

Adrià Margalef Òdena

**Disseny d'un trolley per a assajos de xoc del protocol
d'EuroNCAP**

**Treball Fi de Màster
dirigit pel Sr. Hector González Montarelo**

Màster en Enginyeria Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona
2023**

Aquest Treball de Fi de Màster presenta informació confidencial, per tant, el treball complet serà confidencial i no serà accessible públicament. La versió reduïda del treball serà l'accessible al públic. Aquesta versió no disposarà de cap part o informació confidencial.

L'empresa propietària d'aquesta informació confidencial és IDIADA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY SA, CIF A43581610, amb adreça PO Box 20 Santa Oliva 43710 L'Albornar Tarragona, Espanya.

Vostè, ara mateix, està llegint la versió no confidencial.

Índex

1	Memòria	1
1.1	Objecte	1
1.1.1	Promotor del projecte	1
1.1.2	Equip redactor	1
1.1.3	Resum descriptiu de l'element a dissenyar	1
1.2	Abast	1
1.3	Antecedents.....	1
1.3.1	Assajos Frontals MPDB	2
1.3.2	Assajos Laterals AE-MDB	3
1.4	Normes i referències.....	4
1.4.1	Disposicions legals i normes.....	4
1.4.2	Programes de càlcul.....	5
1.4.3	Pla de gestió de qualitat aplicat en la redacció del treball	5
1.4.4	Bibliografia	5
1.5	Definicions i abreviatures	6
1.6	Requisits de disseny	6
1.6.1	Requisits del promotor	6
1.6.2	Requisits legals.....	7
1.6.3	Requisits de l'entorn físic.....	8
1.6.4	Requisits del mercat.....	9
1.6.5	Requisits econòmics.....	9
1.6.6	Disponibilitat de béns i serveis complementaris requerits en la construcció de la màquina	9
1.7	Anàlisi de solucions	9
1.8	Resultats finals.....	9
1.8.1	Treball o increment de l'energia cinètica	9
1.8.2	Força d'impacte	11
1.8.3	Disseny del trolley.....	13
1.8.4	Simulació CAE	13
1.9	Ordre de prioritat entre els documents.....	13
2	Annexes.....	14
2.1	Documentació inicial.....	14
2.1.1	Extracte protocol assajos Laterals AE-MDB.....	14
2.1.2	Extracte protocol assajos Frontals MPDB.....	15
2.1.3	Taula de perfils estructurals.....	16
2.2	Càlculs	17

2.2.1	Treball o absorció de l'energia cinètica.....	17
2.2.2	Força d'impacte	19
2.2.3	Força d'impacte mitjançant registre d'acceleracions	21
2.2.4	Propietats de les barreres deformables	22
2.2.5	Força absorbida pel trolley.....	31
2.3	Registre d'acceleracions del trolley.....	33
2.3.1	Acceleracions en assajos Frontals MPDB	33
2.3.2	Acceleracions en assajos Laterals AE-MDB	33
3	Plànols.....	34
4	Pressupost	35

1 Memòria

1.1 Objecte

1.1.1 Promotor del projecte

El promotor del present projecte és el departament de Seguretat Passiva de l'empresa Applus+ Idiada. Les seves dades són:

Nom complet: IDIADA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY SA

CIF: A43581610

Direcció: PO Box 20 Santa Oliva 43710 L'Albornar Tarragona, Espanya

1.1.2 Equip redactor

L'equip redactor està format per 1 estudiant del Màster d'Enginyeria Industrial, de la Universitat Rovira i Virgili de Tarragona. Les seves dades són:

Nom complet: Adrià Margalef Òdena

DNI/NIF: 48009543-X

Direcció: Avinguda Catalunya 22A 1r 2a, Tarragona 43002

Estudis: Graduat en Enginyeria Mecànica, 2021

1.1.3 Resum descriptiu de l'element a dissenyar

El present projecte tractarà del disseny d'un trolley per a la realització d'assajos de xoc seguint la normativa dels assajos de seguretat passiva del protocol Euro NCAP per a assajos frontals MPDB i laterals AE-MDB, seguint els seus respectius protocols *Frontal MPDB Test Protocol v1.1.3* i *Side AE-MDB Test Protocol v8.2.1*, assegurant la seva resistència i funcionalitat per a la realització dels assajos de xoc.

1.2 Abast

L'abast del projecte és el de dissenyar un trolley apte per a la realització d'assajos de xoc laterals AE-MDB i frontals MPDB, segons els protocols d'EuroNCAP.

Es dissenya la part estructural del trolley tenint en compte les dimensions, pes i centre de gravetat, marcades per protocol.

Es calcularà les forces que afecten el trolley, buscant el disseny òptim d'aquest, tenint en compte la resistència estructural d'aquest.

1.3 Antecedents

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

Les instal·lacions de l'empresa Applus+ Idiada, localitzades al polígon industrial de Santa Oliva, estan acreditades oficialment com a laboratoris Euro NCAP¹. Això indica, que dintre de les seves instal·lacions, es poden realitzar assajos oficials per a les proves Euro NCAP.

¹ Euro NCAP – Members and Test Facilities

Els tests d'Euro NCAP valoren la seguretat dels vehicles, puntuant els següents aspectes de l'automòbil:

- Protecció dels ocupants adults del vehicle. Es valora la capacitat del vehicle de protegir als ocupants adults en cas d'un xoc.
- Protecció dels ocupants infantils del vehicle. Es valora la capacitat del vehicle de protegir als ocupants infantils en cas d'un xoc.
- Protecció dels usuaris vulnerables de la carretera. Es valora la capacitat del vehicle de causar el menor dany possible als usuaris vulnerables de la carretera.
- Seguretat Activa. Es valora els sistemes de seguretat activa del vehicle.

En el departament de Seguretat Passiva de l'empresa Applus+ Idiada, promotor d'aquest projecte, es duen a terme els assajos de xoc, on es valora la protecció dels ocupants adults i infantils del vehicle.

Per realitzar aquesta valoració, es duen a terme quatre diferents tests de xoc, dos frontals i dos laterals:

- Frontal FW Test. Xoc frontal d'un vehicle a cinquanta kilòmetres per hora contra una paret rígida. Tota la part frontal de l'automòbil impacta.
- Frontal MPDB Test. Xoc entre el vehicle i el trolley a cinquanta kilòmetres per hora cadascun, amb una superposició del 50% en el vehicle a testejar.
- Side AE-MDB Test. Xoc lateral del trolley a seixanta kilòmetres per hora, impactant perpendicularment en el lateral del vehicle a testejar.
- Side Oblique Pole Test. Xoc lateral del vehicle contra un cilindre rígid de 254 mm de diàmetre.

L'element a dissenyar, serà utilitzat tant en els xocs Frontal MPDB com en els Side AE-MDB.

1.3.1 Assajos Frontals MPDB

Els assajos Frontals MPDB (Mobile Progressive Deformable Barrier) són part del protocol d'avaluació de seguretat de vehicles EuroNCAP. Aquests assajos se centren a avaluar la protecció que ofereix un cotxe als seus ocupants en col·lisions frontals contra una barrera deformable. Aquesta barrera simula un possible accident en el qual un cotxe impacta contra un altre vehicle, amb una superposició del 50% de l'amplada del vehicle.

Els assajos MPDB es realitzen per avaluar com el vehicle protegeix els ocupants. A través de la recopilació de dades com acceleracions, forces i desplaçaments, els resultats s'utilitzen per determinar la puntuació de seguretat del vehicle en termes de protecció frontal.

Els resultats dels assajos MPDB s'integren en la puntuació general de seguretat d'un vehicle segons el protocol EuroNCAP. Això ajuda els consumidors a comprendre el rendiment relatiu de diversos cotxes en termes de seguretat en col·lisions frontals, i també fomenta la millora contínua en la seguretat dels vehicles per part dels fabricants.

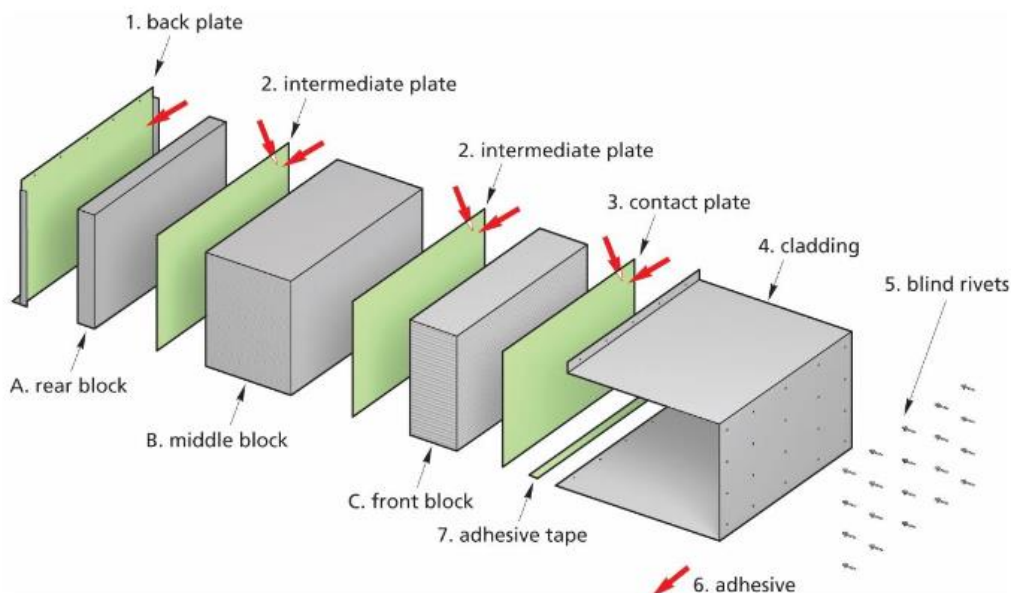
En aquests assajos s'avalua tant la protecció dels ocupants adults del vehicle, com la protecció dels ocupants infantils. Per això, aquests assajos són duts a terme amb un dummy instrumentat Thor i un Hybrid III 50%, representant dos ocupants masculins, i un dummy Q6 i un Q10, representant dos infants de 6 i 10 anys respectivament.

1.3.1.1 Barrera Frontal MPDB

La barrera consta de tres blocs apilats d'alumini en forma de panell d'abelles. El bloc davanter i el del darrere ofereixen nivells constants de força amb deflexió, mentre que el bloc central ha estat processat per oferir un nivell de força progressivament creixent amb l'augment de la deflexió. El bloc del darrere està unit a una placa del darrere d'alumini que també s'utilitza

per muntar la barrera. Els tres blocs estan units a tres làmines d'alumini i tota la barrera està coberta per una pell d'alumini (revestiment) reblada a la cara frontal².

Aquests tres blocs són anomenats A, pel bloc del darrere, B, pel bloc central, i C, pel bloc davanter. Els components que formen la barrera MPDB es troben exposats en la Il·lustració 1.



Il·lustració 1. Components de la barrera MPDB

1.3.2 Assajos Laterals AE-MDB

L'assaig Lateral AE-MDB d'EuroNCAP és un dels procediments d'avaluació de la seguretat dels vehicles nous. Aquest assaig simula una possible col·lisió lateral, com la que es podria produir en una cruïlla o en un xoc amb un altre vehicle.

Durant l'assaig de col·lisió lateral, un vehicle és impactat al costat per una barrera deformable a una velocitat específica, la qual es basa en els estàndards de seguretat establerts per EuroNCAP, en el protocol actual, aquesta està definida en 60 km/h. Aquesta barrera simula un altre vehicle que es creua en la trajectòria o un obstacle en el costat del vehicle.

S'avalua la protecció dels ocupants del vehicle en aquest tipus d'impacte. Es mesuren diferents factors, incloent-hi les forces i les deformacions que es produeixen en el vehicle i la quantitat de protecció proporcionada als ocupants.

Els resultats de l'assaig es tradueixen en una puntuació, que és representada amb estrelles. A més estrelles, millor és la puntuació i, per tant, major és la protecció del vehicle i els seus ocupants en una col·lisió lateral. Les puntuacions poden variar en funció dels elements com la protecció del tòrax, de la pelvis, dels abdominals i de les cames dels ocupants.

L'assaig també té en compte l'impacte al cap dels ocupants, especialment quan hi ha airbags laterals o de cortina. A més, s'avalua el risc de lesions als òrgans interns en cas d'impacte. Els vehicles amb sistemes de seguretat addicionals, com airbags laterals, cinturons pretensors i limitadors de força, i altres dispositius de protecció, poden obtenir millors puntuacions en aquest assaig.

² TB022 – Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification v1.2.1, Apartat 1, Characteristics of the Progressive Deformable Barrier

En aquests assajos s'avalua tant la protecció dels ocupants adults del vehicle, com la protecció dels ocupants infantils. Per això, aquests assajos són realitzats amb un dummy instrumentat WorldSID 50%, representant un ocupant masculí, i un dummy Q6 i un Q10, representant dos infants de 6 i 10 anys respectivament.

