



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

Sistemes d'assistència a la conducció

Memòria del projecte
d'Enginyeria Tècnica en
Informàtica de Sistemes
realitzat per
Alexis Martínez Fernández
i dirigit per
Vicenç Soler Ruiz.

Escola d'Enginyeria

Sabadell, Juny de 2010.

El sotasignat, **Vicenç Soler Ruiz**,
professor de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present memòria
ha estat realitzat sota la seva direcció
per **Alexis Martínez Fernández**.

I per a que consti firma la present.
Sabadell, **Juny** de **2010**.

Signat:

Resum del projecte.

Els automòbils són un dels principals mètodes de transport a dia d'avui i la conducció dels mateixos una de les principals causes de mortalitat, es per això que la seguretat automobilística és una de les grans qüestions presents a millorar constantment.

Els sistemes de seguretat basats en intel·ligència artificial són una tendència en seguretat automobilística en el que s'han centrat en els últims anys diferents empreses del sector i universitats, i suposa la implantació de la tecnologia més sofisticada per a avaluar l'entorn de circulació i reduir al màxim la gravetat en cas d'un accident de trànsit.

La proposta del projecte es basa en desenvolupar un conjunt d'eines que permetin a un sistema automòbil i a partir d'unes variables d'entrada, efectuar una acció sobre ell mateix on el criteri a avaluar serà el risc present que pateixi aquell vehicle dins l'entorn de circulació. Per a portar a terme totes aquestes funcions, ens cal avaluar el nostre entorn mitjançant tècniques de reconeixement de patrons i tenir una bona presa de decisions gràcies a la lògica difusa per a cercar una solució, si esdevé qualsevol tipus de situació de perill.

Índex.

1. INTRODUCCIÓ.	6
1.1. INTRODUCCIÓ AL PROJECTE.	6
1.2. CONCEPTES.	6
1.3. DESCRIPCIÓ.	7
1.4. OBJECTIUS.	10
1.5. PARTS INTERESSADES.	11
1.5.1. <i>Stakeholders.</i>	11
1.5.2. <i>Perfils d'usuaris.</i>	11
1.5.3. <i>Equip del projecte.</i>	11
1.6. SITUACIÓ ACTUAL.	12
1.6.1. <i>Mobileye.</i>	12
1.6.2. <i>Volvo City Safety.</i>	13
1.7. DESCRIPCIÓ DE LA MEMÒRIA.	14
2. ESTUDI DE VIABILITAT.	15
2.1. NORMATIVA I LEGISLACIÓ.	15
2.2. REQUISITS DEL SISTEMA.	15
2.2.1. <i>Requisits funcionals.</i>	15
2.2.2. <i>Requisits no funcionals.</i>	15
2.2.3. <i>Restriccions del sistema.</i>	16
2.3. ALTERNATIVES I SELECCIÓ DE LA SOLUCIÓ.	16
2.3.1. <i>Alternatives.</i>	16
2.3.2. <i>Solució proposada.</i>	17
2.4. PLANIFICACIÓ.	18
2.4.1. <i>Recursos del projecte.</i>	18
2.4.2. <i>Tasques del projecte.</i>	18
2.4.3. <i>Planificació temporal.</i>	20
2.5. PRESSUPOST.	21
2.5.1. <i>Estimació del cost de personal.</i>	21
2.5.2. <i>Estimació del cost dels materials.</i>	21
2.5.3. <i>Resum i anàlisi cost benefici.</i>	22
2.6. CONCLUSIONS.	22
2.6.1. <i>Beneficis.</i>	22
2.6.2. <i>Inconvenients.</i>	22
3. FONAMENTS TEÒRICS.	23
3.1. FÍSICA DE L'AUTOMÒBIL.	23
3.1.1. <i>Conceptes.</i>	23
3.1.2. <i>Factors d'interès.</i>	25
3.2. Lògica difusa.	27
3.2.1. <i>Introducció.</i>	27
3.2.2. <i>Conjunts difusos.</i>	28
3.2.3. <i>¿ Per què lògica difusa ?</i>	28
3.2.4. <i>Variables difuses d'entrada.</i>	28
3.2.5. <i>Variables difuses de sortida.</i>	30
3.2.6. <i>Regles difuses.</i>	31
3.2.7. <i>Controlador difús.</i>	31

3.3.	<i>FREE FUZZY LOGIC LIBRARY (FFLL)</i>	33
3.3.1.	<i>Introducció.</i>	33
3.3.2.	<i>Funcions de l'API</i>	33
3.3.3.	<i>Fuzzy Control Language (FCL)</i>	34
3.4.	<i>Box2D</i>	35
3.4.1.	<i>Introducció.</i>	35
3.4.2.	<i>Escenari.</i>	35
3.4.3.	<i>Vehicles.</i>	35
3.4.4.	<i>Funcions de l'API</i>	36
3.5.	<i>OPENGL USER INTERFACE (GLUI)</i>	37
4.	DESENVOLUPAMENT	38
4.1.	ARQUITECTURA DEL SOFTWARE.....	38
4.1.1.	<i>Classes.</i>	38
4.1.2.	<i>Diagrama de classes.</i>	40
4.1.3.	<i>Esquema d'execució.</i>	41
4.2.	SIMULACIÓ DELS SISTEMES.....	42
4.3.	CONTROL DE QUALITAT.....	43
5.	CONCLUSIONS	45
5.1.	AVALUACIÓ D'OBJECTIUS.....	45
5.2.	PROBLEMES TROBATS.....	46
5.3.	LÍNIES FUTURES.....	47
6.	BIBLIOGRAFIA	50

1. Introducció.

1.1. Introducció al projecte.

El marc d'aquest projecte és el de la seguretat automobilística. Per això serà interessant introduir un àmbit tan ampli des de múltiples perspectives com veure quines solucions avui en dia hi són presents, algunes empreses que tenen productes del mateix tipus i descriure quin sistema en concret serà desenvolupat com a part del projecte.

1.2. Conceptes.

La part dels sistemes que integren la seguretat automobilística que es basen en millorar la seguretat en la conducció seran, concretament, els d'interès. També se'ls anomena sistemes avançats d'assistència a la conducció (*Advanced Driver Assistance Systems*). [2]

Hi ha varis sistemes actualment al mercat com els que milloren la visibilitat a l'usuari, els que avisen sobre la presència de vehicles o objectes en angles morts o els que inhabiliten el vehicle si el conductor supera la taxa d'alcoholèmia prèviament haver realitzat una prova però només es centrarà l'atenció en aquells que tinguin una estreta relació al sistema que planteja el projecte que més endavant serà presentat. Alguns d'aquests sistemes són:

- Assistència al manteniment del carril (*Lane Keeping Assistant*):

La seva funcionalitat es basa en l'avís al conductor en cas que el vehicle rebassi alguna de les línies horitzontals del carril actual. D'aquests sistemes en podem diferenciar dos tipus amb característiques diferents, d'una banda el que només produeix un avís de tipus sonor, visual o vibratori al conductor (*Lane Departure Warning*) i d'altra banda el que, a més inclou la capacitat de reorientar el vehicle dins el carril de circulació (*Lane Keeping Assistant*) i evitar així la sortida de la via. [3]

- Assistència a la frenada (*Brake Assistant*):

Sistema fonamentalment mecànic però essencial que tracta d'oferir una potència addicional al mecanisme de frenada en cas que sigui necessari a causa d'una situació de risc de col·lisió. El comportament habitual d'un conductor és efectuar una frenada gradualment més intensa, lo que evidentment, en una situació perillosa allarga la distancia de detenció del propi vehicle. És per això que es va implantar aquest sistema que interpreta quan el conductor vol efectuar una frenada d'emergència mitjançant la relació que existeix entre la velocitat a la que circula amb la intensitat que s'està pitjant el pedal de fre i hi aplica la màxima potència de frenada. També s'ha de remarcar que amb la conjunta utilització del ABS es millora l'efectivitat d'aquest sistema. [4][5]

- Detecció de somnolència en el conductor (*Driver Drowsiness Detection*):

Tecnologia que permet identificar si el conductor es troba en un estat de somnolència a través d'una càmera interior i utilitzant principalment tècniques de visió per computador de reconeixement facial, on el factor determinant és la interpretació de l'ull per a extreure patrons de conducta i amb un posterior avís acústic en cas d'una

detecció positiva. Segons la Direcció General de Trànsit la somnolència és una de les principals causes dels accidents que resulten amb sortides de la via de circulació, i que van representar el 42% del total de víctimes a la carretera l'any 2009. [6][7][8]

- Avís de col·lisió frontal (*Forward Collision Warning*):

Monitorització de la part frontal del vehicle per a avisar al conductor en cas de l'existència d'un perill de col·lisió. La estructura més comuna per aquests sistemes és la utilització d'una càmera muntada darrere del retrovisor interior per a la detecció de vehicles i/o objectes frontals, i un radar situat a la part davantera de la reixa del radiador de l'automòbil que proporciona mesures de distància respecte un obstacle si és el cas, i que a més a més pot ser més efectiu en condicions climatològiques adverses i on les tècniques de visió per computador es vegin més compromeses. [9]

1.3. Descripció.

Un cop havent fet una breu descripció d'alguns dels principals sistemes actualment existents es passarà a determinar amb més detall la finalitat del projecte.

El projecte es basarà en la implantació de dos sistemes de presa de decisions, un d'ells estarà basat en formulació i l'altre en lògica difusa amb l'objectiu d'avaluar el risc existent en un moment donat dins del marc d'un sistema precol·lisió. També es pretén remarcar els punts forts i dèbils de cadascun d'ells en comparació amb l'altre per a finalment concloure amb la imposició de la lògica difusa per a la resolució del sistema i com a una possible solució per a implementacions futures.

L'esquema mostrat a continuació permet representar l'estructura bàsica amb els passos més importants en un sistema precol·lisió on es marca en negreta el que serà desenvolupat en el treball.

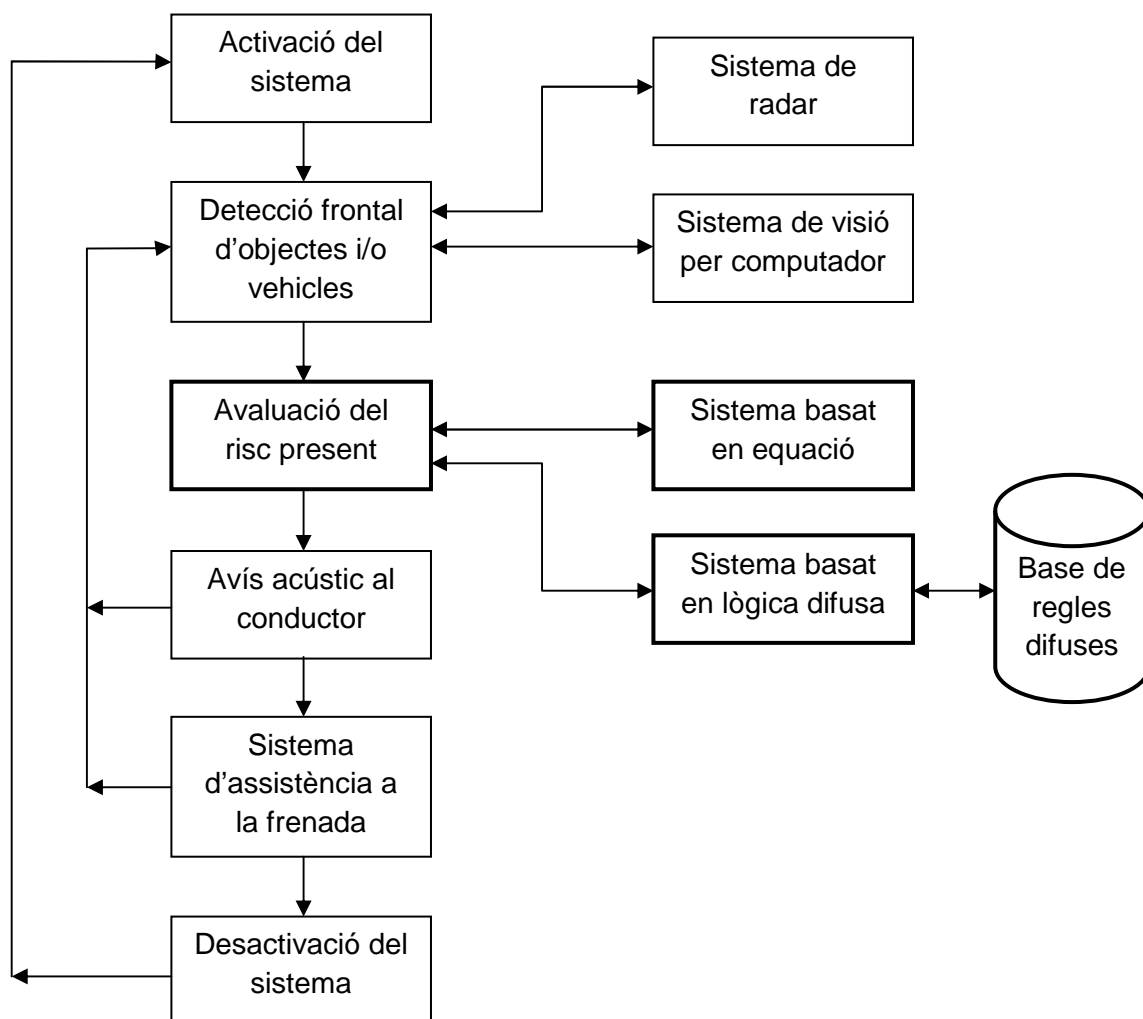


Figura 1.1: Diagrama del funcionament general.

A primera vista es pot observar que el sistema pot estar o no activat, és a dir, és totalment complementari a lo que avui coneixem com a vehicle. Si entra en funcionament la primera tasca que és necessària executar és la interpretació de l'entorn de treball en què el vehicle circula. Una possibilitat és la utilització de tècniques basades en la visió per computador per al rastreig de la zona frontal de l'automòbil. El disseny de solucions a partir d'aquests mètodes pot resultar complexe, però també efectiu en entorns on sigui més perceptible la presència de vehicles i/o altres obstacles com per exemple en autopistes i autovies. Tot i així, en zones urbanes on la diversitat de l'escenari és molt més variada, pot comprometre l'efectivitat de la detecció.

També s'ha de tenir en compte la diversitat de vehicles que existeixen avui en dia on sens dubte, les possibles implementacions haurien de basar-se en característiques comunes en tots els automòbils, com són les plaques de matrícula, retrovisors, llums intermitents, llums de fre, rodes, etc., sempre i quan aquestes siguin perceptibles per a una càmera, perquè també poden estar tapades o embrutades. A més a més de tots els inconvenients que existeixen en l'entorn, és important l'equip de visió del que es farà ús, incloent la seva posició, el seu rang de treball, els sistemes de suport a la il·luminació per a entorns foscos i la cal·libració dels mateixos en dies solejats. Segons els diferents vehicles que avui en dia incorporen aquests sistemes, la majoria dels

mateixos incorporen una sola càmera interior generalment orientada cap al front i en el mateix eix vertical que el retrovisor interior, on la incorporació a l'interior del vehicle és, sens dubte, una mesura extraordinària de preveure qualsevol desperfecte exterior que pugui ocasionar el deteriorament de la càmera. El Dr. Daniel Ponsa, responsable de la detecció de vehicles al Centre de Visió per Computador, també recomana la utilització de més d'una càmera per a facilitar la detecció amb l'extracció de característiques tridimensionals [10]. També és necessari un sistema basat en un radar d'ona mil·limètrica per a la detecció d'obstacles, situat a la zona frontal més sortint del vehicle que normalment és darrera la reixa del radiador [11]. Ambdós sistemes proporcionen informació sobre l'entorn frontal, i per tant, cadascun d'ells aporta un criteri que, en cas de ser compartit, és signe d'una detecció certa, i en cas contrari, vol significar que algun d'ells ha detectat un fals positiu i cap dels sistemes ha efectuat cap avís. Aquest reforçament és imprescindible, ja que no es pot permetre que un vehicle s'aturi sobtadament enmig d'una via de circulació ràpida per a un fals positiu (tenint en compte que el vehicle incorpori frenada automàtica, en cas contrari es percebria un molest soroll d'alerta sense motiu aparent).

Una de les parts essencials és el sistema de presa de decisions, que bàsicament és el que espera una detecció positiva per a avaluar el risc present. El perill que existeix en un determinat moment és un concepte a modelar, a descriure a partir d'uns paràmetres d'entrada que permetin calcular-ho i així determinar si el vehicle està en una situació potencialment perillosa. Aleshores és quan s'han de determinar quins són els factors que realment condicionen la perillositat en la conducció i que en el propi vehicle sigui possible prendre-hi mesures. Sens dubte el factor de perillositat màxim és l'humà però es torna a caure en la necessitat d'utilitzar tècniques, en principi basades en visió per computador, per a l'interpretació de l'estat del conductor, etc. Finalment les variables que més determinin la perillositat siguin d'altres com la velocitat mitja, la distància respecte a l'obstacle més proper, etc.

