

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**V2X MÓDULO DE COMUNICACIONES ENTRE VEHÍCULOS  
AUTOMATIZADOS Y SEMI-AUTOMATIZADOS**

Por:  
Carlos Eduardo Hidalgo Vieria

**PROYECTO DE GRADO**

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar  
como requisito parcial para optar al Título de  
Ingeniero Electrónico

Sartenejas, en algún momento de 2018



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**V2X MÓDULO DE COMUNICACIONES ENTRE VEHÍCULOS  
AUTOMATIZADOS Y SEMI-AUTOMATIZADOS**

Por:  
Carlos Eduardo Hidalgo Vieira

Realizado con la asesoría de:  
Gerardo Fernández-López  
Joshué Manuel Pérez Rastelli

**PROYECTO DE GRADO**

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar  
como requisito parcial para optar al Título de  
Ingeniero Electrónico

Sartenejas, en algún momento de 2018

# Índice general

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Índice general</b>  | <b>III</b>  |
| <b>Índice de figuras</b>   | <b>VI</b>   |
| <b>Índice de tablas</b>  | <b>VIII</b> |
| <b>1. Introducción</b>   | <b>1</b>    |
| 1.1. Antecedentes . . . . .  | 1           |
| 1.2. Justificación y Planteamiento del Problema . . . . .  | 4           |
| 1.3. Objetivos . . . . .   | 6           |
| 1.3.1. Objetivo General . . . . .  | 6           |
| 1.3.2. Objetivos Específicos . . . . .   | 6           |
| 1.4. Estructura del Trabajo . . . . .  | 6           |
| <b>2. Descripción del Instituto Receptor</b>   | <b>9</b>    |
| 2.1. Reseña Histórica . . . . .  | 10          |
| 2.2. Divisiones de TECNALIA <i>Research &amp; Innovation</i> y Equipo de Automated Driving . . . . . | 11          |
| 2.2.1. Vehículos del Equipo . . . . .  | 13          |
| <b>3. Estado del Arte</b>  | <b>15</b>   |
| 3.1. Revisión Bibliográfica . . . . .  | 16          |
| 3.1.1. Modelo OSI . . . . .  | 16          |
| 3.1.2. Redes Ad-Hoc . . . . .  | 18          |
| 3.1.3. Protocolos de Transporte . . . . .  | 20          |
| 3.1.3.1. UDP . . . . .   | 20          |
| 3.1.3.2. TCP . . . . .   | 21          |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.2. Sistemas de Comunicación . . . . .   | 22        |
| 3.2.1. Sistemas de Comunicación Comerciales . . . . .                                   | 22        |
| 3.2.1.1. W-Lan . . . . .  | 23        |
| 3.2.1.2. IEE 802.11 . . . . .   | 26        |
| 3.2.2. Sistemas de Comunicación Vehicular . . . . .                                     | 29        |
| 3.2.2.1. Vanets . . . . .   | 31        |
| 3.2.2.2. DSRC . . . . .   | 34        |
| 3.3. Sistemas Cooperativos . . . . .  | 39        |
| 3.3.1. Maniobras Cooperativas . . . . .   | 40        |
| 3.3.1.1. ACC . . . . .  | 41        |
| 3.3.1.2. Stop And Go . . . . .  | 41        |
| 3.3.1.3. Control Lateral . . . . .  | 42        |
| 3.3.1.4. Platoonig . . . . .  | 43        |
| 3.4. Lógica Borrosa . . . . .   | 43        |
| 3.4.1. Control Borroso . . . . .  | 45        |
| 3.5. Resumen . . . . .  | 48        |
| <b>4. Plataformas Experimentales</b>  | <b>49</b> |
| 4.1. Software Matlab . . . . .  | 49        |
| 4.1.1. Simulink . . . . .   | 52        |
| 4.2. Simulador Dynacar . . . . .  | 53        |
| 4.2.1. Arquitectura de control . . . . .  | 55        |
| 4.3. Resumen . . . . .  | 59        |
| <b>5. Sistema de Comunicación</b>   | <b>61</b> |
| 5.1. Análisis del Sistema de Comunicación . . . . .                                     | 62        |
| 5.1.1. Sistema de Comunicación Comercial Vs Sistema de Comunicación Vehicular . . . . . | 62        |
| 5.1.2. UDP Vs TCP . . . . .   | 62        |
| 5.1.3. Descripción del Mensaje a Enviar . . . . .                                       | 62        |
| 5.2. Implementación en Dynacar . . . . .  | 62        |
| 5.2.1. Módulo de Envío . . . . .  | 62        |
| 5.2.2. Módulo de Recepción . . . . .  | 62        |
| 5.2.3. Módulo de Envío al Visor . . . . .   | 62        |

|  |    |
|--|----|
| 5.2.4. Prueba del Sistema de Comunicación a Distintas Tasas de Envío . . . | 62 |
| 5.3. Resumen . . . . .   | 62 |

# Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Logo del TECNALIA <i>Research &amp; Innovation</i> . . . . .                                 | 9  |
| 2.2. Empresas que conforman TECNALIA <i>Research &amp; Innovation</i> . . . . .                   | 10 |
| 2.3. Empresas que conforman la Corporación Tecnalia . . . . .                                     | 11 |
| 2.4. Equipo de Automated Driving . . . . .  | 12 |
| 2.5. Vehículo Twizy de TECNALIA . . . . .   | 13 |
| 2.6. OBU del Twizy II . . . . .   | 14 |
| 3.1. Torre OSI . . . . .  | 17 |
| 3.2. Red ad-hoc subordinada a internet . . . . .  | 19 |
| 3.3. Ejemplo de un router . . . . .   | 23 |
| 3.4. Ejemplo de un punto de acceso . . . . .  | 23 |
| 3.5. Ejemplo de una WLAN . . . . .  | 24 |
| 3.6. Capas del IEEE 802.11 . . . . .  | 26 |
| 3.7. Ejemplo de la comunicación entre las OBU's y las RSU's . . . . .                             | 29 |
| 3.8. Tipos de comunicaciones vehiculares . . . . .  | 31 |
| 3.9. Proyectos relacionados a las VANETS a lo largo de la historia . . . . .                      | 32 |
| 3.10. Arquitectura CALM . . . . .   | 34 |
| 3.11. Capas de la arquitectura CALM, con los respectivos documentos donde se encuentran . . . . . | 35 |
| 3.12. Distribución de canales en la capa de acceso . . . . .                                      | 36 |
| 3.13. Ejemplo de algunos C-ITS . . . . .  | 39 |
| 3.14. Ejemplo de un CACC . . . . .  | 41 |
| 3.15. Ejemplo de un Stop and Go . . . . .   | 42 |
| 3.16. Ejemplo de un Control Lateral . . . . .   | 43 |
| 3.17. Ejemplo de un Platooning . . . . .  | 44 |

|   |    |
|---|----|
| 3.18. Lógica clásica vs Lógica difusa . . . . .                           | 45 |
| 3.19. Esquema de un controlador borroso . . . . .                         | 46 |
| 4.1. IDE de MATLAB . . . . .  | 50 |
| 4.2. IDE de Simulink . . . . .  | 52 |
| 4.3. Interfaz gráfica de usuario para la creación de escenarios . . . . . | 53 |
| 4.4. Simulador Dynacar . . . . .  | 55 |
| 4.5. Arquitectura de control . . . . .                                    | 56 |
| 4.6. Arquitectura de control implementada en Simulink . . . . .           | 59 |

# Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Comparativa de las especificaciones de las VANET's . . . . . | 33 |
|---|----|

# **Capítulo 1**

## **Introducción**

### **1.1. Antecedentes**

El hombre en la búsqueda de sasear su hambre de conocimiento, ha logrado obtener grandes avances en todas las áreas que ha descubierto y así, con el pasar de los años ha podido solucionar problemas que parecían casi imposibles, mejorar los inventos que se pensaban como óptimos, y crear lo que una vez parecía inimaginable.

Un claro ejemplo de esta gran cualidad, es la invención del automóvil, el cual llegó como solución al problema de la movilización por tierra, de una forma más cómoda y práctica. Dicho problema no se resolvió hasta que el ingeniero alemán Karl Friedrich Benz creó el primer automóvil en 1885, abriendo de esta forma, las puertas a un nuevo mundo para la investigación.

A partir de esta invención, lo que se ha buscado es mejorar su calidad, así como la experiencia en su utilización. En este ámbito es donde entran los vehículos autónomos, buscando resolver cualquier problema relacionado con dicho tema. Siendo en 1939 su primera aparición,

el diseñador industrial Norman Bel Geddes, presentó en la feria de muestras Futurama, varios modelos de carreteras automáticas, que infundían energía a vehículos eléctricos controlados por radio. Más tarde en la década de los 60, un equipo de investigadores alemanes construyó el primer carro completamente robotizado, el cual hizo uso de visión sacádica, cálculos probabilísticos y computación paralela, para resolver distintos problemas simultáneamente. Ya con las investigaciones un poco más avanzadas, varios países europeos decidieron enfocarse más en la investigación de los vehículos autónomos, consiguiendo de esta forma un gran progreso en temas de seguridad, confort e inteligencia, pudiendo ser apreciados en un vehículo construido por la Mercedes Benz en 1994, el cual recorrió más de 1.000 km en París logrando adelantar vehículos, y alcanzar velocidades cercanas a los 130 km/h (1).

De estos progresos se pueden destacar los sistemas avanzados de asistencia al conductor, *ADAS* (del inglés, *Advanced Driver Assistance Systems*), los cuales se enfocan en garantizar la seguridad y aumentar el confort a la hora de conducir, con el fin de poder reducir el número de accidentes. Estos sistemas fueron introducidos por primera vez en 1986, en el que varios institutos de Europa, formaron la iniciativa Prometheus, buscando soluciones prácticas a problemas de tráfico urbano. Los sistemas ADAS emplean en su mayoría un conjunto de subsistemas enfocados a la interacción con el usuario, de los cuales se pueden nombrar: los sistemas de velocidad de crucero autónomo, sistemas de advertencia de conducción incorrecta, detector de cambio de carril, sistemas anticolisión, entre otros (2).

Por otro lado, englobando todo lo que se refiere a transporte se encuentran los sistemas de transporte inteligente, *ITS* (del inglés, *Intelligent Transport System*), los cuales se presentan como una combinación de distintos sistemas avanzados de información, comunicación y control aplicados tanto a vehículos como a infraestructuras (3). Al acondisionar no solo

los vehículos sino también las infraestructuras se obtiene como resultado que la cantidad de problemas a resolver son menores, ya que las mismas se pueden encargar de situaciones que estén fuera del alcance de los vehículos, como por ejemplo la coordinación de los mismos en momentos de una intersección, así como también optimizar una cierta cantidad procesos, como lo pueden ser el cobro electrónico de peajes, el control de disponibilidad y ubicación de puestos en un estacionamiento, entre otros.