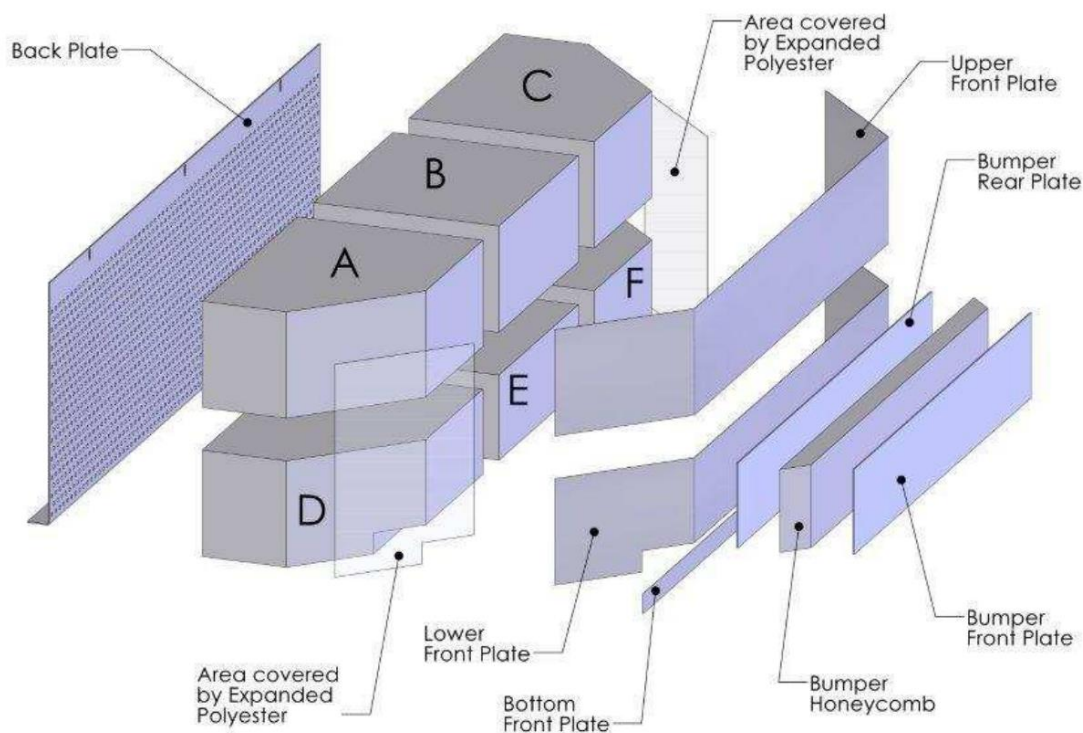
L'objectiu d'aquest assaig és proporcionar una representació realista de com el vehicle protegeix els seus ocupants en una col·lisió lateral i incentivar els fabricants a millorar la seva seguretat en aquest tipus d'impacte.

1.3.2.1 Barrera Lateral AE-MDB

La barrera consta de sis blocs individuals d'alumini en forma de panell d'abella, que han estat processats per proporcionar un nivell de força progressivament creixent amb una desviació cada vegada més gran. A la part davantera de la filera inferior de blocs s'ha fixat un element addicional, conegut com a bumper, de 60 mm de profunditat. Els blocs en forma de panell d'abella, són fixats a la placa d'alumini per la part posterior d'aquests³.

Aquests 6 blocs que formen la barrera AE-MDB són anomenats alfabèticament, de la A a la F, sense incloure el bumper que es troba en el frontal de la barrera.

Els components que formen la barrera AE-MDB es troben exposats en la Il·lustració 2.



Il·lustració 2. Components de la barrera AE-MDB

1.4 Normes i referències

Relació dels documents citats en el treball.

1.4.1 Disposicions legals i normes

Disposicions legals i normes aplicades:

³ TB 014 – AE-MDB Specification Version 1.0, Apartat 2, Characteristics of the Impactor

- UNE 157001:2014 Criteris generals per a l'elaboració formal de los documents que constitueixen un projecte tècnic.
- Protocol d'EuroNCAP - Protecció dels ocupants adults del vehicle. Frontal MPDB Test Protocol, v1.1.3 de gener del 2023
- Protocol d'EuroNCAP - Protecció dels ocupants adults del vehicle. Side AE-MDB Test Protocol, v8.2.1 de gener del 2023
- Technical Bulletin 014 - AE-MDB Specification, Version 1.0 d'abril del 2013
- Technical Bulletin 022 - Euro NCAP Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification, Version 1.2.1 de març del 2023
- SAE J211:2022 - Instrumentation for Impact Test
- UNECE R95 – Lateral Collision Protection

1.4.2 Programes de càlcul

Per realitzar el dimensionat i l'estudi d'esforços de l'estructura s'utilitza el programa *Solidworks 2019*.

Per obtenir i filtrar els valors d'acceleròmetres de diferents assajos duts a terme en les instal·lacions d'Idiada, s'utilitza el programa *Diadem*.

Per analitzar els vídeos d'alta resolució amb una freqüència de 1000 fotogrames per segon, s'ha utilitzat el programa *Photron*.

1.4.3 Pla de gestió de qualitat aplicat en la redacció del treball

El següent pla de gestió de qualitat ha sigut aplicat en la redacció d'aquest treball:

- S'ha seguit la normativa UNE 157001:2014 "Criteris generals per a l'elaboració formal dels documents que constitueixen un projecte tècnic".
- S'ha fet ús del corrector online Softcatalà per la revisió de la gramàtica i ortografia del treball.
- S'ha realitzat una comprovació, de tots els apartats d'aquest treball, per part de l'autor d'aquest, per verificar les dades i la informació trobada en aquest.

1.4.4 Bibliografia

- EuroNCAP – Protocols – General. Consultat des de l'adreça <https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/general/>
- EuroNCAP – Protocols – Adult Occupant Protection. Consultat des de l'adreça <https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/adult-occupant-protection/>
- EuroNCAP – Protocols – Child Occupant Protection. Consultat des de l'adreça <https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/child-occupant-protection/>
- EuroNCAP – Supporting Information – Technical Bulletins. Consultat des de l'adreça <https://www.euroncap.com/en/for-engineers/supporting-information/technical-bulletins/>
- NHTSA – Vehicle manufacturers – Test Procedures. Consultat des de l'adreça <https://www.nhtsa.gov/vehicle-manufacturers/test-procedures>
- UNECE - Vehicle regulations. Consultat des de l'adreça <https://unece.org/trans/main/wp29/wp29regs>

1.5 Definicions i abreviatures

Trolley

Carro o vehicle utilitzat en assajos EuroNCAP per impactar contra un automòbil i poder estudiar la resistència d'aquest en assajos frontals i laterals. El trolley consta d'una estructura simple, fent la funció de xassís, els elements funcionals bàsics d'un vehicle, com són rodes i frens, i una placa d'alumini on s'acoba una barrera deformable.

Barrera

Element deformable localitzat en la part frontal del trolley, encarregat d'impactar contra l'automòbil assajat. La forma d'aquesta dependrà del tipus d'assaig realitzat.

EuroNCAP

EuroNCAP (European New Car Assessment Programme) és un programa europeu d'avaluació de seguretat de vehicles nous. Realitza proves i classificacions per a vehicles, assessora i informa els consumidors sobre la seguretat dels cotxes en diversos escenaris, com col·lisions i protecció de vianants. Això ajuda els compradors de cotxes a prendre decisions més informades sobre la seguretat dels vehicles que volen comprar.

AE-MDB

AE-MDB (Advanced European Mobile Deformable Barrier) és la barrera deformable utilitzada en els assajos laterals del mateix nom d'EuroNCAP (Assaig Lateral AE-MDB).

MPDB

MPDB (Mobile Progressive Deformable Barrier) és la barrera deformable utilitzada en els assajos frontals del mateix nom d'EuroNCAP (Assaig Frontal MPDB).

1.6 Requisits de disseny

1.6.1 Requisits del promotor

El promotor del present projecte és el departament de Seguretat Passiva de l'empresa Applus+ Idiada. Aquest ens imposa les següents condicions al disseny i fabricació de l'element a projectar.

- El trolley ha de presentar una robustesa i resistència adient per a la realització de múltiples assajos, sense presentar una deformació plàstica que afecti les propietats de l'element. S'ha d'assegurar que les característiques del trolley no presentin variacions que el facin inservible.
- L'estructura del trolley estarà formada per perfils normalitzats d'acer, preferiblement d'acer S235JR o d'acer S275JR. Aquest material és l'utilitzat de forma habitual pel promotor, i en cerca de minimitzar costos i facilitar la producció posterior de l'element, es dissenyarà el trolley amb aquest material.
- A causa del fet que el trolley serà produït en les mateixes instal·lacions del departament de Seguretat Passiva de l'empresa Applus+ Idiada, el disseny de l'element ha d'assegurar una fàcil producció a partir dels mitjans dels quals disposa el promotor.
- El trolley ha de disposar d'una zona especialment dissenyada per a localitzar tota la instrumentació necessària per a monitorar els assajos frontals MPDB i els laterals AE-MDB. Aquesta zona ha de presentar les següents característiques:
 - o Dimensions adients per a introduir tots els elements necessaris per a la realització dels assajos.
 - o Protecció adequada per evitar que la instrumentació es pugui veure danyada durant la realització dels assajos.

- Fàcil accés. En poder variar la instrumentació a utilitzar entre diferents assajos de xoc, el disseny ha de permetre un fàcil accés per als operaris per poder modificar els elements a instal·lar si fos necessari.

1.6.2 Requisits legals

El trolley, l'element a dissenyar, a l'estar destinat a la realització d'assajos de caràcter oficials, ha de complir amb la normativa pertinent, tant en la relativa a assajos frontals MPDB, com a assajos laterals AE-MDB. Això implica que ha d'estar dintre de tots els paràmetres marcats per ambdós protocols. En el cas que els protocols anteriorment esmentats, difereixen en algun paràmetre, el disseny haurà de ser adaptable i fàcilment modificable per poder complir sempre amb la normativa de l'assaig corresponent.

Els requisits marcats pel protocol d'EuroNCAP, comuns tant en assajos Frontals MPDB⁴ i Laterals AE-MDB⁵, són els següents:

- La massa total ha de ser de 1400 ± 20 kg.
- El centre de gravetat ha d'estar situat a menys de 10 mm del pla vertical longitudinal, 1000 ± 30 mm per darrere de l'eix davanter i 500 ± 30 mm per sobre de terra.
- L'amplada de via davanter i del darrere del trolley serà de 1500 ± 10 mm.
- La distància entre eixos del trolley serà de 3000 ± 10 mm.
- Totes les rodes del trolley han de treballar a la mateixa pressió.

Els requisits que difereixen entre ambdós protocols són els següents:

Trolley per assajos Frontals MPDB:

- La distància entre la cara frontal de la barrera i el centre de gravetat ha de ser de 2290 ± 30 mm.
- L'alçada de la barrera serà tal que la part més baixa de la cara frontal de la barrera estigui a $150 \text{ mm} \pm 5$ mm per sobre del nivell del terra, mesurat estàticament abans de l'impacte als costats esquerra i dreta de la cara davantera de la barrera.
- La vora exterior de la barrera MPDB ha d'estar a 850 ± 10 mm de la línia central del trolley.

Trolley per a assajos Laterals AE-MDB:

- La distància entre la cara frontal de la barrera i el centre de gravetat ha de ser de 2000 ± 30 mm.
- L'alçada de la barrera haurà de ser tal que la part superior del bumper (la intersecció entre la filera superior i inferior de blocs) estigui a $550 \text{ mm} \pm 5$ mm per sobre del nivell del sòl, mesurat estàticament abans de l'impacte.

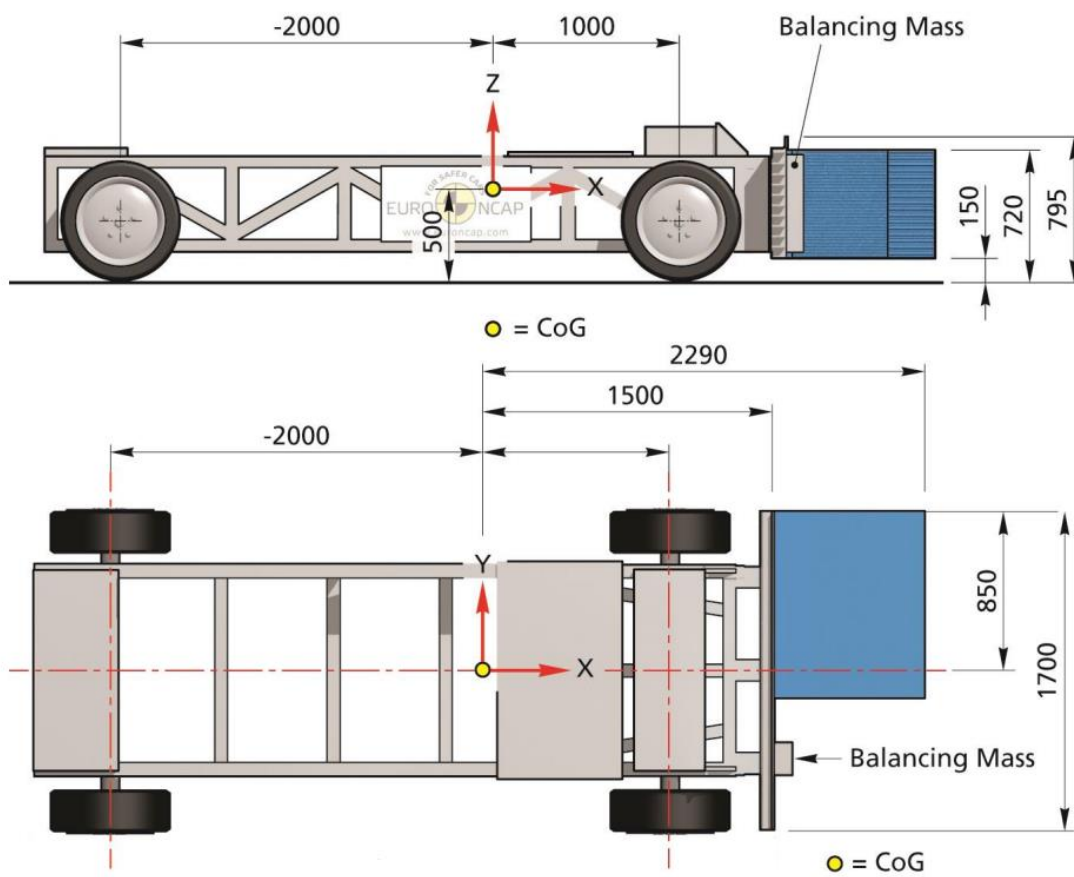
Les divergències que existeixen entre els dos reglaments, estan vinculades a les barreres deformables dels dos assajos. La distància entre el centre de gravetat i la cara frontal de les barreres presenta una diferència de 290 mm entre cada protocol, mateixa diferència que presenten ambdues barreres entre elles, ja que la barrera MPDB presenta una llargada de 790 mm i la barrera AE-MDB de 500 mm. La divergència entre l'altura de la barrera no presenta cap afectació, pel fet que aquesta es pot regular directament segons els ancoratges de la barrera a la placa d'alumini, sense afectar la part estructural del trolley.

