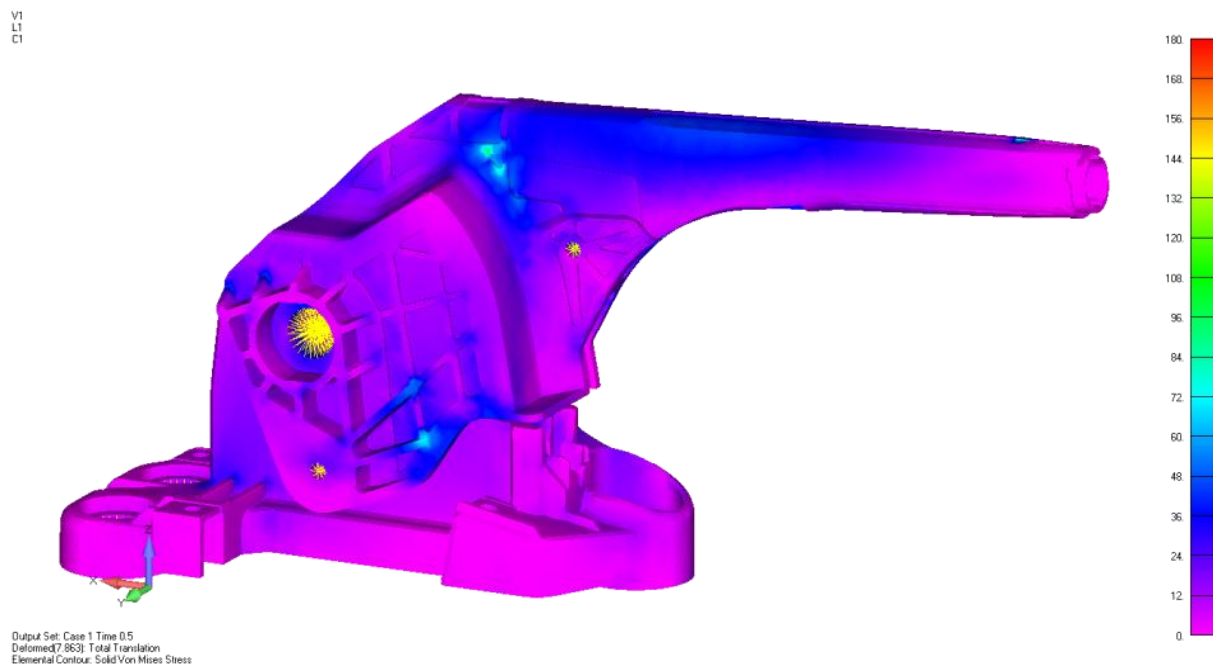


Figura 5.14 Mapa de tensions de Von Mises pel model 3 i assaig d'Esforç inclinat

En aquest assaig, tots tres model compleixen també els requeriments tant a nivell d'esforços com de deformacions obtingudes.

5.3.3 Esforç tangencial a compressió

Els resultats obtinguts en aquest assaig es recullen a la següent taula:

ESFORÇ TANGENCIAL A COMPRESSIÓ				
Model	Tensió màxima (MPa)		Desplaçament (mm)	Deformació permanent (mm)
	Base	Braç		
1	153	107	10,3	0,3
2	31	77	18,2	1,1
3	26	98	11,2	0,5

Taula 5. 8 Resultats obtinguts pels 3 models a l'assaig d'Esforç tangencial a compressió

Una vegada més el model 1 presenta un nivell més alt de tensions que els altres dos, tot i que, en aquest assaig, el model 3 suporta també al voltant de 100 MPa al braç de palanca.

A més, el model 2 també es troba al límit de desplaçaments. En aquest sentit, és destacable també que, per aquest assaig, les diferències entre el model 1 i el 3 són menys significatives.

Tal i com succeïa a l'assaig anterior, pels models 2 i 3 el component més sol·licitat és el braç però no així pel model 1 on la base està sotmesa a un nivell de tensions considerat alt.

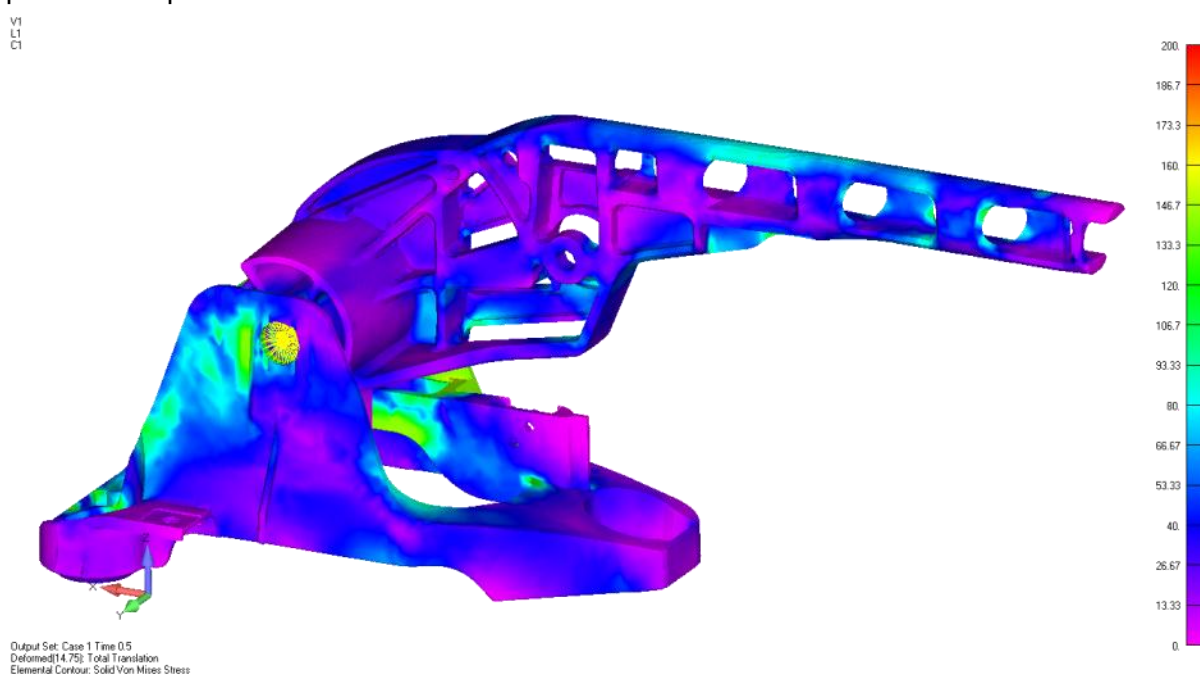


Figura 5.15 Mapa de tensions de Von Mises pel model 1 i assaig d'Esforç tangencial a compressió

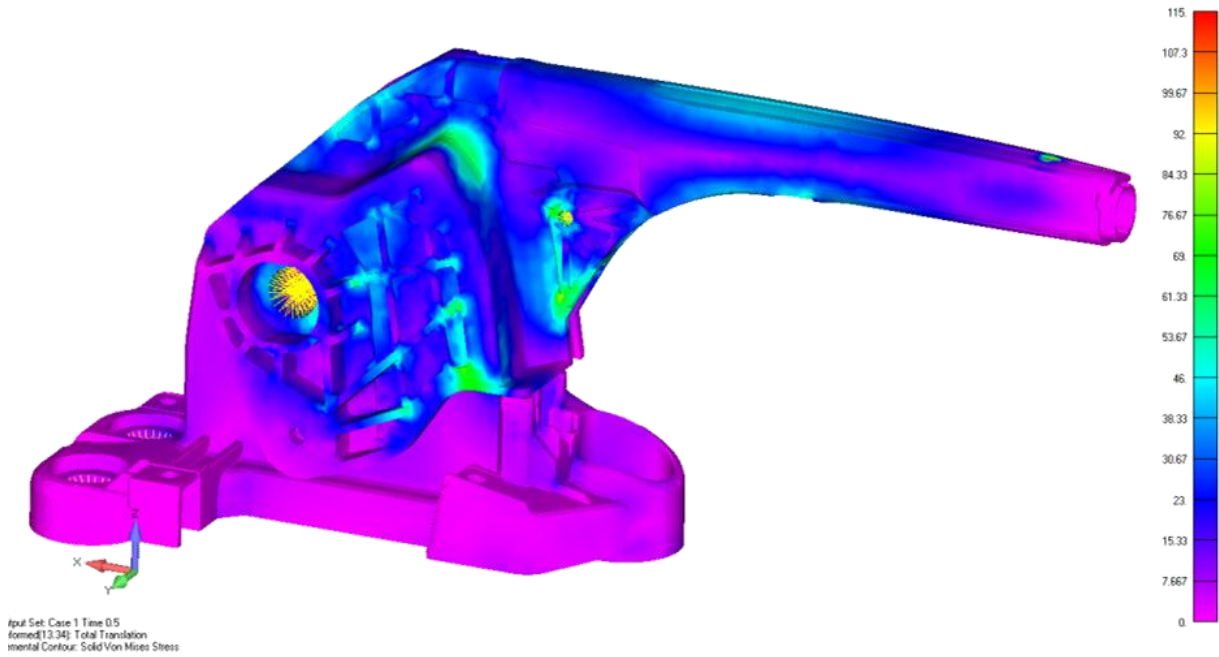


Figura 5.16 Mapa de tensions de Von Misses pel model 2 i assaig d'Esforç tangencial a compressió

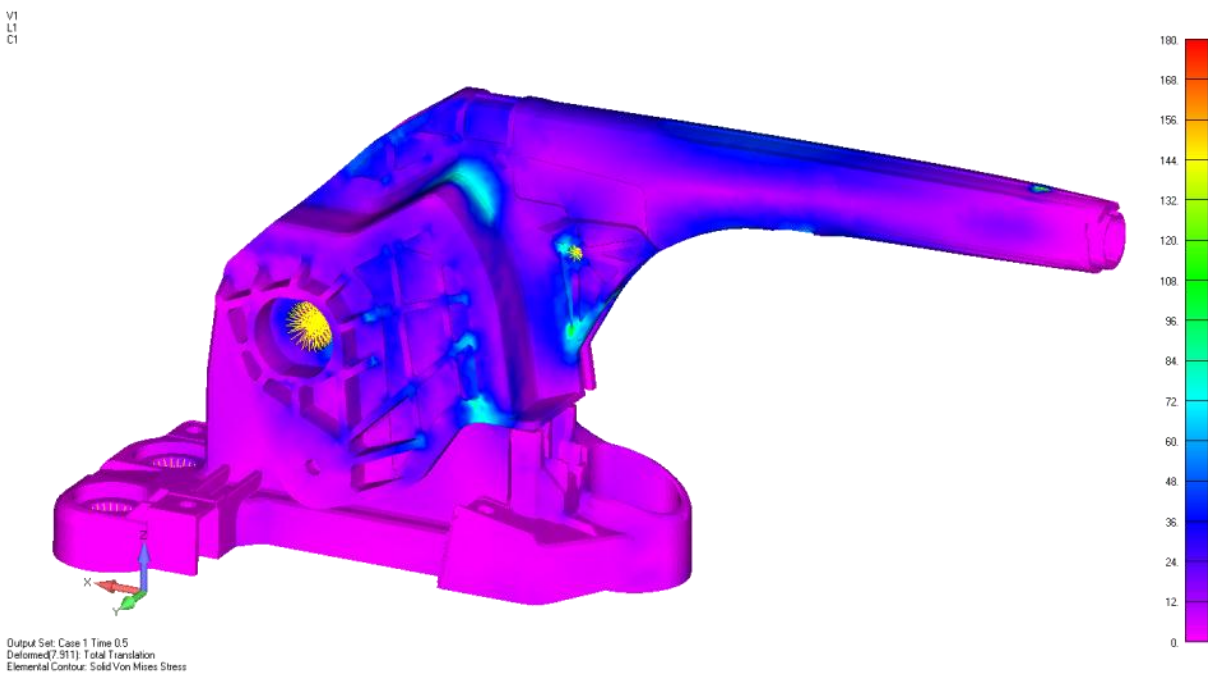


Figura 5.17 Mapa de tensions de Von Misses pel model 3 i assaig d'Esforç tangencial a compressió

Anàlogament als assajos anteriorment presentats, tots tres models compleixen amb els requeriments de tensió màxima i deformacions especificats.

