

Resum

Els sistemes de seguretat a l'automòbil es divideixen en dos grans grups: els de seguretat activa, que tenen per objectiu evitar que es produeixin els accidents, i els de seguretat passiva, que en minimitzen les conseqüències. Dins del primer grup hi ha els sistemes ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) que interactuen amb el conductor per assistir-lo.

En les proves per desenvolupar aquests sistemes es reproduïxen escenaris de trànsit on el vehicle test interactua amb altres vehicles. L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar un d'aquests vehicles que per la naturalesa de l'assaig poden col·lidir i per tant ha de ser impactable i no ha de causar danys al vehicle test, per això s'anomena *balloon car*.

En una primera fase es realitza un estudi de l'estat de l'art dels sistemes ADAS i les tecnologies que utilitzen per determinar les condicions que ha de satisfer el *balloon car* per ser detectat correctament pels diferents sensors. Posteriorment, s'estudien alguns dels mètodes existents d'assaig dels sistemes ADAS per detectar possibles mancances, punts forts, així com tendències per adquirir un major coneixement i afrontar el procés de disseny del *balloon car*.

El *balloon car* està format per tres grans blocs com són l'estructura, els elements interns i la carrosseria. L'estructura és de perfils d'acer de seccions normalitzades unides mitjançant cargols. En el disseny s'ha tingut en compte factors com la reparabilitat degut a les condicions de treball del vehicle. S'ha validat mitjançant un procés de simulació basat en el mètode dels elements finits on s'han reproduït les condicions de xoc frontal i lateral.

Els elements interns són tant elements mecànics i elèctrics pel funcionament del vehicle com sistemes de control. S'han dissenyat principalment els dos eixos motrius del vehicle, situats linealment a la part central del *balloon car*, i el sistema de transmissió per corretja entre els motors elèctrics, que propulsen el vehicle, i els eixos de les rodes. Referent als components elèctrics i als sistemes de control, s'ha fet una selecció d'aquells que han d'anar muntats al *balloon car*.

El disseny de la carrosseria s'ha fet atenent a dos conceptes, la capacitat de ser impactable i la necessitat de ser detectable per les diferents tecnologies que utilitzen els sistemes ADAS. Així doncs, en la major part, és d'una espuma absorbent d'energia i té una forma similar als vehicles perquè sigui reconeguda per les càmeres com a tal. A més a més, incorpora sistemes reflectants perquè les tecnologies làser i lidar el detectin.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	7
2. INTRODUCCIÓ	9
2.1. Objectius del projecte.....	10
2.2. Metodologia del projecte	10
2.3. Abast del projecte	11
3. SISTEMES ADAS	13
3.1. Tecnologies utilitzades.....	14
3.1.1. Radar.....	14
3.1.2. Lídar	15
3.1.3. Làser	15
3.1.4. Ultrasons	16
3.1.5. Infraroja	17
3.1.6. Càmera.....	17
3.2. Principals sistemes ADAS.....	18
3.2.1. ACC (<i>Adaptive Cruise Control</i>).....	18
3.2.2. Assistència al canvi de carril.....	19
3.2.3. Sistemes de visió nocturna.....	20
3.2.4. Assistència a l'estacionament	21
3.2.5. Alerta al canvi involuntari de carril	23
3.2.6. Sistemes de detecció de vianants	24
3.2.7. Reconeixement de senyals de trànsit.....	25
4. EINES PER L'ASSAIG DELS SISTEMES ADAS	27
4.1. <i>Balloon car</i> inflable	27
4.2. EVITA (<i>Experimental Vehicle for unexpected Target Approach</i>)	29
4.3. VEHIL (<i>VEhicle Hardware-In-the-Loop</i>).....	30



4.4. “CarsonCity”	31
5. ANÀLISI DE LES ALTERNATIVES	33
5.1. Tipologia del <i>balloon car</i>	33
5.1.1. Capacitat de moviment.....	33
5.1.2. Capacitat de gir	33
5.1.3. Vehicle autònom o conduït.....	33
5.2. Requeriments, prestacions i especificacions	34
5.2.1. Requeriments.....	34
5.2.2. Especificacions i prestacions.....	35
5.3. Comparativa i selecció de la configuració	35
5.3.1. Sistema de tracció.....	35
5.3.2. Sistema de direcció	36
5.3.3. Punts de suport sobre el terra	36
5.3.4. Selecció de la configuració.....	37
6. DISSENY DEL <i>BALLOON CAR</i>	39
6.1. Estructura.....	41
6.1.1. Perfils	42
6.1.2. Unions	43
6.2. Elements interns	44
6.2.1. Components mecànics.....	44
6.2.2. Components elèctrics.....	50
6.2.3. Sistemes de control.....	52
6.3. Carrosseria	52
6.3.1. Part baixa de la carrosseria.....	53
6.3.2. Part alta de la carrosseria	56
7. SIMULACIÓ	59
7.1. Geometria, contactes i material.....	59
7.2. Condicions de contorn: Restriccions i càrregues	60
7.2.1. Impacte frontal.....	60
7.2.2. Impacte lateral.....	62
7.3. Mallat	63
7.4. Anàlisi de resultats.....	65



7.4.1. Impacte frontal.....	65
7.4.2. Impacte lateral.....	67
8. ANÀLISI ECONÒMIC	71
9. ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL	73
CONCLUSIONS	75
AGRAÏMENTS	77
BIBLIOGRAFIA	79
Referències bibliogràfiques.....	79
Bibliografia complementària	79
SUMARI DE FIGURES	83
SUMARI DE TAULES	87





1. Glossari

ADAS - *Advanced Driver Assistance Systems*

ABS - *Antilock Brake System*

ESP - *Electronic Stability Programme*

HMI - *Human Machine Interface*

RADAR - *RAdio Detection And Ranging*

LIDAR - *Llght Detection And Ranging*

LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

ACC - *Adaptive Cruise Control*

LKS - *Lane Keeping System*

EVITA - *Experimental Vehicle for unexpected Target Approach*

TTC - *Time To Collision*

VEHIL - *VEhicle Hardware-In-the-Loop*





2. Introducció

El nombre de vehicles que circulen per les carreteres segueix una tendència creixent [1]. Aquest augment suposa un increment dels diferents problemes existents, des dels relacionats amb l'impacte sobre el medi ambient, passant per l'esgotament progressiu de les reserves petrolíferes, fins als accidents de trànsit. Centrant-se en aquests últims, cal tenir present que, a més a més de les conseqüències pel propi accidentat i el seu entorn social, suposen una despesa molt important per a la societat.

Les dades estadístiques [2] mostren que les accions de les diferents institucions per reduir la sinistralitat a les carreteres estan aconseguint uns bons resultats. Part important d'aquesta davallada de l'accidentalitat a les carreteres es deu a la contínua implantació de sistemes per augmentar la seguretat dels vehicles. Aquests es divideixen en dos grans grups, els sistemes de seguretat activa i els de passiva. Els sistemes de seguretat activa tenen com a objectiu evitar que es produeixin els accidents, exemples d'aquest grup són el sistema per evitar el bloqueig de les rodes en la frenada (ABS) o el control d'estabilitat (ESP). Els sistemes de seguretat passiva, com per exemple el cinturó de seguretat i l'airbag, actuen quan es produeix un accident i tenen la missió de reduir-ne les conseqüències.

A diferència dels sistemes de seguretat passiva, que la seva evolució ha topat amb el seu límit econòmic i tecnològic, els de seguretat activa tenen un alt potencial de creixement, en gran part degut a les innovacions en el camp de l'electrònica.

Un exemple són els anomenats sistemes ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*), els quals s'engloben dins de la seguretat activa, que realitzen tasques de suport al conductor augmentant-ne el confort i reduint el risc de patir accidents. Els sistemes ADAS utilitzen diferents sensors per adquirir la informació necessària per assistir al conductor davant les diferents situacions de perill que se li puguin presentar.

Per desenvolupar aquests sistemes cal realitzar assaigs que es duen a terme en circuit tancat. En aquests assaigs cal reproduir diferents escenaris en que interaccionen, almenys, dos vehicles, el vehicle test i el *balloon car*.



2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és el disseny d'un vehicle per l'assaig en pista dels diferents sistemes ADAS. Aquest vehicle ha de tenir propulsió autònoma i al mateix temps ha de ser direccionable, sent capaç de realitzar qualsevol maniobra que es desitgi.

De forma secundària cal definir i dissenyar els elements mecànics i estructurals i seleccionar els sistemes elèctrics i de control del vehicle. D'altra banda també s'ha de dissenyar la carcassa exterior del vehicle tenint present que ha de ser un vehicle impactable, per això s'anomena *balloon car*. Cal doncs prestar especial atenció a factors com la seguretat i la reparabilitat.

Un altre objectiu secundari és aconseguir que el *balloon car* sigui detectable pels sensors que utilitzen els sistemes ADAS, basats en les tecnologies radar, lídar, làser i càmera.

2.2. Metodologia del projecte

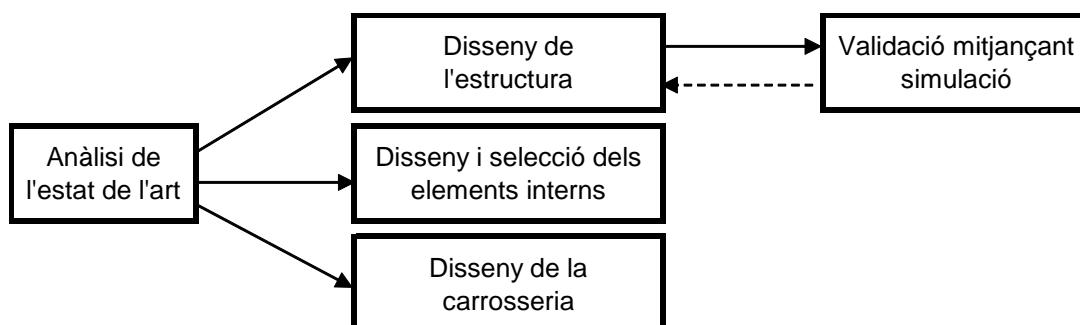


Figura 2.1. Esquema de la metodologia del projecte

Com es pot observar a la Figura 2.1, primerament s'analitza l'estat de l'art dels diferents sistemes ADAS així com les tecnologies que utilitzen, prestant major atenció als que detecten la presència de vehicles. També forma part d'aquest bloc l'estudi de les diferents eines utilitzades per assajar els sistemes ADAS.

A continuació es determinen els requeriments i les especificacions del *balloon car* i es procedeix al disseny de les diferents parts.

Un cop finalitzat aquest disseny cal fer la validació de l'estructura interna del vehicle per garantir-ne la qualitat. Aquesta fase es realitza mitjançant eines de simulació que segueixen el mètode dels elements finits.



2.3. Abast del projecte

El projecte inclou l'estudi dels diferents sistemes ADAS, de les tecnologies que utilitzen i l'anàlisi de les eines existents per assajar aquests sistemes. També forma part del projecte el disseny del *balloon car*.

Queden fora l'abast del projecte la implementació del *balloon car* i la posterior etapa de validació dinàmica en pista.





3. Sistemes ADAS

Els sistemes ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) tenen la funció d'assistir el conductor augmentant-ne així el seu confort i la seva seguretat. Actuen alertant i donant suport al conductor quan es troba en situacions difícils i de perill per tal d'evitar accidents o minimitzant-ne les conseqüències.

Aquests sistemes necessiten informació precisa i fiable de l'entorn del vehicle la qual s'aconsegueix per mitjà de diferents tipus de sensors. Per tant, l'evolució passa tant per la millora dels diferents sensors com pel processament de les dades obtingudes. Apart d'això, també és vital que hi hagi una comunicació adequada entre la màquina i l'home, el que es coneix com *Human Machine Interface* (HMI). Aquest és un aspecte crucial en l'acceptació i l'èxit dels sistemes ADAS. És per això que cal buscar un equilibri entre els beneficis que poden aportar aquests sistemes i l'acceptació de l'usuari, donant sempre, en cas de dubte, prioritat a l'acceptació, tot i que això suposi una limitació del potencial dels sistemes ADAS.

En l'actualitat es poden diferenciar dos tipus de sistemes, informatius o dinàmics. Els primers es limiten a emetre avisos (*warnings*) quan es detecta una situació potencialment perillosa. Aquests avisos es transmeten mitjançant tres canals sensorials diferents: acústic, visual i tàctil, sent aquests últims els que ofereixen una millor resposta per part de l'usuari. Els que tenen una actuació dinàmica, addicionalment realitzen una intervenció activa sobre el vehicle de forma automàtica (ja sigui sobre els frens, volant o motor), però en tot moment el conductor té la capacitat d'agafar el control total del vehicle.

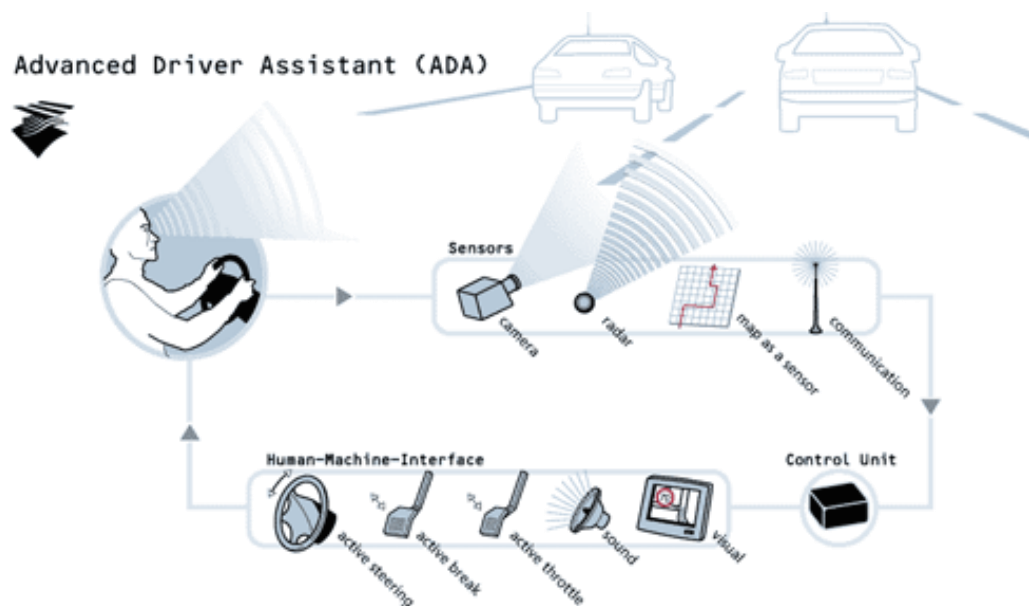


Figura 3.1. Esquema de funcionament dels sistemes ADAS



Un dels principals problemes dels sistemes ADAS són els falsos avisos, que en un gran nombre poden suposar una no acceptació del sistema per part del conductor. Aquestes errades poden ser degudes a la no interpretació per part del sistema de la maniobra que el conductor vol realitzar. Ja s'està estudiant la possibilitat d'incorporar sistemes per adquirir informació de la mirada del conductor ja que aquesta dona molta informació de la maniobra que es vol dur a terme.

3.1. Tecnologies utilitzades

A continuació es presenten les tecnologies en la que es basen els sensors utilitzats pels diferents sistemes ADAS.

3.1.1. Radar

RADAR és l'acrònim de *R*Adio *D*etection *A*nd *R*anging. Aquesta tecnologia utilitza les ones electromagnètiques per mesurar distàncies i velocitats, així com per localitzar i detectar diferents tipus d'objectes, tant fixes com mòbils, com per exemple cotxes, avions o fins i tot tempestes. El desenvolupament d'aquesta tecnologia es deu al seu ús en l'àmbit militar, però s'ha estès en altres camps com la meteorologia, la indústria aeronàutica i l'automobilística entre d'altres.

El seu funcionament es basa en l'emissió de polsos d'ones de ràdio o microones generades per l'emissor que són reflectides pels objectes que s'interposen en el seu camí, els quals produeixen un eco que es recull al receptor (generalment situat al mateix punt que l'emissor). La mesura del "temps de vol", que és el període de temps entre que s'emeten les ones i retorna l'eco d'aquestes, permet calcular la distància a la que es troba l'objecte i per mitjà de l'efecte Doppler, que mesura la variació de la freqüència del senyal, es pot mesurar la seva velocitat relativa.

El principal problema al que ha de fer front la tecnologia radar és el fenomen de les interferències, les quals dificulten la detecció del senyal d'interès. Aquestes poden ser en forma de "soroll" o en forma de "clutter". El "soroll" produeix unes variacions aleatòries del senyal mesurat i és causat tant per factors interns, com són els components electrònics, com per factors externs com la radiació tèrmica. El "clutter" són aquells ecos del senyal produïts per altres elements del que es vol detectar i són causats per factors meteorològics



com la pluja o neu (sempre i quan no es tracti d'un radar meteorològic, ja que en aquest cas és el fenomen a detectar), o per animals (per exemple els ocells en el cas de l'aviació).

3.1.2. Lídar

La tecnologia LIDAR (*Light Detection And Ranging*) utilitza un làser polsat per determinar la distància i velocitat entre l'emissor i un objecte, calculant l'interval de temps que hi ha entre l'emissió i la recepció del raig, un cop reflectit per l'objecte. És a dir, segueix el mateix principi que la tecnologia radar però enlloc d'ones electromagnètiques utilitza un raig làser. Les seves principals aplicacions són en el camp de la biologia, la geologia, la sismografia i la topografia entre d'altres.

El lídar, a diferència del radar, a l'utilitzar un làser, és molt més directiu i això permet mesurar de forma precisa objectes petits i discretitzar molt més l'objecte que s'està analitzant. Per exemple, les pistoles lídar que utilitza la policia pel control de velocitat genera un feix làser que a una distància de 500 metres té un diàmetre de només 2,5 metres. Aquesta propietat permet calcular la velocitat d'un vehicle determinat encara que estigui proper a d'altres vehicles.

3.1.3. Làser

El LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) és una font de llum d'alta direccionalitat (no es dispersa) i per tant té una intensitat elevada. Aquest utilitza un efecte de la mecànica quàntica, l'emissió estimulada. La llum produïda és de gran coherència, és a dir, totes les ones lluminoses s'acoblen de forma ordenada, estan en fase i per tant interfereixen de forma constructiva. Aquesta llum pot ser visible o invisible, i en el primer cas presenta una elevada monocromaticitat.

El seu funcionament mostra un paral·lelisme al sistema radar. Emet polsos de llum d'alguns nanosegons de duració. Aquesta és reflectida per un objecte i és captada pel receptor, que generalment està al mateix sensor. El seu principi de mesura de la distància també es basa en el "temps de vol" del senyal.

Aquesta tecnologia té una immensitat d'aplicacions en camps molt diversos. A nivell industrial s'utilitza per tallar, fondre o soldar entre d'altres, processos d'elevada precisió degut a la direccionalitat del làser. També s'utilitza en medicina, per exemple en cirurgia ocular, en lectors de codis de barres dels productes, lectors de CD/DVD, investigacions científiques i en l'àmbit militar.



En la seva aplicació en l'automoció com a sistema de mesura, la direccionalitat del raig làser es presenta com un inconvenient ja que només permet analitzar un petit angle del que envolta el vehicle. Per tal d'abastar un major camp s'utilitza un mirall giratori on es reflecteixen els raigs, aconseguint així el que s'anomena làser escàner. Això permet un control d'uns 150 graus i un abast de fins a 200 metres. Es pot augmentar aquest rang de control introduint un major nombre de làsers, arribant a controlar tot el voltant del vehicle.