Per tant, el trolley pels assajos Frontals MPDB i pels assajos Laterals AE-MDB, presentarà la mateixa estructura i dimensions.

⁴ Frontal MPDB Test Protocol v1.1.3, Apartat 7, Barrier and Trolley

⁵ Side AE-MDB Test Protocol v8.2, Apartat 6, Barrier and Trolley

En la Il·lustració 3, es pot veure un esquema del trolley per a assajos Frontals MPDB. A excepció de la barrera, la part estructural és la mateixa.



Il·lustració 3. Esquema del trolley per a assajos Frontals MPDB

1.6.3 Requisits de l'entorn físic

Tal com indica el protocol d'Euro NCAP, la temperatura per als assajos frontals MPDB i els assajos laterals AE-MDB estarà compresa, respectivament, entre els 19 °C i els 22 °C⁶, i entre els 20,6 °C i els 22,2 °C⁷, temperatura mesurada en sensors localitzats en els dummies utilitzats en l'assaig.

Tot i que el protocol no especifica una temperatura concreta pel trolley, tenint en compte que tant els dummies com el trolley es troben en el mateix entorn físic en el moment de l'assaig, s'agafa aquesta temperatura com a la del trolley igualment.

En poder considerar aquest rang de temperatures com a temperatura ambient, no serà un condicionant extra en el disseny de l'element.

En realitzar-se els assajos en un laboratori on les condicions són òptimes per a la realització d'aquest tipus de tests, no es tindrà en compte cap requisit imposat per l'entorn físic.

⁶ Frontal MPDB Test Protocol v1.1.3, Apartat 3, Dummy Preparation and Certification, Punts 3.4.1.1 i 3.8.1.1

⁷ Side AE-MDB Test Protocol v8.2, Apartat 2, Dummy Preparation and Certification, Punt 2.5.1.1

1.6.4 Requisits del mercat

L'element no serà comercialitzat, i serà utilitzat únicament pel promotor. Tampoc hi ha cap empresa especialitzada en el mercat per a la realització d'aquest producte. El mercat no imposa cap requisit.

1.6.5 Requisits econòmics

La producció de l'element anirà a càrrec de l'empresa promotora. Aquesta utilitzarà dels mitjans que ja disposa per tal de reduir la despesa al mínim. En tractar-se d'un element que serà fabricat una sola vegada, no representa una despesa elevada per l'empresa.

Es buscarà un disseny, que tant pels materials emprats com pel seu procés productiu, tingui un cost competitiu en comparació a altres possibles dissenys.

1.6.6 Disponibilitat de béns i serveis complementaris requerits en la construcció de la màquina

L'empresa promotora disposa de tots els elements bàsics disponibles en un taller de mecanitzat, capaç de treballar amb el material de la màquina i realitzar soldadures. També disposa de personal qualificat per efectuar aquestes operacions.

1.7 Anàlisi de solucions

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

En aquest apartat s'ha estudiat el disseny actual que disposa l'empresa promotora, així com cinc diferents alternatives de disseny, incloent el model final dissenyat.

1.8 Resultats finals

En aquest apartat s'exposen els valors finals de les forces que afecten els assajos Frontals MPDB, l'escenari que presenta una absorció de forces per part de l'estructura del trolley més elevada. L'estudi complet d'aquestes forces, com les que afecten els assajos Laterals AE-MDB es pot trobar en els annexos d'aquest mateix treball.

En aquest apartat també es mostra l'estructura final dissenyada i el seu estudi mitjançant el software de càlcul *SolidWorks*.

1.8.1 Treball o increment de l'energia cinètica

S'estudia l'impacte com una realització d'un treball. Entenem el treball com una força aplicada a un objecte multiplicada pel desplaçament, causat per aquesta mateixa força, de l'objecte en qüestió. L'equació que defineix el treball és la següent (1):

$$W = F \cdot d \cdot \cos \theta \quad (1)$$

On:

- W = Treball
- F = Força
- d = Desplaçament
- $\cos \theta$ = Cosinus de l'angle entre el vector desplaçament i el vector força

El treball també és equivalent a l'energia necessària per realitzar el desplaçament anteriorment esmentat. Per tant, també entenem el treball com un increment d'energia (2).

$$W = \Delta E \quad (2)$$

On:

- ΔE = Increment d'energia

Si traslладem aquestes equacions en el nostre cas, l'estudi d'un impacte, obtenim que el desplaçament és igual a la deformació duta a terme en el xoc. Aquesta deformació permet dissipar part de l'energia dels dos cossos, portant a cap un increment d'energia del sistema.

Els increments d'energies involucrats en els assajos Frontals MPDB i els Laterals AE-MDB, són increments d'energies cinètiques, comparant la velocitat del vehicle i del trolley abans del xoc envers la velocitat d'aquests després del xoc.

Definim l'energia cinètica mitjançant la següent equació (3):

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (3)$$

On:

- E_c = Energia cinètica
- m = massa
- v = velocitat

L'energia cinètica inicial està definida pels valors definits pels protocols. En el cas de l'assaig Frontal MPDB, les velocitats d'impacte són les següents⁸:

- Velocitat impacte trolley = 50 km/h \pm 1 km/h o 13,89 m/s \pm 0,28 m/s
- Velocitat impacte vehicle = 50 km/h \pm 1 km/h o 13,89 m/s \pm 0,28 m/s

La massa del trolley és la següent⁹:

- Massa trolley = 1400 kg \pm 20 kg

En els casos on el protocol defineix una tolerància per al valor, ja sigui el de la velocitat o com el de la massa dels elements mòbils, aplicarem sempre el valor més restrictiu.

La massa del vehicle és l'únic valor que pot variar entre diferents assajos, ja que ve definida per les característiques del vehicle a validar. Per a la realització de l'estudi s'agafa el valor màxim que poden tenir aquests vehicles per a realitzar les proves del protocol Euro NCAP, sent aquest el següent¹⁰:

- Massa vehicle = 3500 kg

Un cop definits tots els paràmetres que afecten l'energia cinètica inicial, just abans del moment d'impacte, especificarem l'energia cinètica final, després de l'impacte.

En termes generals, podem definir els impactes d'un assaig de xoc entre vehicles com un xoc parcialment inelàstic, on l'energia cinètica del sistema no es conserva, i una part d'aquesta és transformada en la deformació dels cossos. La quantitat d'energia cinètica dissipada ve definida per la geometria del vehicle, el material d'aquest, la disposició dels elements estructurals d'aquest, entre d'altres. Aquesta varia per cada vehicle a assajar. Pels càlculs del nostre estudi, optarem per definir que tota l'energia cinètica és dissipada en el moment de l'assaig. Per tant, el valor de l'energia cinètica després de l'assaig, serà el següent:

- Energia cinètica final = 0

Aplicant les fórmules (1), (2) i (3), i els valors de massa i velocitats que apliquen en els assajos Frontals MPDB, trobem el treball realitzat, sent aquest el següent (4):

⁸ Euro NCAP MPDB Testing Protocol v1.1.3, Punt 9, Test Parameters, Apartat 9.2, Impact Speed

⁹ Euro NCAP Side Protocol – AE-MDB v.8.2, Punt 6, Barrier and Trolley, Apartat 6.1.2

¹⁰ Euro NCAP Vehicle Selection, Specification, Testing and Retesting (VSSTR) Protocol, Punt 4, Specification of Test Vehicles, Apartat 4.4.1

$$W = -493940,694 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} \quad (4)$$

El treball realitzat, o la dissipació d'energia cinètica, en un assaig Frontal MPDB és de $493940,694 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$ o 493940,694 J.

1.8.2 Força d'impacte

1.8.2.1 Força d'impacte en assajos Frontals MPDB

Partint del treball calculat en l'equació (4), el treball realitzat en un assaig Frontal MPDB, trobem la força d'impacte mitjançant la fórmula (1). Ens faltaria definir el cosinus θ i la deformació per a poder trobar la força d'impacte

El cosinus θ tindrà un valor d'1, ja que el vector força, i el vector desplaçament, en aquest cas deformació, tenen el mateix sentit i direcció. Pel valor de la deformació, s'agafarà la llargada de la *Mobile Progressive Deformable Barrier*, MPDB, sent aquesta de 790 mm o 0,79 m. El valor és extret del Technical Bulletin 022 d'Euro NCAP¹¹.

La força total d'impacte en assajos Frontals MPDB és de $625241,39 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ o 625241,39 N (5).

$$F_{\text{impacte MPDB}} = 625241,39 \frac{kg \cdot m}{s^2} \quad (5)$$

1.8.2.2 Altres consideracions de càlculs

Tal com s'ha comentat anteriorment, la força d'impacte més crítica es troba en els assajos Frontals MPDB. En aquest apartat es farà un breu resum dels altres escenaris contemplats, que es poden trobar desenvolupats en l'apartat de càlculs dels annexos.

1.8.2.2.1 Força d'impacte en assajos Laterals AE-MDB

S'aplica el mateix mètode emprat en els assajos Frontals MPDB i es calcula la força d'impacte en assajos Laterals AE-MDB.

Mitjançant les velocitats inicials i finals dels dos elements, trolley i vehicle, i coneixent les seves masses, s'ha calculat l'increment màxim d'energia produït en un xoc d'aquest tipus. A partir d'aquest increment d'energia, i coneixent la deformació de la barrera AE-MDB, obtingut per les especificacions geomètriques d'aquesta, s'ha trobat la força d'impacte màxima produïda en aquests assajos (6).

$$F_{\text{impacte AE-MDB}} = 463054,9 \frac{kg \cdot m}{s^2} \quad (6)$$

La força total d'impacte en assajos Laterals AE-MDB és de $463054,9 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ o 463054,9 N.

Pel fet que aquesta força és inferior a la calculada pels assajos Frontals MPDB, en l'àmbit de càlcul es farà servir sempre el valor més crític.

El desenvolupament complet dels càlculs es troba en l'apartat 2.2.2.2 dels annexos.

¹¹ TB022 – Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification v1.2.1, Apartat 2, Design of the Impactor, Figure 2: MPDB dimensions

1.8.2.2.2 Força d'impacte mitjançant registre d'acceleracions

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

Mitjançant les dades proporcionades per l'empresa Applus Idiada, s'ha estudiat la força d'impacte en assajos realitzats a les instal·lacions de l'empresa promotora.

Gràcies a l'acceleració en l'eix longitudinal en el centre de gravetat del trolley, podem trobar la força realitzada en el moment del xoc. Multiplicant aquesta desacceleració per la massa del trolley, obtenim el valor de la força màxima que s'ha realitzat en cadascun dels assaigs.

Es compara els valors aconseguits en els assajos AE-MDB i en els assajos MPDB, i s'observa els valors màxims obtinguts. A més a més, es comparen aquests valors amb la massa del vehicle assajat, amb l'objectiu de trobar una línia de tendència, i poder calcular la força d'impacte en vehicles de 3500 kg, el pes màxim possible.

El desenvolupament complet dels càlculs es troba en l'apartat 2.2.3 dels annexos.

1.8.2.2.3 Propietats de les barreres deformables

Les barreres AE-MDB i MPDB presenten unes propietats físiques definides per EuroNCAP. Mitjançant aquestes dades, s'ha realitzat un estudi per conèixer la força que poden resistir cadascuna d'elles.

S'ha estudiat el comportament de cadascun dels blocs que formen part d'aquestes, i s'ha trobat la força total capaços de suportar.