5.3.4 Esforç tangencial a tracció

Els resultats obtinguts en aquest assaig es recullen a la següent taula:

ESFORÇ TANGENCIAL A TRACCIÓ				
Model	Tensió màxima (MPa)		Desplaçament (mm)	Deformació permanent (mm)
	Base	Braç		
1	119	123	8,7	0,2
2	38	94	19,5	1,4
3	37	145	11,6	0,9

Taula 5.9 Resultats obtinguts pels 3 models a l'assaig d'Esforç tangencial a tracció

En aquest assaig, s'ha invertit la tendència general ja que, el model 3 és el que suporta un major nivell de tensions. No obstant, el model 2 mostra majors desplaçaments i torna a trobar-se amb valors al límit dels requerits. El model 3 està també per aquest assaig a una zona confortable en quant a deformacions i amb un resultat molt positiu ja que els valors no es troben gaire allunyats del model 1.

Una vegada més, el component més sol·licitat és amb diferència el braç de palanca pels models 2 i 3. En canvi, pel model 1, les tensions suportades són molt semblants per a base i braç de palanca i al voltant de 120MPa.

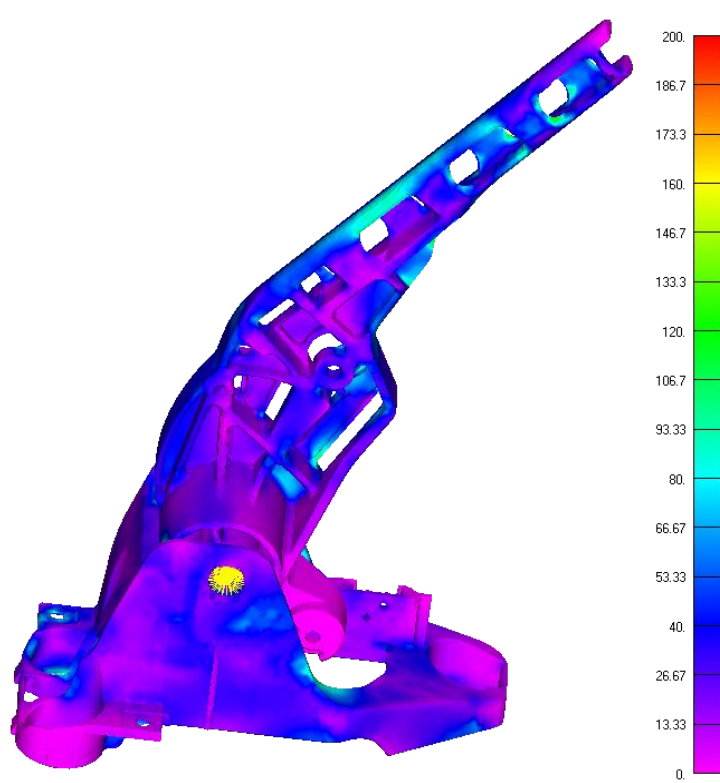


Figura 5.19 Mapa de tensions de Von Mises pel model 1 i assaig d'Esforç tangencial a tracció

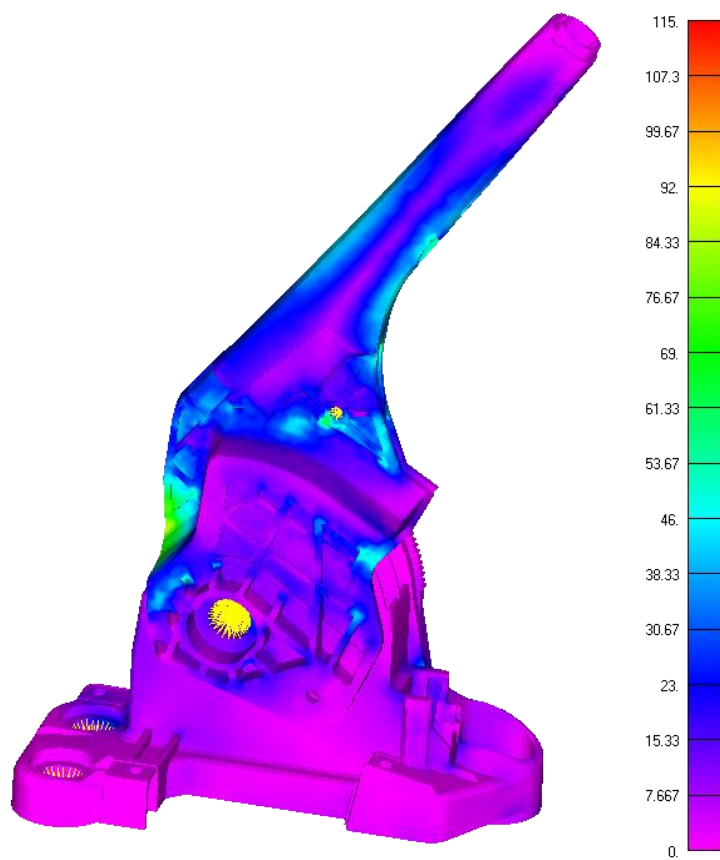


Figura 5.18 Mapa de tensions de Von Mises pel model 2 i assaig d'Esforç tangencial a tracció

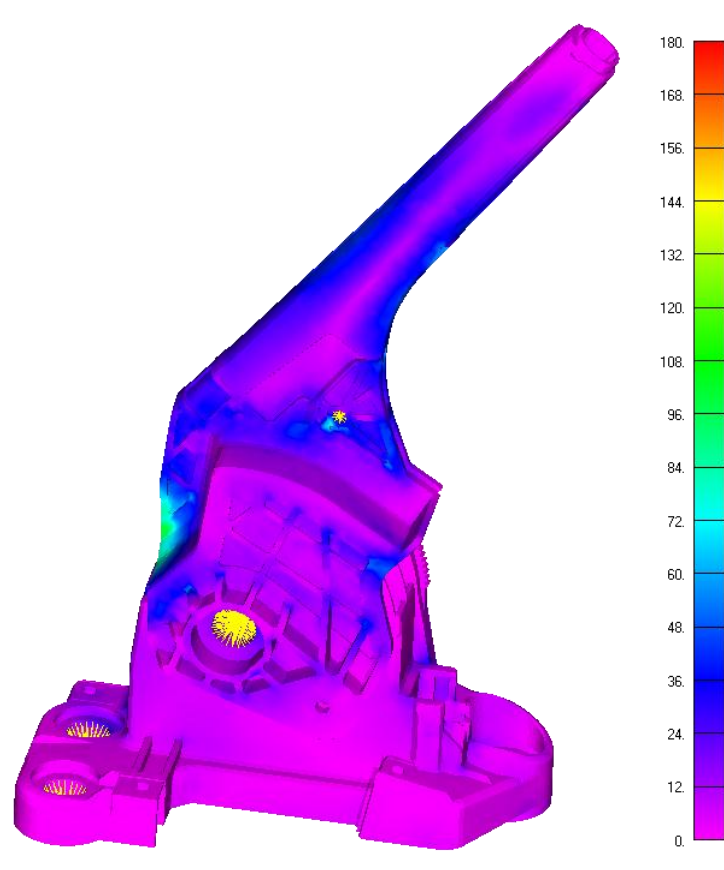


Figura 5.20 Mapa de tensions de Von Mises pel model 3 i assaig d'Esforç tangencial a tracció

En aquest assaig, com als tres anteriors, també es compleixen satisfactòriament tots els aspectes requerits amb els tres dissenys.

5.3.5 Resum de resultats

A la següent taula es resumeixen tots els resultats obtinguts pels diferents models. Tal i com es pot observar, els dos models dissenyats compleixen les especificacions i, per tant, es poden considerar validats quant a tensions i desplaçaments màxims obtinguts. Això és molt important ja que significa que qualsevol disseny és apte per instal·lar al vehicle.

ESFORÇ LATERAL, 400N			
Model	Coefficient seguretat	Desplaçament (mm)	Deformació permanent (mm)
<i>Requerit</i>	1,2	25	1
1 (Mg)	1,41	12,20	0,10
2 (PA66-50GF)	1,25	24,60	0,50
3 (PA12-30LCF)	1,46	15,80	0,20
ESFORÇ INCLINAT, 600N			
<i>Requerit</i>	1,2	18	1
1 (Mg)	1,44	9,80	0,10
2 (PA66-50GF)	1,83	17,10	0,80
3 (PA12-30LCF)	2,57	13,80	0,30
ESFORÇ TANGENCIAL A COMPRESSIÓ, 800N			
<i>Requerit</i>	1,2	20	2
1 (Mg)	1,31	10,30	0,30
2 (PA66-50GF)	1,49	18,20	1,10
3 (PA12-30LCF)	1,84	11,20	0,50
ESFORÇ TANGENCIAL A TRACCIÓ, 800N			
<i>Requerit</i>	1,2	20	2
1 (Mg)	1,63	8,70	0,20
2 (PA66-50GF)	1,22	19,50	1,40
3 (PA12-30LCF)	1,24	11,60	0,90

Taula 5.10 Resum dels resultats obtinguts pels 3 models a les simulacions

6. Optimització

Després de la visualització de resultats a l'apartat anterior, s'ha pogut observar que el model idoni per dur a terme l'optimització del disseny i per tant continuar millorant és el 3. Això és degut a que presenta majors coeficients de seguretat a tots els assaigs en comparació al model 2 (els seus components es troben treballant a una tensió lluny del valor de la seva resistència a tracció).