Com anteriorment s'ha introduït, els sistemes d'assistència a la frenada, serà la part a desenvolupar en el projecte suportada per a un software que permeti demostrar la utilització d'aquests sistemes i on més endavant s'aprofundirà al màxim.

Després d'haver realitzat una avaluació de l'entorn i un nivell de risc, cal informar inicialment al conductor de vehicle del resultat del sistema. L'entrega de resultat es pot fer tant visualment com acústicament però sens dubte la distracció visual del conductor no és una alternativa gaire encertada. Només caldrà informar al conductor en cas de que realment sigui necessària una reducció considerable de la velocitat o un increment en la distància mínima de seguretat amb un vehicle precedent. En cas de que el conductor no variï la seva actitud en conseqüència dels resultats del sistema és possible la incorporació d'un sistema d'assistència a la frenada que és principalment una forma d'afegir una capacitat de frenada extra, ja que es preveu que sigui necessari una aturada d'emergència. En última instància s'exercirà amb potència màxima la frenada d'emergència, sempre deixant un marge respecte a l'obstacle i/o vehicle detectat.

La següent figura il·lustra perfectament com estaria disposat un sistema precol·lisió en el cas d'un vehicle, tot i que només mostra la disposició del radar d'ona mil·limètrica i no apareix el sistema de visió per computador situat darrera del retrovisor interior.

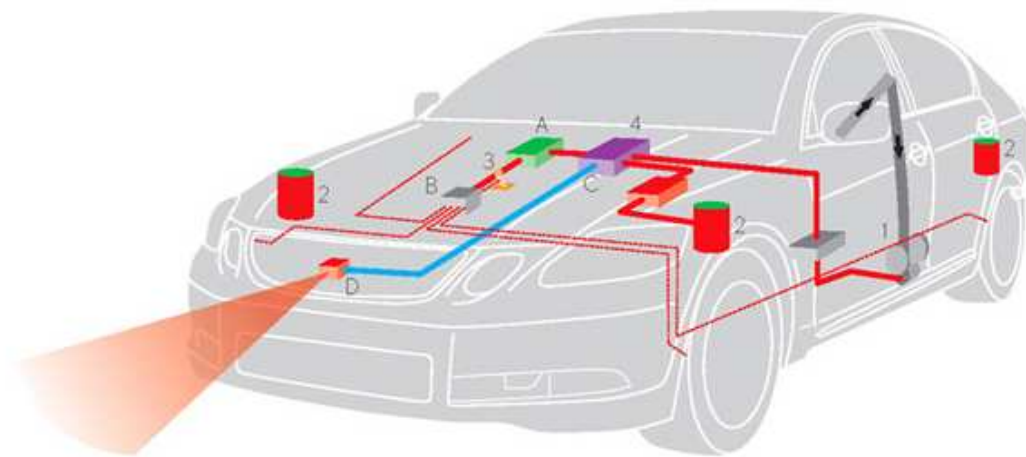


Figura 1.2: Visió general dels components d'un sistema de seguretat en precol·lisió.

Alguns dels seus components apareixen referenciats a l'imatge com [12]:

(A) Ordinador de control de frenada:

Encarregat del procés de frenada de l'automòbil, tant en la precàrrega dels sistemes com durant la pròpia frenada per a maximitzar-ne l'efectivitat.

(C) Ordinador de seguretat precol·lisió:

Responsable de l'execució i interpretació de les dades provinents dels altres sistemes per a determinar el nivell de perill i actuar en conseqüència.

(D) Radar d'ones mil·limètriques:

Dispositiu electrònic que permetrà detectar vehicles i/o obstacles dins un camp frontal de l'automòbil.

(1) Cinturó de seguretat:

En cas d'efectuar una frenada d'emergència, també es tensa lo suficient el cinturó de seguretat per a salvaguardar els ocupants del vehicle al seu seient.

(2) Control de suspensió:

L'estat de la suspensió es també un dels factors claus en la distància de frenada d'un vehicle i per això un bon control la reduirà considerablement.

1.4. Objectius.

Els objectius que es proposen en aquest projecte són els següents:

- Augmentar la seguretat en la conducció de vehicles automòbils.
- A partir de l'entorn, evitar tot tipus de col·lisió amb obstacles, vehicles i vianants.
- Mantenir la integritat física del vehicle intacta prenent decisions en base a l'entorn.

- Recuperar informació referent a les imprudències dels conductors per a futures versions.
- Definir una nova línia de concepció, modernitzant l'ús i prestacions per a l'automòbil.
- Identificar algunes de les principals aplicacions de seguretat automobilística basades en intel·ligència artificial presents al mercat.
- Introduir algunes de les futures incorporacions en seguretat automobilística.
- Dissenyar i avaluar dos sistemes d'assistència a la frenada.

1.5. Parts interessades.

1.5.1. Stakeholders.

Nom	Descripció	Responsabilitat
S1	Responsable automobilístic	Patrocinador. Aprovació del projecte. Participa en la seva definició i fa el seguiment del mateix
S2	Responsable comptable	Defineix els requisits i fa el seguiment del projecte
S3	Expert en mecànica de l'automòbil	Defineix els requisits i dóna informació que serà utilitzada en el sistema
S4	Cap del projecte	Supervisa i avalua el desenvolupament del projecte

1.5.2. Perfils d'usuaris.

Nom	Perfil	Responsabilitat
U1	Enginyer automobilístic	Disseny del vehicle per a l'íntegrament del sistema
U2	Usuari no expert/Conductor	Correcte utilització del sistema

1.5.3. Equip del projecte.

Nom	Descripció	Responsabilitat
CP	Cap de projecte	Supervisa el projecte i

		gestiona el desenvolupament
A	Analista	Analitza l'aplicació i els seus requeriments i participa en el procés d'implantació
P	Programador	Desenvolupa l'aplicació d'acord amb els documents d'anàlisi i disseny
TP	Tècnic de proves	Participa en el disseny i en les proves de control de qualitat

1.6. Situació actual.

Una gran varietat d'universitats i empreses dediquen els seus esforços a millorar i produir nous sistemes d'assistència a la conducció. Només es presentaran algunes de les empreses que fabriquen els principals productes comercials en quan a assistència a col·lisions frontals.

1.6.1. *Mobileye.*

Una de les primeres empreses sorgides a finals dels anys 90 en la producció de sistemes d'assistència a la conducció basats en sistemes de visió monoculars [13]. El seus productes es troben integrats en vehicles de grans empreses automobilístiques com *BMW*, *Volvo* i *Cadillac*. El seu producte de consum més important és *Mobileye AWS*.

Les principals prestacions que proporciona el sistema són les següents:

- *Forward Collision Warning.*
- *Lane Departure Warning.*

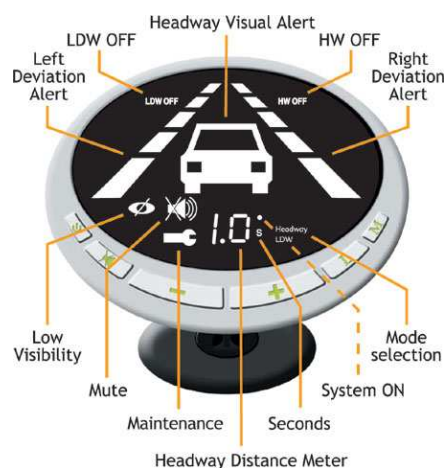


Figura 1.3: Panell visual del sistema *Mobileye AWS*.

El sistema es compon per a una càmera que es situa darrere del retrovisor interior del vehicle, un parell d'altaveus que emetran les senyals acústiques i d'un panell que es situarà justament per sota del retrovisor interior a la vista el conductor. L'element més

important és el panell que en tot moment es troba informant de l'estat de perill del vehicle portador. Es caracteritza per a una interfície senzilla i entenedora on cada estat de perill ve acompanyat per a un to de color diferent, i d'un senyal acústic característic en cada cas sobre les imatges del panell i on el perill detectat vindrà també remarcat de forma intermitent, per a facilitar la percepció visual per part el conductor. L'efectivitat d'aquest producte està demostrada a la pròpia pàgina web de l'empresa a la part de vídeos per a productes de consum. [14]



Figura 1.4: Exemple de visualització del panell en diferents situacions.

1.6.2. *Volvo City Safety.*

Famosa empresa automobilística que ha produït un gran ressò comercial amb la integració recentment d'aquests sistemes als seus vehicles. [15]

El sistema combina càmera i radar per a la detecció de vehicles precedents. El radar de llarg abast és efectiu fins a 150 metres i la càmera és efectiva fins a 55 metres. Amb la utilització de fusió de dades d'ambdós dispositius l'efectivitat es veu incrementada. Un altre punt destacable és la possibilitat que té la càmera de detectar vianants i vehicles estacionats, i avisar al conductor mentre es manté un nivell baix de risc fals. A més a més el sistema compta amb diferents nivells de sensibilitat que poden ser regulats. [16]

Si el sistema detecta risc immediatament s'encén un llum de color vermell visible per al conductor i s'emet un soroll acústic a la vegada. Si tot i així el risc augmenta segons el criteri del sistema, el sistema d'assistència a frenada dedica la seva atenció a preparar-se per a una imminent frenada d'emergència per, en cas final, efectuar l'aturada més efectiva per a preservar al màxim l' integritat del vehicle. [16][17][18]

Tot i la quantitat de professionals i capital invertit en aquest projecte queda demostrat que aquests tipus de sistemes, almenys els dissenyats per *Volvo*, encara han de rebre una última revisió per a acabar de perfilar alguns detalls. [19]



Figura 1.5: Vista general sobre el funcionament del sistema d'aturada dels vehicles de Volvo.

La veritat es que aquest tipus de sistemes no han tingut encara una incorporació massiva en els diferents vehicles que es comercialitzen al mercat. Només algunes marques d'alta gama o marques amb vehicles d'alta gama permeten de forma opcional comprar un vehicle amb alguna d'aquestes funcionalitats. La qüestió es que aquesta situació resulta en la dificultat de la cerca d'informació de caire més tècnic i a la fi la més important per al projecte. No obstant, tots aquests sistemes de suport a la conducció necessiten ser ofertats al consumidor i per això sí que es pot trobar molta informació, principalment vídeos, exposant les avantatges del seu producte.

- *Toyota PreCrash Safety System.* [20]
- *Mercedes-Benz PRE-SAFE Break.* [21]
- *Honda Collision Mitigation Brake System.* [22]
- *Ford Collision Warning with Brake Support.* [23]
- *Audi Braking Warn.* [24]
- *Lexus Braking Assist System.* [25]

1.7. Descripció de la memòria.

La memòria s'estructura en diversos apartats que pretenen exposar l'àmbit del projecte i la solució proposada com a part del mateix. Inicialment al capítol 1 hi ha una introducció on s'expliquen diversos sistemes d'assistència a la conducció, i posteriorment s'aprofundeix en el treball a realitzar. També es parla de les parts interessades en aquest projecte si es portés a terme a la realitat, i per a donar una visió del mercat actual es parla de dues empreses que dediquen una part de la seva producció a sistemes d'assistència a la conducció. El capítol 2 conté l'estudi de viabilitat del projecte. A continuació, al capítol 3, es presenten els fonament teòrics a partir dels quals s'ha basat el projecte, com per exemple, conceptes físics de l'automòbil, breus introduccions a les diferents lliberies emprades en el projecte, etc.. En prolongació de l'apartat anterior es continua, al capítol 4, amb la implementació del software de simulació, detallant les classes utilitzades i la finalitat del mateix per a l'avaluació dels sistemes d'assistència a la frenada. Finalment es conclou, amb el capítol 4, amb els resultats extrets del treball, tant de les obtinguts en la realització del software com els corresponents al tema dels sistemes d'assistència a la conducció.

2. Estudi de viabilitat.

2.1. Normativa i legislació.

Un punt a tenir en compte en el desenvolupament de sistemes integrats a vehicles és el compliment de les lleis vigents. Durant els darrers anys s'han pres molt seriosament les distraccions al volant per part de les autoritats en quan a sancions, i lo que pretenen aquests enginys és augmentar la seguretat en la conducció de la forma més autònoma possible, sense haver de interaccionar constantment amb el conductor. Alguns dels textos [26] que estan relacionats amb el sistema proposat al projecte són:

- *Texto articulado de la ley de seguridad vial (LSV).*
- *Bases sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial.*
- *Reglamento General de Circulación.*
- *Reglamento General de Vehículos.*
- *Reglamento General de Conductores.*
- *Directiva 2007/15/CE de la Comisión, de 14 de marzo de 2007, por la que se modifica, para adaptarlo al progreso técnico, el anexo I de la Directiva 74/483/CEE del Consejo, sobre los salientes exteriores de los vehículos a motor.*

2.2. Requisits del sistema.

2.2.1. Requisits funcionals.

- Comunicació amb el conductor per a l'activació/desactivació del propi sistema.
- Comunicació amb l'exterior a partir de càmeres.
- Tractament de la informació rebuda de l' exterior.
- Manteniment de les dades referents als paràmetres fixes que caracteritzen un vehicle i influeixen en la distància d'aturada (sistema de frenada, etc.).
- Generació d'informació referent a imprudències recollides pel sistema.

2.2.2. Requisits no funcionals.

- Compliment dels reglaments i les lleis vigents.
- El hardware del sistema s'ha d' integrar en un vehicle automòbil.
- Tolerància a errades percebudes sobre l'entorn i accions incorrectes.
- Control de totes les percepcions exteriors necessàries del sistema.

2.2.3. Restriccions del sistema.

- Ha de processar molta informació en qüestió de mil·lisegons.
- S'ha d'adaptar al tipus de vehicle en el qual s'integra.
- S'ha d'introduir com a una opció més per al vehicle sense envair l'autonomia del conductor.
- Ha de tenir en compte una legislació extensa.

2.3. Alternatives i selecció de la solució.

2.3.1. Alternatives.

Les eines que poden ser útils són principalment llibreries o aplicacions, que proporcionin facilitats a l'hora d'implementar solucions basades en lògica difusa i de simulació de vehicles, ja que l'autèntic objectiu és comprovar que realment sota un simulador físic lo suficientment aproximat a la realitat el sistema és viable i funcional.

Alternativa 1: Software *MATLAB*. [27]

Software que oferta un entorn interactiu integrant un llenguatge d'alt nivell amb el mateix nom, que permet desenvolupar i executar programes amb complexitat computacional elevada més ràpidament que altres llenguatges de programació tradicionals com C/C++. No hi cap dubte en que és una eina molt potent i efectiva en quant a la programació i que seria útil per a implementar el controlador difús, però els costos d'adquisició d'aquest producte són molt elevats.

Alternativa 2: Software *Xfuzzy*. [28]

Conjunt d'eines necessàries per al desenvolupament de sistemes basats en lògica difusa creades pels professionals del Institut de Microelectrònica de Sevilla. Ha estat utilitzat pels mateixos investigadors per a desenvolupar els seus projectes de lògica difusa, lo que vol dir que abarca tot el procés de disseny des de la descripció inicial fins a l'implementació final incloent sortides gràfiques per a facilitar la tasca. Està programat en Java i incorpora el seu propi llenguatge de d'especificació anomenat *XFL*.

Alternativa 3: Software *Free Fuzzy Logic Library (FFLL)*. [29]

Coneguda llibreria *Open Source* que incorpora una *API* per a la programació de sistemes difusos. Programada en C++ totalment i utilitzada per a incorporar intel·ligència artificial a videojocs principalment. La definició del sistema difús ve donada per un arxiu *FCL* que respecta un estàndard *IEC* per al llenguatge de lògica difusa. Lo que significaria que també serviria per a fer una simulació real sobre un controlador difús. També amb l'instal·lació del software *Spark! Viewer* [30] es poden visualitzar els conjunts difusos i veure quines combinacions resulten cadascuna de les entrades del sistema. [31]

Alternativa 4: Software *Box2D*. [32]

Llibreria *Open Source* que integra la simulació de físiques en 2 dimensions. Una de les poques en 2D que ofereixi un potencial semblant. Originalment escrita en C++ tot i que avui es pot trobar en una gran diversitat de llenguatges diferents principalment els predominants en el desenvolupament en aplicacions sobre dispositius de telèfon mòbil i videojocs.