Tot i això, pel càlcul d'impacte s'ha considerat que la força s'aplica directament a la part estructural del trolley. Aquest escenari és més restrictiu, ens permet fer un estudi més conservador de l'estructura i simplifica el càlcul. Si es volgués fer un càlcul precís de la força d'impacte i com afecta el comportament les barreres, tant la MPDB com l'AE-MDB, s'hauria de conèixer en detall les propietats del vehicle assajat, fer un disseny precís de les barreres i realitzar una simulació amb un programa de CAE especialitzat. A causa del fet que no es coneixen les propietats dels vehicles a assajar, ja que normalment sol ser informació confidencial que el fabricant no comparteix, i que cada vehicle presenta unes propietats diferents, i no es disposa ni d'un software de càlcul tan avançat, ni un ordinador o servidor capaç de realitzar aquestes simulacions, s'ha optat per realitzar la simplificació de càlcul anteriorment comentada.

El desenvolupament complet dels càlculs es troba en l'apartat 2.2.4 dels annexos.

1.8.2.3 Coeficient de seguretat a aplicar a la Força d'Impacte

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

Per l'estudi de l'estructura del trolley, realitzarem les simulacions del sistema amb una força multiplicada per un coeficient de seguretat.

Aquest coeficient de seguretat ens permetrà poder tenir un sistema més segur, dimensionat per suportar esforços per sobre dels quals haurà d'aguantar teòricament.

Per elegir el coeficient de seguretat s'han tingut en compte el material del trolley, el procés de fabricació que tindrà, l'ús al qual serà sotmès, si serà un producte a fabricar en sèrie o de fabricació especial, única, i del disseny i càlcul dut a terme per comprovar la seva funcionalitat.

1.8.3 Disseny del trolley

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

1.8.3.1 Descripció del disseny

Quan parlem del disseny del trolley diferenciem entre la part estructural i el trolley complet. La part estructural serà l'encarregada de suportar la força d'impacte, l'estudi i la simulació amb programari de CAE s'ha realitzat sobre aquesta part. El trolley complet, inclou totes les parts no estructurals, com són els pneumàtics, els eixos, el sistema de frens, els casquets de les rodes, entre d'altres. Aquests elements han sigut considerats pel repartiment de pesos del trolley, i ajustar el centre de gravetat dintre dels marges indicats per EuroNCAP, però no s'ha modificat el disseny d'aquests, ja que, o bé són elements normalitzats, o són elements de l'actual trolley que té Idiada i que s'utilitzaran en el nou.

El disseny de la part estructural consta de la unió de perfils normalitzats ajuntats mitjançant soldadures, concretament s'ha fet servir perfils rectangulars buits. Aquests han sigut disposats per crear un conjunt de barres articulades, capaces de transmetre i suportar els esforços externs aplicats.

1.8.3.2 Repartiment de pesos

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

1.8.3.3 Compliment de les especificacions dels protocols EuroNCAP

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

1.8.3.4 Disseny estructural

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

1.8.3.5 Material de l'estructura

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

1.8.4 Simulació CAE

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

1.9 Ordre de prioritat entre els documents

La norma UNE 157001 indica l'ordre de prioritat següent: Plànols, Pressupost i Memòria.

2 Annexes

2.1 Documentació inicial

2.1.1 Extracte protocol assajos Laterals AE-MDB

Apartat 6, Barrier and Trolley, del Euro NCAP Side Protocol - AE-MDB v8.2.

6 BARRIER AND TROLLEY

The trolley will be fitted with the Advanced European Mobile Deformable Barrier face (AE-MDB) and ventilation frame conforming to the specifications of Technical Bulletin 014.

6.1 Trolley Preparation

- 6.1.1 The mobile deformable barrier (MDB) includes both an impactor and a trolley.
- 6.1.2 The total mass shall be 1400 ± 20 kg.
- 6.1.3 The centre of gravity shall be situated in the longitudinal median vertical plane within 10mm, 1000 ± 30 mm behind the front axle and 500 ± 30 mm above the ground.
- 6.1.4 The distance between the front face of the impactor and the centre of gravity of the barrier shall be 2000 ± 30 mm.
- 6.1.5 The height of the barrier shall be such that the uppermost part of the front face of the beam element (the intersection between the upper and lower row of blocks) is $550\text{mm} \pm 5$ mm above ground level measured statically prior to impact.
- 6.1.6 The front and rear track width of the trolley shall be 1500 ± 10 mm.
- 6.1.7 The wheelbase of the trolley shall be 3000 ± 10 mm.
- 6.1.8 The trolley may be fitted with an emergency abort system. This is optional, the test facility may elect to test without an abort system.
- 6.1.9 Inflate all tyres of the trolley to the same pressure.
- 6.1.10 Mark a line along the vertical centreline of the barrier which may be used to check the alignment of the barrier with the impact location of the test vehicle.
- 6.1.11 Measure the wheelbase of the trolley, left and right.
- 6.1.12 Determine the average wheelbase from Section 6.1.11 and record in the test details.
- 6.1.13 Record in the test details the track of the trolley at the front and at the rear.
- 6.1.14 Ensure that the weight distribution is as even as possible left to right.
- 6.1.15 Record in the test details the final weights measured at each of the wheels.

Il·lustració 4. Apartat 6, Barrier and Trolley, del Euro NCAP Side Protocol - AE-MDB v8.2

2.1.2 Extracte protocol assajos Frontals MPDB

Apartat 7, Barrier and Trolley, del Euro NCAP MPDB testing protocol v1.1.3.

7 BARRIER AND TROLLEY

The trolley will be fitted with the Progressive Deformable Barrier (PDB) conforming to the specifications of Technical Bulletin TB022, see Figure 4.

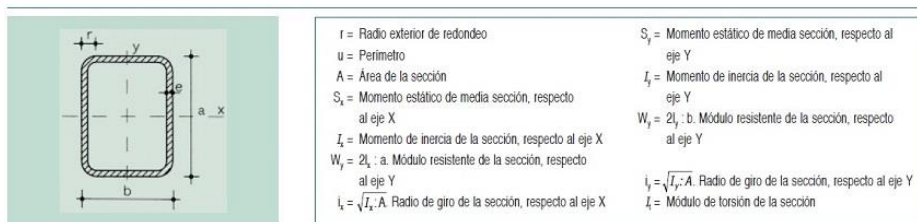
7.1 Trolley Preparation

- 7.1.1 The mobile progressive deformable barrier (MPDB) includes both an impactor and a trolley.
- 7.1.2 The total mass shall be 1400 ± 20 kg.
- 7.1.3 The centre of gravity shall be situated in the longitudinal median vertical plane within 10mm, 1000 ± 30 mm behind the front axle and 500 ± 30 mm above the ground.
- 7.1.4 The distance between the front face of the impactor and the centre of gravity of the barrier shall be 2290 ± 30 mm.
- 7.1.5 The height of the barrier shall be such that the lowest part of the front face of the barrier is $150\text{mm} \pm 5\text{mm}$ above ground level measured statically prior to impact at the left and right hand side of the barrier face.
- 7.1.6 The outboard edge of the MPDB must be 850 ± 10 mm from the centreline of the trolley.
- 7.1.7 The front and rear track width of the trolley shall be 1500 ± 10 mm.
- 7.1.8 The wheelbase of the trolley shall be 3000 ± 10 mm.
- 7.1.9 The interface plate between the deformable barrier face should be 1700mm wide and 645mm high
- 7.1.10 The trolley may be fitted with an emergency abort system. This is optional, the test facility may elect to test without an abort system.
- 7.1.11 Inflate all tyres of the trolley to the same pressure.
- 7.1.12 Measure the wheelbase of the trolley, left and right.
- 7.1.13 Ensure that the weight distribution is as even as possible left to right.
- 7.1.14 Record in the test details the final weights measured at each of the wheels.
- 7.1.15 The trolley construction should be such that there are no structures above the barrier face upper mounting flange that are likely to be contacted by the vehicle.

Il·lustració 5. Apartat 7, Barrier and Trolley, del Euro NCAP MPDB testing protocol v1.1.3

2.1.3 Taula de perfils estructurals

Taula de perfils estructurals d'acer normalitzats, concretament tubs rectangulars buits.



Perfil	Dimensiones					Términos de sección											Peso p kg/m
	a mm	b mm	e mm	r mm	u mm	A cm ²	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	S _y cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴		
× 60. 40.2	60	40	2	5	191	3,70	3,70	18,1	6,03	2,21	2,80	9,69	4,85	1,62	20,7	2,91	P
× 60. 40.3	60	40	3	8	187	5,33	5,18	24,7	8,23	2,15	3,91	13,10	6,56	1,57	29,2	4,18	P
× 60. 40.4	60	40	4	10	183	6,81	6,42	29,7	9,91	2,09	4,84	15,70	7,86	1,52	36,1	5,35	P
× 70. 40.2	70	40	2	5	211	4,10	4,67	26,4	7,55	2,54	3,18	11,10	5,57	1,65	25,8	3,22	C
× 70. 40.3	70	40	3	8	207	5,93	6,59	36,4	10,40	2,48	4,47	15,20	7,59	1,60	36,4	4,66	C
× 70. 40.4	70	40	4	10	203	7,61	8,23	44,3	12,60	2,41	5,56	18,30	9,16	1,55	45,3	5,97	C
× 70. 50.2	70	50	2	5	231	4,50	5,35	31,1	8,87	2,63	4,26	18,50	7,42	2,03	37,5	3,53	C
× 70. 50.3	70	50	3	8	227	6,53	7,59	43,1	12,30	2,57	6,03	25,60	10,30	1,98	53,6	5,13	C
× 70. 50.4	70	50	4	10	223	8,41	9,55	53,0	15,10	2,51	7,57	31,40	12,50	1,93	67,6	6,60	C
× 80. 40.3	80	40	3	8	227	6,53	8,15	51,0	12,80	2,79	5,02	17,20	8,62	1,62	43,8	5,13	P
× 80. 40.4	80	40	4	10	223	8,41	10,20	62,6	15,60	2,73	6,28	20,90	10,50	1,58	54,7	6,60	P
× 80. 40.5	80	40	5	13	219	10,14	12,00	71,6	17,90	2,66	7,33	23,70	11,90	1,53	63,6	7,96	C
× 80. 60.3	80	60	3	8	267	7,73	10,50	68,8	17,20	2,98	8,60	44,20	14,70	2,39	88,5	6,07	P
× 80. 60.4	80	60	4	10	263	10,00	13,30	85,7	21,40	2,93	10,90	54,90	18,30	2,34	113,0	7,86	P
× 80. 60.5	80	60	5	13	259	12,10	15,80	99,8	25,00	2,87	12,90	63,70	21,20	2,29	134,0	9,53	P
×100. 50.3	100	50	3	8	287	8,33	13,10	105,0	20,90	3,54	8,13	35,60	14,20	2,07	88,6	6,54	P
×100. 50.4	100	50	4	10	283	10,80	16,80	131,0	26,10	3,48	10,30	44,10	17,60	2,02	113,0	8,49	P
×100. 50.5	100	50	5	13	279	13,10	20,00	153,0	30,60	3,41	12,20	51,10	20,40	1,97	134,0	10,31	P
×100. 50.6	100	50	6	15	274	15,30	22,90	171,0	34,20	3,34	13,90	56,70	22,70	1,92	151,0	12,03	C
×100. 60.4	100	60	4	10	303	11,80	18,70	149,0	29,80	3,58	13,10	67,40	22,50	2,41	156,0	9,11	P
×100. 60.5	100	60	5	13	299	14,10	22,40	175,0	35,10	3,52	15,70	78,90	26,30	2,36	187,0	11,10	C
×100. 60.6	100	60	6	15	294	16,50	25,70	197,0	39,50	3,46	17,90	88,40	29,50	2,31	214,0	12,97	C
×100. 80.4	100	80	4	10	343	13,20	22,60	186,0	37,20	3,75	19,40	132,00	33,00	3,16	254,0	10,37	P
×100. 80.5	100	80	5	13	339	16,10	27,10	221,0	44,10	3,70	23,30	156,00	39,00	3,11	307,0	12,67	P
×100. 80.6	100	80	6	15	334	18,90	31,30	251,0	50,10	3,64	26,90	177,00	44,30	3,06	355,0	14,85	P
×120. 60.4	120	60	4	10	343	13,20	24,90	236,0	39,30	4,22	15,40	80,00	26,70	2,46	201,0	10,37	P
×120. 60.5	120	60	5	13	339	16,10	30,00	279,0	46,50	4,16	18,40	94,00	31,40	2,41	241,0	12,67	P
×120. 60.6	120	60	6	15	334	18,90	34,60	317,0	52,80	4,09	21,20	106,00	35,30	2,37	277,0	14,85	P
×120. 80.4	120	80	4	10	383	14,80	29,60	290,0	48,30	4,42	22,40	155,00	38,80	3,24	332,0	11,63	C
×120. 80.5	120	80	5	13	379	18,10	35,70	345,0	57,60	4,36	27,00	184,00	46,10	3,19	402,0	14,24	P
×120. 80.6	120	80	6	15	374	21,30	41,40	395,0	65,80	4,30	31,30	210,00	52,50	3,14	467,0	16,74	P
×120. 100.4	120	100	4	10	423	16,40	34,20	343,0	57,20	4,57	30,20	260,00	57,00	3,98	479,0	12,88	P
×120. 100.5	120	100	5	13	419	20,10	41,50	412,0	68,60	4,52	36,60	311,00	62,20	3,93	583,0	15,81	C
×120. 100.6	120	100	6	15	414	23,70	48,30	473,0	78,80	4,46	42,60	357,00	71,40	3,88	681,0	18,62	C
×140. 60.4	140	60	4	10	383	14,80	32,00	349,0	49,80	4,85	17,60	92,60	30,90	2,50	247,0	11,63	C
×140. 60.5	140	60	5	13	379	18,10	38,60	415,0	59,30	4,78	21,20	109,00	36,40	2,45	297,0	14,24	C
×140. 60.6	140	60	6	15	374	21,30	44,70	474,0	67,70	4,71	24,40	124,00	41,20	2,41	342,0	16,74	C
×140. 80.4	140	80	4	10	423	16,40	37,40	423,0	60,40	5,08	25,40	178,00	44,60	3,30	412,0	12,88	P
×140. 80.5	140	80	5	13	419	20,10	45,30	506,0	72,40	5,01	30,80	212,00	53,10	3,25	500,0	15,81	P
×140. 80.6	140	80	6	15	414	23,70	52,70	582,0	83,10	4,95	35,70	243,00	60,70	3,20	582,0	18,62	P
×140. 100.4	140	100	4	10	463	18,00	42,80	497,0	71,00	5,25	34,10	297,00	59,30	4,06	601,0	14,14	P
×140. 100.5	140	100	5	13	459	22,10	52,10	598,0	85,40	5,20	41,40	356,00	71,20	4,01	733,0	17,38	P
×140. 100.6	140	100	6	15	454	26,10	60,80	690,0	98,50	5,14	48,20	410,00	82,00	3,96	858,0	20,51	C
×160. 80.4	160	80	4	10	463	18,00	46,00	589,0	73,60	5,72	28,50	201,00	50,30	3,34	495,0	14,14	C
×160. 80.5	160	80	5	13	459	22,10	55,90	708,0	88,50	5,65	34,50	241,00	60,20	3,30	601,0	17,38	P
×160. 80.6	160	80	6	15	454	26,10	65,20	816,0	102,00	5,59	40,20	276,00	69,00	3,25	700,0	20,51	C
×160. 120.5	160	120	5	13	539	26,10	71,40	948,0	119,00	6,02	58,70	610,00	102,00	4,83	1.200,0	20,52	P
×160. 120.6	160	120	6	15	534	30,90	83,70	1.100,0	138,00	5,97	68,80	707,00	118,00	4,78	1.420,0	24,27	P
×160. 120.8	160	120	8	20	526	40,00	106,00	1.370,0	171,00	5,85	87,20	878,00	146,00	4,68	1.810,0	31,43	C
×180. 100.5	180	100	5	13	539	26,10	76,30	1.110,0	123,00	6,51	50,90	446,00	89,30	4,13	1.050,0	20,52	P
×180. 100.6	180	100	6	15	534	30,90	89,40	1.280,0	143,00	6,44	59,50	516,00	103,00	4,09	1.230,0	24,27	P
×180. 100.8	180	100	8	20	526	40,00	113,00	1.600,0	178,00	6,32	75,30	637,00	127,00	3,99	1.560,0	31,43	C
×180. 140.5	180	140	5	13	619	30,10	93,80	1.410,0	157,00	6,85	79,10	962,00	137,00	5,65	1.840,0	23,66	C
×180. 140.6	180	140	6	15	614	35,70	110,00	1.650,0	183,00	6,79	92,90	1.120,00	160,00	5,60	2.170,0	28,04	C
×180. 140.8	180	140	8	20	606	46,40	141,00	2.070,0	230,00	6,68	119,00	1.410,00	201,00	5,50	2.790,0	36,45	C
×200. 80.5	200	80	5	13	539	26,10	80,10	1.250,0	125,00	6,91	42,00	297,00	74,20	3,37	810,0	20,52	P
×200. 80.6	200	80	6	15	534	30,90	93,80	1.450,0	145,00	6,84	49,10	342,00	85,40	3,32	943,0	24,27	P
×200. 80.8	200	80	8	20	526	40,00	119,00	1.800,0	180,00	6,70	61,70	418,00	105,00	3,23	1.180,0	31,43	P
×200. 120.5	200	120	5	13	619	30,10	99,60	1.630,0	163,00	7,35	70,20	742,00	124,00	4,96	1.660,0	23,66	P
×200. 120.6	200	120	6	15	614	35,70	117,00	1.900,0	190,00	7,29	82,50	863,00	144,00	4,92	1.950,0	28,04	C
×200. 120.8	200	120	8	20	606	46,40	150,00	2.390,0	239,00	7,17	105,00	1.080,00	180,00	4,82	2.500,0	36,45	P
×200. 150.5	200	150	5	13	679	33,10	114,00	1.910,0	191,00	7,60	94,00	1.230,00	164,00	6,10	2.400,0	26,01	C
×200. 150.6	200	150	6	15	674	39,30	135,00	2.240,0	224,00	7,54	111,00	1.440,00	192,00	6,05	2.830,0	30,87	C
×200. 150.8	200	150	8	20	666	51,20	173,00	2.830,0	283,00	7,43	142,00	1.820,00	242,00	5,95	3.650,0	40,22	P