Per tot això, s'ha decidit reduir la quantitat de material utilitzat. Aquesta reducció de material s'ha anat fent de manera progressiva fins que el conjunt es trobés treballant més a prop del seu límit. En cap moment s'ha treballat amb un coeficient de seguretat per sota d'1,2 ja que aquest producte es tracta d'una peça de seguretat. Així doncs s'ha aconseguit reduir el pes del conjunt (especialment de la base ja que és el component que sovint presentava menor nivell de tensions) tot continuant complint els requeriments demanats pel client pel model inicial.

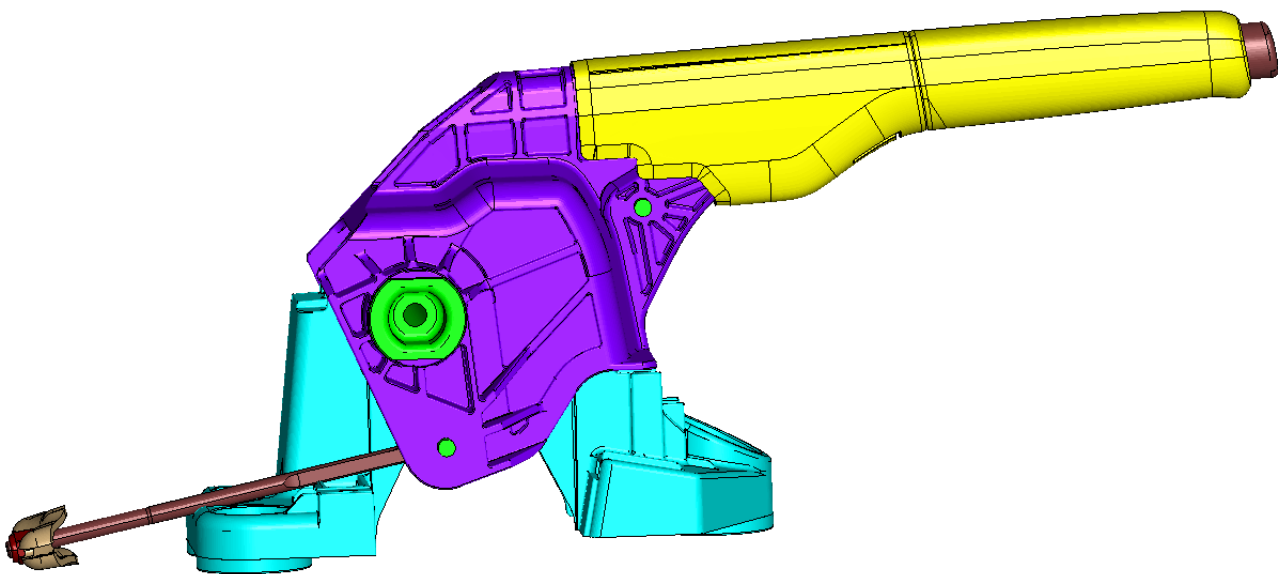


Figura 6.1 Vista general del disseny 3D realitzat (model 4)

6.1 Modificacions realitzades al disseny

De la mateixa manera que s'ha fet a l'apartat 4 (Disseny), les millores en el disseny s'han dut a terme només pels dos principals components del conjunt: base i braç de palanca.

Base

La modificació d'aquest component s'ha dut a terme en tres diferents fronts. El primer de tots consisteix a la realització d'uns buidats a les parets laterals (veure Figura 6.2 i Figura 6.3). D'aquesta manera s'aconsegueix alleugerar la zona i, tot i que la paret ja no arribi fins a l'alçada de punt de fixació, s'ha dissenyat una transició progressiva per evitar l'acumulació de tensions.

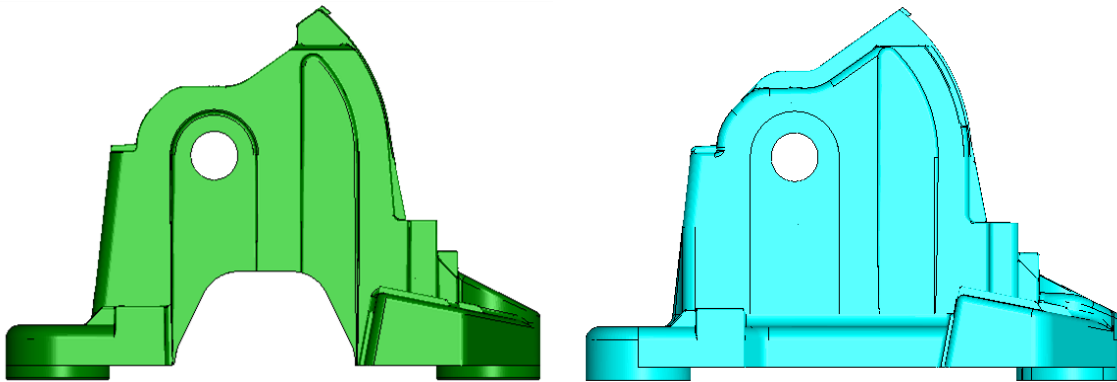


Figura 6.2 Vista lateral dreta comparativa de la base inicial (blau) i la modificada (verd)

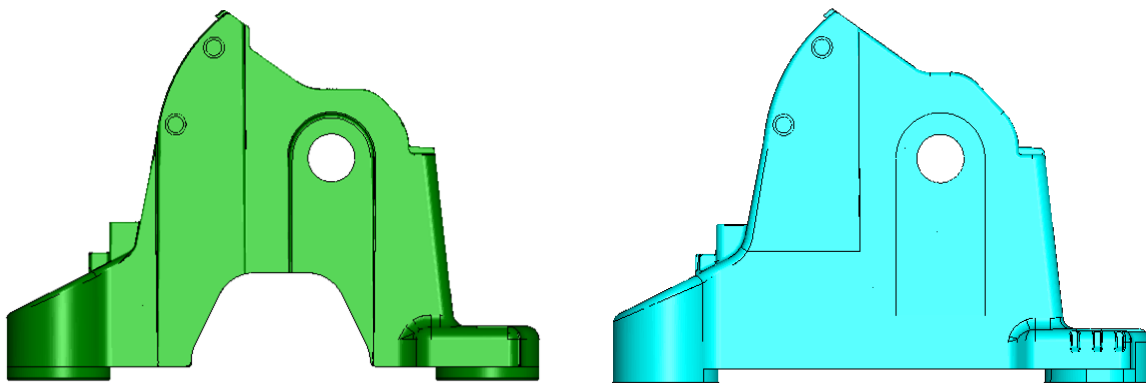


Figura 6.3 Vista lateral esquerra comparativa de la base inicial (blau) i la modificada (verd)

A més, aquest primer canvi ha comportat l'eliminació d'un nervi que uneix el punt de fixació frontal amb els dos punts posteriors (veure Figura 6.4) ja que s'ha vist que no estava molt sol·licitat i així també s'ha simplificat el buidat de la paret lateral.

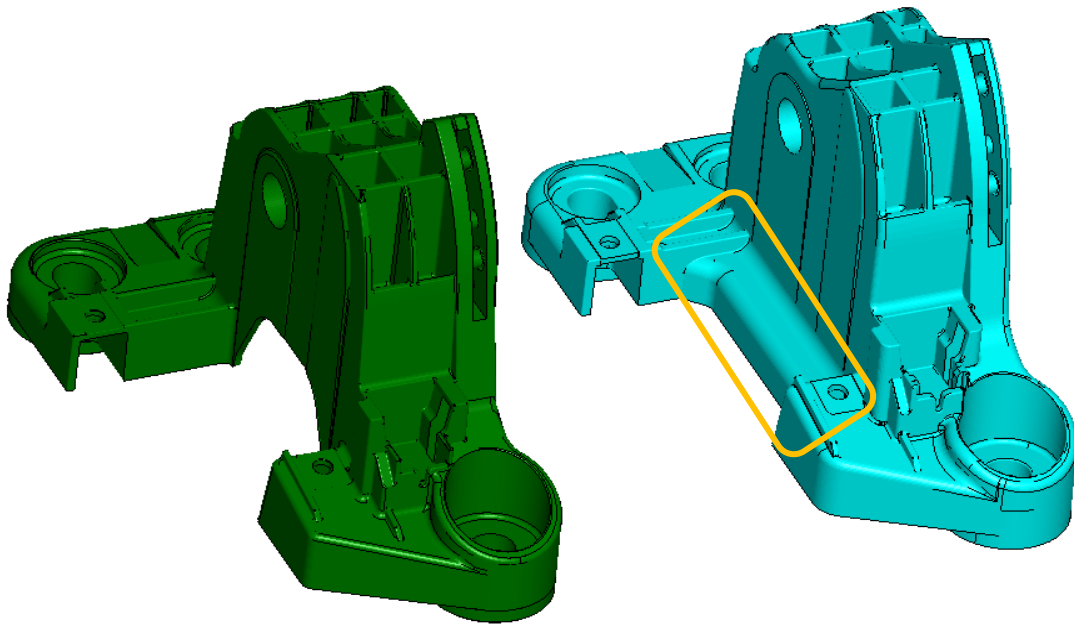


Figura 6.4 Comparativa de la base inicial (blau) i la modificada (verd) sense nervi

El segon front utilitzat per optimitzar aquest component ha consistit a eliminar el reforç situat a la part posterior de la serreta. Així doncs, s'ha reduït l'alçada dels nervis que anaven a parar a la zona mencionada reduint també la quantitat de material del component. Per tant, els quatre nervis longitudinals que ocupen aquesta zona, han quedat a la mateixa alçada tots ells.

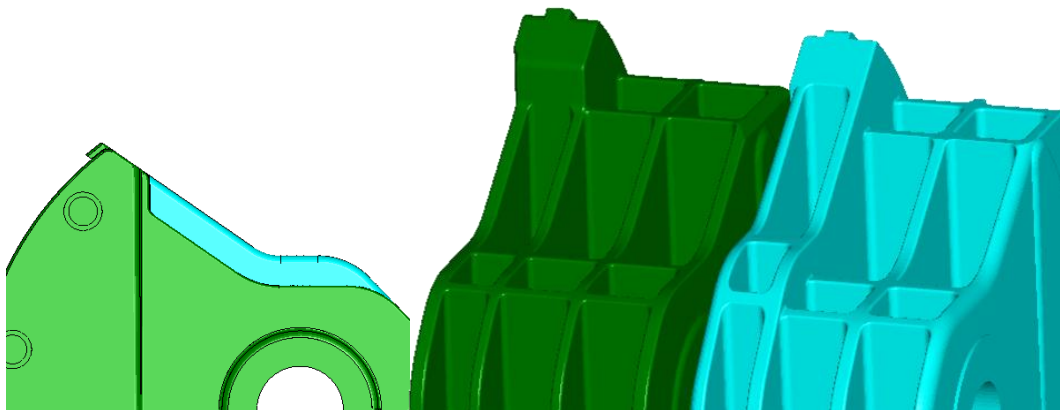


Figura 6.5 Vista detall de la part posterior de la serreta a la base inicial (blau) i la modificada (verd)

Per últim, s'han modificat els espessors de la peça de manera que les parets amb gruix major s'han passat de 4 a 3mm (parets laterals), els gruixos dels nervis longitudinals s'han passat de 3 a 2,5mm i la resta de parets de reforç de la peça s'han deixat amb espessors de 2mm.