Con el pasar del tiempo el tema de los vehículos autónomos ha ido cobrando mucha importancia, pudiéndose ver en el hecho de que cada vez más empresas, universidades e institutos se han dedicando al desarrollo y optimización de los mismos, un ejemplo son los institutos dedicados a las telecomunicaciones, como el instituto europeo de normas de telecomunicaciones, ETSI (del inglés, *European Telecommunications Standards Institute*), el cual diseñó los estándares europeos por los cuales se rigen las comunicaciones vehiculares, lo que hace posible que se lleve a cabo de forma efectiva la conexión entre vehículos e infraestructuras.

Otro ejemplo que se puede resaltar es la corporación TECNALIA *Research & Innovation*, la cual a través de esfuerzo, tiempo y dinero ha colaborado con el desarrollo de los ITS, y de esta forma acelerar la llegada de estos sistemas al mundo comercial.

El presente proyecto busca desarrollar un sistema de comunicación entre vehículo e infraestructura empleando elementos comerciales, el cual pueda ser utilizado para validar distintas maniobras cooperativas en distintos ambientes de pruebas, presentes en las instalaciones de la corporación Tecnalia Research & Innovation.

## 1.2. Justificación y Planteamiento del Problema

En la actualidad, más de 1,25 millones de personas mueren cada año como consecuencia de accidentes de tránsito, y aproximadamente 50 millones sufren traumatismos no mortales, los cuales pueden llegar a producir alguna discapacidad (1P). Dichos siniestros son causados, en su mayoría por la imprudencia del ser humano. Si no se toman medidas correctivas se espera que estas cifras tan alarmantes aumenten para el año 2030, de tal forma que se conviertan la séptima causa de muerte en el mundo. Es por eso que la organización de las naciones unidas, ONU (del inglés, *Organization of United Nation*) adoptó *La agenda 2030* para el desarrollo sostenible, donde se espera que para el 2020 se disminuyan estos números a la mitad, a través de diferentes planes.

Para apoyar estas soluciones que se pretenden poner en práctica, el desarrollo e implementación de los ITS juegan un papel muy importante, ya que los mismos buscan solventar los fallos del ser humano, ya sea mediante acciones pasivas, como lo puede ser una simple notificación al conductor de alguna falla o infracción que este cometiendo, o mediante acciones activas, como lo puede ser tomar el control del vehículo, en caso de una emergencia. Para lograr que se puedan realizar efectivamente estas labores, cada uno de los sistemas integrados en los ITS deben de ofrecer el mejor rendimiento, es por esta razón que los estudios actualmente se centran en la mejora de dichos sistemas.

De estos sistemas se pueden destacar los relacionados al área de las comunicaciones, los cuales son los encargados de conectar vehículos, peatones e infraestructuras entre si, y que de esta forma se puedan intercambiar distintos datos, como por ejemplo velocidad, posición, aceleraciones, etc, así como mensajes de advertencia de siniestros, riesgos, entre otros. A su

vez, los sistemas de comunicación dan paso a los sistemas cooperativos, los cuales poseen un extenso campo de aplicaciones, donde se pueden resaltar las que involucran maniobras con más de un vehículo.

El desarrollo de los ITS puede llegar a ser muy complicado y en casos muy peligroso, si se toma en cuenta el hecho de que actualmente las avances no solo están enfocados para mejorar el desempeño del vehículo como individuo, si no como conjunto, es decir, están más centrados en la mejora de la interacción de los mismos con su entorno. Es en este escenario donde entran centros de investigación como Tecnalia, que con sus esfuerzos buscan formas más seguras de poder desarrollar estos sistemas, muestra de esto es el simulador Dynacar, el cual permite realizar la simulación de los vehículos en distintas situaciones, asegurándose de esta forma que el vehículo cumpla con los objetivos propuestos antes de ser probado en la realidad, reduciendo de esta forma los riesgos que pueda generar la prueba planteada.

Sin embargo, Dynacar es un simulador aún en desarrollo, lo que implica que carece de todos los componentes necesarios para probar todos los escenarios conocidos. Dentro de estas carencias se encuentra la falta de un sistema de comunicación que permita probar varias maniobras cooperativas en más de una computadora. Es por esta razón que el presente trabajo tiene como finalidad, desarrollar un sistema de comunicación de bajo coste que permita la realización de distintas maniobras que involucren más de un vehículo, las cuales puedan ser probadas primero en el simulador Dynacar, para luego ser llevadas a cabo en la realidad con carros de verdad y más aún que permita la prueba de estas maniobras en un entorno combinado entre vehículos reales y vehículos virtuales.

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo General

Implementar un sistema de comunicación entre infraestructura y vehículo, con el fin de que se puedan realizar distintas maniobras cooperativas en distintos ambientes de prueba.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte de los vehículos autónomos, haciendo énfasis en las comunicaciones entre infraestructuras y vehículos.
- Desarrollar e implementar un sistema de monitoreo de vehículos empleando el simulador Dynacar.
- Desarrollar e implementar un sistema de comunicación efectivo entre vehículos infraestructuras.
- Elaborar e implementar los respectivos controladores para las maniobras cooperativas.
- Probar las maniobras cooperativas en los distintos entornos.
- Realizar el informe final así como la debida documentación de cada bloque realizado.