Il·lustració 6. Taula de perfils estructurals d'acer normalitzats

2.2 Càlculs

En aquest apartat s'estudia les forces involucrades en els assajos, tant en els assajos tipus Frontals MPDB com els Laterals AE-MDB. S'avalua quina és la força que rep el trolley, i aquest es dimensionarà segons el *worst case*, la situació menys favorable, que en aquest cas es tracta de quan rep la força d'impacte més elevada.

2.2.1 Treball o absorció de l'energia cinètica

S'estudia l'impacte com una realització d'un treball. Entenem el treball com una força aplicada a un objecte multiplicada pel desplaçament, causat per aquesta mateixa força, de l'objecte en qüestió. L'equació que defineix el treball és la següent (8):

$$W = F \cdot d \cdot \cos \theta \quad (8)$$

On:

- W = Treball
- F = Força
- d = Desplaçament
- $\cos \theta$ = Cosinus de l'angle entre el vector desplaçament i el vector força

El treball també és equivalent a l'energia necessària per realitzar el desplaçament anteriorment esmentat. Per tant, també entenem el treball com un increment d'energia (9).

$$W = \Delta E \quad (9)$$

On:

- ΔE = Increment d'energia

Si trasludem aquestes equacions en el nostre cas, l'estudi d'un impacte, obtenim que el desplaçament és igual a la deformació duta a terme en el xoc. Aquesta deformació permet dissipar part de l'energia dels dos cossos, realitzant un increment d'energia del sistema.

Els increments d'energies involucrats en els assajos Frontals MPDB i els Laterals AE-MDB, són increments d'energies cinètiques, comparant la velocitat del vehicle i del trolley abans del xoc envers la velocitat d'aquests després del xoc.

Definim l'energia cinètica mitjançant la següent equació (10):

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (10)$$

On:

- E_c = Energia cinètica
- m = massa
- v = velocitat

L'energia cinètica inicial està definida pels valors definits pels protocols. En el cas de l'assaig Frontal MPDB, les velocitats d'impacte són les següents¹²:

- Velocitat impacte trolley = 50 km/h \pm 1 km/h o 13,89 m/s \pm 0,28 m/s
- Velocitat impacte vehicle = 50 km/h \pm 1 km/h o 13,89 m/s \pm 0,28 m/s

En el cas de l'assaig Lateral AE-MDB són les següents¹³:

- Velocitat impacte trolley = 60 km/h \pm 1 km/h o 16,67 m/s \pm 0,28 m/s

¹² Euro NCAP MPDB Testing Protocol v1.1.3, Punt 9, Test Parameters, Apartat 9.2, Impact Speed

¹³ Euro NCAP Side Protocol – AE-MDB v.8.2, Punt 7, Test Parameters, Apartat 7.1, Impact Speed

- Velocitat impacte vehicle = 0

Per ambdós casos, la massa del trolley és la següent¹⁴ i ¹⁵:

- Massa trolley = 1400 kg ± 20 kg

En els casos on el protocol defineix una tolerància per al valor, sigui el de la velocitat o com el de la massa dels elements mòbils, aplicarem sempre el valor més restrictiu.

La massa del vehicle és l'únic valor que pot variar entre diferents assajos, ja que ve definida per les característiques del vehicle a validar. Per a la realització de l'estudi s'agafa el valor màxim que poden tenir aquests vehicles per a realitzar les proves del protocol Euro NCAP, sent aquest el següent¹⁶:

- Massa vehicle = 3500 kg

Un cop definits tots els paràmetres que afecten a l'energia cinètica inicial, just abans del moment d'impacte, especificarem l'energia cinètica final, després de l'impacte.

En termes generals, podem definir els impactes d'un assaig de xoc entre vehicles com un xoc parcialment inelàstic, on l'energia cinètica del sistema no es conserva, i una part d'aquesta és transformada en la deformació dels cossos. La quantitat d'energia cinètica dissipada ve definida per la geometria del vehicle, el material d'aquest, la disposició de la part estructural d'aquest, entre d'altres. Aquesta varia per cada vehicle a assajar. Pels càlculs del nostre estudi, optarem per definir que tota l'energia cinètica és dissipada en el moment de l'assaig. Per tant, el valor de l'energia cinètica després de l'assaig, serà el següent:

- Energia cinètica final = 0

2.2.1.1 Treball en assajos Frontals MPDB

Aplicant les fórmules definides en l'apartat 2.4.1, fórmules (8), (9) i (10), i els valors de massa i velocitats que apliquen en els assajos Frontals MPDB, trobem el treball realitzat.

Desenvolupem la fórmula del treball (9), amb l'equació de l'energia cinètica (10), obtenint la següent expressió (11):

$$W = E_{c \text{ final}} - E_{c \text{ inicial}} \quad (11)$$

Tal com ja s'ha mencionat en l'apartat 2.4.1, considerem l'energia cinètica final nul·la. El treball ve definit per la suma d'energies cinètiques del trolley i del vehicle (12).

$$W = 0 - (E_{c \text{ inicial trolley}} + E_{c \text{ inicial vehicle}}) \quad (12)$$

Si desenvolupem l'anterior fórmula (12), aplicant l'equació (10), obtenim el següent (13):

$$W = 0 - \left(\frac{1}{2} \cdot m_{\text{trolley}} \cdot v_{\text{trolley}}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{\text{vehicle}} \cdot v_{\text{vehicle}}^2 \right) \quad (13)$$

Si substituïm pels valors corresponents, obtenim (14):

$$W = 0 - \left(\frac{1}{2} \cdot 1420 \text{ kg} \cdot \left(14,17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot 3500 \text{ kg} \cdot \left(14,17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) \quad (14)$$

$$W = -493940,694 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

¹⁴ Euro NCAP MPDB Testing Protocol v1.1.3, Punt 7, Barrier and Trolley, Apartat 7.1.2

¹⁵ Euro NCAP Side Protocol – AE-MDB v.8.2, Punt 6, Barrier and Trolley, Apartat 6.1.2

¹⁶ Euro NCAP Vehicle Selection, Specification, Testing and Retesting (VSSTR) Protocol, Punt 4, Specification of Test Vehicles, Apartat 4.4.1

El treball realitzat, o la dissipació d'energia cinètica, en un assaig Frontal MPDB és de $493940,694 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$ o 493940,694 J.

2.2.1.2 Treball en assajos Laterals AE-MDB

Realitzem el mateix procediment, ara estudiant el treball realitzat en els assajos Laterals AE-MDB.

A partir de la fórmula (13), expressada anteriorment, substituïm pels valors corresponents per obtenir (15):

$$W = 0 - \left(\frac{1}{2} \cdot 1420 \text{ kg} \cdot \left(16,94 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 0\right) \quad (15)$$

$$W = -203744,156 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

El treball realitzat, o la dissipació d'energia cinètica, en un assaig Lateral AE-MDB és de $203744,156 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$ o 203744,156 J.