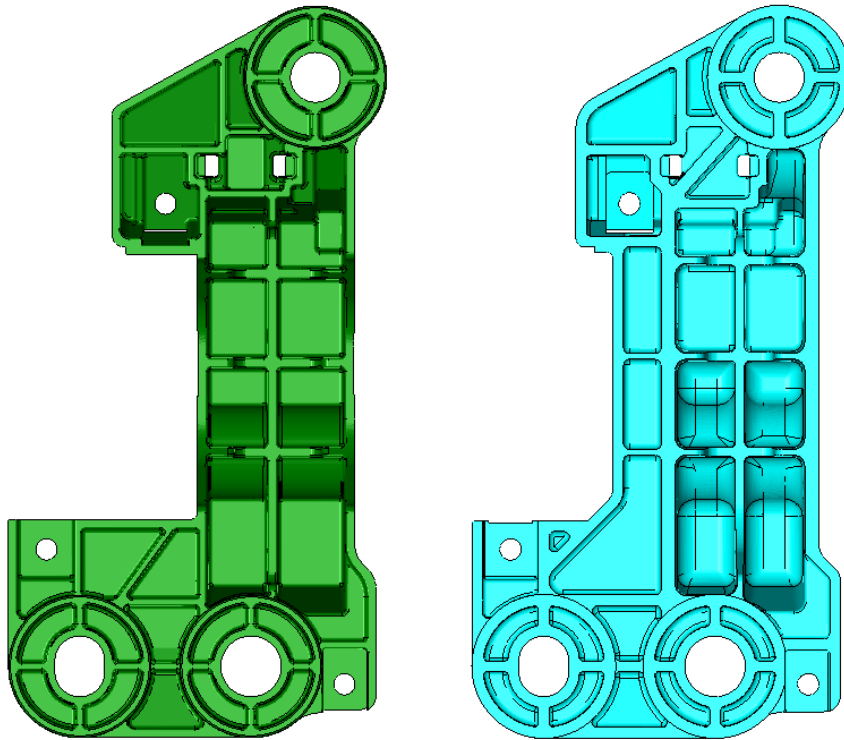


Figura 6.6 Vista general de la part inferior de la base inicial (blau) i la modificada (verd)

Amb totes aquestes modificacions, s'ha aconseguit una reducció total de material utilitzat en el disseny d'aquest component d'aproximadament un 25% respecte al model 3.

Braç de palanca

En aquest component, no s'ha disposat de tanta llibertat a l'hora de modificar la geometria donat que a la zona on va muntada l'empunyadura (coneguda amb el nom de canya) és necessari mantenir la posició de les cares funcional. És a dir, que tant la superfície exterior, on es recolza i amb la que es reté l'empunyadura, com l'interior, per on se suporta la varilla de desbloqueig; s'han mantingut invariables. Per tant, les zones on s'han centrat les modificacions de geometria són ambdós costats del carret.

D'una banda, al costat dret s'ha dut a terme una reducció de la geometria utilitzada per fer el topall de cursa angular entre base i braç. D'aquesta manera, mantenint la cara funcional que contactava físicament amb la base, s'ha pogut eliminar el material sobrant.

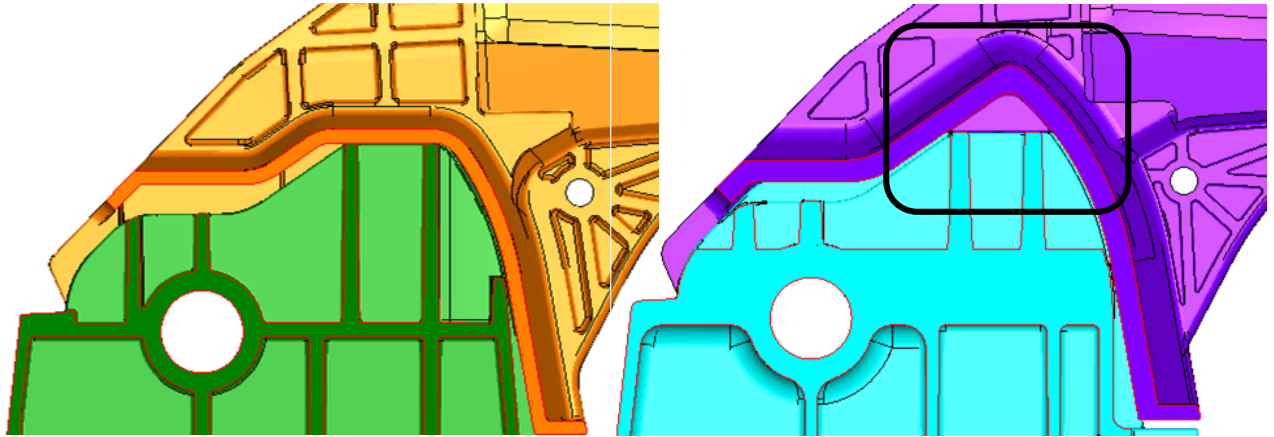


Figura 6.7 Vista secció comparativa (esquerra: model millorat; dreta: model inicial) del topall base-braç

D'altra banda, al costat esquerre, s'ha decidit minimitzar tota quantitat de material que no fos estrictament funcional. Així doncs, tal i com es pot apreciar a la Figura 6.8, la cara lateral esquerra ha sigut retallada just per sota de l'alçada de l'eix ja que, segons s'ha vist a les simulacions, no transmetia cap mena d'esforç ni era sotmesa a cap tensió resistiva.

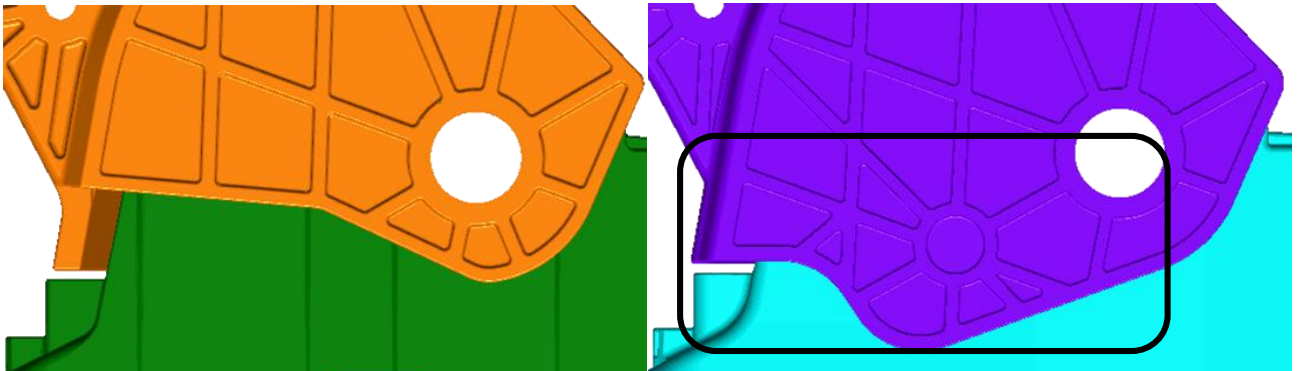


Figura 6.8 Vista lateral esquerra del model millorat vs model inicial

A més, anàlogament a l'operació realitzada a la base, s'ha optat per reduir espessors generals de la peça. En aquest cas, exceptuant la zona de l'empunyadura que s'ha mantingut invariable degut a les esmentades restriccions funcionals, s'ha dut tota la peça a utilitzar espessors constants de 3mm.

Amb aquestes modificacions, s'ha aconseguit una reducció total de material utilitzat en el disseny del braç d'aproximadament un 20% respecte al model 3.

Per tant, un cop millorat el model, les característiques principals del mateix són les següents:

MODEL 4	Braç de palanca	Base	Resta de components	TOTAL
Material	PA12-30LCF	PA12-30LCF	Diversos	-
Pes (g)	172,6	237,8	281,0	691,4

Taula 6.1 Pesos i materials pel model 4

6.2 Simulacions de comprovació

En aquest apartat, es verifica que les modificacions dutes a terme al model no impacten al disseny fins al punt d'incomplir les especificacions del producte. Per això, s'han realitzat una vegada més simulacions al model 4 per tots els assajos amb l'objectiu de comprovar el seu comportament.

A la següent taula es resumeixen els resultats obtinguts a cadascun dels esmentats assajos pel nou model dissenyat:

RESUM DE RESULTATS DEL MODEL 4			
Assaig	Paràmetre	Requerit	Obtingut
Esforç lateral, 400N	Coeficient seguretat	1,2	1,45
	Desplaçament (mm)	25	15,3
	Deformació permanent (mm)	1	0,1
Esforç inclinat, 600N	Coeficient seguretat	1,2	1,98
	Desplaçament (mm)	18	12,5
	Deformació permanent (mm)	1	0,2
Esforç tangencial a compressió, 800N	Coeficient seguretat	1,2	1,30
	Desplaçament (mm)	20	11,6
	Deformació permanent (mm)	2	0,6
Esforç tangencial a tracció, 800N	Coeficient seguretat	1,2	1,22
	Desplaçament (mm)	20	14,6
	Deformació permanent (mm)	2	0,8

Taula 6.2 Resultats obtinguts pel model 4 a les simulacions d'elements finits

El més adient per interpretar els resultats d'aquest disseny és comparar-los amb els obtinguts pel model 3. Això és degut a que el model 4 és una versió optimitzada d'aquest i també perquè estan fets del mateix material.