Alternativa 5: Software *Newton Game Dynamics*. [33]

Adequada solució per a la simulació d'entorns físics en 3D. Proveeix facilitats com gestió de l'entorn, detecció de col·lisions, etc. No solsment està dissenyada per a videojocs com la majoria d'aquestes llibreries físiques, sinó que també està pensada per a simulació física en temps real. També remarca la facilitat d'integrar aquesta llibreria en aplicacions, donada la fàcil compressió amb nocions bàsiques de física. Per a creure en tot això es pot fer una ullada als diferents projectes que han utilitzat aquesta llibreria a la secció de descàrregues.

Alternativa 6: Altres softwares de simulació.

A part del software *Newton Game Dynamics*, hi han d'altres de molt semblants com *Open Dynamics Engine* [34] i *Bullet Physics* [35]. Comparteixen moltes de les característiques ja esmentades i han estat utilitzats en una gran varietat de videojocs principalment entre els quals hi figuren alguns dels títols més venuts.

Alternativa 7: Desenvolupament de les eines necessàries per al sistema.

Software fet a mida per a la simulació de l'escenari. Implica tenir nocions de física per a la programació del comportament dels cossos i també és necessària una comprensió matemàtica i coneixements més amplis en intel·ligència artificial per a l'implementació del sistema basat en lògica difusa.

Increment considerable en la càrrega de treball i en la duració del projecte que faria impossible acabar en el termini establert.

2.3.2. Solució proposada.

La solució escollida per al desenvolupament ha estat la combinació de les llibreries *Free Fuzzy Logic* i *Box2D*. Després de comprovar cadascuna d'elles i fer recerca per a Internet són les dues eines que més s'adapten a les necessitats del projecte. D'una banda la *FFLL* brinda l'implementació de lògica difusa amb una *API* senzilla i respectant estàndards *IEC* en la programació del controlador difús i per l'altre *Box2D* proporciona una simulació física 2D més adequada per als objectius del projecte on és preferible evitar d'altres llibreries físiques més complexes que incrementarien el temps de desenvolupament. El factor de que ambdós disposin d'un *API* escrita en C++ fa que la seva utilització conjunta sigui molt més viable. A part de tot això també es farà ús de *Freeglut* [36] i *GLUI* [37], és a dir, gràfics *OpenGL* [38] per a visualitzar la simulació que ja venen incorporats amb *Box2D*.

2.4. Planificació.

- Calendari del projecte: El projecte es desenvoluparà de Gener de 2010 a Març de 2010 amb una càrrega de treball de 20 hores setmanals. El total d'hores dedicades al projecte serà de 364 hores.
- Data de començament: Gener de 2010.
- Data de finalització: Març de 2010.
- Eines de planificació i control: *OpenProj*. [39]

2.4.1. Recursos del projecte.

Recursos humans	Valoració
Cap de projecte	100 €/h
Analista	50 €/h
Programador	30 €/h
Tècnic de proves	20 €/h

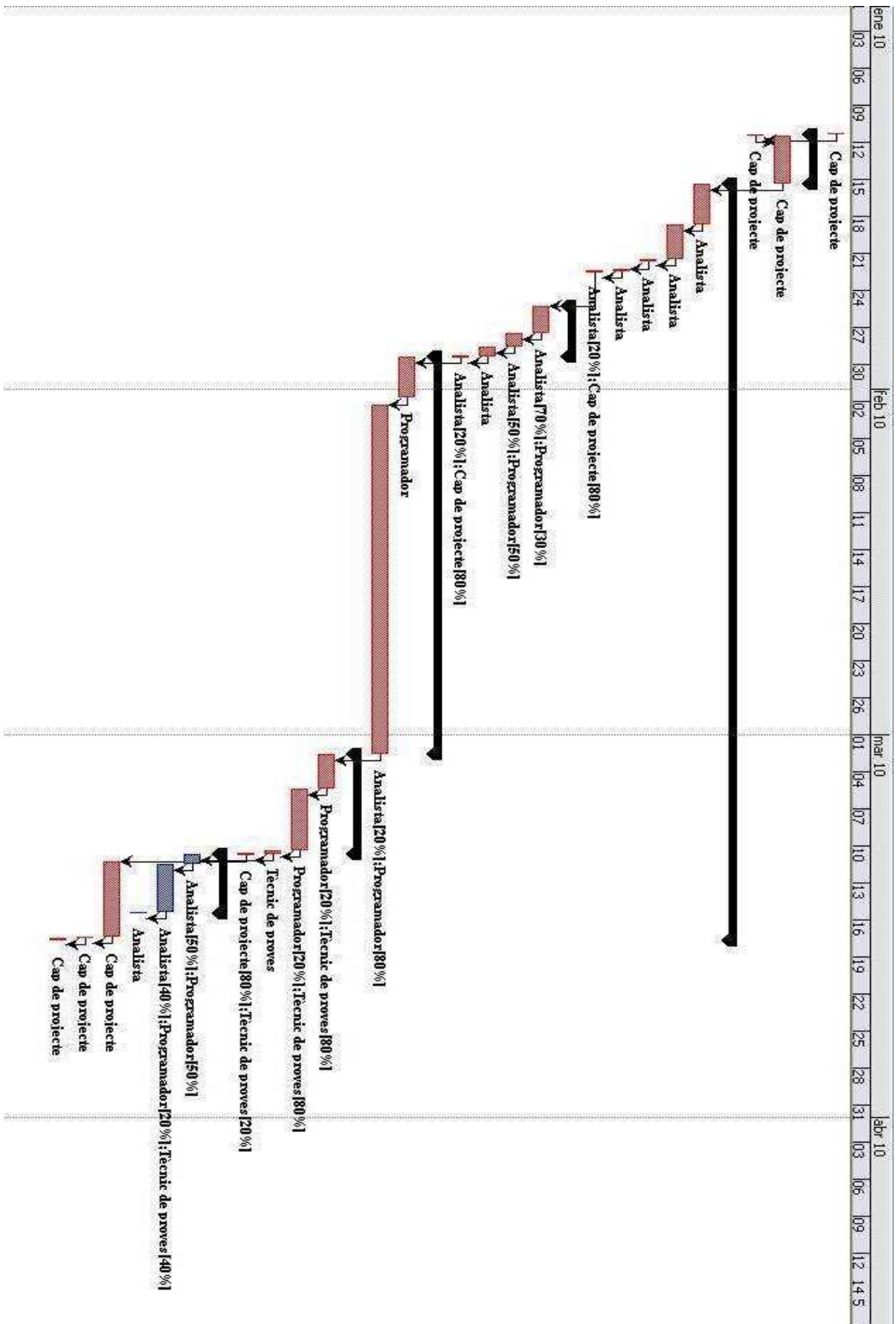
Recursos materials: Els proporcionats principalment per l' institució on es desenvolupi el marc del projecte. En principi 4 ordinadors seran suficients.

2.4.2. Tasques del projecte.

Nº	Descripció de l'activitat	Durada	Recursos	Precedent
1	Inici : matriculació i assignació del projecte	2h	CP	
2	Planificació	31h		
3	Estudi de viabilitat	30h	CP	1
4	Aprovació de l'estudi de Viabilitat (Punt de control)	1h	CP	3
5	Anàlisi de l'aplicació	39h		
6	Anàlisi de requisits	10h	A	4
7	Anàlisi de dades	20h	A	6
8	Anàlisi de legalitat	5h	A	7
9	Documentació de l'anàlisi	3h	A	8
10	Aprovació de l'anàlisi (Punt de control)	1h	CP(80%), A(20%)	9

11	Disseny de l'aplicació	34h		
12	Disseny modular de l'aplicació	20h	A(70%), P(30%)	10
13	Disseny de les proves de qualitat	10h	A(50%), P(50%)	12
14	Documentació del disseny	3h	A	13
15	Aprovació del disseny (Punt de control)	1h	CP(80%), A(20%)	14
16	Desenvolupament de l'aplicació	160h		
17	Formació en l'entorn i eines de desenvolupament	10h	P	15
18	Desenvolupament de les funcionalitats de l'aplicació	150h	A(20%), P(80%)	17
19	Test i proves	46h		
20	Proves unitàries	20h	TP(80%), P(20%)	18
21	Proves d'integració	20h	TP(80%), P(20%)	20
22	Documentació de les proves	5h	TP	21
23	Aprovació del test i proves	1h	CP(80%), TP(20%)	22
24	Implantació	16h		
25	Instal·lació	5h	A(50%), P(50%)	22
26	Proves reals	10h	A(40%), P(20%), TP(40%)	25
27	Formació d'usuaris	1h	A	26
28	Generació de la memòria	30h	CP	23
29	Tancament del projecte	1h	CP	28
30	Defensa del projecte	5h	CP	29

2.4.3. Planificació temporal.



2.5. Pressupost.

2.5.1. Estimació del cost de personal.

Cap de projecte	71.4h	7,140 €
Analista	97.9h	4,895 €
Programador	153.5h	4,605 €
Tècnic de proves	41.2h	824 €

Total: 17,464 €

2.5.2. Estimació del cost dels materials.

	Cost amortització	Cost unitari	Període amortització	Període utilització
PC Cap de projecte	100 €	900 €	36 mesos	3 mesos
PC Analista	100 €	900 €	36 mesos	3 mesos
PC Programador	100 €	900 €	36 mesos	3 mesos
PC Tècnic de proves	100 €	900 €	36 mesos	3 mesos
MS Visual C++	Cap	Cap	36 mesos	3 mesos
<i>OpenOffice</i>	Cap	Cap	36 mesos	3 mesos
<i>OpenProj</i>	Cap	Cap	36 mesos	3 mesos
<i>Free Fuzzy Logic Library</i>	Cap	Cap	36 mesos	3 mesos
<i>Box2D Library</i>	Cap	Cap	36 mesos	3 mesos
<i>StarUML</i> [40]	Cap	Cap	36 mesos	3 mesos
<i>CppDoc</i> [41]	Cap	Cap	36 mesos	3 mesos

Total: 400 €

2.5.3. Resum i anàlisi cost benefici.

Cost de desenvolupament del projecte:	17.464	€
Cost d'amortització del material:	400	€
Total:	17.864	€

2.6. Conclusions.

2.6.1. Beneficis.

- Millorar la seguretat en la conducció.
- Integrar les tecnologies més modernes a un element d'ús diari de moltes persones, lo que esdevindrà en un nou concepte de vehicle.
- Detecció d'obstacles no percebuts pel conductor.
- Ràpida resposta del sistema davant d'imprevistos.

2.6.2. Inconvenients.

- Inversió important en un projecte innovador.
- Formació en una àrea molt específica de la Intel·ligència Artificial.
- Competència de grans empreses automobilístiques.
- Cost per a fer proves amb vehicles reals.

3. Fonaments teòrics.

3.1. Física de l'automòbil.

Un vehicle és un cos que està sotmès a les lleis de Newton i que per tant s'hi poden aplicar forces que esdevindran en variacions de les propietats d'aquest cos. La física en aquest aspecte juga un paper important en l'implementació del sistema. D'una banda per a conèixer quines forces són importants en la circulació d'un automòbil i d'altra banda per a identificar quines d'elles seran en les que es necessiti influir per a aconseguir una frenada efectiva.

3.1.1. Conceptes.

Per això és important començar amb la definició d'alguns dels conceptes [42] més essencials que intervenen en la circulació diària.

- Temps de detenció.

Temps transcorregut des de que es percep l'obstacle fins que s'atura totalment el vehicle.

- Temps de reacció.

Temps transcorregut des de que es percep un risc fins que es respon al mateix

- Temps de frenada.

Temps transcorregut des de que s'apliquen els sistemes de frenada d'un vehicle fins que s'atura totalment.

- Distància de detenció.

Espai recorregut des de que es percep l'obstacle fins que s'atura totalment el vehicle.

- Distància de reacció.

Espai recorregut des de que es percep el risc fins que es respon al mateix.

- Distància de frenada.

Espai recorregut des de que s'apliquen els sistemes de frenada d'un vehicle fins que s'atura totalment.

- Distància de seguretat.

Espai mínim que ha d'existir amb el vehicle davanter, per a que en cas d'una frenada inesperada hi hagi suficient marge per a evitar una col·lisió. Ha de ser com a mínim el doble que la distància de reacció.

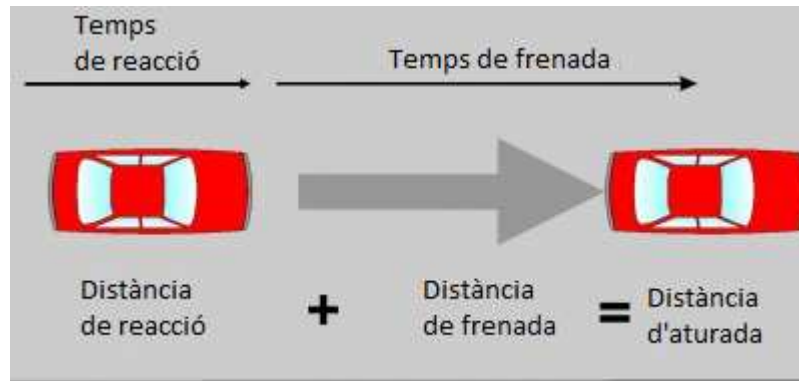


Figura 3.1: Representació dels diferents conceptes.

Un altre dels punts importants és el càlcul de la distància d'aturada a partir de la següent fórmula.

$$D_A = \frac{v^2}{2 \cdot g(f \pm G)}$$

v : Velocitat lineal (m/s), g : Acceleració de la gravetat (m/s^2), f : Fricció, G : Inclinió del paviment. [43]

On es pot determinar quins són els paràmetres que determinen la distància d'aturada.

El treball estarà basat en aquesta equació, on es tindrà en compte la velocitat, la fricció i la distància respecte a un obstacle del qual s'intenta evitar xocar, ja sigui estàtic o dinàmic. Aleshores seguir amb la creació d'un sistema que es regeixi per la fórmula ja esmentada, que no tindrà en compte tots les possibles circumstàncies o factors d'interès que participen en l'accident de circulació, però que és una de les utilitzades per a alguns organismes per a realitzar el càlcul. I en addició, dissenyar i implementar un sistema que tingui en compte aquests paràmetres però que s'aproximi a la solució i permeti modelar d'altres no lineals, que prenen partida en la distància d'aturada com els descrits a l'apartat següent.

El fregament que experimenta el neumàtic amb el paviment no és exclusiu de l'estat de la via, si no que també es veu influenciat amb l'estat dels neumàtics i d'altres elements mecànics no considerats a l'hora de construir la taula [44] següent, que proporciona una idea general de la presència dels diferents valors per a diferents terrenys i neumàtics.

Coeficients de fregament			
Terreny	Estat del terreny	Neumàtics	
		Nous	Vells
Formigó Asfalt gruixut	Sec	0.9 – 0.7	0.6 – 0.4
	Moll	0.6 – 0.4	0.4 – 0.3
Fang	-	0.2	0.1
Gel	-	0.1	0.1

3.1.2. Factors d'interès.

A continuació s'introdueixen alguns dels factors d'influència en un accident i algunes de les causes que els motiven. Posteriorment i a partir d'aquesta introducció poder fer-ne un anàlisi per a determinar quines són les possibles alternatives per a garantir una millor seguretat. [42]

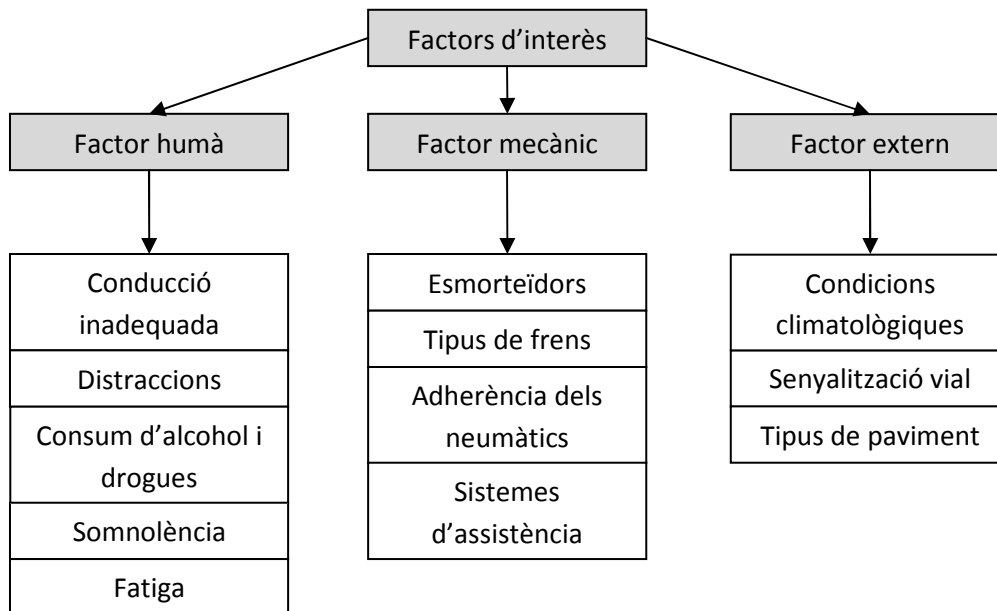


Figura 3.2: Arbre amb els factors d'interès.