2.2.2 Força d'impacte

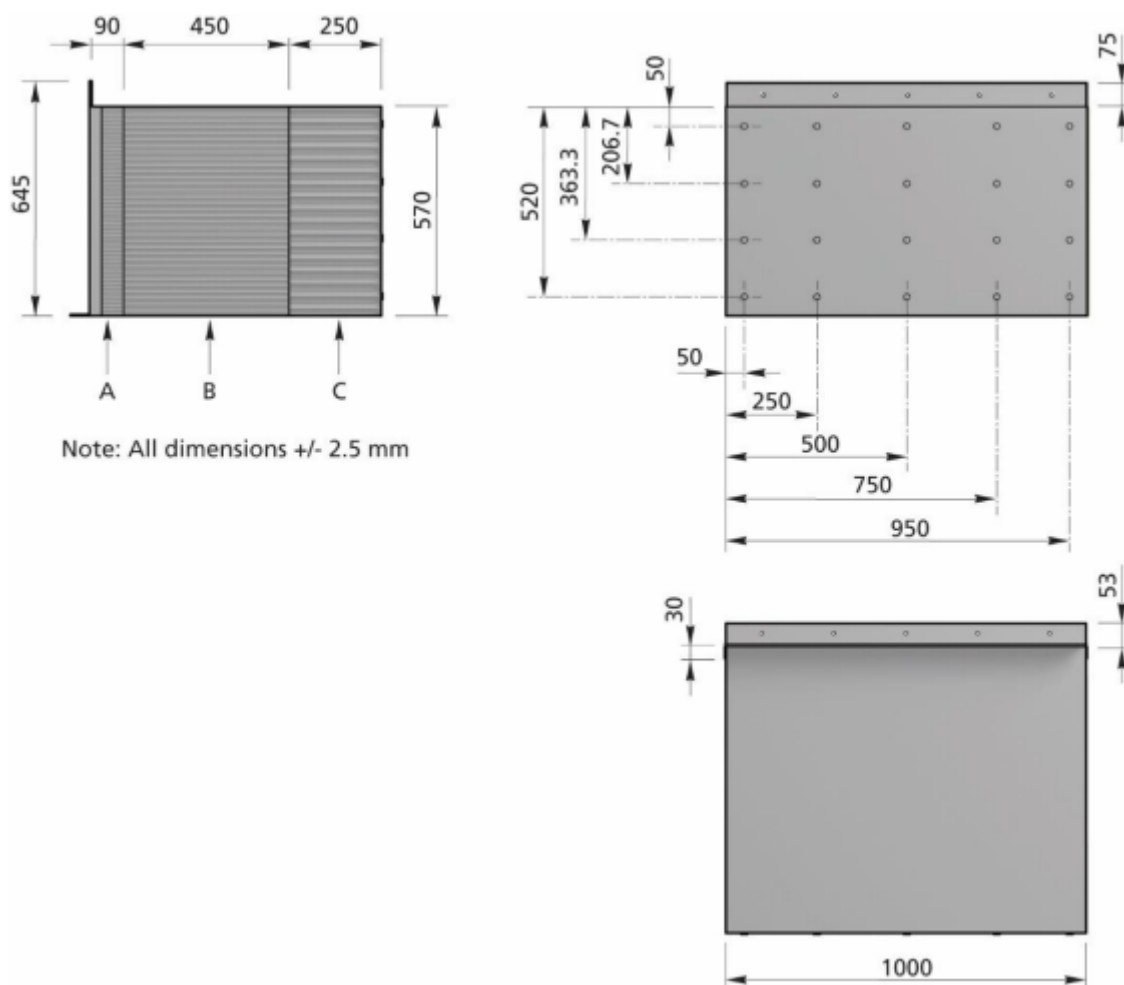
Un cop conegut el treball realitzat en cadascun dels assajos, el Frontal MPDB i el Lateral AE-MDB, procedim a calcular la força d'impacte.

2.2.2.1 Força d'impacte en assajos Frontals MPDB

A partir del treball realitzat en un assaig Frontal MPDB, anteriorment calculat en l'apartat 2.4.1.1, podem trobar la força d'impacte mitjançant la fórmula (8). En aquesta, ens faltaria definir la deformació i el cosinus θ .

El cosinus θ tindrà un valor de 1, ja que el vector força, i el vector desplaçament, en aquest cas deformació, tenen el mateix sentit i direcció. Pel valor de la deformació, s'agafarà la llargada de la *Mobile Progressive Deformable Barrier*, MPDB, sent aquesta de 790 mm o 0,79 m. El valor es pot comprovar en la Il·lustració 7, extreta del Technical Bulletin 022 d'Euro NCAP¹⁷, en sumar les llargades dels blocs A, B i C.

¹⁷ TB022 – Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification v1.2.1, Apartat 2, Design of the Impactor, Figure 2: MPDB dimensions



Il·lustració 7. Dimensions Barrera MPDB

Un cop definits els valors, procedim a substituir-los en la fórmula (8) i obtenim la següent equació (16):

$$493940,694 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} = F_{\text{impacte MPDB}} \cdot 0,79 m \quad (16)$$

$$F_{\text{impacte MPDB}} = 625241,39 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

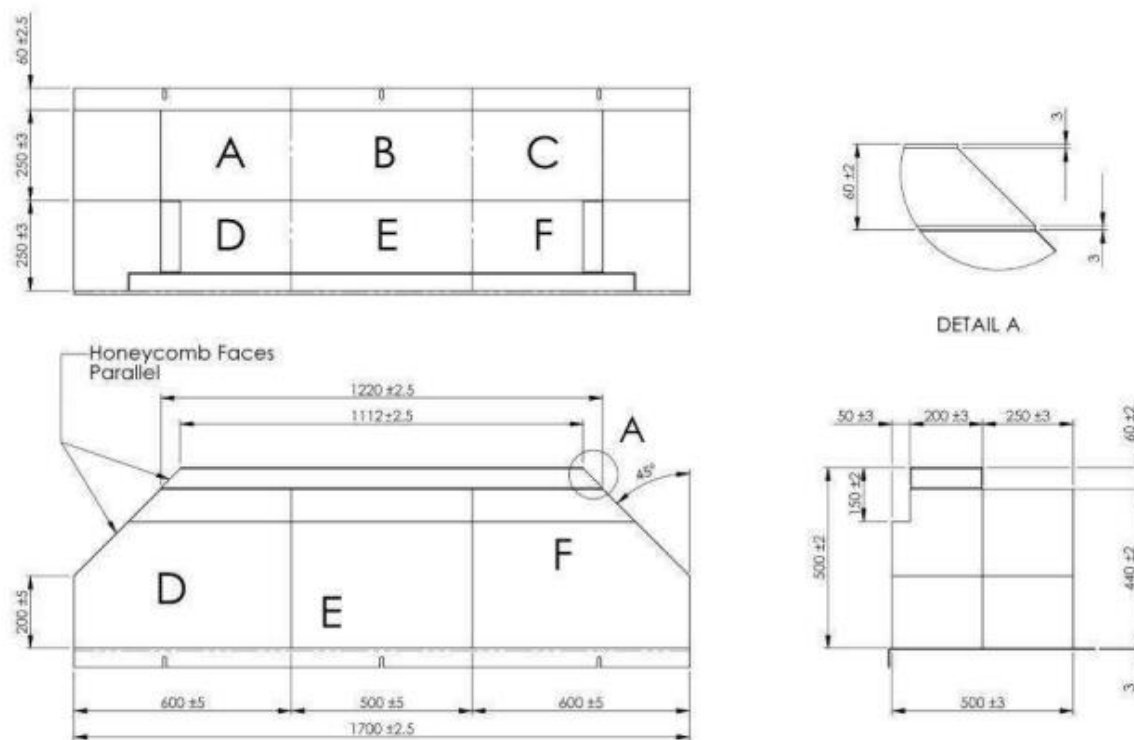
La força total d'impacte en assajos Frontals MPDB és de $625241,39 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ o $625241,39 N$.

2.2.2.2 Força d'impacte en assajos Laterals AE-MDB

Partint del treball calculat en l'equació (15), el treball realitzat en un assaig Lateral AE-MDB, trobem la força d'impacte mitjançant la fórmula (8). Igual que en l'estudi de la força d'impacte en assajos Frontals MPDB, ens faltaria definir el cosinus θ i la deformació per a poder trobar la força d'impacte

El cosinus θ tindrà un valor d'1, ja que el vector força, i el vector desplaçament, en aquest cas deformació, tenen el mateix sentit i direcció. Pel valor de la deformació, s'agafarà la llargada de la *Advanced European Mobile Deformable Barrier*, AE-MDB, sent aquesta de 500 mm en el seu punt més llarg, i de 440 mm en el seu punt més curt, valors extrets del Technical

Bulletin 014 d'EuroNCAP¹⁸, concretament en l'apartat 2, en la figura 2, exposada a continuació, en la Il·lustració 8. En l'àmbit de càlcul s'agafarà el valor més restrictiu, és a dir, 440 mm o 0,44 m.



Il·lustració 8. Dimensions Barrera AE-MDB

Un cop definits els valors, procedim a substituir-los en la fórmula (8) i obtenim la següent equació (17):

$$203744,156 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = F_{\text{impacte AE-MDB}} \cdot 0,44 \text{ m} \quad (17)$$

$$F_{\text{impacte AE-MDB}} = 463054,9 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

La força total d'impacte en assajos Laterals AE-MDB és de $463054,9 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ o 463054,9 N.

2.2.3 Força d'impacte mitjançant registre d'acceleracions

Aprofitant la informació proporcionada per l'empresa Applus Idiada, s'ha estudiat la força d'impacte mitjançant els valors de desacceleració del trolley en els impactes Frontals MPDB i els Laterals AE-MDB.

D'aquesta forma, podem plantejar l'estudi de la força d'impacte des d'un punt de vista diferent.

En el primer estudi de càlcul es fa una aproximació més teòrica. A partir de les energies del sistema, trobem la força d'impacte teòrica que s'hauria de realitzar a partir de les hipòtesis plantejades referents al xoc.

¹⁸ TB 014 – AE-MDB Specification Version 1.0, Apartat 7, Design of the Impactor, Figura 2: AE-MDB dimensions

En aquest segon estudi de càlcul, partim directament de l'acceleració que pateix el trolley en ambdós tipus d'assajos, a partir d'aquesta trobem la força real que se li aplica a aquest (18).

$$F = m \cdot a \quad (18)$$

Gràcies a aquestes dues aproximacions de càlcul, serem capaços de verificar si la hipòtesi de càlcul teòrica s'aproxima al valor real.

Els gràfics amb les acceleracions de cada assaig, tant pels Frontals MPDB com pels Laterals AE-MDB, es poden observar en l'annex 2.3.

2.2.3.1 Força d'impacte en assajos Frontals MPDB

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

S'han agafat les dades de vuit assajos Frontals MPDB del protocol EuroNCAP. Aquests assajos eren de caràcter oficial, és a dir, la normativa referent a aquests assajos era d'obligat compliment, havent-hi un inspector oficial d'EuroNCAP validant tots els processos d'aquest.

Mitjançant els acceleròmetres localitzats en el trolley, podem conèixer l'acceleració produïda en el moment del xoc. Aquesta acceleració equival a la pèrdua de velocitat, per tant d'energia cinètica, del trolley.

Si apliquem la equació (18), i multiplicant per la massa el trolley, podem trobar la força d'impacte suportada per aquest.

2.2.3.2 Força d'impacte en assajos Laterals AE-MDB

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

Repetim el mateix procediment realitzat en l'apartat 2.2.3.1.

S'han agafat les dades de vuit assajos Laterals AE-MDB del protocol EuroNCAP. Aquests assajos eren de caràcter oficial, és a dir, la normativa referent a aquests assajos era d'obligat compliment, havent-hi un inspector oficial d'EuroNCAP validant tots els processos d'aquest.

Mitjançant els acceleròmetres localitzats en el trolley, podem conèixer l'acceleració produïda en el moment del xoc. Aquesta acceleració equival a la pèrdua de velocitat, per tant d'energia cinètica, del trolley.

Si apliquem l'equació (18), i multiplicant per la massa el trolley, podem trobar la força d'impacte suportada per aquest.

2.2.4 Propietats de les barreres deformables

Una part de la força d'impacte és dissipada per les barreres deformables, tant la barrera Frontal MPDB, com la Lateral AE-MDB. Aquesta dissipació també es realitza en la deformació que pot presentar el vehicle a assajar.

Pel fet que cada vehicle presenta una deformació i unes propietats diferents, en aquest estudi es considerarà el vehicle com a un sòlid infinitament rígid, sense deformació. Amb aquest supòsit, estem estudiant el cas més limitant possible.

Per altra banda, si que coneixem les propietats dels dos models de barrera deformable utilitzades en aquests assajos, la barrera Frontal MPDB i la barrera Lateral AE-MDB. Estudiant-les podem conèixer millor les reaccions involucrades en aquests xocs.

2.2.4.1 Propietats de la Barrera MPDB

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

Les propietats de les barreres MPDB estan definides pel Technical Bulletin 022 - Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification v1.2.1. A partir d'aquestes propietats, podem trobar les forces capaces de suportar les barreres en qüestió.

Per definir la força suportada per la barrera, farem servir la fórmula (27) que relaciona la pressió amb la força i la superfície.

$$P = \frac{F}{S} \quad (27)$$

On:

- P = Pressió
- F = Força
- S = Superfície

Tal com s'ha mencionat en l'apartat 1.3.1.1, la barrera MPDB consta de tres blocs anomenats A, B i C. Cadascun d'aquests blocs està dissenyat per suportar unes pressions diferents, sent aquestes definides en el Technical Bulletin 022, Euro NCAP Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification.

La barrera MPDB té una superfície frontal de 570 mm d'alt i 1000 mm de llarg. L'impacte involucrat en el xoc, no contacta amb el cent per cent de la superfície frontal de la barrera. Depenent de les dimensions i de la geometria del vehicle a assajar, l'impacte és més extens o es concentra en una superfície menor. Com més petita sigui la superfície d'impacte, menor serà la força suportada per la barrera MPDB.

Del tres blocs que formen part de la barrera MPDB, el bloc A està dissenyat per resistir pressions entre 1,540 MPa i 1,711 MPa quan està sotmès a un esforç de compressió¹⁹.

Un cop determinades la pressió i la superfície, podem aplicar la fórmula (10) per trobar la força capaç de suportar el bloc A de la barrera MPDB.

