

Títol PFC:

**VALIDACIÓ D'UN MODEL DE SIMULACIÓ D'UN
SISTEMA AUTOMÀTIC DE CONDUCCIÓ**

Alumne (nom i cognoms):

JOAQUIM MARIA CASTELLA TRIGINER

Data: 19/06/2015

Director del PFC: PAU FONSECA CASAS

Departament del director: DEPARTAMENT 'ESTADÍSTICA I
INVESTIGACIÓ OPERATIVA

Titulació: ENGINYERIA TÈCNICA EN INFORMÀTICA DE SISTEMES

Centre: FACULTAT D'INFORMÀTICA DE BARCELONA (FIB)

Universitat: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA (UPC)
BARCELONATECH

Índex

1. Introducció	6
1.1. Objecte de projecte	6
1.2. Justificació del projecte	7
1.3. Abast del projecte	7
2. Anàlisi d'antecedents i factibilitat	9
2.1. Antecedents d'autopista automatitzada	9
2.1.1. Inicis	9
2.1.2. Projectes governamentals	12
2.1.3. Etapa actual	13
2.1.4. Google, Tesla's, Audi, Mercedes, Bmw... driveless car	14
2.2. Simuladors	15
2.2.1. Aimsun	16
2.2.2. Vissim	17
2.2.3. Paramics	17
2.2.4. Altres simuladors	18
2.3. Projecte precedent	19
2.4. Factibilitat	21
2.4.1. Índex d'accidentalitat	21
2.4.2. Costos dels accidents	22
2.4.3. Capacitat d'una autopista intel·ligent	24
2.4.3.1. Distància de seguretat	24
2.4.3.2. Capacitat	26
2.4.3.2.1. Capacitat teòrica de l'autopista automatitzada	26
2.4.3.2.2. Capacitat teòrica de l'autopista	27
2.4.3.2.3. Capacitat teòrica de l'autopista (real)	28
2.4.3.2.4. Capacitat real de l'autopista	30
2.4.3.2.5. Anàlisi dels resultats	30
2.4.4. Altres factors i conclusió	31
3. Desenvolupament tècnic	32
3.1. Especificacions	32
3.1.1. Especificacions bàsiques	32
3.1.2. Especificacions tècniques	32
3.2. Consideracions prèvies	33

3.2.1.	introducció	33
3.2.2.	Tram d'autopista simulat.....	33
3.2.3.	Nombre de trams simulats.....	34
3.2.4.	Tipus de trams	35
3.2.4.1.	Trams rectes	35
3.2.4.2.	Trams amb entrada de vehicles	35
3.2.4.3.	Trams amb sortida de vehicles.....	36
3.2.5.	Paràmetres de circulació.....	36
3.2.6.	Tipologies de vehicles	37
3.2.7.	Distribució del vehicles en el tram.	41
3.3.	El simulador.....	42
3.3.1.	Paràmetres inicials	42
3.3.2.	Velocitat de simulació.....	44
3.3.3.	Pantalla principal.....	46
3.3.4.	Altres detalls d'implementació	46
3.3.5.	Visualització dels trams.....	47
3.3.6.	Informació	50
3.3.7.	Estadístiques.....	50
3.3.8.	Arquitectura del simulador	51
3.4.	Funcionament de l'eina	53
3.4.1.	Introducció	53
3.4.2.	Estructures de dades	53
3.4.3.	Velocitat de refresc de l'eina i de la part visual	55
3.4.4.	Vehicles i distància de seguretat	56
3.4.5.	Inici.....	56
3.4.6.	Entrades (Generar vehicle)	57
3.4.7.	Inserir vehicle	58
3.4.8.	Entrades (Cua d'entrades)	59
3.4.9.	Macro trajectòries	60
3.4.10.	Micro trajectòries.....	61
3.4.11.	Sortides.....	66
3.4.12.	Garantia de llista ordenada.....	68
3.5.	Resultats i Anàlisis	69
3.5.1.	Resultats mostrats	69
3.5.1.1.	Tipologies de vehicles en la carretera	69
3.5.1.2.	Densitats del tram simulat	70

3.5.1.3.	Temps de trajecte	71
3.5.2.	Resultats de la simulació	73
3.5.2.1.	Tipologies de vehicles introduïts	73
3.5.2.2.	Densitats del tram simulat	74
3.5.2.3.	Tems de trajecte	78
3.5.3.	Exactitud de les dades simulades	79
3.5.3.1.	Tipologies de vehicles introduïts	79
3.5.3.2.	Densitats del tram simulat	79
3.5.3.3.	Comparativa final de capacitats	80
3.5.3.4.	Temps de trajecte	81
3.5.4.	Models de fallada	82
3.5.4.1.	Autopista amb vehicles de conducció automàtica	82
3.5.4.2.	Simulador i fallada	83
3.5.5.	Simulacions de llarga durada	84
4.	Concordança de resultats i objectius	87
4.1.1.	Acceptació i confiança dels resultats	87
4.1.2.	Objectius	88
5.	Millores i solucions	89
6.	Planificació del projecte	91
7.	Estudi econòmic	93
8.	Conclusions	94
9.	Referències bibliogràfiques	95
a.	Precedents i factibilitat:	95
b.	Desenvolupament tècnic:	96
10.	Annexos	97
10.1.	Annex 1, càlcul de capacitats	97
10.1.1.	Capacitat teòrica de l'autopista automatitzada	97
10.1.2.	Capacitat teòrica de l'autopista	98
10.1.3.	Capacitat teòrica de l'autopista (real)	99
10.2.	Annex 2, Càlcul canvis de carril	101
10.2.1.	Canvi de carril esquerra en direcció X	101
10.2.2.	Canvi de carril dret en direcció X	104
10.2.3.	Canvi de carril esquerra en direcció Y	108
10.2.4.	Canvi de carril dret en direcció Y	112
10.3.	Annex 3, Ajudes electròniques dels vehicles	117
10.3.1.	Sistemes de circulació	117

10.3.2.	Sistemes de seguretat	122
10.4.	Annex 4, Dades número de tipologies de vehicles entrats.....	124
10.5.	Annex 5, Dades estudi de capacitats.....	125
10.6.	Annex 6, Dades estudi de capacitats, les cues.....	127
10.7.	Annex 7, Capacitat hora punta tram simulat.....	130

1.Introducció

1.1. Objecte de projecte

L'objecte del projecte es validar un model de simulació d'un sistema automàtic de conducció a través d'un simulador.

El model de simulació és un model teòric amb el qual es gestiona de forma automàtica les trajectòries dels vehicles en circulació. El sistema al iniciar genera un tram d'autopista en funció del tipus de vehicles permesos, les dades particulars de cada part del tram i els paràmetres de circulació. Un cop en funcionament, el simulador genera vehicles amb diversos destins. Seguidament, amb el model de simulació establert, es calcularà en tot moment la millor trajectòria de cada vehicle segons el destí i el transit del moment. El simulador mostrarà en tot moment la trajectòria de cada vehicle de forma visual fent una simulació gràfica en dos dimensions.

L'inici del model de simulació teòric, parteix d'un projecte per automatitzar la conducció dels automòbils en una via ràpida que es va realitzar en el departament de projectes a l'escola d'enginyers industrials de Terrassa (Punt 2. Projecte precedent). Aquest ideava un estudi per a dur a terme una automatització de la conducció de cada vehicle que entrés al sistema, aportant la solució de les necessitats tecnològiques per a dur a terme el projecte. A la vegada es generava un model de control d'aquesta via introduint un sistema informàtic capaç de gestionar el flux vehicular d'aquesta via.

Així doncs, el simulador que es presenta vol representar l'eina per dissenyar i comprovar la gestió d'aquesta via de circulació de vehicles amb conducció automatitzada.

1.2. Justificació del projecte

L'avanç de la tecnologia està permetent que molts vehicles disposin de dispositius d'ajuda a la conducció. A més a més, dispositius que abans estaven destinats només a vehicles de gama alta, actualment ja estan a l'abast de la majoria de vehicles de gama mitja. Paral·lelament als principals fabricants de vehicles, hi ha projectes de desenvolupament de vehicles amb conducció sense conductor (més informació al punt 2.1. antecedents d'autopista automatitzada).

No només la tecnologia ajuda a poder desenvolupar aquest projecte, sinó que hi ha altres factors que justifiquen aquest projecte. A continuació es mostren els avantatges d'aquest sistema:

- La reducció considerable del nombre d'accidents, que permetrà salvar un gran nombre de vides humanes, com també disminuir els costos econòmics que aquests ocasionen, principalment els costos d'urgències mèdiques.
- La gestió matemàtica de la capacitat de les vies es més eficient i per tant, augmentarà en relació a la conducció actual reduint els embussos i el consum de carburant.
- Per últim, en conseqüència del control de la circulació, deixarà de ser necessària la inversió en el control de velocitat i seguretat (radars mòbils i fixes, unitats policials, serveis de gestió, etc).

1.3. Abast del projecte

L'abast del projecte és validar un model de simulació d'un sistema automàtic de la conducció, mitjançant comparatives i estimacions, junt amb el anàlisi dels resultats de la simulació. Per dur a terme l'objectiu mostrarem a continuació que es realitzarà.

En primer lloc, es farà un estudi dels precedents i es comprovarà la factibilitat del projecte.

A continuació es procedirà al desenvolupament tècnic de l'eina que constarà de:

- En primer lloc, unes consideracions prèvies, bàsiques per entendre l'eina i per conèixer una mica l'eina de simulació. S'explicarà els trams de l'autopista simulats, els tipus de trams de l'eina, els paràmetres de circulació i la tipologia de vehicles del sistema.

- En segon lloc, s'explicarà el simulador. Com s'inicia el simulador i les dades que cal introduir. S'explicarà una mica la distribució de la pantalla principal, funcionalitats i com es visualitzen els trams. Per últim veurem que pot oferir l'eina a nivell d'informació i estadística
- En tercer lloc, funcionament de l'eina en general. Veurem la visió global de l'eina i el seu funcionament fragmentat per trams. Mirar quines estructures de dades conté, com estan posicionats els vehicles i quina distància de seguretat tenen. Veure el comportament en les entrades i sortides de l'autopista així com també com calcula la macro i al micro trajectòria de cada vehicle.
- Per últim un apartat per explicar una part extra del simulador amb estadístiques amb les dades de circulació a temps real de l'eina. Això ens servirà per obtenir els resultats experimentals.

Després de la descripció tècnica, s'analitzaran els resultats i objectius extraient les conclusions pertinents. També es proposarà un conjunt de millores i solucions per a millorar l'eina.

Com a últim mostrarem la planificació del projecte, l'estudi econòmic per dur-lo a terme i una comparativa d'alternatives.

2. Anàlisi d'antecedents i factibilitat

L'eina de simulació es basa en un sistema automatitzat de l'autopista. Així doncs, cal veure dues coses. En primera instància, cal saber que hi ha d'antecedents a nivell d'automatització de vehicles, d'infraestructures i de tecnologia al respecte. En segona part cal veure quins simuladors hi ha al mercat i a que estan dirigits. Per últim, s'ha de veure quins avantatges pot comportar i quines son els motius pels quals es pot dur a terme aquest projecte.

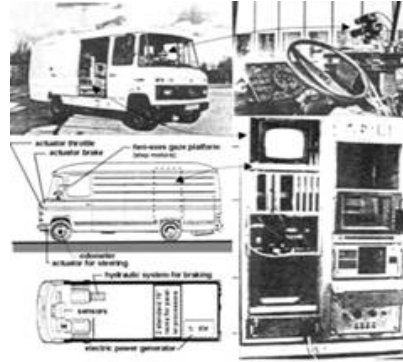
2.1. Antecedents d'autopista automatitzada

Els intents per d'envolupar el vehicle intel·ligent al llarg dels últims anys son molt nombrosos. Són moltes les empreses del sector i les principals marques mundials d'automòbils les que han estudiat alternatives de diferents tipus, totes elles vàlides, per arribar a una finalitat comuna: la conducció autònoma i intel·ligent sense necessitat de la interacció humana. Això deriva directament en trobar la circulació òptima i segura.

2.1.1. Inicis

La idea de conducció intel·ligent tal i com la coneixem avui dia va sorgir fa ara ja tres dècades i no ha parat d'evolucionar des de llavors. Ja al 1986, el Dr. Ernst Dickmanns de la Bundeswehr Universität Munich, va aconseguir desenvolupar un prototip de vehicle automàtic capaç de conduir per autopistes a 96Km/h de velocitat màxima. Concretament, l'equip del Dr. Dickmanns, va equipar una furgoneta Mercedes Benz amb sensors i càmeres. La furgoneta va ser dissenyada en el seu moment de manera que mitjançant comandaments per ordinador en temps real per l'anàlisi de seqüències d'imatges captades per les càmeres, es podia controlar la direcció, l'acceleració i la frenada. Inicialment i per raons de seguretat, la furgoneta no podia circular per carrers amb trànsit i es van fer experiments per carrers de Baviera tallats al públic. Tot l'estudi de Dickmanns es basava en la visió artificial. Tot això va porta a terme el projecte VaMoRs.

Etapa inicial (1985-1990):

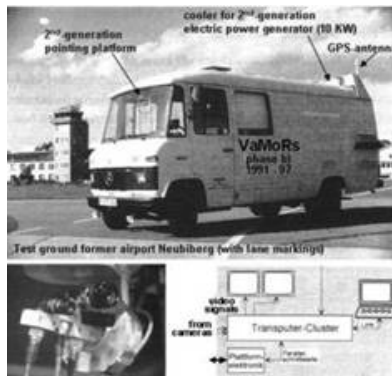


Il·lustració 1. VaMoRs, primera etapa. [Font: www.dyna-vision.de]

Segona etapa (1991-1997):

El projecte va tenir les següents millores:

- Càmeres més petites però precises.
- Control mitjançant 45 processadors i ordinador de 32 bits amb interface humana.
- Es redueix la velocitat de la furgoneta a 80Km/h degut a l'increment de pes en l'equip informàtic.
- Antena GPS.
- Més potència en el generador elèctric i un sistema de refrigeració molt més gran.



Il·lustració 2. VaMoRs, segona etapa. [Font: www.dyna-vision.de]

Tercera etapa (1997-2004):

En aquesta etapa més avançada, s'afegeix una pantalla amb visió estereoscòpica a temps real i full frame controlada per quatre processadors duals de la família Pentium.



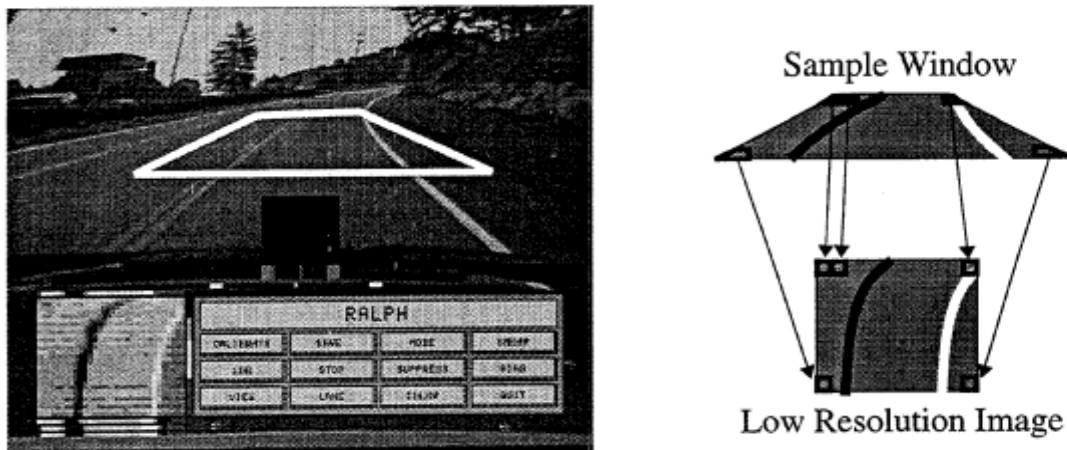
Il·lustració 3. VaMoRs, tercera etapa. [Font: www.dyna-vision.de]

Paral·lelament, al 1988, la Universitat de Carnegie-Mellon, als Estats Units, va implementar algorismes basats en el color per seguir carreteres i van desenvolupar tècniques de detecció d'obstacles mitjançant visió 3D.

Anys més tard van crear RALPH (*Rapidly Adapting Lateral Position Handler*), un sistema d'ajuda al conductor per girar el volant que tenia per objectiu detectar el desplaçament lateral, relatiu al centre del carril pel qual es circula.

Bàsicament el projecte resol el problema de la següent manera:

1. Mostra de la imatge.
2. Determinació de la curvatura.
3. Determinació de l'offset del vehicle relatiu al carril.



Il·lustració 4. A l'esquerra, es pot veure el que capta la càmera davantera. A la dreta la mostra de la imatge processada per RALPH. [FONT: <http://www.ri.cmu.edu>]

Aquest son dos dels exemples més destacats del ampli món de la con de la conducció intel·ligent. Motivats principalment per la voluntat de reduir el número d'accidents en carretera deixant fora de la conducció el factor humà, disminució de la contaminació i evitar la congestió de les vies optimitzant el tràfic i la ocupació en vies interurbanes.

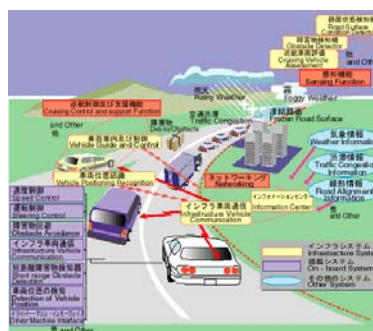
2.1.2. Projectes governamentals

Inicialment, l'estudi sobre la conducció intel·ligent es limitava a grans projectes patrocinats pels governs, els quals apostaven per aconseguir el millor model. D'aquests projectes en van sorgir tres de molt importants, tots ells a territoris molt desenvolupats, Estats Units, Europa i Japó.

A Europa va sorgir el projecte Eureka PROMETHEUS (*Programme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented*). Aquest projecte es beneficiava de la participació del ja esmentat Dr. Ernst Dickmanns. Feien redissenys de vehicles per fer-los capaços de ser autònoms, van començar amb el VaMoRs modificant furgonetes Mercedes Benz i van seguir amb els models Vamp i Vita 2 que eren redissenys intel·ligents de Mercedes S-Class de la època. Van arribar a fer maniobres a l'autopista d'avançaments i circular 158Km sense intervenció humana.

A Estats Units van crear el NAHSC (*National Automated Highway System Consortium*) al 1995 i en van fer la demostració en autopista californiana l'any 1997. Aquest projecte es basa en el platooning. El platooning és l'agrupació de vehicles en carretera per augmentar la capacitat de transport i excloure el conductor de la conducció. Aquest projecte, que es va abandonar per falta de pressupost serà explicat més endavant, en aquest mateix apartat.

Al Japó va sorgir l'AHSRA (*Advanced Cruise-Assist Highway System Research Association*). Un projecte molt complet orientat a la reducció d'accidents, augmentant la seguretat i millorant l'eficiència en carretera. És un projecte complet d'infraestructura i components del vehicle autònom.



Il·lustració 5. AHSRA [FONT: www.mlit.go.jp]

2.1.3. Etapa actual

Es pot considerar una segona etapa en la conducció intel·ligent quan es passa dels grans projectes governamentals al disseny de components d'assistència en la conducció i la instal·lació d'aquests en els cotxes més actuals i d'alta gama. Aquí ja hi intervenen les empreses del sector automobilístic, tant de components com marques de cotxes. Aquestes empreses fan ús de les tecnologies actuals d'intel·ligència artificial, robòtica i capacitat de càlcul aconseguida a dia d'avui. Es busca la integració de diferents components en els cotxes actuals de diferents sistemes que faciliten la conducció.

Tot el treball fet fins a dia d'avui es pot classificar en tres grans grups diferenciats:

- **Components automòbil:** Les principals marques, així com també les multinacionals del sector de l'automoció dedicades a components i recerca, han anat incloent amb el pas dels anys i gràcies als avenços tecnològics, elements que faciliten la conducció, com ara sistemes de detecció d'obstacles, assistència en l'estacionament del vehicle, detecció de carril, navegadors, càmeres de visió nocturna posterior, etc.
- **Infraestructura necessària per la comunicació:** Si es vol una conducció sense riscos ni intervenció humana, es necessita un sistema perfectament programat que gestioni tot el que deixarà de ser competència de la persona.
- **Tipologies existents:** En aquesta categoria, es detallen els diferents tipus d'ajudes que s'han aconseguit fins avui de manera independent.
 - o Platooning
 - o Autopista/sistema autònom (Infraestructura)
 - o Vehicle autònom

Nombrar els nombrós llistat d'estudis i projectes seria molt complicat, però existeix molta matèria d'estudi al respecte. A més a més, hi ha una forta competència en el sector automobilístic per demostrar quina empresa té la tecnologia més puntera. Es per aquesta causa que la majoria de multinacionals del sector automobilístic inverteixen milions d'euros en desenvolupar sistemes que marquin la diferència sobre la competència.

Cal dir que l'evolució tecnològica ha arribat a un punt on, amb la tecnologia existent, ja es podria fabricar vehicles autònoms, com per exemple el cotxe de Google. En l'annex de la memòria llistem els sistemes existents i suficients per a poder dur a terme una automatització del vehicle per aquest sistema.

2.1.4. Google, Tesla's, Audi, Mercedes, Bmw... driveless car

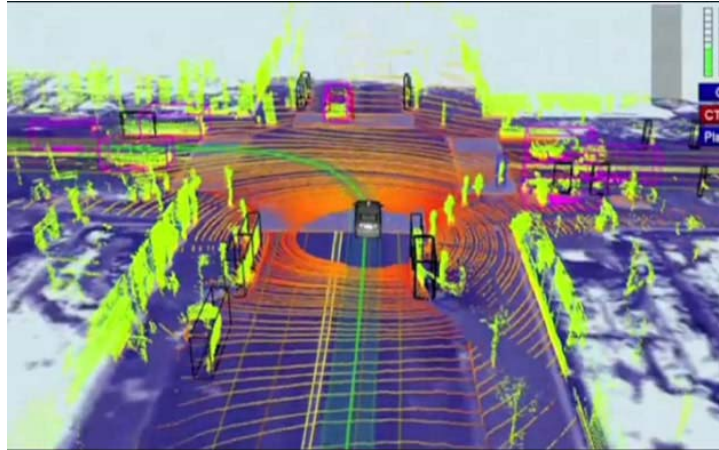
A l'any 2005 Google va intentar revolucionar el sector de l'automòbil amb un cotxe gràcies a la seva pròpia tecnologia de conducció autònoma. Aquesta tecnologia permet que els cotxes siguin capaços de guiar-se per ells mateixos fent ús d'un sistema de mapes controlats per ordinador. Utilitzen càmeres de vídeo, sensors per radar i telèmetre làser per processar l'entorn del vehicle i veure el trànsit.

Tot i que la tecnologia estarà llesta per ser operativa en un període de 5 anys, no podrà ser efectiva ja que s'hauran d'implementar noves normatives i casuístiques per a les companyies asseguradores.

El cotxe de Google es basa en sensors i radars:

- El sensor superior situat al sostre del cotxe, és un escàner d'alta resolució capaç de gravar i escanejar a una distància de 60 metres en totes les direccions (360°). Aquest escàner s'ajuda de software per reconèixer el que ha gravat de l'entorn i això fa que el cotxe sàpiga en tot moment on està i què ha de fer en funció del que es trobi.
- Té tres radars frontals i un altre de posterior que l'ajuda a detectar qualsevol objecte que se li acosti i mantenir la distància correcta respecte l'entorn.
- Sensor a la roda que dona tota la informació sobre el moviment i l'estat del xassís.
- Càmera frontal que detecta les llums dels altres vehicles, tan dels que vinguin per l'altre carril com les de fre del cotxe de davant

Amb tot això, i el sistema de mapes implementat per Google, el cotxe és capaç de circular per qualsevol via sense necessitat d'adaptar-la i el que és més important de tot, respectant les normatives de tràfic vigents.



Il·lustració 6. Reproducció del entorn per radar LIDAR del cotxe de google [FONT: www.autoblog.com]

A més a més de Google, altres grans marques com Tesla, Mercedes, Audi o BMW estan duent a terme projectes amb vehicles amb aquestes característiques. Per exemple, Tesla i Elon Musk, estan portant a terme vehicles autònoms junt amb Google [0]. BMW ja ha posat a la venda el nou model sèrie 7 capaç d'aparcar de forma 100% autònoma o conduir el vehicle per ciutat capaç de seguir el vehicle que te a davant [0']. Tot i que grans models de gama alta com l'audi A8 o el Mercedes Classe S també ho fan [0''].

2.2. Simuladors

Sabem, com s'ha explicat en l'anterior punt, que hi ha ja sistemes e infraestructures pensades per a dur a terme aquest projecte. Amb tot, son projectes privat on existeix documentació del projecte i estudis sobre el sistema, però no trobem eines desenvolupades com la que es desenvolupa en aquest projecte. No voldria dir que l'eina desenvolupada es exclusiva, ni molt menys, però si fer referència a que una eina tant específica com la existent no existeix com a tal.

Amb tot, si mirem el mercat, observarem que hi ha moltes eines de gestió del transit per a tot tipus de via. Hi ha també moltes eines de simulació molt desenvolupades que permeten el control de casi tots els elements que intervenen en la circulació. A continuació mostrarem les eines existent més conegudes del mercat.

Es pot dir, que hi ha molts simuladors comercials, però també existeixen simuladors sortits de projectes sobretot universitaris, que aporten simuladors molt senill però de codi lliure per a que l'usuari pugui establir el seu simulador personalitzat.

2.2.1. Aimsun



Il·lustració 7. Exemple de tram simulat [FONT: www.aimsun.com]

Aimsun es una potent eina de simulació que integra simulació microscòpica, mesoscòpica i macroscòpica en una mateixa aplicació. Això permet simular en una mateixa simulació grans àrees i seguidament poder atansar-se a àrees més petites.

Les seves característiques son:

- Creació de models, simulació i anàlisi de resultats en un mateix entorn.
- Interfície d'usuari intuïtiva, molt visual amb vistes 2D i 3D.
- Previsions de múltiples projectes.
- Comparació de diversos escenaris.

A part de simular agents intrínsec de la simulació com:

- Calendaris d'aparcament
- Calendaris de neteja
- Hores punta i accidents
- Carrils reversibles
- Carrils reservats (per autobusos i taxi, VAO, etc.)

2.2.2. Vissim



Il·lustració 8. Aplicació Vissim [FONT: www.traffic-inside.com]

Vissim es una altra eina de simulació com Aimsun la qual permet configurar tot tipus de factors que influeix en el transit. No només es tracta de simular el comportament d'un tram amb vehicles, sinó que permet simular un conjunt de factors extern com el vianants, així com també el comportament amb hores puntes i factors com averies, carrils tallats i múltiples combinacions de trams per a una simulació més real.

A continuació mostrarem les principals característiques del simulador:

- Múltiples classes d'interseccions
- Implementació de mesures de prioritats al transport públic
- Plant de semaforització.
- Simulació microscòpica del transit permetent tot tipus de vehicles.
- Geometries reals de carreteres o implementacions pròpies.
- Visualització 3D.

2.2.3. Paramics

Dintre de la gama de simuladors complets tenim el Paramics, simulador britànic que sorgeix de la universitat d'Edimburg.

En comparació amb els tradicionals models empírics que es basa en una representació agregada de trànsit, aquest permet el moviment del vehicle a temps real i es capaç de simular les condicions de posada en cua de xarxes congestionades.

Dissenyat per:

- Medi ambient i emissions
- Autopistes i carreteres
- Sistema intel·ligent del transports
- Transport públic
- Rodalies i complexes unions
- Places de peatge
- Enginyeria del transit

Una de les variacions es que te el simulador es que es capaç de simular els vianants per poder establir condicionants es cruïlles i transport públic i aspectes de seguretat.

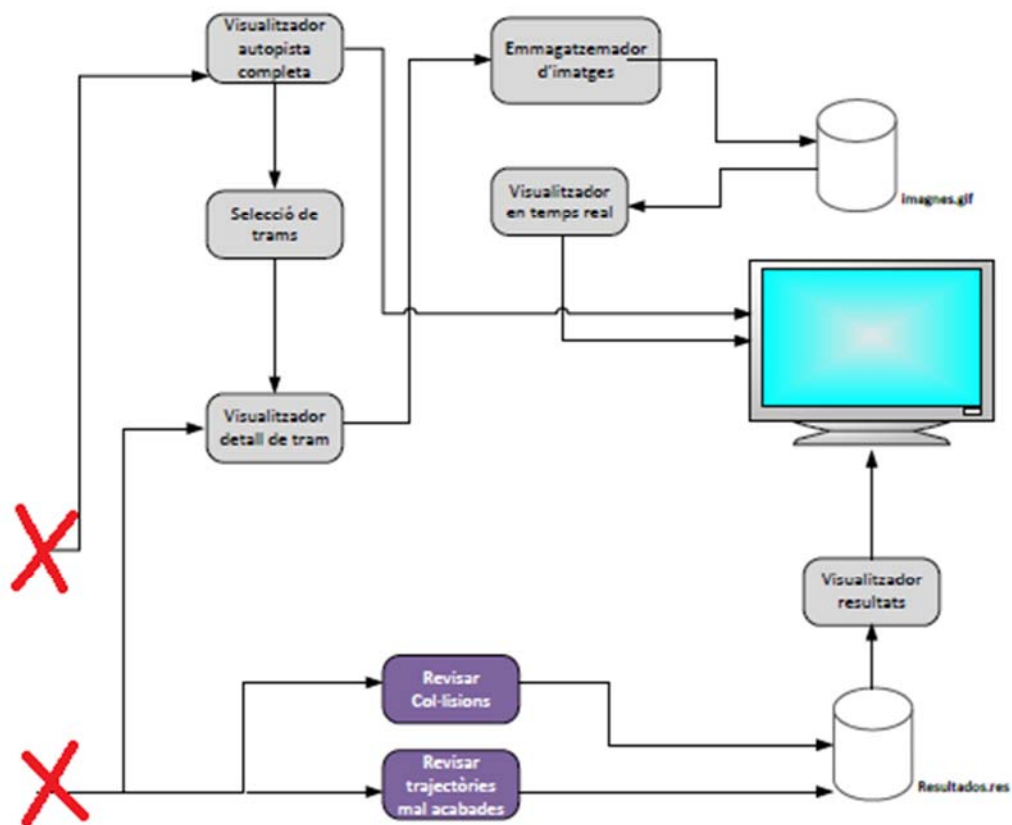
2.2.4. Altres simuladors

Com ja hem comentat, hi ha múltiples alternatives. Per nombrar algunes més, nombrarem l'aplicació TSIS-CORSIM, una aplicació que permet simular a nivell microscòpic per als sistemes de senyalització, carreteres i autopistes. Després FRESIM, que representa el trànsit a nivell microscòpic amb models de moviments de vehicles individuals, on inclou condicions geomètriques i comportament dels conductors. TSIS es un entorns de desenvolupament integrat que permet als usuaris realitzar anàlisis de les operacions de trànsit. Els desenvolupament d'aquesta eina surt de la Universitat de Florida.

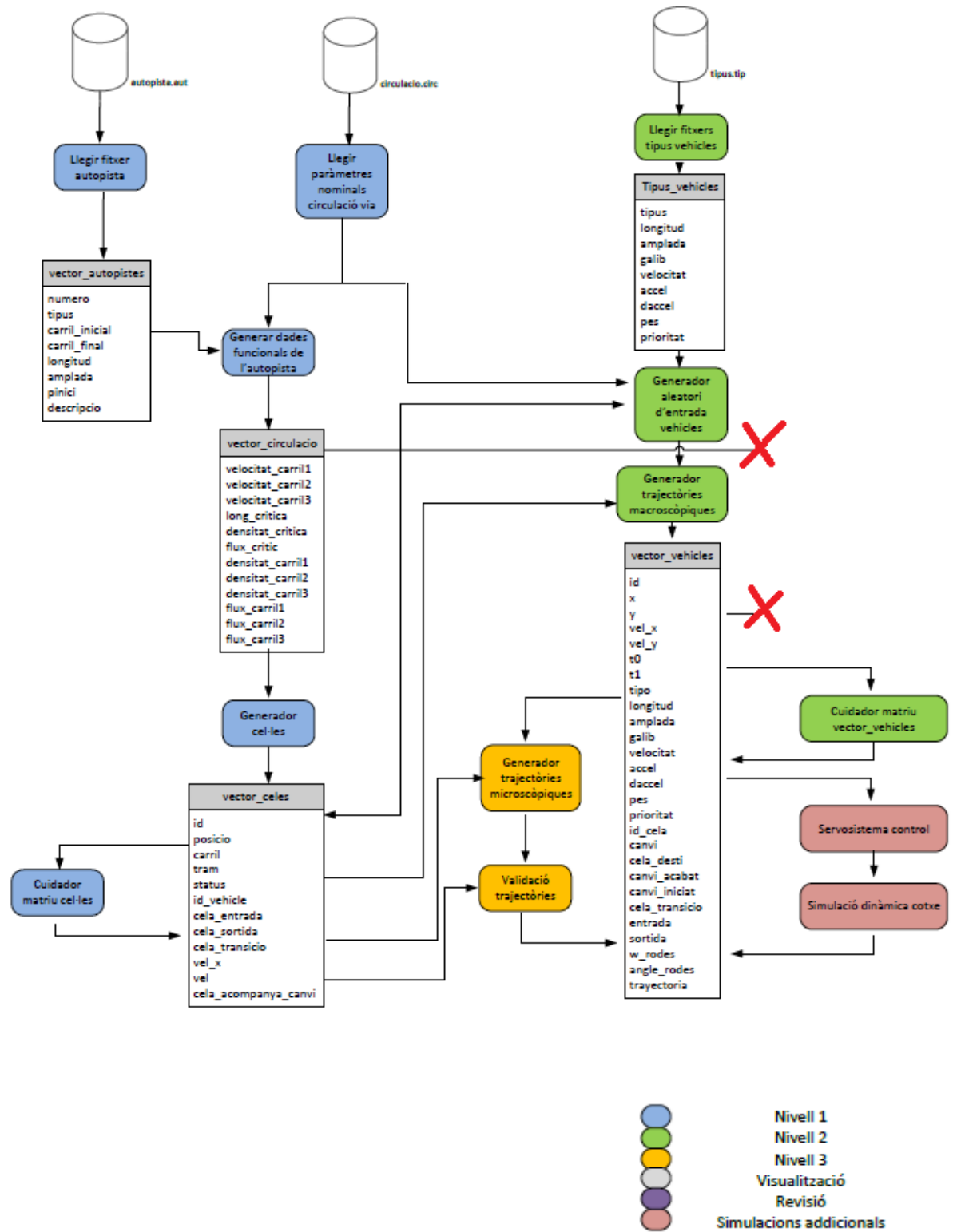
Un altre simulador més senzill que s'ofereix amb codi obert es traffic-simulation. Aquest permet la simulació d'un petit tram amb petites variacions. SIMTRAV es un altre dels simuladors entre d'altres.

2.3. Projecte precedent

Com be s'ha explicat al objecte de la memòria, hi ha un projecte precedent del qual s'extreu part del model teòric explicat en el desenvolupament tècnic del treball. Aquest treball està realitzat al departament de projectes d'enginyeria de l'escola d'enginyers industrials de Terrassa (ETSEIAT). El títol és "Disseny i simulació d'un sistema automàtic de conducció en vies urbanes" i va ser realitzat pels alumnes: Joaquim Maria Castella Triginer, Abel Lozano González, Marc Malgosa Brotó, Carles Montero Romero, Xavier Pascual Samaniego, David Pérez Pons, Dídac Sabrià Blasco, Marta Soler Aguilera, Xavier Soldevilla Valldeperas, Vicens Tejeira Fernández i com a tutor Emilio Angulo. La base del model teòric està descrita en el punt 6, "concepte d'autopistes". A continuació es mostra el resum del model teòric que es va realitzar.



Il·lustració 9. Model teòric part 1



Il·lustració 10. Model teòric part 2

2.4. Factibilitat

Com s'ha analitzat, hi ha un gran interès per part de molts sectors per dur a terme millores en tot el que sigui mobilitat, i més, en qüestions de flux vehicular. Les raons no son simplement monetàries, ja que hi ha millores en apartat de salut o mediambientals.