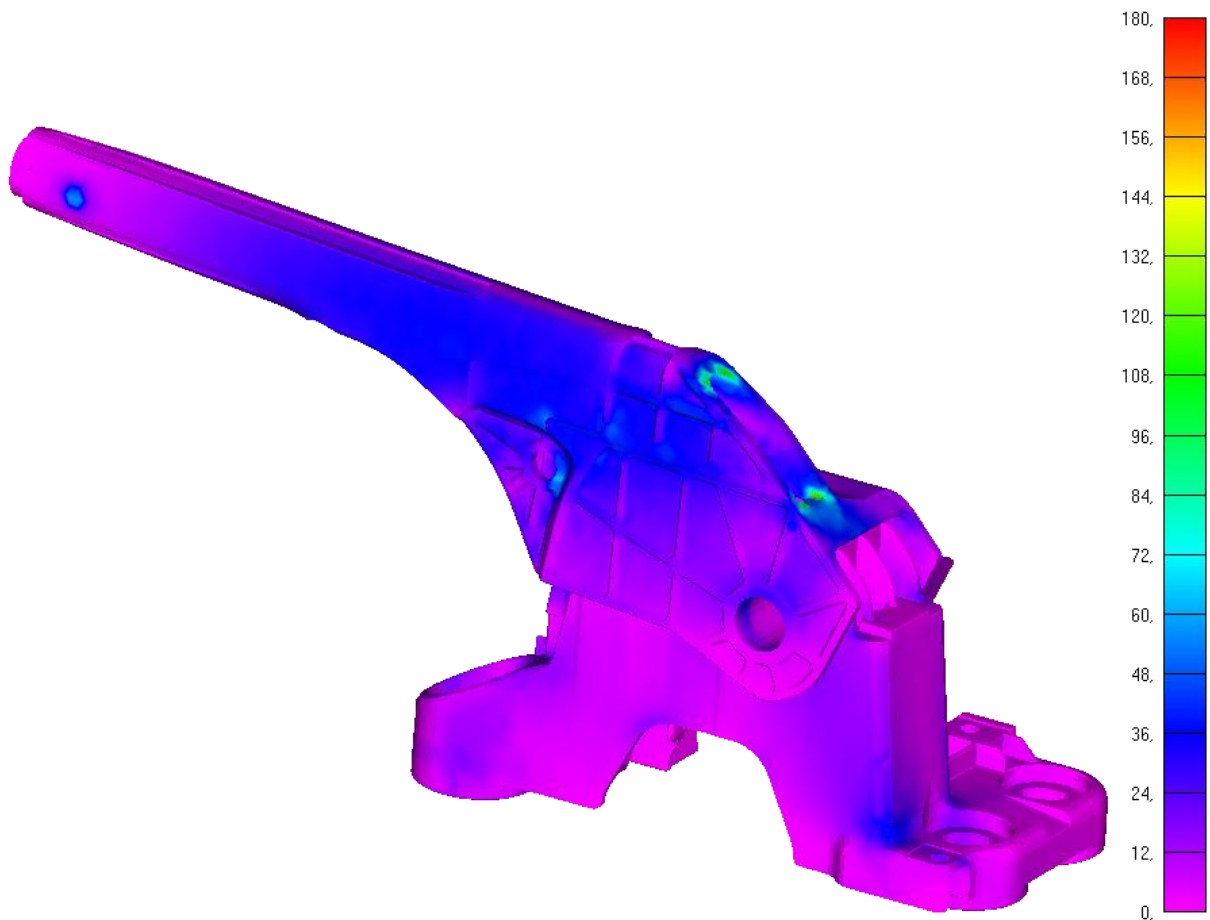


Figura 6.9 Mapa de tensions de Von Mises pel model 4 i assaig d'Esforç lateral

Per l'assaig d'esforç lateral, es pot considerar que pràcticament no hi ha hagut impacte a nivell de tensions suportades. Al braç, que continua sent el component més sol·licitat dels dos, el màxim valor trobat és de 124 MPa (mentre que al model 3 és de 123 MPa) i la base és de 40 MPa (35 MPa al model 3). Per tant, el coeficient de seguretat és considera invariable. En quant a deformacions, la situació és lleugerament millor pel desplaçament i s'ha reduït significativament la deformació permanent a la meitat de l'obtinguda anteriorment.

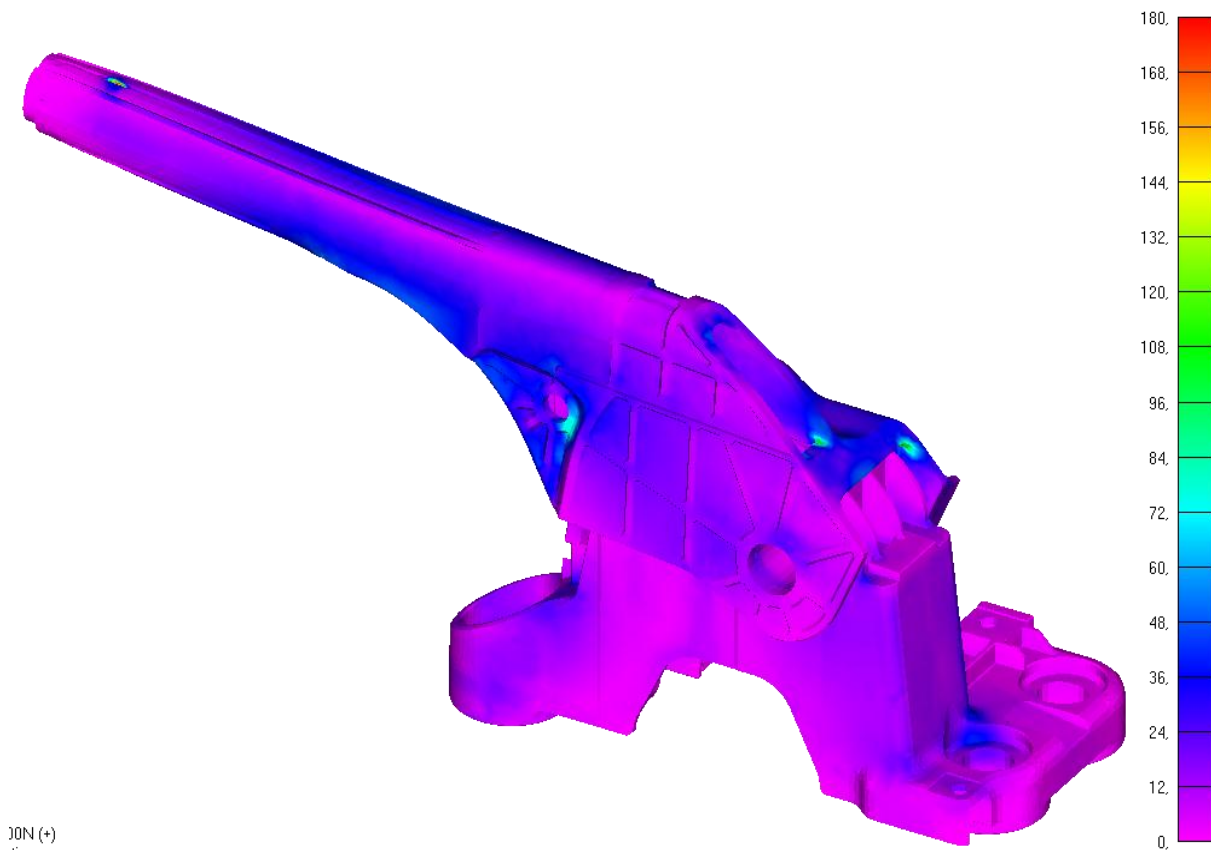


Figura 6.10 Mapa de tensions de Von Mises pel model 4 i assaig d'Esforç inclinat

A l'assaig d'esforç inclinat, els resultats obtinguts indiquen que, a nivell de tensions suportades pels components, hi ha un empitjorament controlat. Això es deu a que, essent novament el braç el component amb valors més alts, la tensió màxima identificada és de 91 MPa mentre que era de 70 MPa pel model 3. La base pràcticament dobla també la tensió màxima amb 65 MPa. Per tant, el coeficient de seguretat es redueix de 2,57 a 1,98 que, de totes maneres, és un valor més que vàlid pel disseny.

En canvi, la situació en quant a desplaçaments canvia favorablement per ambdós valors. El fet que per aquest assaig s'hagin observat tendències oposades per tensions i deformacions, s'explica pels canvis duts a terme: reducció de material en el braç que provoca augment de tensió i redistribució de material en la base que provoca reducció de desplaçaments.

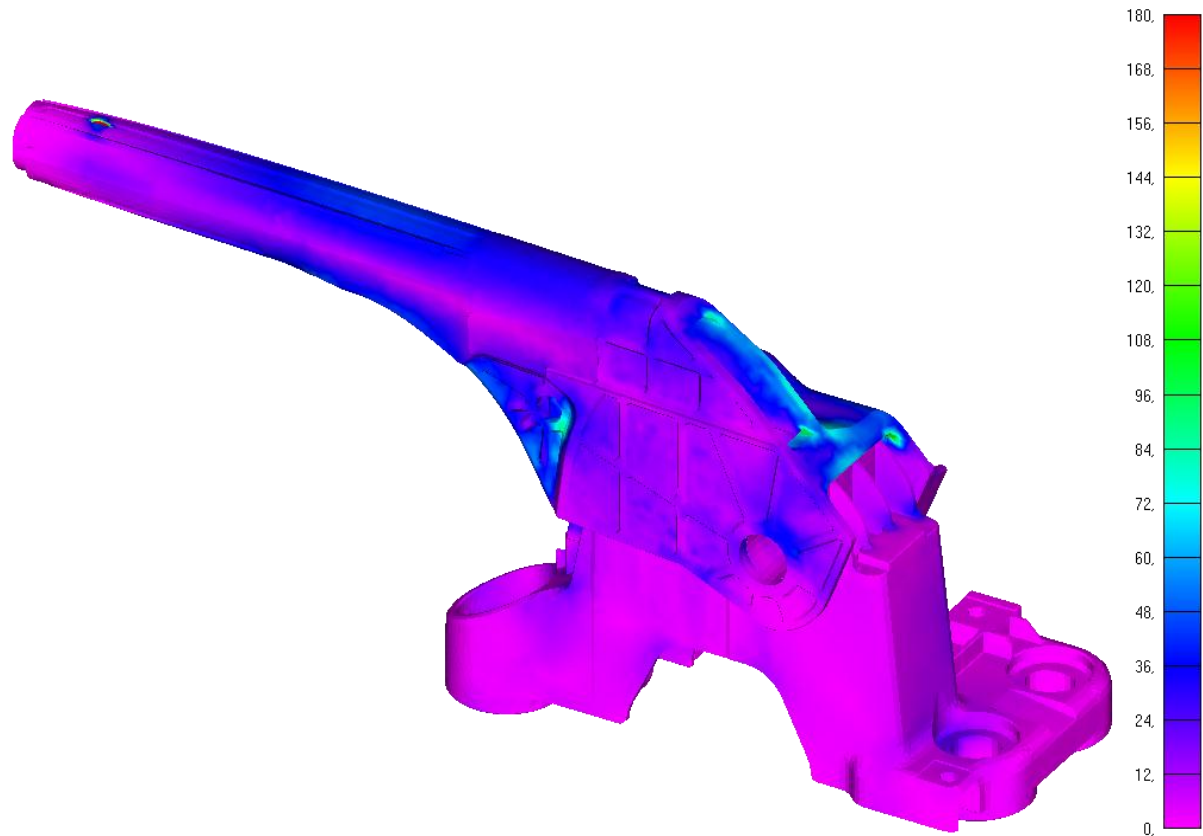


Figura 6.11 Mapa de tensions de Von Misses pel model 4 i assaig d'Esforç tangencial a compressió

Contràriament als assajos anteriors, per l'assaig tangencial a compressió, l'evolució de tensions i desplaçaments és lleugerament més negativa; tot i que, no supera els valors màxims permesos en cap cas.