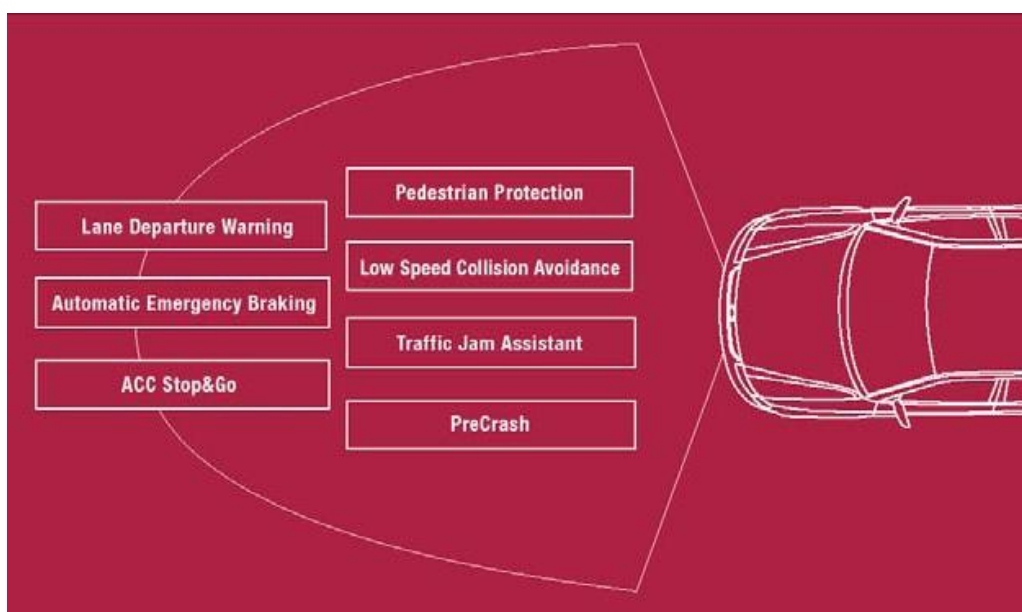


Figura 3.2. Aplicacions del làser escàner. Model IBEO Alasca XT

3.1.4. Ultrasons

Els ultrasons són aquelles ones sonores amb una freqüència per sobre el llindar auditiu humà, és a dir, de freqüències superiors als 20 kHz. Alguns animals, com per exemple els dofins o ratpenats utilitzen l'ecolocalització, que és un sistema d'orientació i recreació de l'entorn basat en les ones ultrasonores. De la mateixa forma s'utilitza en la navegació marítima, en el que s'anomenen sistemes sonar. Aquesta tecnologia té moltes altres aplicacions, en el camp industrial destaca l'assaig de materials i en l'àmbit de la medicina, les ecografies.

Per mesurar la distància respecte a un objectiu també utilitza el "temps de vol", és a dir el temps que transcórrer entre que s'emeta el pols en l'emissor i es rep en el receptor. També permet mesurar la velocitat relativa per mitjà de l'efecte Doppler.



En aplicacions utilitzades fora de l'aigua, com en el cas de l'automoció, la mala conducció de l'aire redueix el seu abast a només 2-3 metres, fet que en limita el seu ús. No obstant, en camps com la robòtica, aquesta tecnologia té un abast de fins a uns 10 metres fet que en automoció permetria ampliar el ventall de sistemes ADAS que podrien utilitzar aquesta tecnologia.

3.1.5. Infraroja

Els raigs infrarojos són aquells que en l'espectre electromagnètic es troben entre la llum visible i les microones, per tant queden fora del rang de visió humana. Com el seu nom indica, la seva freqüència està per sota la de llum vermella (la de la major freqüència de l'espectre òptic). La seva longitud d'ona està compresa entre els 700 nanòmetres i 1 mil·límetre.

La radiació infraroja és utilitzada per la termografia per conèixer la temperatura dels objectes. Aquesta tècnica utilitza càmeres termogràfiques que mostren els objectes que es troben a major temperatura de forma més lluminosa degut a que desprenen una major quantitat de radiació. Aquesta tècnica és utilitzada pels científics per calcular la temperatura terrestre, també s'utilitza en sistemes de visió nocturna ja que no requereixen llum artificial.

Altres aplicacions són els accionaments remots, com per exemple els comandaments a distància, o com a mitjà d'intercomunicació entre dispositius electrònics. En el camp industrial s'utilitza per l'assecat de pintura, el preescalfament de soldadures i el tractament del vidre entre d'altres.

3.1.6. Càmera

En la conducció, el canal sensorial que suporta una major càrrega de treball és el de la vista. Aquest fet ha motivat que un important nombre d'empreses dedicades al desenvolupament de sistemes ADAS hagin apostat per les càmeres com a sistema sensorial ja que és el component tècnic que millor pot rellevar la tasca de l'ull humà.

Les càmeres presenten com a principal problema el deteriorament de la qualitat de la imatge en males condicions climatològiques i en condicions de foscor, això ha estat solucionat en gran part gràcies a la seva evolució. Al ser la tecnologia més semblant a la visió humana permet realitzar una classificació fiable dels objectes capturats, no obstant hi ha una mancança de percepció de la profunditat. Aquest fet s'ha solucionat amb la



utilització de les càmeres estèreo, que consten de dues càmeres separades que mitjançant l'estereoscòpia permeten reconstituir una sola imatge recreant la profunditat.

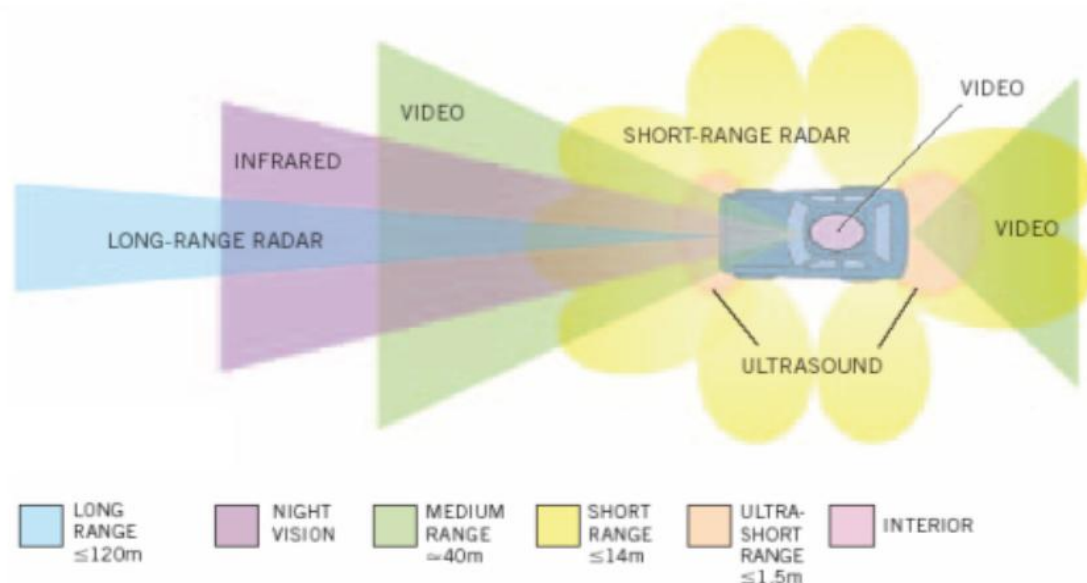


Figura 3.3. Tecnologies utilitzades pels diferents sensors dels sistemes ADAS

3.2. Principals sistemes ADAS

Actualment hi ha un gran ventall de sistemes ADAS en desenvolupament, alguns d'ells ja es troben al mercat. Tal i com ha succeït amb molts altres sistemes, en un primer moment només s'instal·len en els vehicles d'alta gamma de les marques *premium* i amb el pas del temps s'incorporen a la resta de vehicles. A continuació s'exposen els principals sistemes ADAS, sent els primers aquells que detecten vehicles i deixant pel final la resta de sistemes.

3.2.1. ACC (*Adaptive Cruise Control*)

El control de creuer clàssic és un sistema que permet mantenir de forma automàtica una velocitat predeterminada pel conductor del vehicle, oferint una conducció més relaxada. A partir de certa densitat en el trànsit, aquest sistema perd la seva eficàcia, motiu pel qual s'ha realitzat una evolució del sistema donant lloc a l'anomenat *Adaptive Cruise Control* (ACC). Com indica el seu nom, s'adapta al trànsit disminuint-ne la velocitat quan s'aproxima



al vehicle precedent i tornant-la a augmentar quan les condicions ho permeten, és a dir, regula de forma automàtica la velocitat del vehicle en funció de l'estat del trànsit.

Aquests sistemes fan ús, generalment, de la tecnologia radar o làser per obtenir la informació necessària pel seu funcionament. Els de tecnologia làser tenen un cost menor però presenten una menor efectivitat en situacions de males condicions climatològiques i al detectar vehicles bruts o animals, els quals presenten una baixa reflectivitat.

L'evolució d'aquests sistemes ha permès ampliar el seu rang de funcionament, que actualment va des dels 0 als 200 km/h, i per tant ja poden ser utilitzats en condicions de trànsit molt dens fins a l'extrem d'embussos. Això permet que en aquestes condicions, on la tasca del conductor era molt feixuga, aquest es pugui relaxar deixant que sigui el propi vehicle el que vagi realitzant les contínues arrencades i aturades, i al mateix temps s'eviten les habituals col·lisions que es produeixen en aquestes situacions.

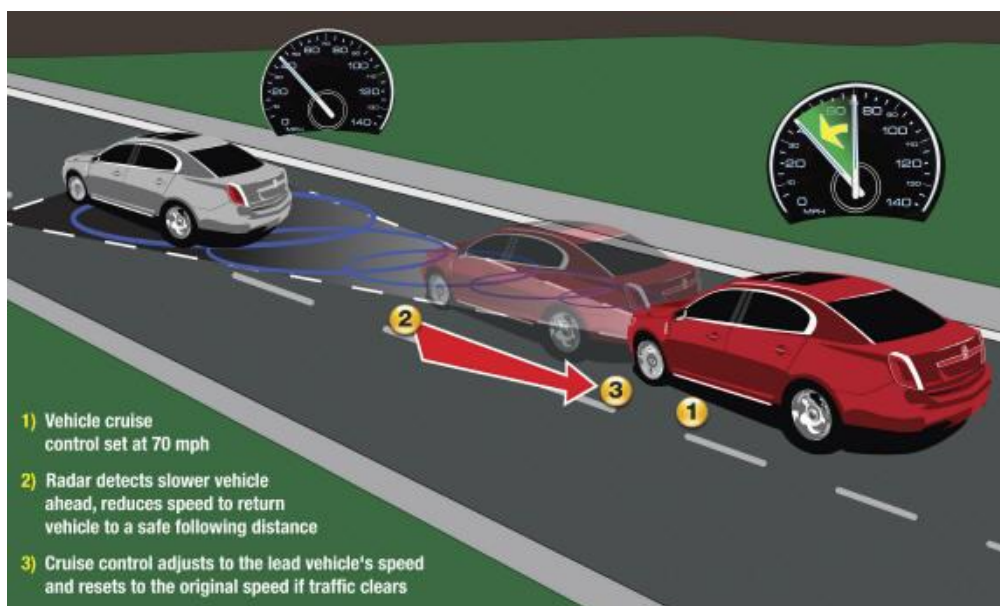


Figura 3.4. Sistema ACC amb tecnologia radar

3.2.2. Assistència al canvi de carril

La maniobra de canvi de carril presenta un important problema, la presència del que s'anomena angle mort. Aquesta és la zona que queda fora del camp de visió del conductor al mirar pels retrovisors laterals i central del vehicle. Aquest fet és la causa d'alguns accidents, que en major freqüència tenen com a vehicles involucrats motocicletes i bicicletes.



Per superar aquest problema s'ha desenvolupat un sistema d'assistència al canvi de carril que controla la zona que queda fora del camp de visió del conductor per mitjà de dos sensors radars de curt abast instal·lats al para-xocs posterior del vehicle. Això permet controlar l'angle mort i la part posterior del vehicle fins a una distància de 50 metres.

La interacció del sistema amb el conductor es fa, generalment, per mitjà d'un senyal lluminós ubicat als retrovisors laterals del vehicle. Aquest s'activa quan hi ha la presència d'algun obstacle mòbil en la zona controlada pels radars.

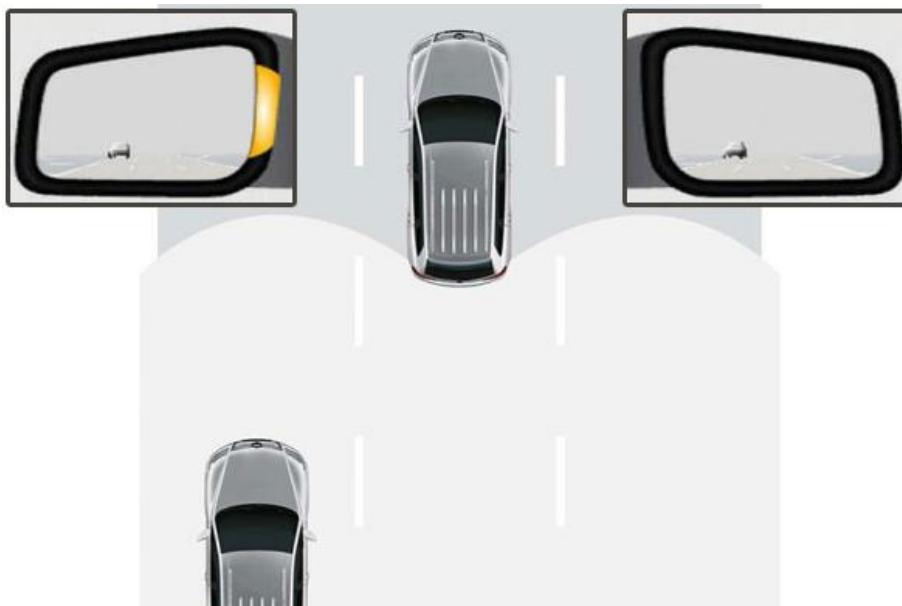


Figura 3.5. Sistema d'assistència al canvi de carril. Senyal lluminós al retrovisor

3.2.3. Sistemes de visió nocturna

Tot i que durant la nit el trànsit es redueix a una cinquena part, és el període en el que es produeixen més d'un terç dels accidents greus. Això significa que el risc d'accident durant la nit es veu altament incrementat, en gran part per la dràstica reducció de la visibilitat degut a la manca de llum. Els llums de llarg abast produeixen una bona il·luminació però el seu ús es veu limitat a aquelles situacions en que no es causi l'enlluernament als conductors dels altres vehicles. És en aquestes situacions, quan es circula amb els llums de curt abast, que sovint quan es visualitza l'obstacle ja és massa tard i l'accident ja no es pot evitar.

Per fer front a aquest problema s'utilitzen les càmeres tèrmiques que capten la radiació infraroja emesa pels objectes i es transforma en imatges en blanc i negre que es mostren en una pantalla dins l'habitacle del vehicle o es projecten al parabrises. Aquest sistema no



requereix cap il·luminació addicional i s'anticipen als sistemes d'il·luminació en la possibilitat de detectar els objectes. Tenen un abast d'uns 150 metres i per tant permeten al conductor realitzar les maniobres necessàries per evitar els obstacles.



Figura 3.6. Sistema de visió nocturna amb fars infraroigs

Un altre sistema es basa en dos emissors d'infrarojos incorporats als fars davanters del vehicle, sistema utilitzat pel vehicle de la Figura 3.6. Aquesta il·luminació addicional és capturada per càmeres tèrmiques i les imatges es mostren com en el cas anterior. Aquest sistema té un rang similar al dels llums de llarg abast però no produeixen l'enlluernament als altres conductors al no ser visibles per l'ull humà.

3.2.4. Assistència a l'estacionament

Degut a l'augment del nombre de vehicles, cada cop hi ha una major dificultat per trobar aparcament, fet que s'accentua en les grans ciutats. D'altra banda, el disseny actual dels vehicles deixa moltes zones d'aquest fora del camp de visió del conductor, fet que complica la maniobra d'aparcament. Tot i no ser una maniobra perillosa pels ocupants, degut a la baixa velocitat a la que es realitza, sí que pot ser perillosa pels vianants del voltant del vehicle i també pot ser la causa de petits danys al vehicle.

Són aquest seguit d'aspectes els que donen lloc a l'origen dels sistemes d'assistència a l'aparcament. Aquests sistemes no requereixen d'un gran abast i per tant, generalment,



utilitzen sensors de tecnologia ultrasònica degut al seu baix cost i són ràpidament amortitzats a l'evitar els primers desperfectes en el vehicle. Això fa que en l'actualitat sigui un dels sistemes ADAS muntat en més vehicles. La disposició més estesa és la de quatre sensors d'ultrasons repartits pel para-xocs, tant en el posterior com en el davanter. Aquests subministren la informació necessària per tal d'alertar el conductor, generalment amb senyals acústics, quan s'aproxima de forma perillosa a algun objecte o persona, indicant-ne la distància de separació respecte a l'objecte per mitjà de la intermitència del senyal.



Figura 3.7. Sistema d'assistència a l'estacionament amb sensors d'ultrasons

En alguns casos els ultrasons són substituïts per sistemes de vídeo o actuen conjuntament amb aquests. En aquests sistemes es captura la imatge de la zona posterior i es mostra en una petita pantalla, facilitant i fent més segura la maniobra d'aparcament. A més a més, en alguns casos, a la imatge apareix la línia de trajectòria prevista en funció de la posició del volant, facilitant encara més la tasca al conductor.

Darrerament han aparegut al mercat sistemes d'assistència activa a l'aparcament que gràcies a l'acció d'actuadors sobre el volant i els pedals el vehicle aparca de forma automàtica.



3.2.5. Alerta al canvi involuntari de carril

El sistema d'alerta al canvi involuntari de carril ja s'incorpora en un nombre important de vehicles, el nom del qual varia en funció del fabricant però en tots els casos la missió és la mateixa.

Cal tenir present que la major part dels accidents de trànsit es produeixen per errors humans. Un dels factors més habituals són les distraccions al volant que poden ser l'origen d'un desplaçament lateral del vehicle amb la conseqüent invasió del carril adjacent. Aquest sistema té per objectiu evitar aquestes situacions alertant al conductor quan es produeix un canvi involuntari de carril, evitant-ne així el possible accident. El sistema avalua la voluntarietat del conductor per realitzar el canvi de carril per mitjà de l'activació dels intermitents, evitant així els falsos avisos quan s'està realitzant la maniobra de forma conscient.



Figura 3.8. Sistema d'alerta al canvi involuntari de carril amb infrarojos

Les dues principals tecnologies utilitzades són els sensors infrarojos i les càmeres de vídeo. Totes dues es basen en la detecció de les línies blanques que delimiten els carrils i els avisos per alertar el conductor poden ser acústics, lluminosos o en forma de vibració, tant al volant com al seient.



En el cas dels infrarojos, aquests s'instal·len a la part inferior del para-xocs davanter enfocats cap al terra i es determina si existeix un canvi de carril en funció de la detecció de la llum reflectida per les línies blanques.

En el cas de les càmeres de vídeo, aquestes s'instal·len, generalment, darrere del retrovisor central ja que ofereix una bona visió i al mateix temps no obstaculitza el camp de visió del conductor. A més a més, és una zona més protegida que per exemple el para-xocs davanter i així s'evita que pateixi danys en cas d'accident. Els sistemes que utilitzen les càmeres permeten anticipar-se a la invasió de carril però, com s'ha vist anteriorment, no garanteixen un bon funcionament en cas de males condicions de visibilitat.

En les zones urbanes hi ha gran concentració de senyals horitzontals i això provocaria una constant activació errònia dels avisos del sistema. És per aquest motiu que el sistema d'alerta al canvi de carril roman apagat a velocitats inferiors als 50-70 km/h, velocitats típiques en zones urbanes, evitant així ser una molèstia per l'usuari i que provoqui el seu rebuig.

Les versions més avançades d'aquest sistema s'anomenen *Lane keeping system* (LKS), que apart d'alertar el conductor realitzen petites actuacions sobre el volant per ajudar-lo a mantenir el vehicle dins del carril pel que circula.

3.2.6. Sistemes de detecció de vianants

Els vianants, apart de ser molt vulnerables davant d'accidents, són difícils de visualitzar degut a la manca d'emissió de llum i la baixa reflexibilitat que presenten, fent-se més extrema aquesta situació en cas de condicions nocturnes. Per fer front a aquest problema es presenten els sistemes encaminats a detectar vianants.