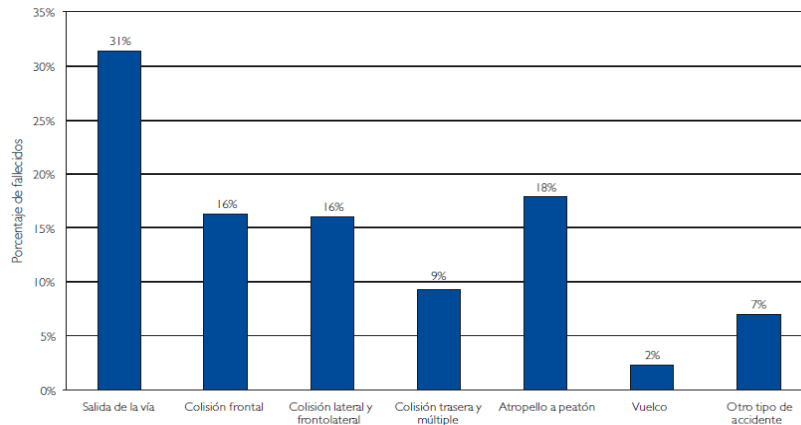
2.4.1. Índex d'accidentalitat

Segons dades de la *Dirección General de Tráfico* les morts en carretera han anat disminuït al transcurs dels anys. Però, a dia de avui, encara segueixen havent massa accidents. Amb dades oficials de l'any 2011, se sap que el nombre total de víctimes va ser de 2055 persones. D'aquestes víctimes, el 62% es va produir en carreteres, el que vol dir que la majoria d'accidents amb víctimes mortals es produeixen a les carreteres. Per contra, en autopistes es van produir un 3,26% d'accidents amb víctimes mortals i un 8,27% en autovies. La resta de morts han sigut degudes a accidents en vies urbanes.



Il·lustració 11. % víctimes mortals a les vies espanyoles

Hi han diversos tipus de col·lisions entre vehicles que poden causar danys molt negatius per les persones i, inclús, la mort. Dintre d'aquesta diversitat, a les vies espanyoles hi han certes tipologies d'accidents que causen més morts que d'altres. Segons dades oficials, tenint en compte només les vies interurbanes (carreteres secundaries, autopistes,..) la sortida de via es l'accident que més víctimes provoca, un 31%. El segueixen la col·lisió frontal amb un 16% i la frontolateral amb un 16% també. Ja en vies urbanes la tipologia d'accident que més víctimes provoca es l'atropellament a vianants, un 18%.



Il·lustració 12. Anàlisi tipus de col·lisions amb més víctimes mortals.

2.4.2. Costos dels accidents

Dins de tot el que envolta un accident de tràfic, un factor que es veu fortament afectat és el cost econòmic que aquest provoca. Per suposat, dintre d'aquest cost el patiment personal de les víctimes d'accidents greus no pot mai expressar-se en termes econòmics, aquests costos se'n diuen costos associats, ja que hi ha d'altres, com la destrucció del bé material o els costos hospitalaris, que són assignacions fàcils de calcular.

Per poder calcular aquests costos associats s'utilitzen dos mètodes de càlcul. Un és el mètode de les indemnitzacions, que té en compte les indemnitzacions mitges pagades per les companyies asseguradores a les víctimes o familiars. L'altra mètode és el de la disposició de pagament, que es basa en enquestes on es veu quan estaria la gent disposada a pagar per veure's beneficiada d'una determinada reducció en el risc de tenir un accident. És aquest últim mètode el que més s'utilitza als països desenvolupats per bàsicament dues raons.

Per a poder fer una estimació bastant aproximada de tots els costos que provoca un accident s'ha de tenir en compte els esmentats costos associats, els costos administratius (policia, jutges, advocats, assegurances,...) i els materials (reparació vehicles, danys en la via,...).

Hi ha hagut diverses fundacions que han calculat aquests costos. L'any 2007 el RACC (Real Automòbil Club de Catalunya) va publicar que el cost mig d'un difunt era de 558.990 euros, i en cas de que fos una víctima mortal jove 931.270 euros. Però va ser la Fundació FITSA amb la col·laboració de la Universitat de Investigació del Automòbil de la UPM (Universidad Politécnica de Madrid) qui va fer una estimació més a fons d'aquests costos derivats dels accidents de tràfic. Aquest estudi va tenir en compte tots els costos entre els anys 1990 i 2004.

Els resultats que van obtenir els van calcular de la següent manera:

Taula 1. Resultat costos per víctima

<i>Categoria</i>	<i>Subcategoria</i>	<i>Definició</i>	<i>Valor</i>
1. Costos mèdics	Costos hospitalaris	Costos de tractaments i rehabilitacions que tenen lloc al hospital.	565€
	Costos extra hospitalaris	Costos mèdics derivats de les seqüeles permanents.	
2. Pèrdua de producció		Quantitat que es deixa de produir.	598.422€
3. Costos humans		Valoració del patiment associat a les lesions o pèrdua d'un familiar.	258.661€
			TOTAL
			857.648€

A Espanya, l'any 2004, el cost total dels accidents de trànsit va ser de 17.600 milions d'euros (un 2% del PIB). Si es fa el recompte dels 10 últims anys des de 2007, els accidents a les vies espanyoles han suposat un cost total de entre 105.000 i 144.000 milions d'euros.

Com es pot apreciar, els accidents de trànsit són un cost econòmic i humà molt preocupant dintre de la societat, on es veuen afectats tant l'estat, les asseguradores, com per suposat, les persones afectades.

2.4.3. Capacitat d'una autopista intel·ligent

En aquest apartat s'estudiarà com canvia la capacitat per carril d'una autopista segons si els conductors són humans o és conducció automàtica.

En conducció humana, s'ha de respectar una distància de seguretat tal que ens permeti frenar en cas d'emergència sense xocar amb cap vehicle. Aquesta distància inclou la distància recorreguda en la frenada i la distància recorreguda en el temps de reacció humana. En canvi, si els vehicles són controlats per un sistema automàtic centralitzat, el temps de reacció disminuirà dràsticament i per tant es podran tenir els vehicles més junts augmentant la capacitat dels carrils de l'autopista.

2.4.3.1. Distància de seguretat

Una de les millores que comporta en conseqüència, una millora de les capacitats, es la distància de seguretat. Calculem primerament la distància de seguretat estàndard d'un vehicle respecte a un altre.

L'espai mínim va condicionat per [13]:

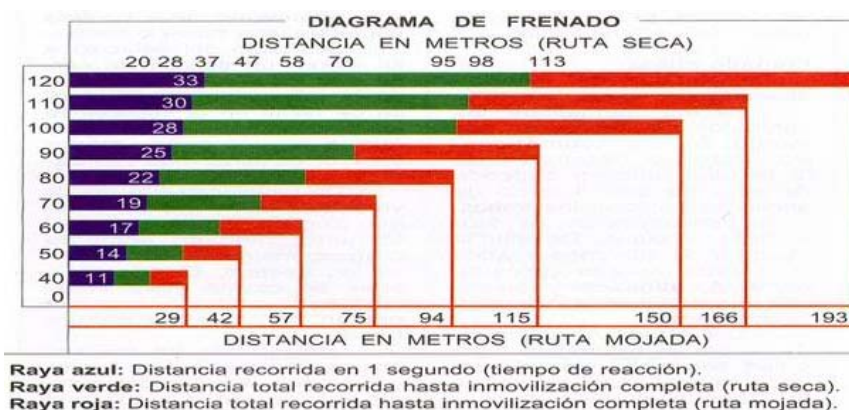
- Temps de reacció (tr).
- Separació entre la distància de frenada dels dos vehicles.
- Distància entre vehicles quan es paren (S_0).
- Longitud del vehicle (L_v).

Aquesta acaba sent la fórmula:

$$S_{\min} = v * tr + \left(\frac{v^2}{2 * d_2} - \frac{v^2}{2 * d_1} \right) + S_0 + L_v \quad (\text{Equació 1})$$

* d_x es la desacceleració del vehicle (confort: $2,4\text{m/s}^2$)

Com es pot veure, depèn molt de la situació del vehicle en el moment en qüestió, per tant existeixen unes taules aproximades.



Il·lustració 13. Distància de frenada. [Font: www.gnceros.com.ar]

Cal veure així que si s'automatitza la conducció del vehicle, aquest permet, en primer lloc, eliminar el temps de reacció. En segon lloc, permet controlar en tot moment la frenada dels dos vehicles i sincronitzar-la per a que sigui pràcticament zero. Així doncs, quedaria només la longitud de vehicle afirmat que teòricament podrien anar junts, empegats un del altre. Amb tot, hi ha un factor en les micro trajectòries de canvi de carril que requereix d'un espai mínim per a fer un canvi de carril i segon, un factor humà. El factor humà és evident, ja que si ens posem amb un vehicle a 120Km/h a una distància d'una pam del vehicle de davant, difícilment viatjaríem tranquils.

Així doncs, com es calcula al annex, alhora de fer un canvi de carril és necessari una distància de 7 metres. Així doncs s'estableix:

Taula 2. Vehicles i distància de seguretat

Tipus de vehicle	Distància de seguretat (m)
10 - 13	5+7 = 12
14 - 20	5+7 = 12
21 - 22	10+7 = 17
30 - 40	15+7 = 22

2.4.3.2. Capacitat

2.4.3.2.1. Capacitat teòrica de l'autopista automatitzada

Un cop fetes aquestes hipòtesis, es calcularà la capacitat teòrica d'una autopista amb cotxes intel·ligents. El tipus autopista que utilitzarem per fer aquests càlculs serà de 2 a 3 carrils:

- La velocitat del carril de la dreta serà de 80 km/h → 22,22 m/s
- La velocitat del carril central serà de 100 km/h → 27,77 m/s
- La velocitat del carril de l'esquerra serà de 120 km/h → 33,33 m/s

Aquestes velocitats s'han escollit perquè són velocitats de circulació actual en autopistes d'aquest tipus, no obstant això és un exemple i en l'autopista hi poden haver velocitats de circulació diferents.

La distribució de tipus de vehicle en les carreteres que s'ha escollit es una aproximació en relació a les dades del ministeri de foment, on exposa a nivell estatal unes taules amb les distribucions de vehicles per carreteres i autopistes. En el cas en concret, s'ha optat per aquest distribució.

Taula 3. Distribució de vehicles en l'autopista

<i>Carril</i>	<i>Tipus de vehicle</i>	<i>Percentatge</i>
Dret	10 – 20	40%
	21 – 22	30%
	30 – 40	30%
Central	10 – 20	100%
Esquerra	10 – 13	100%

La capacitat de cada carril es calcularà amb les fórmules presents a l'annex. Els valors de capacitat a cada carril són:

Taula 4. Capacitats per carril

<i>Carril</i>	<i>Capacitat màxima (veh/h)</i>
Dret	4.848
Central	8.333
Esquerra	10.000
TOTAL	23.181

2.4.3.2.2. Capacitat teòrica de l'autopista

Ara es faran els mateixos càlculs però suposant que la conducció és humana (teòrica sense tenir en compte les retencions).

Les condicions de circulació, el tipus d'autopista i la longitud dels vehicles és la mateixa que en el cas anterior. Per a les dades de velocitat, segons l'apartat anterior en condicions normals tenim:

Taula 5. Distància de seguretat real

<i>Velocitat (Km/h)</i>	<i>Distància de seguretat (m)</i>
80	58
100	95
120	113

Seguidament cal afegir la longitud del vehicle segons la tipologia i segons els percentatges de distribució de l'autopista.

Taula 6. Distància de separació entre vehicles

<i>Carril</i>	<i>Separació (m)</i>
Dret	67,5
Central	100
Esquerra	118

Ara ja es pot calcular la capacitat de cada carril amb la mateixa fórmula que la utilitzada en el cas dels vehicles intel·ligents, però adaptada per aquest cas:

La capacitat de cada carril en aquest cas és de:

Taula 7. Capacitats per carril

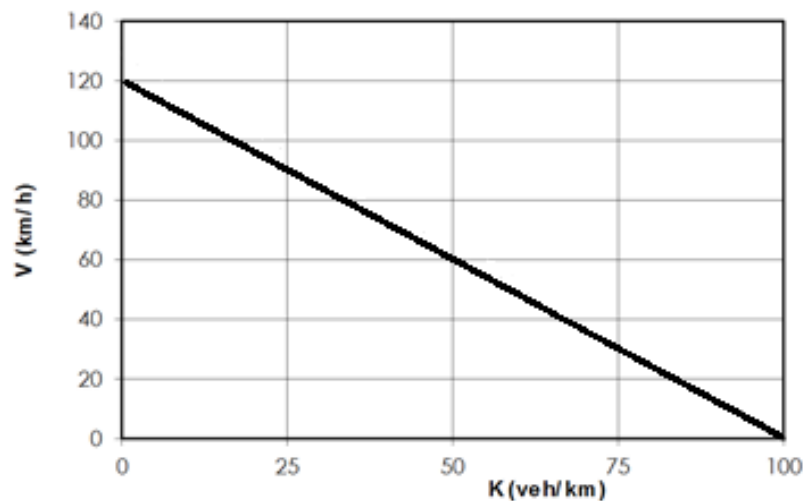
<i>Carril</i>	<i>Capacitat màxima (veh/h)</i>
Dret	1.185
Central	1.000
Esquerra	1.017
TOTAL	3.202

Aquesta capacitat màxima que s'ha trobat per a autopistes conduïdes per persones. Amb tot, no acaba de ser real ja que no és veritat que quan hi ha molta circulació es puguin mantenir els 120 km/h. A més a més no tothom va a la mateixa velocitat ja que al carril de la dreta hi poden haver camions circulant a 80 km/h i els cotxes poden anar a 120 km/h pel mateix carril i anar avançant els camions i els vehicles més lents quan sigui necessari. En la realitat aquesta velocitat va disminuint fins a la meitat de la velocitat mitjana de circulació de la via.

2.4.3.2.3. Capacitat teòrica de l'autopista (real)

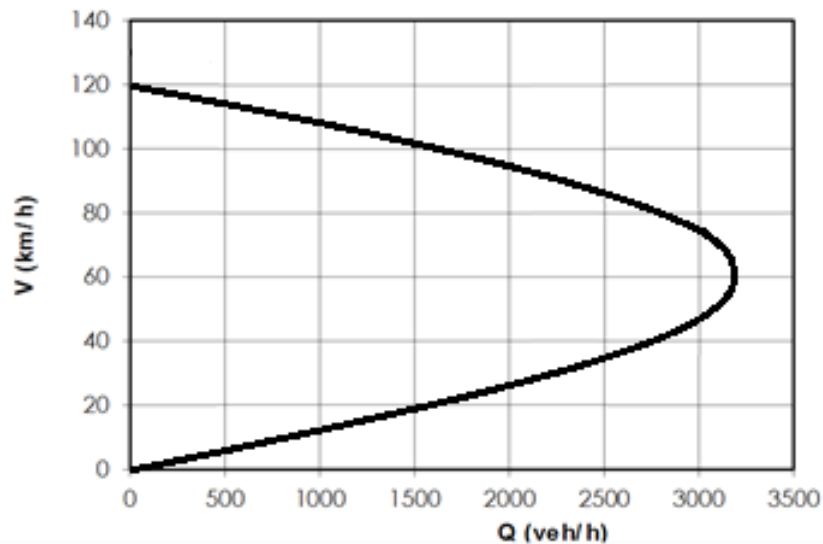
Suposem que la velocitat mitjana de circulació en l'autopista és de 120 km/h, per tant la velocitat de circulació per a la màxima capacitat és de 60 km/h (16,67 m/s).

Això es degut a la gràfica de Greenshield:



Il·lustració 14. Gràfica de Greenshield (V-K)

En aquesta gràfica s'indica com va disminuint la velocitat de circulació de les autopistes a mesura que es va augmentant la densitat de trànsit. Es veu com va disminuint linealment des dels 120 km/h quan no hi ha cap vehicle a l'autopista fins a estar aturats quan hi ha 100 vehicles per quilòmetre d'autopista [14]



Il·lustració 15. Gràfica de Greenshield (V-Q)

En aquesta altra gràfica es pot veure com augmenta la capacitat de l'autopista a mesura que va disminuint la velocitat de circulació de l'autopista ja que com més cotxes hi hagi, més precaució s'haurà de tenir i més fallades humanes hi haurà.

Un cop es baixa de la meitat de la velocitat màxima de circulació de l'autopista, aquesta corba s'inverteix i si es segueix disminuint la velocitat, la capacitat de l'autopista anirà disminuint fins a arribar un moment en què tots els vehicles s'hagin d'aturar, formant-se les retencions que es solen produir.

Així doncs, donada la gràfica de Greenshield, busquem la màxima capacitat de l'autopista a la velocitat que ens marca (60Km/h). Un cop establerta la nova velocitat i amb la nova distància de seguretat de 37 metres (distància de seguretat buscada en l'anterior taula que correspon a la distància de seguretat estàndard) i la distància del vehicle, es busca la capacitat de cada carril que en aquest cas és de:

Taula 8. Capacitats per carril real teòric

<i>Carril</i>	<i>Capacitat màxima (veh/h)</i>
Dret	1.290
Central	1.429
Esquerra	1.429
TOTAL	4.148

2.4.3.2.4. Capacitat real de l'autopista

Segons dades de la direcció general de trànsit, la capacitat usual per carril en un tram d'autopista com el simulat es marca en 2200 veh/h. Per tant, les dades reals son:

Taula 9. Capacitats per carril real

Carril	Capacitat màxima (veh/h)
Dret	2.200
Central	2.200
Esquerra	2.200
TOTAL	6.600

2.4.3.2.5. Anàlisi dels resultats

Un cop amb les dades calculades, i a falta de trobar unes dades reals a partir del model de simulació efectuat, es pot estimar que les millores son substancials. A continuació mostrem les millores

Taula 10. Comparativa de les capacitats

Carril	Capacitat màxima (veh/h)	Guany respecte l'autopista automatitzada (%)
Dret	4.848	-
Central	8.333	
Esquerra	10.000	
TOTAL	23.181	
Dret	1.185	409
Central	1.000	833
Esquerra	1.017	983
TOTAL	3.202	723
Dret	1.290	375
Central	1.429	583
Esquerra	1.429	699
TOTAL	4.148	558
Dret	2.200	220
Central	2.200	378
Esquerra	2.200	454
TOTAL	6.600	351

Finalment es pot dir que, en les pitjor de les circumstàncies es pot arribar a guanyar en més de tres vegades les capacitats de l'autopista simulada. Així doncs, es pot dir que el potencial de millora de les capacitats de l'autopista es molt gran.

2.4.4. Altres factors i conclusió

Com es pot apreciar, hi pot haver millores força considerables que justifiquen l'interés per a dur a terme aquestes automatitzacions. A més a més, cal veure que l'ús d'una conducció ben gestionada pot comporta millores en el medi ambient, ja sigui a nivell acústic com a nivell d'emissions.

Es per això que l'eina simulada comprovar una millora de la circulació mitjançant una millora de la gestió en les trajectòries i una eficiència de l'espai. A més a més, el simulador marca una eina pot gestionar de forma real el transit que aquí es simula.

3. Desenvolupament tècnic

3.1. Especificacions

3.1.1. Especificacions bàsiques

A continuació definirem les especificacions bàsiques de l'eina:

- El programa simularà trams d'autopista de dos i tres carrils.
- Els carrils seran simulats en línia recta sense tenir en compte les pendents (tot i que les dades del tram siguin reals)
- El sistema mantindrà sempre la mateixa distància de seguretat i no aplicarà regulacions de flux (pels casos de passar de tres carrils a dos carrils).
- Per l'anterior punt, el sistema no contemplarà passar de tres carrils a dos carrils, tot i que si ho farà de forma inversa.
- El sistema permet l'entrada de tot tipus de vehicle que contingui les mesures mínimes necessàries per a dur a terme la seva automatització.
- El sistema no permet, en aquest primer punt, l'ús de motocicletes.
- El sistema no te en compte averies ni accidents, així com qualsevol factor extern que atures la circulació.
- El simulador està preparat per poder configurar qualsevol nombre de trams que l'usuari vulgui.
- El simulador està preparat per mostrar cada tram introduït de forma visual en representació 2D amb finestres de mida variable.
- El simulador haurà de mantenir la diferència de 20Km/h entre cada carril per a poder realitzar els canvis.

3.1.2. Especificacions tècniques

El simulador es una aplicació pensada per a sistemes operatius Windows amb l'ús de llenguatge de programació Visual Basic enfocat a formularis de Windows (Windows Forms). L'eina de desenvolupament i de proves del programa es el Visual Studio en la versió del 2013.

3.2. Consideracions prèvies

3.2.1. introducció

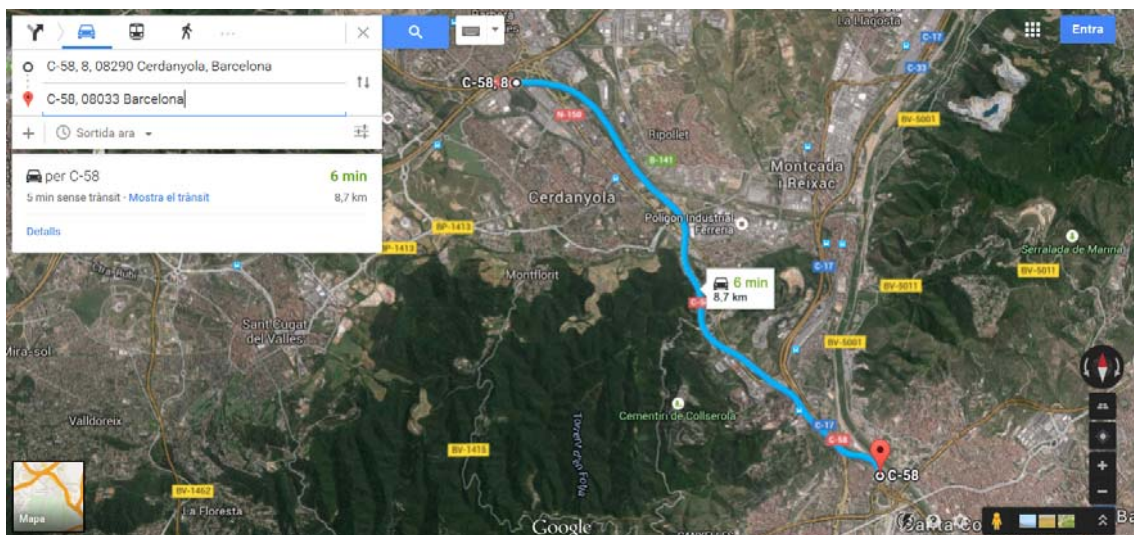
Com ja s'ha esmentat, el simulador es una eina per gestionar en una via els vehicles amb conducció automàtica. Com hi ha diversos tipus de vies i milers i milers de trams a tota espanya, el projecte es basarà en un tram de via en concret.

En primer lloc, el simulador està preparat per a gestionar autopistes. Això ja delimita una mica els trams possibles a escollir. Sabent també que l'eina va enfocada a la millora de la circulació i a l'augment de la capacitat de les autopistes, a part d'altres avantatges, cal trobar un tram amb el qual es pugui simular l'eina i a la vegada es pugui aprofitar per comprovar les millores establertes de forma tangible.

El tram escollit per a simular és l'autopista C-58 entre Terrassa i Barcelona (nus de la trinitat). Aquesta autopista presenta grans retencions a diaris degut al flux de vehicles. Seguidament es mostraran com aquest tram d'autopista s'ha simulat i com s'ha fet.

3.2.2. Tram d'autopista simulat

El tram simulat per l'eina es un tram força transitat que va des de Cerdanyola del Vallés fins a l'entrada de Barcelona (l'anomenat nus de la trinitat).



Il·lustració 16. Tram simulat estret de l'aplicació Google Maps

L'interès per a simular aquest tram es la gran aflluència de trànsit diari. Segons dades de la generalitat, te una IMD (interval de valors diaris de transit) de 67.838. Això suposa que en moment puntuals del dia, aquest tram es saturi. Es per això la validació del model de simulació realitzada més endavant pot ser d'ús per a avaluar una possible aplicació de l'eina en aquest tram.

3.2.3. Nombre de trams simulats

En el punt anterior, s'ha vist el tram complet simulat. A continuació es veurà com es fragmenta aquest tram per a simular-la a l'aplicació. Cal veure primerament, que el tram es molt llarg i visualment comporta problemes per a la simulació completa. A més a més, les tipologies de tram son variades i per tant, a cada tipus de tram caldrà fer una acció o una altra. A continuació es mostra els trams seleccionats.

Taula 11. Trams seleccionats per a la simulació

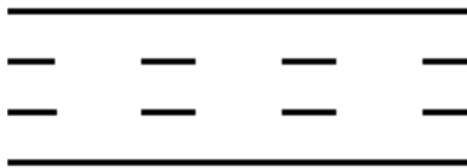
Número de tram	Tipus de tram	Nombre carrils inicials	Nombre carrils finals	Longitud de trams	Amplada carril	Inici del tram	Final del trams	Descripció
180	10	3	3	1150000	3500	0	1150000	"Sortida AP7(Barbera del Valles)- Entrada 8(Cerdanyola del Valles)"
181	40	3	3	1150000	3500	1150000	2300000	"Sortida AP7(Barbera del Valles)- Entrada 8(Cerdanyola del Valles)"
190	10	3	3	800000	3500	2300000	3100000	"Entrada 8(Cerdanyola del Valles)- Sortida 4(Cerdanyola del Valles)"
191	50	3	3	800000	3500	3100000	3900000	"Entrada 8(Cerdanyola del Valles)- Sortida 4(Cerdanyola del Valles)"
200	40	3	3	900000	3500	3900000	4800000	"Sortida 4(Cerdanyola del Valles)- Entrada 3(Cerdanyola del Valles)"
210	10	3	3	900000	3500	4800000	5700000	"Entrada 3(Cerdanyola del Valles)- Sortida Benzinera(Barcelona)"
211	50	3	3	800000	3500	5700000	6500000	"Entrada 3(Cerdanyola del Valles)- Sortida Benzinera(Barcelona)"
220	40	3	3	550000	3500	6500000	7050000	"Sortida Benzinera(Barcelona)- Entrada Benzinera(Barcelona)"
230	10	3	3	800000	3500	7050000	7850000	"Entrada Benzinera(Barcelona)- Final(Barcelona)"
231	10	3	3	800000	3500	7850000	8650000	"Entrada Benzinera(Barcelona)- Final(Barcelona)"

3.2.4. Tipus de trams

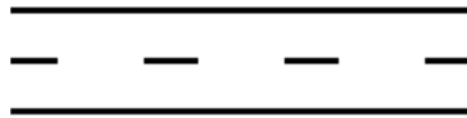
Com s'ha vist en l'anterior punt, hi ha una necessitat de seccionar trams. Es evident que no es el mateix un tram recte, on només s'ha de gestionar les trajectòries dels vehicles, que un tram amb una entrada de vehicles o una sortida. Es per això que de forma genèrica s'ha definit unes tipologies de trams que es poden adaptar a qualsevol altre tram d'autopista simulat.

3.2.4.1. Trams rectes

Son els trams corresponents a la tipologia número 10 i 11. Aquest trams son els més generals de tots. Amb la longitud marcada, s'inicia i es finalitza amb el mateix nombre de carrils. El tram número 10 es el que conté tres carrils i el tram número 11 el que conté dos carrils.



Il·lustració 17. Tram número 10



Il·lustració 18. Tram número 11

3.2.4.2. Trams amb entrada de vehicles

Son els trams corresponents a la tipologia número 40 i 41. Aquest trams son els que contenen una entrada. Com es veu en les següents il·lustracions, les entrades estan situades al final del tram amb un carril d'acceleració d'una longitud de 150 metres. Amb la longitud marcada, s'inicia i es finalitza amb el mateix nombre de carrils. El tram número 40 es el que conté tres carrils i el tram número 41 el que conté dos carrils.



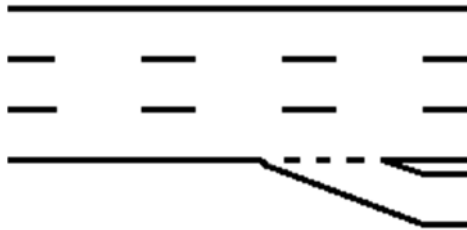
Il·lustració 19. Tram número 40



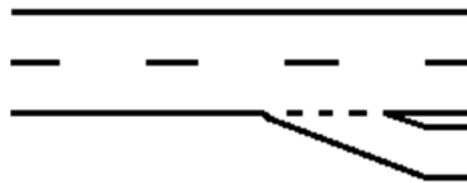
Il·lustració 20. Tram número 41

3.2.4.3. Trams amb sortida de vehicles

Son els trams corresponents a la tipologia número 50 i 51. Aquest trams son els que contenen una sortida. Com es veu en les següents il·lustracions, les sortides estan situades al final del tram, començant 150 metres abans del punt final del tram. Amb la longitud marcada, s'inicia i es finalitza amb el mateix nombre de carrils. El tram número 50 es el que conté tres carrils i el tram número 51 el que conté dos carrils.



Il·lustració 21. Tram número 50



Il·lustració 22. Tram número 51

3.2.5. Paràmetres de circulació

Un dels objectes d'estudi que pot oferir la simulació es l'estudi de les velocitats de circulació, ja que si hi ha una eficiència de la gestió en el trànsit, es pot arribar incrementar la velocitat de circulació sense que això representi un perill pels viatjants. Amb tot, més enllà de les possibilitats, estudiem les normes de velocitat actual.

Taula 12. Velocitats marcades per llei a Espanya

<i>Màxima velocitat</i>	<i>Velocitats Inter mitges</i>	<i>Velocitats Inter mitges</i>	<i>Mínima velocitat</i>
120 (km/h)	100 (km/h)	90 (km/h)	80 (km/h)
Turismes i motocicletes	Autobusos, vehicles derivats de turisme i vehicles mixtes adaptables	Camions, vehicles articulats, tracto camions , furgons i automòbils amb remolc fins a 750Kg	Resta de vehicles amb remolc

Vist el reglament de direcció general de tràfic, es pren com a velocitat màxima de l'autopista a simular de 120Km/h en el cas de tres carrils i un límit de 100Km/h en el cas de dos. Així doncs queda:

- Trams de dos carrils: Carril de l'esquerra a 100Km/h, carril de la dreta a 80Km/h.
- Trams de tres carrils: Carril de l'esquerra a 120Km/h, carril del mig a 100Km/h i carril de la dreta a 80Km/h.

3.2.6. Tipologies de vehicles

El sistema automatitzat, com ja s'ha dit, requereix que els vehicles que entrin al sistema tinguin uns mínims requisits tecnològics. Però, a més a més, cal que cada vehicle quedi classificat per a que el sistema pugui calcular la macro trajectòria. Per això hi ha una classificació en funció, principalment de:

- Tipus de vehicle (automòbil, furgó, camió, etc...)
- Mesures
- Potència

A continuació es mostrarà una taula amb les principals tipologies i les seves variants:

- **Vehicles turismes**

Taula 13. Tipus de turismes

<i>Categoria</i>	<i>Potència (CV)</i>	<i>Relació (kg/cv)</i>	<i>Categoria</i>	<i>Acceleració (s)</i>
<i>Turismes</i>	60 - 75	15 - 18	14	13,51 – 16,10
	75 - 105	13 - 14	13	11,01 – 13,50
	98 - 140	10 - 12	12	9,45 – 11,00
	120 - 240	8 - 9	11	7,51 - 9,44
	180 -	- 7	10	7,50

<i>Acceleració (m/s²)</i>	<i>Velocitat màxima (km/h)</i>	<i>Llargada (mm)</i>	<i>Amplada (mm)</i>	<i>Alçada (mm)</i>
1,73 - 2,00	155	3557 - 4043	1641 - 1693	1428 - 1460
2,01 - 2,25	180	3727 - 4769	1654 - 1808	1427 - 1498
2,26 - 2,65	200	3727 - 4769	1654 – 1808	1427 - 1498
2,66 - 3,65	230	3727 - 4915	1654 - 1874	1452 - 1423
3,67 -	250	4312 - 5059	1778 - 1903	1407 - 1423

A mode il-lustratiu:

- Tipus 14



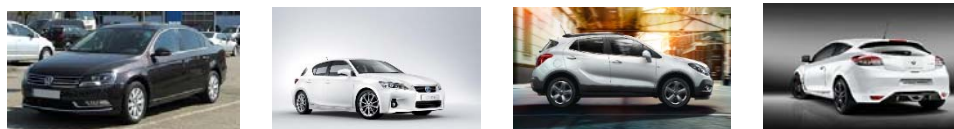
- Tipus 13



- Tipus 12



- Tipus 11



- Tipus 10



- **Vehicles mixtes**

Taula 14. Tipus de vehicles mixtes

<i>Categoria</i>	<i>Potencia (CV)</i>	<i>Relació PMA (kg/cv)</i>	<i>Categoria</i>	<i>Acceleració (s)</i>
<i>Vehicles mixtes</i>	90 - 135	12 - 21	20	11,30 – 15,00
	75 - 130	22 - 33	21	15,01 – 17,50
	94 - 185	34 - 43	22	17,51 –

<i>Acceleració (m/s²)</i>	<i>Velocitat màxima (km/h)</i>	<i>Llargada (mm)</i>	<i>Amplada (mm)</i>	<i>Alçada (mm)</i>
1,70 - 2,46	151 - 181	4275 - 5522	1716 - 1832	1801 - 2067
1,59 - 2,17	145 - 169	4275 - 8484	1716 - 1832	1801 - 2467
2,39 - 2,39	145	5120 - 8484	1740 – 1987	2040 - 2405

A mode il·lustratiu:

- Tipus 20



- Tipus 21



- Tipus 22



- Camions i Autobusos

Taula 15. Tipus de camions i autobusos

<i>Categoria</i>	<i>Potència (CV)</i>	<i>Relació PMA (kg/cv)</i>	<i>Categoria</i>	<i>Acceleració (s)</i>
<i>Autobusos</i>	300 - 450	42 - 63	30	-
<i>Camions</i>	230 - 620	65 - 122	40	-

<i>Acceleració (m/s²)</i>	<i>Velocitat màxima (km/h)</i>	<i>Llargada (mm)</i>	<i>Amplada (mm)</i>	<i>Alçada (mm)</i>
-	-	10790 - 12742	2555	3210 - 3555
-	-	6570 - 12000	2555	2732 - 3949

A mode il·lustratiu:

- Tipus 30



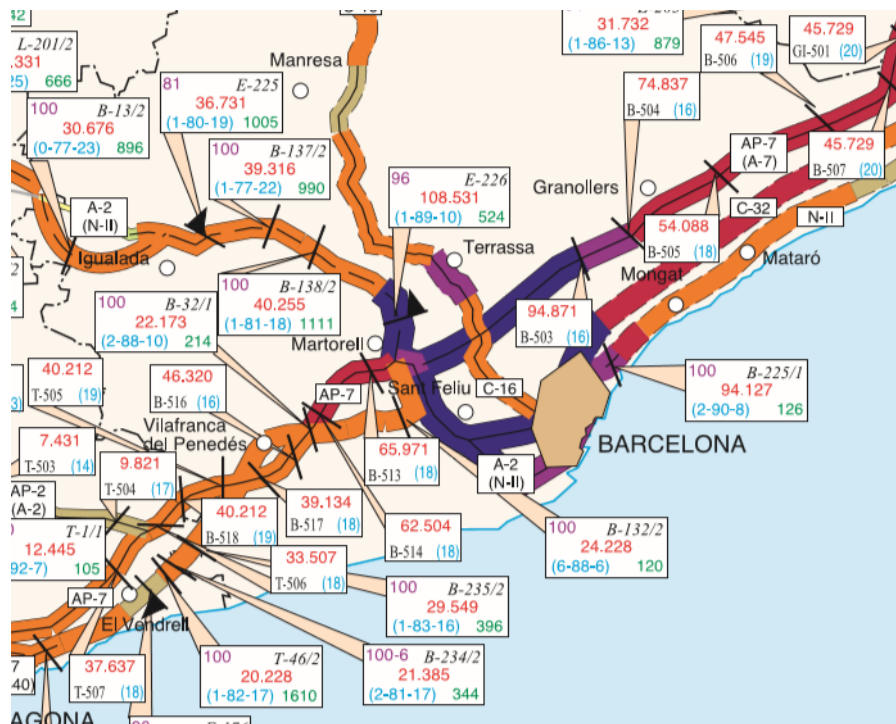
- Tipus 40



3.2.7. Distribució del vehicles en el tram.

Estudiada la tipologia de vehicles que el simulador haurà de simular, cal veure com es distribuirà per als carrils. Es a dir, ara mateix ja sabem quina tipologia de vehicles anirà per cada carril, el que no se sap es, en carrils que on hi ha diverses tipologies de vehicles, quina proporció hi haurà de cada. Per establir un criteri real, s'ha estudiat quina proporció de vehicles de cada tipus circula per a les xarxes vies espanyoles.