La tensió màxima a la base s'ha doblat amb respecte el model 3 i presenta valors de 50 MPa. Pel braç, el creixement d'aquest paràmetre és de 98 MPa fins a 138 MPa. A conseqüència, el coeficient de seguretat disminueix fins a 1,3.

L'impacte als desplaçaments és menor i el model presenta una deformació permanent de 0,6mm i un deformació elàstica d'11,6mm (en front dels 0,5 i 11,2mm pertanyents al model 3).

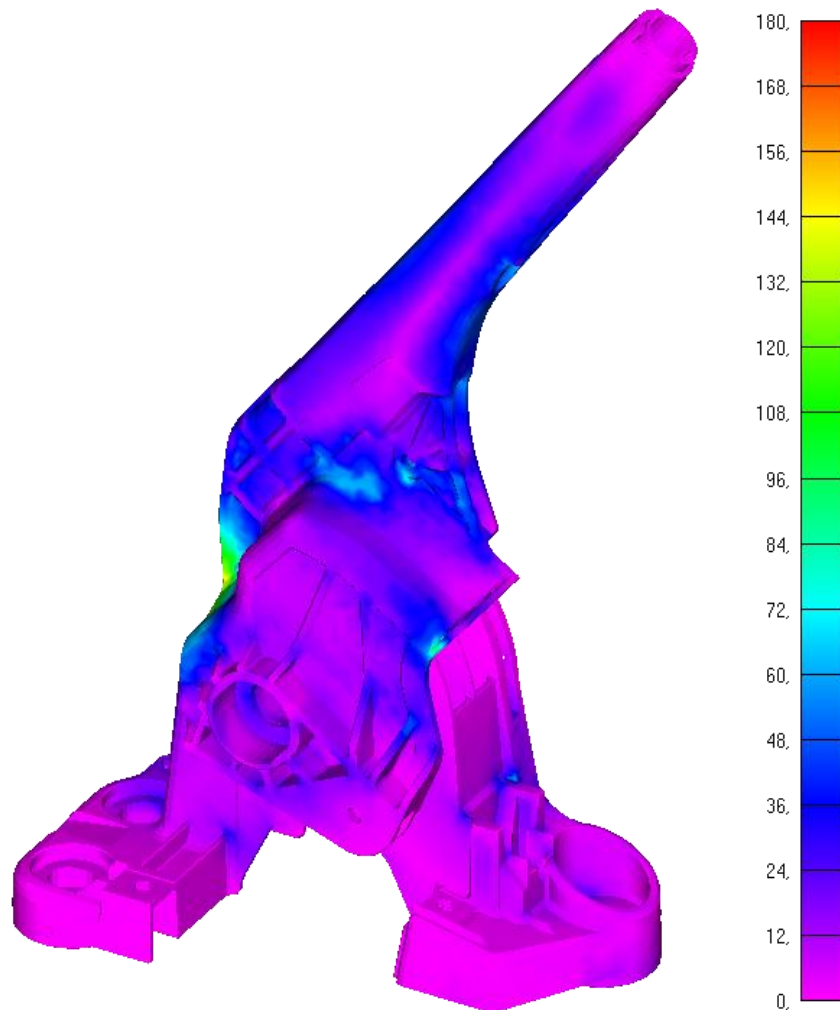


Figura 6.12 Mapa de tensions de Von Mises pel model 4 i assaig d'Esforç tangencial a tracció

El cas de l'assaig tangencial a tracció és molt similar al primer: es mantenen els nivells de tensió màxima. Així doncs, el valor al braç se situa als 148 MPa com a component més sol·licitat mentre que a la base l'augment és fins al 57 MPa. Per tant, el factor de seguretat es manté a l'1,22.

En canvi, el desplaçament empitjora substancialment: arriba als 14,6mm; mentre que, la deformació permanent disminueix molt lleugerament a 0,8mm en comptes del 0,9mm presentats pel model 3.

En conclusió, el model 4 pot considerar-se, d'igual manera que els anteriorment dissenyats, totalment validat i al mateix nivell de rendiment. És per tant possible afirmar que el model 4 és perfectament intercanviable a vehicle.

7. Estudi econòmic

Per tal de completar l'estudi econòmic d'aquest projecte, es procedirà a realitzar dues anàlisis diferents. Primerament es donarà valor econòmic als quatre dissenys de manera que ja es coneixeran les dades necessàries de cadascun d'ells: pes i preu. A continuació, amb aquesta informació, s'avalua si la inversió necessària per optimitzar el disseny es presenta com una estratègia rendible i amb quin horitzó temporal.

Finalment, s'analitzen els costos propis de la realització d'aquest estudi a mode de pressupost.

7.1 Valoració econòmica del disseny

Tal i com s'ha esmentat, es pretén comparar, una vegada més, el pes i el preu dels 4 models utilitzats en aquest estudi. Per tant, abans de començar, val la pena fer un cop d'ull a la situació general tant en valor absolut del pes com percentualment:

Model	Pes Base (g)	% millora	Pes Braç (g)	% millora	Pes resta peces (g)	% millora	Pes total (g)	% millora
1	385,3	-	306,4	-	328	-	1019,7	-
2	435,8	-13%	295,4	4%	281	14%	1012,2	1%
3	319,2	17%	216,4	29%	281	14%	816,6	20%
4	237,8	38%	172,6	44%	281	14%	691,4	32%

Taula 7. 1 Comparativa de pesos pels models

Com es pot observar a l'última columna, els tres dissenys realitzats milloren el model inicial en quant a pes. Tot i que, la millora pel model 2 pot ser considerada com pràcticament nul·la, els models 3 i 4 presenten un 20 i un 32% de reducció de pes respectivament. Per tant, és clar que, el model 4 seria l'escollit per completar l'estudi econòmic per ser el més lleuger de tots comparativament al model 1 que és l'actualment utilitzat pel constructor del vehicle.

A continuació i, per tal de poder donar valor econòmic als dissenys seguint uns mateixos criteris, s'han tingut en compte els següents aspectes:

- 1) *Cost del conjunt base+braç*. En ser utilitzat el mateix material per base i braç entre sí per tots 4 models, el preu de la matèria primera pren un paper important en aquest càlcul. Tot i això, s'ha elaborat una fitxa amb un desglossament més detallat dels costos considerats (veure annex C) per aquests dos components. Són els següents:
 - Matèria primera
 - Processat
 - Utilitats necessaris de fabricació
- 2) *Cost de la resta de components*. Se'ls dóna valor econòmic com si fossin un únic conjunt basant-se en l'experiència i el preu de mercat d'altres dissenys similars.
- 3) *Cost de l'assemblatge*. D'igual manera que el punt anterior, es valoren les operacions de muntatge en base al coneixement de processos similars en projectes similars.

D'aquesta manera, s'ha elaborat una taula comparativa per mostrar els preus associats a cada model:

Model	Cost base+braç (€/u)	% augment	Cost resta peces (€/u)	% augment	Cost assemblatge (€/u)	% augment	Cost total (€/u)	% augment
1	4,7	-	3,5	-	4,5	-	12,7	-
2	2,5	-47%	3,2	-9%	3,9	-13%	9,6	-25%
3	8,6	82%	3,2	-9%	3,9	-13%	15,7	23%
4	6,7	42%	3,2	-9%	3,9	-13%	13,8	8%

Taula 7.2 Comparativa de preus pels models

Tal i com es pot observar, l'augment més significatiu en el cost del conjunt base+braç es troba entre el model 1 i el 3. Això és degut a la diferència del preu de la matèria primera (el preu del Magnesi és pràcticament tres vegades més petit que el de la PA12-30LCF) que es reflexa en cadascuna de les fitxes mencionades. En canvi, aquesta diferència de preu es redueix si comparem el model 1 amb el 4 ja que, per aquest últim, s'utilitza una quantitat inferior del material plàstic.

En quant al cost de la resta de peces, es dóna valor idèntic pels models 2 a 4 ja que el disseny no considera canvis entre ells per aquestes peces. A més, és lleugerament superior pel cas 1

ja que, tal i com s'ha mencionat a l'apartat 4 d'aquest projecte, amb el re-disseny realitzat (models 2 a 4) s'han simplificat algunes de les peces (no només en geometria sinó també en materials emprats) i això permet reduir costos.

Anàlogament a l'aspecte anterior, el re-disseny ha permès simplificar el nombre total de components. Així doncs, s'han reduït el nombre d'operacions de muntatge i, per tant, el temps total d'assemblatge del conjunt pels models 2 a 4 també ha disminuït en comparació amb el model 1. Amb tot això, s'ha aconseguit reduir el cost d'assemblatge del conjunt.

En resum, s'observa que el disseny més optimitzat de l'estudi (model 4) presenta una reducció de pes al voltant del 30% amb només un increment de cost del 8% comparat amb el disseny original. És a dir, donats aquests valors, es pot calcular el cost de reduir el pes del fre de mà de la següent manera:

(Eq. 7.1)

$$\text{Cost reducció pes} = \frac{\text{Preu model 4} - \text{Preu model 1}}{\text{Pes model 1} - \text{Pes model 4}} = \frac{(13,8 - 12,7)\text{€}}{(1,0197 - 0,6914)\text{kg}} = 3,35 \text{ €/kg}$$

Aquest és el preu unitari que ha tingut reduir 1kg el pes total d'aquest fre de mà mitjançant la substitució de material metàl·lic per plàstic. Malgrat això, aquest valor es pot extrapolar a nivell orientatiu a qualsevol altra peça del vehicle sempre que s'utilitzin tècniques similars de reducció de pes. Encara que és possible trobar peces que no mostrin la mateixa facilitat per reduir el pes i per tant el cost sigui superior.

7.2 Anàlisi d'inversió necessària

Per la realització d'aquest apartat s'ha considerat interessant plantejar un cas d'estudi que contempla el següent escenari: substitució del disseny inicial (model 1) pel disseny final (model 4) en un vehicle a comercialitzar.