## 1.4. Estructura del Trabajo

Habiendo realizado la respectiva introducción al problema a tratar en el proyecto, así como los objetivos de este, a continuación se presentarán 7 capítulos más con sus respectivos resúmenes.

En el capítulo 2, se presentará una descripción del instituto receptor, TECNALIA *Research & Innovation*, exponiendo su historia y una breve presentación del equipo de Automated Driving, con el cual se realizó este proyecto, dando a conocer sus objetivos y los vehículos que cuenta.

La revisión del estado del arte es expuesta en el capítulo 3, donde se tocan distintos conceptos relacionados con temas de comunicación, y de vehículos autónomos, buscando una mejor comprensión del proyecto. Luego se habla sobre los sistemas de comunicación, tanto vehiculares, como comerciales. Seguidamente se presenta una descripción de los sistemas cooperativos, así como una lista de las maniobras cooperativas realizadas, dejando de último descripción de la estrategia de control empleada, que en este caso fue la lógica borrosa.

En el capítulo 4, se hará una descripción del software a emplear, Matlab, así como también del simulador Dynacar, haciendo énfasis en su arquitectura y distintos componentes.

El capítulo 5, se describe el sistema de comunicación elaborado, en donde primero se analizarán las razones por las cuales se empleó el sistema de comunicación comercial, para luego describir los bloques realizados en Matlab para el simulador Dynacar, junto con su respectivo análisis de rendimiento.

En el capítulo 6, se presentarán las maniobras cooperativas realizadas, ACC, el control lateral, Stop and Go, y el ACC más el control lateral. En el caso de las dos primeras se describirán los algoritmos de control, así como su implementación en Dynacar y con sus respectivas pruebas, mientras que, para las dos últimas solo se describirán las pruebas realizadas con dichas maniobras.

En el capítulo 7, se presentarán los resultados obtenidos al realizar las respectivas pruebas de cada maniobra en los entornos de prueba, los cuales son: Comunicación PC-PC, Vehículo-Vehículo y Vehículo-PC.

En el capítulo 8, se presentarán las conclusiones del trabajo, así como los trabajos a futuro que se puedan realizar teniendo como base el presentado.

## Capítulo 2

# Descripción del Instituto Receptor

El instituto receptor del presente trabajo, TECNALIA *Research & Innovation* (Figura 2.1) es el primer centro privado de investigación de España, y uno de los más relevantes de Europa en general. Con sus 22 sedes distribuidas por todo el mundo buscan identificar y desarrollar distintas soluciones tecnológicas integrales, con creatividad e imaginación para más de 4.000 clientes, haciendo honor a su lema Inspiring Business, lema que tiene el significado de saber imaginar. Concepto que es producto de la síntesis de imaginar y hacer realidad, donde imaginar para TECNALIA supone tener ideas para ayudar a la sociedad y hacer realidad, aportar soluciones a los problemas <sup>1</sup>.



Figura 2.1: Logo del TECNALIA *Research & Innovation*

A pesar de ser un centro de investigación relativamente nuevo, el mismo recoge la expe-

---

<sup>1</sup> <http://www.tecnalia.es/proyectos-item/tecnalia-research-innovation>

riencia, el recorrido y las fortalezas de varias organizaciones con un extenso currículum<sup>2</sup>, es por eso que a continuación se procederá a relatar de forma breve la historia de este centro, así como de la corporación TECNALIA, de la cual es integrante.

## 2.1. Reseña Histórica

TECNALIA Research & Innovation nace en el 2010 como la unión de 8 empresas (Figura 2.2), unidas, con la intención de colaborar y desarrollar nuevas oportunidades de progreso.



Figura 2.2: Empresas que conforman TECNALIA *Research & Innovation*

A su vez, TECNALIA junto con los centros tecnológicos, Azti y Neiker conforman a la Corporación Tecnalia, cuyo objetivo es contribuir al desarrollo del entorno económico y social a través del uso y fomento de la innovación tecnológica, mediante el estímulo y difusión de la investigación, en un contexto internacional<sup>3</sup>. La corporación Tecnalia nació en el año 2001, a través de la iniciativa de Inasmet, Labein y Robotiker, los cuales apostaron por unir esfuerzos e impulsar a Tecnalia de tal forma que pudiera alcanzar niveles superiores de competitividad en el mercado. A raíz de esta unión otros centros tecnológicos se fueron incorporando con el pasar de los años (Figura 2.3), dando forma a lo que se conoce hoy como Corporación

<sup>2</sup><https://www.tecnalia.com/es/tecnalia/historia.htm>

<sup>3</sup><http://www.tecnalia.es/>

Tecnalia.



Figura 2.3: Empresas que conforman la Corporación Tecnalia

## 2.2. Divisiones de TECNALIA *Research & Innovation* y Equipo de Automated Driving

Dentro de la estructuración de TECNALIA *Research & Innovation* se pueden encontrar 6 divisiones importantes:

- Desarrollo sostenible.
- Tecnología de información y comunicación.
- Industria y transporte.
- Innovación y sociedad.
- Salud.

De estas divisiones se puede destacar la división de industria y transporte, la cual a su vez comprende varios focos de investigación, tales como:

- Tecnologías de fabricación y transformación de materiales.
- Modelos predictivos de procesos de siderurgia y fundición .
- tecnologías de materiales para transporte y espacio.
- Predicción, control y mejora de características de los materiales.
- Homologación de materiales.
- Sistemas inteligentes de fabricación.
- Conducción autónoma.