Si es mira les dades del ministeri de foment, hi ha la informació de la majoria de trams de carretera i autopista que formen part de la xarxa de carreteres d'Espanya [5]. De la informació que proporciona anualment, hi ha dos valors que ens interessin. En primer lloc, el IMD (intensitat mitja diària) i en segon lloc, el percentatge de motos, vehicles lleuger i vehicles pesats que hi circula. Veiem doncs, en el mapa que la proporció depèn molt del tram simulat, podem dir que la proporció pot esser entre un casi 30% de vehicles pesats a menys d'un 10%. Per a fer un valor que pugui simular un cas real, sense ganes de entrar en un valor estricte, sinó més o menys aproxima, farem la mitja d'aquests rang. Així doncs, acabarem fer una mitja d'un 20% de vehicles pesat en els tram simulat.

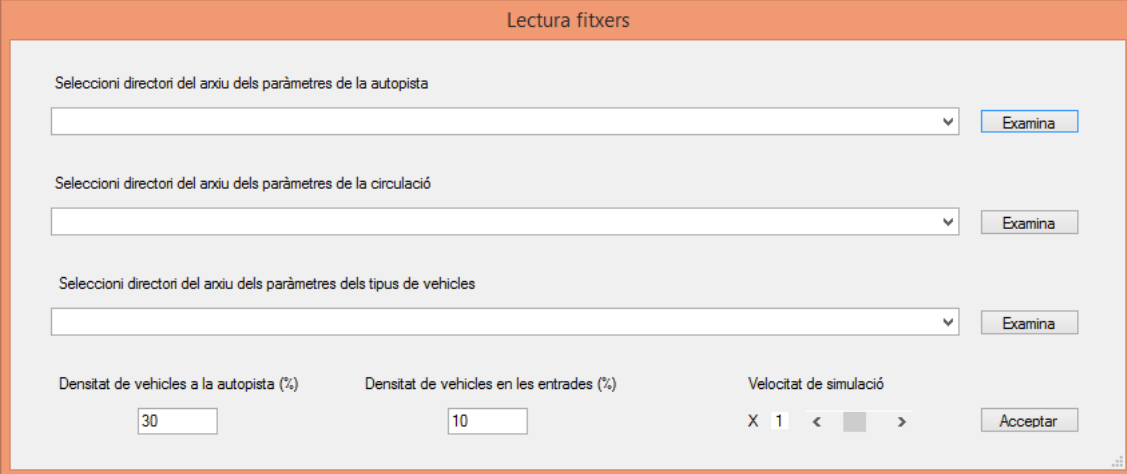


Il·lustració 23. Dades de la proporció de vehicles i nombre de vehicles diaris del 2013 [Font: <http://fomento.gob.es/>]

3.3. El simulador

3.3.1. Paràmetres inicials

Com ve s'ha explicat en l'apartat anterior, per a que l'eina conegui que ha de simular, s'ha d'introduir totes les dades esmentades. Com que la voluntat ha sigut de crear una aplicació dinàmica, capaç d'adaptar-se a qualsevol canvi (dins de les consideracions inicials), aquestes dades s'introduiran prèviament segons el que es necessiti simular. Cal veure que el volum de dades a introduir es elevat, per tant, es demanarà al inici de l'aplicació que s'introdueixi els tres fitxers demanats.



Lectura fitxers

Seleccioni directori del arxiu dels paràmetres de la autopista

Seleccioni directori del arxiu dels paràmetres de la circulació

Seleccioni directori del arxiu dels paràmetres dels tipus de vehicles

Densitat de vehicles a la autopista (%)

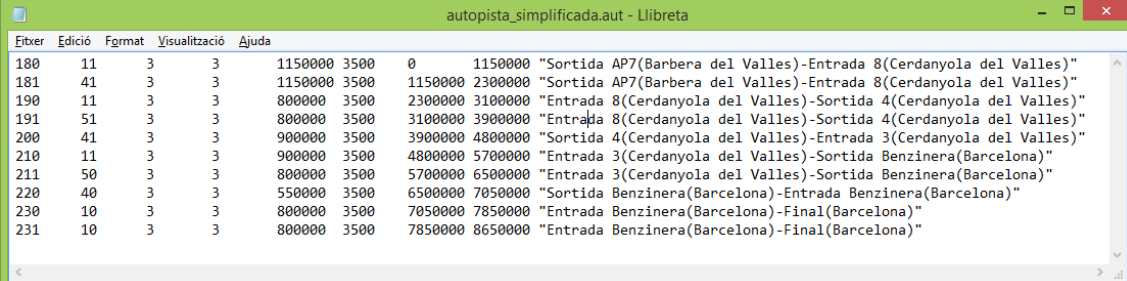
Densitat de vehicles en les entrades (%)

Velocitat de simulació X 1 < >

Examina Examina Examina Acceptar

Il·lustració 24. Inici de l'aplicació

Fitxers introduïts:



Fitxer	Edició	Format	Visualització	Ajuda
180	11	3	3	1150000 3500 0 1150000 "Sortida AP7(Barbera del Valles)-Entrada 8(Cerdanyola del Valles)"
181	41	3	3	1150000 3500 1150000 2300000 "Sortida AP7(Barbera del Valles)-Entrada 8(Cerdanyola del Valles)"
190	11	3	3	800000 3500 2300000 3100000 "Entrada 8(Cerdanyola del Valles)-Sortida 4(Cerdanyola del Valles)"
191	51	3	3	800000 3500 3100000 3900000 "Entrada 8(Cerdanyola del Valles)-Sortida 4(Cerdanyola del Valles)"
200	41	3	3	900000 3500 3900000 4800000 "Sortida 4(Cerdanyola del Valles)-Entrada 3(Cerdanyola del Valles)"
210	11	3	3	900000 3500 4800000 5700000 "Entrada 3(Cerdanyola del Valles)-Sortida Benzinera(Barcelona)"
211	50	3	3	800000 3500 5700000 6500000 "Entrada 3(Cerdanyola del Valles)-Sortida Benzinera(Barcelona)"
220	40	3	3	550000 3500 6500000 7050000 "Sortida Benzinera(Barcelona)-Entrada Benzinera(Barcelona)"
230	10	3	3	800000 3500 7050000 7850000 "Entrada Benzinera(Barcelona)-Final(Barcelona)"
231	10	3	3	800000 3500 7850000 8650000 "Entrada Benzinera(Barcelona)-Final(Barcelona)"

Il·lustració 25. Trams inicials autopista

Fitxer	Edició	Format	Visualització	Ajuda
180	80	100	120	
181	80	100	120	
190	80	100	120	
191	80	100	120	
200	80	100	120	
210	80	100	120	
211	80	100	120	
220	80	100	120	
230	80	100	120	
231	80	100	120	

Il·lustració 26. Dades de circulació

Fitxer	Edició	Format	Visualització	Ajuda				
10	5522	1983	1858	280	3,95	2,4	2315	3
11	5522	1983	1858	250	3,21	2,4	2485	3
12	5522	1983	1858	222	2,67	2,4	2410	3
13	5522	1983	1858	205	2,35	2,4	1895	3
14	5522	1983	1858	173	1,96	2,4	2485	2
20	5522	2420	2499	179	2,30	2,4	5000	2
21	8484	2420	2499	170	1,86	2,4	3010	12
22	8484	2420	2499	145	2,39	2,4	8000	12
30	12000	2550	3979	110	6,00	2,4	40000	13
40	12000	2550	3979	110	6,00	2,4	40000	13

Il·lustració 27. Tipus de vehicles

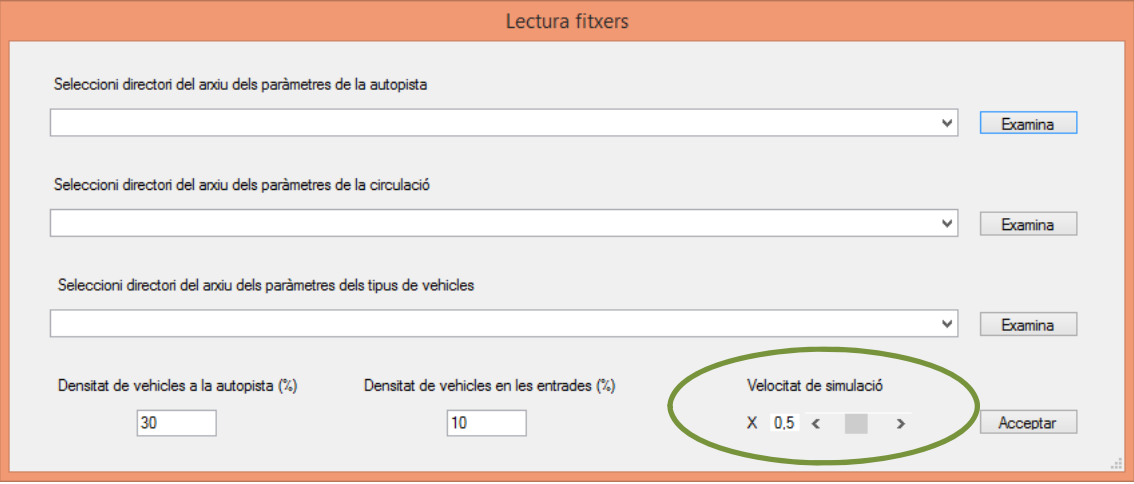
Cal veure doncs, que hi ha tres paràmetres més que es poden escollir, com ara la densitat de l'autopista, la densitat de les entrades i la velocitat de simulació.

El primer i el segon son paràmetres que marcaran la densitat final de l'autopista. Aquests valors aniran del 0 al 100 %. El tercer ja es més propi de la simulació i marcarà la velocitat de simulació. Aquesta velocitat de simulació es pot modificar en un rang de $x0,1$ a $x1$. Amb tot, aquest rang cal explicar que significa i que voldrà dir en termes pràctics. A continuació, en el següent apartat, s'explicarà quines relacions hi ha entre les velocitats reals i les simulades.

Finalment fer esment del control d'errors ja el programa assegura que en tot moment es passin tots els fitxer correctament.

3.3.2. Velocitat de simulació

La simulació es fa a temps real, però es pot modificar. El simulador conté una part visual, en la qual l'usuari pot veure en tot moment el comportament dels vehicles a l'autopista. Aquest serveix per observar el comportament dels vehicles, ja sigui per veure quina tipologia de vehicle és, o quina micro trajectòria es la que té. Llavors, a velocitat real, es complica d'apreciar aquest canvis. Per ser capaços de visualitzar els vehicles amb claredat, cal simular els vehicles a velocitat més reduïda. Es per això que al iniciar la simulació es pot reduir aquesta velocitat. Al inicial del programa, hi ha una barra a la qual pots escollir la velocitat de simulació (Amb valors entre 0,1 i 1).



The screenshot shows a software interface titled "Lectura fitxers". It contains several configuration options:

- A dropdown menu for "Seleccioni directori del arxíu dels paràmetres de la autopista" with an "Examina" button.
- A dropdown menu for "Seleccioni directori del arxíu dels paràmetres de la circulació" with an "Examina" button.
- A dropdown menu for "Seleccioni directori del arxíu dels paràmetres dels tipus de vehicles" with an "Examina" button.
- Input fields for "Densitat de vehicles a la autopista (%)" (value: 30) and "Densitat de vehicles en les entrades (%)" (value: 10).
- A slider control for "Velocitat de simulació" with a value of 0.5, highlighted by a green circle. It includes "X", "<", and ">" symbols.
- An "Acceptar" button.

II-lustració 28. Barra selectora velocitat reproducció

Per a fer la simulació visual en 2D, cal fer una transformació de la realitat per poder visualitzar l'autopista i els vehicles. Es per això que el simulador s'ha d'adaptar a la mesura de visualització de la pantalla. Això implica que hi ha d'haver una transformació metre/píxel, per passar les mides de la carretera i dels vehicles de metres a píxel.

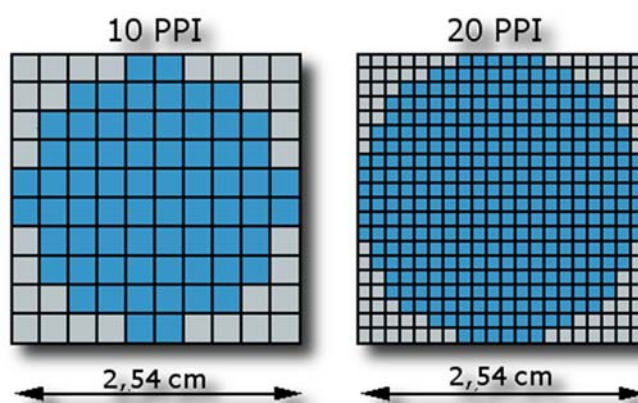
Taula 16. Transformació per a la simulació

Mesures	Simulador (píxels)	Realitat (metres)
X (horitzontal)	5	1
Y (vertical)	5,5	1

Nota: densitat de píxel estàndard d'ús 72ppi

Així doncs, cada mesura en metres es transforma en píxels per a ser visualitzada. A continuació explicarem com afecta a nivell de resolució i densitat de píxel.

El píxel es una mesura relativa a cada pantalla. Cada pantalla d'ordinador conté una certa quantitat de píxels determinada, per posar un exemple, l'ordinador usat per fer la memòria es un Dell Latitude XT3 i conte 1366 x 768 píxels (resolució). Per transformar els píxels a una mesura internacional com el metre, cal saber quina relació es té (l'anomenat densitat de píxel). En l'exemple d'abans, sabent que la diagonal de la pantalla es de 13,3 polzades, sabent que cada polzada es 2,54 cm i sabent els píxels que tenim, es fa la una transformació rapida en la qual ens dona una mesura de píxel de 0,35 mil·límetres aproximadament. Doncs be, la relació aquesta es diu densitat de píxel (ppi), que simplement es un número que ens indica quants números de píxels hi ha en una polzada.

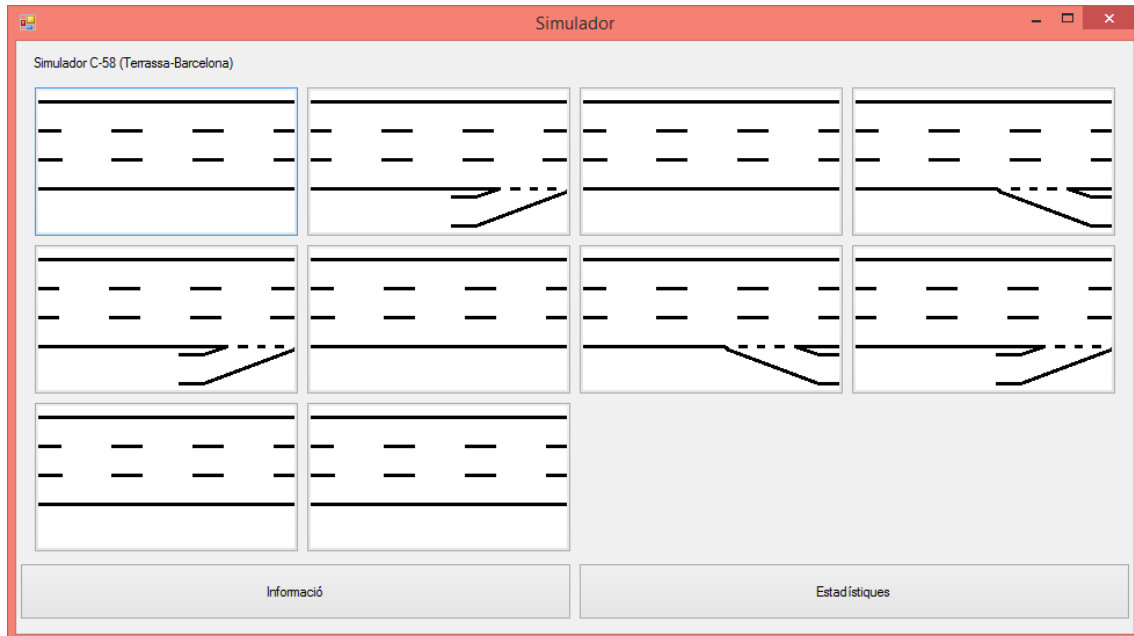


Il·lustració 29. Densitat de píxel [Font: www.fandroides.com]

Per últim, comentar que el simulador té uns temps de refresc de 100ms i un temps de refresc visual 1 segons. (Explicat en el punt 3.4.3. velocitat de refresc de l'eina i de la part visual)

3.3.3. Pantalla principal

Un cop es llegeixen tots el fitxers i paràmetres per a simular, el programa genera la simulació del tram de l'autopista introduït als paràmetres.



Il·lustració 30. Pantalla principal

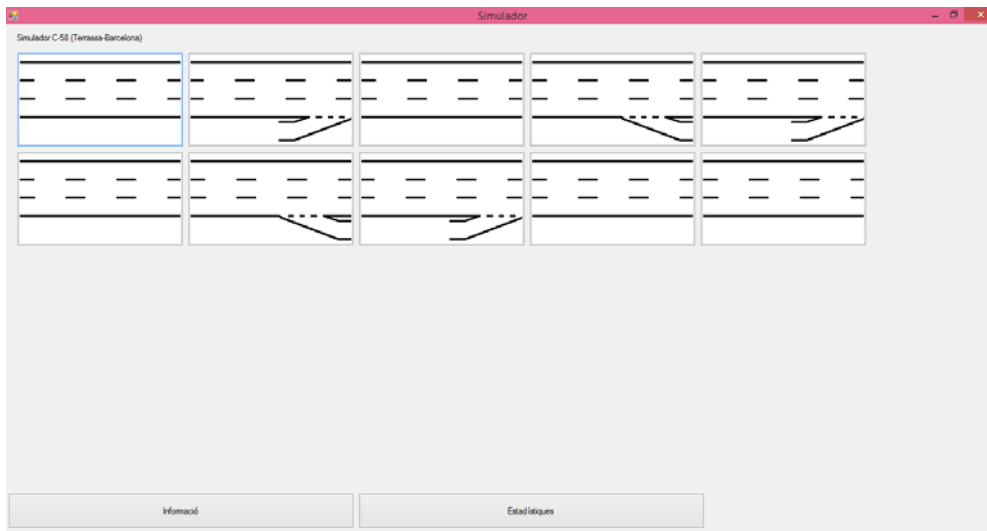
Com es pot veure, hi ha un apartat gràfic on es mostra de forma il·lustrativa com serà visualment aquesta simulació. Es evident que la visió completa de la simulació es una mica complicada ja que els tram simulat es de casi 8Km de longitud. Es per això que la solució utilitzada per a poder fer aquesta simulació es la de fragmentar en trams que no siguin molt llarg (aproximadament 1Km) i que a la vegada siguin trams admesos per a simular.

Com es mostra en l'anterior il·lustració, hi ha un apartat dinàmic de botons on hi ha els trams simulats i seguidament dos botons en la base de la finestra que mostraran informació del funcionament de l'aplicació i estadístiques dinàmiques de l'autopista.

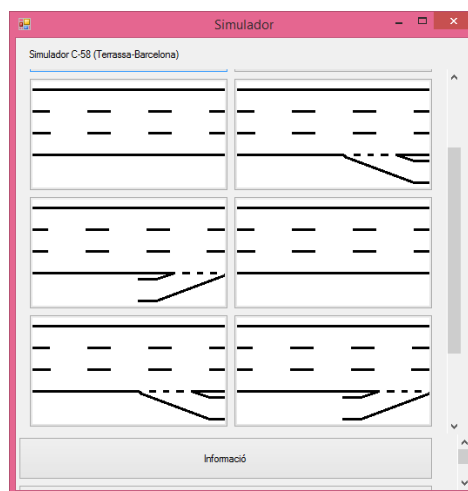
3.3.4. Altres detalls d'implementació

Com es pot veure el l'anterior il·lustració, la pantalla principal genera els trams dinàmicament, però, a nivell visual hi ha la opció de modificar en qualsevol moment les dimensions d'aquesta visualització. Així doncs, l'aplicació pot mostrar en qualsevol moment la finestra amb les mides per defecte o a la que l'usuari vulgui. Així doncs

donen solució per a que qualsevol resolució de pantalla s'adapti al simulador, modificant en tot moment la distribució de la visualització.



Il·lustració 31. Pantalla principal a pantalla completa



Il·lustració 32. Pantalla principal a pantalla reduïda

3.3.5. Visualització dels trams

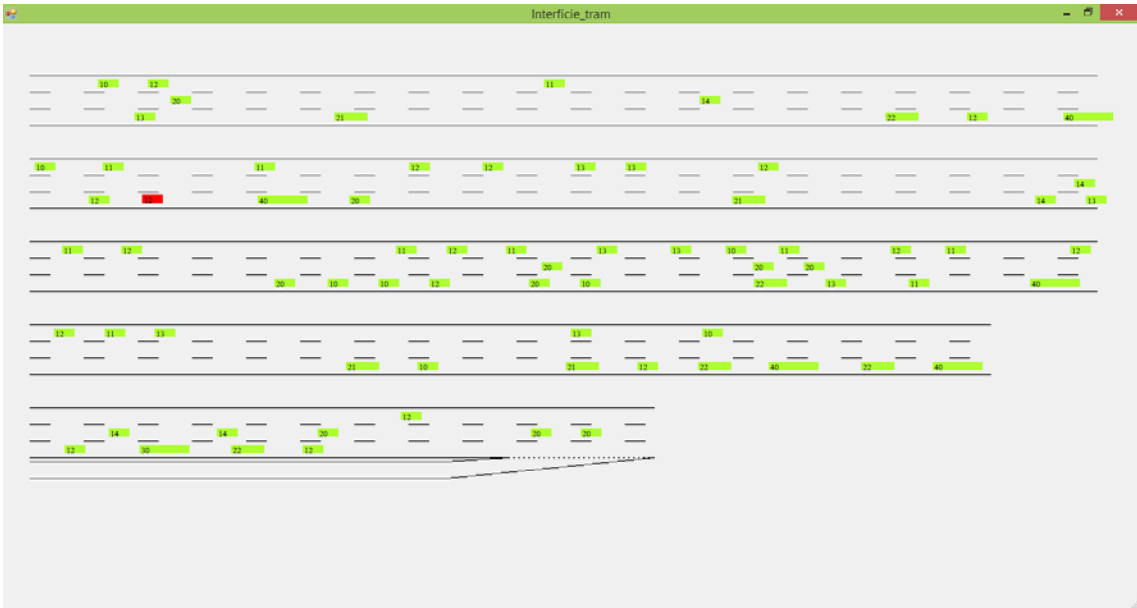
Com s'ha comentat anteriorment, el tram simulat estarà fragmentat amb diversos trams més petits i de diferents característiques. Com també s'ha dit, els trams son generats de forma dinàmica, així que per aquesta raó la generació visual d'aquest també serà dinàmica. En aquest cas, es genera tot el contingut visual en una sola finestra que mostrarà sempre el contingut seleccionat en la pantalla principal.



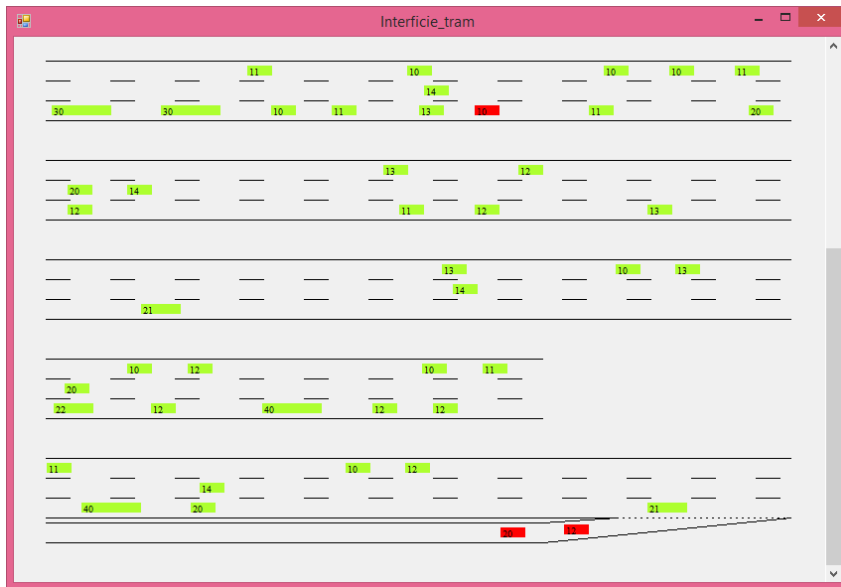
Il·lustració 33. Captura d'una simulació en tram recte de tres carrils

La visualització parteix de dues parts. En una primera part, es fa una lectura del tram simulat segons el tram clicat. Així doncs en primera instància en genera la carretera visual. Seguidament, es fa la lectura dels vehicles que estan circulant en aquell tram en qüestió i es generen en funció de la posició on estan, de l'acció que fan en aquell moment i de la tipologia de vehicle. Un cop es fa això es mostra per pantalla.

Cal veure que segons s'explica en l'apartat de velocitat de simulació (2.2.2. Velocitat de simulació), els trams que es mostren venen reduït a mesura de píxel. Tot i així, si fem càlculs aproximats d'un tram de 1km, representen uns 4000 píxels que, òbviament, per a la majoria de pantalles normals no són reproduïbles. És per això que es decideix crear un mode de visualització capaç de fragmentar aquesta carretera poder-la veure per complet. A més a més, com en la finestra principal, també s'ha volgut donar el dinamisme de visualització generant trams adaptats a les mesures de la finestra. Així, si un vols maximitzar la visualització ho pot fer. O si bé un decideix simular usant només una part de la pantalla també ho pot fer. A continuació es mostrarà unes imatges per veure-ho més clar.



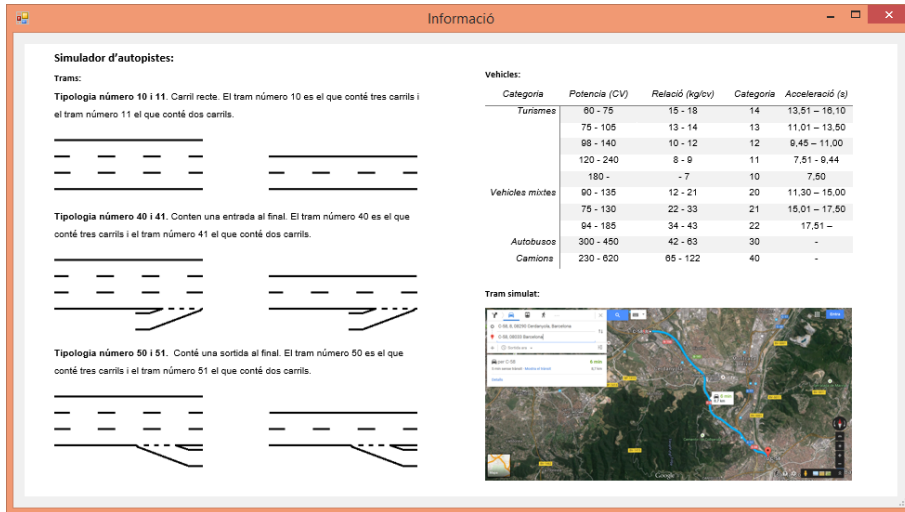
Il·lustració 34. Entrada amb tres carrils a pantalla completa



Il·lustració 35. Entrada amb tres carrils a pantalla petita

3.3.6. Informació

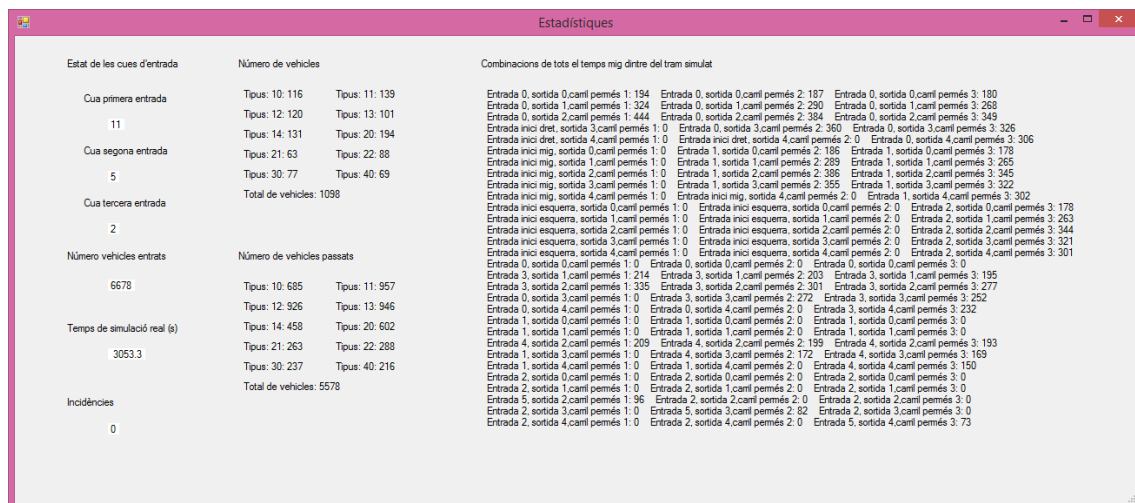
La informació es un apartat on l'usuari pot trobar més informació del que s'està simulant. El fet de que hi hagi aquesta informació es per a fer referència a la simulació que s'està duent a terme. Una guia per a que l'usuari pugui entendre com funciona.



Il·lustració 36. Finestra d'informació

3.3.7. Estadístiques

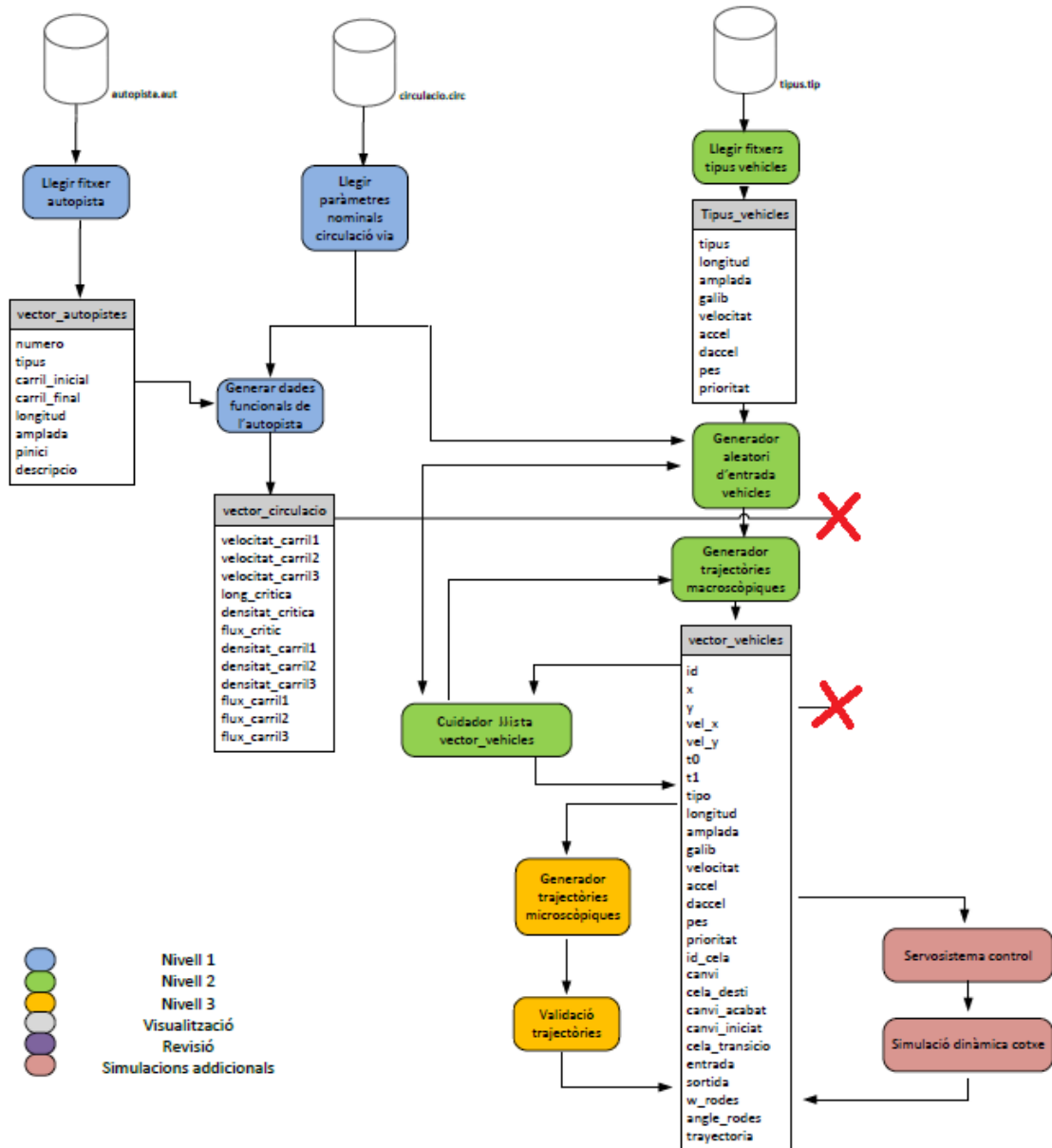
L'apartat d'estadístiques serà l'eina fonamental del projecte, ja que permetrà veure en directe com evoluciona l'estat de la circulació de la carretera en funció dels paràmetres que s'introdueixen. En l'apartat de resultats i anàlisis (punt 3.5. Resultats i anàlisis) es detallarà el contingut d'aquest apartat.



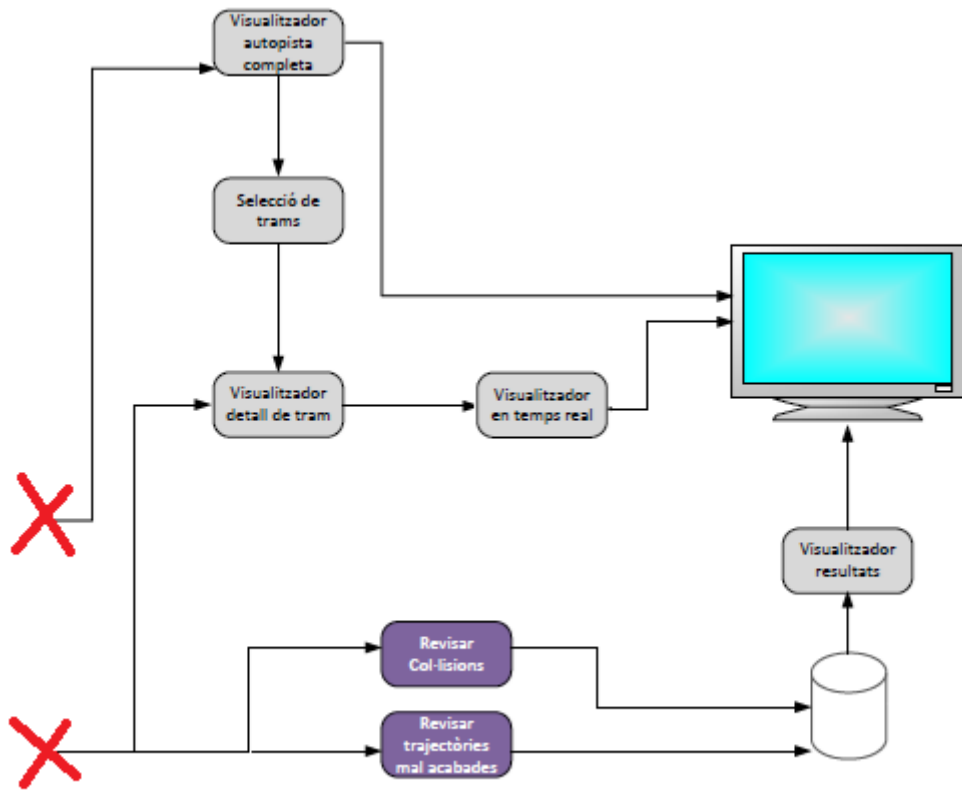
Il·lustració 37. Finestra d'estadístiques

3.3.8. Arquitectura del simulador

Per entendre millor una mica el funcionament de l'eina i comparar-la amb el model teòric del treball precedent, es mostrarà el nou model teòric el qual el simulador haurà de ser capaç de simular.