Aquests sistemes tracten les imatges captades per una càmera ubicada en el vehicle, mitjançant algorismes molt complexes, per detectar entre els diferents objectes la presència de persones i poder alertar el conductor. Paral·lelament, alguns sistemes de visió nocturna, apart de mostrar una imatge de suport per millorar la visibilitat, alerten automàticament i de forma especial quan detecten la presència d'un vianant en la trajectòria que segueix el vehicle.



3.2.7. Reconeixement de senyals de trànsit

Aquest és un sistema que per mitjà de l'ús de càmeres (pot ser la mateixa que s'usa en el sistema d'alerta al canvi involuntari de carril) i processant les imatges captades amb un software específic, permet detectar els senyals de trànsit i mostrar-los en una pantalla o projectar-los al parabrises del vehicle per tenir informat el conductor en tot moment.

Hi ha diferents softwares de reconeixement de senyals, però principalment tots segueixen les mateixes etapes. Primerament es detecta la presència d'un senyal de trànsit en la imatge. La detecció d'aquesta zona d'interès es fa mitjançant l'estudi de forma i color. Posteriorment es realitza el reconeixement del senyal, generalment analitzant la disposició de colors i, en el cas de senyals amb dígit, se'n fa la seva lectura. En aquest últim cas, la informació extreta d'un senyal de velocitat màxima permesa pot ser utilitzat com a dada per regular la velocitat del sistema ACC.

Aquest sistema ha de fer front a la dificultat que suposa la no estandardització dels senyals de trànsit arreu del món.

S'està treballant en la fusió de la informació aportada per aquests sistemes de detecció de senyals i la subministrada pels sistemes de navegació a bord per tal d'eliminar els punts febles de cadascun d'aquests sistemes, aconseguint així un sistema més fiable. En el cas dels primers, la principal debilitat és el fet que els senyals poden quedar ocults darrere altres vehicles o objectes i per tant poden no ser detectats. Pel que fa a les dades d'informació de la cartografia digital aquestes poden no estar actualitzades o no ser completes, per exemple en el cas d'obres o trams de velocitat variable.





4. Eines per l'assaig dels sistemes ADAS

Durant la fase de desenvolupament dels diferents sistemes ADAS cal realitzar assaigs en els quals el vehicle test, equipat amb el sistema ADAS, interacciona amb un vehicle *target* que recrea diferents escenaris de trànsit.

Un dels requisits més importants d'aquests assaigs és que s'han de desenvolupar sota les condicions de màxima seguretat possible ja que hi prenen part persones. Al mateix temps, cal que si es produeix una col·lisió, el vehicle test no pateixi danys i el *balloon car* pugui tornar a ser utilitzat en un període breu.

A continuació s'exposen les principals eines existents per l'assaig dels sistemes ADAS.

4.1. *Balloon car* inflable

Al centre de desenvolupament de Dearborn de la companyia automobilística Ford s'utilitzen *balloon cars*, que realitzen la funció de *target*, en l'assaig de sistemes d'assistència a la frenada. Aquests són elements inflables amb forma de vehicle realitzats amb un material que garanteix que tinguin una vida útil acceptable. La seva reduïda massa, de 20 kg, fa que en cas d'impacte els desperfectes que pateix el vehicle test siguin mínims, però com a contrapartida n'impossibilita el seu ús en condicions de vent ja que el *balloon car* no resta immòbil.

Les característiques d'aquests *balloon cars* garanteixen unes condicions de gran seguretat durant la realització dels assaigs i permeten que es produeixin impactes sense les conseqüents destrosses, fet que, tot i l'elevat cost de cada unitat (uns 10.000 dòlars), globalment suposa un estalvi important. Aquest fet també possibilita assajar els sistemes fins a situacions més extremes, al deixar de banda el temor a les conseqüències d'un possible impacte.

Els *balloon cars* han de tenir unes característiques concretes per tal que siguin correctament detectats pels diferents sensors dels sistemes ADAS, fent necessari en algunes ocasions la inclusió d'alguns elements. És el cas del rectangle de pintura metàl·lica de la part posterior del *balloon car* que té la missió de reflectir el senyal del radar, que és la tecnologia utilitzada pel sistema ADAS assajat per Ford.



No obstant, tot i aquestes característiques favorables, aquest *balloon car* és un element estàtic, fet que suposa una important limitació en el nombre de sistemes ADAS que es poden assajar així com algunes restriccions en els tests que prenen part.



Figura 4.1. *Balloon car* utilitzat per la companyia Ford

Per fer front a aquesta limitació es va idear un sistema per dotar de mobilitat al *balloon car* consistent en unir-lo lateralment per mitjà d'un braç a un vehicle anomenat *rabbit*. És aconsellable que aquest vehicle tingui una massa elevada perquè l'increment de massa que suposa el conjunt braç - *balloon car* afecti menys les seves prestacions. En aquesta nova configuració, com es pot veure a la Figura 4.2, el *balloon car* només representa la part posterior d'un vehicle, per tant, simplement s'utilitza un bloc rectangular ple d'aire. Altres companyies utilitzen aquesta mateixa configuració però substitueixen el bloc d'aire per la carrosseria posterior d'un vehicle. Per evitar danys el sistema ha de ser capaç d'aixecar aquest *target* quan els sensors detecten situacions d'impacte imminent.

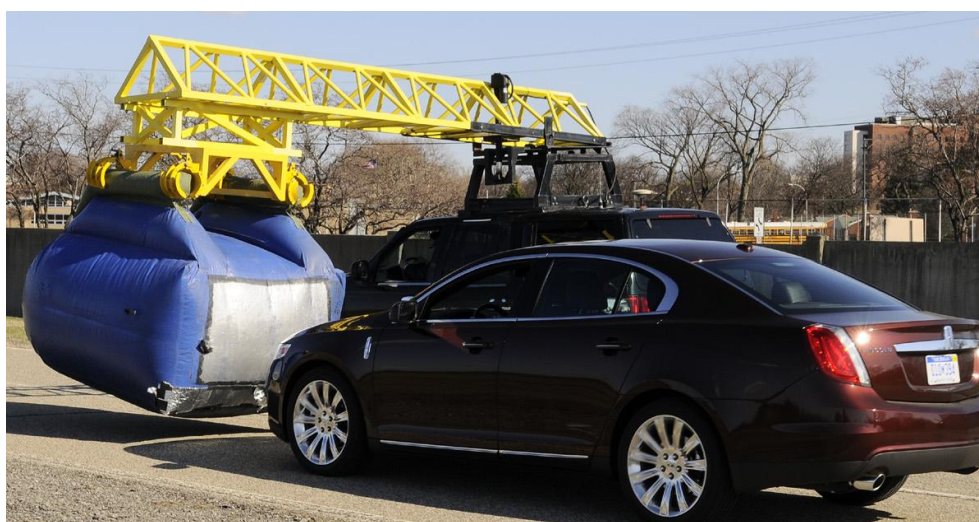


Figura 4.2. Sistema d'assaig *rabbit - balloon car*



4.2. EVITA (*Experimental Vehicle for unexpected Target Approach*)

L'eina EVITA, desenvolupada per la universitat alemanya de Darmstadt, s'utilitza per assajar sistemes anticollisió, així com per determinar l'efectivitat dels diferents sistemes existents d'alerta al conductor.

Es tracta d'un remolc arrossegat per un vehicle mitjançant un cable metàl·lic que s'enrotlla a un cabrestant. El remolc fa la funció de *target*, que es materialitza amb la part posterior de la carrosseria d'un vehicle, en concret d'un Mercedes classe A. Un estudi demostra que gràcies a la similitud amb un vehicle real, la conducció davant el sistema EVITA no varia respecte a un cas real, per tant els resultats dels assaig són vàlids.

Aquesta eina d'assaig és capaç de realitzar acceleracions i frenades, és a dir, permet reproduir el comportament dinàmic longitudinal d'un vehicle. No obstant, a causa del tipus d'unió entre vehicle tractor i remolc no permet simular la dinàmica transversal.

Pel seu funcionament es requereix un seguit d'instrumentació, que es pot veure a la Figura 4.3. El sensor radar instal·lat en el remolc mesura la distància de separació respecte al vehicle test i la velocitat relativa entre ambdós, possibilitant el càlcul del temps restant per la hipotètica col·lisió (TTC, *Time To Collision*). Per tant, aquest realitza una funció de seguretat.

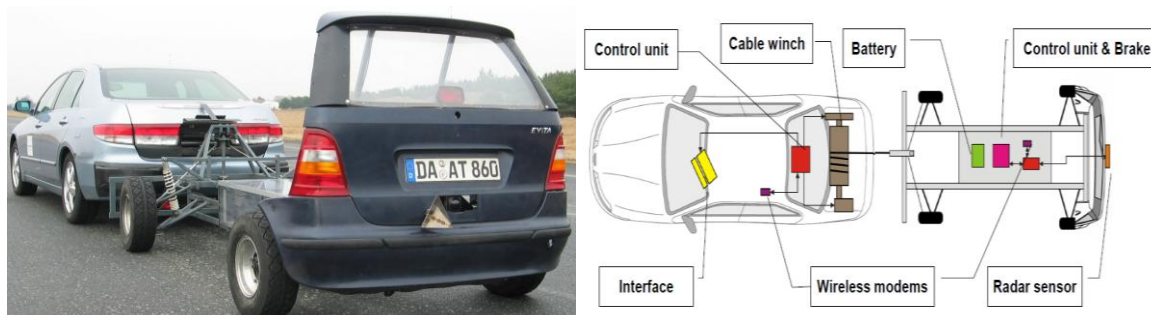


Figura 4.3. Fotografia i esquema de l'eina EVITA

A continuació es descriu un possible desenvolupament de l'assaig, per facilitar-ne la comprensió, i l'actuació dels diferents sistemes de seguretat: el vehicle tractor circula a velocitat constant mentre que el remolc va disminuint la seva velocitat, tot desenrotllant-se el cable que els uneix, reduint així la separació entre el vehicle test i el *target*. Així doncs, si el vehicle test no redueix la velocitat, el TTC anirà disminuint, i en el cas d'assolir un valor de 1,5 segons s'activaria automàticament el fre del cabrestant accelerant el remolc fins assolir novament la velocitat del vehicle tractor. Si aquesta actuació no fos suficient i el TTC



assolís un valor de 0,7 segons es produiria una frenada d'emergència. Finalment, si cap d'aquestes mesures evités el xoc aquest no seria molt violent degut a la reduïda massa del *target*.

4.3. VEHIL (*VEhicle Hardware-In-the-Loop*)

L'assaig en pista dels sistemes ADAS presenta un seguit d'inconvenients com són l'impossibilitat de simular tots els diferents escenaris possibles, la dificultat d'assolir un bon nivell de repetibilitat en la realització dels assaig i la manca de credibilitat total dels resultats obtinguts. A més a més, també cal prendre unes importants mesures de seguretat per garantir la protecció dels conductors i els vehicles que hi prenen part. Tots aquests aspectes fan que el procés d'assaig tingui un pes molt important tant a nivell de costos com de temps en el desenvolupament dels sistemes ADAS.

Per fer front a aquest problema, l'empresa TNO Automotive va desenvolupar el VEHIL, que es presenta com a pont d'unió entre la simulació per computador i els tests en pista. Aquesta eina va ser posada en funcionament a finals de l'any 2003 a les instal·lacions de Helmond (Holanda) i permet, entre altres coses, assajar els sistemes ADAS. Es poden assajar vehicles fins a velocitats de 250 km/h i d'una massa màxima de 12.000 kg.

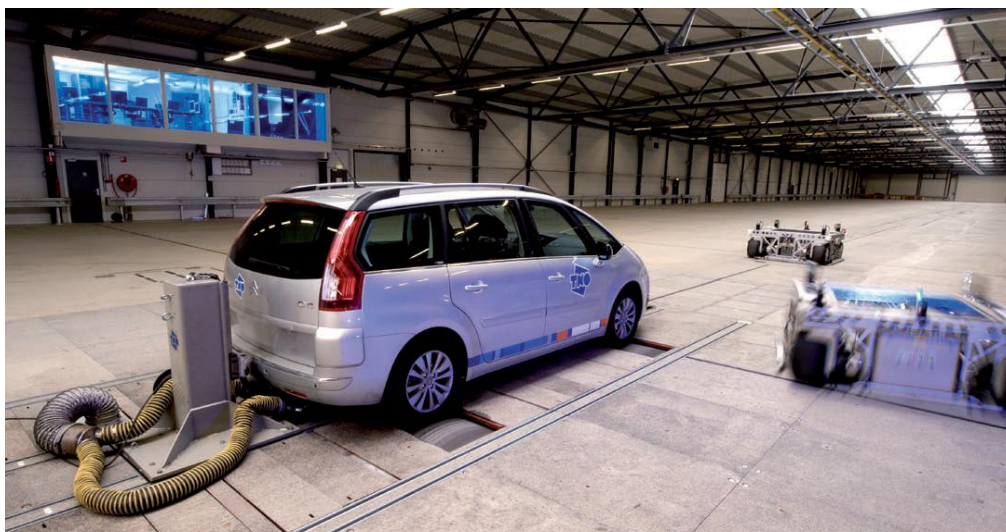


Figura 4.4. Sistema VEHIL a les instal·lacions de TNO Automotive

En aquest sistema, el vehicle test equipat amb els sistemes ADAS a assajar s'ubica durant tota la prova sobre uns rodets giratoris (*chassis dynamometer*) que ofereixen una càrrega realista pels mecanismes de tracció i frenada així com per la direcció del vehicle. Tot i que



el vehicle no es desplaça, els seus sensors així ho perceben degut al moviment relatiu d'un vehicle autònom, o variis, que és dirigit pel propi simulador. El controlador a bord del vehicle test s'alimenta d'informació mixta entre la real subministrada pels sensors i la generada pel simulador per tal de controlar els actuadors, tancant d'aquesta manera el llaç.

4.4. “CarsonCity”

Aquesta pista d'assaig, anomenada “CarsonCity”, es troba a les instal·lacions d'Autoliv de la localitat Sueca de Vårgårda i representa la intersecció de dues vies urbanes. El disseny és tal ja que s'utilitza per provar i avaluar sistemes de *pre-crash* i de seguretat activa en l'entorn urbà. Permet simular diferents situacions reals de trànsit que impliquin perillositat, tant amb la implicació de vehicles com de persones.

Està pensat per velocitats del vehicle test de fins a 70 km/h, i del *balloon car* de fins a 50 km/h i amb una acceleració de 5 m/s^2 . El *balloon car* és autònom en la propulsió, la qual és elèctrica, però no en la direcció, ja que segueix un perfil de plàstic fixat al terra que fa de guia. Pot desplaçar-se endavant i endarrere i està dissenyat per suportar impactes de fins a 50 km/h.



Figura 4.5. “CarsonCity” a les instal·lacions d'Autoliv





5. Anàlisi de les alternatives

5.1. Tipologia del *balloon car*

Cal definir unes característiques generals del *balloon car*, en funció de les quals quedaran delimitades les prestacions del vehicle. Aquestes característiques es divideixen en els següents subapartats.

5.1.1. Capacitat de moviment

En funció d'aquesta característica es diferencia entre un vehicle estàtic o un de mòbil. Un *balloon car* ha de ser capaç de recrear diferents escenaris de trànsit per poder assajar sistemes ADAS, per tant, aquest ha de tenir la capacitat de moviment.

5.1.2. Capacitat de gir

Per ampliar la tipologia dels assaig que es puguin realitzar amb el *balloon car* i no limitar aquests a trajectòries rectilínies, s'ha decidit que aquest tingui la capacitat de canviar de direcció.

5.1.3. Vehicle autònom o conduït

Havent determinat que el *balloon car* té la capacitat de moviment i gir cal determinar si aquestes característiques les adquireix de forma autònoma, mitjançant els sistemes pertinents muntats en el propi vehicle o, si per contra, són resultat de l'actuació d'elements externs.

Respecte a la capacitat per desplaçar-se, una possible alternativa és la d'utilitzar un vehicle tractor per arrossegar el *balloon car* per mitjà d'un cable, com ho fa l'EVITA. Aquesta opció s'ha descartat ja que anul·la la capacitat de gir i es poden produir impactes amb el vehicle tractor.

Referent a la direccionalitat, aquesta es pot aconseguir per mitjà d'un sistema de guies que defineixi la trajectòria seguida pel *balloon car*, fet que suposa una simplificació del vehicle a



l'estalviar el sistema de direcció. No obstant, la concepció del sistema de guiatge presenta alguns inconvenients. El sistema ha de ser modulable per permetre al *balloon car* seguir diferents trajectòries. Al mateix temps, la guia no ha d'interferir ni causar danys a cap dels vehicles que prenen part en l'assaig. Degut a aquestes dificultats s'ha descartat l'alternativa de la guia i s'ha optat perquè el *balloon car* tingui un sistema propi de direcció.

Així doncs, la tipologia del *balloon car* serà la d'un vehicle autònom pel que fa a la capacitat per moure's i canviar la direcció.

5.2. Requeriments, prestacions i especificacions

Un cop determinada la tipologia del vehicle i abans d'entrar pròpiament a la fase de disseny del *balloon car* cal definir els requeriments que ha de complir i determinar les seves prestacions i especificacions.

5.2.1. Requeriments

Els requeriments del *balloon car* s'exposen en els següents punts:

- El *balloon car* ha de presentar similitud, en dimensió i forma, a un vehicle real perquè sigui correctament detectat mitjançant una càmera. La pell del *balloon car* ha d'incorporar materials detectables per la tecnologia lídar i làser. No es poden utilitzar peces d'elevada rigidesa sinó que s'ha de fer ús de materials en forma de film.
- El vehicle està format per una estructura bastidor interna amb una rigidesa suficient per allotjar els elements mecànics i electrònics i garantir la integritat estructural en cas d'impacte segons especificacions i, per una pell que recobreix l'estructura bastidor i que està fabricada d'un material absorbent i deformable per no causar danys al vehicle test.
- El *balloon car* ha de poder realitzar diferents maniobres amb l'objectiu de representar diferents situacions reals de circulació, per tant, el vehicle estarà dotat de sistema de tracció/frenada i sistema de direcció.
- El *balloon car* ha de ser autònom i no hauria de requerir de cap sistema o dispositiu a instal·lar a la pista d'assaig a l'hora de realitzar els tests.



- El temps de realització d'un nou assaig després d'un impacte ha de ser breu i amb el menor cost possible. Per tant, a més de la pell que absorbeix l'energia, s'han d'instal·lar fusibles mecànics en el disseny del conjunt.
- El centre de gravetat del *balloon car* ha de quedar per sota del centre de gravetat del vehicle evitant així la possibilitat de bolcada.

5.2.2. Especificacions i prestacions

Aquestes són les especificacions i prestacions del *balloon car*:

- Les dimensions del *balloon car* són de 4,2 x 1,75 x 1,47 m
- La velocitat màxima del *balloon car* és de 80-100 km/h.
- La capacitat d'acceleració i frenada del *balloon car* és de 5 m/s².
- La massa aproximada del conjunt és de 130-150 kg.

5.3. Comparativa i selecció de la configuració

El *balloon car* pot adoptar una gran varietat de configuracions diferents, entre aquestes, les variacions més importants radiquen en les alternatives que ofereixen els sistemes de tracció i direcció. Els punts de suport del vehicle sobre el terra, tant pel que fa al nombre com al tipus, també amplien el ventall de possibilitats. Seguidament es presenten les principals alternatives en cadascun dels sistemes.

5.3.1. Sistema de tracció

En funció del sistema de tracció es consideren tres possibles alternatives:

- T.1) Un sistema de dues rodes motrius muntades a un mateix eix. Aquesta configuració requereix la utilització d'un diferencial per permetre que en trams corbes les rodes motrius del *balloon car* girin a diferents revolucions, altrament es veurien forçades a lliscar.



- T.2) Un sistema basat en la utilització de dues rodes motrius muntades sobre eixos diferents alineats, els quals són moguts per motors independents.
- T.3) Un sistema de tracció amb una única roda motriu.