Si s'observen les principals xifres de sinistralitat de l'any 2008 a Espanya. La carretera va costar la vida 3100 persones i 16488 persones més van quedar ferides greument. [45]

- En el 28% dels accidents amb víctimes mortals la velocitat va ser un factor concurrent.
- En el 37% dels accidents les distraccions van suposar un factor concurrent, sobretot les relacionades amb l' utilització de dispositius com per exemple el telèfon mòbil.
- En el 67% dels casos el conductor implicat en accidents amb víctimes havia comès alguna infracció de trànsit.
- De les 975 anàlisis toxicològics realitzats a conductors morts el...
 - 32% superava la taxa d'alcoholèmia fixada per la llei.
 - 10.7% va donar positiu als tests de drogues.
 - 7% va donar positiu als tests de psicofàrmacs.

Podem concloure que en molts casos l'actuació humana té una gran influència en el resultat d'un accident de circulació, ja sigui a causa de que el conductor no estava en condicions per a maniobrar un vehicle o per a una conducta temerària. Si ens aferrem als conceptes teòrics introduïts, molts d'aquests accidents es tradueixen a no deixar

una distància de seguretat adequada, a circular a velocitats excessives que resulten en un temps d'aturada massa elevat, etc.. Però realment la majoria d'aquestes imprudències es poden modelar en un sistema que pugui avaluar en cada cas si existeix un perill de col·lisió. És a dir, amb l' introducció de sistemes que proveeixin d'assistència al conductor molts d'aquests accidents es podrien evitar.

La següent gràfica il·lustra amb una línia de color verd les respostes que el conductor està oferint a la conducció i les demandes que requereix la situació, que podríem definir com la combinació de demandes que necessita l'automòbil (factor mecànic) i la via de circulació (factor extern) en un moment determinat, amb una línia de color vermell. S'observa que cadascuna d'aquestes variables pateix variacions a través del temps i s'han de mantenir lo més allunyades possibles sense arribar a tocar-se. En el cas que es creuin significa que les capacitats del conductor no han estat lo suficientment adequades per a una determinada situació produint, com a resultat, un accident.

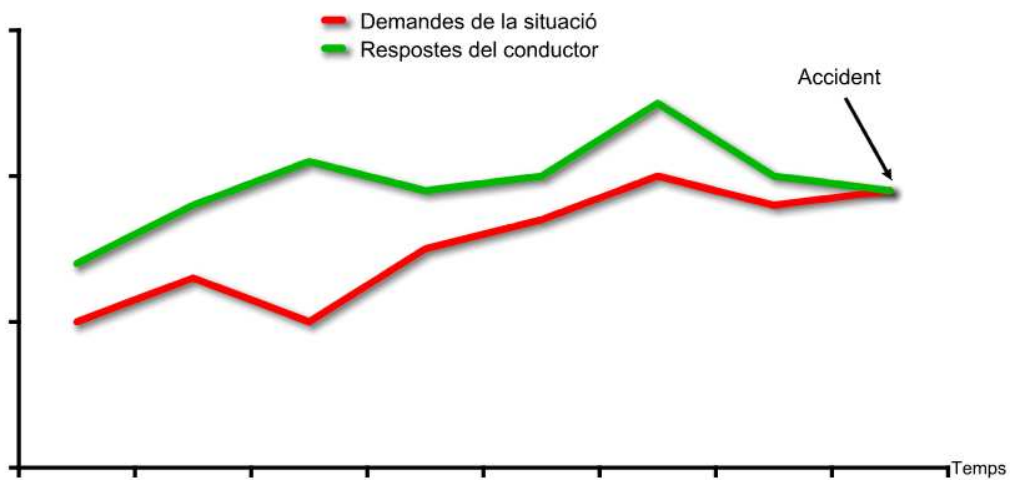


Figura 3.3: Representació gràfica d'una situació que resulta en accident.

En canvi, amb l' incorporació dels sistemes d'assistència aconseguim millorar les prestacions davant les diferents situacions. Establint una certa resposta en funció de l'esmentada situació i l'actual comportament del conductor. Aleshores, la resposta d'aquests sistemes va en funció de la capacitat que el conductor ofereixi, i en cas de ser insuficient es podria compensar amb l'actuació dels sistemes d'assistència evitant així un possible accident.

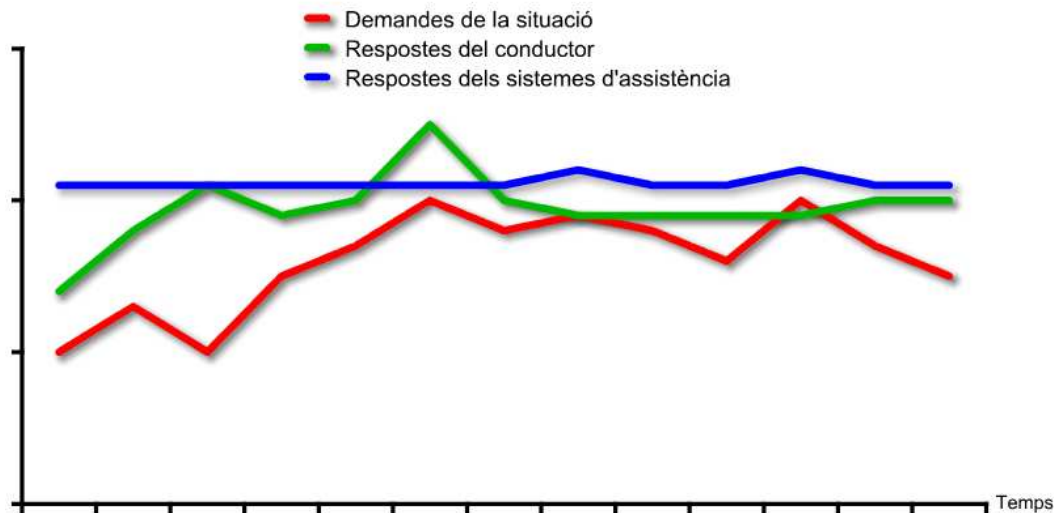


Figura 3.4: Representació gràfica d'una situació en que els sistemes d'assistència eviten l'accident.

Pel que fa al factor mecànic és sens dubte un dels més variables en cada vehicle. Ja que depèn molt de l'ús que se'n faci del mateix, la qualitat de les peces i el deteriorament que pateixin. El seu estat es podria determinar ja sigui pel seu temps de vida útil o pel quilometratge actual del vehicle. L'únic inconvenient es que el mateix element en diferents vehicles pot patir un desgast diferent segons la conducció de l'usuari en cada cas i per tant seria necessari tenir-ho en compte a l'hora d'afirmar que cert element necessita un recanvi.

Finalment l'últim aspecte és l'entorn de circulació, que ha de proveir una superfície adient per a l'adherència d'un vehicle a l'asfalt i la correcta senyalització dels traçats per a informar al propi conductor. Evidentment, molts d'aquests punts corresponen a un tema de manteniment per part d'organismes públics. Per això l'única alternativa és potenciar l' inversió en infraestructures, des de les empreses del sector automobilístic i organitzacions per la millora de la seguretat vial. Però, apart de suposar que el terreny és el correcte per a circular el que també s'ha de tenir en compte són els possibles fenòmens atmosfèrics ,que influeixen en l'adherència dels vehicles, i alguns dels quals podran allargar considerablement la distància de d'aturada de vehicle.

3.2. Lògica difusa.

3.2.1. Introducció.

La lògica difusa [46] és una teoria que permet representar expressions relatives a un tipus de coneixement en un llenguatge matemàtic. Ha estat aplicada a una gran varietat d'aplicacions i d'àrees, fins i tot en parts com la suspensió, la transmissió i els frens dels vehicles. És també, una extensió de la lògica clàssica o binària on els valors es poden tractar dins una escala de certesa. Una figura molt representativa que mostra la principal diferència d'ambdós lògiques de forma gràfica és la següent:

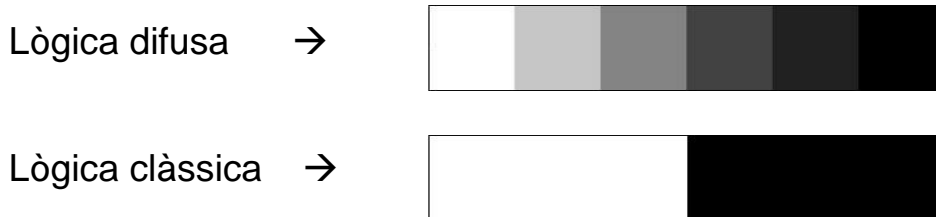


Figura 3.5: Representació abstracte de lògiques.

3.2.2. Conjunts difusos.

A la vegada, els conjunts difusos [47] són una generalització dels conjunts clàssics en que la pertinença no es troba restringida a veritable o fals, sinó que pot existir un grau de pertinença dins l'interval $[0,1]$ determinada per una funció de pertinença. Per a fer referència a aquests conjunts difusos s'utilitzen les etiquetes lingüístiques que són un terme descriptiu associat a un interval difús de valors i es poden representar amb les gràfiques del conjunt de pertinença determinades per l'eix y dins el domini $[0,1]$ i l'eix x com a l'univers de discurs o domini de valors discrets.

3.2.3. ¿ Per què lògica difusa ?.

- Implementació fàcil, econòmica i ràpida.

Les regles difuses i els sistemes basats en regles en general tenen una gran avantatge en quan a complexitat davant altres tècniques basades en equacions matemàtiques. A més dels seus reduïts costos d'implementació i la facilitat de comprensió del seu funcionament ha tingut molt d'èxit com a recurs en aplicacions reals sobretot al camp de l'automatització. [48]

- Dóna una bona resposta davant processos no lineals.

Els sistemes difusos són tècniques de tipus no lineal lo que simplifica el treball i el modelatge d'aquests tipus de processos i així s'evita l'utilització de tècniques de linealització per a intentar aproximar el sistema a un de lineal. [48]

3.2.4. Variables difuses d'entrada.

Les variables d'entrada seran els antecedents del sistema que serviran com a base de treball. Per al projecte s'ha considerat fins a 6 entrades diferents: velocitat mitja, distància frontal, pes afegit, quantitat d'aigua al paviment, quilometratge dels frens i inclinació/pendent del paviment però s'ha fet ús de només de les 3 entrades de més importància. S'ha desestimat la utilització de la totalitat de les variables d'una banda per a minimitzar la base de treball de regles i d'altre banda per a la dificultat de concretar les mesures exactes per al sistema tot i que resta com una possible millora.

E1. Distància frontal (m).

Distància que hi ha entre un vehicle que s'ha detectat com a un obstacle i la posició actual del vehicle d'origen.

- Etiquetes lingüístiques associades: Nul·la (1), Pròxima (2), Moderada (3), Elevada (4) i Llunyana (5).

- Gràfica del conjunt de funcions de pertinença.

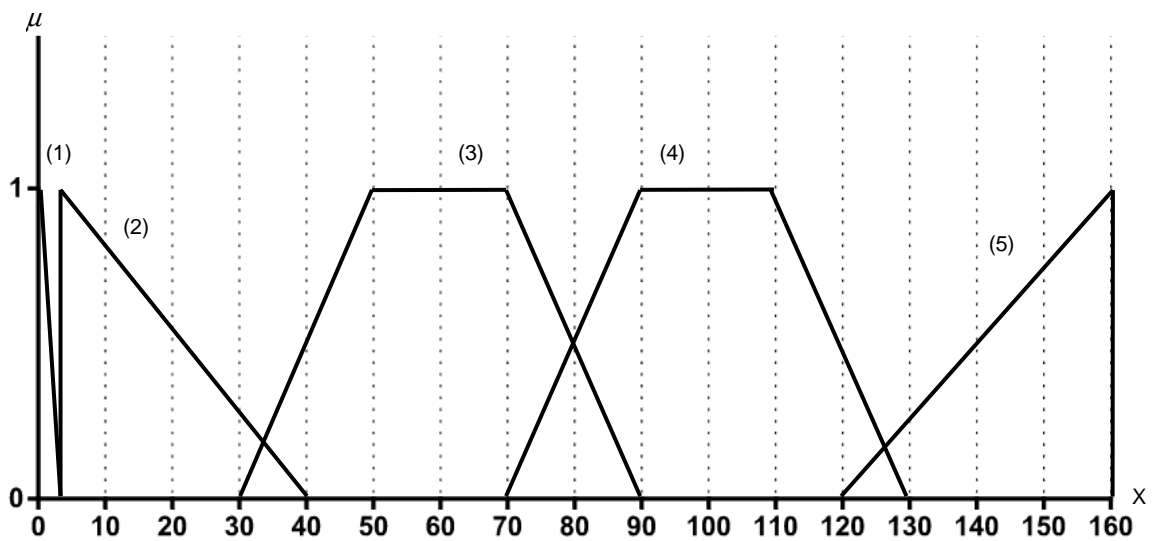


Figura 3.6: Conjunt de funcions de pertinença de distància frontal.

E2. Velocitat mitja (km/h).

Velocitat que té el vehicle d'origen i que serà determinant en l'avaluació del risc present i en cas d'una possible col·lisió.

- Etiquetes lingüístiques associades: Nul·la (1), Reduïda (2), Moderada (3), Elevada (4), Extrema (5).
- Gràfica de conjunt de funcions de pertinença.

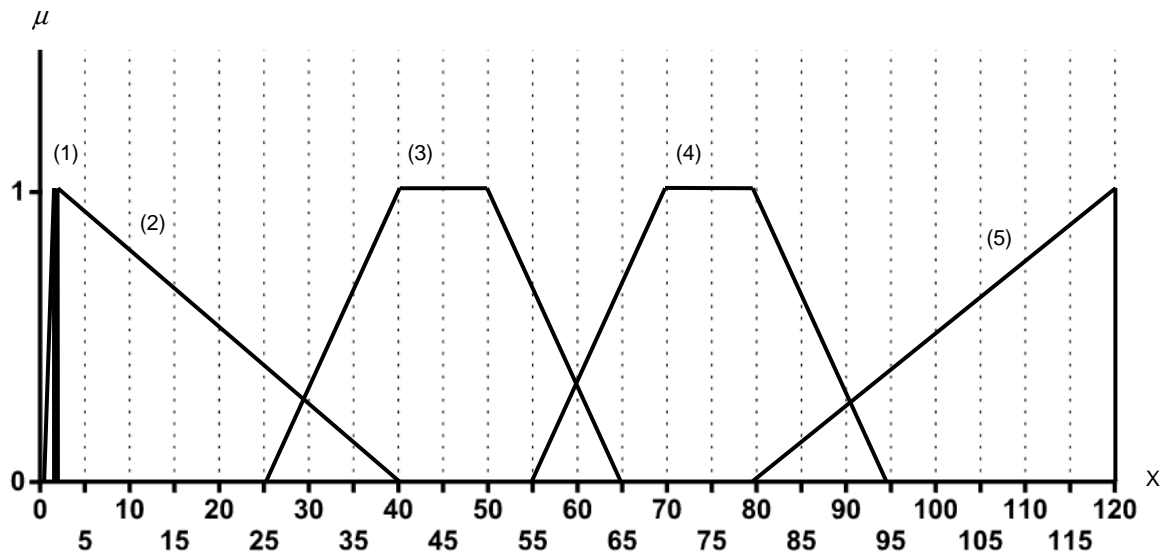


Figura 3.7: Conjunt de funcions de pertinença de velocitat mitja.

E3. Fricció.

Fregament existent entre la roda i el paviment.

- Etiquetes lingüístiques associades: Nul·la (1), Baixa (2), Moderada (3), Alta (4).
- Gràfica del conjunt de funcions de pertinença.