Il·lustració 38. Arquitectura part 1



Il·lustració 39. Arquitectura part 2

3.4. Funcionament de l'eina

3.4.1. Introducció

En l'anterior apartat del simulador (2.2. El simulador) s'ha explicat el funcionament de l'aplicació per l'usuari que l'estigui utilitzant, explicant moltes coses interessant que fa el simulador, sobretot a nivell gràfic. Amb tot, està enfocat a demostrar que una automatització d'una autopista comportaria moltes millores en l'aspecte de la fluïdesa en el transit. Part d'aquest èxit es degut a l'algorítmica utilitzada i a la generació de les micro i macro trajectòries. Per això procedirem a explicar pas a pas com realitza el programa tot això.

3.4.2. Estructures de dades

Per tal de fer un simulador el més lleuger possible, es necessita que les dades introduïdes i les dades extretes pel funcionament de l'autopista siguin de fàcil accés i lo més eficients possibles. Es per això que a continuació mostrarem un resum de les principals estructures de dades utilitzades.

- Principals estructures de dades: Llistes ordenades

Cal pensar que en tot moment el programa esta fent consultes de totes les dades entrades al sistema. Per això es generen tres llistes ordenades del tipus "SortedList" per als tres principals fitxer. Les raons per a les quals agafem aquest tipus de llistes es que, en primer moment, permeten afegir i treure element de forma casi immediata (imprescindible en la llista de vehicles simulats), i que a més a més ens garanteixen un ordre dels índex que ens interessa per a cada un de les dades tractades.

A continuació es mostraran les capçaleres de cada un dels elements:

- `Friend trams_aut As New SortedList(Of Integer, tram_aut)`
- `Friend circ_trams_aut As New SortedList(Of Integer, circ_tram_aut)`
- `Friend tipus_vehicles As New SortedList(Of Integer, tipus_vehicle)`

Com es pot veure, cada tipus de llista conte l'objecte amb totes les dades pertinents a cada fitxer introduït. A més a més, a partir de les tres llistes generem la llista més important de totes en la qual es basa l'aplicació, la llista de vehicles simulats

- Vehicles simulats: Llista ordenada

La llista de vehicles es la llista més important del simulador, ja que a cada iteració anirem actualitzant aquesta i tot dependrà en bona mesura de estat en que mantinguem la llista. Com es pot veure en la capçalera (`Friend` vehicles `As New SortedList(Of Integer, Vehicle)`) l'objecte vehicle es el més interessant del sistema, per tant, comentarem les dades que conté i explicarem que signifiquen cada un d'ells.

```
id                ' id del vehicle
carril            ' carril pel qual circula
x                ' posició en x de l'autopista
distancia_adelantament ' distància establerta per fer l'adelantament
y                ' posició en y de l'autopista
vel_x            ' velocitat del vehicle en x
vel_x_final      ' velocitat del vehicle al final d'un canvi de carril en x
vel_y            ' velocitat del vehicle en y
acc_x            ' acceleració del vehicle en x
K1_x = -6.8      ' constants del servo en x
K2_x = 4.05

tipo              ' dades del vehicle introduït
longitud
amplada
galib
velocitat
accel
daccel
pes
carril_permes

canvi             ' dades de moment en que es troba el vehicle (molt important)
entrada          ' número d'entrada del vehicle
entrada_x        ' posició en l'autopista de l'entrada del vehicle
sortida          ' número de sortida del vehicle
sortida_x        ' posició en l'autopista de la sortida del vehicle

temps_canvi      ' marcador del tempo del canvi de carril
angle_rodas      ' angle de gir en graus de les rodas per a fer un canvi de carril
angle_rodas_rad  ' angle de gir en radiants de les rodas per a fer un canvi de carril
acc_angular      ' acceleració angular del gir
vel_angular      ' velocitat angular del gir
K1_y = 68.6166379768037 ' constant del servo en y
K2_y = 57.4292931795826
punt_canvi_1     ' variables auxiliar per al canvi
punt_canvi_2
```

- Estructures de dades secundaries i dades comunes

Per la forma de programació que hem usat, es necessari tenir un punt de variables globals per a que les diferents classes es puguin transmetre informació. Aquest es una classe variables globals a partir del qual es genera un objecte anomenat “vg” amb tota la informació a compartir.

A més a més, hi ha altres llistes secundàries per a poder efectua passos de forma dinàmica. Aquestes son les capçaleres de les llistes secundaries.

```
Friend sortides As New SortedList(Of Integer, Integer)
' Llista amb la posició de sortides calculades segons trams introduïts
Friend contador_entrades_dinamic As New SortedList(Of Integer, Integer)
' els comptadors son llistes que contenen els valors en píxels per cada quan
entra un vehicle
Friend contador_tipus_entrades As New SortedList(Of Integer, Integer)
Friend cua_entrades As New SortedList(Of Integer, Integer)
' Comptador amb el nombre de vehicles en cua en cada entrada
Friend random_tipus_vehicle As New SortedList(Of Integer, Integer)
' llista que marca les famílies de tipus de vehicles (ens marca els carrils
permesos de cada vehicle generat)
Friend botons As New SortedList(Of Integer, Button)
' llista de trams generat gràficament
Friend llista_vehicles_tram As New List(Of PictureBox)
' llista de vehicles generats per cada tram gràficament
```

3.4.3. Velocitat de refresc de l'eina i de la part visual

Amb l'eina de desenvolupament, i amb el codi de programació que utilitzem, existeix unes funcions d'interrupció anomenades timers, i que ens van a la perfecció per a que per cada x temps, s'actualitzi el sistema i executi les ordes corresponents a cada vehicle. A més a més, també hi ha una velocitat de refresc amb menys freqüència per anar actualitzant tot allò que va succeint en l'autopista.

El primer timer, el de l'eina te una freqüència de 10Hz, es a dir que cada 0,1 segons, es torna a executar el programa. En el segon timer utilitzat per a la part gràfica, te una freqüència 1Hz, es a dir que cada segon s'actualitza la posició dels vehicles a l'autopista.

3.4.4. Vehicles i distància de seguretat

Donades les tipologies de vehicles explicades en l'apartat anterior, cal veure quin tractament es dona i quina distància de seguretat s'aplica.

Principalment, a nivell pràctic de l'eina, interessa la tipologia de vehicles per a les restriccions de carrils, per a les distàncies de cada vehicle i en conseqüència, per a canvi de carrils.

Taula 17. Vehicles i distància de seguretat

<i>Tipus de vehicle</i>	<i>Carrils permesos</i>	<i>Distància de seguretat (m)</i>
10 - 13	Dret, central i esquerra	5+7 = 12
14 - 20	Dret i central	5+7 = 12
21 - 22	Dret	10+7 = 17
30 - 40	Dret	15+7 = 22

Per que fa a la distància de seguretat, aquesta s'estableix a 7 metres entre cada vehicle. Al annex, es pot veure que es una distància calculada per a poder fer un canvi de carril. Cal veure que si els vehicles no fessin canvis de carril, el vehicles podrien anar empegats un a l'altre de forma teòrica, ja que al ser una carretera automatitzada, els vehicles van sincronitzats i per tant, no hi ha distància mínima de frenada ni tampoc distància de seguretat per al temps de reacció.

3.4.5. Inici

En l'eina de simulació, s'ha optat per no generar o omplir prèviament de vehicles l'inici de simulació. Així doncs, no es fa cap menció especial ni s'executa res especial. Al punt zero de la simulació la carretera està buida, i un cop començada la simulació, es van afegint segons la velocitat de simulació establerta, els vehicles generat aleatòriament per les entrades i per principi de l'autopista.

3.4.6. Entrades (Generar vehicle)

Com es comenta en l'anterior punt, es parteix d'una autopista buida on poc a poc es van introduint cotxes fins arribar a una situació estacionària. Doncs be, si ens fixem, els inicis de cada carretera no tenen més que el comportament d'una entrada qualsevol de vehicles (amb les limitacions de tipologies de vehicles corresponents). El funcionament es senzill, però el fet que no sapiguem quins trams seran introduït al simulador, fa que hi hagi un plus de dificultat.

Primerament hi ha uns comptadors que simulen l'espai d'entrada d'un vehicle. Quan aquest espai es suficient per a que un vehicle pugui entrar, es genera un nombre aleatori del 0 al 100 i es compara amb la densitat permesa. Si es inferior al límit de la densitat s'introdueix vehicle, sinó es "reseteja" el comptador i es repeteix el pas.

Cal tenir en compte que els comptadors varien en funció de l'entrada en qüestió. Si es una entrada general, els comptadors també tenen una variant amb les tres distàncies possibles per a encabir un vehicle, i per tant, garanteix l'entrada equitativa de cada tipus de vehicle.

A més a més, al no saber quin nombre d'entrades es te en el tram simulat, obliga a generar unes cues amb el nombre de comptadors en funció de les entrades.

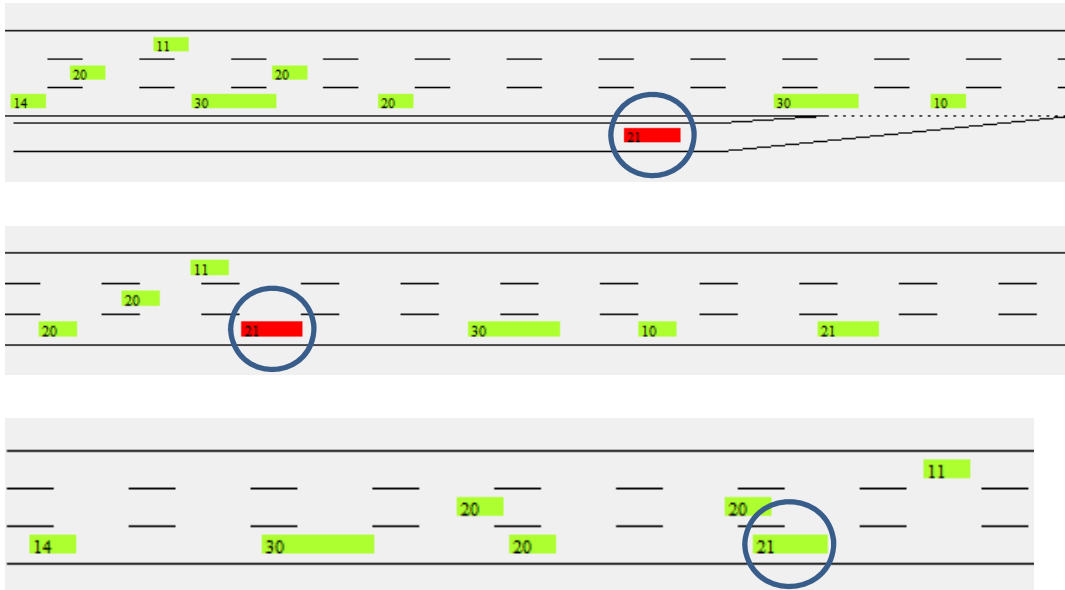
Per últim, en la entrada inicial de l'autopista, es te una situació en la qual apareixen restriccions segons el carril i el tipus de vehicles. Això obliga a tenir unes cues especials que permeten saber per a cada comptador quins tipus de vehicle pot entrar en el carril i quins no.

Per que es vegi mes clar, es posarà un exemple del tram simulat.

Taula 18. Configuracions de cues d'entrada i entrades

<i>Entrades</i>	<i>Comptadors d'espai (m)</i>	<i>Cua d'entrada</i>	<i>Cua tipus de vehicles permesos</i>
<i>Carril esquerra</i>	12	NO	10 - 13
<i>Carril del mig</i>	12	NO	10 - 20
<i>Carril dret</i>	12, 17 i 22	NO	10 - 40
<i>Primera entrada</i>	12, 17 i 22	SI	10 - 40
<i>Segona entrada</i>	12, 17 i 22	SI	10 - 40
<i>Tercera entrada</i>	12, 17 i 22	SI	10 - 40

Un cop establert els criteris i les entrades, cal veure com s'introdueix el vehicle al programa.



Il·lustració 40. Entrada vehicles

3.4.7. Inserir vehicle

Un cop enviada l'ordre d'inserir vehicle per part de les entrades de la autopista, cal veure quins paràmetres calen i que es necessari calcular per poder procedir a la inserció d'un vehicle.

En primera part caldrà saber els paràmetres prèviament sabuts, com el tipus de vehicle que entrarà, prèviament calcular alhora de donar l'ordre d'inserció de vehicle per part de la entrada. Seguidament caldrà saber per quina entrada esta efectuada, en aquest cas pot esser per carril dret, central, esquerra o entrada (3, 2, 1 i 0).

Intrínsecament cal indicar la posició en y i en x i la velocitat del carril al qual s'introdueix el vehicle. Per últim caldrà calcular la sortida del vehicle i el canvi permès. A la taula següent es mostrarà de forma esquemàtica la introducció d'aquets paràmetres.

Taula 19. Dades per inserir vehicle.

<i>Vehicle inserit</i>	<i>Entrada de dades</i>	<i>Descripció</i>
<i>Tipus de vehicle</i>	10 - 40	Inserció del vehicle tipus pertinent amb totes les especificacions del vehicle corresponents
<i>Entrada</i>	0 - 5	Número de entrada del vehicle
<i>Posició entrada</i>	0 - 7650000 (m)	Posició en l'entrada del vehicle (x)
<i>Sortida</i>	0 - 4	Número de sortida del vehicle
<i>Posició sortida</i>	0 - 7650000 (m)	Posició en la sortida del vehicle (x)
<i>x</i>	0 - 7650000 (m)	Posició del vehicle (x)
<i>y</i>	-3500 - 7000 (m)	Posició del vehicle (y)
<i>velocitat</i>	60 - 120 (Km/h)	Velocitat del vehicle segons carril d'entrada
<i>canvi</i>	-1 - 1	Segons el vehicle i el carril d'inserció, s'indica si cal un canvi o no.

De les dades introduïdes, cal fer esment en la importància de veure que la llista de vehicles està ordenada per posició en l'autopista. Per tant, si un vehicle necessita ésser introduït en una entrada del mig de l'autopista, aquest cal veure a quina posició de la llista anirà per garantir l'ordre.

3.4.8. Entrades (Cua d'entrades)

La cua d'entrades es una llista d'espera dels vehicles per inserir que no han pogut entrar i que estan a l'espera del seu torn. Cal veure que un vehicle es posiciona a l'entrada i s'introdueix al carril d'acceleració fins a 60 Km/h i llavors el vehicle comença el procés de canvi de carril a l'esquerra. Es evident que si el vehicle al moment d'iniciar l'entrada hi ha vehicles passant per davant, aquest vehicle ja no entra al sistema, entra a sistema de cues d'entrada fins a que un cop tingui via lliure pugui intrar.

3.4.9. Macro trajectòries

Si ens fixem alhora d'inserir un vehicle, observem de bon principi, calculem per on entra el vehicle i per on surt es funció de les seves especificacions i de la distribució de trams. Així doncs, de bon principi el vehicle te una trajectòria marcada. Aquesta trajectòria marcarà la ruta del vehicle i els carrils per els quals ha d'anar en tot moment.

El control al moment de totes les micro trajectòries es fa a través d'una variable molt important que es diu canvi. Aquesta variable marca en tot moment a quin nivell es troba el vehicle i que ha de fer en tot moment. A continuació es mostrarà una taula amb totes les possibilitat que pot tenir un vehicle amb el programa funcionant.

Taula 20. Trajectòries, variable canvi

<i>Número Canvi</i>	<i>Descripció</i>
-2	Indica que el vehicle ha de prendre immediatament la sortida
-1	Indica que el vehicle només te permís per anar per carril de la dreta
0	Indica que el vehicle te llibertat d'anar pel carril central o pel de l'esquerra segons el tipus de vehicle
1	El vehicle ha arribat a 3Km abans de la seva sortida i ha de posicionar-se pel carril que li permet agafar la seva sortida
10 - 12	El vehicle està marcat per poder efectuar un canvi de carril a l'esquerra. Se li assigna un número del 10 al 12 segons la prioritat en el canvi
20 - 22	El vehicle està marcat per poder efectuar un canvi de carril a la dreta. Se li assigna un número del 10 al 12 segons la prioritat en el canvi
100 -104	El vehicle te lloc suficient per poder efectuar el canvi a l'esquerra i procedeix al canvi. Els valors de 100 a 104 aniran en funció del estat.
200 -204	El vehicle te lloc suficient per poder efectuar el canvi a la dreta i procedeix al canvi. Els valors de 200 a 204 aniran en funció del estat.

Així doncs, en tot moment el vehicle es te un estat segons la macro trajectòria establerta. Cal veure que el vehicle sempre tindrà prioritat per anar pel carril ràpid. Així sempre es garanteix que el vehicle anirà per la trajectòria més ràpida possible.

3.4.10. Micro trajectòries

Un cop establertes les trajectòries general per cada vehicle, en tot moment el sistema intenta, segons el tipus de vehicle, que vagi per carril més ràpid. Així el vehicle que pugui circular per qualsevol carril, tendirà anar per carril ràpid (el de l'esquerra). Així doncs el sistema marcarà el canvi de carril sempre que pugui marcant la variable a 10.

Primer de tot caldrà mirar si el vehicle pot efectuar el canvi. Cal, abans de marcar el canvi a l'esquerra, mirar la disponibilitat del canvi. A continuació es mostrarà els requisits per efectuar el canvi.

Requisits per efectuar el canvi a l'esquerra:

```
' en necessita espai de 14 metres per a fer el canvi més 12 metres del vehicle
' 1. mirem si hi ha l'espai de 26 metres lliure per a fer el canvi a l'esquerra
  1. If vehicle_costat.carril > vehicle_canvi.carril And (vehicle_costat.carril
    - vehicle_canvi.carril) = 1 And 2000 < (vehicle_canvi.x -
    vehicle_costat.x) And (vehicle_canvi.x - vehicle_costat.x) < 28000 Then
      permes = False

' 2. Mirem que no hi hagi cap vehicle del carril esquerra que canviï a al dret.
  2. ElseIf vehicle_costat.carril > vehicle_canvi.carril And
    (vehicle_costat.carril - vehicle_canvi.carril) = 1 And
    vehicle_costat.canvi > 200 And (vehicle_canvi.x - vehicle_costat.x) <
    28000 Then
      permes = False

' 3. Mirem que no hi hagi un vehicle amb prioritat més alta de canvi.
  3. ElseIf vehicle_costat.canvi = 12 And vehicle_costat.canvi <>
    vehicle_canvi.canvi And (vehicle_canvi.x - vehicle_costat.x) < 28000 Then
      permes = False
    ElseIf vehicle_costat.canvi = 11 And vehicle_costat.canvi <>
    vehicle_canvi.canvi And (vehicle_canvi.x - vehicle_costat.x) < 28000 Then
      permes = False

' 4. Mirem que no hi hagi cap vehicle del mateix carril fent el mateix canvi.
  4. ElseIf vehicle_costat.carril = vehicle_canvi.carril And
    vehicle_costat.canvi > 100 And 105 > vehicle_costat.canvi And
    (vehicle_canvi.x - vehicle_costat.x) < 28000 Then
      permes = False
End If
```

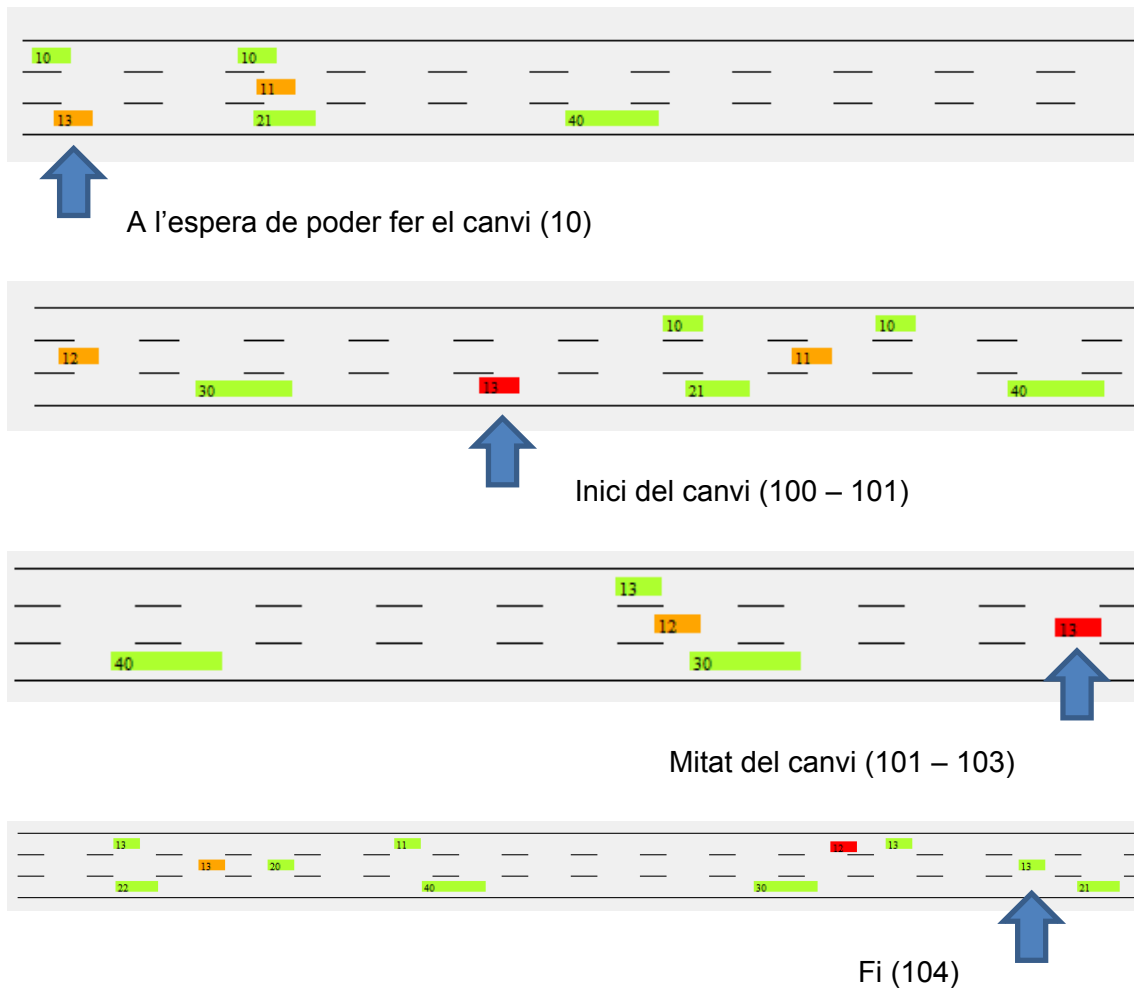
Així doncs, quan es marqui un canvi cap a l'esquerra, aquest passarà al estat de canvi 100. Per veure com funciona, mostrarem una taula amb el procés de canvi de carril a la l'esquerra i el passos que realitza l'eina.

Procés de canvi a l'esquerra.

Taula 21. Trajectòries, canvi de carril a la esquerra

<i>Estat</i>	<i>Canvi</i>	<i>Descripció</i>
<i>Inicial canvi</i>	10 - 12	El vehicle està marcat per poder efectuar un canvi de carril a l'esquerra. Se li assigna un número del 10 al 12 segons la prioritat en el canvi
<i>Acceleració en Y</i>	100	El vehicle procedeix a efectuar el canvi. A velocitat constant comença a activar el servo i comença el gir de les rodes davanteres
<i>Acceleració en X i Y</i>	101	El vehicle es troba amb el servo activat i efectuant un increment de l'angle de gir del vehicle. Paral·lelament es comença a accelerar el vehicle. Es canvia d'estat quan s'arriba al màxim de gir permès i cal una disminució d'aquest.
<i>Acceleració en X</i> <i>Desacceleració en Y</i>	102	El vehicle es troba amb el servo activat i efectuant un decrement de l'angle de gir del vehicle. Paral·lelament es segueix amb la màxima acceleració del vehicle. Es canvia d'estat quan hi ha un decrement de l'acceleració.
<i>Desacceleració en X</i> <i>Desacceleració en Y</i>	103	El vehicle es troba amb el servo pràcticament desactivat, el canvi en Y ja està casi efectuat. El vehicle comença una desacceleració en X que portarà el vehicle a la nova velocitat. Un cop el canvi estigui efectuat es procedirà a la fi del canvi.
<i>Fi canvi</i>	104	El vehicle ha acabat el canvi de carril a l'esquerra. Es procedeix a actualitzar les dades del vehicle, la nova velocitat, el nou carril i "resetejar" les variables auxiliar utilitzades pel canvi.

A continuació es mostrarà la seqüència visual d'avançament d'un vehicle tipus 13.



Il·lustració 41. Seqüència canvi a l'esquerra

Un cop realitzats el canvis per obtenir la trajectòria més ràpida, la simulació va avançant fins arribar a 3Km abans del final de la trajectòria de cada vehicle, ja sigui sortint per una sortida com sortint pel final de l'autopista. Cal veure que en el moment en que el vehicle ha de sortir, el canvi es prioritari.

Així doncs, quan el sistema detecta que el vehicle necessita començar a posicionar-se en el carril que li pertoca, el sistema des habilita la possibilitat d'anar pel carril més ràpid canviant el seu estat de canvi a 1. Just en aquest moment el sistema comença a comprovar si està al carril correcte per a la sortida i efectua el canvi a la dreta si es necessari. A continuació explicarem com es realitza aquest canvi.

Requisits per efectuar el canvi a la dreta:

```
' en necessita espai de 14 metres per a fer el canvi més 12 metres del vehicle,
si es del tipus 10 al 20, més 17 metres si el tipus es del 21 al 22 i més
22metres si el vehicle es del tipus 30 al 40.
' 1. Mirem si hi ha l'espai de 26 metres lliure per a fer el canvi a la dreta
  1. If vehicle_costat.carril < vehicle_canvi.carril And (vehicle_canvi.carril
    - vehicle_costat.carril) = 1 And -2000 < (vehicle_costat.x -
    vehicle_canvi.x) And (vehicle_costat.x - vehicle_canvi.x) < 24000 Then
      permes = False

' 2. Mirem si hi ha l'espai de 31 metres lliure per a fer el canvi a la dreta
  2. ElseIf vehicle_costat.carril < vehicle_canvi.carril And
    (vehicle_canvi.carril - vehicle_costat.carril) = 1 And -7000 <
    (vehicle_costat.x - vehicle_canvi.x) And vehicle_costat.carril_permes = 12
    And (vehicle_costat.x - vehicle_canvi.x) < 24000 Then
      permes = False

' 3. Mirem si hi ha l'espai de 36 metres lliure per a fer el canvi a la dreta
  3. ElseIf vehicle_costat.carril < vehicle_canvi.carril And
    (vehicle_canvi.carril - vehicle_costat.carril) = 1 And -12000 <
    (vehicle_costat.x - vehicle_canvi.x) And vehicle_costat.carril_permes = 13
    And (vehicle_costat.x - vehicle_canvi.x) < 24000 Then
      permes = False

' 4. Mirem que no hi hagi cap vehicle del carril dret que canviï a l'esquerra.
  4. ElseIf vehicle_costat.carril < vehicle_canvi.carril And
    (vehicle_canvi.carril - vehicle_costat.carril) = 1 And 100 <
    vehicle_costat.canvi And vehicle_costat.canvi < 200 And (vehicle_costat.x
    - vehicle_canvi.x) < 24000 Then
      permes = False

' 5. Mirem que no hi hagi un vehicle amb prioritat més alta de canvi.
  5. ElseIf vehicle_costat.canvi = 22 And vehicle_costat.canvi <>
    vehicle_canvi.canvi And (vehicle_costat.x - vehicle_canvi.x) < 24000 Then
      permes = False
    ElseIf vehicle_costat.canvi = 21 And vehicle_costat.canvi <>
    vehicle_canvi.canvi And (vehicle_costat.x - vehicle_canvi.x) < 24000 Then
      permes = False

' 6. Mirem que no hi hagi cap vehicle del mateix carril fent el mateix canvi.
  6. ElseIf vehicle_costat.carril = vehicle_canvi.carril And
    vehicle_costat.canvi > 200 And 205 > vehicle_costat.canvi And
    (vehicle_costat.x - vehicle_canvi.x) < 24000 Then
      permes = False
```

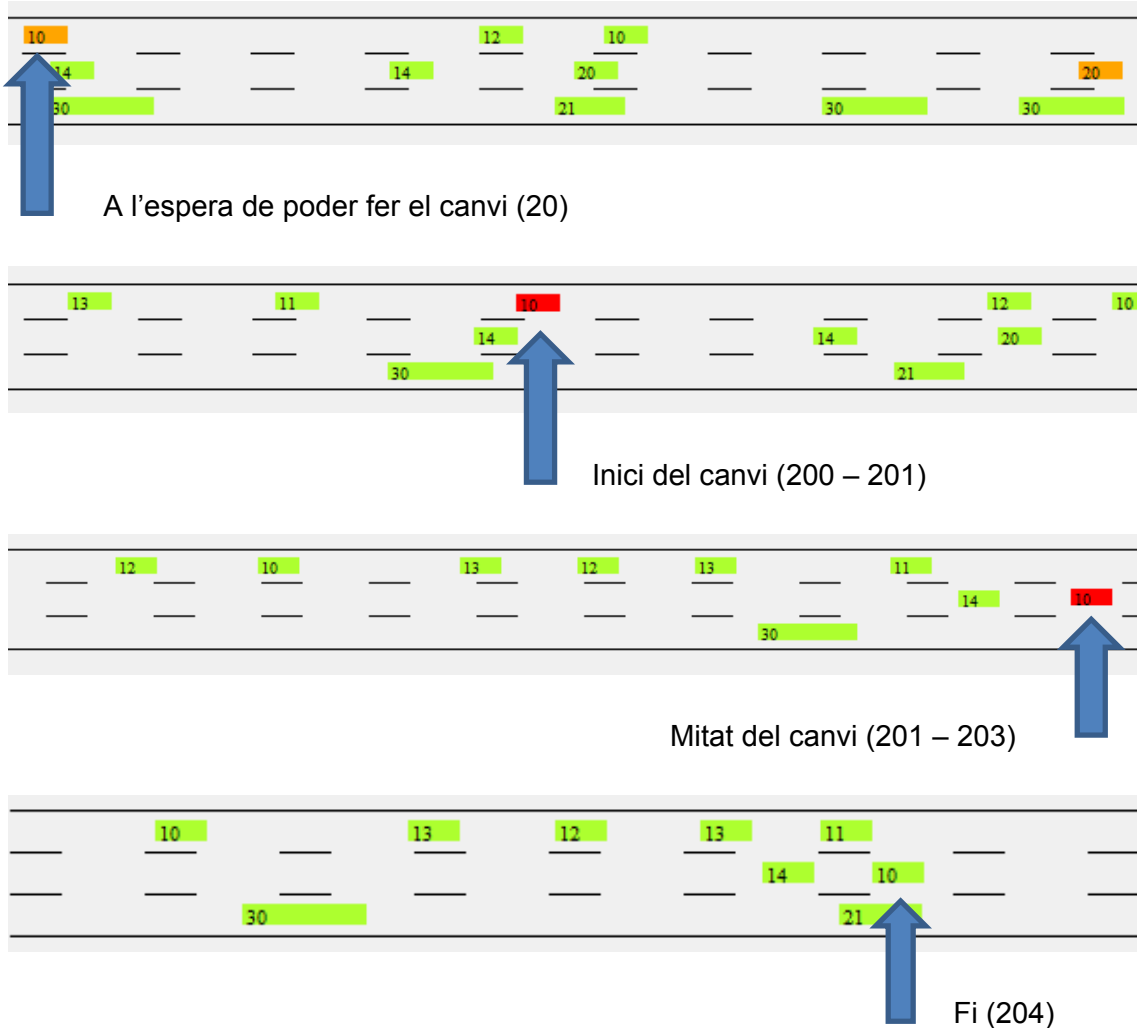
Així doncs, quan es marqui un canvi cap a la dreta, aquest passarà al estat de canvi 200. Per veure com funciona, mostrarem una taula amb el procés de canvi de carril a la l'esquerra i el passos que realitza l'eina.

Procés de canvi a la dreta.

Taula 22. Trajectòries, canvi de carril a la dreta

<i>Estat</i>	<i>Canvi</i>	<i>Descripció</i>
<i>Inicial canvi</i>	20 - 22	El vehicle està marcat per poder efectuar un canvi de carril a la dreta. Se li assigna un número del 20 al 22 segons la prioritat en el canvi
<i>Acceleració en Y</i>	200	El vehicle procedeix a efectuar el canvi. A velocitat constant comença a activar el servo i comença el gir de les rodes davanteres
<i>Desacceleració en X i Acceleració en Y</i>	201	El vehicle es troba amb el servo activat i efectuant un increment de l'angle de gir del vehicle. Paral·lelament es comença a desaccelerar el vehicle. Es canvia d'estat quan s'arriba al màxim de gir permès i cal una disminució d'aquest.
<i>Desacceleració en X</i>	202	El vehicle es troba amb el servo activat i efectuant un decrement de l'angle de gir del vehicle. Paral·lelament es segueix amb la màxima desacceleració del vehicle. Es canvia d'estat quan hi ha un decrement de la desacceleració.
<i>Desacceleració en Y</i>		
<i>Acceleració en X</i>	203	El vehicle es troba amb el servo pràcticament desactivat, el canvi en Y ja està casi efectuat. El vehicle comença una acceleració en X que portarà el vehicle a la nova velocitat. Un cop el canvi estigui efectuat es procedirà a la fi del canvi.
<i>Desacceleració en Y</i>		
<i>Fi canvi</i>	204	El vehicle ha acabat el canvi de carril a la dreta. Es procedeix a actualitzar les dades del vehicle, la nova velocitat, el nou carril i "resetejar" les variables auxiliar utilitzades pel canvi.

A continuació es mostrarà la seqüència visual de canvi de carril a la dreta d'un vehicle tipus 13.



Il·lustració 42. Seqüència canvi a la dreta

3.4.11. Sortides

Ahora d'introduir un vehicle i introduir totes les dades, cal saber la sortida que necessita per calcular la seva trajectòria. Per a fer això i com que no sabem el nombre de sortides del tram simulat, es genera una cua al inici de la lectura de trams amb totes les sortides, incloent les sortides del final de la carretera (sent dos per a dos carrils i tres per a tres carrils). Aquesta cua marcarà el número de sortida i la seva posició x en l'espai del tram.

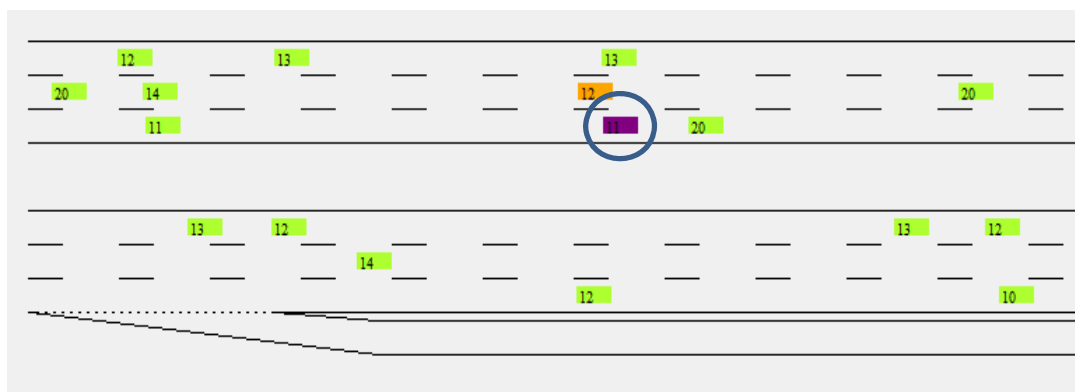
Cal tenir en compte que hi ha tipus de vehicle que no podran sortir per totes les sortides. Si tenim tipus de vehicle del 21 al 40, s'ha de veure que no passin del carril dret en cap moment. A Continuació mostrarem un l'exemple del tram que simulem.