És prou clar que, aquesta implementació suposa un increment de costos pel fabricant del vehicle. Per tant, si es calcula aquest increment de cost suposant un volum de fabricació de vehicles de 250.000 unitats/any durant 5 anys (supòsit utilitzat anteriorment també pel càlcul de costos dels components), la quantitat total seria la següent:

(Eq. 7.2)

$$\begin{aligned}\Delta\text{cost total} &= (\text{Preu model 4} - \text{Preu model 1}) \times \text{Volum vendes} = \\ &= (13,8 - 12,7) \text{ €/u} \times 250.000 \text{ u/any} \times 5 \text{ anys} = \mathbf{1,375 \text{ M€}}\end{aligned}$$

A més, s'ha de remarcar que aquest vehicle estaria sotmès al Reglament (CE) n° 443/2009 tal i com s'exposa a l'apartat 3.1 del present projecte. Per tant, si se suposa que aquest vehicle fos posat al mercat a partir de l'any 2020, amb el nivell d'emissions que tenia el fabricant el 2013 (127g CO₂/km segons l'Informe de l'Agència Europea del Medi ambient sobre emissions de CO₂ de 2013 [7]) i el volum de vendes anteriorment mencionat; el fabricant hauria d'afrontar la següent sanció:

(Eq. 7.3)

$$\text{Excés emissions} = \text{Emissions fabricant} - \text{Emissions permeses} = 127 - 95 = 32 \text{ g CO}_2/\text{km}$$

(Eq. 7.4)

$$\frac{\text{Multa}}{\text{vehicle}} = \text{Excés emissions} \times \text{Sanció 2020} = 32 \text{ g CO}_2/\text{km} \times \frac{95 \text{ €}}{1 \text{ vehicle} \cdot \text{g CO}_2/\text{km}} = 3.040 \text{ €/veh}$$

(Eq. 7.5)

$$\text{Multa total} = \frac{\text{Multa}}{\text{vehicle}} \times \text{Volum vendes} = 3.040 \text{ €/veh} \times \frac{250.000 \text{ veh}}{1 \text{ any}} \times 5 \text{ anys} = \mathbf{3.800 \text{ M€}}$$

Comparant els prop d'1,375 milions d'euros per realitzar la reducció de pes dissenyada pel fre de mà contra els 3.800 milions de l'absència de millora i conseqüent sanció, resulta evident afirmar que la inversió de la reducció de pes està més que justificada ja que representa un percentatge insignificant comparat amb la sanció econòmica que afrontaria el fabricant.

En vista del marge tan gran que proporciona la mencionada sanció econòmica, i donat que la reducció de pes és una solució transversalitzable a la resta de peces del vehicle, és possible fer una estimació dels quilos que potencialment es pot disminuir el pes total del vehicle. Així doncs, en el supòsit que només es prengüés la meitat del valor de la sanció econòmica per a la reducció de pes proposada (l'altre 50% podria ser utilitzat per exemple per a una altra línia qualsevol de millora sobre el vehicle), el marge de reducció proposat per cada vehicle es calcularia de la següent manera:

(Eq. 7.6)

$$\text{Marge reducció} = \frac{1}{2} \times \frac{\text{Multa}}{\text{vehicle}} / \text{Cost reducció pes} = \frac{1}{2} \times \frac{3.040 \text{ €/veh}}{3,35 \text{ €/kg}} = \mathbf{453,7 \text{ kg/veh}}$$

Tal i com es pot observar, les possibilitats de millora són clares i, a més, les inversions necessàries per dur-les a terme són més rendibles com més es maximitza la quantitat de pes rebaixat.

7.3 Pressupost de l'estudi

Per fer el pressupost del projecte s'ha tingut en compte les despeses dedicades a cada fase del projecte. Per a la primera fase, es consideren les tasques d'elaboració del disseny, càlculs i redacció d'aquest estudi. La segona fase contempla el llançament d'utilitatges prototip, el muntatge de mostres i la validació del disseny mitjançant assajos reals a laboratori.

Pressupost			
Concepte		Hores	Cost
Fase I	Recerca i disseny (Enginyer – 40€/h):	240	9.600,00 €
	Recerca d'informació	20	
	Criteris de disseny	20	
	Disseny amb CAD (4 models)	200	
	Simulacions i anàlisi de resultats (Enginyer – 40€/h):	400	16.000,00 €
	Preparació de la simulació	32	
	Simulació models	128	
	Anàlisi de resultats	40	
	Redacció d'estudi	200	
	Total Fase I (sense IVA)		
IVA (21%)			5.376,00 €
TOTAL FASE I			30.976,00 €
Fase II	Preparació i realització de validació de disseny (Enginyer – 40 €/h):	200	8.000,00 €
	Seguiment d'utilitatges prototipus amb proveïdor	60	
	Seguiment de muntatge mostres prototipus	40	
	Seguiment d'assajos a laboratori	60	
	Anàlisi de resultats	40	
	Muntatge prototipus (Operari qualificat – 30€/h):	40	1.200,00 €
	Realització d'assajos (Tècnic Laboratori – 35€/h):	160	5.600,00 €
	Motlles i injecció mostres braç		33.000,00 €
	Motlles i injecció mostres base		35.000,00 €
	Fabricació resta components prototipus		3.750,00 €
Útils i equipament específic d'assaig		1.500,00 €	
Total Fase I i II (sense IVA)			113.650,00 €
IVA (21%)			23.866,50 €
TOTAL FASE I i II			137.516,50 €

Taula 7.3 Pressupost de l'estudi per les fases I i II

8. Estudi d'impacte ambiental

Per tal d'analitzar l'impacte ambiental de les solucions presentades en aquest projecte, s'ha decidit seguir un sistema de puntuació pels 4 models dissenyats.

D'aquesta manera, s'avalua qualitativament l'impacte ambiental de cadascun en funció dels diferents aspectes a tenir en compte. Per tant, es realitzen les dues accions següents: es pondera cada aspecte segons la importància considerada i es donen d'1 a 4 punts de menor a major impacte respectivament.

	Quantitat de material	Pes total	Reciclabilitat	Energia fabricació	Temps muntatge	Energia muntatge	Altres residus	Ergonomia muntatge	Seguretat de fabricació
Ponderació	1	1	2	2	1	2	1	1	2

Taula 8.1 Ponderacions considerades per cadascun dels aspectes d'impacte ambiental

Per ponderar cadascun dels aspectes, s'ha consultat els experts en la fabricació d'aquest tipus de productes. Així doncs, dins de cada àmbit (matèria prima, procés i factor humà), s'ha donat dos punts a l'aspecte/s amb més importància i un punt a la resta. El resultat total es calcula com el producte entre la puntuació i la ponderació (veure gràfic 8.1).

	Quantitat de material	Pes total	Reciclabilitat	Energia de fabricació	Temps de muntatge	Energia pel muntatge	Residus derivats	Ergonomia de muntatge	Seguretat de fabricació
Model 1	2	4	1	4	4	4	4	4	4
Model 2	4	4	4	3	1	1	1	3	1
Model 3	4	2	4	2	1	1	1	2	1
Model 4	1	1	4	2	1	1	1	1	1
	Matèria primera			Procés				Factor humà	

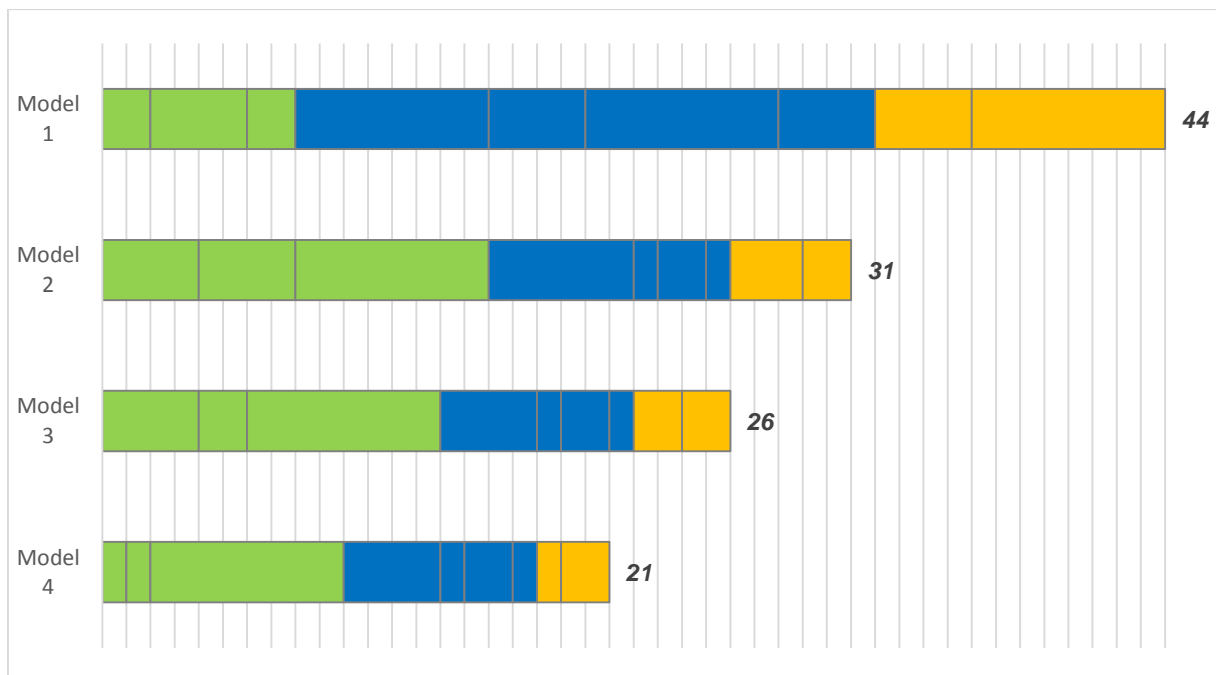
Taula 8.2 Puntuacions atorgades per l'impacte ambiental dels dissenys realitzats

- Quantitat de material: Els models que compten amb una major quantitat de material utilitzat per braç de palanca i base són el 2 i el 3. Mentre que, model 1 i 4 respectivament n'utilitzen menys.
- Pes total: Tal i com s'ha observat a l'apartat 4 d'aquest projecte, el model més lleuger és el 4 i per tant, n'obté la millor puntuació en front dels altres models.
- Reciclabilitat: Tenint en compte els materials de que estan fabricats base i braç de palanca pel model 1, es pot afirmar que l'aliatge de magnesi és 100% reciclable ja que es pot tornar a fondre i utilitzar directament per una altra aplicació. En quant als materials polimèrics utilitzats pel mateixos components del models 2 a 4, degut a que contenen fibres, es poden també tornar a reutilitzar però sotmetent-los prèviament a un procés de trituració per formar part, posteriorment, dels coneguts com a "plàstics verds". És per això que el model 1 obté menys puntuació d'impacte que la resta.
- Energia de fabricació: S'ha valorat aquest aspecte tenint en compte exclusivament l'energia utilitzada per la fabricació dels components més importants: base i braç de palanca. Donat que aquesta energia emprada és proporcional a la temperatura de fusió del material a injectar, s'ha valorat els models donant més puntuació d'impacte en el següent ordre: Magnesi, PA66 i PA12 respectivament.
- Temps de muntatge: S'ha considerat directament proporcional a la quantitat d'operacions de muntatge associada a cada model. El model 1 té més components i per tant obté pitjor valoració respecte els altres.
- Energia pel muntatge: Es té en compte l'energia necessària per dur a terme la totalitat de les operacions necessàries per cada model. El model 1 té, en general, el mateix nombre de reblonats que la resta de models, excepte el de l'eix de rotació que pels models 2 a 4 és substituït per la introducció d'una volandera de retenció; i el de la serreta que pels models 2 a 4 és sobremoldejada directament amb la base.
- Residus derivats del procés: Prenent el procés de fabricació del braç de palanca i la base de cada model com a objecte d'anàlisi per aquest punt, es valora amb major impacte el model 1 en comparació amb la resta de models. Això és degut a la utilització de refrigerants amb base oli per tal de reduir les altes temperatures assolides als utilatges durant la injecció de magnesi. En canvi per la injecció de plàstics s'utilitzen refrigerants amb base aquosa ja que les temperatures són menors.
- Ergonomia de muntatge: Per valorar l'impacte d'aquest aspecte, es pondera no només el pes del conjunt a manipular pels operaris que realitzen el muntatge, sinó també el nombre total de manipulacions que està relacionat amb el nombre d'operacions necessàries (com comentat a l'aspecte anterior és superior pel model 1). En

conseqüència el model 1 obté la pitjor valoració i entre la resta d'ells influeix directament el pes total.