5.3.2. Sistema de direcció

Depenent del sistema de direcció utilitzat per orientar el *balloon car*, també es consideren tres alternatives:

- D.1) Un sistema de direcció amb dues rodes directrius, amb gran similitud al dels automòbils convencionals.
- D.2) Un sistema de direcció mitjançant una única roda, anàleg a l'utilitzat en un tricicle.
- D.3) La utilització de la diferència de velocitat de dues rodes, propulsades per dos motors independents, per aconseguir el gir del vehicle.

5.3.3. Punts de suport sobre el terra

Les principals opcions són les de tres o quatre punts de suport en el vehicle. La utilització de tres rodes, en front a les quatre rodes, presenta simplificacions importants a nivell mecànic, una menor massa, menor resistència a la rodadura, una aerodinàmica més eficient i major maniobrabilitat. En contrapartida, l'estabilitat d'aquests vehicles és menor, sent aquesta diferència més extrema en els de configuració delta, és a dir, una roda davant i dues darrere. Els vehicles de configuració inversa, anomenats *tadpole* o *reverse trike*, presenten una major estabilitat, però aquesta no és comparable a la dels vehicles convencionals de quatre rodes.

Tot i els beneficis que suposaria dissenyar un vehicle de tres rodes, com que la concepció del *balloon car* és la d'un vehicle que pugui estar sotmès a impactes, s'ha optat per un vehicle amb quatre punts de suport.



5.3.4. Selecció de la configuració

En aquesta secció es valoren, en funció d'uns aspectes, les possibles configuracions de cada sistema per separat. Els resultats determinen quina és la configuració òptima que ha d'adoptar el *balloon car*.

SISTEMES DE TRACCIÓ		Configuracions		
		T.1 Dav./ Pos.	T.2	T.3 Dav./ Pos.
Aspectes	Acceleració	2,5 / 10	5	0 / 5
	Frenada	10 / 2,5	5	7,5 / 0
	Estabilitat	10 / 5	7,5	2,5 / 0
	Massa	0	5	10
	Cost	0	5	10
GLOBAL		22,5 / 17,5	27,5	30 / 25

Taula 5.1. Valoració dels diferents sistemes de tracció

SISTEMES DE DIRECCIÓ		Configuracions		
		D.1	D.2	D.3
Aspectes	Maniobrabilitat	0	5	10
	Estabilitat	7,5	0	7,5
	Massa	0	10	5
	Cost	5	10	5
GLOBAL		12,5	25	27,5

Taula 5.2. Valoració dels diferents sistemes de direcció



Així doncs, s'ha optat per la configuració T.2 i D.3, és a dir, la de dues rodes motrius centrals muntades sobre eixos diferents alineats propulsades per motors independents que gràcies a la diferència de velocitat de rotació de les rodes el *balloon car* pot realitzar trajectòries corbes.

Aquesta configuració no és la que ofereix unes millors prestacions d'acceleració i frenada, sinó que és una situació de compromís entre ambdues característiques, garantint sempre unes mínimes prestacions.

El fet d'utilitzar dos motors independents per moure cadascuna de les rodes motrius, tot i el lleuger augment de massa degut al motor addicional, permet prescindir de la utilització del diferencial i el sistema de direcció clàssic, fet que globalment suposa un important estalvi en massa i cost.



6. Disseny del *balloon car*

Els diferents components que formen el *balloon car* es poden agrupar dins de tres grans grups com són:

- Estructura
- Elements interns
- Carrosseria

L'estructura està formada per perfils d'acer, la major part de secció oberta, units mitjançant unions cargolades. Aquesta allotja i suporta en el seu interior els diferents elements interns i està revestida per la carrosseria. Tot el conjunt de l'estructura té una massa de 22 kg. A la Figura 6.1 es mostren les principals dimensions d'aquesta

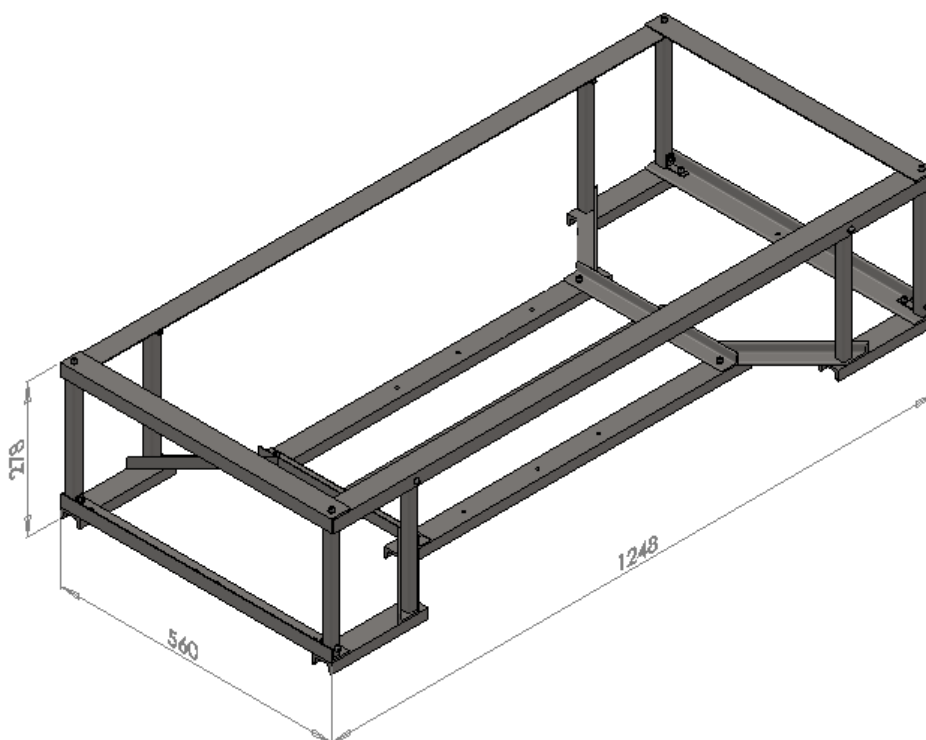


Figura 6.1. Estructura del *balloon car* amb les principals dimensions

Referent als elements interns, aquest són tant els components mecànics i elèctrics com els sistemes de control. El *balloon car* està propulsat per dos motors elèctrics independents de corrent continu, alimentats per unes bateries, que mouen dos eixos centrals mitjançant transmissions per corretja. Les dues rodes motrius estan muntades sobre aquests eixos i,



regulant la velocitat de rotació dels motors, s'aconsegueix fer girar el vehicle degut a la diferència de velocitat de cada una de les rodes. L'estabilitat del *balloon car* s'aconsegueix mitjançant dos punts de suport a la part davantera i posterior materialitzats per unes rodes de diàmetre inferior a les motrius.

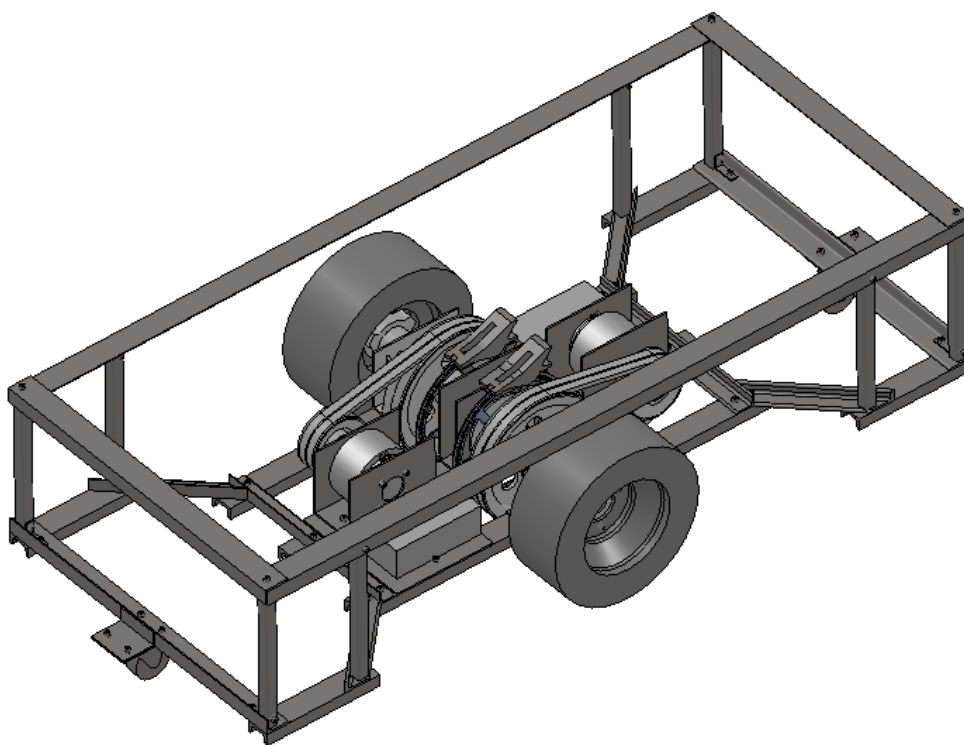


Figura 6.2. Estructura i elements interns del *balloon car*

La carrosseria del *balloon car* té dues parts clarament diferenciades. La part baixa és la que en cas de xoc rebrà l'impacte del vehicle test. El material d'aquesta zona és l'espuma, la qual és capaç d'absorbir energia evitant així, en el major del possible, que aquesta es transmeti a l'estructura. La part superior de la carrosseria és de perfils de plàstics plens d'aire a pressió i la seva missió és donar a la carrosseria l'aparença de vehicle. La massa total de la carrosseria és de 96,6 kg i les principals dimensions es mostren a la Figura 6.3.



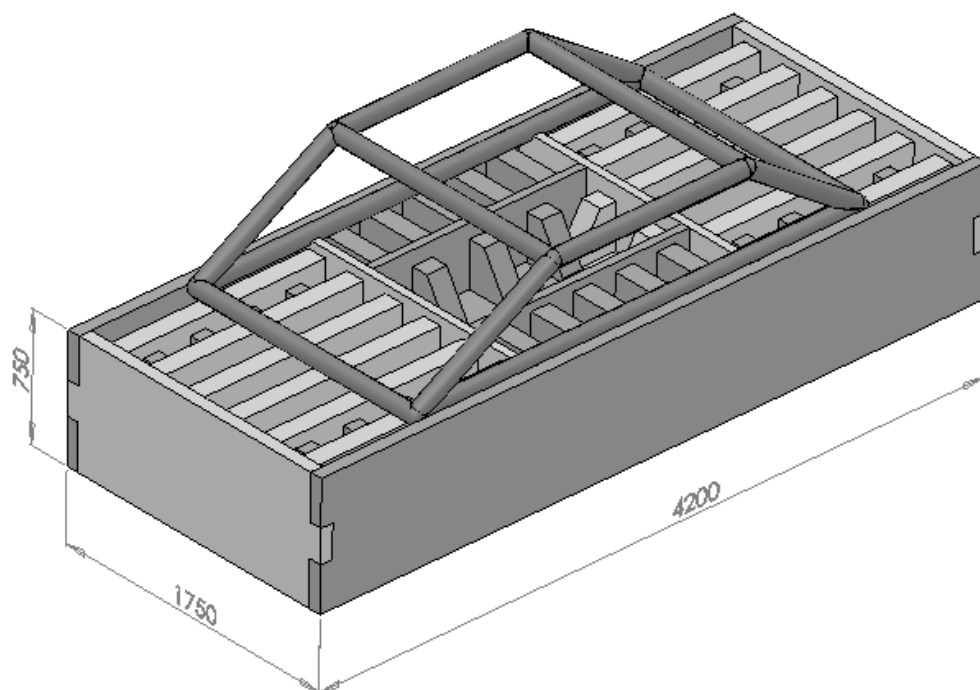


Figura 6.3. Carrosseria del *balloon car* amb les seves principals dimensions

6.1. Estructura

L'estructura del *balloon car* té per objectiu donar-li la forma, així com aportar la rigidesa necessària i els punts de recolzament als components que descansen sobre aquesta. La determinació dels tipus d'elements que formaran l'estructura del *balloon car* s'ha fet, principalment, tenint en compte dos factors, la rigidesa i els punts de suport.

Cal garantir una rigidesa de l'estructura perquè és la que protegeix els elements interns i la que garanteix la funcionalitat del *balloon car*, així doncs, la hipotètica deformació en cas d'impacte ha de ser controlada i moderada.

Referents als punts de suport, cal que la geometria dels elements estructurals ofereixi zones de fàcil ancoratge per muntar els diferents elements interns així com per recolzar els altres elements que formen part de la pròpia estructura.



6.1.1. Perfils

Atenent els condicionants anteriors, la major part dels elements estructurals utilitzats han estat perfils oberts. Com es pot apreciar a la Figura 6.4, sempre que ha estat possible aquests s'han orientat deixant les cares planes en posició horitzontal per oferir punts de suport pel recolzament dels altres perfils i dels elements interns.

Els únics perfils tancats són els verticals. Aquesta geometria ofereix un millor recolzament dels seus extrems. Són perfils de tub quadrat ja que, a diferència dels que tenen seccions massisses, presenten un millor rendiment geomètric, és a dir, tenen un millor aprofitament del material a l'estar aquest més allunyat de l'eix neutre. Això fa que el seu moment resistent sigui major i per tant les prestacions enfront d'esforços flectors siguin més favorables.

Els perfils utilitzats que presenten una secció asimètrica s'han orientat atenent al fet que ofereixen diferents prestacions en cadascuna de les direccions, ja que no tenen el mateix moment resistent en cadascun dels eixos. S'ha considerat que els esforços més importants són els degut als possibles impactes i no als del propi pes del *balloon car*, és a dir, els esforços més severos tenen direcció horitzontal. Conseqüentment, s'han posicionat els perfils amb l'eix de màxima inèrcia en posició vertical, fet que s'observa a la Figura 6.4.

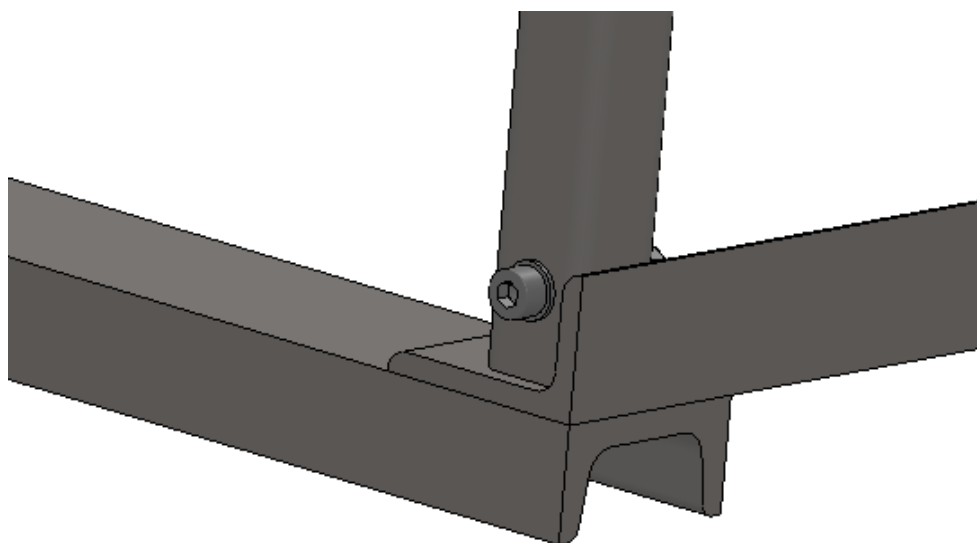


Figura 6.4. Orientació dels perfils atenent els diferents condicionants

El material seleccionat per tots els perfils de l'estructura ha estat l'acer. Aquest, tot i ser més dens que l'alumini, considerat la principal alternativa, és més econòmic i permet ser soldat. Hi ha una gran varietat d'acers en funció de la seva composició, la qual en determina les propietats mecàniques i els seus àmbits d'ús habituals. S'ha escollit l'acer



AISI 1020, que té un contingut mitjà de carboni i s'utilitza en peces estructurals de resistència mitjana. Les seves principals propietats es recullen a la Taula 6.1.

Propietat	Valor	Unitats
Límit elàstic	351,571	N/mm ²
Límit de tracció	420,507	N/mm ²
Mòdul elàstic longitudinal	200.000	N/mm ²
Mòdul elàstic transversal	77.000	N/mm ²
Densitat	0,0079	g/mm ³

Taula 6.1. Propietats de l'acer AISI 1020

6.1.2. Unions

Referent a les unions entre els diferents perfils, les dues principals alternatives són les unions soldades o les cargolades. Aquestes presenten diferències importants en un seguit d'aspectes. En funció de la temporalitat, les unions soldades tenen un caràcter permanent, mentre que les unions cargolades permeten un fàcil i ràpid procés de muntatge i desmuntatge sense causar desperfectes en els elements units, és a dir, es tracta d'una unió no permanent o desmuntable. En aquest cas doncs, la utilització de cargols suposa el gran avantatge que en cas de ruptura o deformació d'algun dels elements, aquest podrà ser fàcilment substituït.

En referència al procés de muntatge, en el cas de la soldadura es requereix de personal qualificat i, així i tot, les propietats del material en la zona afectada tèrmicament es veuen alterades, podent aparèixer tensions residuals i la contracció del material durant el refredament pot provocar una variació de les dimensions de la peça. En el cas de les unions cargolades, el procés de muntatge no presenta aquesta problemàtica.

A nivell d'esforços, a diferència de les unions amb cargols, les unions soldades són difícilment calculables.

Tots aquests aspectes han fet que s'hagi optat per utilitzar unions cargolades per unir els diferents perfils. Es tracta d'unions amb cargols passants, femella i volanderes. Els cargols



utilitzat són de mètric 5 i classe de resistència 5,6 (aquesta selecció és fruit dels resultats dels càlculs que es recullen a l'annex).

Com es mostra a la Figura 6.5, per fixar els perfils verticals s'han utilitzat uns perfils addicionals en forma de L. D'altra banda, la femella que queda dins dels perfils verticals, degut a la inaccessibilitat que n'impedeix el procés de collada, va soldada sobre la cara plana del perfil.

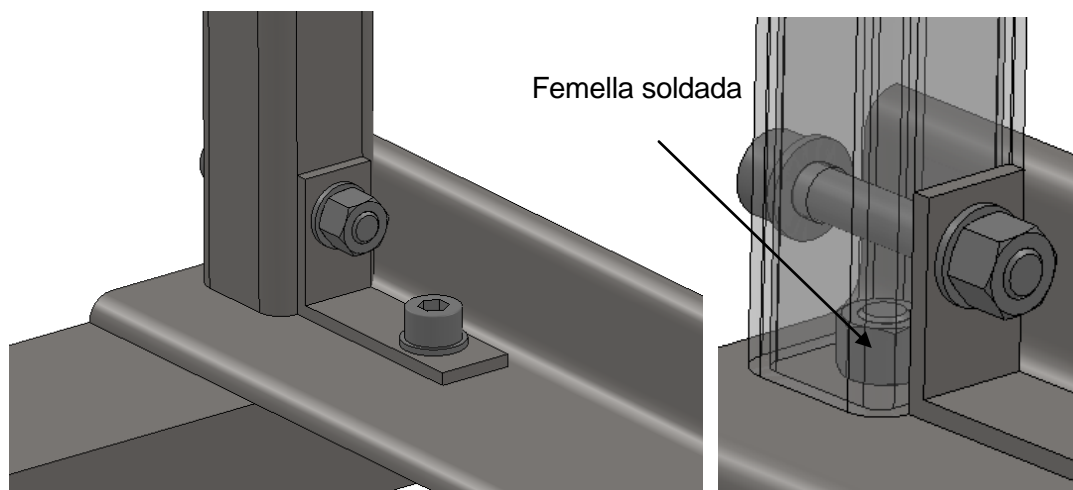


Figura 6.5. Unió dels perfil vertical amb una placa L. Cargol i femella interna al perfil vertical

6.2. Elements interns

Els elements interns engloben tots els components mecànics i elèctrics, així com els sistemes de control. Aquests estan suportats per l'estructura del *balloon car* i al mateix temps reben la seva protecció en cas d'impacte.