Taula 23. Configuracions de les sortides

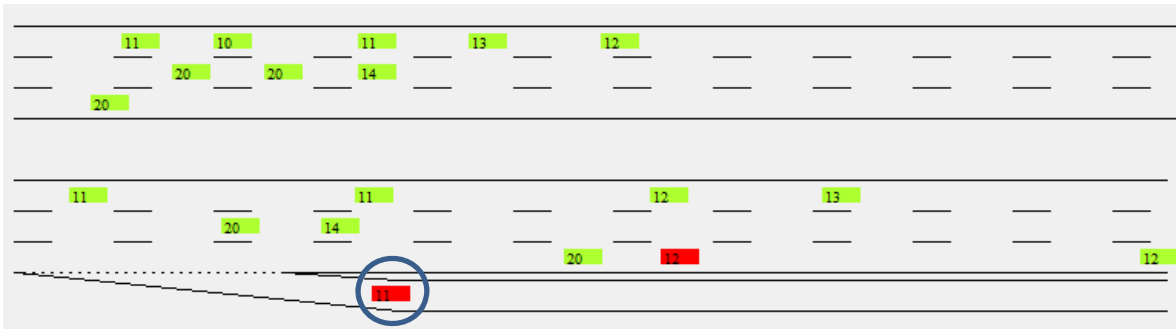
<i>sortides</i>	<i>Marcador</i>	<i>Cua de sortides</i>	<i>Tipus de vehicles permesos</i>
<i>Primera sortida</i>	SI	NO	10 - 40
<i>Segona sortida</i>	SI	NO	10 - 40
<i>Carril dret</i>	NO	NO	10 - 40
<i>Carril del mig</i>	NO	NO	10 - 20
<i>Carril esquerra</i>	NO	NO	10 - 13

Per mostrar un efecte visual de que el vehicle efectuarà la sortida, es col·loca un marcador que marcarà el vehicle 150 metres abans de la sortida indicant que procedirà a prendre la sortida immediatament.

Un cop ha pres la sortida, el vehicle serà eliminat en la posició indicada i la llista es reordenarà sense el vehicle en qüestió.



Il·lustració 43. Sortida vehicle numero 11 (inicial)



Il·lustració 44. Sortida vehicle numero 11 (final)

3.4.12. Garantia de llista ordenada

Cal veure que la majoria de de funcions parteixen de fer cerques ordenades. Es per això que cal, a cada avanç de vehicles comprovar que la llista estigui ordenada en posició x. Cal veure que tot i que visualment els vehicles estiguin en tres carrils o dos carrils per separats, la implementació es la d'una cua molt llarga d'un tipus vehicle que sempre es manté en ordre. A més a més, els vehicles sempre tenen velocitats diferents, així que fàcilment a cada moment es faran canvi d'ordre a la llista.

3.5. Resultats i Anàlisis

Un cop coneguda l'eina i el simulador, s'ha de poder comprovar que, a nivell experimental podem treure les mateixes dades empíriques. Per això, el simulador té un apartat d'estadístiques que mostrarà "en viu" les dades de l'autopista. A continuació veurem quines dades es mostren i per què.

3.5.1. Resultats mostrats

Com es veu en la següent il·lustració, es mostra el conjunt de resultats que aporten informació sobre els paràmetres de circulació del tram d'autopista simulat. Aquest conjunt de resultats tenen una finalitat que a continuació explicarem.

Estat de les cues d'entrada	Número de vehicles	Combinacions de tots el temps mig dintre del tram simulat
Cua primera entrada	Tipus: 10: 116 Tipus: 11: 139	Entrada 0, sortida 0, camió permès 1: 194 Entrada 0, sortida 0, camió permès 2: 187 Entrada 0, sortida 0, camió permès 3: 180
11	Tipus: 12: 120 Tipus: 13: 101	Entrada 0, sortida 1, camió permès 1: 324 Entrada 0, sortida 1, camió permès 2: 290 Entrada 0, sortida 1, camió permès 3: 268
Cua segona entrada	Tipus: 14: 131 Tipus: 20: 194	Entrada 0, sortida 2, camió permès 1: 444 Entrada 0, sortida 2, camió permès 2: 384 Entrada 0, sortida 2, camió permès 3: 349
5	Tipus: 21: 63 Tipus: 22: 88	Entrada inici dret, sortida 3, camió permès 1: 0 Entrada 0, sortida 3, camió permès 2: 350 Entrada 0, sortida 3, camió permès 3: 326
Cua tercera entrada	Tipus: 30: 77 Tipus: 40: 69	Entrada inici dret, sortida 4, camió permès 1: 0 Entrada inici dret, sortida 4, camió permès 2: 0 Entrada 0, sortida 4, camió permès 3: 306
2	Total de vehicles: 1098	Entrada inici mig, sortida 0, camió permès 1: 0 Entrada 1, sortida 0, camió permès 2: 186 Entrada 1, sortida 0, camió permès 3: 178
Número vehicles entrats	Número de vehicles passats	Entrada inici mig, sortida 1, camió permès 1: 0 Entrada 1, sortida 1, camió permès 2: 289 Entrada 1, sortida 1, camió permès 3: 265
6678	Tipus: 10: 685 Tipus: 11: 957	Entrada inici mig, sortida 2, camió permès 1: 0 Entrada 1, sortida 2, camió permès 2: 386 Entrada 1, sortida 2, camió permès 3: 345
Temps de simulació real (s)	Tipus: 12: 926 Tipus: 13: 946	Entrada inici mig, sortida 3, camió permès 1: 0 Entrada 1, sortida 3, camió permès 2: 355 Entrada 1, sortida 3, camió permès 3: 322
3053.3	Tipus: 14: 458 Tipus: 20: 602	Entrada inici mig, sortida 4, camió permès 1: 0 Entrada inici mig, sortida 4, camió permès 2: 0 Entrada 1, sortida 4, camió permès 3: 302
Incidències	Tipus: 21: 263 Tipus: 22: 288	Entrada inici esquerra, sortida 0, camió permès 1: 0 Entrada inici esquerra, sortida 0, camió permès 2: 0 Entrada 2, sortida 0, camió permès 3: 178
0	Tipus: 30: 237 Tipus: 40: 216	Entrada inici esquerra, sortida 1, camió permès 1: 0 Entrada inici esquerra, sortida 1, camió permès 2: 0 Entrada 2, sortida 1, camió permès 3: 263
	Total de vehicles: 5578	Entrada inici esquerra, sortida 2, camió permès 1: 0 Entrada inici esquerra, sortida 2, camió permès 2: 0 Entrada 2, sortida 2, camió permès 3: 344
		Entrada inici esquerra, sortida 3, camió permès 1: 0 Entrada inici esquerra, sortida 3, camió permès 2: 0 Entrada 2, sortida 3, camió permès 3: 321
		Entrada inici esquerra, sortida 4, camió permès 1: 0 Entrada inici esquerra, sortida 4, camió permès 2: 0 Entrada 2, sortida 4, camió permès 3: 301
		Entrada 0, sortida 0, camió permès 1: 0 Entrada 0, sortida 0, camió permès 2: 0 Entrada 0, sortida 0, camió permès 3: 0
		Entrada 3, sortida 1, camió permès 1: 214 Entrada 3, sortida 1, camió permès 2: 203 Entrada 3, sortida 1, camió permès 3: 195
		Entrada 3, sortida 2, camió permès 1: 335 Entrada 3, sortida 2, camió permès 2: 301 Entrada 3, sortida 2, camió permès 3: 277
		Entrada 0, sortida 3, camió permès 1: 0 Entrada 3, sortida 3, camió permès 2: 272 Entrada 3, sortida 3, camió permès 3: 252
		Entrada 0, sortida 4, camió permès 1: 0 Entrada 0, sortida 4, camió permès 2: 0 Entrada 3, sortida 4, camió permès 3: 232
		Entrada 1, sortida 0, camió permès 1: 0 Entrada 1, sortida 0, camió permès 2: 0 Entrada 1, sortida 0, camió permès 3: 0
		Entrada 1, sortida 1, camió permès 1: 0 Entrada 1, sortida 1, camió permès 2: 0 Entrada 1, sortida 1, camió permès 3: 0
		Entrada 4, sortida 2, camió permès 1: 209 Entrada 4, sortida 2, camió permès 2: 199 Entrada 4, sortida 2, camió permès 3: 193
		Entrada 1, sortida 3, camió permès 1: 0 Entrada 4, sortida 3, camió permès 2: 172 Entrada 4, sortida 3, camió permès 3: 160
		Entrada 1, sortida 4, camió permès 1: 0 Entrada 1, sortida 4, camió permès 2: 0 Entrada 4, sortida 4, camió permès 3: 150
		Entrada 2, sortida 0, camió permès 1: 0 Entrada 2, sortida 0, camió permès 2: 0 Entrada 2, sortida 0, camió permès 3: 0
		Entrada 2, sortida 1, camió permès 1: 0 Entrada 2, sortida 1, camió permès 2: 0 Entrada 2, sortida 1, camió permès 3: 0
		Entrada 5, sortida 2, camió permès 1: 95 Entrada 2, sortida 2, camió permès 2: 0 Entrada 2, sortida 2, camió permès 3: 0
		Entrada 2, sortida 3, camió permès 1: 0 Entrada 5, sortida 3, camió permès 2: 82 Entrada 2, sortida 3, camió permès 3: 0
		Entrada 2, sortida 4, camió permès 1: 0 Entrada 2, sortida 4, camió permès 2: 0 Entrada 5, sortida 4, camió permès 3: 73

Il·lustració 45. Visualització resultats

3.5.1.1. Tipologies de vehicles en la carretera

Quan introduïm els fitxer de tipus de vehicles, el simulador ha de gestionar l'entrada de vehicles segons l'apartat 2.3.3. Capacitat de l'autopista intel·ligent. En el punt en qüestió es decideix permisos i restriccions segons aproximacions de dades reals d'una autopista estatal. En aquest punt s'intenta comprovar que els paràmetres que configura el simulador concordin amb els teòrics. Es per això que en les simulacions s'intentarà veure quina aproximació s'obté i quines tipologies son les que s'aproximen als valors calculats.

Número de vehicles	
Tipus: 10: 116	Tipus: 11: 139
Tipus: 12: 120	Tipus: 13: 101
Tipus: 14: 131	Tipus: 20: 194
Tipus: 21: 63	Tipus: 22: 88
Tipus: 30: 77	Tipus: 40: 69
Total de vehicles: 1098	
Número de vehicles passats	
Tipus: 10: 685	Tipus: 11: 957
Tipus: 12: 926	Tipus: 13: 946
Tipus: 14: 458	Tipus: 20: 602
Tipus: 21: 263	Tipus: 22: 288
Tipus: 30: 237	Tipus: 40: 216
Total de vehicles: 5578	

Il·lustració 46. Tipologies de vehicles en l'autopista

3.5.1.2. Densitats del tram simulat

Una de les justificacions d'aquest projecte per a la seva viabilitat s'obté de la gestió de la circulació. La millora en la capacitat de l'autopista mantenint la velocitat i garantint el perfecte funcionament d'aquest. Es per això que es fonamental poder comprovar de forma experimental que els paràmetres de densitats calculat poden ser simulat i poden funcionar.

A part de comprovar aquestes millores, també s'ha de poder veure fins a quin punt pot funcionar el simulador sense mostrar fallades. Així doncs, s'anirà simulant jugant amb els paràmetres de densitat en les entrades fins a buscar els límits.

També es comprovarà el nivell en les cues d'entrada. Veure com reaccionen segons la densitat del tram que marquem al inici de la simulació. Veure si el comportament es com el teòric i si a la vegada es garanteix que hi ha millores respecte les dades reals.

Estat de les cues d'entrada	
Cua primera entrada	0
Cua segona entrada	0
Cua tercera entrada	0

Il·lustració 47. Cues de les entrades

3.5.1.3. Temps de trajecte

Una altra de les justificacions, tal com es mostra en l'apartat 2.3.3. Capacitat de l'autopista intel·ligent, es la comprovació teòrica sobre les velocitats de circulació. Amb la gestió de l'autopista automatitzada s'obté un augment del flux de vehicles garantint la velocitat de l'autopista. Així doncs, mentres en una situació real, l'augment de vehicles comporta una disminució de la velocitat, en l'autopista simulada es manté la velocitat inicial del tram.

Un altre factor a comprovar es l'afectació dels canvis de carrils per part de cada vehicle. Així doncs, segons la macro i micro trajectòria del vehicle, es mostraran les mitges de temps i així es podrà comprovar segons les estimacions calculades i veure quin percentatge d'afectació tenen les micro trajectòries.

Combinacions de tots el temps mig dintre del tram simulat

Entrada 0, sortida 0, camil permés 1: 194	Entrada 0, sortida 0, camil permés 2: 187	Entrada 0, sortida 0, camil permés 3: 180
Entrada 0, sortida 1, camil permés 1: 324	Entrada 0, sortida 1, camil permés 2: 290	Entrada 0, sortida 1, camil permés 3: 268
Entrada 0, sortida 2, camil permés 1: 444	Entrada 0, sortida 2, camil permés 2: 384	Entrada 0, sortida 2, camil permés 3: 349
Entrada inici dret, sortida 3, camil permés 1: 0	Entrada 0, sortida 3, camil permés 2: 360	Entrada 0, sortida 3, camil permés 3: 326
Entrada inici dret, sortida 4, camil permés 1: 0	Entrada inici dret, sortida 4, camil permés 2: 0	Entrada 0, sortida 4, camil permés 3: 306
Entrada inici mig, sortida 0, camil permés 1: 0	Entrada 1, sortida 0, camil permés 2: 186	Entrada 1, sortida 0, camil permés 3: 178
Entrada inici mig, sortida 1, camil permés 1: 0	Entrada 1, sortida 1, camil permés 2: 289	Entrada 1, sortida 1, camil permés 3: 265
Entrada inici mig, sortida 2, camil permés 1: 0	Entrada 1, sortida 2, camil permés 2: 386	Entrada 1, sortida 2, camil permés 3: 345
Entrada inici mig, sortida 3, camil permés 1: 0	Entrada 1, sortida 3, camil permés 2: 355	Entrada 1, sortida 3, camil permés 3: 322
Entrada inici mig, sortida 4, camil permés 1: 0	Entrada inici mig, sortida 4, camil permés 2: 0	Entrada 1, sortida 4, camil permés 3: 302
Entrada inici esquerra, sortida 0, camil permés 1: 0	Entrada inici esquerra, sortida 0, camil permés 2: 0	Entrada 2, sortida 0, camil permés 3: 178
Entrada inici esquerra, sortida 1, camil permés 1: 0	Entrada inici esquerra, sortida 1, camil permés 2: 0	Entrada 2, sortida 1, camil permés 3: 263
Entrada inici esquerra, sortida 2, camil permés 1: 0	Entrada inici esquerra, sortida 2, camil permés 2: 0	Entrada 2, sortida 2, camil permés 3: 344
Entrada inici esquerra, sortida 3, camil permés 1: 0	Entrada inici esquerra, sortida 3, camil permés 2: 0	Entrada 2, sortida 3, camil permés 3: 321
Entrada inici esquerra, sortida 4, camil permés 1: 0	Entrada inici esquerra, sortida 4, camil permés 2: 0	Entrada 2, sortida 4, camil permés 3: 301
Entrada 0, sortida 0, camil permés 1: 0	Entrada 0, sortida 0, camil permés 2: 0	Entrada 0, sortida 0, camil permés 3: 0
Entrada 3, sortida 1, camil permés 1: 214	Entrada 3, sortida 1, camil permés 2: 203	Entrada 3, sortida 1, camil permés 3: 195
Entrada 3, sortida 2, camil permés 1: 335	Entrada 3, sortida 2, camil permés 2: 301	Entrada 3, sortida 2, camil permés 3: 277
Entrada 0, sortida 3, camil permés 1: 0	Entrada 3, sortida 3, camil permés 2: 272	Entrada 3, sortida 3, camil permés 3: 252
Entrada 0, sortida 4, camil permés 1: 0	Entrada 0, sortida 4, camil permés 2: 0	Entrada 3, sortida 4, camil permés 3: 232
Entrada 1, sortida 0, camil permés 1: 0	Entrada 1, sortida 0, camil permés 2: 0	Entrada 1, sortida 0, camil permés 3: 0
Entrada 1, sortida 1, camil permés 1: 0	Entrada 1, sortida 1, camil permés 2: 0	Entrada 1, sortida 1, camil permés 3: 0
Entrada 4, sortida 2, camil permés 1: 209	Entrada 4, sortida 2, camil permés 2: 199	Entrada 4, sortida 2, camil permés 3: 193
Entrada 1, sortida 3, camil permés 1: 0	Entrada 4, sortida 3, camil permés 2: 172	Entrada 4, sortida 3, camil permés 3: 169
Entrada 1, sortida 4, camil permés 1: 0	Entrada 1, sortida 4, camil permés 2: 0	Entrada 4, sortida 4, camil permés 3: 150
Entrada 2, sortida 0, camil permés 1: 0	Entrada 2, sortida 0, camil permés 2: 0	Entrada 2, sortida 0, camil permés 3: 0
Entrada 2, sortida 1, camil permés 1: 0	Entrada 2, sortida 1, camil permés 2: 0	Entrada 2, sortida 1, camil permés 3: 0
Entrada 5, sortida 2, camil permés 1: 96	Entrada 2, sortida 2, camil permés 2: 0	Entrada 2, sortida 2, camil permés 3: 0
Entrada 2, sortida 3, camil permés 1: 0	Entrada 5, sortida 3, camil permés 2: 82	Entrada 2, sortida 3, camil permés 3: 0
Entrada 2, sortida 4, camil permés 1: 0	Entrada 2, sortida 4, camil permés 2: 0	Entrada 5, sortida 4, camil permés 3: 73

Il·lustració 48. Combinacions dels recorreguts

Cal veure, com es mostra en la imatge de dalt, que hi ha totes les possibles combinacions possibles de totes les trajectòries existents en el tram simulat.

En la següent taula s'explica amb més claredat els resultats mostrats.

Taula 24. Trajectòries del tram

<i>Trajectòries</i>	<i>Entrades</i>	<i>Sortides</i>	<i>Tipus de vehicles permesos</i>
<i>Trajectòries partint de la entrada carril esquerra</i>	Entrada Carril esquerra	Primera sortida	10 – 13
		Segona sortida	10 – 13
		Carril final esquera	10 – 13
		Carril final central	10 – 13
		Carril final dret	10 – 13
<i>Trajectòries partint de la entrada carril central</i>	Entrada Carril central	Primera sortida	10 – 20
		Segona sortida	10 – 20
		Carril final esquera	10 – 13
		Carril final central	10 – 20
		Carril final dret	10 – 20
<i>Trajectòries partint de la entrada carril dret</i>	Entrada Carril dret	Primera sortida	10 – 40
		Segona sortida	10 – 40
		Carril final esquera	10 – 13
		Carril final central	10 – 20
		Carril final dret	10 – 40
<i>Trajectòries partint de la entrada primera entrada</i>	Primera entrada	Primera sortida	10 – 40
		Segona sortida	10 – 40
		Carril final esquera	10 – 13
		Carril final central	10 – 20
		Carril final dret	10 – 40
<i>Trajectòries partint de la entrada segona entrada</i>	Segona entrada	Segona sortida	10 – 40
		Carril final esquera	10 – 13
		Carril final central	10 – 20
		Carril final dret	10 – 40
<i>Trajectòries partint de la entrada tercera entrada</i>	Tercera entrada	Carril final esquera	10 – 13
		Carril final central	10 – 20
		Carril final dret	10 – 40

3.5.2. Resultats de la simulació

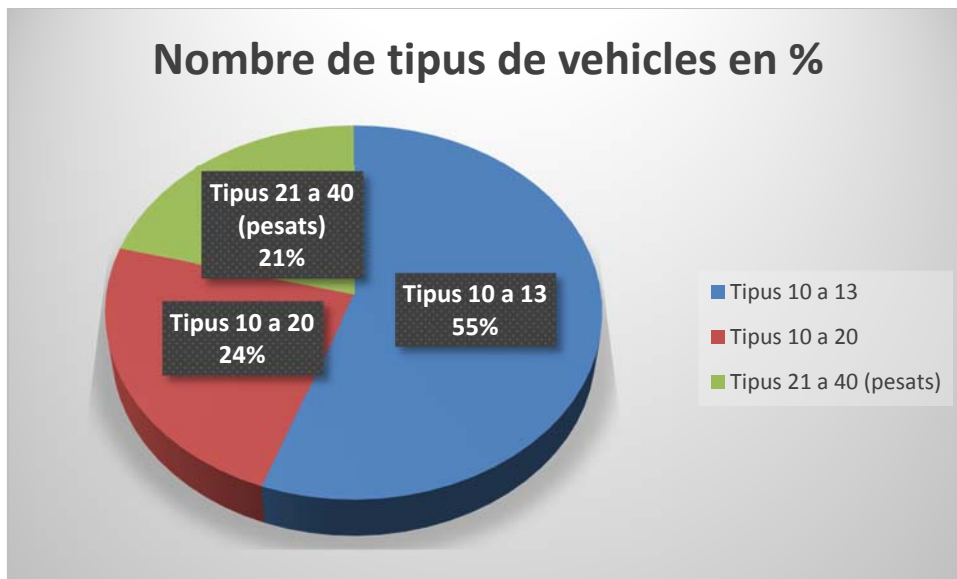
Per a dur a terme els resultats de la simulació cal establir quins criteris s'ha utilitzat per a realitzar les proves. En primer lloc, cal veure els paràmetres a estudiar, es a dir, quins son els "inputs" que modifiquen el comportament del simulador i que cal estudiar. Així doncs, trobem dos variables que es poden modificar, en primer lloc, la velocitat, i en segon lloc les densitats d'entrada de vehicle. Tenint en compte que la variació de les velocitats no afecta al funcionament del tram simulat, ja que la distància de seguretat en si es inexistente i que l'única distància existent es per al avançament, només queda estudiar les densitats.

Així, com es pot veure, el tram simulat apareixen una sèrie d'entrades amb les quals es pot jugar amb les densitats. Així que principalment es basarà amb l'estudi de totes les combinacions possibles d'aquesta variable. Paral·lelament anirem extraient dades estadístiques com el temps de simulació, la tipologia de vehicles, el temps de cada possible recorregut, l'estat de les cues d'entrada i els errors o incidències que poden aparèixer.

3.5.2.1. Tipologies de vehicles introduïts

Les tipologies de vehicles ja han estat comentades anteriorment (en el punt 3.1.6. Tipologies de vehicles). Ara el que procedirem es a la comprovació de la distribució d'aquests vehicles tal i com s'ha dit en el punt anterior (3.2.7.distribució de vehicles en el tram). Recordem, que el criteri era en base a les dades del ministeri de foment que mostrava les dades de la majoria de trams de la xarxa de carreteres i autopistes d'Espanya. Procedíem llavors a afirma que el gruix de vehicles pesats seria del 20%. Doncs a continuació mostrarem de totes les simulacions la mitja dels resultats simulats:

Nota: Veure les dades a l'annex 4.

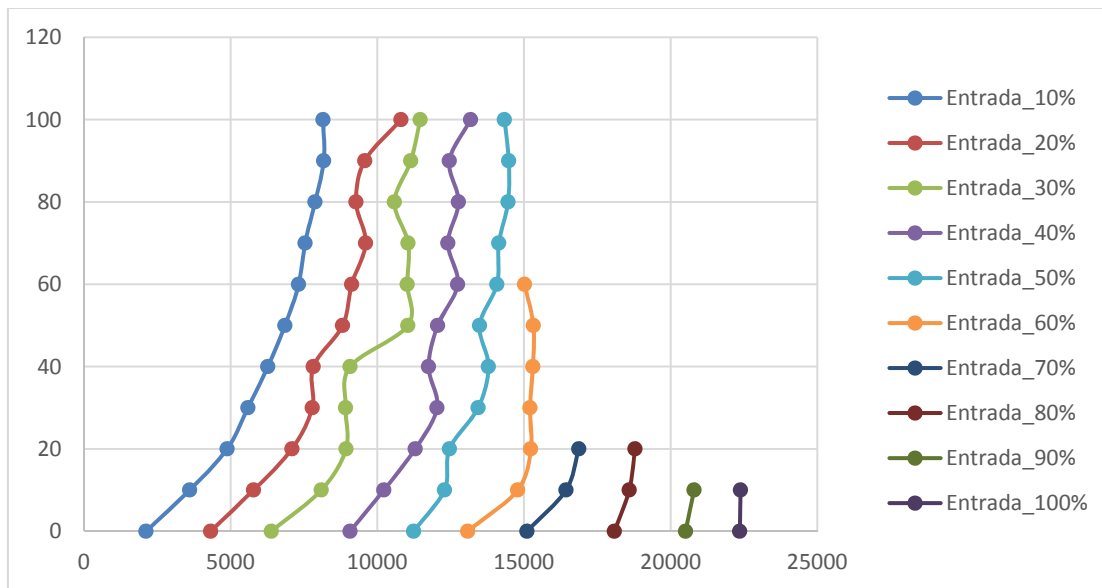


Il·lustració 49. Nombre de tipus de vehicles en %

S'observà així com el percentatge simulat es més o menys similar al teòric. Es pot veure com augmenta una mica el valor respecte el estudiat. Doncs be, aquest factor es deu a les entrades, ja que en elles no s'ha optat per implantar cap criteri ni preferència, i per tant, hi ha la mateixa probabilitat d'entrada per qualsevol tipus de vehicles. A més a més, en les entrades hi ha plena llibertat de circulació perquè no hi ha restriccions de carril com a les entrades inicials.

3.5.2.2. Densitats del tram simulat

Quan iniciem el simulador, una de les característiques que podem modificar es, en primera instància el percentatge de vehicles que poden entrar al iniciar el tram i el nombre de vehicles que poden entrar per les múltiples entrades. Es per això que per a comprovar el comportament del simulador hem simulat casi totes les combinacions possibles. Dic "casi", perquè ara es veurà que hi ha combinacions que no calen fer-se. Al annex 5 estan els resultats d'aquestes simulacions, aquí extraurem les dades finals i les conclusions.



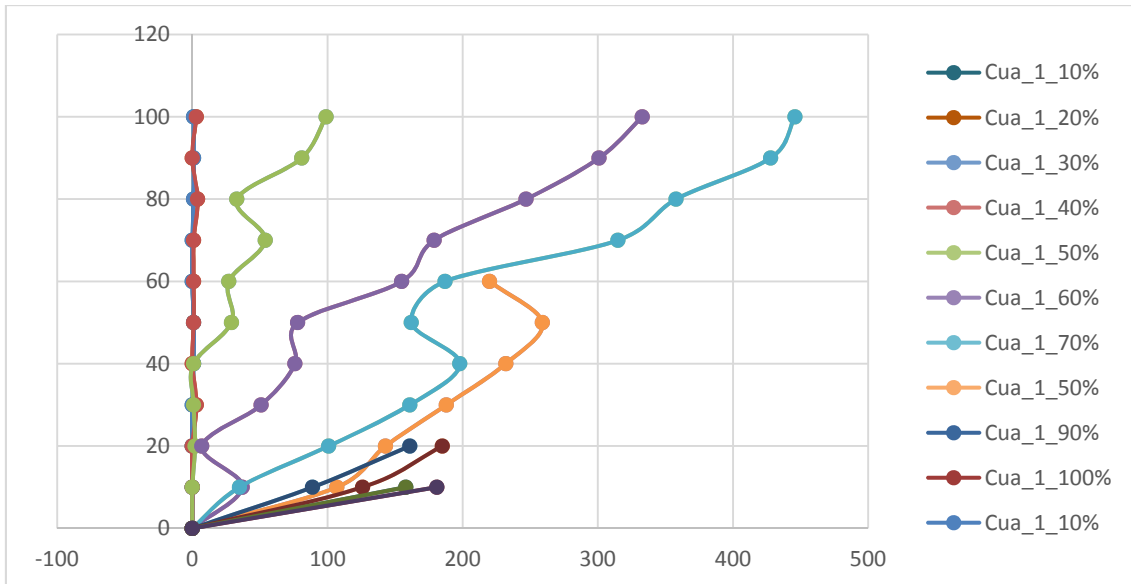
II·l·lustració 50. Estudi de les capacitats

Com es pot veure en el gràfic, cada una de les línies representa el percentatge de densitat inicial del tram a simular. A la vegada, cada línia mostra l'evolució de les densitats inicials en funció de les densitats en les entrades.

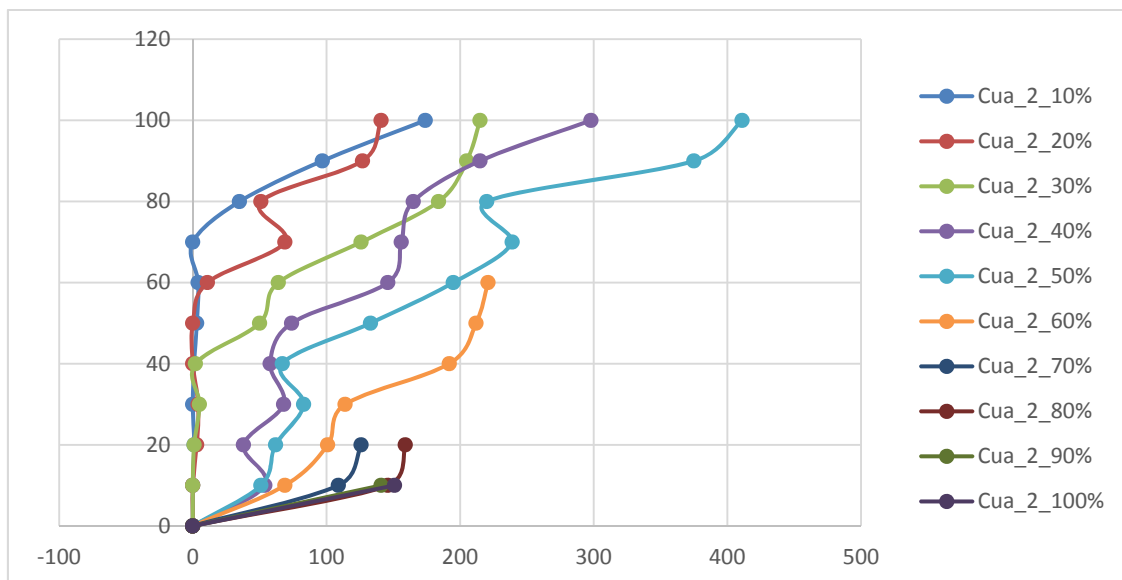
Cap veure també, que hi ha línies que són més llargues que altres. Doncs be, si observem les dades (a continuació les mostrarem) de les cues, es veu com quan més densitat inicial tenim, més ràpid generem cues en les entrades. Això s'observa com quan més amunt estem de la línia, més recte és. Quan la línia presenta una forma casi vertical, estem en un punt on l'autopista ja no pot assimilar més vehicles, es a dir, hi ha un punt de saturació. Es per això que quan les densitats inicials són molt elevades, no te sentit posar densitats d'entrades altes, perquè aquest el que fa es augmentar constantment la longitud de la cua d'entrada. Així doncs, els punts eliminat són punts que tenen valors similars a l'últim punt de la densitat inicial representada.

Pel que fa als valors teòrics calculats en l'apartat de capacitats (2.3.3.2.1. Capacitats teòriques d'una autopista automatitzada) observem que el simulador es capaç de reproduir amb certa exactitud els valors teòrics. Com es deia, la capacitat de l'autopista automatitzada teòrica era de 23.181 vehicles/hora. El valor simulat amb una densitat inicial del 100% i una densitat d'entrada de 10% dona un valor de 22.386 vehicles/hora. S'ha de veure que es difícil arribar al valor calculat, ja que hi ha vehicles que quan surten, deixen un espai que, segons el tipus de vehicle que hi hagi esperant a l'entrada, no es suficient. Així doncs, donem com a valor experimental molt satisfactori.

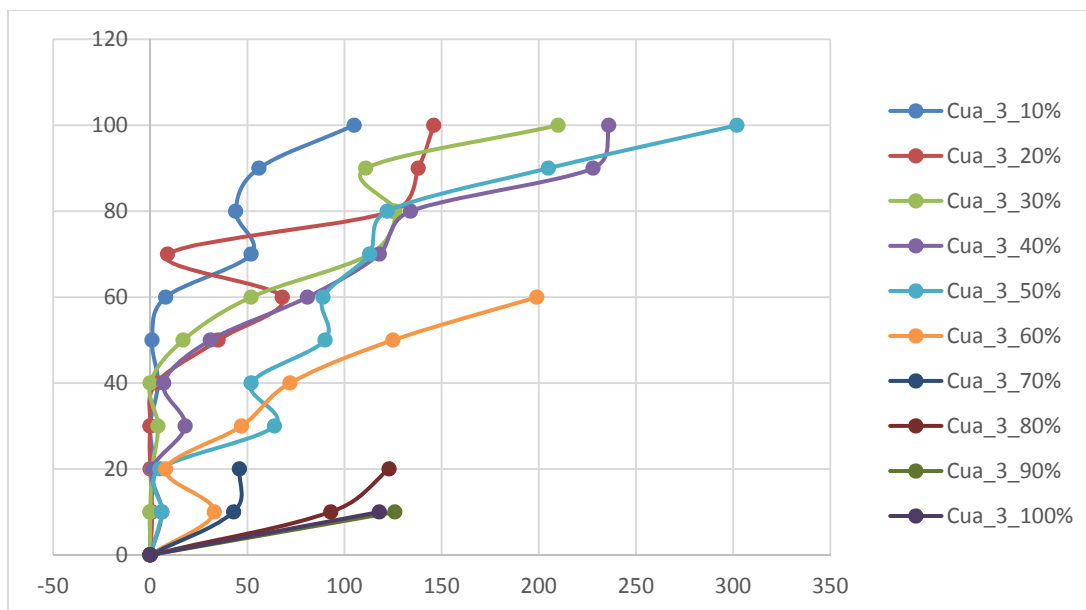
Amb tot, el valor calculat teòric no te molt sentit, lo qual després d'analitzar les cues ho raonarem. A continuació es mostrarà la evolució de les cues en funció de les densitats d'entrada. El tram simulat tenia tres entrades, així que a continuació mostrarem els gràfics de les tres entrades. Com abans, les dades estan al Annex numero 6.



Il·lustració 51. Cua 1 en funció de les densitats d'entrada



Il·lustració 52. Cua 2 en funció de les densitats d'entrada



Il·lustració 53. Cua 3 en funció de les densitats d'entrada

Analitzant els gràfics, es pot observar que hi ha dues entrades més crítiques que una altra. En aquest cas, les dues primeres són més crítiques que la tercera. Això es degut a la geografia del tram, ja que en la última entrada hi ha una sortida abans. Tot i això els tres gràfics mostren perfectament el comportament de les simulacions.

A grans trets, es pot veure que en el moment que el gràfic es comença a desplaçar cap a la dreta, ja sigui en qualsevol tipus de densitat inicial, aquest marca l'inici de la saturació de les entrades. Així doncs, quan es comença a desplaçar més enllà del 0 a valors que no són estables, representa una densitat poc aconsellada. En la següent taula mostrarem aquestes valors considerats crítics.

Taula 25. Densitats límit

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
10	70	0	0	52
20	60	1	11	68
30	50	29	50	17
40	30	51	58	18
50	10	35	51	6
60	0	-	-	-
70	0	-	-	-
80	0	-	-	-
90	0	-	-	-
100	0	-	-	-

3.5.2.3. Tems de trajecte

La intenció de mostrar els temps de trajecte es bàsicament comprovar primer, que els vehicles que entren al sistema compleixen les restriccions que se'ls ha donat i segon, que els vehicles que entren sempre triïn la ruta més ràpida. Es per això que a continuació mostrarem la taula de temps mig extreta de les simulacions.