De estos focos se resalta el de conducción autónoma, donde se desarrolló el presente trabajo. El mismo es un grupo multidisciplinario (Figura 2.4) cuyo objetivo es realizar investigaciones aplicadas a la conducción autónoma de vehículos eléctricos, esto, con el fin de poder realizar maniobras de forma segura, cómoda y eficiente en entornos urbanos e interurbanos.



Figura 2.4: Equipo de Automated Driving

### 2.2.1. Vehículos del Equipo

Los vehículos empleados por el equipo son los Twizy I y II (Figura 2.5), los cuales son producidos por la empresa Renault. Se vieron por primera vez en el año 2009 en el salón del automóvil en Frankfurt, pero no fue si no hasta el 2011 que comenzó su producción. Los Twizy disponen de un motor de 8 Kv y 57 Nm, con una aceleración de 0 a 45 Km/h en 6,1 segundos, los mismos son vehículos recargables, que tardan en cargarse 3 horas y 30 minutos, enchufados a una toma de 220 V, con 10 A<sup>4</sup>.



Figura 2.5: Vehículo Twizy de TECNALIA

Estos vehículos son automatizados por la empresa española, Dirección de Tecnología Avanzada, DTA, la cual los dota de todos los componentes necesarios, que van desde sensores para determinar valores de interés, como la velocidad, hasta la computadora, componente de suma importancia para la comunicación con el usuario, así como con los controladores progambales, PLC (del inglés, *Programable Logic Controllers*). Cabe destacar que además de los componentes nombrados anteriormente los Twizy también fueron equipados con un GPS diferencial, así como todos los instrumentos mecánicos para el accionamiento de pedales de

<sup>4</sup> <http://www.renaulttwizy.org/renault-twizy-caracteristicas.php>

aceleración, frenado y control de volante.

A fines de este proyecto se resaltará el sistema de comunicación empleado en los Twizy, el cual consta de un router de la marca TP-Link conectado al CPU de cada vehículo (Figura 2.6), además de un dispositivo de red inalámbrico, empleado para conectar los vehículos a los routers.

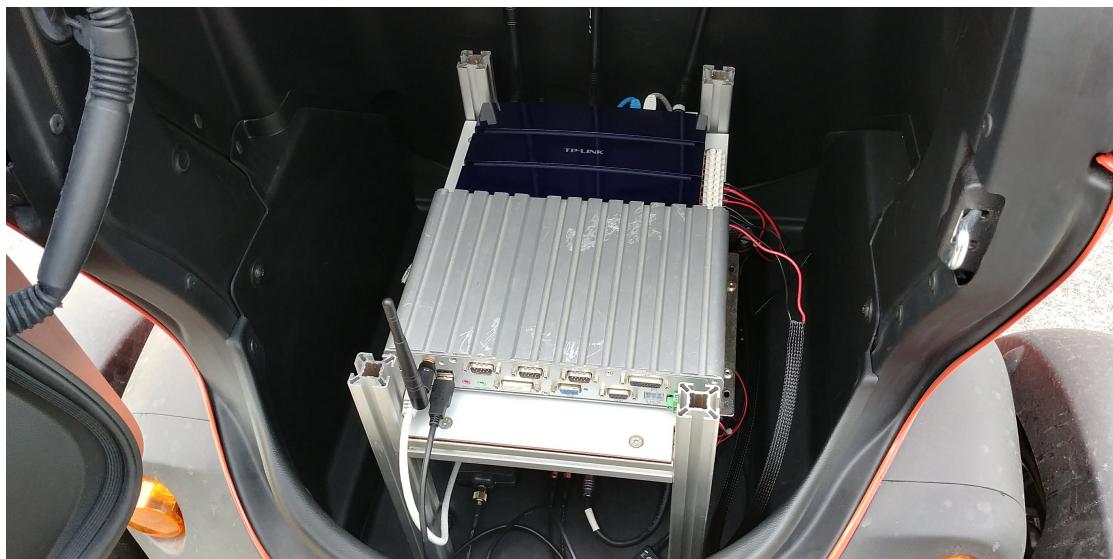


Figura 2.6: OBU del Twizy II

# **Capítulo 3**

## **Estado del Arte**

El presente capítulo tiene la intención de establecer las bases teóricas de este trabajo, de forma resumida y concisa, con el objetivo de familiarizar al lector con los conceptos necesarios para una efectiva comprensión de los temas a tocar. En este orden de ideas, se introducirán conceptos vinculados con las bases sobre las cuales están hechas las comunicaciones hoy en día, tanto comerciales como vehiculares, y de esta forma poder hablar con más criterio sobre los sistemas de comunicaciones comerciales y vehiculares, describiendo los protocolos e instrumentos fundamentales para su funcionamiento.

Seguidamente, se expone la sección relacionada con los sistemas cooperativos, donde se dará a conocer toda la información de interés referente a estos sistemas, así como de los ADAS, para luego describir distintas maniobras cooperativas que se pueden realizar hoy en día. Por último se describirá la estrategia de control implementada en la reaización de las maniobras, dicha estrategia se basa en la lógica difusa, por lo que primero se procederá a definir la misma, para luego entender su utilización en el área de control.