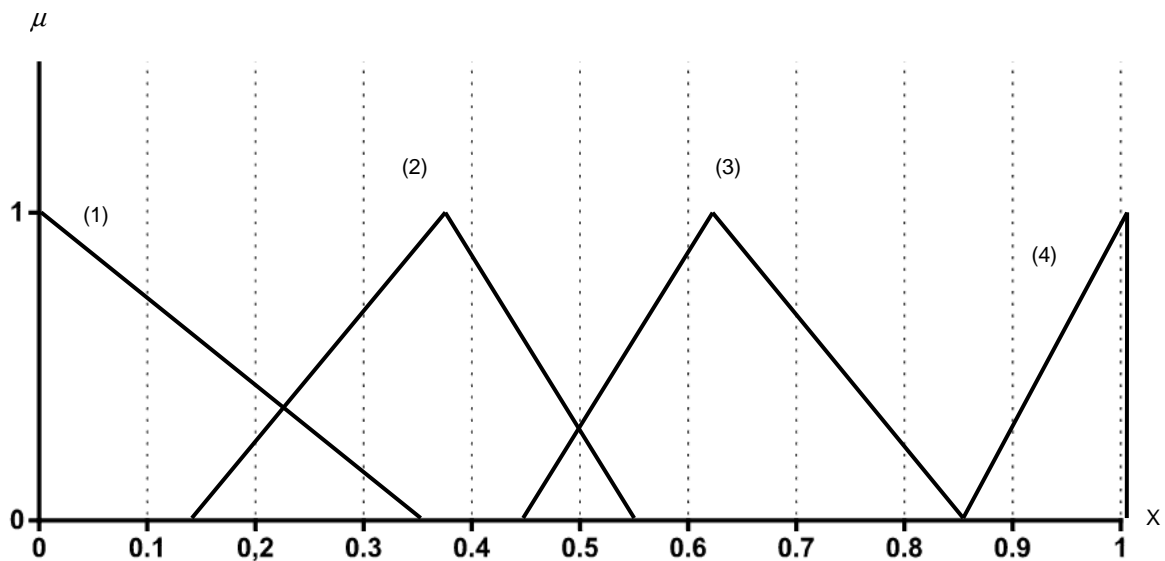


Figura 3.8: Conjunt de funcions de pertinença de fricció.

3.2.5. Variables difuses de sortida.

Les variables de sortida seran els conseqüents del sistema i el seu valor vindrà donat per les diferents combinacions de les variables d'entrada. Per al projecte s'han considerat una sortida del sistema: Risc de col·lisió, que servirà per a alertar al conductor en cas necessari efectuar una frenada al automòbil sempre que existeixi un perill present al medi.

S1. Risc de col·lisió.

El conductor és el primer que ha de tenir el control i ser conscient del risc per això el sistema s'ocuparà d'indicar quin nivell de risc actualment detecta el sistema i d'emetre un avís sonor en cas de perill alt i imminent de col·lisió frontal.

- Etiquetes lingüístiques associades: Inexistent (1), Baix (2), Mig (3), Alt (4), Imminent (5).
- Gràfica del conjunt de funcions de pertinença.

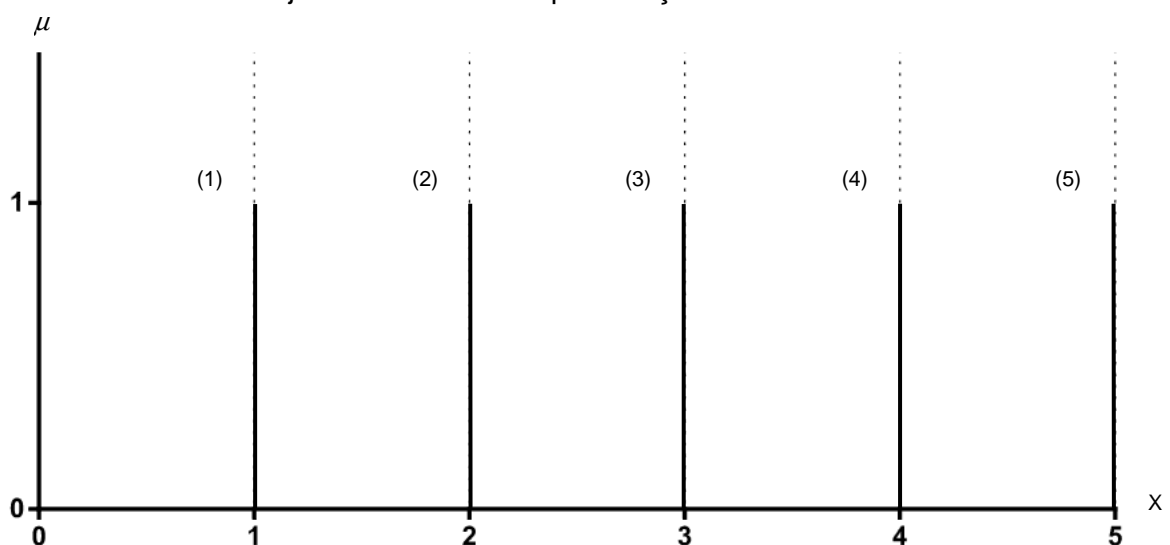


Figura 3.9: Conjunt de funcions de pertinença de risc de col·lisió.

Aquesta sortida només és indicativa del risc present, per això en la simulació del sistema també s'ha inclòs una certa desacceleració a partir d'aquesta variable, i que es basa en la reducció percentual del valor de la velocitat actual segons el nivell de risc indicat. És a dir, com més ràpid es circuli i més risc hagi estat detectat s'aplicarà un percentatge reductor sobre la velocitat actual.

3.2.6. Regles difuses.

El conjunt de regles difuses [47] ens indica quina és la relació entre els conjunts difusos d'entrada que influeixen directament sobre els conjunts difusos de sortida. Formen la base de regles difuses amb un total de 100 regles que permeten resoldre qualsevol combinació de les diferents entrades al controlador difús. Com ja s'ha indicat gràcies al format *IF – THEN* dels sistemes basats en regles es minimitza el consum de temps en la cerca de la solució. Cada regla està constituïda per antecedents formats a la vegada per diferents proposicions difuses, com per exemple *IF Velocitat IS Elevada* i també per els corresponents conseqüents com per exemple *THEN Risc IS Baix*.

3.2.7. Controlador difús.

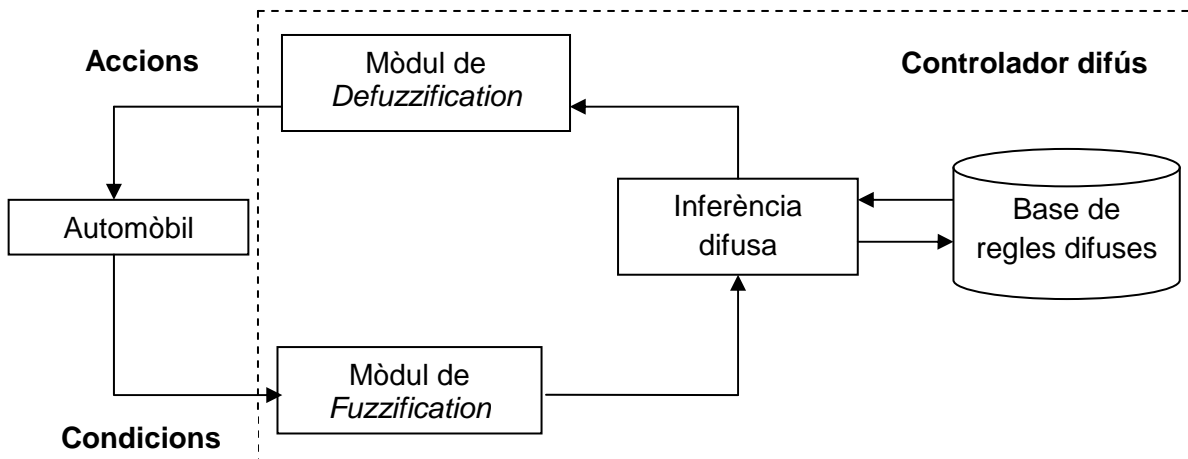


Figura 3.10: Esquema general del controlador difús. [1]

- Automòbil (procés controlat).

Un automòbil que enviarà condicions per a avaluar al controlador difús i que com a resultat rebrà una resposta que en determinats casos pot arribar a efectuar una desacceleració al propi vehicle.

- Mòdul de *Fuzzification*.

Obté les variables d'entrada o condicions al controlador difús i a la vegada fa la conversió a conjunts difusos lo qual permet que puguin ser tractats com a tal.

- Inferència difusa.

És la part del controlador difús responsable de inferir les accions en referència a la base de regles difuses establertes pel sistema.

- Mòdul de *Defuzzification*.

Fa la conversió dels valors difusos de les variables de sortida a valors concrets i a més a més genera accions no difuses a partir de les accions difuses resultants de l'avaluació de l'inferència difusa.

Aquesta operació es pot efectuar de diverses maneres, per exemple les que implementa la llibreria *FFL* són:

- Centre de gravetat (*CoG*) [1]:

Un dels mètodes més utilitzats en el disseny de controladors difusos i que es basa en el càlcul de la següent fórmula.

$$X_c = \frac{\sum_i X_i \cdot \mu(X_i)}{\sum_i \mu(X_i)}$$

On X_c representa el valor del centre de gravetat, X_i és el valor de la variable X i $\mu(X_i)$ és el grau de pertinença de X . Evidentment és un mètode costós donat el càlcul de la fórmula.

- Mitjana del màxim (*MoM*) [1]:

Mètode molt menys costós que l'anterior que consisteix en trobar el punt y màxim on $y = \max(\mu(X))$. I en cas d'existir una zona amb més d'un punt màxim possible es calcula el punt mig de la següent manera:

$$y_{\min} = \min \left\{ \frac{X}{\mu(X)} = \max(\mu(X)) \right\}, \quad y_{\max} = \max \left\{ \frac{X}{\mu(X)} = \max(\mu(X)) \right\}$$

$$\text{on finalment } y = \frac{y_{\min} + y_{\max}}{2}$$

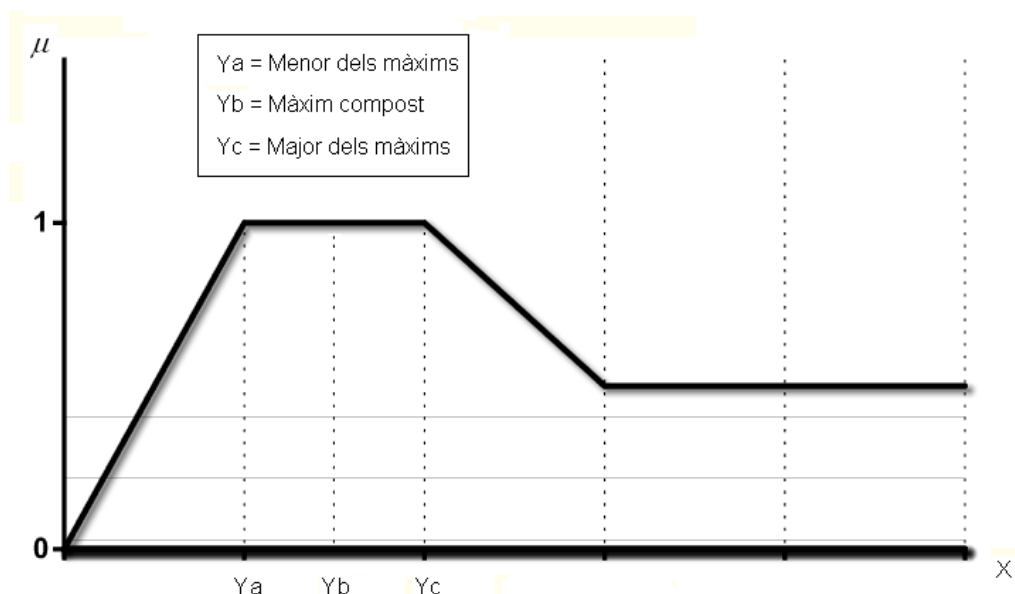


Figura 3.11: Exemple de càlcul del màxim en cas de múltiples possibilitats.

Aleshores l' utilització de la tècnica mitjana del màxim és la més adequada per la seva reduïda complexitat computacional davant el mètode del centre de gravetat.

3.3. *Free Fuzzy Logic Library (FFLL).*

3.3.1. Introducció.

FFL [29] és una llibreria *Open Source* basada en lògica difusa que conté una interfície de programació d'aplicacions (*API*), que a més a més es troba optimitzada segons els seus creadors per a fer funcionar aplicacions de temps crític. Una de les seves característiques és que segueix l'estàndard *IEC 61131-7* [49], que conté la definició del llenguatge *Fuzzy Control (FCL)*, que serà molt útil per a mantenir la compatibilitat amb altres aplicacions que facin ús de la lògica difusa. A més permetrà definir el conjunt difús d'entrades i sortides juntament amb les regles d'inferència.

3.3.2. Funcions de l'*API*.

La llibreria *FFL* treballa amb models, on cadascun li correspon un arxiu *FCL* que conté tota la informació del controlador difús. A cada model li corresponen múltiples fills amb els que es poden efectuar entrades al controlador difús. És a dir, serà necessari definir almenys un model amb un fill per a crear el controlador difús i tenir associat el corresponent arxiu *FCL*.

Les següents funcions [50] són les que han estat útils per a l' implementació i s'introdueixen amb la següent taula:

Funció	Paràmetres	Retorn en cas d'èxit	Retorn en cas d'error	Funcionalitat
<code>ffll_new_model</code>	-	Índex del model	-1	Crear un model
<code>ffll_load_fcl_file</code>	Índex del model i ruta de l'arxiu <i>.FCL</i>	Índex del model	-1	Carregar un arxiu <i>.FCL</i> a un model
<code>ffll_new_child</code>	Índex del model	Índex del fill	-1	Crear un fill a partir d'un model
<code>ffll_set_value</code>	Índex del model, índex del fill, índex de la variable a introduir i valor que pren la variable	0	-1	Introduir un valor per a una variable d'entrada d'un fill
<code>ffll_get_output_value</code>	Índex del model i índex del fill	Valor <i>defuzzificat</i> del fill	-1	Obtenir la variable de sortida d'un fill

3.3.3. Fuzzy Control Language (FCL).

A continuació es mostra el format que segueix el *FCL (IEC 61131-7)*. S'ha de remarcar que la part que correspon a definir el rang de valors discrets de les variables difuses és un complement que introdueix la llibreria *FFL*.

```
FUNCTION_BLOCK nom_controlador

VAR_INPUT
nom_variable_entrada_1 tipus_dades; (* RANGE(inici .. fi) *)
nom_variable_entrada_2 tipus_dades; (* RANGE(inici .. fi) *)
...
END_VAR

VAR_OUTPUT
nom_variable_sortida_1 tipus_dades; (* RANGE(inici .. fi) *)
nom_variable_sortida_2 tipus_dades; (* RANGE(inici .. fi) *)
...
END_VAR

FUZZIFY nom_variable_entrada_1
TERM nom_funció_pertinença_1 := (x1,y1),(x2,y2),...;
TERM nom_funció_pertinença_2 := (x1,y1),(x2,y2),...;
...
END_FUZZIFY

FUZZIFY nom_variable_entrada_2
TERM nom_funció_pertinença_1 := (x1,y1),(x2,y2),...;
TERM nom_funció_pertinença_2 := (x1,y1),(x2,y2),...;
...
END_FUZZIFY

FUZZIFY nom_variable_sortida_1
TERM nom_funció_pertinença_1 := (x1,y1),(x2,y2),...;
TERM nom_funció_pertinença_2 := (x1,y1),(x2,y2),...;
...
END_FUZZIFY

DEFUZZIFY nom
    METHOD: mètode_defuzzificació;
END_DEFUZZIFY

RULEBLOCK nom
AND:MIN;
ACCU:MAX;
RULE 0: IF nom_variable_entrada_1 IS nom_funció_pertinença_1 THEN ...;
RULE 1: IF nom_variable_entrada_1 IS nom_funció_pertinença_1 THEN ...;
END_RULEBLOCK

END_FUNCTION_BLOCK
```

3.4. *Box2D*.

3.4.1. Introducció.

La llibreria física *Box2D* [32] va ser desenvolupada per Erin Catto, *PhD in Mechanical Engineering* actualment treballant a l'empresa de videojocs *Blizzard Entertainment* [51].

És una eina escrita en C++ que proporciona una gran quantitat de potencial per a la simulació en 2D i serà essencial per a poder simular vehicles, aplicar-hi forces als mateixos i observar quin és el comportament, a la vegada que s'apliquen diferents sistemes dissenyats per evitar col·lisions entre cossos. També cal afegir que treballa amb unitats en metres, kilograms i segons.

3.4.2. Escenari.

L'entorn que es disposa és senzill, amb les superfícies necessàries per a una bona simulació. Com que aquesta llibreria està més destinada a la creació de videojocs, ja conté moltes facilitats entre d'altres desenvolupades pels propis usuaris a Internet per a afegir-hi la possibilitat per exemple, d'estalviar memòria o còmput en cossos immòbils en un moment determinat. En el cas del projecte no serà necessari fer-ne ús i així s'estalvia l'inclusió de codi innecessari.