Taula 26. Densitats límit simulades

<i>Carrils</i>	<i>Sortida</i>	<i>Tipus 30-40</i>	<i>Tipus 14-20</i>	<i>Tipus 10-13</i>
<i>Dret</i>	1era	175	168	163
<i>Dret</i>	2a	292	261	241
<i>Dret</i>	dret	389	336	303
<i>Dret</i>	cen	-	313	278
<i>Dret</i>	Esq	-	-	263
<i>Centr</i>	1era	-	167	161
<i>Centr</i>	2a	-	259	238
<i>Centr</i>	dret	-	337	301
<i>Centr</i>	cen	-	311	278
<i>Centr</i>	Esq	-	-	261
<i>Esqu</i>	1era	-	-	159
<i>Esqu</i>	2a	-	-	237
<i>Esqu</i>	dret	-	-	299
<i>Esqu</i>	cen	-	-	277
<i>Esqu</i>	Esq	-	-	259
<i>Ent_0</i>	1era	0	0	0
<i>Ent_0</i>	2a	192	182	176
<i>Ent_0</i>	dret	290	259	237
<i>Ent_0</i>	cen	-	233	215
<i>Ent_0</i>	Esq	-	-	198
<i>Ent_1</i>	1era	-	-	-
<i>Ent_1</i>	2a	0	0	0
<i>Ent_1</i>	dret	177	168	163
<i>Ent_1</i>	cen	-	143	140
<i>Ent_1</i>	Esq	-	-	122
<i>Ent_2</i>	1era	-	-	-
<i>Ent_2</i>	2a	-	-	-
<i>Ent_2</i>	dret	76	0	0
<i>Ent_2</i>	cen	-	62	0
<i>Ent_2</i>	Esq	-	-	55

Cal dir, que en la part teòrica, encara no s'havia fet aquest aquest estudi tant exhaustiu. En el següent punt procedirem al anàlisi al detall.

3.5.3. Exactitud de les dades simulades

3.5.3.1. Tipologies de vehicles introduïts

Com ja s'ha vist en l'anterior punt, aquestes dades son casi similars a les teòriques. Recordar que augmenta una mica el valor respecte el estudiat. Aquest factor es deia a les entrades, ja que en elles no s'havia optat per implantar cap criteri ni preferència, i per tant, hi havia la mateixa probabilitat d'entrada per qualsevol tipus de vehicles. A més a més, en les entrades hi havia plena llibertat de circulació perquè no hi havia restriccions de carril com a les entrades inicials.

3.5.3.2. Densitats del tram simulat

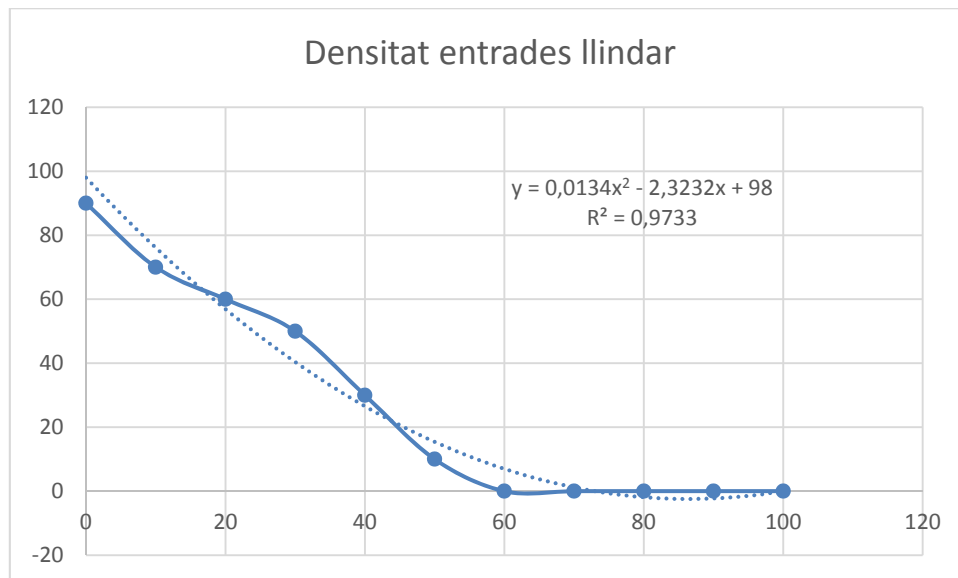
Un cop mostrats els resultats, anem a mostrar els resultats de les densitats en els casos trivials, ja que si tenim els valors teòrics i els compararem.

Taula 27. Densitats i comparativa

<i>Densitats</i>	<i>Teòrics</i>	<i>Simulats</i>	<i>diferència</i>
10	2318	2117	201
20	4636	4318	318
30	6954	6387	567
40	9272	9073	199
50	11591	11242	349
60	13909	13084	825
70	16227	15102	1125
80	18545	18086	459
90	20863	20510	353
100	23181	22359	822

Com veiem en la comparativa, els valors son quelcom més petits als teòrics. Això es deu a la simulació dins d'un tram on les entrades entén inhabilitades, i apareixen dues sortides al final del tram. La primera concretament al mig, i la segona cap al final. Amb tot, es pot veure finalment que es compleix amb les dades teòriques.

Seguidament s'ha fet l'estudi de les cues d'entrada. Això es una dada que el simulador ha extret de cada simulació efectuada. No hi ha una comparativa ni una base teòrica calculada però si es una dada esperada. Quan ens referim a esperada, ens referim a que els valors obtinguts son molt lògics i previsibles. Si tenim un flux de vehicles inicial que fan de flux principal, si la densitat es molt elevada al inici, serà complicat encara més augmentar aquesta densitat.



Il·lustració 54. Densitats entrades llindar

El gràfic mostra el comportament de les entrades en funció de les densitats. Afegida una línia de tendència quadràtica, extraiem la funció del comportament de les entrades en funció de la densitat inicial.

4.1.1.1-3.5.3.3. **Comparativa final de capacitats**

Per concloure amb l'estudi de les capacitats i acabar de lligar amb tots els punts on s'ha estudiat i totes les dades calculades, es mostrarà a continuació una taula amb totes les dades.

Taula 28. Comparativa de les capacitats

<i>Estudi capacitats</i>	<i>Capacitat màxima (veh/h)</i>	<i>Guany respecte l'autopista automatitzada simulada (%)</i>
Teòrica model convencional	3.202	364
Teòrica real model convencional	4.148	279
Real estimada model convencional	6.600	176
Teòrica model estudiat	23.181	50
Simulada model estudiat	11.591	-
Tram simulat hora punta real *	7.535	154

* Càlculs al annex 7

Com es pot veure, en hores punta, hi ha un excés de capacitat en el tram simulat habitualment. Això es comprensible, ja que es una via d'entrada a Barcelona capital i en hores punta el flux de vehicles es molt elevat. Les dades presentades mostra com el mateix tram simulat al simulador pot arribar a tenir una millora en la circulació substancial. Així doncs, el sistema estudiat dona solució als problemes que presenta aquest tram.

3.5.3.3-3.5.3.4. Temps de trajecte

Respecte els temps mitjos de cada trajecte, es presenta unes dades casi idèntiques a les calculades. Com en el punt anterior, no hi ha les dades teòriques d'algunes de les combinacions que mostra el resultat. A continuació procedim a fer la comparativa.

Taula 29. Comparativa de temps de trajecte

<i>Recorregut</i>	<i>Temps teòric</i>	<i>Temps simulat</i>	<i>Diferència</i>
<i>dret-dret</i>	389,3	388,8	0,4
<i>cen-cen</i>	311,4	311,4	0,0
<i>esq-esq</i>	259,5	259,2	0,3

Veiem que els valors son casi exactament els mateixos. Les dècimes d'error venen dels resultats del simulador, ja que aquests s'expressen en segons. Alhora de fer el canvi, dels valors del simulador als reals hi ha una petita degradació que provoca aquest error. Amb tot es pot deprecia i afirmar que les dades resultants son tal i com

s'havien calculat. A més, la dada ens serveix per comprovar que el simulador funciona tal i com s'ha estudiat prèviament.

Per altra banda, hi ha l'interès d'estudiar els temps de totes les trajectòries possibles. Es aquí on hi ha l'interès. l'eina mostra per a cada tipus de vehicle quin serà el temps del seu trajecte. Això es útil per aquest tram simulat, però com el simulador permet simular qualsevol tram entrat, es útil per poder extreure els temps d'aquest trajectes i comparar-los amb resultats reals i verificar la millora que pot comportar la instal·lació d'aquest tipus de vies amb la conducció automatitzada.

3.5.4. Models de fallada

Quan parlem dels models de fallada, cal diferenciar en dos aspectes. En primer punt, la part del funcionament de l'autopista amb vehicles de conducció automàtica i en segon punt, la part del simulador.

3.5.4.1. Autopista amb vehicles de conducció automàtica

Si ens fixem amb les especificacions bàsiques del simulador, en ell només poden entrar vehicles que estiguin permesos. Això implica que hi ha una sèrie de vehicles, ja sigui perquè siguin vells, o perquè no disposen de la tecnologia suficient, que no podran entrar al sistema. A més a més, el sistema tampoc contempla l'ús de motocicletes ni altres vehicles que no puguin ser controlats pel sistema. Això es tradueix al simulador en que hi ha una sèrie de tipologies concretes, estudiades i validades que han de permetre que el sistema funcioni perfectament.

Amb tot, hi ha sempre circumstàncies excepcionals com averies mecàniques o punxades de roda que podrien alterar el sistema. Es per això que en el seu punt inicial, el simulador pren unes hipòtesis per simplificar la realitat i no contempla cap d'aquest casos.

Un altre punt que s'ha de tenir en compte, es que el fet d'una averia es podria redirigir el vehicle cap el carril de via lenta, inhabilitar el carril del tram on hi ha el vehicle avariats i reduir la velocitat dels altres carrils. Això es quelcom que el simulador no fa. Amb tot es una millora, dintre d'altres millores, que es pot introduir al sistema, i per tant, al simulador. Cal diré però, que això ja seria una millora més enfocada a la

posada en marxa del sistema, no tant per al estudi de les millores a nivell d'eficiència del transport.

Si filem més prim, podem també estudiar, que passaria si s'introduís un animal a l'autopista o quelcom que faci que hi hagi d'haver una parada immediata. Son casos extrems que potser ara no es el moment d'estudiar-los però que cal tenir en compte en el cas de dur a terme el projecte.

3.5.4.2. Simulador i fallada

Si ens hem fixat en els punts anteriors, sobretot en l'estudi de les capacitats, veurem que en cap moment em comentat les incidències del sistema. En l'estudi de capacitats ja s'ha vist que si introduïm al inici de l'autopista el màxim de vehicles permesos, les entrades es veuen col·lapsades. Però, a més a més, cal veure que cada vehicle te una trajectòria aleatòria i que per garantir aquesta, el vehicle ha de tenir un cert espai per a dur a terme aquesta trajectòria. Amb això es vol dir que segurament hi hagin vehicles que no puguin sortir pel carril indicat, això implica que el simulador no esta funcionant correctament. Es per això que en les dades simulades s'ha indicat un marcadore amb els vehicles que mostren aquest tipus d'incidència. A continuació mostrarem les simulacions problemàtiques.

Taula 30. Densitats que mostren fallada

<i>Densitats</i>	<i>D_entrades</i>	<i>Incidències</i>
10	100	Cap
20	100	Cap
30	100	Cap
40	60	Primeres incidències
50	30	Primeres incidències
60	10	Primeres incidències
70	0	Incidències
80	0	Incidències
90	0	Incidències
100	0	Incidències

Amb aquesta taula es mostra en quin punt el sistema comença a tenir inconsistència alhora de garantir el bon funcionament del simulador.

Si analitzem les dades estudiades, es pot entendre com a lògiques. Cal pensar que per a efectuar un canvi de carril es necessita un espai com el d'un vehicle. Es per això

que les simulacions marquen com, quan la densitat de l'autopista comença a superar la meitat de la seva màxima capacitat perd les garanties de les trajectòries dels vehicles.

El simulador està programat per a que cada vehicle tingui un espai suficientment gran per a que tingui temps de canviar de carril. Això ho fa introduint una sèrie de prioritats de canvi en funció del espai que li queda per prendre la sortida. Amb tot, el simulador no te implementat cap sistema per a generar espai quan el vehicle ha de sortir. Això implica que en un cas extrem de trobar una cadena de vehicles que per casualitats aleatòries de probabilitat o per excés de capacitat facin de mur, el vehicle no podria sortir per la sortida indicada provocant una incidència. Es per aquest motiu que el sistema no pot garantir la trajectòria dels vehicles per a capacitats molt altres, tal i com la taula marca.

3.5.5. Simulacions de llarga durada

Per dur l'estudi de les dades mostrades de totes les simulacions efectuades, s'ha implantat un criteri que, per una banda, mostrés amb la millor realitat possible les dades estudiades i que a la vegada, la simulació tingues una durada mínimament curta. Doncs be, aquest temps de simulació s'ha extret agafant el temps de trajectòria més llarg (temps d'omplerta completa del tram simulat) multiplicat per dos. L'objectiu es arribar amb un estat estacionari minimitzant l'estat inicial. Un cop extretes les dades, s'ha ponderat l'estat inicial per a extreure les dades correctament.

Taula 31. Ponderació dels temps

<i>Tipus</i>	<i>Velocitat (km/h)</i>	<i>Temps camí crític (s)</i>	<i>Temps ponderat de la simulació (s)</i>	<i>Temps de simulació (s)</i>	<i>Temps ponderat (s)</i>
10 a 13	80	432	216	864	648
14 a 20	100	346	173	864	691
21 a 40	120	288	144	864	720

Doncs be, per ratificar la elecció dels temps de simulació i per veure com funciona i com es comporta el simulador en una prova de llarga durada, hem realitzat una prova de mes de 6 hores, per amortir l'impacte de l'omplerta de l'autopista inicial i a més a més, veure el comportament de les dades estudiades i comprovar-les.

Estat de les cues d'entrada		Número de vehicles		Combinacions de tots el temps mig dintre del tram simulat		
Cua primera entrada	Tipus: 10: 57	Tipus: 11: 72	Entrada 0, sortida 0,canil pemés 1: 194	Entrada 0, sortida 0,canil pemés 2: 167	Entrada 0, sortida 0,canil pemés 3: 181	
5	Tipus: 12: 77	Tipus: 13: 85	Entrada 0, sortida 1,canil pemés 1: 324	Entrada 0, sortida 1,canil pemés 2: 290	Entrada 0, sortida 1,canil pemés 3: 267	
Cua segona entrada	Tipus: 14: 47	Tipus: 20: 65	Entrada 0, sortida 2,canil pemés 1: 432	Entrada 0, sortida 2,canil pemés 2: 375	Entrada 0, sortida 2,canil pemés 3: 336	
4	Tipus: 21: 31	Tipus: 22: 25	Entrada 0, sortida 3,canil pemés 1: 0	Entrada 0, sortida 3,canil pemés 2: 347	Entrada 0, sortida 3,canil pemés 3: 312	
Cua tercera entrada	Tipus: 30: 24	Tipus: 40: 29	Entrada 0, sortida 4,canil pemés 1: 0	Entrada 0, sortida 4,canil pemés 2: 0	Entrada 0, sortida 4,canil pemés 3: 293	
0	Total de vehicles: 512		Entrada 1, sortida 0,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 0,canil pemés 2: 185	Entrada 1, sortida 0,canil pemés 3: 178	
Número vehicles entrats	Número de vehicles passats		Entrada 1, sortida 1,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 1,canil pemés 2: 288	Entrada 1, sortida 1,canil pemés 3: 264	
48803	Tipus: 10: 5619	Tipus: 11: 7701	Entrada 1, sortida 2,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 2,canil pemés 2: 373	Entrada 1, sortida 2,canil pemés 3: 333	
Temps de simulació real (s)	Tipus: 12: 7701	Tipus: 13: 7620	Entrada 1, sortida 3,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 3,canil pemés 2: 346	Entrada 1, sortida 3,canil pemés 3: 309	
22690,9	Tipus: 14: 4330	Tipus: 20: 5572	Entrada 1, sortida 4,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 4,canil pemés 2: 0	Entrada 1, sortida 4,canil pemés 3: 289	
Incidències	Tipus: 21: 2722	Tipus: 22: 2694	Entrada 1, sortida 0,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 0,canil pemés 2: 202	Entrada 1, sortida 0,canil pemés 3: 195	
0	Tipus: 30: 2203	Tipus: 40: 2129	Entrada 1, sortida 1,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 1,canil pemés 2: 287	Entrada 1, sortida 1,canil pemés 3: 264	
	Total de vehicles: 48291		Entrada 1, sortida 2,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 2,canil pemés 2: 269	Entrada 1, sortida 2,canil pemés 3: 228	
			Entrada 1, sortida 3,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 3,canil pemés 2: 0	Entrada 1, sortida 3,canil pemés 3: 220	
			Entrada 1, sortida 4,canil pemés 1: 0	Entrada 1, sortida 4,canil pemés 2: 0	Entrada 1, sortida 4,canil pemés 3: 0	
			Entrada 2, sortida 0,canil pemés 1: 0	Entrada 2, sortida 0,canil pemés 2: 0	Entrada 2, sortida 0,canil pemés 3: 0	
			Entrada 2, sortida 1,canil pemés 1: 0	Entrada 2, sortida 1,canil pemés 2: 187	Entrada 2, sortida 1,canil pemés 3: 180	
			Entrada 2, sortida 2,canil pemés 1: 84	Entrada 2, sortida 2,canil pemés 2: 160	Entrada 2, sortida 2,canil pemés 3: 156	
			Entrada 2, sortida 3,canil pemés 1: 0	Entrada 2, sortida 3,canil pemés 2: 0	Entrada 2, sortida 3,canil pemés 3: 137	
			Entrada 2, sortida 4,canil pemés 1: 0	Entrada 2, sortida 4,canil pemés 2: 0	Entrada 2, sortida 4,canil pemés 3: 0	
			Entrada 3, sortida 0,canil pemés 1: 0	Entrada 3, sortida 0,canil pemés 2: 0	Entrada 3, sortida 0,canil pemés 3: 0	
			Entrada 3, sortida 1,canil pemés 1: 213	Entrada 3, sortida 1,canil pemés 2: 202	Entrada 3, sortida 1,canil pemés 3: 195	
			Entrada 3, sortida 2,canil pemés 1: 322	Entrada 3, sortida 2,canil pemés 2: 287	Entrada 3, sortida 2,canil pemés 3: 264	
			Entrada 3, sortida 3,canil pemés 1: 0	Entrada 3, sortida 3,canil pemés 2: 269	Entrada 3, sortida 3,canil pemés 3: 228	
			Entrada 3, sortida 4,canil pemés 1: 0	Entrada 3, sortida 4,canil pemés 2: 0	Entrada 3, sortida 4,canil pemés 3: 220	
			Entrada 4, sortida 0,canil pemés 1: 0	Entrada 4, sortida 0,canil pemés 2: 0	Entrada 4, sortida 0,canil pemés 3: 0	
			Entrada 4, sortida 1,canil pemés 1: 0	Entrada 4, sortida 1,canil pemés 2: 0	Entrada 4, sortida 1,canil pemés 3: 0	
			Entrada 4, sortida 2,canil pemés 1: 197	Entrada 4, sortida 2,canil pemés 2: 187	Entrada 4, sortida 2,canil pemés 3: 180	
			Entrada 4, sortida 3,canil pemés 1: 0	Entrada 4, sortida 3,canil pemés 2: 160	Entrada 4, sortida 3,canil pemés 3: 156	
			Entrada 4, sortida 4,canil pemés 1: 0	Entrada 4, sortida 4,canil pemés 2: 0	Entrada 4, sortida 4,canil pemés 3: 137	
			Entrada 5, sortida 0,canil pemés 1: 0	Entrada 5, sortida 0,canil pemés 2: 0	Entrada 5, sortida 0,canil pemés 3: 0	
			Entrada 5, sortida 1,canil pemés 1: 0	Entrada 5, sortida 1,canil pemés 2: 0	Entrada 5, sortida 1,canil pemés 3: 0	
			Entrada 5, sortida 2,canil pemés 1: 0	Entrada 5, sortida 2,canil pemés 2: 0	Entrada 5, sortida 2,canil pemés 3: 0	
			Entrada 5, sortida 3,canil pemés 1: 0	Entrada 5, sortida 3,canil pemés 2: 70	Entrada 5, sortida 3,canil pemés 3: 0	
			Entrada 5, sortida 4,canil pemés 1: 0	Entrada 5, sortida 4,canil pemés 2: 0	Entrada 5, sortida 4,canil pemés 3: 62	

Il·lustració 55. Imatge d'una simulació de llarga durada a 1/3 de capacitat

La prova es fa amb una densitat inicial del 30% i entrades a 20%. Si comprovem les dades respecta una simulació curta, s'observa que els canvi son mínims. A continuació mostrarem els resultats comparatius.

Taula 32. Percentatge tipologies de vehicles (comparativa)

	Carril Esquerra	Carril central i dret	Carril dret
	Tipus 10 a 13	Tipus 10 a 20	Tipus 21 a 40 (pesats)
<i>Dades mitges de totes les densitats</i>	55,50	23,58	20,92
<i>Dades de la simulació llarga</i>	56,84	21,88	21,29

Taula 33. Capacitats (comparativa)

	Simulació curta (veh/h)	Simulació llarga (veh/h)	Simulació llarga Total (veh. en 6h)
Capacitat	8091	7940	48803

Taula 34. Densitats límit simulades vs simulades a llarg període

<i>Carrils</i>	<i>Sortida</i>	<i>Tipus 30-40 (curta/llarga)</i>	<i>Tipus 14- 20(curta/llarga)</i>	<i>Tipus 10- 13(curta/llarga)</i>
<i>Dret</i>	1era	175/175	168/168	163/163
<i>Dret</i>	2a	292/292	261/261	241/241
<i>Dret</i>	dret	389/389	336/338	303/302
<i>Dret</i>	cen	-	313/312	278/281
<i>Dret</i>	Esq	-	-	263/264
<i>Centr</i>	1era	-	167/167	161/160
<i>Centr</i>	2a	-	259/259	238/238
<i>Centr</i>	dret	-	337/336	301/300
<i>Centr</i>	cen	-	311/311	278/278
<i>Centr</i>	Esq	-	-	261/260
<i>Esqu</i>	1era	-	-	159/159
<i>Esqu</i>	2a	-	-	237/237
<i>Esqu</i>	dret	-	-	299/299
<i>Esqu</i>	cen	-	-	277/276
<i>Esqu</i>	Esq	-	-	259/259
<i>Ent_0</i>	1era	0	0	0
<i>Ent_0</i>	2a	192/192	182/183	176/176
<i>Ent_0</i>	dret	290/290	259/258	237/238
<i>Ent_0</i>	cen	-	233/232	215/215
<i>Ent_0</i>	Esq	-	-	198/198
<i>Ent_1</i>	1era	-	-	-
<i>Ent_1</i>	2a	0	0	0
<i>Ent_1</i>	dret	177/177	168/168	163/162
<i>Ent_1</i>	cen	-	143/144	140/140
<i>Ent_1</i>	Esq	-	-	122/123
<i>Ent_2</i>	1era	-	-	-
<i>Ent_2</i>	2a	-	-	-
<i>Ent_2</i>	dret	76/76	0	0
<i>Ent_2</i>	cen	-	62/63	0
<i>Ent_2</i>	Esq	-	-	55/56

Es pot veure que el simulador es estable i que les dades més exactes com el temps mig de trajectòria son casi idèntiques. Les dades de la tipologia de vehicles estan comparades amb la mitja de totes les simulacions, el qual s'ha de dir que segons les densitats dels vehicles poden canviar. Per últim les capacitats hi ha una petita diferència que es degut a la influència del tram inicial i de la seva omplerta. Això ens dona l'error que pot haver a diferència del simulador amb un estat estable.

4. Concordança de resultats i objectius

Un cop ensenyat el simulador i estudiades les dades procedirem a comprovar amb quina exactitud es podem fiar de les dades mostrades. Seguidament es procedirà a analitzar els objectius del projecte i avaluar el resultat final.

4.1.1. Acceptació i confiança dels resultats

Per veure si els resultats son correcte i fiable, s'ha fixat unes capacitats i s'ha realitzat diverses simulacions. Concretament s'ha agafat una mostra de 10 simulacions amb una densitat inicial del 30% i una densitat en les entrades també del 30%. A continuació s'ha estudiat els paràmetres amb els quals s'ha avaluat els resultats i s'ha intentat veure quina precisió tenen.

Taula 35. Valors estadístics

	Mitjana (σ)	Variància (S^2)	Desviació típica (S)
Cues (vehicles)	4,87	7,82	2,80
Capacitats (vehicles)	9784,58	16917,93	130,07
Trajectòries (s)	247,80	0,02	0,13






Dels resultats simulats s'ha estudiat les cues, les capacitats i les trajectòries. Començant per les cues, veurem que hi ha un gran factor d'aleatorietat. Queda plasmat que hi ha un gran factor de variabilitat i que es complicat presentar els resultats amb precisió. Amb tot, si s'observa en perspectiva, veient les dades mostrades i els valors que pot acabar tenint, es pot dir que es acceptable. Seguidament, l'estudi de capacitats presenta una variabilitat similar a l'anterior en proporció. També es pot veure com d'aleatorietat marca el resultat, però afirmem el mateix que en les cues, veient el gran nombre de vehicles que hi circula es acceptable. Per últim, veiem que un cop generada la situació (entrada de vehicles), el sistema marca la trajectòria dels vehicles amb molta precisió, i es que la variabilitat en els temps de trajecte es casi imperceptible.

Així doncs, es verifica les dades simulades i es comprova que els resultats extrets son fiables.

4.1.2. Objectius

L'objectiu del projecte era en principi validar un model de simulació d'un sistema automàtic de conducció. Per això ha calgut dissenyar una eina que pogués demostrar amb dades simulades aquest model. Al llarg de la memòria s'ha anat mostrant l'eina i el seu funcionament, per arribar a simular un tram amb l'eina i procedir al seu estudi. A continuació mostrarem que s'ha fet i que es pretenia fer.

Taula 36. Objectius

<i>Objectius</i>	<i>Fet</i>
<i>Simulador amb les especificacions bàsiques</i>	
<i>Validació de dades:</i>	
- <i>Tipologies de vehicles i distribució</i>	
- <i>Capacitats de l'autopista</i>	
- <i>Temps de trajectòria</i>	
<i>Simular l'autopista en altres trams i verificar dades</i>	

5. Millores i solucions

Un cop complerts els objectius marcats per al simulador, cal dir que segurament això es una petita part d'una gran feina que caldria per a fer una eina que gestionés els vehicles amb conducció automatitzada. Es per aquest motiu que es voldrien marcar unes pautes i una sèrie de qüestions que s'ha anat avaluant durant la memòria i que potser han fet paleses unes millores en el model teòric, i en el simulador.

Per que fa al model teòric, cal diverses millores en el caire de l'eficiència. El model hauria d'introduir una sèrie de patrons per a poder controlar millor les incidències en el moment d'altres densitats. Així doncs caldria l'estudi de patrons per a garantir cada x metres un espai per al canvi de carril. Amb això vull dir que caldria fer l'estudi de diversos patrons, com per exemple, generar un espai de canvi de carril cada tres vehicles per a garantir un espai mínim o altres tipus de patró més complexo introduïts a partir de la densitat de l'autopista.

Seguint amb el model teòric, caldria veure que passaria amb els model de fallada, que caldria fer en cas d'emergència. Aviam, sempre queda el recurs senzill de desactivar el sistema i fer que el usuari recuperi la conducció del vehicles, però es podria reduir la velocitat, amb ell l'espai entre vehicles i conservar el flux de vehicles però amb una velocitat més petita.

Un altre millora del model teòric molt interessat seria l'espai entre vehicles. Aquest espai es fixe perquè l'estudi del servo i dels canvis de carril s'han fet en velocitats amb una diferència de 20km/h. Això es podria millorar si s'aconseguís diverses opcions per a fer el canvi de carril. Això faria dinàmica aquesta distància per a canviar de carril i podria fer dinàmic el flux. Això milloraria substancialment alhora de controlar moments de gran flux de vehicles. Per exemple, si es fes avançaments amb 10 km/h de diferència, l'espai de canvi de carril seria menor i es podria reduir l'espai entre vehicles augmentant la capacitat de l'autopista. Això es molt interessant per a zones que es passes de tres carrils a dos.

Per últim, com a model teòric, introduiria millores en les distàncies de seguretat en els moment de baixa densitat. Miraria de fer un generador d'espais per a que els vehicles es poguessin separar quan aquests, per exemple, van sols en un tram, però van junts perquè han entrar junts. Això milloraria en comoditat per als passatger, ja que donaria sensació de seguretat (tot i ser segur anar junts òbviament).

Pel que fa al nivell del simulador, es evident que totes les millores teòriques, haurien de transformar-se en millores del simulador, però hi ha certes coses que podrien millorar-se.

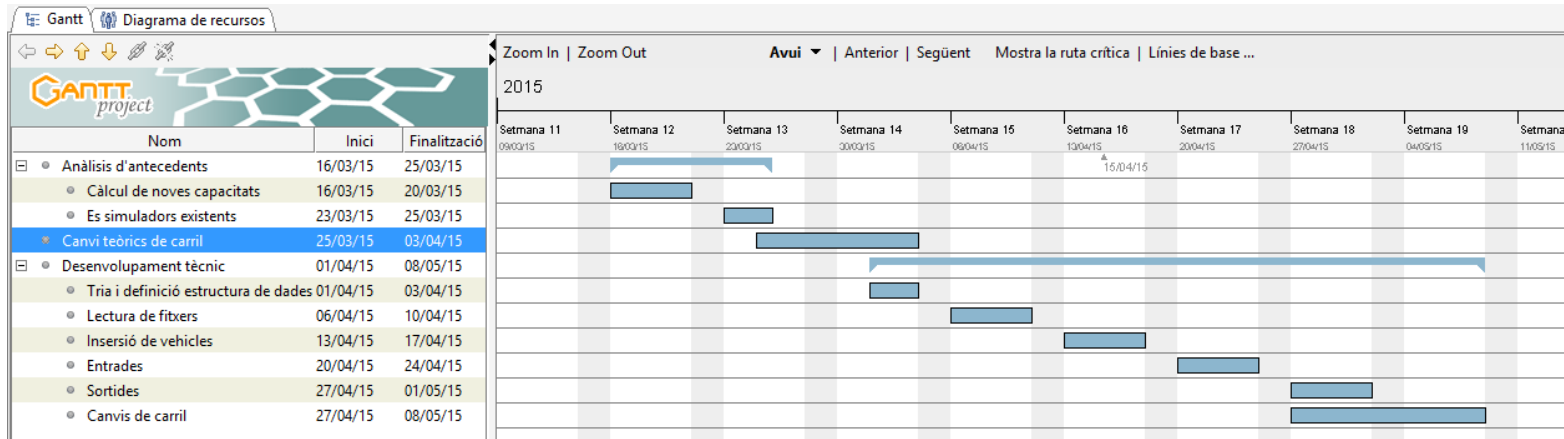
En primer lloc, caldria dinamitzar totes les densitats, així hi hauria un control molt més millorat de la circulació i a la vegada, es podria profunditzar amb més exactitud les capacitats del tram simulat. A més a més, es podria posar un balancejador de densitat on, per exemple, en el moment que hi hagués molta cua, es pogués enviar el vehicle per una altra entrada amb menys densitat (i fos possible clar).

Un altre punt important es en el desenvolupament de simplificacions per part de l'eina inicial. Una de les dues simplificacions que es podria aportar i que serien interessants, seria, en primer pas, introduir la geometria exacta del tram, amb corbes i rectes tot junts i es segon pas, introduir desnivells, pujades i baixades per a que es simulés el vehicles amb més realitat. Això no es posa com a model teòric, perquè realment no afecta al model, sinó a la simulació, ja que cal contemplar més paràmetres alhora de simular.

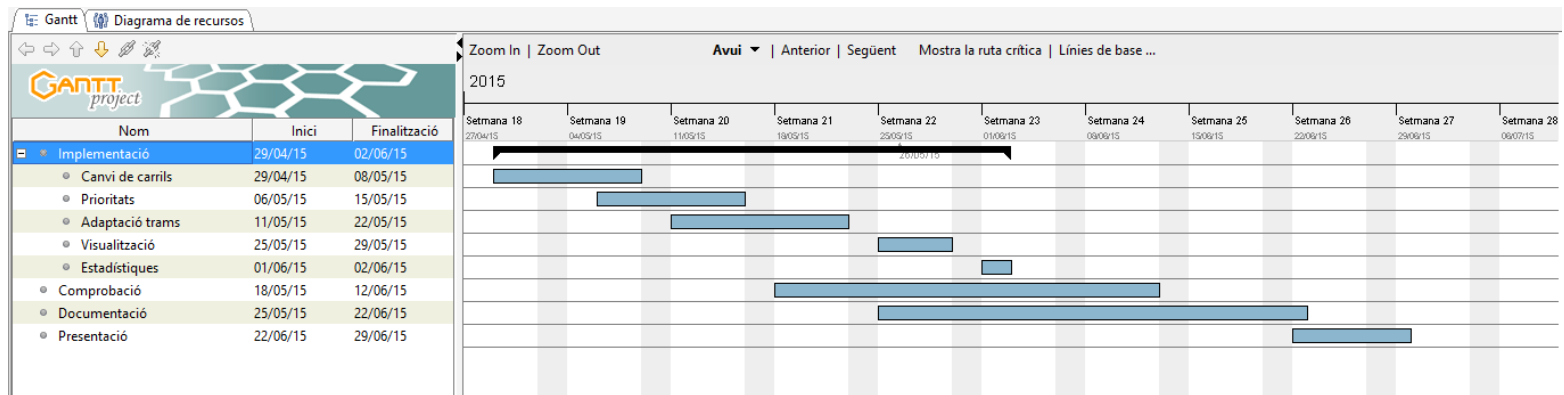
Per altra banda, a nivell de funcionament, es podria introduir modificar de forma dinàmica la densitat de cada entrada en tot moment. A més, potser que les dades mostrades siguin poc intuïtives per al usuari, proposant la introducció de gràfics dinàmics i aclaridors de la situació al moment.

Per últim es proposa la millora de l'eina en l'apartat visual. Pot esser millorada per a que el refresc de la situació dels vehicles sigui més ràpida i a la vegada amb més qualitat. A part, es podria millorar la part gràfica dels trams introduint, per exemple les normes de trànsit del tram, o altres detalls gràfics d'utilitat per al usuari.

6. Planificació del projecte



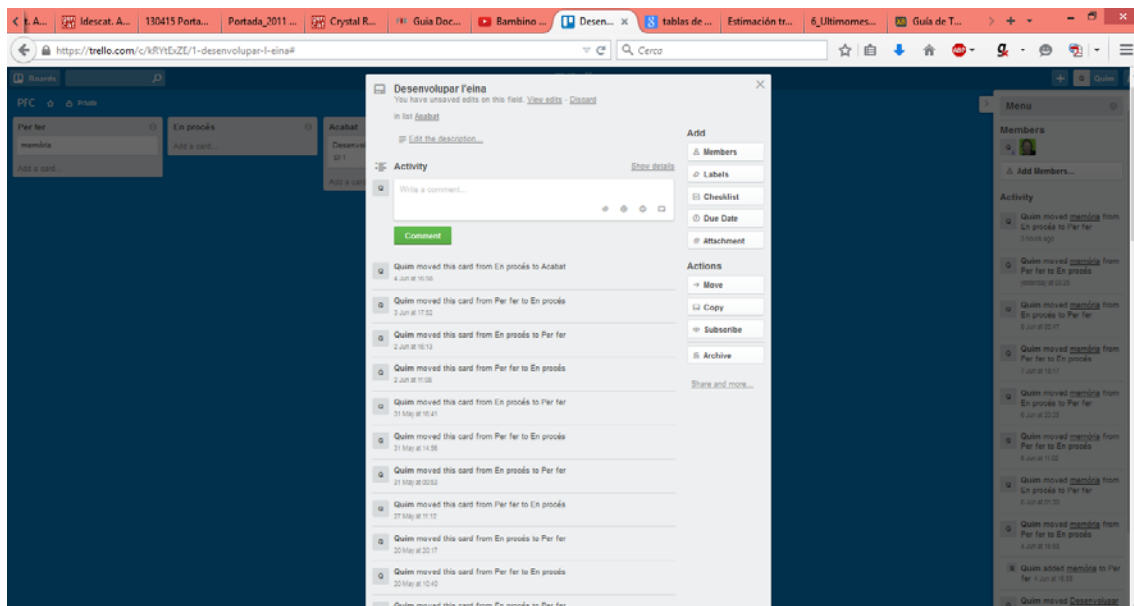
II-lustració 56. Diagrama de Gantt etapa inicial



II-lustració 57. Diagrama de Grantt etapa final

A més a més, cal fer referència al ús del mètode kanban per a la gestió de tasques. S'ha utilitzat el programa web online "Trello" amb el qual s'ha anat controlant el temps usat a cada part del projecte. Cal dir però que no hi ha hagut una gestió de les tasques amb el mètode Kanban, però sí una gestió del temps.