Per a la realització del càlcul, definim la pressió en $\frac{kg}{m \cdot s^2}$ (28).

$$P_A = 1,540 \text{ MPa} \quad (28)$$

$$P_A = 1,540 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Calculem la superfície a treballar (29).

$$S = 570 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 50\% \quad (29)$$

$$S = 0,285 \text{ m}^2$$

Aillem la força en la fórmula (27) i trobem el seu valor (30).

$$F = P \cdot S \quad (30)$$

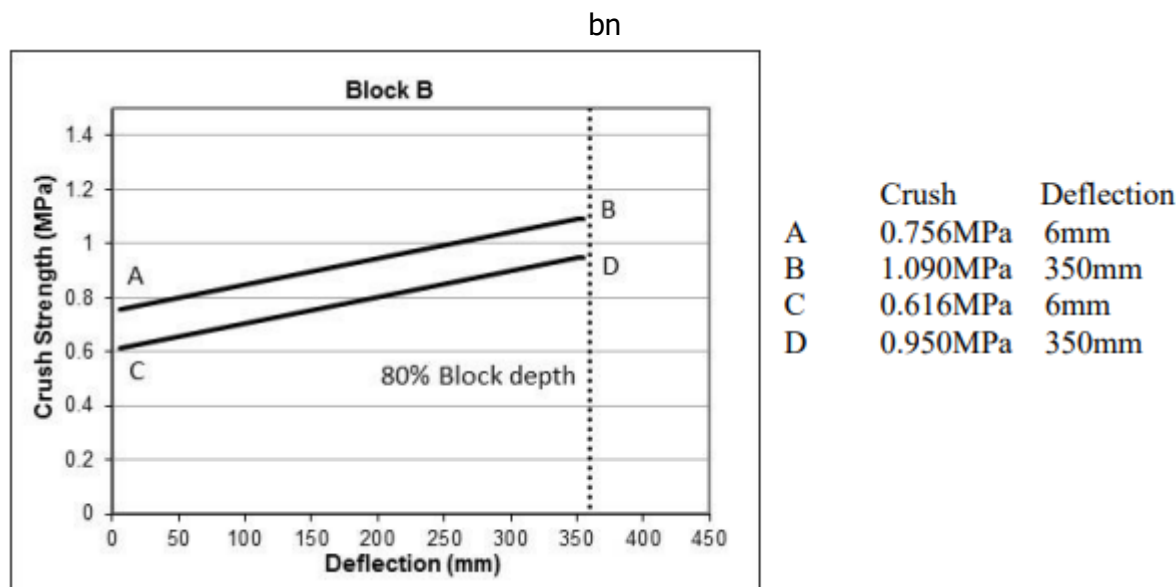
$$F_A = 1,540 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2} \cdot 0,285 \text{ m}^2$$

$$F_A = 438900 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

¹⁹ TB022 – Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification v1.2.1, Apartat 4, Punt 4.2.1

La força suportada pel bloc A serà de $438900 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ o 438900 N.

El bloc B de la barrera MPDB presenta una resistència a la compressió progressiva, és a dir, a mesura que la deformació d'aquest bloc augmenta, també incrementa la pressió capaç de suportar. Aquesta progressió es pot observar en el següent gràfic extret del TB022²⁰, Il·lustració 9.



Il·lustració 9. Resistència progressiva del bloc B de la barrera MPDB

A causa del fet que en aquest estudi s'analitza el cas en que la barrera MPDB es deforma en el total de la seva longitud, els valors a considerar són els compresos entre els punts B i D de la figura anterior, entre 0,950 MPa i 1,090 MPa. Per a la realització del càlcul s'agafa el valor més restrictiu, en aquest cas de 0,950 MPa. Si definim aquest valor en $\frac{kg}{m \cdot s^2}$ obtenim (31):

$$P_B = 0,950 \text{ MPa} \quad (31)$$

$$P_B = 0,950 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Aplicant la mateixa superfície calculada en l'equació (29), i la pressió anteriorment esmentada, trobem la força suportada pel bloc B (32).

$$F = P \cdot S \quad (32)$$

$$F_B = 0,950 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2} \cdot 0,285 \text{ m}^2$$

$$F_B = 270750 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

La força suportada pel bloc B serà de $270750 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ o 270750 N.

El bloc C de la barrera MPDB té una resistència a la compressió entre 0,308 MPa i 0,342 MPa²¹. Pel nostre càlcul s'agafa el valor més restrictiu, és a dir, el valor menor.

²⁰ TB022 – Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification v1.2.1, Apartat 4, Punt 4.3.7, Figura 6: Block B Static Corridor

²¹ TB022 – Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification v1.2.1, Apartat 4, Punt 4.2.2

Definim aquest valor en $\frac{kg}{m \cdot s^2}$ (33).

$$P_C = 0,308 \text{ MPa} \quad (33)$$

$$P_C = 0,308 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Amb aquesta pressió i la superfície definida en l'equació (29), trobem la força suportada pel bloc C (34).

$$F = P \cdot S \quad (34)$$

$$F_C = 0,308 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2} \cdot 0,285 \text{ m}^2$$

$$F_C = 87780 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

La força suportada pel bloc C serà de $87780 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ o 87780 N.

Un cop definides les forces suportades per cada bloc de la barrera MPDB, procedim a calcular la força màxima capaç de suportar la barrera, tenint en compte que l'impacte és realitzat en el 50% de la superfície frontal d'aquesta.

Per trobar la força total suportada, procedim a sumar les forces absorbides pel bloc A, B i C (35).

$$F_{MPDB} = F_A + F_B + F_C \quad (35)$$

$$F_{MPDB} = 438900 \frac{kg \cdot m}{s^2} + 270750 \frac{kg \cdot m}{s^2} + 87780 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

$$F_{MPDB} = 797430 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

La força total suportada per la barrera MPDB serà de $797430 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ o 797430 N.

2.2.4.2 Propietats de les barreres AE-MDB

De la mateixa forma que pels assajos Frontals MPDB, desglossàvem la força entre la part absorbida per la barrera i la part que afecta al trolley, pels assajos Laterals AE-MDB realitzarem el mateix procediment, definint la força màxima capaç d'absorbir la barrera i la força restant capaç de suportar el trolley a dissenyar.

Tal com s'ha definit en l'apartat 1.3.2.1, la barrera AE-MDB està formada per sis blocs, A, B, C, D, E i F, i un bumper al frontal d'aquesta. El primer element de contacte és el propi bumper, que presenta una superfície frontal de 112 mm de llarg per 200 mm d'alt. Aquesta superfície augmenta un cop superat el bumper, els sis blocs, anteriorment anomenats, presenten una superfície frontal inicial de 1220 mm de llarg per 450 mm d'alt. La llargada total de la barrera augmenta amb una relació de 45°, fins a arribar a una llargada total de 1700 mm. Per la seva banda, l'alçada total de la barrera augmenta fins als 500 mm, mitjançant un increment de 50 mm a la magnitud inicial mitjançant un augment en forma d'esglaó.

Per simplificar el càlcul, es considerarà la superfície frontal inicial com a superfície d'impacte. Aquesta consideració ens atorgarà un valor de la força teòrica capaç de suportar la barrera AE-MDB menor del valor real, per tant, estarem sempre al costat de la seguretat.

Tenint en compte el expressat anteriorment, calculem la superfície d'impacte (36).

$$S = 1220 \text{ mm} \cdot 450 \text{ mm} \quad (36)$$

$$S = 1,220 \text{ m} \cdot 0,450 \text{ m}$$

$$S = 0,549 \text{ m}^2$$

La superfície d'impacte és de 0,549 metres quadrats.

Aquesta superfície serà dividida per les parts corresponents a cada bloc.

Els blocs A i C presenten unes dimensions de superfície frontal de 250 mm d'alçada i 360 mm de llarg. La superfície frontal d'aquests blocs és la següent (37):

$$S_{A/C} = 250 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm} \quad (37)$$

$$S_{A/C} = 0,250 \text{ m} \cdot 0,360 \text{ m}$$

$$S_{A/C} = 0,09 \text{ m}^2$$

El bloc B presenta unes dimensions de superfície frontal de 250 mm d'alçada i 500 mm de llarg. La superfície frontal d'aquest bloc és la següent (38):

$$S_B = 250 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm} \quad (38)$$

$$S_B = 0,250 \text{ m} \cdot 0,500 \text{ m}$$

$$S_B = 0,125 \text{ m}^2$$

Els blocs D i F presenten unes dimensions de superfície frontal de 200 mm d'alçada i 360 mm de llarg. La superfície frontal d'aquests blocs és la següent (39):

$$S_{D/F} = 200 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm} \quad (39)$$

$$S_{D/F} = 0,200 \text{ m} \cdot 0,360 \text{ m}$$

$$S_{D/F} = 0,072 \text{ m}^2$$

El bloc E presenta unes dimensions de superfície frontal de 200 mm d'alçada i 500 mm de llarg. La superfície frontal d'aquest bloc és la següent (40):

$$S_E = 200 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm} \quad (40)$$

$$S_E = 0,200 \text{ m} \cdot 0,500 \text{ m}$$

$$S_E = 0,1 \text{ m}^2$$

Totes aquestes dimensions han sigut extretes de la Il·lustració 8, anteriorment esmentada.

Seguidament, trobem la pressió capaç de suportar cada bloc. Aquesta informació la trobem a partir del Technical Bulletin 014, on està especificat la força que cada bloc és capaç de tolerar quan s'aplica una pressió en una superfície de 250 x 500 mm²².

Definim el valor de la superfície anteriorment esmentada (41).

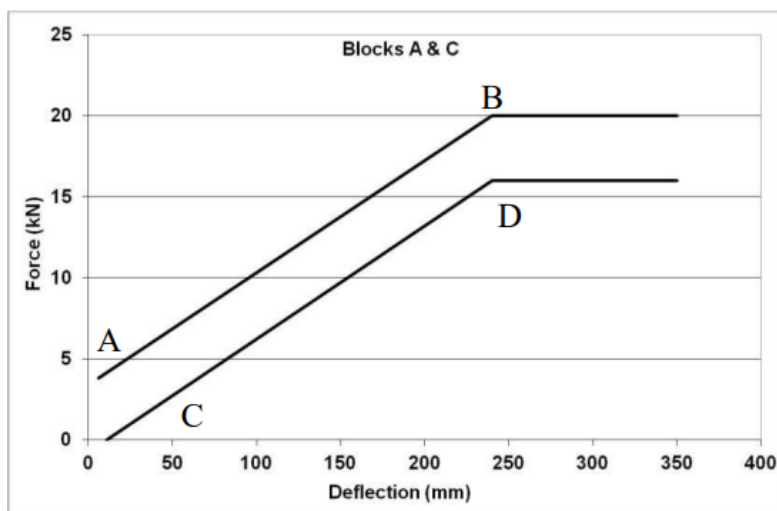
$$S_P = 250 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm} \quad (41)$$

$$S_P = 0,250 \text{ m} \cdot 0,500 \text{ m}$$

$$S_P = 0,125 \text{ m}^2$$

Pels blocs A i C, en la figura 12 del TB 014 se'ns indica la següent gràfica amb els valors de la força respecte a la deformació, Il·lustració 10. Agafarem el valor mínim de la força en el punt de deformació màxima, és a dir una força de 16 kN o 16000 $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$.

²² TB 014 – AE-MDB Specification Version 1.0, Apartat 8, Static Force Deflection Corridors, Figure 11-14



	Force	Deflection
A	3.8kN	6mm
B	20kN	240mm
C	0kN	11mm
D	16kN	240mm

Il·lustració 10. Gràfic Deformació-Força pels blocs A i C de la barrera AE-MDB

A partir de la força expressada en el gràfic i la superfície calculada anteriorment en l'equació (41), trobem la pressió capaç de tolerar els blocs A i C de la barrera AE-MDB (42).

$$P_{A/C} = \frac{F_{A/C}}{S_p} \quad (42)$$

$$P_{A/C} = \frac{16000 \frac{kg \cdot m}{s^2}}{0,125 m^2}$$

$$P_{A/C} = 0,128 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Definida la pressió que és capaç d'aguantar els blocs A i C, dividim aquest valor per la superfície d'impacte d'aquests blocs, per trobar la força capaç de ser suportada per aquests (43).

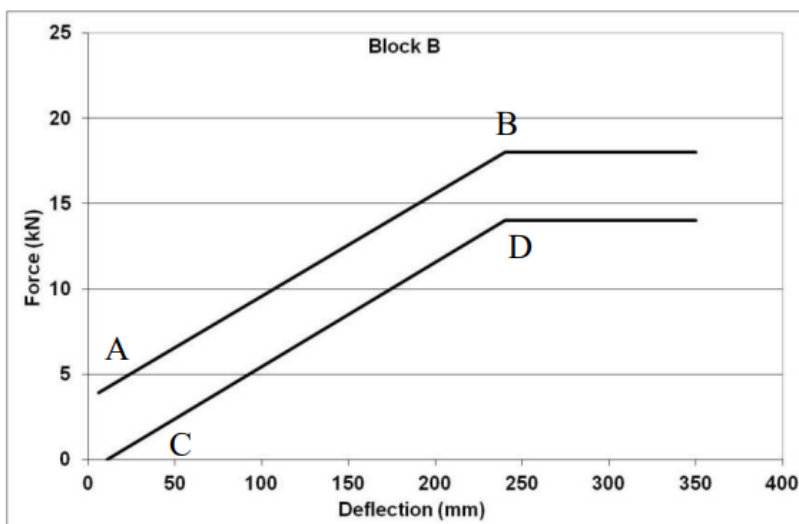
$$F_{A/C} = P_{A/C} \cdot S_{A/C} \quad (43)$$

$$F_{A/C} = 0,128 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2} \cdot 0,09 m^2$$

$$F_{A/C} = 11520 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

Els blocs A i C suportaran cadascun una força d'11520 $\frac{kg \cdot m}{s^2}$.