- Característiques principals.
 - Dimensions del món:
Amplada: 500m.
Alçada: 600m.
 - Recorregut total de la superfície horitzontal: 500m.
 - Acceleració de la gravetat: 9.8 m/s^2 .
 - Conté dos parets laterals al inici i al final de la superfície horitzontal, a més s'han incorporat unes columnes per sota de la superfícies per a tenir la sensació de velocitat que el vehicles adquireixen.

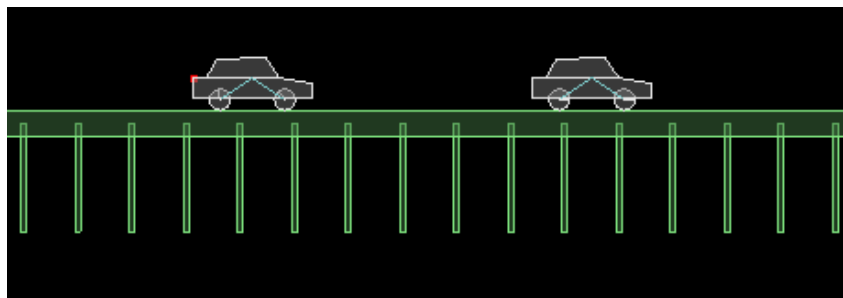


Figura 3.12: Entorn de simulació de *Box2D*.

3.4.3. Vehicles.

Els automòbils venen implementats a la classe *Vehicle*, desenvolupada en el marc del projecte, i es basa en l'utilització de les funcions que oferta *Box2D* per a la construcció

d'un cos amb la forma característica d'un vehicle on s'hi poden aplicar forces. Els vehicles "reals" es mouen gràcies a la transmissió que el motor provoca al fer rotar els eixos perpendiculars a l'orientació de l'automòbil i adjunts a les rodes, però en l'entorn l'element motor seran les dues rodes que formen el vehicle a les que hi podrem indicar la velocitat angular (rad/s) en cada cas. Per a millorar la comprensió a l'hora de programar es fa directament una conversió en algunes de les funcions a velocitat lineal expressada en m/s o km/h. Per exemple, si s'observen els mètodes *SetMaxVelocity* i *SetMaxReverseVelocity* de la classe *Vehicle* que es basen en indicar a la roda quines seran les velocitats angulars màximes que no podrà rebassar per als dos sentits de la marxa.

$$v = \frac{\omega}{r}$$

v :Velocitat lineal (m/s), ω :Velocitat angular (rad/s), r : Radi de gir (m). [52]

Exemple del codi font on es pot observar la conversió esmentada.

```
void Vehicle::SetMaxVelocity(float32 velocity)
{
    /*Conversió de velocitat lineal a velocitat angular (km/h a rad/s)*/
    maxVelocity = (velocity * (10.0f / 36.0f)) / 0.38608f;
}
```

3.4.4. Funcions de l'API.

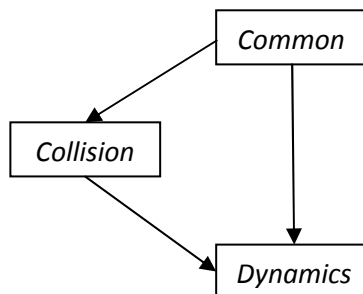


Figura 3.13 : Composició en mòduls de Box2D. [53]

El mòdul *Common* conté característiques d'assignació de memòria, matemàtiques entre d'altres opcions. El mòdul *Collision* incorpora la definició de formes, i mètodes relacionats amb col·lisions. Finalment el mòdul *Dynamics* proveeix la simulació del món, els cossos, d'accessoris i les unions en formes més complexes.

Algunes de les estructures de dades [54] més comuns utilitzades són:

- *b2World*.

Agrupa un conjunt de cossos i altres elements d'una simulació. També defineix l'àrea dins la qual serà possible dur a terme la simulació, on fora de la mateixa els objectes quedaran congelats i l'acceleració de la gravetat present. *Box2D* permet crear-ne fins a varis *b2World* però no serà necessari.

- *b2Body*.

Permet crear cossos dins de la simulació, poden ser estàtics o dinàmics segons les propietats que assignem durant la mateixa inicialització. Els diferents mètodes que incorpora permeten aplicar-hi forces, obtenir paràmetres d'interès, adormir-lo per a l'estalvi de memòria, etc..

- *b2Shape*.

Representa un objecte geomètric. Serà important a l'hora per exemple de la construcció dels vehicles, ja que es compondran de varis objectes geomètrics per a formar-ne un de sol.

- *b2Joint*.

Permet la unió entre diferents cossos de forma que en representa un de sol. Per exemple, per a la construcció d'un vehicle les rodes i el xassís necessiten moure's de forma unida tot i que l'únic que efectua moviment és la roda.

3.5. *OpenGL User Interface (GLUI)*.

És la llibreria *GLUT* per a Windows. És per defecte, la que incorpora *Box2D* per a visualitzar els resultats de la seves simulacions físiques. Proporciona elements [55] de control bàsics tals com botons, caixes de selecció, etc. lo que serà realment útil per a construir una aplicació molt més intuïtiva per a l'usuari i interactuar així amb el treball realitzat amb les altres llibreries de forma gràfica. El següent esquema mostra amb més detall quina és la distribució escollida.

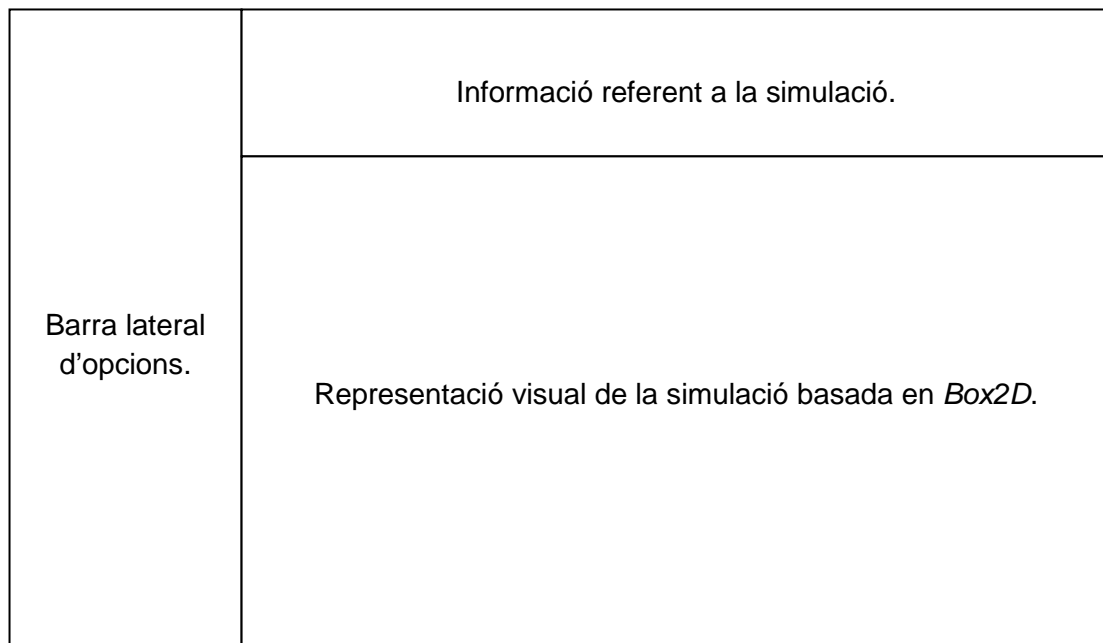


Figura 3.14: Esquema de la interfície d'usuari.

4. Desenvolupament.

El sistema presentat es compon d'una banda per diferents dispositius de hardware necessaris per a la captació de l'entorn i, per l'altra, d'un software per a l'interpretació d'aquesta informació, i la consegüent actuació sobre el vehicle si les circumstàncies ho demanen. En el projecte s'ha desenvolupat la part corresponent al software amb la integració d'un sistema d'assistència a la frenada amb equació i un altre basat en lògica difusa.

4.1. Arquitectura del software.

El software s'ha escrit totalment en C++ per a facilitar la total integració de les llibreries utilitzades (també escrites en C++). A continuació es detallarà quines han estat les classes necessàries per a construir el software i quina és la relació que existeix entre les mateixes. El codi font també s'ha documentat adequadament utilitzant el software *CppDoc*. [41]

4.1.1. Classes.

- *Vehicle*.

Encarregada de la simulació dels vehicles. Els seus mètodes serveixen per a aplicar ordres bàsiques als vehicles com avançar, frenar, etc. També permet obtenir els paràmetres característics del mateix com són la velocitat, el pes i l'acceleració entre d'altres.

- *Structure*.

Permet el desplegament de les diferents estructures sòlides al l'escenari. És a dir, servirà per a crear elements com la superfície horitzontal, algunes parets per a limitar-la i d'altres elements necessaris per a facilitar el disseny de la implementació final.

- *Report*.

L'objectiu és el d'emmagatzemar cada cert interval de temps diferents dades d'interès, per al finalitzar la simulació poder presentar un informe sobre l'evolució d'algunes de les variables al llarg del temps com la velocitat, la posició, la intervenció o no dels sistemes i en quin grau, etc. L'informe creat és un senzill document *HTML*, tot i que per a una idea més concreta de la informació que es vol captar també es podria crear una base de dades.

- *BrakingSystem*.

Implementa el sistema de frenada automàtica per equació matemàtica per a ser utilitzat conjuntament amb alguns dels vehicles de la simulació.

- *FuzzyController*.

Implementa el sistema de frenada automàtica basat en lògica difusa. Utilitza la llibreria *Free Fuzzy Logic* on envia els paràmetres d'alguns dels vehicles de la simulació i retorna l'avaluació que s'ha fet dels mateixos.

- *VehicleSimulation.*

Acull la simulació general sobre els vehicles, les estructures i els sistemes. Conté mètodes necessaris com el control per teclat, efectes visuals per al seguiment del vehicle, bucle d'execució de la simulació i altres opcions de control.

- *Main.*

És la classe principal que inicialitza les diferents parts de l'interfície gràfica i també relaciona els mètodes utilitzats com per exemple, el control del teclat i ratolí per a que siguin controlats per *GLUI*, també permet controlar els diferents tests existents, la seva càrrega i la seva destrucció, entre d'altres paràmetres com són la resolució de la pantalla de simulació, la freqüència utilitzada, etc.

- *DebugDraw.*

Incorpora mètodes per a dibuixar sobre la pantalla de la simulació de *Box2D*. Bàsicament servirà per a mostrar alguns dels valors de la simulació com la velocitat o la posició dels vehicles entre d'altres.

- *Test.*

Conté algunes opcions de visualització pròpies de la llibreria *Box2D* i altres opcions de control per a tots els diferents tests. Els tests són diferents escenaris *Box2D*, en el cas del projecte només n'existirà un.

- *VSException.*

Senzilla implementació que permet gestionar excepcions, quan n'efectua una captura n'emet el missatge d'error per a la consola i dóna uns segons abans de finalitzar l'execució de programa.

4.1.2. Diagrama de classes.

El següent diagrama mostra amb més detall la relació entre les classes més importants i les llibreries utilitzades.

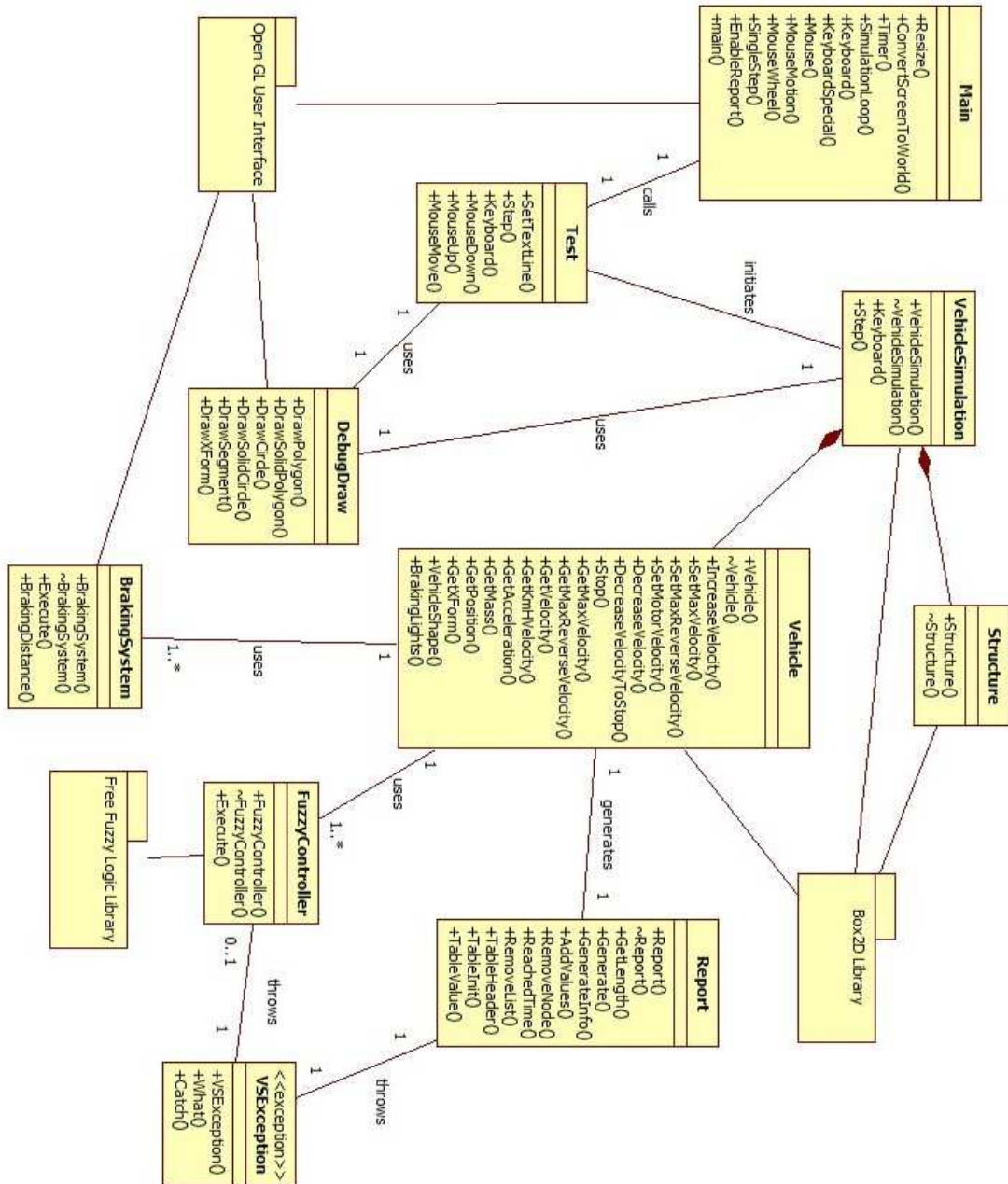


Figura 4.1: Diagrama de classes de l'aplicació.