### 3.1. Revisión Bibliográfica

En esta sección se procederá a hacer un repaso a los campos de investigación relacionados a las redes de comunicación, los cuales serán de ayuda para un mejor entendimiento de los demás temas tratados en este trabajo.

#### 3.1.1. Modelo OSI

Para efectuar una correcta comunicación entre vehículos, infraestructuras o simplemente entre dispositivos comerciales como por ejemplo unos routers, se deben tener ciertas normas que las rijan, es por esto que en esta sección se hará una breve introducción a la división de las normas de comunicación que afectan los distintos sistemas, así como la estructura lógica deben poseer para que, sin importar las condiciones puedan interactuar entre si.

Propiamente el modelo de interconexión de sistemas abiertos, modelo OSI (del inglés, *Open System Interconnection*) es una recomendación o normas de comunicaciones que deben de seguir los fabricantes para que todos los dispositivos puedan comunicarse entre ellos independientemente de la tecnología empleada (4). Fue creado en el año 1980 por la organización internacional de normalización, ISO (del inglés, International Organization for Standardization), siendo publicado oficialmente en el año 1983 por la unión internacional de telecomunicaciones, ITU (del inglés, *International Telecommunications Union*).

El modelo está conformado por siete capas que definen las diferentes fases por las cuales los datos deben pasar para ir de un dispositivo a otro sobre una red de comunicaciones (ver figura 3.1). Sobre este esquema se han creado numerosos protocolos, los cuales cada vez están

siendo más flexibles, reduciendo el número de capas y logrando transiciones de niveles no tan demarcadas, por lo que, el modelo OSI está quedando cada vez más obsoleto al pasar de los años, pero para efectos de los sistemas analizados en este trabajo la norma aún sirve como referente para su entendimiento, dicho esto se procederá a describir cada uno de los niveles.

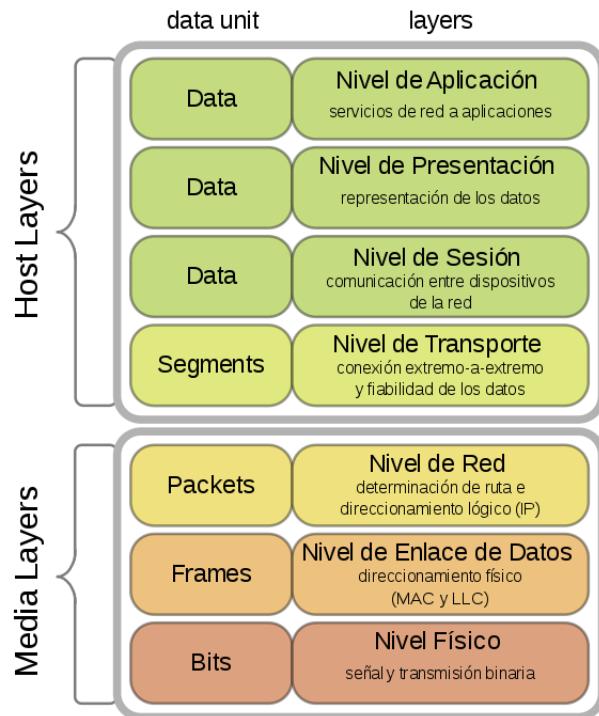


Figura 3.1: Torre OSI

- Nivel físico: es el primer nivel presentado en el modelo, es el encargado de la topología de red y de las conexiones del dispositivo hacia la misma. Está más enfocado al medio físico y de como se transmite la información en este.
- Nivel de enlace de datos: es el nivel encargado: del direccionamiento físico, del acceso al medio, de la distribución ordenada de las tramas y del control del flujo de datos.

- Nivel de red: se encarga de identificar el enrutamiento existente entre varias redes, es en este nivel donde se realiza el direccionamiento lógico y se establece la ruta que tienen que seguir los datos del origen hasta el receptor final.
- Nivel de transporte: es el encargado de realizar el transporte de los datos del dispositivo origen, al dispositivo destino, esto independientemente del tipo de red física empleada.
- Nivel de sesión: es el nivel encargado de mantener y controlar el enlace establecido entre los dispositivos.
- Nivel de presentación: en este nivel se traduce la información, de tal forma que distintos dispositivos puedan entender la información que reciben independiente de las diferentes representaciones internas que estos puedan tener.
- Nivel de aplicación: es el último nivel del modelo, siendo el encargado de ofrecer a las aplicaciones la posibilidad de acceder a los distintos servicios de los demás niveles, así como también definir los protocolos que utilizan estas aplicaciones para intercambiar los datos.

### 3.1.2. Redes Ad-Hoc

Las redes ad hoc, son redes inalámbricas que no requieren de ningún tipo de infraestructura fija ni administración centralizada, donde cada componente es una estación capaz de ofrecer servicios de encaminamiento, retransmitiendo paquetes de otras estaciones que no posean conexión inalámbrica directa. Estas redes son capaces de desplegarse tanto de forma autónoma como de forma combinada con las redes locales, y de esta manera gozar los beneficios de los servicios de internet (5). Vieron sus comienzos en los años 70, siendo conocidas con el nombre de radio paquetes, nombre que fue cambiado en los años 80 por el de redes ad-hoc, dicho cambio se produjo a raíz de ser implementadas en proyectos militares, los cuales las

renombraron como se conoce actualmente(6). En la figura 3.2 se puede encontrar un ejemplo de la distribución del internet a través de una red ad-hoc.