6.2.1. Components mecànics

El muntatge de tots els components de l'eix motriu es realitza amb l'eix separat del *balloon car*. El procediment de muntatge consisteix en col·locar els components des de la part externa de l'eix a la part interna, fins que van quedant a topall amb els diferents ressalts de l'eix, el qual presenta diàmetres creixents cap a la part interna, i els separadors. Quan ja es disposa del conjunt de l'eix muntat, aquest es fixa a l'estructura a través del suport exterior de l'eix i s'uneix també el suport del rodament intern amb el suport intern de l'eix, el qual ha estat fixat prèviament.



La unió entre els elements que han de transmetre parell es realitza per forma o encaix, que en funció de l'espai disponible es materialitza amb una claveta o un passador.

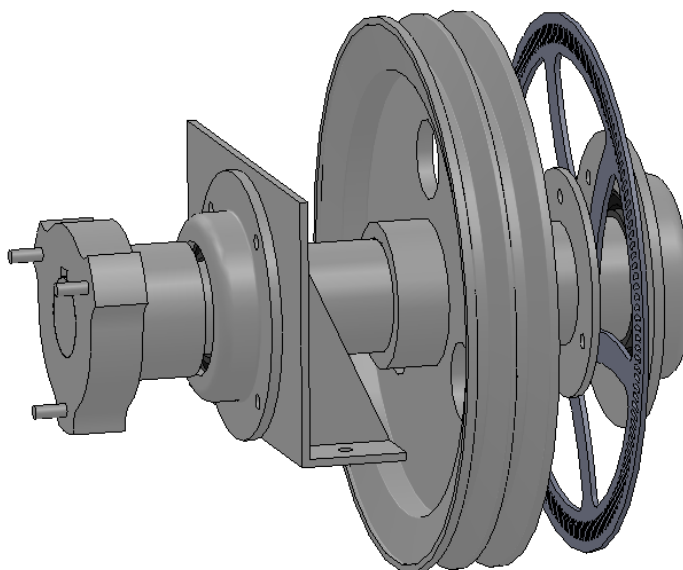


Figura 6.6. Conjunt de l'eix del *balloon car*

Rodaments

Els rodaments utilitzats són de boles de contacte angular d'una filera de la sèrie 7000. Aquests rodaments suporten elevades forces radials i càrregues axials en un únic sentit. Així doncs, per suportar esforços axials en ambdós sentits cal utilitzar un altre rodament col·locat de forma simètrica. S'ha optat per la disposició en X, és a dir front a front, ja que facilita l'empaquetament del conjunt.

El rodament extern és del tipus 7007-B-TVP i l'intern el 7008-B-TVP, de diàmetres interns de 35 i 40 mm respectivament. La pista exterior dels rodaments, la qual roman fixa, queda posicionada amb els suports dels rodaments i té interferència amb el suport del rodament. La pista interior es posiciona amb els separadors muntats sobre l'eix i presenta interferència amb l'eix per assegurar girar solidàriament a aquest. Per aconseguir un ajust amb serratge, la posició i l'amplitud de la tolerància de les peces és H7 i p6. S'ha utilitzat el mètode de forat base ja que suposa una menor complexitat en la fabricació dels components.



Suports dels rodaments

L'element que allotja i posiciona cada rodament és el suport del rodament. Cada rodament té el seu propi, així doncs, n'hi ha de dues mides diferents però comparteixen la mateixa geometria. Cada suport del rodament va unit mitjançant unions cargolades amb forats passants amb el pertinent suport de l'eix.

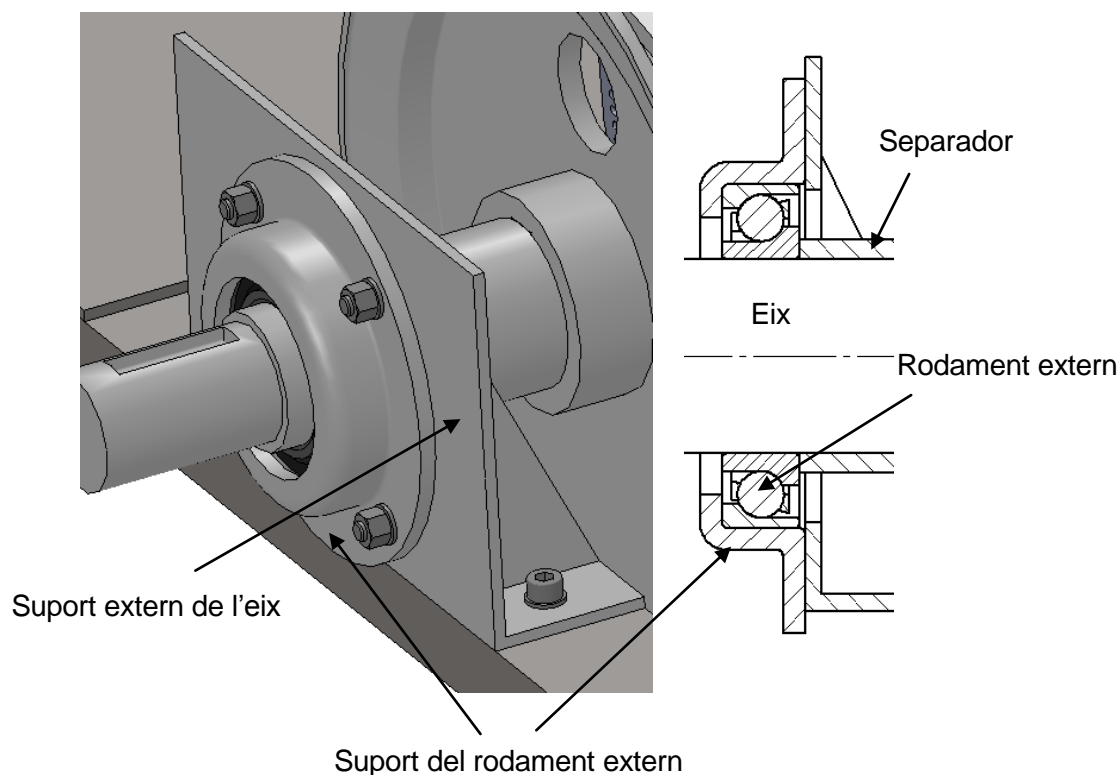


Figura 6.7. Imatge i plànol del suport del rodament extern, rodament extern i separador

Suports de l'eix

Cadascun dels eixos té dos punts de suport sobre l'estructura. El suport extern és independent per cada eix, i per tant, n'hi ha dos. L'intern és compartit pels dos eixos.

El suport extern, com es pot veure a la Figura 6.7, és un perfil en forma de L amb un forat a la cara vertical per on passa l'eix. Aquesta geometria presenta una baixa resistència que s'ha incrementat amb uns nervis que uneixen les dues cares.



En el disseny del suport intern s'ha seguit la mateixa concepció, però té dues plaques verticals perquè ha de suportar els dos eixos. Així doncs, es tracta de dos perfils L encarats i, per tant, com s'observa a la Figura 6.8, el component resultats és un perfil en forma d'U.

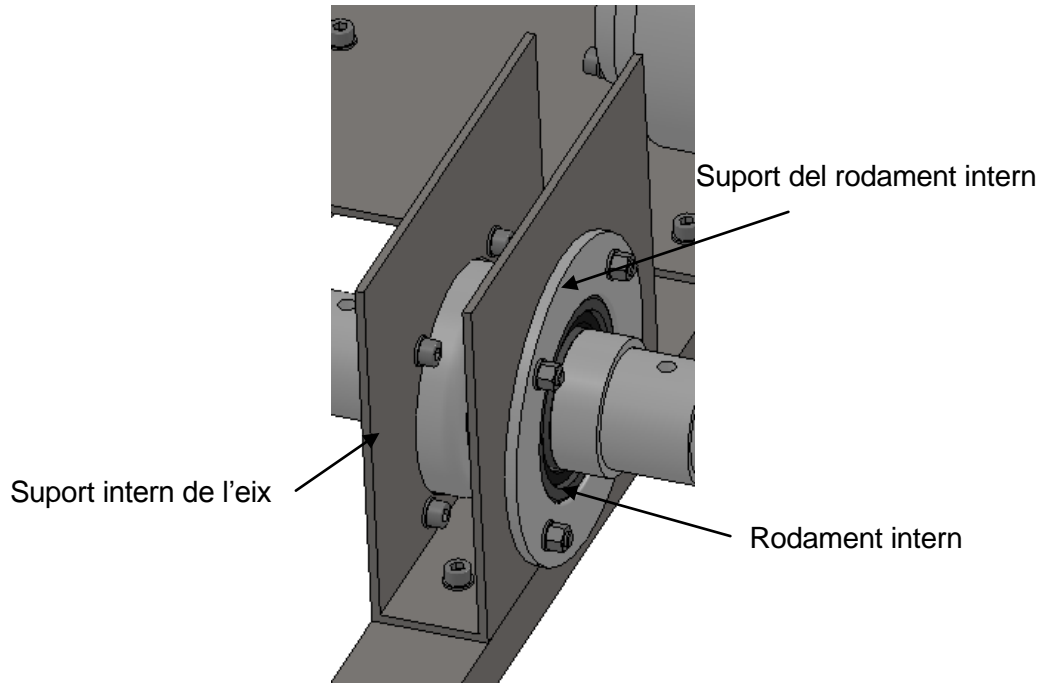


Figura 6.8. Suport intern de l'eix, suport del rodament intern i rodament intern

Suport del disc de fre

El disc de fre està unit a l'eix per mitjà d'un suport. Aquest suport utilitza un passador per girar solidàriament amb l'eix motriu. Aquest component es pot veure a la Figura 6.9.



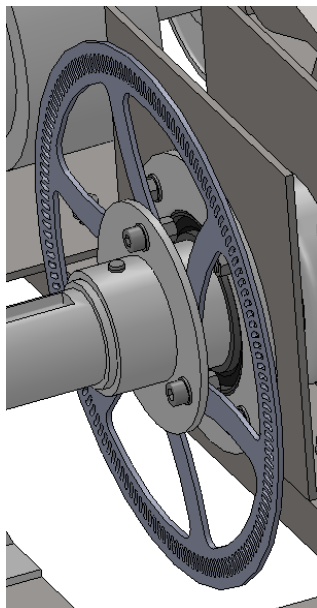


Figura 6.9. Suport del disc de fre

Sistema de fre

El sistema utilitzat per aturar o reduir la velocitat del *balloon car* és el fre de disc. Aquest està format pel disc de fre, la mordassa, els pistons i les pastilles de fre. Cadascun d'aquests conjunts està muntat en els dos eixos motrius del *balloon car*.

Com a mesura de seguretat, el sistema de fre actua de forma automàtica quan es produeix un impacte amb el vehicle de test.

Sistema de transmissió per corretja

La transmissió de moviment entre el motor i l'eix es realitza per corretja. La relació de transmissió teòrica per satisfer les prestacions del vehicle amb el motor seleccionat és de 2,39. La utilització de politges normalitzades ha modificat aquest valor, adquirint un valor final de 2,22. La politja muntada a l'eix del motor té un diàmetre de 90 mm i la del l'eix de la roda de 200 mm. La utilització de diàmetres petits es justifica pel fet que l'eix de la roda, on va muntada la politja de diàmetre major, està a una distància propera al terra. Això ha determinat la selecció del perfil de la corretja XPA, que gràcies a la seva geometria amb flanc obert tenen una major flexibilitat i poden funcionar amb politges més petites, a una elevada velocitat de gir i té una major capacitat de transmetre potència que les corretges convencionals. Tot i això, el càlcul de la transmissió, que es troba a l'annex, indica que és



necessari utilitzar dues corretges en cadascuna de les transmissions per transmetre tota la potència.

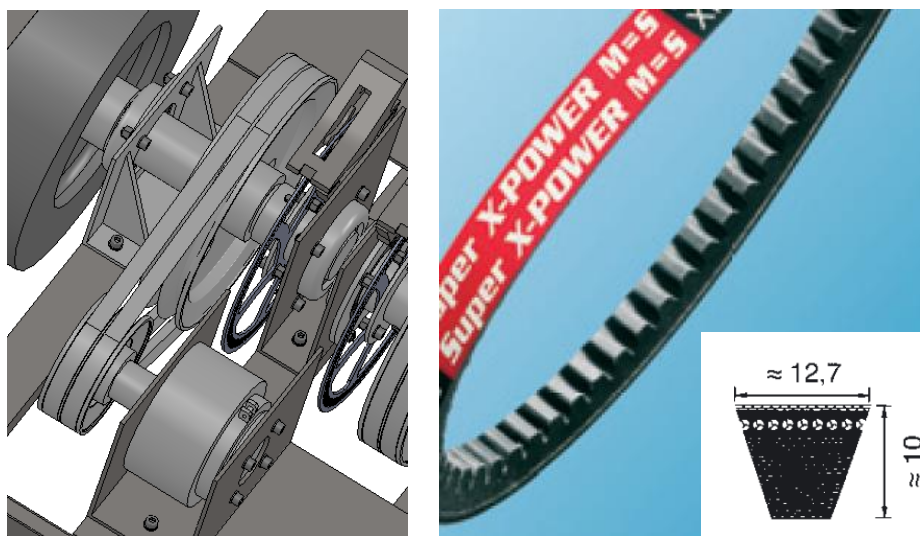


Figura 6.10. Sistema de transmissió per corretja. Perfil de la corretja utilitzada

El sistema per tensar les corretges consisteix en un colís en el perfil longitudinal central, on recolza el suport del motor, que permet el desplaçament longitudinal de l'eix de la politja petita facilitant així el procés de muntatge de la corretja i el posterior tensatge del sistema.

Rodes motrius

Els pneumàtics utilitzats en les rodes motrius del *balloon car*, és a dir, les rodes centrals són de kart. Les seves dimensions principals, així com les de la llanta, es mostren a la Taula 6.2.

	Amplada de la secció	Diàmetre de la roda	Diàmetre de la llanta
En polzades ["]	4	10	5
En mil·límetres [mm]	101,6	254	127

Taula 6.2. Dimensions de les rodes motrius



Punts de suport

Els punts de suport del *balloon car* tenen l'objectiu de garantir-ne l'estabilitat. Aquests punts es materialitzen amb dues rodes de diàmetre menor al de les motrius.

	Amplada de la secció	Diàmetre de la roda
En mil·límetres [mm]	22	60

Taula 6.3. Dimensions dels punts de suport

Aquestes dues rodes, com es ressalta a la Figura 6.11, estan situades al mig dels perfils inferiors de la part davantera i posterior de l'estructura. Per unir-les a l'estructura s'ha utilitzat uns perfils que es recolzen amb la placa superior de les rodes, unides mitjançant cargols.

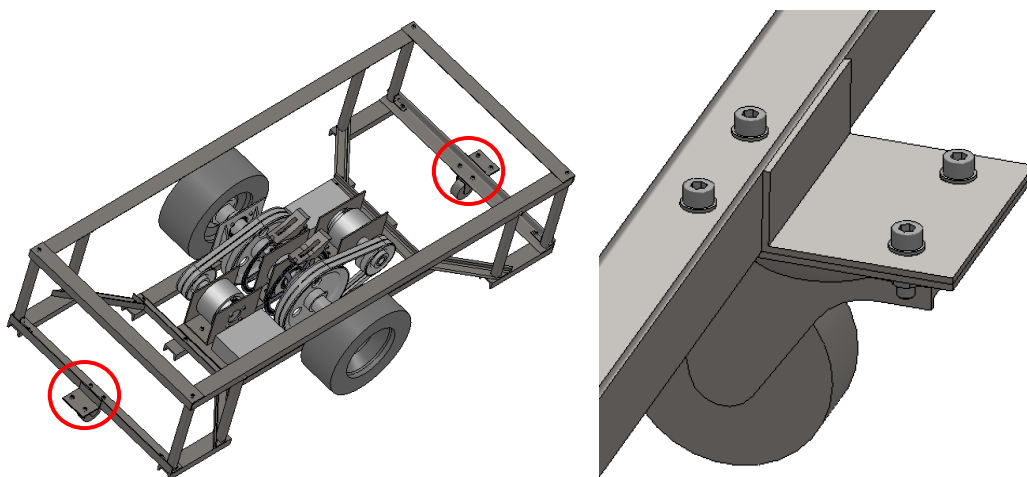


Figura 6.11. Ubicació dels punts de suport i detall de la unió amb l'estructura

6.2.2. Components elèctrics

Motor

Pel tipus de vehicle a dissenyar el més viable és pensar en un accionament que utilitzi l'energia elèctrica, és a dir, un motor elèctric. Dins d'aquest grup hi ha dos grans camps, els de corrent continu i els d'alterna. En aquesta aplicació, els motors de corrent continu



presenten dos grans avantatges, permeten treballar dins un ampli ventall de velocitats i, a més a més, el sistema per acumular l'energia és en forma de bateries, que subministren corrent continu, per tant no cal utilitzar sistemes per transformar-lo.

Així doncs, el motor seleccionat és de corrent continu i se'n munta un a cadascun dels eixos motrius. Les principals característiques del motor seleccionat es recullen a la Taula 6.4.

Potència [kW]	Parell nominal [Nm]	Parell màxim [Nm]	Velocitat nominal [R.P.M]	Velocitat màxima [R.P.M]	Rendiment (%)
5,5	21	85	2500	5000	89,5

Taula 6.4. Característiques del motor

Bateria

Cadascun dels motors s'alimenta amb una bateria. Les seves propietats elèctriques i físiques es mostren a la Taula 6.5 i 6.6 respectivament.

Capacitat [Ah]	Voltatge [V]	Intensitat [A]	Pic d'intensitat [A]
4,5	44,4	157,5	315

Taula 6.5. Característiques elèctriques de la bateria

Alçada [mm]	Amplada [mm]	Llargada [mm]	Massa [kg]
50	47	320	1,521

Taula 6.6. Característiques físiques de la bateria



6.2.3. Sistemes de control

Per mesurar la posició, moviment i orientació del *balloon car* i el vehicle test, així com els valors relatius entre aquests, s'utilitza un sistema de navegació inercial amb GPS. En cadascun dels vehicles s'instal·len dos sistemes, un pertanyent a la família RT-3000 i el RT-Range.

Per tractar tota la informació obtinguda amb els sistemes de navegació inercial i GPS s'utilitza un processador compacte, el QBOX-1010.



Figura 6.12. Sistemes de control

6.3. Carrosseria

La carrosseria del *balloon car* té unes característiques diferents a les d'un vehicle convencional degut a la seva funció. En els vehicles, la carrosseria té la missió d'allotjar els passatgers i equipatges, i la càrrega en el cas de vehicles industrials. En el *balloon car*, la carrosseria té l'objectiu d'absorbir energia en cas d'impacte per evitar que el vehicle test, la pròpia estructura i els elements interns del *balloon car* pateixin danys.

Respecte a les rigideses, per satisfer la condició anterior, la de la carrosseria és menor a la de l'estructura, perquè en cas d'impacte, sigui la carrosseria la que pateixi les deformacions més importants. Així doncs, la carrosseria absorbeix una gran quantitat d'energia, sent molt menor la que es transmet a l'estructura.



La carrosseria presenta dues parts clarament diferenciades com són la zona baixa del vehicle, susceptible a rebre impactes, i la zona alta. Aquestes estan representades a la Figura 6.13 en color gris i vermell respectivament.