Aquest es un exemple dels "logs" de la tasca.



Il·lustració 58. Trello amb la tasca establerta per desenvolupar l'eina

Pel que fa a la part final hi ha hagut una mala planificació en per que fa al punts d'estadística, comprovació i documentació. Això a generat un retràs de dues setmanes en l'entrega final.

7. Estudi econòmic

En aquest apartat realitzarem una estimació del cost que comporta la realització d'aquest projecte. Com el projecte es una validació d'un model de simulació, s'analitza el cost que suposa a nivell d'hores de carga de treball, la realització d'aquest. A continuació es mostra les hores dedicades a cada tasca i cost per part d'un enginyer tècnic segons el conveni.

Taula 37. Pressupost

<i>Concepte</i>	<i>Preu unitari (€/h)</i>	<i>quantitat (h)</i>	<i>Preu final (€)</i>
<i>Anàlisi d'antecedents</i>	15	30	450
<i>Canvi teòrics de carril</i>	15	30	450
<i>Desenvolupament tècnic</i>	15	214	3.210
- <i>Tria i def. Estruct. dades</i>	15	15	225
- <i>Lectura de fitxers</i>	15	15	225
- <i>Inserció de vehicles</i>	15	30	450
- <i>Entrades</i>	15	20	300
- <i>Sortides</i>	15	20	300
- <i>Canvi de carrils</i>	15	30	450
- <i>Prioritats</i>	15	20	300
- <i>Adaptació trams</i>	15	20	300
- <i>Visualització</i>	15	20	300
- <i>Estadístiques</i>	15	46	690
<i>Comprovació</i>	15	38	570
<i>Documentació</i>	15	71	1.065
Total	15	405	6.075

Nota: El preu per hora establert es el preu establert per mi en base al establert al conveni [12].

8. Conclusions

El projecte pretenia dissenyar i implementar una eina que fos capaç de simular una teòrica autopista amb la conducció dels vehicles automatitzada. L'eina era el simulador que s'ha realitzat. Les dades simulades del tram estudiat han sigut suficientment clares per validar el model teòric.

El model presentat per automatitzar la conducció d'una autopista es un model bàsic, que presenta unes limitacions tant pel que fa als tipus de vehicles que hi circulen, com en el tram simulat. L'objectiu no es trobar els casos d'error del sistema, sinó veure quines millores es pot aportar en un futur no molt lluny en termes de nivell d'eficiència en el transport.

Es evident que en un futur proper, cada cop més, es disposarà de vehicles amb capacitats autònomes de conducció. Això fa palesa de la necessitat per part dels governs d'introduir sistemes de control i gestió d'aquest vehicles. L'objectiu es arribar al punt en que l'usuari del vehicles privat pugui efectuar el trajecte diari amb uns temps de viatge eficient i amb la comoditat d'una conducció automàtica. Però primerament cal avançar el sistemes de conducció automàtica estables i robustes.

Així doncs, el projecte planteja un simulador pel futur del transport. En ell s'ha mostrat un model teòric que es pot plantejar per a la millora de l'eficiència del transport per carretera. Amb les dades simulades s'ha validat el model, en el qual es presenta un guany de més del 200% de la capacitat actual del les carreteres i d'una millora del flux vehicular. A més, presenta una millora en els temps de trajectòria gracies a una gestió en la distribució de cada tipologia de vehicle permès en l'autopista.

9. Referències bibliogràfiques

a. Precedents i factibilitat:

- [0]. Tesla's driveless car. Tesla. [en línia]. Maig 2013.
<http://my.teslamotors.com/it_IT/forum/forums/elon-musk-talks-google-bring-driverless-tech-tesla-cars>
- [0']. BMW sèrie 7. BMW. [en línia]. Juny 2015. <<http://www.km77.com/01/bmw/serie-7/2015/informacion-y-precios-319617-p.html>>
- [0'']. Audi Serie 8. Audi. [en línia]. Juny 2015.
<<http://www.km77.com/01/audi/a8/2014/berlina-equipamiento-precio-300015-p.html>>
- [0''']. Mercedes Classe S. Mercedes-benz. [en línia]. Juny 2015.
<<http://www.km77.com/00/mercedes-benz/clase-s/2013/berlina-motor-precio.asp>>
- [1]. Gestió tècnica del trànsit. OEP. [en línia]. 2013. <http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2013/TEMA_11_GESTION_TECNICA_TRAFICO.doc>
- [2]. Servei català del trànsit. Generalitat de Catalunya. [en línia]. MARÇ 2014.
<<http://transit.gencat.cat/ca/>>
- [3]. Accidents de circulació amb víctimes. Nombre d'accidentats. En carreteres i zones urbanes. Províncies. Metodologia. IDESCAT. [en línia]. MARÇ 2014.
<<http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=596&m=m>>
- [4]. Mapa del transit. Direcció general de trànsit. [en línia]. MAIG 2015.
<<http://www.dgt.es/es/el-trafico/>>
- [5]. Dades estadístiques de les estacions de control del ministeri de foment. Ministeri de foment. Govern d'Espanya. [en línia]. DESEMBRE 2014.
<http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERAL_ES/CARRETERAS/TRAFICO_VELOCIDADES/TRA_ACTUAL/2014/DATOSMES_2014/ESTACIONES/>
- [6] IMD dels trams de carretera de la xarxa de la Generalitat. Direcció general de carreteres. [en línia]. 2007.
<<http://www.idescat.cat/cat/idescat/biblioteca/docs/pec/paae2008/gi15512007imd.pdf>>

[7] IMD dels trams de carretera de la xarxa de la Generalitat. Direcció general de carreteres. [en línia]. 2012.

<http://territori.gencat.cat/web/.content/home/01_departament/normativa_i_documentacio/documentacio/territori_mobilitat/carreteres/documentacio_tecnica/pla_daforaments/pla_daforaments_2012/01_imd_dels_trams_de_carretera_de_la_xarxa_de_la_generalitat.pdf>

[8] IMD dels trams de carretera de la xarxa de la Generalitat. Direcció general de carreteres. [en línia]. 2011.

<http://territori.gencat.cat/web/.content/home/01_departament/normativa_i_documentacio/documentacio/territori_mobilitat/carreteres/documentacio_tecnica/pla_daforaments/pla_daforaments_2011/2_imd_trams.pdf>

b. Desenvolupament tècnic:

[9] Sistema de direcció. Aficionados a la mecànica. [en línia]. 2014.

<<http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion.htm>>

[10] Sistema de direcció a la quatre rodes. Aficionados a la mecànica. [en línia].

2014. <<http://www.aficionadosalamecanica.net/4ws-direccion-4-ruedas.htm>>

[11] Estadístiques transport intermunicipal i internacional. Direcció General de Tràfic.

[en línia]. 2013. <<http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/60AEAF9E-4495-4B76-AD73-82487BFA60B0/124074/EPTMC2013Tablas.pdf>>

[12] Taules salarials 2014. CCOO. [en línia]. Desembre 2014.

<http://www.ccoo.cat/industria/documents/nc2014/taules_salarials_metall_tgn.pdf>

[13] Pàgina 11, Capítol 5, transit. Enginyeria del transport. 25036. Francesc Astrals Coma. ETSEIAT. Març 2013.

[14] Model lineal de Greenshield. Pàgina 34 a 36, Capítol 5, transit. Enginyeria del transport. 25036. Francesc Astrals Coma. ETSEIAT. Març 2013.

[15] Mostratge i simulació, Tema 5, mostratge. Mètodes estadístics de l'enginyeria. 25016. Montserrat Pepió Viñals. ETSEIAT. setembre 2012.

Software:

- a. Visual Studio 2013. Versió 12.0.31101.00 Update 4.

10. Annexos

10.1. Annex 1, càlcul de capacitats

La capacitat dels carrils es calcula amb la següent fórmula:

$$q = \frac{V \frac{Km}{h}}{(X * (1 - (P1 + P2)) + C1 * P1 + C2 * P2) \frac{m}{veh}} * 1000 \frac{m}{Km}$$

on q és la capacitat del carril en vehicles/h

X és l'espai total ocupat per un cotxe (10 m)

C1 és l'espai total ocupat per un vehicle pesat (15 m)

C2 és l'espai total ocupat per un vehicle pesat (tipus camió) (20 m)

P1 és el percentatge de vehicles pesat tipus C1 en el carril

P2 és el percentatge de vehicles pesat tipus C2 en el carril

V és la velocitat de circulació en $\frac{Km}{h}$

10.1.1. Capacitat teòrica de l'autopista automatitzada

Carril dret:

$$q_{c1} = \frac{80 \frac{Km}{h}}{(12 * (1 - 0,60) + 17 * 0,30 + 22 * 0,30) \frac{m}{veh}} * 1000 \frac{m}{Km} = 4,848veh/h$$

Carril central:

$$q_{c2} = \frac{100 \frac{Km}{h}}{12 \frac{m}{veh}} * 1000 \frac{m}{Km} = 8.333 \text{ veh/h}$$

Carril esquerre:

$$q_{c3} = \frac{120 \frac{Km}{h}}{12 \frac{m}{veh}} * 1000 \frac{m}{Km} = 10.000 \text{ veh/h}$$

La capacitat total de l'autopista és la suma de totes tres capacitats:

$$q_{total} = \sum_{i=1}^3 q_{ci} = 23.181 \text{ veh/h}$$

10.1.2. Capacitat teòrica de l'autopista

Carril dret:

$$q_{c1} = \frac{80 \frac{Km}{h}}{(63 * (1 - 0,60) + 68 * 0,30 + 73 * 0,30) \frac{m}{veh}} * 1000 \frac{m}{Km} = 1.185 \text{ veh/h}$$

Carril central:

$$q_{c2} = \frac{100 \frac{Km}{h}}{100 \frac{m}{veh}} * 1000 \frac{m}{Km} = 1.000 \text{ veh/h}$$

Carril esquerre:

$$q_{c3} = \frac{120 \frac{Km}{h}}{118 \frac{veh}{m}} * 1000 \frac{m}{Km} = 1.017 \text{ veh/h}$$

La capacitat total de l'autopista és la suma de totes tres capacitats:

$$q_{total} = \sum_{i=1}^3 q_{ci} = 3.202 \text{ veh/h}$$

10.1.3. Capacitat teòrica de l'autopista (real)

Carril dret:

$$q_{c1} = \frac{60 \frac{Km}{h}}{(37 * (1 - 0,60) + 42 * 0,30 + 47 * 0,30) \frac{veh}{m}} * 1000 \frac{m}{Km} = 1.190 \text{ veh/h}$$

Carril central:

$$q_{c2} = \frac{60 \frac{Km}{h}}{37 \frac{veh}{m}} * 1000 \frac{m}{Km} = 1.429 \text{ veh/h}$$

Carril esquerre:

$$q_{c3} = \frac{60 \frac{Km}{h}}{37 \frac{veh}{m}} * 1000 \frac{m}{Km} = 1.429 \text{ veh/h}$$

La capacitat total de l'autopista és la suma de totes tres capacitats:

$$q_{total} = \sum_{i=1}^3 q_{ci} = 4.148 \text{ veh/h}$$

10.2. Annex 2, Càlcul canvis de carril

10.2.1. Canvi de carril esquerra en direcció X

Els valors representen la seqüència de canvi de carril en la direcció X durant els 6,5 segons que dura el canvi. Cal veure que en aquest temps el vehicle ha de ser capaç de passar d'un carril a un altres amb un error pràcticament 0, com es mostra a continuació.

A més a més, s'ha de veure quina acceleració ha de tenir el vehicle a cada moment, es per això que es marquen tres etapes:

1. Acceleració 0, moviment en Y
2. Acceleració lineal fins a 1,75 (acceleració mínima que cada vehicle ha de tenir per poder realitzar un canvi)
3. Acceleració calculada per servo fins arribar a 0. ($acc_vehicle = K1 * Dif_X + K2 * Dif_vel$)

Temps	X_cel_la	X_vehicle	Dif_X	Vel_cel_la	Vel_vehicle	Dif_vel	Acc_vehicle	K1	K2
-0,3	-20	-8,3333333	-11,666667	33,3333333	27,7777778	5,5555556			
-0,2	-16,666667	-5,5555556	-11,111111	33,3333333	27,7777778	5,5555556			
-0,1	-13,333333	-2,7777778	-10,555556	33,3333333	27,7777778	5,5555556			
0	-10	0	-10	33,3333333	27,7777778	5,5555556	0	-6,80	4,05
0,1	-6,666667	2,78152774	-9,4481944	33,3333333	27,8027774	5,5305559	0,25	-6,8	4,05
0,2	-3,3333333	5,56930521	-8,9026385	33,3333333	27,8527747	5,48055864	0,5	-6,8	4,05
0,3	0	8,36583176	-8,3658318	33,3333333	27,9277654	5,40556789	0,75	-6,8	4,05
0,4	3,3333333	11,1736061	-7,8402728	33,3333333	28,0277435	5,30558982	1	-6,8	4,05

0,5	6,66666667	13,9951271	-7,3284605	33,3333333	28,1527101	5,18062322	1,25	-6,8	4,05
0,6	10	16,8328921	-6,8328921	33,3333333	28,3026498	5,03068349	1,5	-6,8	4,05
0,7	13,3333333	19,6893972	-6,3560639	33,3333333	28,4775511	4,85578219	1,75	-6,8	4,05
0,8	16,6666667	22,5633891	-5,8967225	33,3333333	28,6524193	4,68091405	1,75	-6,8	4,05
0,9	20	25,4548641	-5,4548641	33,3333333	28,8272495	4,50608388	1,75	-6,8	4,05
1	23,3333333	28,3638258	-5,0304925	33,3333333	29,0021176	4,33121574	1,75	-6,8	4,05
1,1	26,6666667	31,2902706	-4,623604	33,3333333	29,1769478	4,15638557	1,75	-6,8	4,05
1,2	30	34,2341949	-4,2341949	33,3333333	29,3517429	3,98159045	1,75	-6,8	4,05
1,3	33,3333333	37,195595	-3,8622617	33,3333333	29,5265009	3,80683245	1,75	-6,8	4,05
1,4	36,6666667	40,174467	-3,5078003	33,3333333	29,70122	3,63211333	1,75	-6,8	4,05
1,5	40	43,1708069	-3,1708069	33,3333333	29,8758988	3,45743458	1,75	-6,8	4,05
1,6	43,3333333	46,1846105	-2,8512771	33,3333333	30,050536	3,28279738	1,75	-6,8	4,05
1,7	46,6666667	49,2158735	-2,5492069	33,3333333	30,2251307	3,10820263	1,75	-6,8	4,05
1,8	50	52,2646021	-2,2646021	33,3333333	30,3997854	2,93354795	1,75	-6,8	4,05
1,9	53,3333333	55,3308016	-1,9974683	33,3333333	30,5744952	2,75883813	1,75	-6,8	4,05
2	56,6666667	58,4144771	-1,7478105	33,3333333	30,7492554	2,58407796	1,75	-6,8	4,05
2,1	60	61,5156333	-1,5156333	33,3333333	30,9240611	2,40927224	1,75	-6,8	4,05
2,2	63,3333333	64,634274	-1,3009407	33,3333333	31,0989076	2,23442574	1,75	-6,8	4,05
2,3	66,6666667	67,770403	-1,1037363	33,3333333	31,2737901	2,05954327	1,75	-6,8	4,05
2,4	70	70,9240234	-0,9240234	33,3333333	31,4487037	1,88462962	1,75	-6,8	4,05
2,5	73,3333333	74,0951378	-0,7618044	33,3333333	31,6236437	1,70968959	1,75	-6,8	4,05
2,6	76,6666667	77,2837483	-0,6170816	33,3333333	31,7986054	1,53472797	1,75	-6,8	4,05

2,7	80	80,4898567	-0,4898567	33,3333333	31,9735838	1,35974956	1,75	-6,8	4,05
2,8	83,3333333	83,7134641	-0,3801308	33,3333333	32,1485742	1,18475916	1,75	-6,8	4,05
2,9	86,6666667	86,9545713	-0,2879046	33,3333333	32,3235718	1,00976156	1,75	-6,8	4,05
3	90	90,2131784	-0,2131784	33,3333333	32,4985718	0,83476156	1,75	-6,8	4,05
3,1	93,3333333	93,4892854	-0,1559521	33,3333333	32,6735694	0,65976395	1,75	-6,8	4,05
3,2	96,6666667	96,7808159	-0,1141492	33,3333333	32,8347264	0,49860695	1,61157006	-6,8	4,05
3,3	100	100,082936	-0,0829357	33,3333333	32,9590407	0,3742926	1,24314353	-6,8	4,05
3,4	103,333333	103,393119	-0,0597852	33,3333333	33,054233	0,27910035	0,95192249	-6,8	4,05
3,5	106,666667	106,709399	-0,0427325	33,3333333	33,1266147	0,20671867	0,72381675	-6,8	4,05
3,6	110	110,03026	-0,03026	33,3333333	33,1812777	0,15205568	0,54662989	-6,8	4,05
3,7	113,333333	113,354539	-0,0212053	33,3333333	33,2222834	0,11104996	0,41005723	-6,8	4,05
3,8	116,666667	116,68135	-0,0146837	33,3333333	33,252839	0,08049435	0,30555608	-6,8	4,05
3,9	120	120,010027	-0,0100265	33,3333333	33,2754543	0,05787904	0,22615312	-6,8	4,05
4	123,333333	123,340065	-0,0067321	33,3333333	33,2920773	0,04125607	0,16622965	-6,8	4,05
4,1	126,666667	126,671093	-0,0044261	33,3333333	33,3042082	0,02912518	0,12130896	-6,8	4,05
4,2	130	130,002831	-0,0028315	33,3333333	33,3129941	0,02033923	0,08785945	-6,8	4,05
4,3	133,333333	133,335078	-0,0017444	33,3333333	33,3193061	0,01402725	0,06311983	-6,8	4,05
4,4	136,666667	136,667683	-0,0010159	33,3333333	33,323801	0,00953237	0,04494875	-6,8	4,05
4,5	140	140,000538	-0,0005381	33,3333333	33,3269708	0,00636255	0,03169827	-6,8	4,05
4,6	143,333333	143,333567	-0,0002335	33,3333333	33,3291817	0,00415162	0,02210926	-6,8	4,05
4,7	146,666667	146,666713	-4,671E-05	33,3333333	33,3307044	0,00262898	0,0152264	-6,8	4,05
4,8	150	149,999939	6,1238E-05	33,3333333	33,3317373	0,00159601	0,01032972	-6,8	4,05

4,9	153,333333	153,333216	0,00011763	33,3333333	33,3324253	0,00090798	0,00688026	-6,8	4,05
5	156,666667	156,666525	0,00014127	33,3333333	33,3328731	0,00046026	0,00447725	-6,8	4,05
5,1	160	159,999855	0,00014493	33,3333333	33,3331555	0,00017779	0,00282472	-6,8	4,05
5,2	163,333333	163,333196	0,00013712	33,3333333	33,3333261	7,2315E-06	0,00170556	-6,8	4,05
5,3	166,666667	166,666543	0,00012342	33,3333333	33,3334223	-8,894E-05	0,00096174	-6,8	4,05
5,4	170	169,999893	0,00010734	33,3333333	33,3334702	-0,0001368	0,00047905	-6,8	4,05
5,5	173,333333	173,333242	9,1022E-05	33,3333333	33,3334878	-0,0001544	0,00017569	-6,8	4,05
5,6	176,666667	176,666591	7,5677E-05	33,3333333	33,3334871	-0,0001538	-6,44E-06	-6,8	4,05
5,7	180	179,999938	6,1922E-05	33,3333333	33,3334763	-0,000143	-0,0001082	-6,8	4,05
5,8	183,333333	183,333283	4,9995E-05	33,3333333	33,3334605	-0,0001272	-0,0001579	-6,8	4,05
5,9	186,666667	186,666627	3,9904E-05	33,3333333	33,333443	-0,0001097	-0,0001751	-6,8	4,05
6	190	189,999968	3,153E-05	33,3333333	33,3334257	-9,238E-05	-0,0001728	-6,8	4,05
6,1	193,333333	193,333309	2,4688E-05	33,3333333	33,3334097	-7,641E-05	-0,0001597	-6,8	4,05
6,2	196,666667	196,666647	1,9171E-05	33,3333333	33,3333956	-6,225E-05	-0,0001416	-6,8	4,05
6,3	200	199,999985	1,4772E-05	33,3333333	33,3333834	-5,008E-05	-0,0001218	-6,8	4,05
6,4	203,333333	203,333322	1,13E-05	33,3333333	33,3333732	-3,984E-05	-0,0001024	-6,8	4,05
6,5	206,666667	206,666658	8,5835E-06	33,3333333	33,3333647	-3,139E-05	-8,451E-05	-6,8	4,05

10.2.2. Canvi de carril dret en direcció X

Els valors representen la seqüència de canvi de carril en la direcció X durant els 6,5 segons que dura el canvi. Cal veure que en aquest temps el vehicle ha de ser capaç de passar d'un carril a un altre amb un error pràcticament 0, com es mostra a continuació.

A més a més, s'ha de veure quina desacceleració ha de tenir el vehicle a cada moment, es per això que es marquen tres etapes:

1. Desacceleració 0, moviment en Y
2. Desacceleració lineal fins a -1,75 (desacceleració mínima que cada vehicle ha de tenir per poder realitzar un canvi)
3. Desacceleració calculada per servo fins arribar a 0. ($acc_vehicle = K1 * Dif_X + K2 * Dif_vel$)

Temps	X_cel_la	X_vehicle	Dif_X	Vel_cel_la	Vel_vehicle	Dif_vel	Acc_vehicle	K1	K2
-0,3	1,66666667	-10	11,66666667	27,7777778	33,3333333	-5,5555556	0		
-0,2	4,44444444	-6,6666667	11,1111111	27,7777778	33,3333333	-5,5555556	0		
-0,1	7,22222222	-3,3333333	10,5555556	27,7777778	33,3333333	-5,5555556	0		
0	10	0	10	27,7777778	33,3333333	-5,5555556	0	-6,80	4,05
0,1	12,7777778	3,32958333	9,44819444	27,7777778	33,3083333	-5,5305556	-0,25	-6,8	4,05
0,2	15,5555556	6,65291667	8,90263889	27,7777778	33,2583333	-5,4805556	-0,5	-6,8	4,05
0,3	18,3333333	9,9675	8,36583333	27,7777778	33,1833333	-5,4055556	-0,75	-6,8	4,05
0,4	21,1111111	13,2708333	7,84027778	27,7777778	33,0833333	-5,3055556	-1	-6,8	4,05
0,5	23,8888889	16,5604167	7,32847222	27,7777778	32,9583333	-5,1805556	-1,25	-6,8	4,05
0,6	26,6666667	19,83375	6,83291667	27,7777778	32,8083333	-5,0305556	-1,5	-6,8	4,05
0,7	29,4444444	23,0883333	6,35611111	27,7777778	32,6333333	-4,8555556	-1,75	-6,8	4,05
0,8	32,2222222	26,3254167	5,89680556	27,7777778	32,4583333	-4,6805556	-1,75	-6,8	4,05
0,9	35	29,545	5,455	27,7777778	32,2833333	-4,5055556	-1,75	-6,8	4,05
1	37,7777778	32,7470833	5,03069444	27,7777778	32,1083333	-4,3305556	-1,75	-6,8	4,05

1,1	40,5555556	35,9316667	4,62388889	27,7777778	31,9333333	-4,1555556	-1,75	-6,8	4,05
1,2	43,3333333	39,09875	4,23458333	27,7777778	31,7583333	-3,9805556	-1,75	-6,8	4,05
1,3	46,1111111	42,2483333	3,86277778	27,7777778	31,5833333	-3,8055556	-1,75	-6,8	4,05
1,4	48,8888889	45,3804167	3,50847222	27,7777778	31,4083333	-3,6305556	-1,75	-6,8	4,05
1,5	51,6666667	48,495	3,17166667	27,7777778	31,2333333	-3,4555556	-1,75	-6,8	4,05
1,6	54,4444444	51,5920833	2,85236111	27,7777778	31,0583333	-3,2805556	-1,75	-6,8	4,05
1,7	57,2222222	54,6716667	2,55055556	27,7777778	30,8833333	-3,1055556	-1,75	-6,8	4,05
1,8	60	57,73375	2,26625	27,7777778	30,7083333	-2,9305556	-1,75	-6,8	4,05
1,9	62,7777778	60,7783333	1,99944444	27,7777778	30,5333333	-2,7555556	-1,75	-6,8	4,05
2	65,5555556	63,8054167	1,75013889	27,7777778	30,3583333	-2,5805556	-1,75	-6,8	4,05
2,1	68,3333333	66,815	1,51833333	27,7777778	30,1833333	-2,4055556	-1,75	-6,8	4,05
2,2	71,1111111	69,8070833	1,30402778	27,7777778	30,0083333	-2,2305556	-1,75	-6,8	4,05
2,3	73,8888889	72,7816667	1,10722222	27,7777778	29,8333333	-2,0555556	-1,75	-6,8	4,05
2,4	76,6666667	75,73875	0,92791667	27,7777778	29,6583333	-1,8805556	-1,75	-6,8	4,05
2,5	79,4444444	78,6783333	0,76611111	27,7777778	29,4833333	-1,7055556	-1,75	-6,8	4,05
2,6	82,2222222	81,6004167	0,62180556	27,7777778	29,3083333	-1,5305556	-1,75	-6,8	4,05
2,7	85	84,505	0,495	27,7777778	29,1333333	-1,3555556	-1,75	-6,8	4,05
2,8	87,7777778	87,3920833	0,38569444	27,7777778	28,9583333	-1,1805556	-1,75	-6,8	4,05
2,9	90,5555556	90,2616667	0,29388889	27,7777778	28,7833333	-1,0055556	-1,75	-6,8	4,05
3	93,3333333	93,11375	0,21958333	27,7777778	28,6083333	-0,8305556	-1,75	-6,8	4,05
3,1	96,1111111	95,9483333	0,16277778	27,7777778	28,4333333	-0,6555556	-1,75	-6,8	4,05
3,2	98,8888889	98,768445	0,12044389	27,7777778	28,2785222	-0,5007444	-1,5481111	-6,8	4,05

3,3	101,666667	101,578162	0,08850439	27,7777778	28,1576226	-0,3798448	-1,2089966	-6,8	4,05
3,4	104,444444	104,379876	0,06456804	27,7777778	28,0639684	-0,2861906	-0,9365415	-6,8	4,05
3,5	107,222222	107,175473	0,04674911	27,7777778	27,9919675	-0,2141897	-0,7200094	-6,8	4,05
3,6	110	109,966426	0,03357376	27,7777778	27,93701	-0,1592323	-0,5495743	-6,8	4,05
3,7	112,777778	112,753878	0,02389937	27,7777778	27,8953511	-0,1175734	-0,4165891	-6,8	4,05
3,8	115,555556	115,538709	0,01684688	27,7777778	27,8639855	-0,0862077	-0,3136564	-6,8	4,05
3,9	118,333333	118,321588	0,01174485	27,7777778	27,8405272	-0,0627495	-0,2345825	-6,8	4,05
4	121,111111	121,103027	0,00808395	27,7777778	27,8231002	-0,0453224	-0,1742704	-6,8	4,05
4,1	123,888889	123,883408	0,00548049	27,7777778	27,8102417	-0,0324639	-0,128585	-6,8	4,05
4,2	126,666667	126,663019	0,00364727	27,7777778	27,8008205	-0,0230428	-0,0942116	-6,8	4,05
4,3	129,444444	129,442074	0,00237082	27,7777778	27,7939684	-0,0161906	-0,0685218	-6,8	4,05
4,4	132,222222	132,220729	0,00149351	27,7777778	27,7890233	-0,0112456	-0,0494503	-6,8	4,05
4,5	135	134,9991	0,00089979	27,7777778	27,7854845	-0,0077067	-0,0353886	-6,8	4,05
4,6	137,777778	137,777272	0,00050552	27,7777778	27,7829751	-0,0051973	-0,0250936	-6,8	4,05
4,7	140,555556	140,555306	0,00024996	27,7777778	27,7812139	-0,0034362	-0,0176117	-6,8	4,05
4,8	143,333333	143,333244	8,9596E-05	27,7777778	27,7799923	-0,0022145	-0,0122167	-6,8	4,05
4,9	146,111111	146,111118	-6,462E-06	27,7777778	27,7791563	-0,0013785	-0,0083595	-6,8	4,05
5	148,888889	148,888949	-5,991E-05	27,7777778	27,7785936	-0,0008158	-0,0056271	-6,8	4,05
5,1	151,666667	151,666752	-8,582E-05	27,7777778	27,7782225	-0,0004447	-0,0037116	-6,8	4,05
5,2	154,444444	154,444539	-9,452E-05	27,7777778	27,777984	-0,0002062	-0,0023846	-6,8	4,05
5,3	157,222222	157,222315	-9,298E-05	27,7777778	27,7778362	-5,843E-05	-0,001478	-6,8	4,05
5,4	160	160,000086	-8,579E-05	27,7777778	27,7777493	2,8456E-05	-0,0008689	-6,8	4,05

5,5	162,777778	162,777854	-7,592E-05	27,7777778	27,7777025	7,5265E-05	-0,0004681	-6,8	4,05
5,6	165,555556	165,555621	-6,522E-05	27,7777778	27,7776814	9,6407E-05	-0,0002114	-6,8	4,05
5,7	168,333333	168,333388	-5,478E-05	27,7777778	27,7776761	0,00010171	-5,305E-05	-6,8	4,05
5,8	171,111111	171,111156	-4,52E-05	27,7777778	27,77768	9,7772E-05	3,9404E-05	-6,8	4,05
5,9	173,888889	173,888926	-3,676E-05	27,7777778	27,7776889	8,8913E-05	8,859E-05	-6,8	4,05
6	176,666667	176,666696	-2,952E-05	27,7777778	27,7776999	7,7897E-05	0,00011016	-6,8	4,05
6,1	179,444444	179,444468	-2,345E-05	27,7777778	27,7777114	6,642E-05	0,00011477	-6,8	4,05
6,2	182,222222	182,222241	-1,845E-05	27,7777778	27,7777223	5,5465E-05	0,00010955	-6,8	4,05
6,3	185	185,000014	-1,439E-05	27,7777778	27,7777322	4,5547E-05	9,9174E-05	-6,8	4,05
6,4	187,777778	187,777789	-1,114E-05	27,7777778	27,7777409	3,6886E-05	8,6609E-05	-6,8	4,05
6,5	190,555556	190,555564	-8,552E-06	27,7777778	27,7777483	2,9519E-05	7,367E-05	-6,8	4,05

10.2.3. Canvi de carril esquerra en direcció Y

Els valors representen la seqüència de canvi de carril en la direcció y durant els 6,5 segons que dura el canvi. Cal veure que en aquest temps el vehicle ha de ser capaç de passar d'un carril a un altre amb un error pràcticament 0, com es mostra a continuació.