Pel bloc B, en la figura 11 del TB 014 se'ns indica la següent gràfica amb els valors de la força respecte a la deformació, Il·lustració 11. Agafarem el valor mínim de la força en el punt de deformació màxima, és a dir una força de 14 kN o 14000 $\frac{kg \cdot m}{s^2}$.



	Force	Deflection
A	3.9kN	6mm
B	18kN	240mm
C	0kN	11mm
D	14kN	240mm

Il·lustració 11. Gràfic Deformació-Força pel bloc B de la barrera AE-MDB

A partir de la força expressada en el gràfic i la superfície calculada anteriorment en l'equació (41), trobem la pressió capaç de tolerar el bloc B de la barrera AE-MDB (44).

$$P_B = \frac{F_B}{S_P} \quad (44)$$

$$P_B = \frac{14000 \frac{kg \cdot m}{s^2}}{0,125 m^2}$$

$$P_B = 0,112 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Definida la pressió que és capaç d'aguantar el bloc B, dividim aquest valor per la superfície d'impacte d'aquest bloc, per trobar la força capaç de ser suportada per aquest (45).

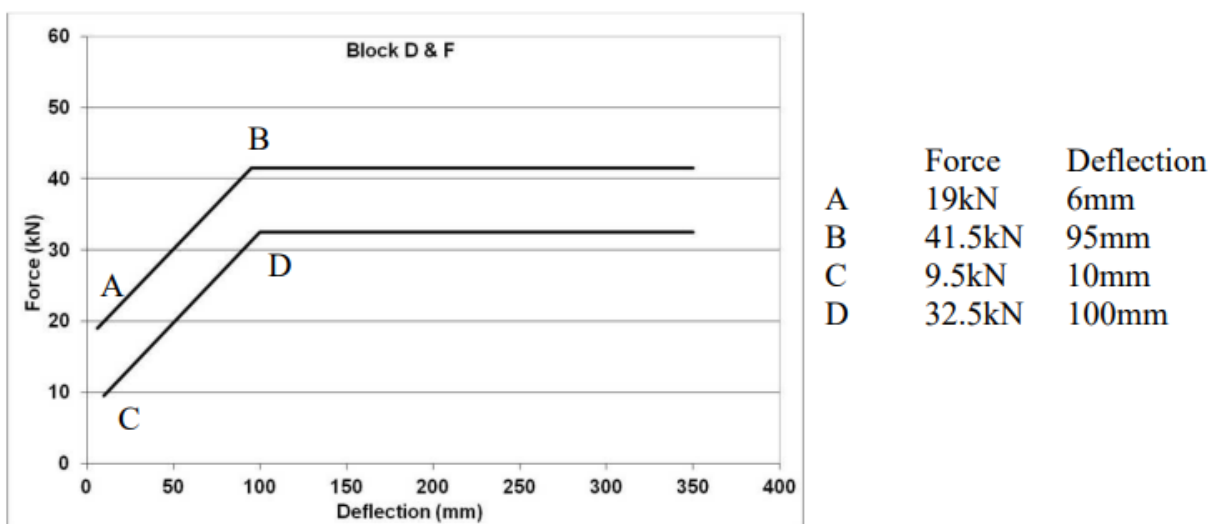
$$F_B = P_B \cdot S_B \quad (45)$$

$$F_B = 0,112 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2} \cdot 0,125 m^2$$

$$F_B = 14000 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

El bloc B resistirà una força de $14000 \frac{kg \cdot m}{s^2}$.

Pels blocs D i F, en la figura 14 del TB 014 se'ns indica la següent gràfica amb els valors de la força respecte a la deformació, Il·lustració 12. Agafarem el valor mínim de la força en el punt de deformació màxima, és a dir una força de 32,5 kN o $32500 \frac{kg \cdot m}{s^2}$.



Il·lustració 12. Gràfic Deformació-Força pels blocs D i F de la barrera AE-MDB

A partir de la força expressada en el gràfic i la superfície calculada anteriorment en l'equació (41), trobem la pressió capaç de tolerar els blocs D i F de la barrera AE-MDB (46).

$$P_{D/F} = \frac{F_{D/F}}{S_P} \quad (46)$$

$$P_{D/F} = \frac{32500 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{0,125 \text{ m}^2}$$

$$P_{D/F} = 0,260 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

Definida la pressió que és capaç d'aguantar els blocs D i F, dividim aquest valor per la superfície d'impacte d'aquests blocs, per trobar la força capaç de ser suportada per aquests (47).

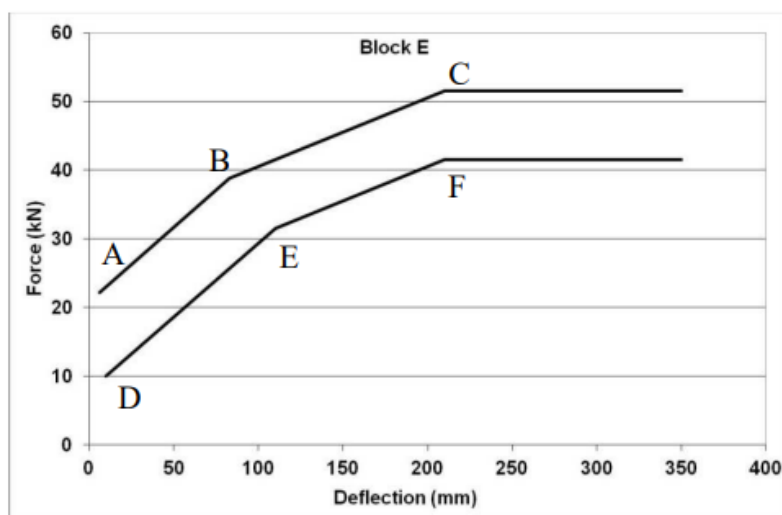
$$F_{D/F} = P_{D/F} \cdot S_{D/F} \quad (47)$$

$$F_{D/F} = 0,260 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \cdot 0,072 \text{ m}^2$$

$$F_{D/F} = 18720 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Els blocs D i F resistiran cadascun una força de $18720 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$.

Pel bloc E, en la figura 13 del TB 014 se'ns indica la següent gràfica amb els valors de la força respecte a la deformació, Il·lustració 13. Agafarem el valor mínim de la força en el punt de deformació màxima, és a dir una força de 41,5 kN o $41500 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$.



	Force	Deflection
A	22.2kN	6mm
B	38.8kN	83mm
C	51.5kN	210mm
D	10kN	10mm
E	31.5kN	110mm
F	41.5kN	210mm

Il·lustració 13. Gràfic Deformació-Força pel bloc E de la barrera AE-MDB

A partir de la força expressada en el gràfic i la superfície calculada anteriorment en l'equació (25), trobem la pressió capaç de tolerar el bloc E de la barrera AE-MDB (48).

$$P_E = \frac{F_E}{S_P} \quad (48)$$

$$P_E = \frac{41500 \frac{kg \cdot m}{s^2}}{0,125 m^2}$$

$$P_E = 0,332 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Definida la pressió que és capaç d'aguantar el bloc E, dividim aquest valor per la superfície d'impacte d'aquest bloc, per trobar la força capaç de ser suportada per aquest (49).

$$F_E = P_E \cdot S_E \quad (49)$$

$$F_E = 0,332 \cdot 10^6 \frac{kg}{m \cdot s^2} \cdot 0,1 m^2$$

$$F_E = 33200 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

El bloc E suportarà una força de $33200 \frac{kg \cdot m}{s^2}$.

Un cop definida la força mínima capaç de tolerar cada bloc, procedim a calcular la força absorbida pel bumper, l'element on es realitza el primer contacte.

El Technical Bulletin 014, ens indica que el bumper ha de ser capaç de tolerar pressions entre 1,586 MPa i 1,793 MPa²³. Coneixent aquest valor, i saben que les dimensions del bumper són de 1112 mm de llarg per 200 mm d'alt, podem trobar la força capaç de dissipar aquest element.

Primerament, trobem el valor de la superfície d'impacte del bumper, en metres quadrats (50).

$$S = 1112 mm \cdot 200 mm \quad (50)$$

²³ TB 014 – AE-MDB Specification Version 1.0, Apartat 2, Characteristics of the Impactor, Punt 2.1.3.5

$$S = 1,112 \text{ m} \cdot 0,200 \text{ m}$$

$$S = 0,2224 \text{ m}^2$$

Mitjançant la pressió i la superfície conegudes, trobem la força absorbida pel bumper (51).

$$F = P \cdot S \quad (51)$$

$$F_{Bumper} = 1,586 \cdot 10^6 \cdot 0,2224 \text{ m}$$

$$F_{Bumper} = 352726,4 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Un cop coneixem totes les forces capaces de ser tolerades per cadascun dels elements de la barrera, calculem la força total capaç de suportar la barrera AE-MDB (52).

$$F_{AE-MDB} = F_A + F_B + F_C + F_D + F_E + F_F + F_{Bumper} \quad (52)$$

$$F_{AE-MDB} = 11520 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} + 14000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} + 11520 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} + 18720 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \\ + 33200 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} + 18720 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} + 352726,4 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{AE-MDB} = 460406,4 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

La força total suportada per la barrera AE-MDB serà de $460406,4 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ o 460406,4 N.

2.2.5 Força absorbida pel trolley

La força que rep l'estructura del trolley no arribarà mai el valor total calculat en els apartats 2.2.2.1 i 2.2.2.2, ja que en la realització del càlcul s'han pres mesures per simplificar l'estudi, sent aquestes sempre del marge de la seguretat.

En el xoc real, l'energia cinètica final no és 0, ja que en el xoc es provoca un rebot dels elements involucrats. Al ser el valor final superior a zero, l'increment d'energia cinètica és menor, per tant, el treball realitzat és menor. També s'ha considerat el vehicle a assajar com un cos infinitament rígid, quan aquests estan dissenyats per tenir una deformació en cas d'impacte, per reduir l'impacte que rep els ocupants del vehicle.

Igualment, optarem per realitzar l'estudi de l'estructura davant l'impacte com si no disposés d'una barrera deformable, tant sigui l'AE-MDB com la MPDB. Tot i conèixer les propietats d'aquestes, desenvolupades en l'apartat 2.2.4, en un impacte amb un vehicle hi intervenen molts factors que ens és impossible controlar, que afecten la resposta que presentaran aquestes barreres, ja sigui la superfície d'impacte del vehicle amb la barrera, les propietats de la part deformable i la part estructural del vehicle, ja sigui material, disposició, forma geomètrica, i el punt exacte d'impacte, entre altres consideracions a tenir en compte. Per aquests motius, agafarem el *worst case* per a la realització de l'estudi, que seria que la força del xoc es realitza directament contra l'estructura del trolley.

Per tant, la força que es considerarà com a força d'impacte serà de $625241,39 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ o 625241,39 N, que vindria a ser la força realitzada en un impacte frontal MPDB.

$$F_{\text{impacte MPDB}} = 625241,39 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \quad (53)$$

2.2.5.1 Coeficient de seguretat a aplicar a la Força d'Impacte

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

Per l'estudi de l'estructura del trolley, realitzarem les simulacions del sistema amb una força multiplicada per un coeficient de seguretat.

Aquest coeficient de seguretat ens permetrà poder tenir un sistema més segur, dimensionat per suportar esforços per sobre dels quals haurà d'aguantar teòricament.

Per elegir el coeficient de seguretat s'han tingut en compte els següents aspectes:

- **Material:** en el nostre cas s'ha optat per utilitzar de material acer estructural S275JR i S235JR. Aquest presenta unes bones característiques envers els esforços a aplicar, però sobretot, ens aporta una homogeneïtat que permet tenir uns càlculs més fiables. En ser un material comunament emprat, les seves propietats estan ben definides, obtenint una millor precisió en les simulacions.
- **Fabricació:** es durà a terme en les instal·lacions d'Idiada mitjançant mà d'obra experta. Al fet de ser un producte que només es fabricarà una sola vegada, es podrà realitzar un control més exhaustiu del procés de fabricació.
- **Ús:** es coneix quin serà l'ús del producte, a causa de la definició aportada pels protocols d'EuroNCAP. Gràcies a això, i a l'alta precisió en la forma de treballar per l'equip d'Idiada, es pot acotar amb bastant precisió quin serà l'ús del producte.
- **Fabricació en sèrie o especial:** en ser un producte d'una única producció, no és necessari filar tan prim respecte la quantitat de material a utilitzar, ja que un augment d'aquest no representa un cost acumulatiu. Tot i això, el model està limitat pel protocol d'EuroNCAP i el seu límit de pes.
- **Disseny i càlcul:** en l'estudi portat a cap s'han realitzat hipòtesis per simplificar el càlcul, aquestes sempre han anat pel cantó de la seguretat, s'ha estudiat el cas més limitant possible, resultant amb una força de disseny superior a la força d'impacte real.

2.3 Registre d'acceleracions del trolley

Gràfics amb els valors de l'acceleració en l'eix X del centre de gravetat del trolley en el moment d'impacte.

Dades proporcionades per l'empresa Applus Idiada, extretes mitjançant el programa Diadem.

2.3.1 Acceleracions en assajos Frontals MPDB

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

2.3.2 Acceleracions en assajos Laterals AE-MDB

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

3 Plànols

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.

4 Pressupost

S'ha eliminat una part o la totalitat d'aquest apartat a causa de contenir informació considerada confidencial propietat de l'empresa Applus+ Idiada.