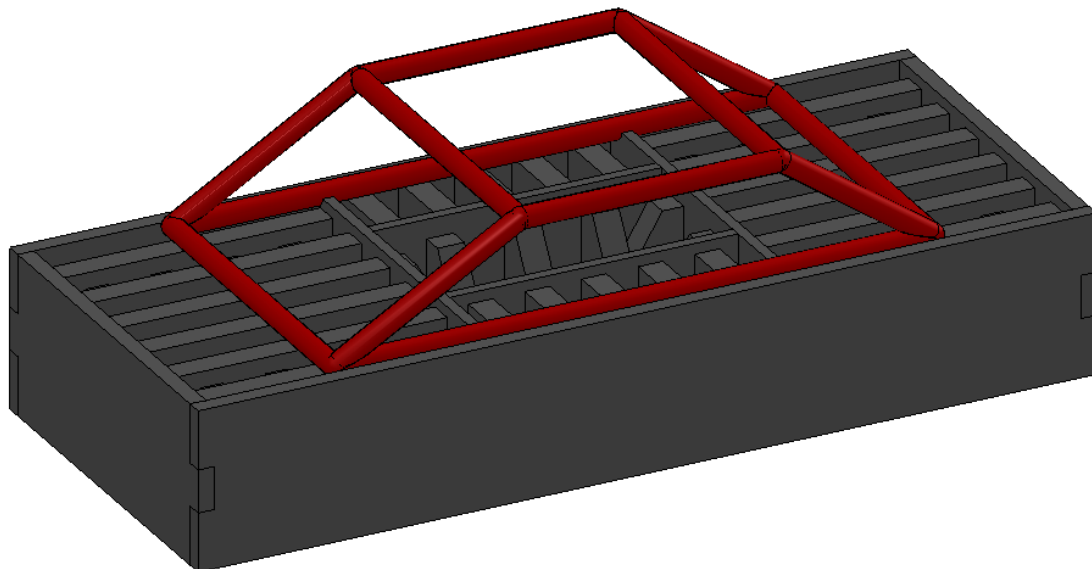


Figura 6.13. Parts de la carrosseria. Zona baixa (en gris) i alta (en vermell)

6.3.1. Part baixa de la carrosseria

En la part baixa de la carrosseria es distingeixen dues capes, la pell interna, que recobreix les cares laterals i la part superior de l'estructura, i l'externa, formada per quatre peces separades, dues frontals i dues laterals, simètriques dos a dos.

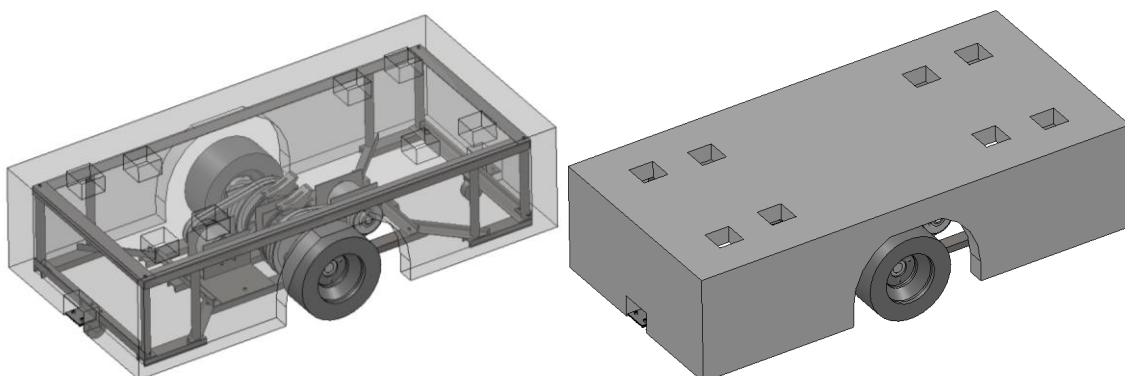


Figura 6.14. Pell interna de la carrosseria, amb i sense transparència



Com s'observa a la Figura 6.14, el pla horitzontal de la pell interna presenta uns centradors per unir i posicionar, per encaix per forma, les quatre parts de la pell externa de la carrosseria. També presenta uns forats en la posició de les rodes del *balloon car* per no causar cap tipus d'interferència amb aquestes.

La concepció dels diferents elements de la pell externa és la mateixa. Es tracta de dues plaques unides per perfils massissos. Les dues plaques ofereixen una major superfície de contacte amb el vehicle test durant l'impacte en el cas de la placa externa i de recolzament amb la pell interna en el cas de la placa interna. Per reduir la massa que tindria un gran bloc massís, la unió entre les dues plaques es fa per mitjà de perfils massissos que no ocupen tot el volum interior.

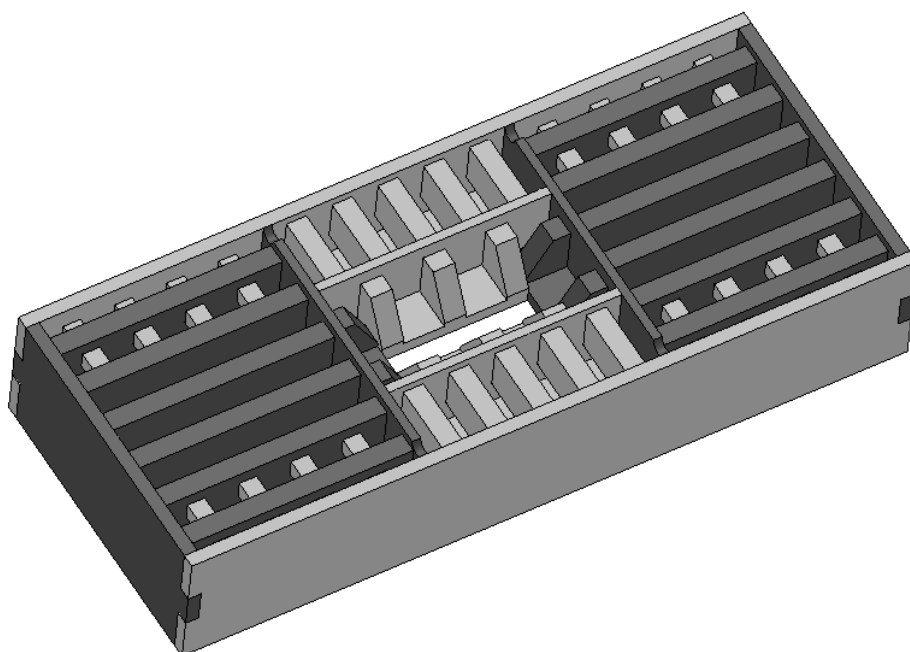


Figura 6.15. Pell externa de la carrosseria. Peces laterals (gris clar) i frontals (gris fosc)

La superposició de les peces laterals i frontals que es produiria als extrems es soluciona amb una estructura entrelligada dels perfils, en els quals els perfils massissos de les parts frontals presenten uns forats on encaixen els perfils dels laterals. Aquesta geometria també suposa incrementar la baixa rigidesa de la zona. A les arestes verticals externes, on conflueixen les plaques externes de les peces frontals i laterals, hi ha un encaix per forma que tanca adequadament la carrosseria. Aquests detalls es poden veuen a la Figura 6.16.



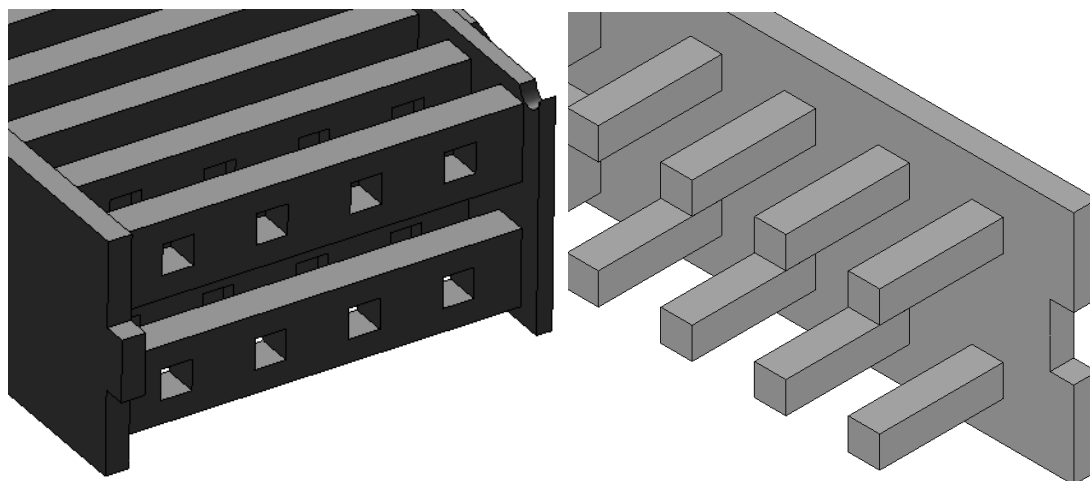


Figura 6.16. Detall de la zona de superposició de les parts frontal i lateral de la pell externa

El material del que està feta la part baixa de la carrosseria és espuma absorbent d'energia (*IMPAXX™ Energy Absorbing Foam*). Aquest material es presenta amb varies games que difereixen en les seves propietats mecàniques, la selecció de les quals s'ha fet en funció de les sol·licitacions i l'espai disponible en cadascun dels components. Les peces laterals, que degut a la limitació d'espai han de tenir un menor gruix que les frontals, són d'IMPAXX 500, que al tenir un mòdul elàstic major absorbeix la mateixa energia amb un menor espessor. També s'ha utilitzat aquest material per la pell interna perquè tingui una major rigidesa i garanteixi una major protecció de l'estructura. Les dues peces frontals són d'IMPAXX 300 ja que la major separació entre la cara externa de la carrosseria i l'estructura no requereixen d'un mòdul elàstic tant elevat i permeten una major deformació.

Les superfícies horitzontals inferiors de la pell externa poden entrar en contacte amb el terra degut a la petita distància que els separa d'aquest. Per evitar que el fregament degradi el material, es recobreixen aquestes parts amb planxes de politetrafluoroetilè, conegut popularment com tefló.

Referent a la detecció de les diferents tecnologies que utilitzen els sistemes ADAS, el radar detecta l'estructura interna i la geometria de la carrosseria fa que la càmera també l'identifiqui com a vehicle. Així doncs, només cal afegir alguns elements reflectants en forma de film, com per exemple el mylar metal·litzat (un film de polièster), perquè sigui detectable pel làser i el lídar. Aquests s'han de localitzar a la posició dels pilots davanters i posteriors i a la de les matrícules d'un vehicle.



6.3.2. Part alta de la carrosseria

La zona alta de la carrosseria és el que en un vehicle convencional serien els diferents vidres i els muntants. En el *balloon car*, s'han representat només els darrers mitjançant uns perfils perquè la carrosseria del *balloon car* tingués similitud a la d'un vehicle i així fos detectat com a tal per les càmeres. Així doncs, la zona alta queda oberta i no obstrueix el pas de l'aire, per tant, el *balloon car* ofereix una menor resistència aerodinàmica.

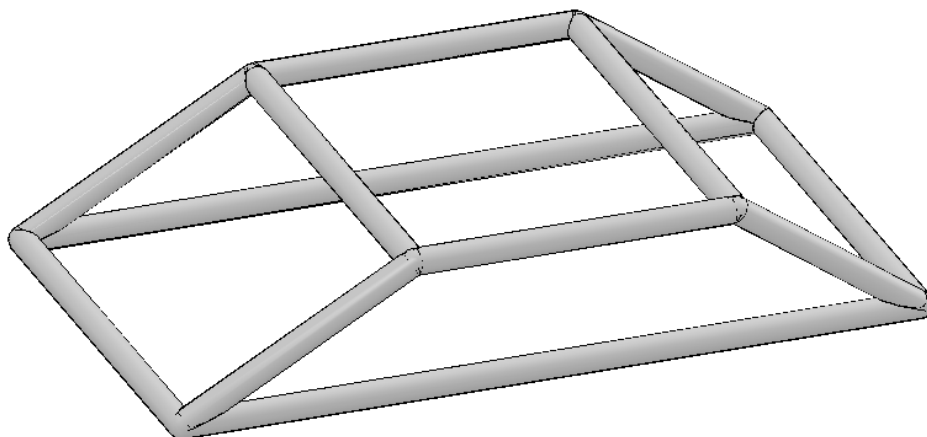


Figura 6.17. Part alta de la carrosseria

La seva posició elevada fa que no sigui un possible punt d'impacte, per això, s'ha optat perquè estigui tan sols formada per uns perfils de plàstic plens d'aire a pressió que ofereixen un pes reduït al mateix temps que mantenen la geometria.

Per últim, només cal definir la unió entre la part alta i la part baixa de la carrosseria del *balloon car*. Aquesta es realitza amb encaix per forma i es reforça la unió amb cintes adhesives.

Les masses de cadascun dels components, així com la massa total de la carrosseria es mostren a la Taula 6.7.



Components (Nº unitats)	Massa unitària	Massa total
Pell interna (1)	3,7 kg	3,7 kg
Pell externa frontal (2)	20,9 kg	41,8 kg
Pell externa lateral (2)	21,7 kg	43,4 kg
Part alta	7 kg	7 kg
Conjunt carrosseria	-	96,9 kg

Taula 6.7. Masses dels diferents components de la carrosseria





7. Simulació

Per validar el disseny del *balloon car* s'ha realitzat una simulació amb computadora que segueix el mètode dels elements finits. S'ha limitat la simulació a l'estructura del *balloon car* prescindint dels elements interns, ja que és aquesta la que suporta els esforços més severos. A més a més, la simulació de tot el conjunt hagués generat problemes degut a la complexa geometria d'alguns components i a l'amplia diversitat de mides.

S'han simulat dues hipotètiques situacions, la primera correspon a un xoc frontal i la segona a un lateral.

La simulació del xoc frontal representa un impacte entre el vehicle test i el *balloon car* quan circulen en la mateixa direcció. En funció del sentit es distingeix entre el xoc frontal, quan els dos vehicles circulen en sentit oposat, i xoc frontal-posterior, quan l'impacte es produeix entre el frontal del vehicle de test i la part posterior del *balloon car*. Degut a la simetria del conjunt, no es fan distincions entre ambdues situacions i s'engloben dins del xoc frontal.

Referent a la simulació del xoc lateral, es tracta d'un impacte entre el vehicle test i el *balloon car* quan els dos vehicles segueixen trajectòries perpendiculars. Altre cop, degut a la simetria de l'estructura del *balloon car* no es fan distincions entre els dos lateral, els resultats són els mateixos sigui quin sigui el lateral impactat.

7.1. Geometria, contactes i material

Partint de la situació en què es disposava de tots els components dibuixats amb el software de CAD, s'han eliminat tots aquells que no formaven part de l'estructura. Els diferents contactes entre components venen definits per les relacions de posició ja assignades i per tant existents entre els perfils.

En referència al material, com s'ha vist anteriorment, tots els components de l'estructura són del mateix acer, l'AISI 1020. Aquest s'ha assignat a les peces, representant així el comportament corresponent al d'aquestes propietats mecàniques.



7.2. Condicions de contorn: Restriccions i càrregues

Les condicions de contorn fan referència a les càrregues i les restriccions a les que està sotmesa l'estructura del *balloon car*. En cadascun dels dos assaigs aquestes tenen unes característiques diferents.

La càrrega a aplicar en cadascun dels dos casos és la mateixa, no així el punt d'aplicació, i el seu valor es determina seguint el següent raonament. Superat una valor llindar de força, aquesta fa desplaçar el *balloon car*, per tant, aquest serà el valor màxim que haurà de suportar. Aquest valor s'obté del producte entre el coeficient d'adherència entre el pneumàtic i el terra i la força normal aplicada sobre les rodes (resultant del producte entre la massa i la gravetat). Considerant un cas extrem, en el qual tota la massa es recolza en una única roda i el coeficient d'adherència pren el valor unitat, per una massa del *balloon car* de 100 kg, el valor de la força és de 1.000 N.

$$F = \mu * N = \mu * m * g = 1 * 100 * 10 = 1.000 \text{ N} \quad (\text{Eq. 7.1})$$

7.2.1. Impacte frontal

Primerament es defineix la restricció de la situació més crítica en el cas d'impacte frontal. Aquesta correspon al no lliscament de la roda de suport de la part oposada a on s'aplica la força. La forma més realista de representar-ho és fixant la cara vertical externa del perfil transversal inferior del frontal no impactat. Aquesta condició de contorn es mostra mitjançant fletxes verdes a la Figura 7.1.



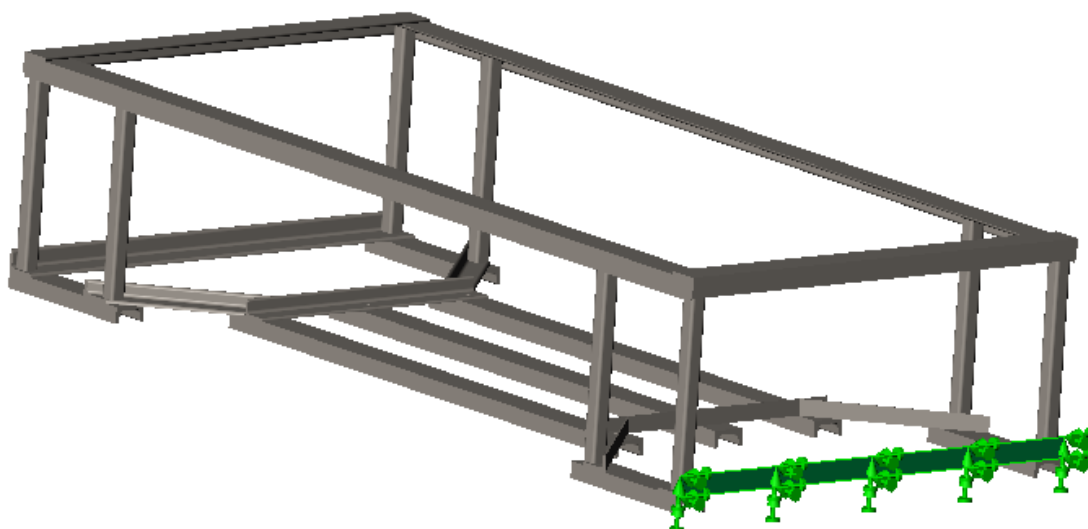


Figura 7.1. Restriccions imposades en el xoc frontal

Referent a la força, els 1.000 N es reparteixen entre totes les cares exteriors del frontal que rep l'impacte, a excepció del perfil inferior ja que degut a la seva mínima separació respecte el terra no entra en contacte amb el frontal del vehicle test. Realment, al tractar-se d'una força aplicada sobre una superfície, s'està generant una pressió. La força es distribueix entre les diferents superfícies de la següent manera:

- 700 N aplicats sobre el perfil superior
- 300 N aplicats sobre els perfils verticals

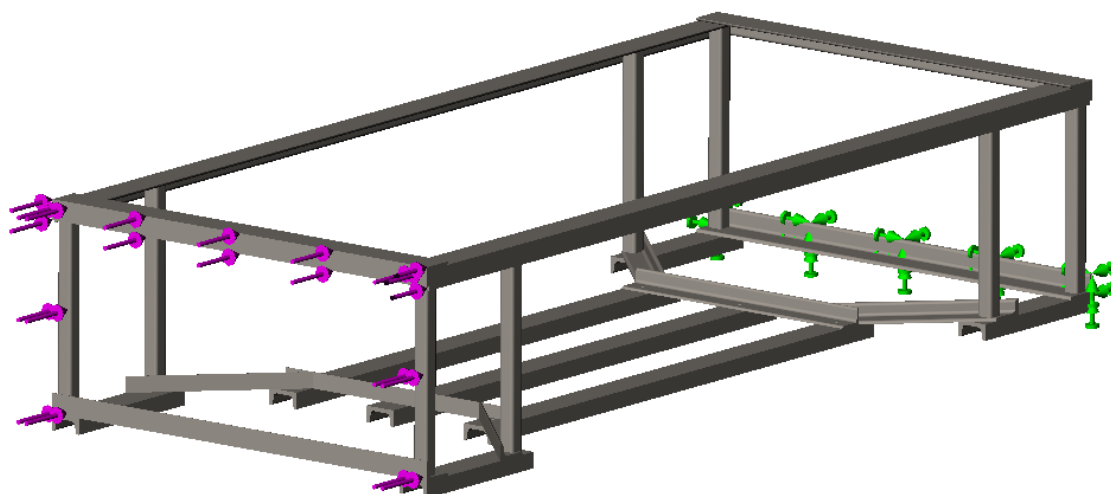


Figura 7.2. Condicions de contorn del xoc frontal. Restriccions (fletxes verdes) i càrregues (fletxes violetes)



7.2.2. Impacte lateral

En el cas de l'impacte lateral, la situació més crítica consisteix en el no lliscament de la roda central del costat oposat al que rep l'impacte. La forma més realista de representar-ho és fixant la cara vertical externa del perfil longitudinal inferior més allunyat del lateral que rep l'impacte, aquesta restricció es mostra a la Figura 7.3.