- **Seguretat de fabricació:** En el cas del model 1, la intervenció de la injecció de magnesi comporta un risc per l'operari donat a que una part del mencionat procés s'ha de realitzar sota atmosfera controlada i utilitzant gasos que poden provocar l'asfíxia com l'Argó. Això es deu a que el magnesi líquid reacciona de manera molt exotèrmica amb l'oxigen de l'aire. En canvi, pels models 2 a 4, la manipulació dels materials polimèrics no representa cap perill pels operaris. Només es podria considerar com a potencialment nociva l'exposició a les fibres de vidre o carboni que contenen aquest polímers. No obstant, aquestes no són considerades com a perilloses ja que es troben atrapades dintre de la matriu de poliamida i per tant no és possible contactar directament amb elles (segons informe de l'Institut Nacional de Seguretat i Higiene del treball[8]).

Segons tots els condicionants aquí mencionats, es pot resumir la situació final d'impacte ambiental dels dissenys realitzats segons el següent gràfic on es mostren les puntuacions totals de cada model:

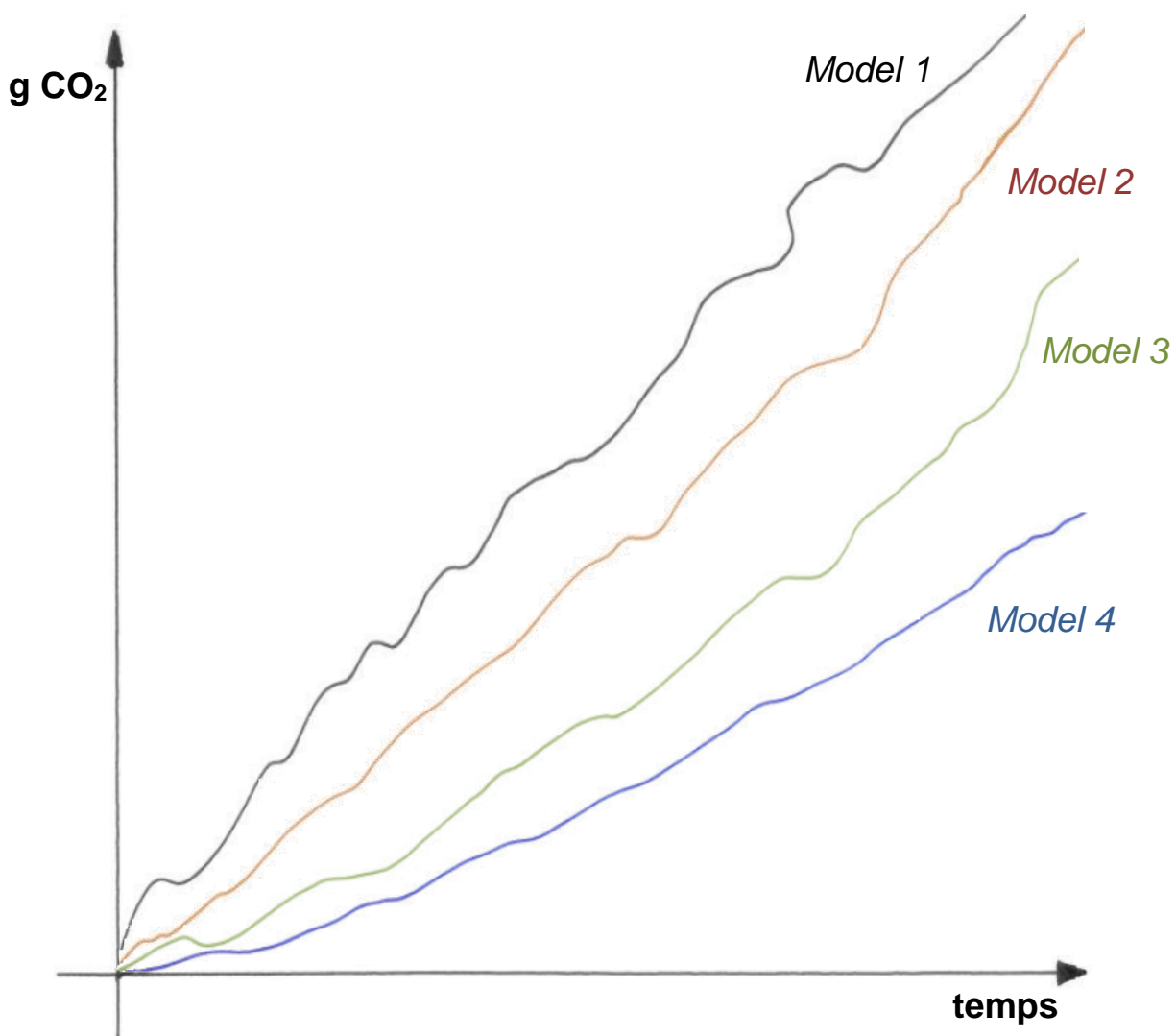


Gràfic 8.1 Puntuacions acumulades per l'impacte ambiental dels dissenys realitzats

Com es pot observar, els models 3 i 4 són els que presenten un impacte menor; especialment si es comparen amb el model original. Així doncs, es pot afirmar que els dissenys realitzats

en aquest projecte no només presenten una reducció de pes igualant el rendiment del model original sinó que també comporten un impacte ambiental menor.

Continuant l'exemple plantejat a l'apartat d'estudi econòmic del present projecte, es pot simular doncs un escenari en el que s'apliqués qualsevol dels models dissenyats en substitució del model original en un vehicle a comercialitzar. En aquest cas, i per fer la idea més entenedora, s'ha plasmat en un gràfic la tendència d'emissions de CO₂ generat al llarg de la vida comercial del vehicle utilitzant el model original de fre de mà i, paral·lelament, afegir la simulació de la mateixa variable per un vehicle on s'hagués instal·lat, com a fre de mà, cadascun dels models dissenyats. El resultat ens donaria una visió general i comparativa de la mencionada tendència a mode de resum i seria el següent:



Gràfic 8.2 Tendència de l'emissió de CO₂ d'un vehicle comercialitzat amb cadascun dels models

Conclusions

Com a primera conclusió, es pot afirmar que s'han aconseguit tres dissenys de fre de mà i s'ha provat que són perfectament vàlids i industrialment factibles per equipar un vehicle.

Dels tres dissenys presentats, un d'ells presenta un cost inferior si és comparat amb el model inicial i podria ésser utilitzat per part del fabricant com a alternativa per reduir costos en un vehicle. El segon model ha servit, dins de l'elaboració d'aquest estudi, com a punt de partida per un altre disseny. El tercer disseny proposa una atractiva reducció de pes (lleugerament superior al 30%) però requereix una inversió per a la seva implementació.

Aquesta última afirmació porta a concloure que, la reducció de pes mitjançant la substitució de materials metàl·lics per materials plàstics més tècnics és una millora necessària pel món de l'automoció. Aquesta alternativa comporta un augment de cost a curt termini però, en un futur proper pot ajudar als fabricants de vehicles a estalviar milions d'euros.

És convenient que el món de l'automoció comenci a implementar aquest tipus de mesures de reducció de pes en els vehicles que es desenvolupen avui amb l'objectiu de complir amb escriu la normativa europea abans de l'enduriment de sancions del 2020. De no fer-ho, la supervivència econòmica pot no estar garantida.

Agraïments

Aquest projecte no s'hagués pogut realitzar sense el suport de l'equip de Command&Control de FICOSA. Especialment els departaments de CAE i Enginyeria que m'han orientat al llarg de la preparació i la realització d'aquest document.

A més, s'ha d'agrair a la professora Maria Margarita González Benítez pel seu constant seguiment, la seva aportació d'idees i tota l'ajuda prestada en aquests mesos d'elaboració del projecte.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Unió Europea. Reglament (CE) 715-2007 de la Comissió, de 20 de juny del 2007, sobre la homologació de tipus dels vehicles de motor pel que es refereix a les emissions procedents de turismes i vehicles comercials lleugers (Euro 5 i Euro 6) i sobre l'accés a la informació relativa a la reparació i el manteniment dels vehicles. Diari Oficial de la Unió Europea L 171, 29 de juny del 2007.
- [2] Unió Europea. Reglament (CE) 443-2009 de la Comissió, de 23 d'abril del 2009, pel que s'estableixen normes de comportament d'emissions dels turismes nous com a part de l'enfocament integrat de la Comunitat per reduir les emissions de CO₂ dels vehicles lleugers. Diari Oficial de la Unió Europea L 140, 5 de juny del 2009.
- [3] AENOR. UNE-EN1753. Madrid: AENOR, 1998.
- [4] ISO 1043-1:2001(E). Plastics - Symbols and abbreviated terms. Part 1: Basic polymers and their special characteristics. Ginebra: ISO, 2001.
- [5] ISO 1043-2:2000(E). Plastics - Symbols and abbreviated terms. Part 2: Fillers and reinforcing materials. Ginebra: ISO, 2000.
- [6] ISO 527-1:1993(E). Plastics – Determination of tensile properties. Part 1: General principles. Ginebra: ISO, 1993.
- [7] Informe tècnic de l'Agència Europea del Medi Ambient (EEA) núm. 19/2014. Monitoring CO₂ emissions from passenger cars and vans in 2013. Luxemburg: Oficina de Publicacions de la Unió Europea, 2014.
- [8] Instituto Nacional de Salud e Higiene en el Trabajo. NTP 641: Fibras minerales artificiales y otras fibras diferentes del amianto (I): toxicología y clasificación. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2003.

Bibliografia complementària

- [9] Pàgina web oficial de la Unió Europea: [www.europa.eu]
- [10] MOTOR PASIÓN FUTURO - Publicació digital sobre innovació a la indústria l'automoció: [www.motorpasionfuturo.com]
- [11] TECMOVIA - Publicació digital sobre Tecnologia i cotxes de nova generació: [www.tecmovia.com.]
- [12] Pàgina web de polímers: [www.ides.prospector.com]
- [13] Pàgina web oficial del Institut Nacional de Seguretat i Higiene Laboral (INSHT): [<http://www.insht.es>]