A més a més, s'ha de veure quina acceleració ha de tenir el vehicle a cada moment, es per això que es marquen tres etapes:

1. Inici de gir fins a un angle de 3,25°, moviment en Y
2. Disminució del angle calculat pel servo fins arribar a 0. ($E_{\text{rodes}} = K1 \cdot \text{Dif}_Y + K2 \cdot \text{Dif}_{VY}$)

<i>Temps</i>	<i>Y_cel_la</i>	<i>Y_veh</i>	<i>Dif_Y</i>	<i>Vel_y</i>	<i>Vel_veh</i>	<i>Dif_VY</i>	<i>W_ropes</i>	<i>E_ropes</i>	<i>Angle_veh</i>	<i>Angle_veh_radians</i>
-0,4	3,5	0	3,5	0	0	0	0	0	0	0
-0,3	3,5	0,01212	3,48788	0	0,12120419	-0,1212042	24,01595	240,1595	0,25	0,004363
-0,2	3,5	0,036362	3,463638	0	0,24241299	-0,242413	47,2526698	232,367198	0,5	0,008727
-0,1	3,5	0,072725	3,427275	0	0,36363103	-0,363631	69,626963	223,742932	0,75	0,01309
0	3,5	0,121211	3,378789	0	0,48486291	-0,4848629	91,0556004	214,286375	1	0,017453
0,1	3,5	0,181877	3,318123	0	0,60665876	-0,6066588	111,455317	203,997165	1,25	0,021817
0,2	3,5	0,254812	3,245188	0	0,72935057	-0,7293506	19,2839841	192,839841	1,5	0,02618
0,3	3,5	0,340139	3,159861	0	0,85327041	-0,8532704	18,0789188	180,789188	1,75	0,030543
0,4	3,5	0,438014	3,061986	0	0,97875037	-0,9787504	16,781771	167,81771	2	0,034907
0,5	3,5	0,548626	2,951374	0	1,10612299	-1,106123	15,389563	153,89563	2,25	0,03927
0,6	3,5	0,672198	2,827802	0	1,23572038	-1,2357204	13,8990863	138,990863	2,5	0,043633
0,7	3,5	0,808986	2,691014	0	1,36787487	-1,3678749	12,3069073	123,069073	2,75	0,047997
0,8	3,5	0,959147	2,540853	0	1,50160967	-1,5016097	10,6093625	106,093625	3	0,05236
0,9	3,5	1,12284	2,37716	0	1,63692985	-1,6369299	8,81097747	88,1097747	3,25	0,056723
1	3,5	1,287526	2,212474	0	1,64685958	-1,6468596	6,91063501	69,1063501	3,25	0,056723
1,1	3,5	1,453205	2,046795	0	1,65678716	-1,6567872	5,72358391	57,2358391	3,25	0,056723
1,2	3,5	1,619876	1,880124	0	1,66671275	-1,6667127	4,52973318	45,2973318	3,25	0,056723
1,3	3,5	1,787539	1,712461	0	1,67663623	-1,6766362	3,32908325	33,2908325	3,25	0,056723
1,4	3,5	1,956195	1,543805	0	1,6865575	-1,6865575	2,12163622	21,2163622	3,25	0,056723

1,5	3,5	2,125843	1,374157	0	1,69647647	-1,6964765	0,9073942	9,07394204	3,25	0,056723
1,6	3,5	2,296482	1,203518	0	1,70639309	-1,7063931	-0,3136408	-3,1364076	3,25	0,056723
1,7	3,5	2,455879	1,044121	0	1,59396634	-1,5939663	-1,5414667	-15,414667	3,01878	0,052688
1,8	3,5	2,600323	0,899677	0	1,44443814	-1,4444381	-1,9895429	-19,895429	2,720349	0,047479
1,9	3,5	2,728578	0,771422	0	1,28255031	-1,2825503	-2,1219476	-21,219476	2,402056	0,041924
2	3,5	2,840858	0,659142	0	1,12280192	-1,1228019	-2,0722895	-20,722895	2,091213	0,036499
2,1	3,5	2,938171	0,561829	0	0,97313384	-0,9731338	-1,9253035	-19,253035	1,802417	0,031458
2,2	3,5	3,021909	0,478091	0	0,8373787	-0,8373787	-1,7335099	-17,335099	1,542391	0,02692
2,3	3,5	3,093596	0,406404	0	0,71686721	-0,7168672	-1,5284658	-15,284658	1,313121	0,022918
2,4	3,5	3,154743	0,345257	0	0,61146738	-0,6114674	-1,3282732	-13,282732	1,11388	0,019441
2,5	3,5	3,206767	0,293233	0	0,52024654	-0,5202465	-1,1425431	-11,425431	0,942499	0,01645
2,6	3,5	3,250956	0,249044	0	0,4418848	-0,4418848	-0,9756485	-9,7564848	0,796151	0,013895
2,7	3,5	3,288448	0,211552	0	0,37492612	-0,3749261	-0,8288329	-8,2883292	0,671826	0,011726
2,8	3,5	3,320241	0,179759	0	0,31792462	-0,3179246	-0,701559	-7,01559	0,566593	0,009889
2,9	3,5	3,347193	0,152807	0	0,2695242	-0,2695242	-0,5923554	-5,9235538	0,477739	0,008338
3	3,5	3,370043	0,129957	0	0,22849685	-0,2284968	-0,499336	-4,9933602	0,402839	0,007031
3,1	3,5	3,389418	0,110582	0	0,19375584	-0,1937558	-0,4205077	-4,2050775	0,339763	0,00593
3,2	3,5	3,405847	0,094153	0	0,16428526	-0,1642853	-0,3539431	-3,5394306	0,286671	0,005003
3,3	3,5	3,419771	0,080229	0	0,139243	-0,139243	-0,2974241	-2,9742407	0,242058	0,004225
3,4	3,5	3,43158	0,06842	0	0,11808416	-0,1180842	-0,2491533	-2,4915327	0,204685	0,003572
3,5	3,5	3,441604	0,058396	0	0,10024593	-0,1002459	-0,208666	-2,0866598	0,173385	0,003026
3,6	3,5	3,450125	0,049875	0	0,08520852	-0,0852085	-0,1750085	-1,7500854	0,147134	0,002568

3,7	3,5	3,457377	0,042623	0	0,07251808	-0,0725181	-0,1471177	-1,4711773	0,125066	0,002183
3,8	3,5	3,463556	0,036444	0	0,06179004	-0,06179	-0,1239975	-1,2399751	0,106466	0,001858
3,9	3,5	3,468826	0,031174	0	0,05270361	-0,0527036	-0,1047859	-1,0478592	0,090748	0,001584
4	3,5	3,473326	0,026674	0	0,04499312	-0,0449931	-0,0887671	-0,8876714	0,077433	0,001351
4,1	3,5	3,47717	0,02283	0	0,03843889	-0,0384389	-0,0753595	-0,7535947	0,066129	0,001154
4,2	3,5	3,480455	0,019545	0	0,03285911	-0,0328591	-0,0640948	-0,6409483	0,056515	0,000986
4,3	3,5	3,483266	0,016734	0	0,0281028	-0,0281028	-0,0545976	-0,5459764	0,048325	0,000843
4,4	3,5	3,48567	0,01433	0	0,02404411	-0,0240441	-0,0465659	-0,4656589	0,041341	0,000722
4,5	3,5	3,487728	0,012272	0	0,02057773	-0,0205777	-0,0397556	-0,3975558	0,035377	0,000617
4,6	3,5	3,489489	0,010511	0	0,01761516	-0,0176152	-0,0339683	-0,3396832	0,030282	0,000529
4,7	3,5	3,490998	0,009002	0	0,01508181	-0,0150818	-0,0290416	-0,2904162	0,025926	0,000452
4,8	3,5	3,492289	0,007711	0	0,01291455	-0,0129145	-0,0248415	-0,248415	0,0222	0,000387
4,9	3,5	3,493395	0,006605	0	0,01105987	-0,0110599	-0,0212567	-0,2125672	0,019011	0,000332
5	3,5	3,494342	0,005658	0	0,00947228	-0,0094723	-0,0181944	-0,1819442	0,016282	0,000284
5,1	3,5	3,495154	0,004846	0	0,00811305	-0,008113	-0,0155766	-0,1557663	0,013945	0,000243
5,2	3,5	3,495848	0,004152	0	0,00694916	-0,0069492	-0,0133376	-0,1333763	0,011945	0,000208
5,3	3,5	3,496444	0,003556	0	0,00595243	-0,0059524	-0,0114219	-0,1142186	0,010231	0,000179
5,4	3,5	3,496954	0,003046	0	0,00509878	-0,0050988	-0,0097821	-0,0978213	0,008764	0,000153
5,5	3,5	3,49739	0,00261	0	0,00436763	-0,0043676	-0,0083784	-0,0837835	0,007507	0,000131
5,6	3,5	3,497765	0,002235	0	0,00374138	-0,0037414	-0,0071764	-0,0717637	0,006431	0,000112
5,7	3,5	3,498085	0,001915	0	0,00320494	-0,0032049	-0,006147	-0,0614705	0,005509	9,61E-05
5,8	3,5	3,49836	0,00164	0	0,00274544	-0,0027454	-0,0052655	-0,0526549	0,004719	8,24E-05

5,9	3,5	3,498595	0,001405	0	0,00235182	-0,0023518	-0,0045104	-0,0451044	0,004042	7,06E-05
6	3,5	3,498796	0,001204	0	0,00201465	-0,0020146	-0,0038637	-0,0386371	0,003463	6,04E-05
6,1	3,5	3,498969	0,001031	0	0,00172582	-0,0017258	-0,0033097	-0,0330974	0,002966	5,18E-05
6,2	3,5	3,499117	0,000883	0	0,0014784	-0,0014784	-0,0028352	-0,0283522	0,002541	4,44E-05
6,3	3,5	3,499243	0,000757	0	0,00126645	-0,0012664	-0,0024287	-0,0242874	0,002177	3,8E-05
6,4	3,5	3,499352	0,000648	0	0,00108489	-0,0010849	-0,0020805	-0,0208054	0,001865	3,25E-05
6,5	3,5	3,499445	0,000555	0	0,00092935	-0,0009294	-0,0017823	-0,0178226	0,001597	2,79E-05

10.2.4. Canvi de carril dret en direcció Y

Els valors representen la seqüència de canvi de carril en la direcció y durant els 6,5 segons que dura el canvi. Cal veure que en aquest temps el vehicle ha de ser capaç de passar d'un carril a un altre amb un error pràcticament 0, com es mostra a continuació.

A més a més, s'ha de veure quina acceleració ha de tenir el vehicle a cada moment, es per això que es marquen tres etapes:

3. Inici de gir fins a un angle de $-3,25^\circ$, moviment en Y
4. Disminució del angle calculat pel servo fins arribar a 0. ($E_{rodes} = K1 \cdot Dif_Y + K2 \cdot Dif_VY$)

<i>Temps</i>	<i>Y_cel_la</i>	<i>Y_vehicle</i>	<i>Dif_Y</i>	<i>Vel_y</i>	<i>Vel_vehicle</i>	<i>Dif_VY</i>	<i>W_rodes</i>	<i>E_rodes</i>	<i>Angle_veh</i>	<i>Angle_veh_radians</i>
-0,4	0	3,5	-3,5	0	0	0	0	0	0	0

-0,3	0	3,485521	-3,48552	0	-0,1447905	0,14479052	-24,01595	-240,1595	-0,25	-0,00436
-0,2	0	3,456562	-3,45656	0	-0,2895866	0,28958656	-47,101032	-230,85082	-0,5	-0,00873
-0,1	0	3,413123	-3,41312	0	-0,4343936	0,43439363	-69,155858	-220,54827	-0,75	-0,01309
0	0	3,355201	-3,3552	0	-0,5792172	0,57921724	-90,081005	-209,25146	-1	-0,01745
0,1	0	3,282795	-3,28279	0	-0,7240629	0,72406291	-109,777	-196,95997	-1,25	-0,02182
0,2	0	3,195901	-3,1959	0	-0,8689362	0,86893616	-18,367333	-183,67333	-1,5	-0,02618
0,3	0	3,094517	-3,09452	0	-1,0138425	1,01384253	-16,939102	-169,39102	-1,75	-0,03054
0,4	0	2,978638	-2,97864	0	-1,1587875	1,15878753	-15,411251	-154,11251	-2	-0,03491
0,5	0	2,848261	-2,84826	0	-1,3037767	1,30377672	-13,783721	-137,83721	-2,25	-0,03927
0,6	0	2,703379	-2,70338	0	-1,4488156	1,44881562	-12,056451	-120,56451	-2,5	-0,04363
0,7	0	2,543988	-2,54399	0	-1,5939098	1,5939098	-10,229373	-102,29373	-2,75	-0,048
0,8	0	2,370082	-2,37008	0	-1,7390648	1,73906481	-8,3024184	-83,024184	-3	-0,05236
0,9	0	2,181653	-2,18165	0	-1,8842862	1,88428622	-6,2755136	-62,755136	-3,25	-0,05672
1	0	1,993224	-1,99322	0	-1,8842862	1,88428622	-4,1485809	-41,485809	-3,25	-0,05672
1,1	0	1,804796	-1,8048	0	-1,8842862	1,88428622	-2,8556402	-28,556402	-3,25	-0,05672
1,2	0	1,616367	-1,61637	0	-1,8842862	1,88428622	-1,5626995	-15,626995	-3,25	-0,05672
1,3	0	1,427938	-1,42794	0	-1,8842862	1,88428622	-0,2697589	-2,6975885	-3,25	-0,05672
1,4	0	1,23951	-1,23951	0	-1,8842862	1,88428622	1,02318183	10,2318183	-3,25	-0,05672
1,5	0	1,051081	-1,05108	0	-1,8842862	1,88428622	2,3161225	23,161225	-3,25	-0,05672
1,6	0	0,862653	-0,86265	0	-1,8842862	1,88428622	3,60906318	36,0906318	-3,25	-0,05672
1,7	0	0,716918	-0,71692	0	-1,4573452	1,45734524	4,90200385	49,0200385	-2,5147	-0,04389
1,8	0	0,601203	-0,6012	0	-1,1571539	1,15715392	3,45011109	34,5011109	-1,99718	-0,03486

1,9	0	0,507403	-0,5074	0	-0,9380003	0,93800031	2,52014665	25,2014665	-1,61916	-0,02826
2	0	0,430165	-0,43016	0	-0,7723784	0,7723784	1,90519704	19,0519704	-1,33338	-0,02327
2,1	0	0,365825	-0,36583	0	-0,6433963	0,64339631	1,48402986	14,8402986	-1,11078	-0,01939
2,2	0	0,311781	-0,31178	0	-0,5404374	0,54043736	1,18477785	11,8477785	-0,93306	-0,01628
2,3	0	0,266117	-0,26612	0	-0,4566437	0,45664371	0,96432684	9,64326843	-0,78841	-0,01376
2,4	0	0,227373	-0,22737	0	-0,3874424	0,38744245	0,79644347	7,96443469	-0,66894	-0,01168
2,5	0	0,194405	-0,19441	0	-0,3296752	0,32967515	0,66487894	6,64878944	-0,56921	-0,00993
2,6	0	0,166297	-0,1663	0	-0,281079	0,28107903	0,55934035	5,59340348	-0,48531	-0,00847
2,7	0	0,1423	-0,1423	0	-0,2399743	0,23997428	0,47312566	4,73125658	-0,41434	-0,00723
2,8	0	0,121793	-0,12179	0	-0,2050731	0,20507306	0,40172837	4,0172837	-0,35408	-0,00618
2,9	0	0,104257	-0,10426	0	-0,1753605	0,17536046	0,34200909	3,42009086	-0,30278	-0,00528
3	0	0,089255	-0,08925	0	-0,1500188	0,1500188	0,29169971	2,91699713	-0,25903	-0,00452
3,1	0	0,076417	-0,07642	0	-0,1283779	0,12837786	0,24910348	2,4910348	-0,22166	-0,00387
3,2	0	0,065429	-0,06543	0	-0,1098813	0,10988126	0,21291077	2,12910771	-0,18973	-0,00331
3,3	0	0,056023	-0,05602	0	-0,0940628	0,0940628	0,18208388	1,82083878	-0,16241	-0,00283
3,4	0	0,04797	-0,04797	0	-0,0805292	0,08052924	0,15578311	1,55783107	-0,13904	-0,00243
3,5	0	0,041075	-0,04107	0	-0,0689473	0,06894735	0,13331798	1,33317982	-0,11905	-0,00208
3,6	0	0,035172	-0,03517	0	-0,0590338	0,0590338	0,11411393	1,14113926	-0,10193	-0,00178
3,7	0	0,030117	-0,03012	0	-0,0505472	0,0505472	0,09768866	0,97688664	-0,08728	-0,00152
3,8	0	0,025789	-0,02579	0	-0,0432815	0,0432815	0,08363491	0,83634911	-0,07473	-0,0013
3,9	0	0,022083	-0,02208	0	-0,0370607	0,03706071	0,07160723	0,71607227	-0,06399	-0,00112
4	0	0,018909	-0,01891	0	-0,0317343	0,03173432	0,06131175	0,61311749	-0,05479	-0,00096

4,1	0	0,016192	-0,01619	0	-0,0271736	0,02717362	0,05249797	0,52497972	-0,04692	-0,00082
4,2	0	0,013865	-0,01386	0	-0,0232685	0,02326846	0,04495205	0,44952049	-0,04018	-0,0007
4,3	0	0,011873	-0,01187	0	-0,0199246	0,01992458	0,03849125	0,3849125	-0,0344	-0,0006
4,4	0	0,010166	-0,01017	0	-0,0170613	0,01706128	0,03295932	0,32959325	-0,02946	-0,00051
4,5	0	0,008705	-0,00871	0	-0,0146095	0,01460947	0,02822261	0,28222609	-0,02523	-0,00044
4,6	0	0,007454	-0,00745	0	-0,01251	0,01251002	0,02416672	0,24166722	-0,0216	-0,00038
4,7	0	0,006383	-0,00638	0	-0,0107123	0,01071227	0,02069377	0,20693766	-0,0185	-0,00032
4,8	0	0,005466	-0,00547	0	-0,0091729	0,00917288	0,01771993	0,17719935	-0,01584	-0,00028
4,9	0	0,00468	-0,00468	0	-0,0078547	0,0078547	0,01517348	0,15173482	-0,01356	-0,00024
5	0	0,004008	-0,00401	0	-0,006726	0,00672595	0,01299298	0,12992979	-0,01161	-0,0002
5,1	0	0,003432	-0,00343	0	-0,0057594	0,00575941	0,01112583	0,11125832	-0,00994	-0,00017
5,2	0	0,002939	-0,00294	0	-0,0049318	0,00493176	0,00952701	0,09527005	-0,00852	-0,00015
5,3	0	0,002516	-0,00252	0	-0,0042231	0,00422305	0,00815794	0,08157939	-0,00729	-0,00013
5,4	0	0,002155	-0,00215	0	-0,0036162	0,00361618	0,00698561	0,06985613	-0,00624	-0,00011
5,5	0	0,001845	-0,00185	0	-0,0030965	0,00309653	0,00598176	0,05981756	-0,00535	-9,3E-05
5,6	0	0,00158	-0,00158	0	-0,0026515	0,00265154	0,00512216	0,05122157	-0,00458	-8E-05
5,7	0	0,001353	-0,00135	0	-0,0022705	0,00227051	0,00438609	0,04386086	-0,00392	-6,8E-05
5,8	0	0,001159	-0,00116	0	-0,0019442	0,00194423	0,00375579	0,03755791	-0,00336	-5,9E-05
5,9	0	0,000992	-0,00099	0	-0,0016648	0,00166484	0,00321607	0,03216071	-0,00287	-5E-05
6	0	0,000849	-0,00085	0	-0,0014256	0,00142559	0,00275391	0,02753911	-0,00246	-4,3E-05
6,1	0	0,000727	-0,00073	0	-0,0012207	0,00122073	0,00235816	0,02358165	-0,00211	-3,7E-05
6,2	0	0,000623	-0,00062	0	-0,0010453	0,00104531	0,00201929	0,02019289	-0,0018	-3,2E-05

6,3	0	0,000533	-0,00053	0	-0,0008951	0,00089509	0,00172911	0,0172911	-0,00155	-2,7E-05
6,4	0	0,000457	-0,00046	0	-0,0007665	0,00076647	0,00148063	0,01480631	-0,00132	-2,3E-05
6,5	0	0,000391	-0,00039	0	-0,0006563	0,00065632	0,00126786	0,0126786	-0,00113	-2E-05

10.3. Annex 3, Ajudes electròniques dels vehicles

10.3.1. Sistemes de circulació

En aquest apartat s'han inclòs els components que faran la funció del conductor. Són:

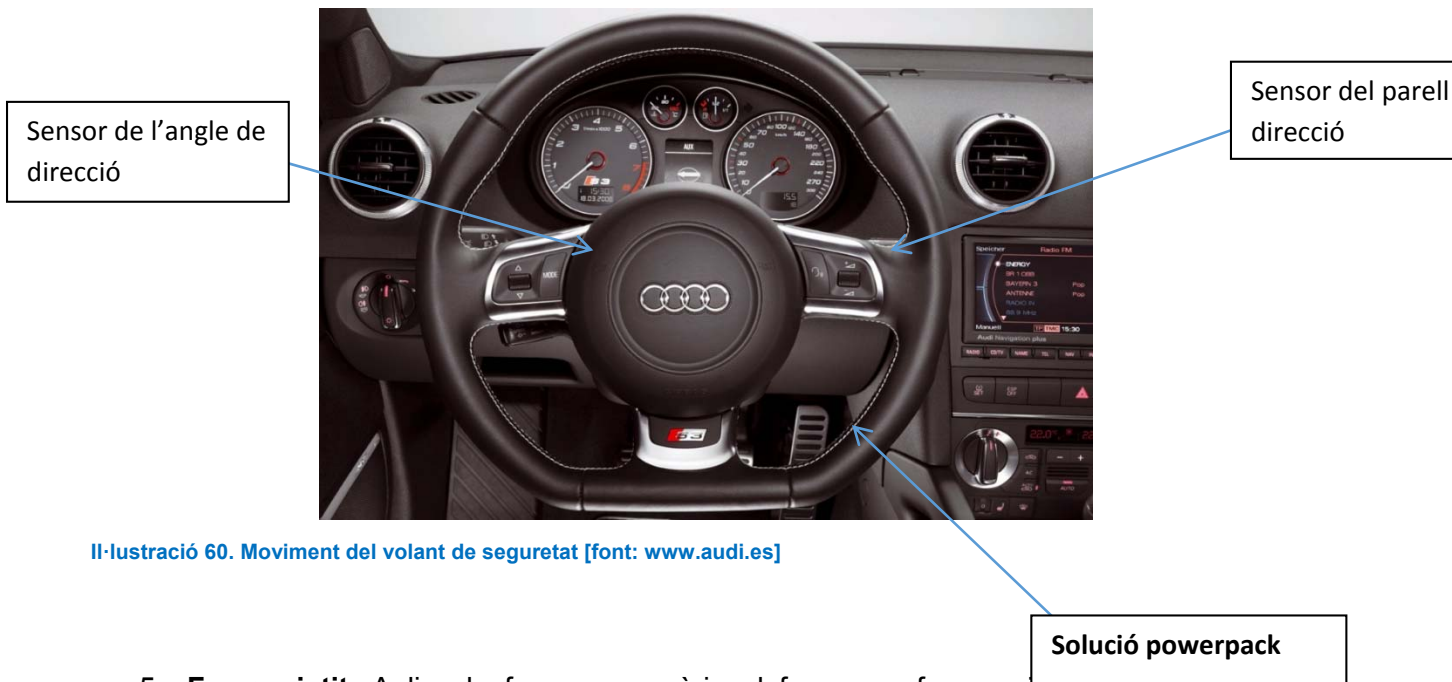
1. **El GPS diferencial:** És el component més important ja que indica la teva posició en cada moment, marca el recorregut a seguir i es comunica amb la central per determinar la teva posició i assegurar que es troba en la cel·la corresponent en cada moment, aquesta última funció en el cas d'autopistes. També serveix per introduir el destí que l'automòbil seguirà. El GPS s'utilitza tan per carreteres com per autopistes.



Il·lustració 59. GPS [Font: pordescubrir.com]

2. **El sensor de parell de direcció:** És el sensor encarregat de mesurar la força aplicada al volant i permet un control progressiu de la direcció. S'utilitza tan per carreteres com per autopistes.
3. **Solució powerpack:** És un propulsor elèctric que consta d'un motor i d'una unitat de control. És el component que fa moure el volant comunicant-se amb el sensor de parell de direcció, el sensor de l'angle de direcció i el GPS. S'utilitza per carreteres i autopistes.
4. **El sensor de l'angle de direcció:** És el sensor que mesura la posició angular del volant. S'utilitza per carreteres i autopistes.

A continuació es mostra una fotografia d'on anirà col·locat cada un dels tres components anteriors:

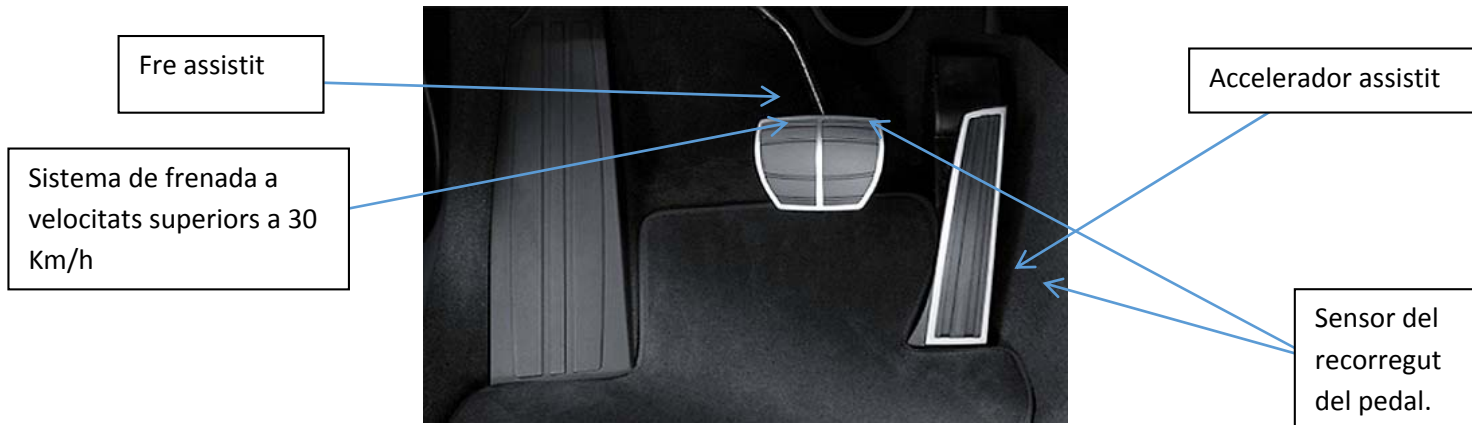


Il·lustració 60. Moviment del volant de seguretat [font: www.audi.es]

5. **Fre assistit:** Aplica la força necessària al fre per a fer possible la frenada automàtica. És un component que ja porten alguns cotxes però que té com a finalitat ajudar al conductor en cas de frenada. En aquest cas la seva finalitat és frenar sol sense l'ajuda del conductor. Aquest component s'utilitza tan en carreteres com en autopistes.
6. **Accelerador assistit:** Aplica la força necessària a l'accelerador per a fer possible l'accelerada automàtica. També s'utilitza en carreteres i autopistes.
7. **El sistema de frenada a velocitats superiors a 30 Km/h:** A velocitats superiors a 30km/h, si el sistema detecta una distància crítica amb el cotxe de davant el sistema inicia una maniobra de frenada parcial fins que frena automàticament. S'utilitza per carreteres i autopistes.

8. **El sensor de recorregut del pedal:** Mesura el recorregut del pedal sense contacte. Aquest component és essencial per als pedals elèctrics. S'utilitza per carreteres i autopistes.

A continuació es mostra on es col·locarà el fre assistit, l'accelerador assistit, el sistema de frenada a velocitats superiors a 30Km/h i el sensor de recorregut dels pedals



Il·lustració 61. Component de frenada i acceleració

9. **El sensor de velocitat de les rodes:** És el sensor que mesura la velocitat rotacional de les rodes del vehicle mitjançant camps magnètics sense contacte. Identifica la direcció de la rotació i l'aturada de la roda. Les senyals es transmeten per cable a l'ABS, TCS i ESP del vehicle per controlar de forma individual la força de frenada de cada roda. És un sistema que s'utilitza per carreteres i autopistes.
10. **El sensor de mesura de l'acceleració:** Mesura en cada moment l'acceleració del cotxe. També s'utilitza tan per a carreteres com per autopistes.

Més avall apareix una fotografia que mostra on estaran col·locats els sensors de velocitat i acceleració:



Il·lustració 62. Velocitat i acceleració [Font: www.bmw.es]

11. **El sensor radar:** Aquest sensor detecta objectes i mesura la seva velocitat en relació al moviment del vehicle. Permet un abast de 250 m i 30° de visió. Podent modificar l'obertura fins a 45°. Aquest component només l'utilitzaran els vehicles que circulin per carreteres.

12. **Càmera multifuncions:** Aquesta càmera enfoca les imatges amb un sensor, un convertidor transforma la intensitat i el color de la llum en una senyal d'imatge elèctrica i un microprocessador processa la senyal. Aquest component només l'utilitzaran els vehicles que circulin per carreteres.

En la imatge següent es mostren el sensor radar i la càmera multifuncions:



Il·lustració 63. Càmera multifuncional i sensors radar [Font: www.audi.es]

13. **Sistema d'advertència a la sortida del carril:** Aquest sistema adverteix quan el cotxe surt del seu carril quan no ho ha de fer. Per al seu funcionament utilitza una càmera de vídeo per a detectar les marques de carril que es troben davant del vehicle i per supervisar la posició d'aquest en el carril. Quan el sensor detecta que el vehicle surt del carril de forma no intencionada aquest l'avisarà mitjançant una senyal visual, auditiva o tàctil. Aquest component només l'utilitzaran els vehicles que circulin per carreteres.

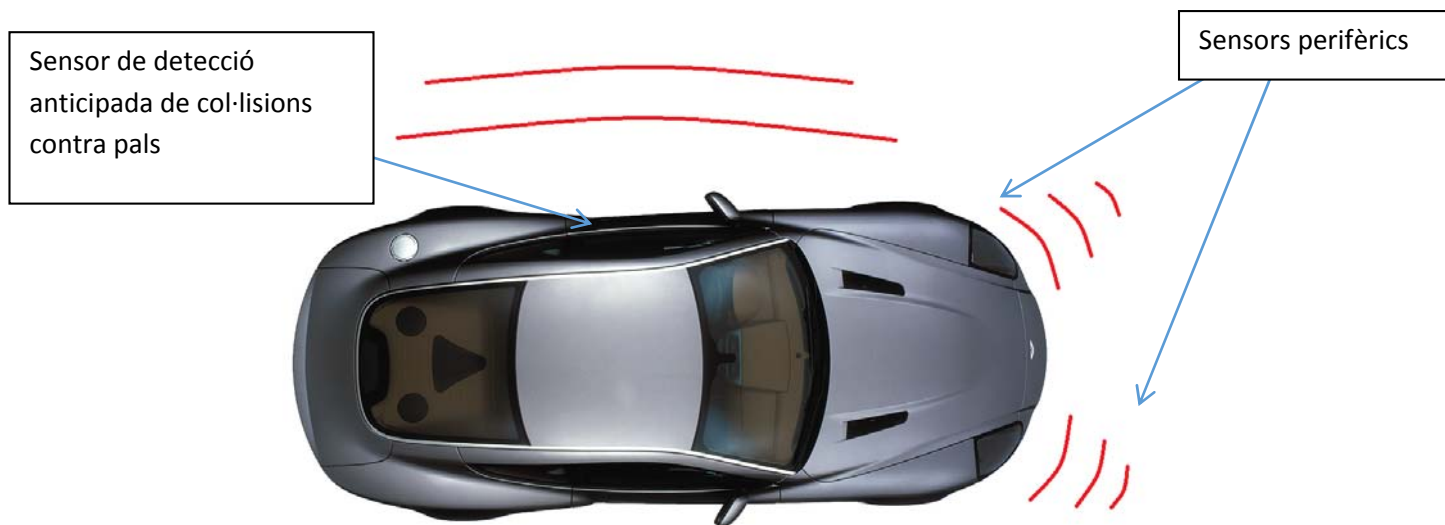
14. **Assistència pel manteniment de carril:** Aquest sensor utilitza també una càmera de vídeo per a detectar les marques de carril situades davant del vehicle. Si detecta que el vehicle s'aproxima massa al lateral del seu carril, s'activa l'assistència per al manteniment del carril i procedirà a girar el volant de forma suau.

10.3.2. Sistemes de seguretat

En aquest apartat trobem tots els components que portarà el sistema i que tenen la finalitat de millorar la seguretat dels ocupants del vehicle. Són:

- **Detector de somnolència del conductor:** El sistema de detecció de somnolència analitza contínuament el comportament del conductor i calcula l'índex de cansament del conductor. Si aquest índex supera un valor específic, una senyal visual o sonora pot avisar al conductor que s'està cansant i així evitar que s'adormi.
- **Sensors perifèrics:** Aquests sensors es troben a les àrees laterals i davantera del vehicle. Amb les senyals del sensor la unitat de control de l'airbag pot actuar abans.
- **Sensors de detecció anticipada de col·lisions contra pals:** Si el dispositiu reconeix un moviment lateral crític del vehicle, aquest prepara la unitat de control de l'airbag per a una possible col·lisió lateral. Si es produeix, els airbags es poden activar molt abans i augmentar la seva eficàcia.
- **Sensors de detecció de col·lisions:** Reconeixen el tipus i gravetat de la col·lisió i adapten els dispositius de protecció a les característiques i posicions dels ocupants del vehicle.
- **Sistema de protecció contra post col·lisions:** Aquest sistema actua si ja hi ha hagut una col·lisió anteriorment frenant el vehicle i així evitant més col·lisions.
- **Sensor de detecció de bolcada:** Mesura la acceleració i la velocitat angular del vehicle i amb això és capaç de detectar el bolcada del vehicle.

A continuació es mostra on haurien d'anar col·locats els sistemes de seguretat:



Il·lustració 64. Sistemes de seguretat

10.4. Annex 4, Dades número de tipologies de vehicles entrats.

Dades estudiades.

<i>Densitats inicials</i>	Densitats entrades	<i>Carril Esquerra</i>	<i>Carril central i dret</i>	<i>Carril dret</i>		
		Tipus 10 a 13	Tipus 10 a 20	Tipus 21 a 40 (pesats)		
10	0	59	23,7	17,3	100	
	10	53,4	25,1	21,5	100	
	20	50,3	24	25,7	100	
	30	49,7	24	26,3	100	
	40	48,9	24	27,1	100	
	50	49,4	23,2	27,4	100	
	60	44,3	26,7	29	100	
	70	44,2	26,7	29,1	100	
	80	45,7	24,7	29,6	100	
	90	43,6	23,2	33,2	100	
30	100	44,2	26,7	29,1	100	
	0	61,7	19,5	18,8	100	
	10	54,7	25,9	19,4	100	
	20	53,9	24,7	21,4	100	
	30	51,7	24,3	24	100	
	40	50,2	25,7	24,1	100	
	50	57,9	22,5	19,6	100	
	60	55	21,1	23,9	100	
	70	54,3	23,8	21,9	100	
	80	54,5	23,4	22,1	100	
50	90	54,4	20,3	25,3	100	
	100	54,2	22,9	22,9	100	
	0	59,1	21,7	19,2	100	
	10	58,8	20,9	20,3	100	
	20	53,5	26	20,5	100	
	30	54,8	24,8	20,4	100	
	40	57,6	22,4	20	100	
	50	57,6	24,2	18,2	100	
	60	55,7	25,6	18,7	100	
	70	54,9	24,7	20,4	100	
	80	56	24,9	19,1	100	
	90	55,1	24,9	20	100	
	100	55,3	24,6	20,1	100	
		55,50	23,58	20,92	100	

10.5. Annex 5, Dades estudi de capacitats.

Dades estudiades.

Densitats	D_entrades	Capacitats	Densitats	D_entrades	Capacitats
10	0	2117	20	0	4318
10	10	3604	20	10	5782
10	20	4882	20	20	7090
10	30	5589	20	30	7783
10	40	6269	20	40	7817
10	50	6853	20	50	8819
10	60	7317	20	60	9126
10	70	7541	20	70	9602
10	80	7877	20	80	9277
10	90	8175	20	90	9573
10	100	8149	20	100	10811

Densitats	D_entrades	Capacitats	Densitats	D_entrades	Capacitats
30	0	6387	40	0	9073
30	10	8091	40	10	10224
30	20	8935	40	20	11292
30	30	8922	40	30	12037
30	40	9073	40	40	11749
30	50	11044	40	50	12059
30	60	11022	40	60	12742
30	70	11051	40	70	12407
30	80	10586	40	80	12769
30	90	11143	40	90	12458
30	100	11465	40	100	13182

Densitats	D_entrades	Capacitats	Densitats	D_entrades	Capacitats
50	0	11242	60	0	13084
50	10	12292	60	10	14786
50	20	12462	60	20	15232
50	30	13439	60	30	15207
50	40	13791	60	40	15305
50	50	13488	60	50	15321
50	60	14080	60	60	15020
50	70	14144			
50	80	14459			
50	90	14480			
50	100	14337			

Densitats	D_entrades	Capacitats	Densitats	D_entrades	Capacitats
70	0	15102	80	0	18086
70	10	16436	80	10	18589
70	20	16870	80	20	18790

Densitats	D_entrades	Capacitats	Densitats	D_entrades	Capacitats
90	0	20510	100	0	22359
90	10	20800	100	10	22386

10.6. Annex 6, Dades estudi de capacitats, les cues.

Dades estudiades.

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
10	0	0	0	0
10	10	0	0	0
10	20	0	1	2
10	30	0	0	0
10	40	1	1	4
10	50	1	3	1
10	60	0	4	8
10	70	0	0	52
10	80	1	35	44
10	90	1	97	56
10	100	1	174	105

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
20	0	0	0	0
20	10	0	0	1
20	20	0	3	0
20	30	3	4	0
20	40	0	0	3
20	50	1	0	35
20	60	1	11	68
20	70	1	69	9
20	80	4	51	125
20	90	0	127	138
20	100	3	141	146

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
30	0	0	0	0
30	10	0	0	0
30	20	2	1	1
30	30	1	5	4
30	40	1	2	0
30	50	29	50	17
30	60	27	64	52
30	70	54	126	113
30	80	33	184	126
30	90	81	205	111
30	100	99	215	210

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
40	0	0	0	0
40	10	37	54	6
40	20	7	38	1
40	30	51	68	18
40	40	76	58	7
40	50	78	74	31
40	60	155	146	81
40	70	179	156	118
40	80	247	165	134
40	90	301	215	228
40	100	333	298	236

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
50	0	0	0	0
50	10	35	51	6
50	20	101	62	5
50	30	161	83	64
50	40	198	67	52
50	50	162	133	90
50	60	187	195	89
50	70	315	239	113
50	80	358	220	122
50	90	428	375	205
50	100	446	411	302

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
60	0	0	0	0
60	10	107	69	33
60	20	143	101	8
60	30	188	114	47
60	40	232	192	72
60	50	259	212	125
60	60	220	221	199

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
70	0	0	0	0
70	10	89	109	43
70	20	161	126	46

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
80	0	0	0	0
80	10	126	146	93
80	20	185	159	123

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
90	0	0	0	0
90	10	158	141	126

Densitats	D_entrades	Cua_ent1	Cua_ent2	Cua_ent3
100	0	0	0	0
100	10	181	151	118

10.7. Annex 7, Capacitat hora punta tram simulat

El tram simulat presenta un IMD de 67.838 vehicles per dia.

Tenint en compte que hora punta es de 7 a 10 i de 4 a 7. I tenint en compte que dos tercers parts passen en aquest període tenim.

Capacitat en hora punta = $67.838 * 6 \text{ hores} / 24 \text{ hores} * 2/3 = 7.538 \text{ vehicles/hora}$