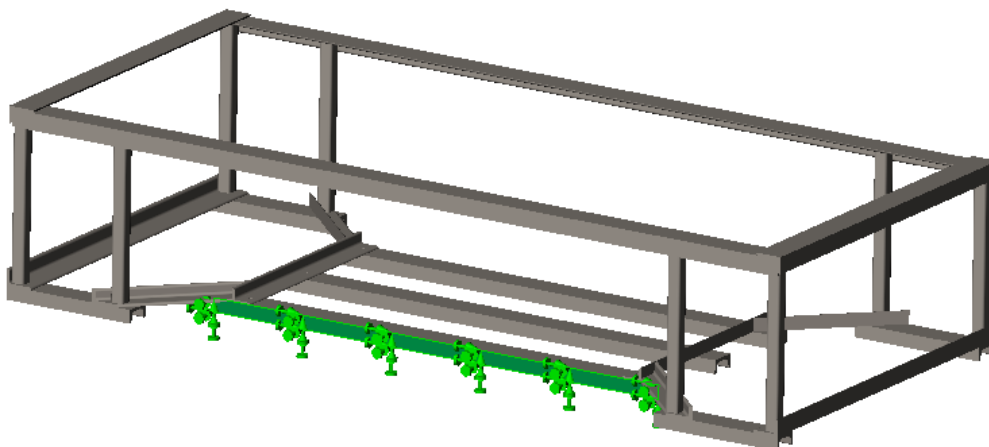


Figura 7.3. Restriccions imposades en el xoc lateral

Seguint un raonament anàleg al de l'impacte frontal, la distribució de forces en el xoc lateral és la següent:

- 700 N aplicats sobre el perfil superior, com es mostra a la Figura 7.4
- 200 N aplicats sobre els dos perfils verticals més propers a la roda central
- 100 N aplicats sobre els dos perfils verticals més allunyats de la roda central



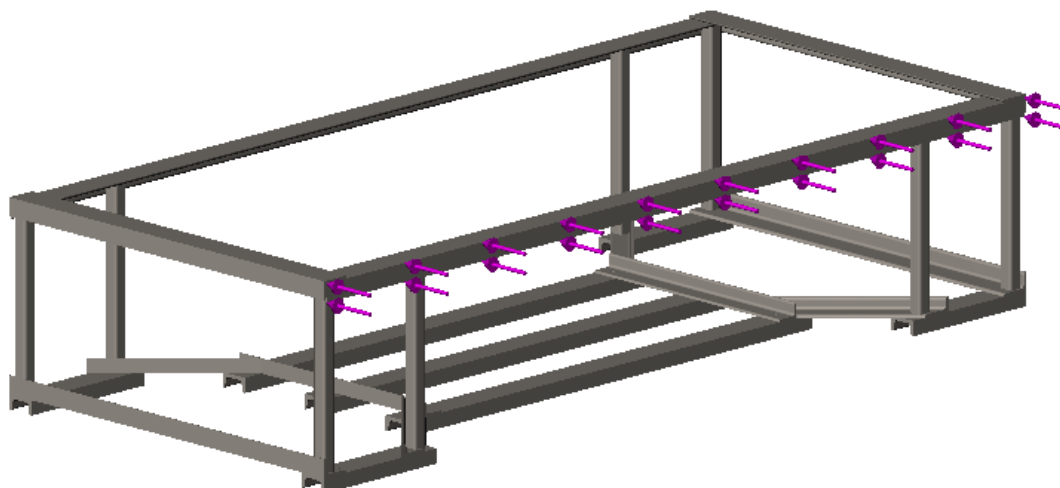


Figura 7.4. Força de 700 N (fletxes violetes) aplicada a la cara externa del perfil superior

7.3. Mallat

La qualitat dels resultats obtinguts en la simulació dependrà en gran part del mallat de la geometria. Al determinar la mida dels elements que formaran la malla cal assolir un compromís entre la precisió que es vol obtenir en els resultats i el temps de càlcul de la simulació.

En la simulació dels dos xocs analitzats s'ha utilitzat la mateixa malla. El nombre de nodes i elements que la formen, així com la tipologia d'element utilitzat, es mostren a la Taula 7.1.

Nº de nodes	Nº d'elements	Tipus d'elements
370.515	192.612	Elements sòlids tetraèdrics

Taula 7.1. Característiques principals de la malla



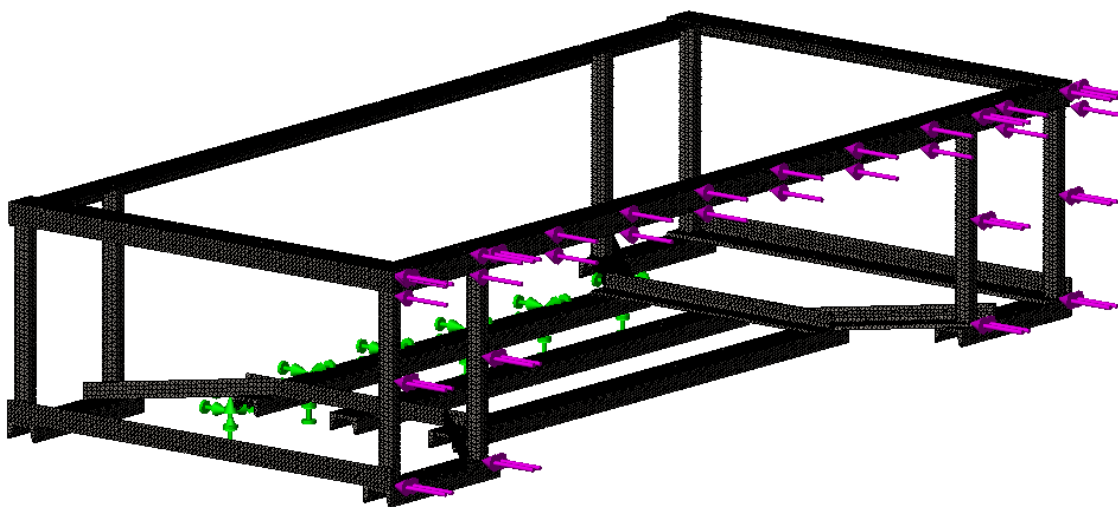


Figura 7.5. Geometria mallada amb les condicions de contorn del xoc lateral

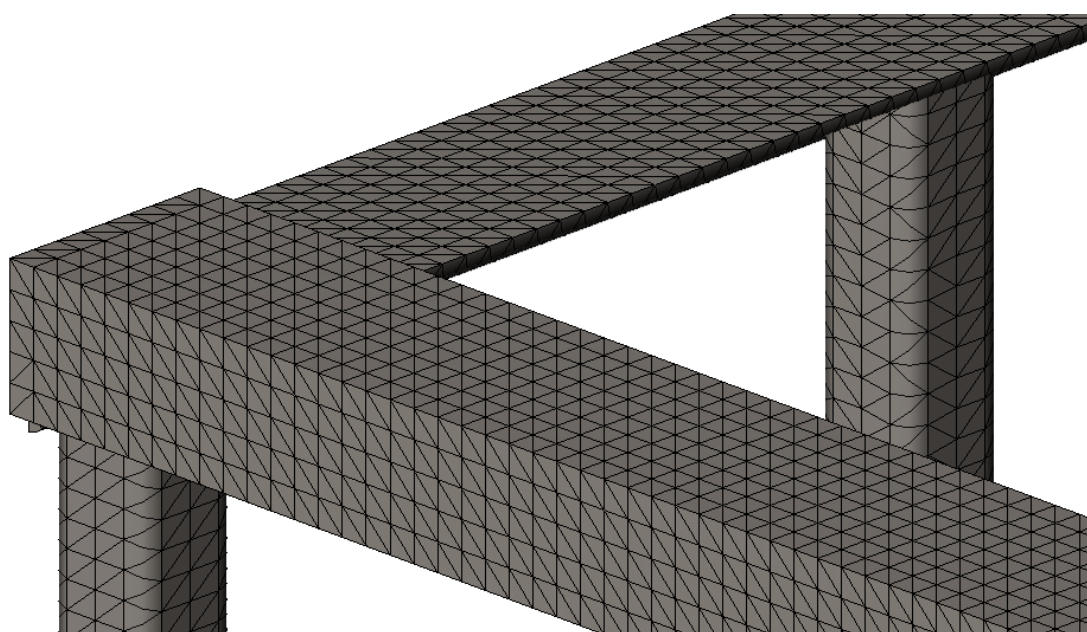


Figura 7.6. Detall de l'estructura mallada



7.4. Anàlisi de resultats

De tots els resultats que s'obtenen en el procés de simulació s'analitza la distribució de la tensió equivalent de von Mises i les deformacions que experimenta l'estructura. L'anàlisi dels resultats es fa de forma separada pels dos impactes simulats.

7.4.1. Impacte frontal

Tensions

A la Figura 7.7 es mostra, mitjançant un codi de colors, la tensió equivalent de von Mises a la que es veu sotmesa l'estructura del *balloon car* a l'aplicar les condicions del xoc frontal.

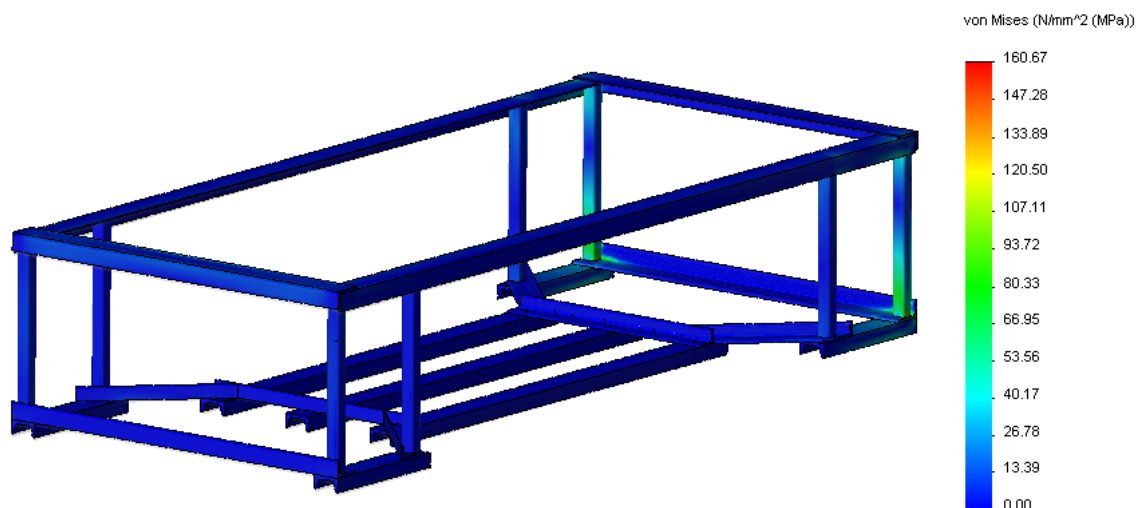


Figura 7.7. Tensions equivalents de von Mises en el xoc frontal

Les tensions més elevades es troben a la zona propera al perfil fixat. A la Figura 7.8 es mostra una imatge ampliada de la zona que experimenta unes majors sol·licitacions. El pic de tensió és de 160,67 MPa.



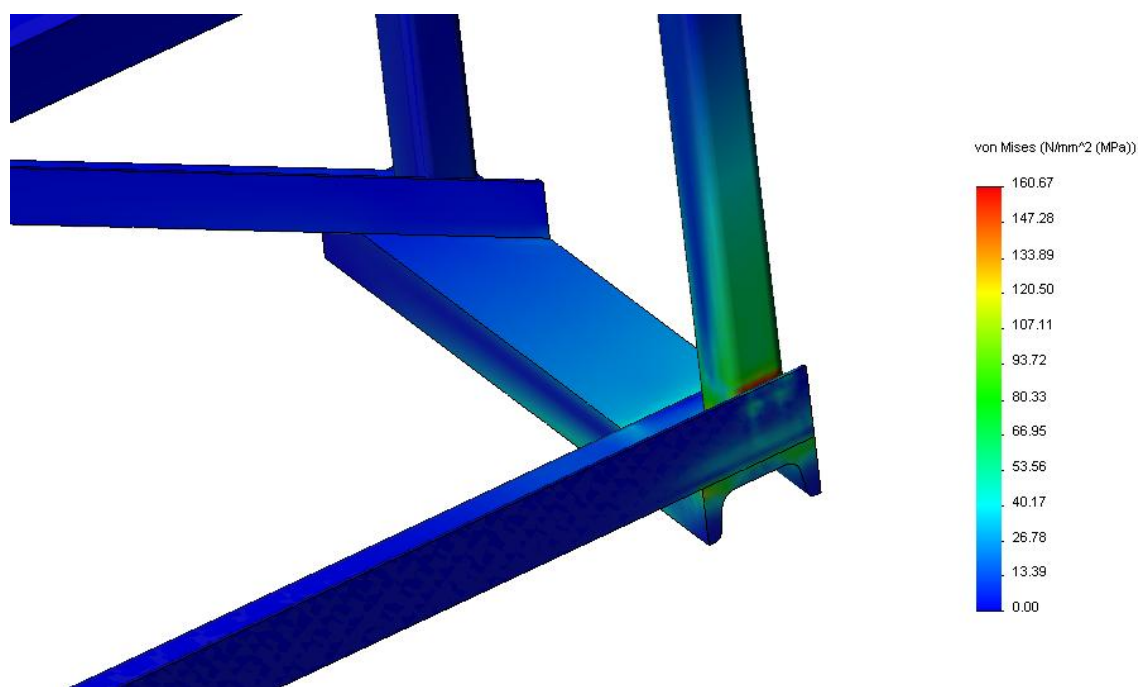


Figura 7.8. Detall de les tensions equivalents de von Mises en el xoc frontal

Amb aquest valor, i coneixent les característiques del material, es pot determinar el grau de seguretat amb el que treballa l'estructura, és a dir, quin és el valor del coeficient de seguretat. Aquest coeficient, com es mostra a l'Eq. 7.2, s'obté valorant la relació entre un valor de tensió de referència, en aquest cas s'ha pres el límit elàstic del material, i la tensió a la que es veu sotmesa la peça.

$$\gamma_s = \frac{\sigma_e}{\sigma} \quad (\text{Eq. 7.2})$$

On γ_s és el coeficient de seguretat, σ_e és el límit elàstic del material i σ és la tensió que pateix la peça.

Així doncs, considerant el valor del límit elàstic del material dels perfils, que té un valor de 351,57 MPa, en el punt de tensió màxima en el xoc frontal (160,67 MPa) el coeficient de seguretat és de 2,19. En el cas d'impacte frontal, aquest és el coeficient de seguretat mínim de l'estructura, en la resta de punts, a l'estar sotmesos a esforços menors, el coeficient de seguretat serà major.



Deformacions

Les deformacions degut al xoc frontal tenen una magnitud poc important, el valor màxim és de només 3,82 mm. Com s'observa a la Figura 7.9, les deformacions màximes es produeixen en els perfils on s'ha aplicat la força i van disminuint a mesura que s'aproximen al perfil que té restringit el moviment.

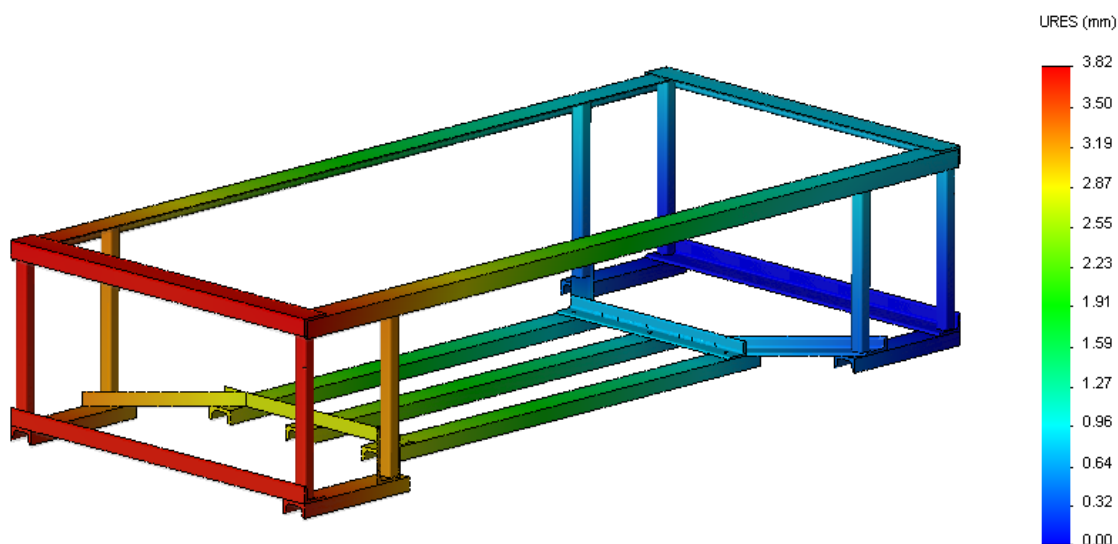


Figura 7.9. Desplaçaments resultants del xoc frontal

7.4.2. Impacte lateral

Tensions

A la Figura 7.10 es representa l'estat de tensions a la que es veu sotmesa l'estructura al rebre l'impacte lateral. Com succeeix en el cas d'impacte frontal, les zones amb una major concentració de tensions són les properes al perfil que té restringit el moviment.



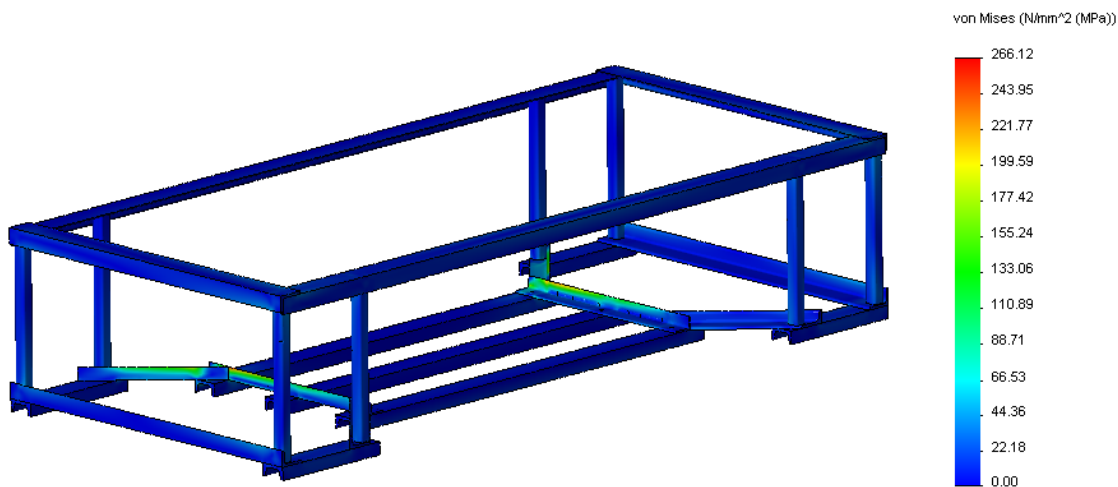


Figura 7.10. Tensions equivalents de von Mises en el xoc lateral

A la Figura 7.11 es mostra un detall d'aquestes zones més sol·licitades.