4.1.3. Esquema d'execució.

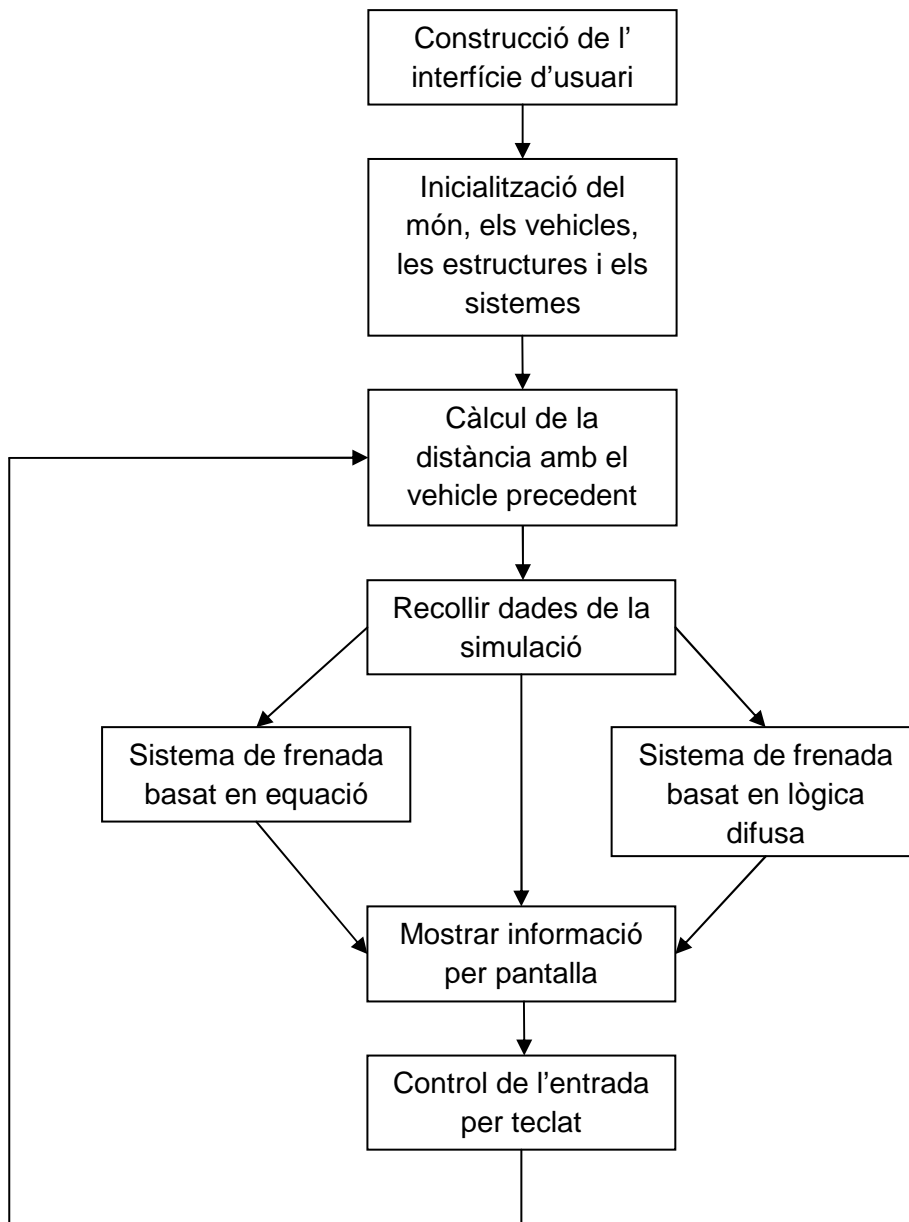


Figura 4.2: Esquema general de l'execució del software.

El patró d'execució és senzill, comença amb la inicialització dels components necessaris per a fer funcionar la simulació, i posteriorment resta en un bucle el càlcul i la recollida de dades, conjuntament amb l'avaluació de les mateixes i la sortida dels resultats amb el control de les entrades a l'aplicació. La classe troncal és la *VehicleSimulation* on es concentra la majoria de les crides als mètodes importants com l'avaluació dels sistemes (classes *BrakingSystem* i *FuzzyController*). Altres classes com la *Main* i la *Test* serveixen principalment per a l'inici de l'aplicació.

4.2. Simulació dels sistemes.

Els sistemes proposats han estat simulats amb una aplicació construïda amb diferents eines ja introduïdes en apartats anteriors. L'aspecte de l'aplicació és el següent:

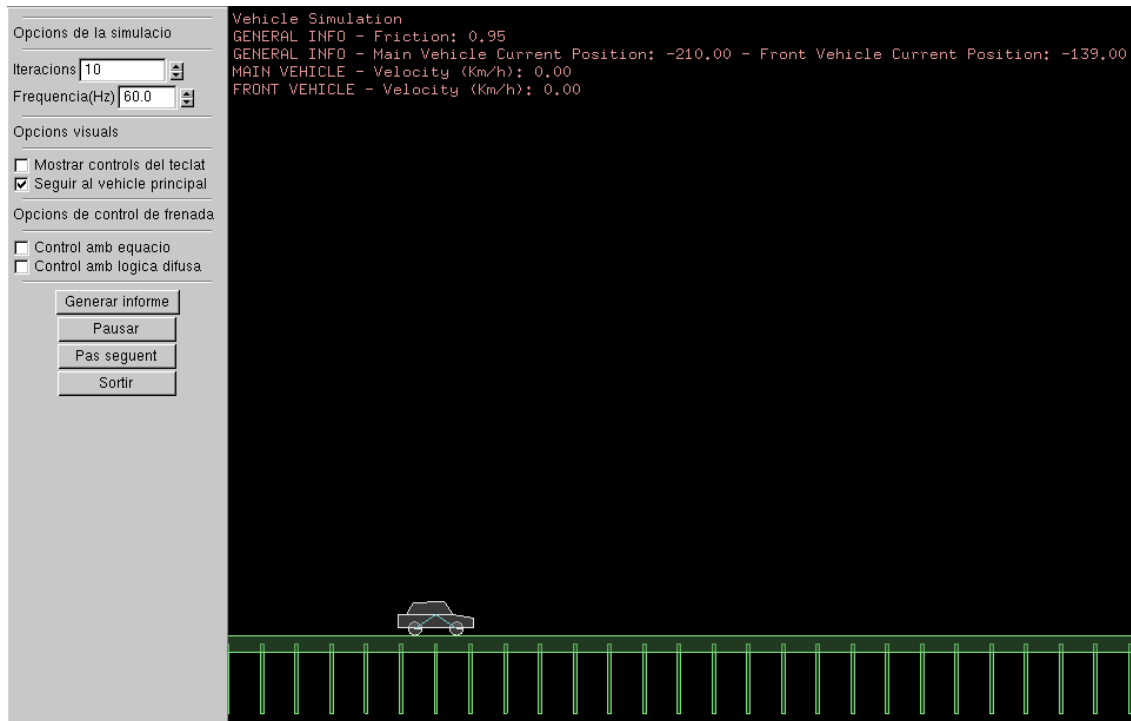


Figura 4.3: Aplicació desenvolupada.

Es pot observar un menú lateral esquerre amb diferents opcions sobre la simulació, opcions de visualització, opcions de control i diferents botons. Les iteracions i la freqüència actuen sobre la simulació i són característiques de les simulacions *Box2D*. Dins de les opcions visuals, és possible mostrar la totalitat de la codificació de les tecles de control del teclat per a la simulació i seguir visualment el vehicle principal per a més comoditat. Els sistemes de control de frenada serviran per avaluar els dos sistemes creats dins de la simulació. El botó de generar informe servirà per a la creació d'un document *HTML* amb alguns dels paràmetres característics de la simulació, els demés botons serviran per a activar/desactivar la simulació en algun punt determinat i en cas de fer-ho es podrà avançar pas a pas amb el botó pas següent. Finalment el botó sortir allibera tota la memòria utilitzada i tanca l'aplicació.

El funcionament de l'aplicació és senzill, primerament s'inicia amb els dos vehicles aturats on la idea és seleccionar alguns dels sistemes del menú si es vol comprovar el seu funcionament o no i aleshores mitjançant les tecles S, D i F (marxa enrere, aturada i marxa endavant, respectivament) es realitza el moviment del vehicle. Durant la simulació, a la zona superior de la pantalla es pot observar quina és l'avaluació del sistema entre altres variables. Finalment es comprovarà com el sistema efectivament atura el vehicle abans de xocar amb el vehicle precedent o no. Un cop acabada la simulació, es pot generar un informe amb el botó corresponent o es pot reiniciar la simulació pitjant la tecla R.

4.3. Control de qualitat.

S'han realitzat un seguit de proves per a comprovar l'efectivitat dels sistemes proposats en el projecte. Han consistit en avaluar la distància final d'aturada per ambdós sistemes construint les gràfiques que segueixen a continuació. Les proves en qüestió s'han realitzat amb dos vehicles aturats inicialment. Ambdós es poden controlar mitjançant el teclat (les funcionalitats de les tecles es poden visualitzar des de la pròpia aplicació). La prova consisteix en accelerar al màxim (pitjar el botó de moviment cap a la dreta fins que el sistema actuï, és a dir, fins que aparegui un punt vermell simulant la llum de fre) el vehicle, posicionat a l'esquerra i identificat com a vehicle principal, i avaluar un dels dos sistemes implementats per a veure la seva efectivitat en l'aturada automàtica abans de produir-se un xoc amb el vehicle posicionat a la dreta i anomenat vehicle precedent. Per a les proves també s'ha recollit a quina velocitat s'ha produït una col·lisió si el sistema no ha pogut aturar completament el vehicle. Cal recordar que els aquests sistemes tenen com a objectiu minimitzar l'impacte, per això si s'ha produït un xoc amb la utilització del sistema, la velocitat durant la col·lisió hauria de ser la mínima possible.

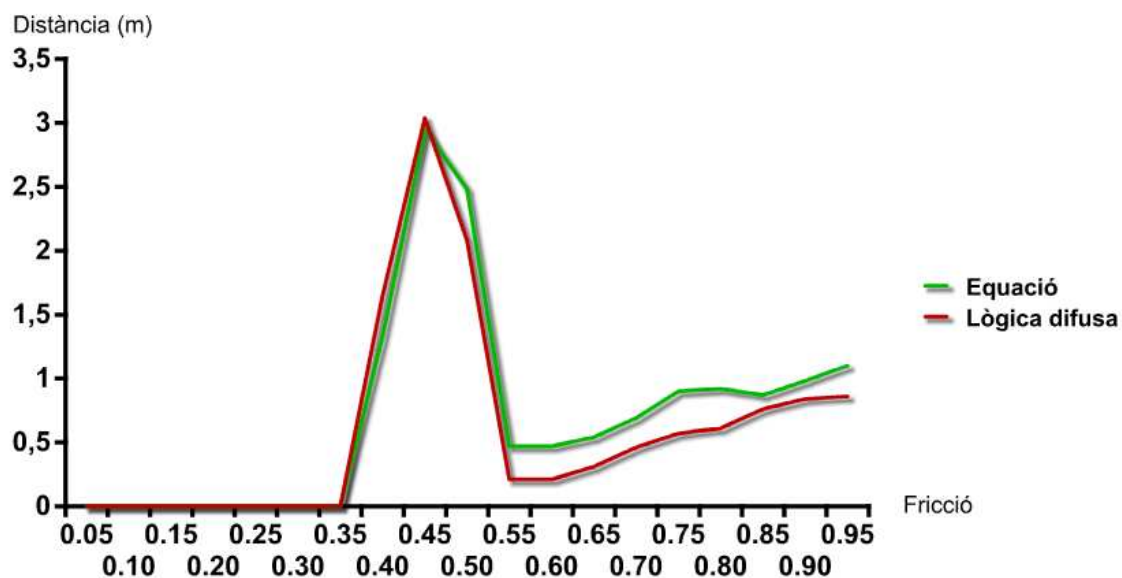


Figura 4.4: Gràfica del marge d'aturada final.

La gràfica obtinguda amb els marges finals d'aturada després d'haver activat els sistemes corresponents confirma que ambdós sistemes tenen un patró molt semblant. Conforme el valor de la fricció va disminuint, el marge respecte l'obstacle també ,excepte quan es produeix un pic aproximadament al valor 0,45 de fricció que permet augmentar el marge d'aturada per a friccions de valor menor. Per als valors mínims de fricció es produeix col·lisió i per això la distància en aquest cas és zero.

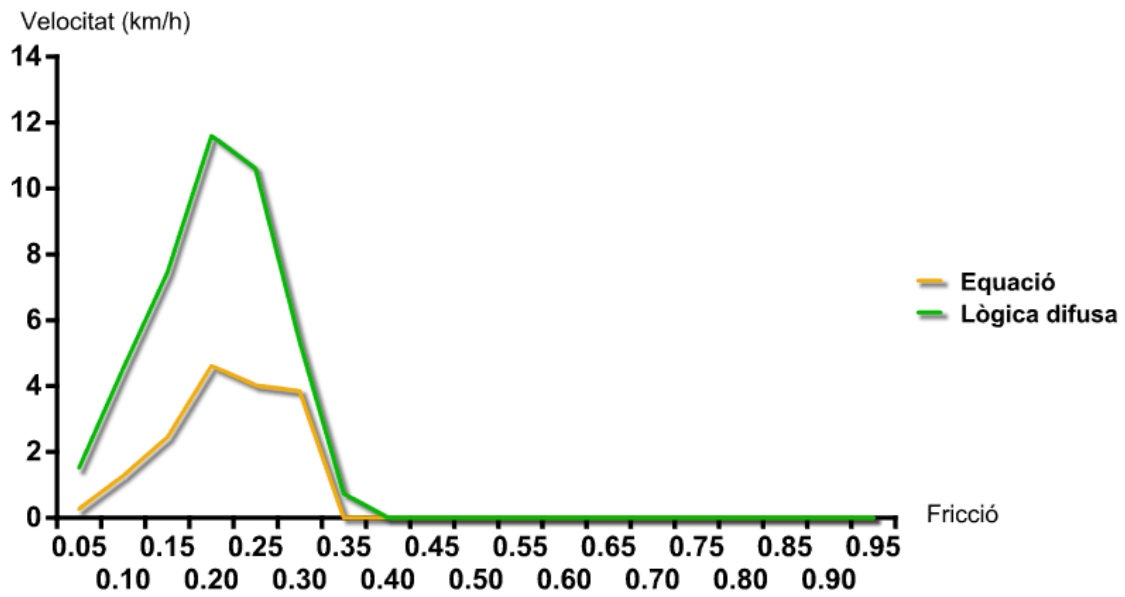


Figura 4.5: Gràfica de la velocitat de xoc.

La gràfica de velocitats mostra a quina velocitat s'ha produït una col·lisió, en cas de no haver succeït té valor igual a zero. Per als valors per als quals els sistemes no han estat capaços d'aturar completament el vehicle, però si d'haver minimitzat el impacte, es pot observar com les velocitats de xoc en aquest cas són baixes en general i en el millor dels casos només es produïrien desperfectes materials als vehicles implicats. També es comprova com per el sistema basat en lògica difusa les velocitats són més elevades, fins al triple en algun dels punts, tot i que no deixen de ser relativament velocitats baixes.

5. Conclusions.

5.1. Avaluació d'objectius.

- Augmentar la seguretat en la conducció de vehicles automòbils.

Bé, potser el desenvolupament d'aquest projecte no ha augmentat directament la seguretat en la conducció, ja que és un tasca que conté molts altres aspectes. Però sí que s'ha fet un repàs a alguns dels sistemes que en un futur ho duran a terme i s'ha intentat implantar a través d'una simulació, i a partir dels coneixements que s'han adquirit de les diferents fonts d'informació s'ha desenvolupat una possible aproximació als denominats sistemes d'assistència a la frenada.

- A partir de l'entorn, evitar cap tipus de col·lisió amb obstacles, vehicles i vianants.

El desenvolupament dels sistemes i més concretament l'avaluació de l'entorn en principi no ha estat basada en una diferenciació dels obstacles presents, simplement d'un vehicle, ja que aquesta tasca correspon a un sistema basat en visió per computador que no ha estat desenvolupat en el marc d'aquest projecte per raons principalment temporals i de manca de coneixement, però que evidentment queda com una possible ampliació del mateix.

- Mantenir la integritat física del vehicle intacte prenent decisions en base a l'entorn.

Un dels principals objectius dels sistemes d'assistència a la frenada és el de minimitzar l'impacte d'un xoc automobilístic. El sistema desenvolupat manté un marge aproximat d'uns metres de distància amb l'obstacle davanter en cas de fer ús de la frenada automàtica. Per a la majoria dels casos vistos, més concretament per al rang de valors de fricció avaluats, s'ha comprovat com el sistema és efectiu en la prevenció de xocs excepte en valors molt baixos de la fricció, on s'estaria circulant per a superfícies molt lliscants i amb poca adherència i que faria necessari l'ús de cadenes, per exemple. Tot i això, en cas de que no s'eviti una col·lisió, es redueix substancialment la distància d'aturada del vehicle, produint així que la velocitat d'impacte amb l'obstacle sigui molt més reduïda i que en molts casos pot ser una xifra significativa que eviti lesions als ocupants.

- Recuperar informació referent a les imprudències dels conductors per a futures versions.

Dins de l'aplicació desenvolupada, s'ha inclòs l'opció de generar un document *HTML* que recull alguns dels paràmetres més significatius de la simulació, on podem observar la seva evolució a través del temps. A partir d'aquests resultats es poden treure les conclusions per a reduir el marge de distància en que el vehicle ha d'acabar al aplicar un sistema d'assistència a la frenada, per exemple. Tot i que s'ha donat un primer pas, s'hauria d'experimentar realment quins d'aquests paràmetres són determinants a l'hora que s'ha produït un accident i que s'hi pot fer per a evitar-ho en versions futures.

- Definir una nova línia de concepció, modernitzant l'ús i prestacions per a l'automòbil.

Es podria definir el projecte i l'àmbit en el qual s'integra com a una modernització d'un element tan comú com un automòbil. És un dels principals mitjans de transport avui dia ,i com a resultat, també és un dels que ha patit una evolució més destacada gràcies als avenços tecnològics.

- Identificar algunes de les principals aplicacions de seguretat automobilística basades en intel·ligència artificial presents al mercat.

Aquest punt correspondria al primer apartat de la memòria on es parla breument d'alguns dels sistemes d'assistència a la conducció que actualment es comercialitzen.