Figura 3.2: Red ad-hoc subordinada a internet

Dentro de las características más resaltantes se pueden encontrar:

- Son nodos móviles, es decir los dispositivos de las redes ad-hoc pueden cambiar de posición a placer.
- Constan de una topología variable, ya que los dispositivos se pueden mover y formar nuevos enlaces con otros dispositivos, siempre y cuando pertenezcan a su área de cobertura.
- Tienden a realizar cambios de ruta, esto debido a su topología variable, lo cual produce que la ruptura de enlaces sea un problema frecuente, lo que origina que se varien las rutas constantemente.
- Poseen autonomía limitada causada por la portabilidad de los dispositivos, ya que estos vienen limitados en cuanto a la duración de la batería.
- Tienen limitaciones en los enlaces inalámbricos, ya que estos enlaces se caracterizan por tener un ancho de banda reducido, así como, una disposición a cometer errores, defectos que se ven compensados por la calidad de repetidor de nodos.

- Gozan de la ausencia de infraestructura, esto debido a que no existe ningún tipo de entidad centralizada que rijan las conexiones, por lo cual los dispositivos pueden desempeñar los papeles de host o router en cualquier momento.

Según su aplicación se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Redes ad-hoc móviles, MANET's (del inglés, *Mobile Ad-Hoc Networks*).
- Redes inalámbricas malladas.
- Redes de sensores.
- Redes ad-hoc vehiculares, VANET's (del inglés, *Vehicular Ad-Hoc Networks*).

### 3.1.3. Protocolos de Transporte

Entre las capas expuestas anteriormente se encuentra la de transporte, pieza fundamental de la arquitectura del modelo. Desempeñando un papel crítico al proporcionar servicios de comunicación a los procesos de aplicación que se ejecutan en hosts diferentes. Dentro de estos protocolos se pueden destacar tres, dos para las comunicaciones entre componentes comerciales, e internet, UDP y TCP y uno para las comunicaciones vehiculares, Geonetwork.

#### 3.1.3.1. UDP

El protocolo de datagrama de usuario, UDP (del inglés, *User Datagram Protocol*) es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas. El mismo permite el envío de dichos datagramas a través de la red sin que se haya establecido una conexión previa, esto debido a que los mismos incorporan suficiente información de direccionamiento. Además no posee confirmación ni control de flujo, lo que origina que los paquetes puedan

adelantarse unos a otros y se pierdan en el camino. Este tipo de protocolo es mayormente empleado para servidores DHCP, BOOT y DNS, y demás servicios en los que el intercambio de paquetes de la conexión son mayores, o no son rentables con respecto a la información transmitida (3). Entre las principales características se encuentra que:

- Es un protocolo mínimo de nivel de transporte orientado a los mensajes.
- Proporciona una sencilla interfaz entre la capa de red y la capa de aplicación.
- No otorga garantías para la entrega de sus mensajes.
- Es empleado cuando resulta más importante transmitir con velocidad que garantizar el hecho de que los mensajes lleguen completos, como es el caso de la transmisión de audio y video.

### 3.1.3.2. TCP

El protocolo de control de transmisión, TCP (del inglés, *Transmission Control Protocol*) es un protocolo orientado para crear conexiones entre computadoras de una misma red. En este caso el protocolo garantiza que los datos serán entregados a su destino sin errores y en el mismo orden en el cual fueron transmitidos. TCP da soporte a muchas aplicaciones relacionadas al internet, como lo pueden ser: navegadores, intercambio de ficheros, programas de mensajería entre otros (3). Entre las principales características se encuentran que:

- Es orientado a la conexión, es decir las computadoras se conectan para intercambiar datos, sincronizándose para manejar el flujo de paquetes y adaptarse a la congestión de red.

- Emplea la técnica checksum, con la cual verifica que los paquetes no estén corruptos.
- El receptor regresa un acuse de recibo al transmisor indicando que ya llegaron los paquetes.
- En caso de se desborde el buffer receptor, el mismo descarta los paquetes, ocasionando que el transmisor reduzca la tasa de envío.
- En caso de que el mensaje no se reciba de forma adecuada e receptor puede pedir la retransmisión del mismo.

## 3.2. Sistemas de Comunicación

A continuación se presentan los fundamentos sobre los sistemas de comunicación analizados en este trabajo.

### 3.2.1. Sistemas de Comunicación Comerciales

Los sistemas de comunicación comerciales son aquellos sistemas empleados para conectar distintos dispositivos, ya sean computadoras, celulares, televisores, etc. Son nombrados como comerciales, ya que son de acceso al público sin ninguna restricción. Estos sistemas hacen uso de los dispositivos de comunicación como lo son los routers, o enrutadores y los puntos de acceso, AP (del inglés, Access Point).

- Router: es un dispositivo que proporciona conectividad a nivel de red, o nivel tres del modelo OSI, cuyo principal objetivo consiste en enviar o encaminar paquetes de datos

de una red a otra, es decir interconectar subredes (Figura 3.3).



Figura 3.3: Ejemplo de un router

- Puntos de Accesos: es un dispositivo de red que interconecta equipos de comunicación inalámbricos, para formar una red, en la cual se conectan distintos elementos móviles o tarjetas de red inalámbricas (Figura 3.4).