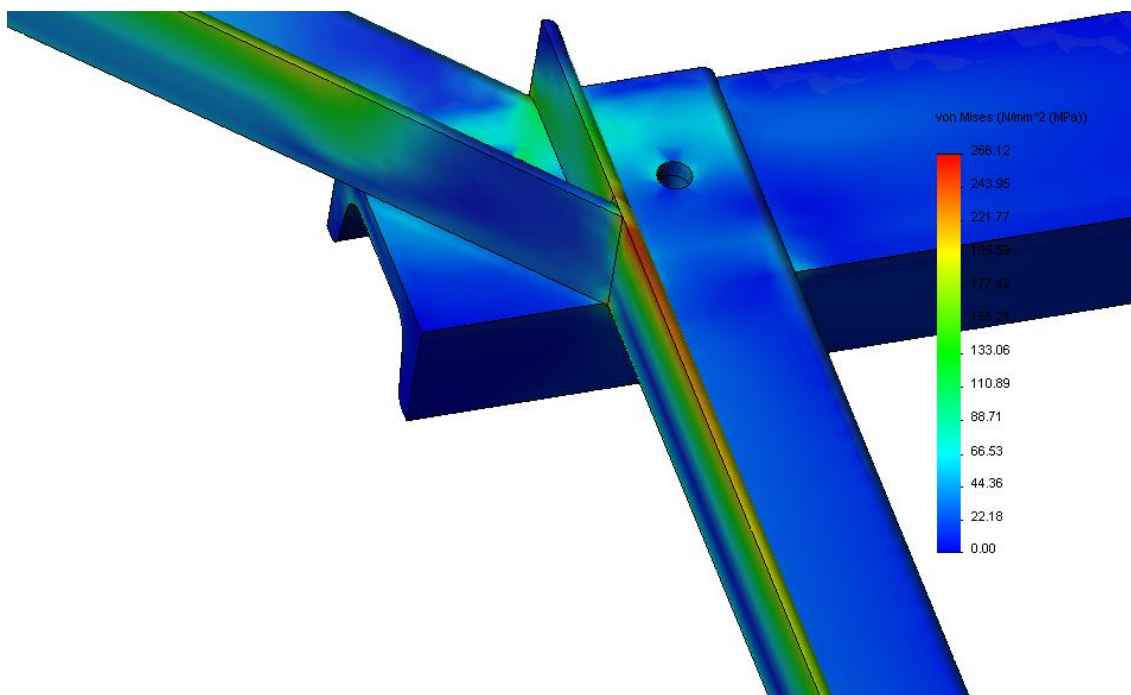


Figura 7.11. Detall de les tensions equivalents de von Mises en el xoc lateral

La màxima tensió que experimenta l'estructura, en el cas d'impacte lateral, és de 266,12 MPa.



Així doncs, fent un càlcul anàleg al realitzat a l'apartat anterior, el valor mínim del coeficient de seguretat és de 1,32. En aquest cas hi ha un menor marge de seguretat que en el cas del xoc frontal. El fet de treballar amb un coeficient de seguretat relativament baix suposa que realitza la funció de fusible mecànic.

Deformacions

Les deformacions resultants de la simulació del xoc lateral es mostren a la Figura 7.12.

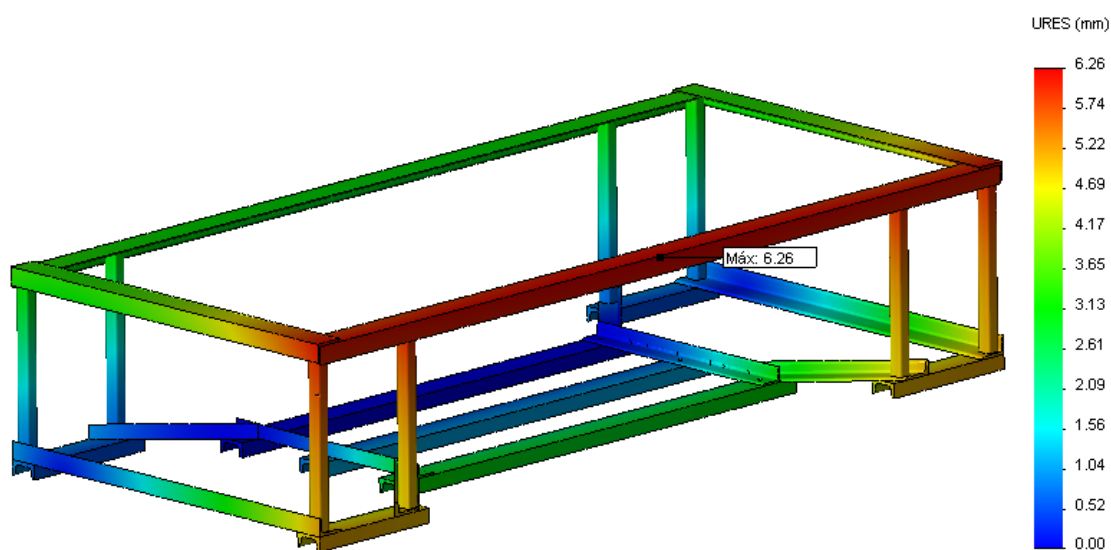


Figura 7.12. Deformacions resultants del xoc lateral

Les deformacions més importants es localitzen al perfil superior, sobre el qual s'ha aplicat la major part de la força. Concretament, el punt de l'estructura que es veu sotmès a una major deformació, amb un valor de 6,26 mm, gairebé el doble que en el xoc frontal, es troba al mig d'aquest perfil. Aquest és un resultat lògic ja que és la part del perfil que està més allunyada dels punts de suport amb els altres components de l'estructura i conseqüentment és on es produeix la fletxa màxima.

Es pot concloure que en el xoc lateral, degut a la simetria de la geometria i les condicions de contorn, les tensions i deformacions presenten un comportament simètric respecte al pla mig transversal. El mateix succeeix en el cas del xoc frontal, on la simetria és respecte al pla mig longitudinal.





8. Anàlisi econòmic

En aquest apartat es realitza un estudi econòmic per determinar el cost global del projecte. S'analitzen de forma separada la fase de realització del projecte i la de construcció del *balloon car*.

Fase de realització del projecte

Les despeses associades a la realització del projecte són principalment el cost dels recursos humans. Es considera una dedicació setmanal de 25h (5h diàries els dies laborables) durant un període de 7 mesos, sota la supervisió d'un director de projecte.

També s'ha tingut en compte les despeses d'oficina, corresponent al material utilitzat i la factura de la llum i el telèfon. D'altra banda, referent als equips informàtics, s'ha considerat una amortització valorada en 25 € mensuals. Com a últim concepte, s'ha tingut present el valor de la llicència del software utilitzat.

Concepte	Desglossat	Valor
Recursos humans	Enginyer Junior 700 h x 15 €/h Director de projecte 20 h x 60 €/h	11.700 €
Despeses oficina	7 mesos x 75 €/mes	525 €
Hardware	7 mesos x 25 €/mes	175 €
Software		800 €
Subtotal		13.200 €
Beneficis	(+10%)	1.320 €
Impostos	(+16% IVA)	2.323,2 €
Cost fase de realització		16.843,2 €

Taula 8.1. Costos de la fase de realització del projecte



Fase de construcció del *balloon car*

Els costos de la fase de construcció són imputables a la matèria primera, sistemes específics, al procés de fabricació dels diferents components i al personal que realitza la tasca de muntatge.

Referent a la matèria primera, el preu dels elements estructurals i interns, al predominar l'acer, es considera de 0,7 €/kg. El de la carrosseria és de 2 €/kg.

Aquells components i sistemes que tenen un cost més elevat, com per exemple el motor i els sistemes de control, es detallen apart. El seu valor s'estima en 6.000 €.

Concepte	Desglossat	Valor
Matèria primera	45 kg x 0,7 €/kg 97 kg x 2 €/kg	225,5 €
Altres components		6.000 €
Fabricació		6.000 €
Personal	20 h x 30 €/h	600 €
Subtotal		12.825,5 €
Impostos	(+16% IVA)	2.054,08 €
Cost fase de construcció		14.877,58 €

Taula 8.2. Costos de la fase de construcció del *balloon car*

Així doncs, el cost total del projecte és de **31.720,78 €**



9. Estudi d'impacte ambiental

En l'estudi d'impacte ambiental d'aquest projecte es poden diferenciar clarament dues parts, el causat durant l'elaboració del projecte i el que tindrà lloc en l'etapa de construcció del *balloon car* així com en la seva posterior utilització.

En l'etapa de realització del projecte, l'impacte causat sobre el medi ambient és el resultant dels processos d'obtenció de l'energia elèctrica requerida pel funcionament dels sistemes d'il·luminació del lloc de treball i l'equip informàtic. També és atribuïble al divers material d'oficina utilitzat, principalment fulls de paper, utensilis d'escriptura i cartutxos de tinta. En referència a aquest material, en tot moment se n'ha fet un ús responsable, sense malgastarlo, generant la mínima quantitat de residus i reciclant-los quan així era possible.

La fase d'ensamblatge de totes les peces i components que formen el *balloon car* és la darrera part d'un llarg procés. Així doncs, s'ha de tenir present l'impacte ambiental associat a les diferents etapes, des del causat en el procés d'obtenció de les matèries primeres fins al de l'energia per fer funcionar les màquines per transformar l'acer. També cal assegurar que els components segueixin un correcte tractament i reciclatge un cop arribin al final de la seva vida, en especial les bateries, que han de seguir un procés adequat de descontaminació.

Aquest projecte té com a objectiu dissenyar un *balloon car* que permetrà desenvolupar i millorar els sistemes ADAS, i la seva implantació als vehicles suposarà una reducció en la sinistralitat dels automòbils i conseqüentment una disminució dels components inutilitzables que cal processar i reciclar. Així doncs, aquest projecte es pot valorar positivament des d'un punt de vista medi ambiental.





Conclusions

La realització d'assaigs no destructius és un dels pilars bàsics dins de l'àrea de sistemes ADAS i de sistemes *pre-crash*, assaigs que porten al vehicle test a situacions al límit de l'accident. Per a dur a terme aquests assaigs és necessari disposar d'un equipament que permeti reproduir maniobres i per tant, cal disposar d'un element mòbil autopropulsat i direccionable.

Els sistemes ADAS es troben en una fase d'implantació i per tant, no existeixen protocols estàndard d'assaig per a una hipotètica homologació. Per tant, aquestes eines i instal·lacions d'assaigs són un element bàsic per avançar en el coneixement de les tecnologies i de les configuracions possibles per tal de crear un estàndard de valoració i per tant de garantir unes prestacions del sistema que s'incorpori en el vehicle.

La millor alternativa de disseny d'un *balloon car* és disposar d'un conjunt moduble i amb la màxima versatilitat possible, tant pel que fa referència a les maniobres que pugui realitzar com pel que fa a les configuracions detectables pel vehicle test, de manera que es pugui aprofitar una base i es puguin tenir diferents objectius, com un vehicle de turisme, un vehicle de dues rodes o un vehicle industrial.

Dels resultats obtinguts de la simulació es pot concloure que el disseny realitzat no ocasionaria danys en el frontal del vehicle test en un assaig en que es produeixi un impacte amb les condicions preestablertes. Així mateix, l'estructura té un coeficient de seguretat suficient com per garantir la integritat dels elements que s'instal·len al seu interior.





Agraïments

Primerament, vull agrair de forma especial al David Gallegos, director del projecte, per tots els coneixements que m'ha transmès i el seu assessorament en el transcurs del projecte.

També m'agradaria donar les gràcies a la Càtedra Applus+ en Seguretat de l'Automòbil de la Universitat Politècnica de Catalunya per cedir-me l'espai i el material necessari per poder dur a terme aquest projecte.

Agrair també a la meva família pel recolzament que m'ha donat.

Per últim, vull agrair a la Berta Meseguer el suport que m'ha donat i la paciència que ha tingut durant la realització del projecte.





Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] DGT. Anuario estadístico general. Año 2008

http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/seguridad_vial/estadistica/parque_vehiculos/series_historicas_parque/series_historicas_parque_2008.pdf

- [2] DGT. Informe anual de siniestralidad 2009.

http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/seguridad_vial/estadistica/accidentes_24horas/resumen_anual_siniestralidad/resumen_siniestralidad019.pdf

Bibliografia complementària

- [3] CÀTEDRA APPLUS. *Seguretat activa i passiva a l'automòbil*. Barcelona, CPDA

- [4] FENOLLOSA, J. *Unions cargolades*. Barcelona, Edicions UPC, 1995.

- [5] FENOLLOSA, J. [et al.] *Quadern CM2. Rodaments*. Barcelona, CPDA-ETSEIB, 2001.

- [6] FISITA. *Book of Abstracts World Automotive Congress 2008*. Munich, FISITA, 14-19 Setembre

- [7] HERBERT, A. [et.al] *Los sensores en el automóvil*. Stuttgart, Robert Bosch GmbH, 2002

- [8] MATTES, B. [et.al] *Sistemas de seguridad y confort*. Stuttgart, Robert Bosch GmbH, 2000

- [9] OPTIBELT. *Elementos de transmisión Optibelt. Manual Técnico*.



Pàgines web

Alex, fabricant de rodes.

[<http://www.alex.es/>, març 2010]

Autoliv, fabricant de sistemes de seguretat de l'automòbil.

[<http://www.autoliv.com/wps/wcm/connect/autoliv/Home/What+We+Do>, novembre 2009]

Continental, fabricant de components de l'automòbil.

[http://www.conti-online.com/generator/www/de/en/continental/automotive/themes/passenger_cars/chassis_safety/adas/ov1_adas_en.html, novembre 2009]

Daimler, fabricant d'automòbils i components.

[<http://www.daimler.com/technology-and-innovation/safety-technologies>, novembre 2009]

Delphi, fabricant de components de l'automòbil.

[<http://delphi.com/manufacturers/auto/safety/active/>, novembre 2009]

DENSO, fabricant de components de l'automòbil.

[<http://www.denso-europe.com/Driving-Control-and-Safety--1013660000000001.aspx>, novembre 2009]

Dow Automotive, fabricant de sistemes i materials per l'automòbil.

[http://www.dowautomotive.com/capabilities/product_family/impaxx.htm, abril 2010]

FICOSA, fabricant de components i sistemes de seguretat per l'automòbil.

[http://www.ficosa.com/wps/portal/corporate?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/ficosa/WebPublica_ES/Productos/ListadoGrupoProductos, desembre 2009]

Ford, fabricant d'automòbils.

[http://media.ford.com/article_display.cfm?article_id=29838, desembre 2009]

IBEO, fabricant de sensors per l'automòbil.

[<http://www.ibeo-as.com/english/products.asp>, desembre 2009]

ITERIS, fabricant de components de l'automòbil.

[<http://www.iteris.com/ldws.aspx>, novembre 2009]

Magneti Marelli, fabricant de sistemes de seguretat de l'automòbil.

[http://www.magnetimarelli.com/english/electronic_advanced_driver.php, novembre 2009]



Maxxis, fabricant de pneumàtics.

[<http://www.kartingtyres.com>, febrer 2010]

Mobileye, fabricant de sistemes de seguretat de l'automòbil.

[<http://www.mobileye.com/>, novembre 2009]

Neusoft, fabricant de sistemes de seguretat de l'automòbil.

[<http://www.neusoft.com/en/product/1289/>, novembre 2009]

OTK, fabricant de components de kart.

[<http://www.tonykart.com/images/OTK/Catalogo.pdf>, febrer 2010]

OXTS, fabricant de sistemes de posicionament.

[<http://www.oxts.com/>, febrer 2010]

PSA Peugeot Citroën, grup de fabricants d'automòbils.

[http://www.psa-peugeot-citroen.com/es/psa_grupo/seguridad_b3.php, novembre 2009]

Quanmax, fabricant de processadors compactes.

[http://www.quanmax.com/product/product_detail.aspx?pd_root_type=6&pd_type=10&pd_id=99, març 2010]

TRW, fabricant de sistemes de seguretat de l'automòbil.

[<http://www.trw.com/>, novembre 2009]

Thatcham, fabricant de sistemes de seguretat de l'automòbil.

[<http://www.thatcham.org/tcas/index.jsp?page=348>, novembre de 2009]

TNO, sistemes de seguretat a l'automòbil.

[http://www.tno.nl/groep.cfm?context=markten&content=producten&laag1=59&item_id=216, desembre 2009]

Toyota, fabricant d'automòbils.

[<http://www.safetytoyota.com/es-es/>, novembre 2009]

Volkswagen, fabricant d'automòbils.

[http://www.volkswagen.com/vwcms/master_public/virtualmaster/en2/experience/innovation/assistance_systems.html, novembre 2009]





Sumari de figures

Figura 2.1. Esquema de la metodologia del projecte	10
Figura 3.1. Esquema de funcionament dels sistemes ADAS	13
Figura 3.2. Aplicacions del làser escàner. Model IBEO Alasca XT	16
Figura 3.3. Tecnologies utilitzades pels diferents sensors dels sistemes ADAS	18
Figura 3.4. Sistema ACC amb tecnologia radar	19
Figura 3.5. Sistema d'assistència al canvi de carril. Senyal lluminós al retrovisor	20
Figura 3.6. Sistema de visió nocturna amb fars infraroigs	21
Figura 3.7. Sistema d'assistència a l'estacionament amb sensors d'ultrasons	22
Figura 3.8. Sistema d'alerta al canvi involuntari de carril amb infrarojos	23
Figura 4.1. <i>Balloon car</i> utilitzat per la companyia Ford	28
Figura 4.2. Sistema d'assaig <i>rabbit - balloon car</i>	28
Figura 4.3. Fotografia i esquema de l'eina EVITA	29
Figura 4.4. Sistema VEHIL a les instal·lacions de TNO Automotive	30
Figura 4.5. "CarsonCity" a les instal·lacions d'Autoliv	31
Figura 6.1. Estructura del <i>balloon car</i> amb les principals dimensions	39
Figura 6.2. Estructura i elements interns del <i>balloon car</i>	40
Figura 6.3. Carrosseria del <i>balloon car</i> amb les seves principals dimensions	41
Figura 6.4. Orientació dels perfils atenent els diferents condicionants	42



Figura 6.5. Unió dels perfil vertical amb una placa L. Cargol i femella interna al perfil vertical	44
Figura 6.6. Conjunt de l'eix del <i>balloon car</i>	45
Figura 6.7. Imatge i plànol del suport del rodament extern, rodament extern i separador	46
Figura 6.8. Suport intern de l'eix, suport del rodament intern i rodament intern	47
Figura 6.9. Suport del disc de fre	48
Figura 6.10. Sistema de transmissió per corretja. Perfil de la corretja utilitzada	49
Figura 6.11. Ubicació dels punts de suport i detall de la unió amb l'estructura	50
Figura 6.12. Sistemes de control	52
Figura 6.13. Parts de la carrosseria. Zona baixa (en gris) i alta (en vermell)	53
Figura 6.14. Pell interna de la carrosseria, amb i sense transparència	53
Figura 6.15. Pell externa de la carrosseria. Peces laterals (gris clar) i frontals (gris fosc)	54
Figura 6.16. Detall de la zona de superposició de les parts frontal i lateral de la pell externa	55
Figura 6.17. Part alta de la carrosseria	56
Figura 7.1. Restriccions imposades en el xoc frontal	61
Figura 7.2. Condicions de contorn del xoc frontal. Restriccions (fletxes verdes) i càrregues (fletxes violetes)	61
Figura 7.3. Restriccions imposades en el xoc lateral	62
Figura 7.4. Força de 700 N (fletxes violetes) aplicada a la cara externa del perfil superior	63
Figura 7.5. Geometria mallada amb les condicions de contorn del xoc lateral	64



Figura 7.6. Detall de l'estructura mallada	64
Figura 7.7. Tensions equivalents de von Mises en el xoc frontal	65
Figura 7.8. Detall de les tensions equivalents de von Mises en el xoc frontal	66
Figura 7.9. Desplaçaments resultants del xoc frontal	67
Figura 7.10. Tensions equivalents de von Mises en el xoc lateral	68
Figura 7.11. Detall de les tensions equivalents de von Mises en el xoc lateral	68
Figura 7.12. Deformacions resultants del xoc lateral	69





Sumari de taules

Taula 5.1. Valoració dels diferents sistemes de tracció	37
Taula 5.2. Valoració dels diferents sistemes de direcció	37
Taula 6.1. Propietats de l'acer AISI 1020	43
Taula 6.2. Dimensions de les rodes motrius	49
Taula 6.3. Dimensions dels punts de suport	50
Taula 6.4. Característiques del motor	51
Taula 6.5. Característiques elèctriques de la bateria	51
Taula 6.6. Característiques físiques de la bateria	51
Taula 6.7. Masses dels diferents components de la carrosseria	57
Taula 7.1. Característiques principals de la malla	63
Taula 8.1. Costos de la fase de realització del projecte	71
Taula 8.2. Costos de la fase de construcció del <i>balloon car</i>	72