- Introduir algunes de les futures incorporacions en seguretat automobilística.

Finalment aquesta secció es tracta, més concretament, a l'últim apartat de la memòria corresponent a les conclusions on es detallen un parell d'idees de moment que ja estan investigant algunes empreses del sector automobilístic per a futures versions dels seus vehicles.

- Dissenyar i avaluar dos sistemes d'assistència a la frenada.

Ha estat una de les tasques principals durant la realització del projecte i en la qual s'ha basat la major part del temps. S'ha aconseguit realitzar gràcies a una aplicació que ha simulat els dos sistemes esmentats i a partir de la qual també s'han realitzat diferents proves per a veure la comparativa. S'ha observat com el sistema basat en equació és millor, en quan a eficiència en l'aturada, que el basat en lògica difusa. Tot i que, la lògica difusa dóna una gran avantatge amb el tractament amb variables no lineals, com són les que caracteritzen el càlcul de la distància d'aturada d'un automòbil.

5.2. Problemes trobats.

Un dels principals problemes trobats en iniciar el projecte va ser la forma en que es podria demostrar l'efectivitat dels sistemes d'assistència a la conducció. La teoria és un bloc important però també cal reforçar-ho amb demostracions pràctiques. Per això, apart d'introduir una bona part teòrica es va decidir la implantació d'un dels sistemes més bàsics, el d'assistència a la frenada. Conseqüentment feia falta un software, ja que proporcionaria una plataforma de simulació on s'obviarien molts altres aspectes que també faria falta tenir en compte a l'hora de desenvolupar un sistema com aquest en un entorn real (fonamentalment mecànics, elèctrics i electrònics). La cerca d'aquestes eines i la comprensió del seu funcionament i finalment la transformació de l'idea al sistema ha estat un dels problemes més importants dins del desenvolupament del projecte. El projecte no només es proveïa d'una sinó de varies eines o llibreries, és a dir, apareixia un aspecte d'integració per a un treball conjunt en la resolució del problema, per això també es van considerar aspectes com els llenguatges de programació i aplicacions de tipus *Open Source* que proporcionessin uns fonaments sòlids al programa final. Entre aquestes llibreries, *Box2D* ha estat la més difícil d'arribar a comprendre i implementar, donat que incorpora moltes altres funcionalitats que les utilitzades al projecte i que no hi ha gaires exemples del seu funcionament en C++ a Internet.

Un altre aspecte destacable és la novetat d'aquests tipus de sistemes al mercat actual, tot això sense destacar l'actual període de recessió econòmica i el conseqüent descens del consum, provoca una certa limitació en la quantitat d'informació que els propis fabricants lliuren. D'altra banda el treball amb lògica difusa no ha estat fàcil, era una tècnica desconeguda l'inici del projecte i s'ha consultat algunes referències bibliogràfiques i altres treballs realitzats amb lògica difusa abans d'implementar el sistema del projecte. Però, tot i haver arribat a dissenyar el sistema i fer-lo anar no s'ha assolit una efectivitat en la frenada del sistema en qüestió com la desitjada. I és segurament, que el sistema necessita una millora relacionada amb els conjunts de pertinença de les variables d'entrada. Un increment en la subdivisió dels conjunts de pertinença hauria millorar substancialment l'efectivitat del sistema però faria molt més complexe el seu disseny final.

5.3. Línies futures.

El següent apartat es troba estructurat en dues parts ben diferenciades. D'una banda les ampliacions per al projecte desenvolupat i d'altra banda un conjunt d'idees que en el futur podrien esdevenir en l'evolució dels sistemes d'assistència a la conducció.

Per a començar s'introdueixen les millores aplicables al software presentat.

- Introducció de superfícies irregulars.

Sense dubte una de les aproximacions més importants per a dur aquest sistema a la realitat. No només superfícies que durant pocs metres siguin més inestables o restin adherència al vehicle, cosa que ja provocaria un xoc en alguns casos sinó que també superfícies que es caracteritzen per a una certa inclinació i que farien canviar tots els criteris d'avaluació de risc.

- Ampliació del controlador difús.

Tenir en compte altres factors influents com al suspensió del vehicle, pendents i desnivells, estat dels neumàtics, fregament amb l'aire (dinàmica del vehicle), etc. també farien d'aquest sistema un de molt més aproximat a la realitat i en conseqüència de complexitat més elevada. Aquest camí suposa un domini bastant explícit de lògica difusa i d'implantació de sistemes basats en lògica difusa, ja que amb tota seguretat el nombre de regles serà de l'ordre de milers.

- Millora de l'interpretació de l'entorn.

Incorporació d'un sistema de visió per computador amb el sistema de raonament ja desenvolupat. Inicialment s'havia fet una cerca per a la implementació d'un sistema semblant amb la utilització de *OpenCV* [56][57], una llibreria *Open Source* que incorpora una gran varietat d'algorismes per a aplicacions basades en visió per computador, on també es tindria una gran quantitat de dades a Internet [58], principalment fotografies, però finalment no es va realitzar com a part del projecte.

- Millora del simulador.

El software desenvolupat és molt bàsic. Afegir més detalls gràfics, o més informació durant la simulació podria enriquir substancialment l'eina. A més a més també es podrien afegir altres escenaris o fins i tot altres objectes com vianants, etc.

A continuació, es presenten algunes idees i reflexions relacionades amb els sistemes d'assistència a la conducció.

Les tècniques basades en visió per computador per a la interpretació de l'entorn són realment costoses i complexes en termes computacionals. Per això invertir en una possible comunicació entre vehicles esdevé una proposta molt atractiva amb l'únic inconvenient de la implantació de nous protocols de comunicacions entre vehicles, o fins i tot entre vehicles i vies de circulació. Cadascun dels vehicles pot proporcionar informació de la seva posició a partir d'un sistema de posicionament compartit com el GPS i de la seva velocitat en forma de *broadcast*.

Un inconvenient molt gran és la utilització malintencionada d'aquest mitjà de transmissió, pel fet de donar la informació rebuda d'un suposat vehicle com a fiable. Lo que suposaria la necessitat d'altres sistemes d'autenticació o verificació de les dades com els basats en visió per computador.

Una aproximació a aquest sistema és el que *General Motors* es troba desenvolupant anomenat V2V (*Vehicle to Vehicle*) [59], i té previst finalitzar a l'any 2012, i que també afegeix dispositius d'identificació per a altres elements presents durant la circulació com són semàfors, senyals de trànsit, trams en obres, etc..

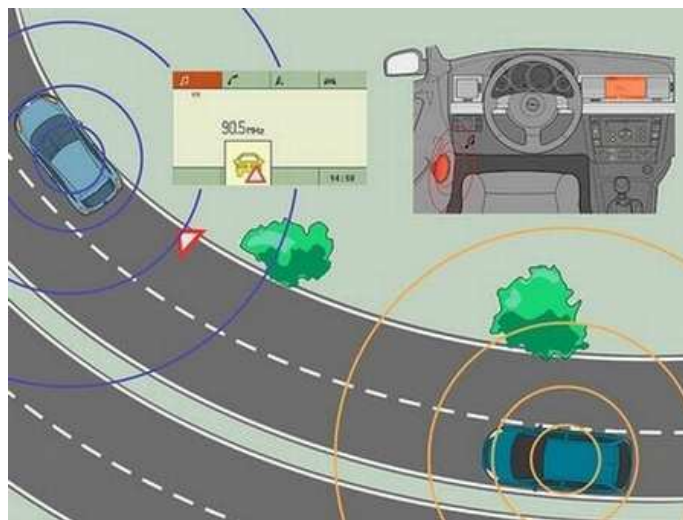


Figura 5.1: Sistema V2V.

Finalment, una altra proposta relacionada amb la millora de la interpretació dels usuaris.

Els ocupants del vehicle són realment els beneficiats de l' increment de la seguretat i el número de sistemes que van sorgint al mercat. Però, potser s'està posant un interès centralitzat en millorar la percepció exterior quan realment també es pot incrementar la seguretat en l'interior del vehicle. A més a més, donat que reconèixer objectes a un entorn de circulació, sobretot en el cas urbà, pot ser una tasca molt complicada donada la gran quantitat d'elements que s'hi poden trobar, a diferència de l'interior d'un automòbil, on la cerca d'un rostre humà es converteix en una tasca més senzilla però de complexitat igualment elevada.

Fins i tot interpretar l'estat del conductor mitjançant reconeixement facial i fer simplement un avís acústic o vibratori per a cridar l'atenció. Un exemple també en desenvolupament per part de l'empresa *Toshiba* [60], i encara sense comercialització

anunciada, és un sistema que permetrà executar ordres amb la mirada sobre dispositius com la ràdio o l'aire condicionat, tot i que el seu principal objectiu és que el conductor no retiri la seva atenció de la carretera. És curiós com un sistema que té com a propòsit millorar l'atenció de l'usuari en la tasca de conducció que precisament necessita una concentració visual, inclou també funcionalitats per a altres tasques menys importants que faran perdre la concentració visual i possiblement controlables des de nous comandaments incorporats per sota del volant, tal i com es presenten la majoria de vehicles actuals.

6. Bibliografía.

- [1] Klir, G., Yan, B., *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*.
- [2] *Driver Assistance Systems overview*.
<http://www.itsoverview.its.dot.gov/DAS.asp>
- [3] *Lane Departure Warning System*.
http://en.wikipedia.org/wiki/Lane_departure_warning_system
- [4] *ABS and Brake Assist, Mitsubishi Motors*.
http://www.mitsubishi-motors.com/corporate/about_us/technology/safety/e/abs.html
- [5] *Brake Assist System by Mercedes-Benz*.
http://www.4x4abc.com/4WD101/BAS_how.html
- [6] [PDF] *Accidentes mortales en la carretera, año 2009, DGT*.
http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/seguridad_vial/estadistica/accidentes_24horas/resumen_anual_siniestralidad/resumen_siniestralidad019.pdf
- [7] *A new approach to driver drowsiness detection*.
<http://www.atzonline.com/index.php;do=show/site=a4e/sid=11141436054bee6abc13343913065440/alloc=3/id=7883>
- [8] *Driver Drowsiness Detection*.
http://en.wikipedia.org/wiki/Driver_drowsiness_detection
- [9] *Forward Collision Warning Systems*.
<http://www.fmcsa.dot.gov/facts-research/research-technology/report/forward-collision-warning-systems.htm>
- [10] [PDF] Ponsa, D., *Model-Based Visual Localisation of Contours and Vehicles*.
http://www.tesisenxarxa.net/TDX/TDX_UAB/TESIS/AVAILABLE/TDX-0124108-144958//dpm1de1.pdf
- [11] [PDF] *A 24GHz Radar based Automotive Precrash System*.
http://lexikon.kfz.tu-berlin.de/apsn/uploads/media/Automotive_Precrash_System.pdf
- [12] *Servofreno de emergencia con detección de obstáculos*.
<http://www.km77.com/glosario/s/sistfren.asp>
- [13] *Mobileye*.
<http://www.mobileye.com/>
- [14] *Mobileye AWS*.
<http://www.mobileye.com/consumer-products/product-line/AWS4000>
- [15] *Volvo City Safety*.
<http://www.volvocars.com/es/footer/Pages/CitySafetyTerms.aspx>

- [16] *Volvo Collision Warning with Auto Brake.*
<http://www.zercustoms.com/news/Volvo-Collision-Warning-with-Auto-Brake.html>
- [17] [VID] *Volvo Collision Avoidance.*
<http://www.youtube.com/watch?v=SQh5Fp2wJyE&NR>
- [18] [VID] *Volvo Collision Warning with Full Auto Brake and Pedestrian Detection.*
<http://www.youtube.com/watch?v=ILwzWK3E0Mc>
- [19] [VID] *Volvo XC60 Safety Fails.*
<http://www.youtube.com/watch?v=B7J9yJxyMxs>
- [20] [VID] *Toyota Land Cruiser LC150 – PreCrash Safety System.*
<http://www.youtube.com/watch?v=tjYAng48o2s>
- [21] [VID] *Mercedes-Benz PRE-SAFE Brake.*
http://www3.mercedes-benz.com/mbcom_v4/is/techcenter2009/en.html#/pre_safe_brake/introduction
- [22] [VID] *Honda Accord Advanced Driver Assist System.*
<http://www.youtube.com/watch?v=sBP1ALQXoRI>
- [23] [VID] *Ford Taurus Collision Warning with Brake Support.*
<http://www.youtube.com/watch?v=HTM9clrzkN4>
- [24] [VID] *Sistemas de ayuda al conductor, Audi Braking Warn.*
http://www.youtube.com/watch?v=PbTYf_DsdjE
- [25] [VID] *Lexus GS 450h VDIM & Pre Crash System.*
<http://www.youtube.com/watch?v=Phyi213kTAQ>
- [26] *La ley de tráfico, Dirección General de Tráfico.*
http://www.dgt.es/portal/es/normas_legislacion/ley_trafico/
- [27] *MATLAB.*
<http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- [28] *Xfuzzy.*
<http://www2.imse-cnm.csic.es/Xfuzzy>
- [29] *Free Fuzzy Logic Library.*
<http://ffll.sourceforge.net/>
- [30] *Spark! Viewer.*
<http://www.louderthanabomb.com/download.htm>
- [31] *Using Fuzzy Logic to Control a Videogame Defenseman.*
http://www.erwintanq.com/fuzzydef/fuzzy_intro.html

- [32] *Box2D*.
<http://www.box2d.org/>
- [33] *Newton Game Dynamics*.
<http://newtondynamics.com/forum/newton.php>
- [34] *Open Dynamics Engine*.
<http://ode.org/>
- [35] *Bullet Physics*.
<http://bulletphysics.org/wordpress/>
- [36] *Freeglut, The Free OpenGL Utility*.
<http://freeglut.sourceforge.net/>
- [37] *GLUI User Interface Library*.
<http://www.cs.unc.edu/~rademach/glui/>
- [38] *OpenGL*.
<http://es.wikipedia.org/wiki/OpenGL>
- [39] *OpenProj – Project Management*.
<http://www.serena.com/products/openproj/>
- [40] *StarUML*.
<http://staruml.sourceforge.net/en/>
- [41] *CppDoc*.
<http://www.cppdoc.com/>
- [42] *Manual de conducción y seguridad vial*.
<http://www.autoescuelasasociadas.org/Permisos/PermisoB/indexvial.htm>
- [43] [PDF] Levinson, D., *Stopping Distance*.
<http://nexus.umn.edu/Courses/ce3201/CE3201-L3-02.pdf>
- [44] [PDF] *Manual de reconstrucción de accidentes de tráfico*.
<http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/cesvimap/ficheros/MRATEExtracto.pdf>
- [45] [PDF] *Principales cifras de siniestralidad vial, año 2008, DGT*.
http://dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/seguridad_vial/estudios_informes/Principales_cifras_2008.pdf
- [46] *Fuzzy Logic, Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
<http://plato.stanford.edu/entries/logic-fuzzy/>
- [47] *Apuntes de Inteligencia Artificial, Universitat Politècnica de Catalunya*.
<http://www.lsi.upc.edu/~bejar/ia/material/teoria/ApuntesIA.pdf>

- [48] [PDF] Fiter, M., Control basat en lògica difusa per a sistemes de fangs activats.
http://www.tesisenxarxa.net/TDX/TDX_UdG/TESIS/AVAILABLE/TDX-0427106-142956/tmfc.pdf
- [49] IEC 61131-7 Fuzzy Control Programming.
http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/iec_61131_7/
- [50] Free Fuzzy Logic Library API.
<http://ffll.sourceforge.net/api/index.html>
- [51] Blizzard Entertainment.
<http://us.blizzard.com/es-mx/?rhtml=y>
- [52] [DOC] Relación entre movimiento circular y lineal.
www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r2324.DOC
- [53] Box2D Manual.
<http://www.box2d.org/manual.html>
- [54] Box2D Class Index.
<http://www.linuxuser.at/elements/doc/box2d/classes.htm>
- [55] GLUI Class List.
<http://www.cs.uaf.edu/2006/fall/cs381/ref/glui/annotated.html>
- [56] OpenCV.
<http://opencv.willowgarage.com/wiki/>
- [57] Open Source Computer Vision Library Group.
<http://tech.groups.yahoo.com/group/opencv/>
- [58] The PASCAL Object Recognition Database Collection.
<http://pascallin.ecs.soton.ac.uk/challenges/VOC/databases.html>
- [59] Sistema V2V de General Motors.
http://www.cochenet.com/sabelotodo/articulos/v2v/v2v_gm.htm
- [60] Toshiba facial recognition system.
<http://www.engadget.com/2009/05/25/toshiba-shows-off-in-car-facial-recognition-system/>