Figura 3.4: Ejemplo de un punto de acceso

### 3.2.1.1. W-Lan

Las W-Lan (Figura 3.5). se pueden definir como un sistema de comunicación que transmite y recibe datos utilizando ondas electromagnéticas, en vez de un cable tradicional o fibra óptica utilizado en las LAN, y que proporciona conectividad inalámbrica, dentro de un área de

cobertura determinado, entre 10 m y 100 m. Dentro de sus características más importantes se encuentran:



Figura 3.5: Ejemplo de una WLAN

- Movilidad: permite transmitir información en tiempo real en cualquier lugar de la organización o empresa a cualquier usuario.
- Facilidad de instalación: al no usar cables, se evitan arduos trabajos de instalación de los mismos, por lo que se reduce el tiempo necesario para poder emplear los servicios de red, además de proporcionar los servicios a múltiples usuarios de forma instantánea.
- Flexibilidad: puede llegar a donde no puede el cable, aumentando así el rango de cobertura. Además de ser más económica que los sistemas cableados.

Las W-lan poseen un gran número de escenarios en los cuales pueden ser empleados, de las cuales pueden destacar:

- Escenario residencial: una línea telefónica terminada en un router ADSL al cual se conecta un punto de acceso, para formar una red WLAN que da cobertura a varios dispositivos.

- Redes corporativas: una serie de puntos de accesos distribuidos en varias áreas de la empresa que conforman redes autónomas.
- Acceso a internet desde distintos lugares: desde cafeterías hasta medios de transportes que poseen conexión vía satélite, los cuales pueden proporcionar servicios de internet a los usuarios conectados a su red.
- Otros usos corporativos e industriales: como interconexiones de máquinas y distintos dispositivos.

Otro uso que debido a sus específicas condiciones no es tan común, como pueden ser cualquiera de los ya mencionados, es el uso en comunicaciones vehiculares, esto debido a que son conexiones con características muy particulares que una simple red WLAN no puede garantizar cumplir, a excepción de algunos casos, donde bajo ciertas condiciones se puede recrear este tipo de comunicaciones, como se va a mostrar más adelante en los siguientes capítulos.

Las WLANs emplean principalmente las bandas industriales, científicas y médicas, ISM (del inglés, *Industrial, Scientific and Medical*), que comprenden las frecuencias entre 902-928 MHz, 2.4-2.4835 GHz y 5.725-5.850 GHz. Estas bandas son de uso común y no requieren de licencia para utilizarlas. Debido a que estas frecuencias no requieren de licencia para operar las WLAN poseen un gran potencial de mercado logrando así competir con otros tipos de tecnologías de acceso, lo cual obliga que se desarrolle un marco regulatorio que permita el uso eficiente y compartido de las mismas. En este ámbito es donde entra el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, IEEE (del inglés, *Institute of Electrical and Electronic Engineers*), el cual desarrolló los estándares que rigen este tipo de red, estándares que se procederán a describir a continuación.

### 3.2.1.2. IEE 802.11

Las redes WLAN cumplen con los estándares genéricos aplicables al mundo de las LAN cableadas, pero necesitan una normativa adicional que defina el uso y acceso de los recursos radioeléctricos. Estas normativas definen de forma detallada los protocolos para las capas física, MAC y de control de enlace de datos, DL (del inglés, ) que regulan la conexión vía radio. El primer estándar donde se especificaron estas capas fue el IEEE 802.11 en el año 1997.

Este estándar especifica una frecuencia de operación de 2.4 GHz con velocidades de transmisión de 1 y 2 Mbps. Desde esta versión inicial el IEEE 802.11 WG (del inglés, *Working Group*) ha llevado a cabo diferentes revisiones a través de diferentes grupos de trabajo especializados en distintas áreas. Antes de repasar cada uno de estos estándares se procederá a describir el esquema de las capas (Figura 3.6), que es común para cada uno ellos.

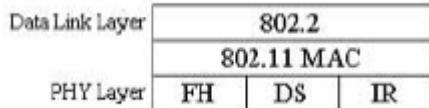


Figura 3.6: Capas del IEEE 802.11

Donde:

- Capa física: como en cualquier red la capa física define la modulación y la señalización característica de la transmisión de datos. Como se mencionó anteriormente estas redes operan en la banda de 2.4 GHz a excepción del IEEE 802.11 a que opera en la banda de 5 GHz, ocupando aprozimadamente 83 MHz de ancho de banda. Para la transmisión y recepción de tramas se tienen tres opciones:

Espectro expandido por secuencia diercta, DSS (del inglés, Direct Sequence Spread

Spectrum)

Espectro expandido por salto de frecuencia, FHSS (del inglés, *Frequency Hopping Spread Spectrum*)

Modulación por división ortogonal de frecuencias, OFDM (del inglés, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

- Capa MAC: en el caso de la capa MAC se diseño un mecanismo que pueda reaccionar positivamente ante perturbaciones ambientales, variaciones en la pitencia de la señal, y las repentinhas conexiones y desconexioes en la red. Este mecanismo es conocido como, acceso múltiple por detección de portadora y prevención de colisiones, CSMA/CA(del inglés, *Carrier Sense Multiple Acces with Collision Avoidance*), que funciona de la siguiente forma, si la estación que desea transmitir escucha el medio de trnasmisión, pero si el medio esta ocupado significa que otra estación está transmitiendo y por lo tanto debe de retrasar su transmisión hasta que se libere.

Ya conociendo la estructura básica de del IEEE 802.11 ahora se procederá a hablar sobre cada uno de los estándares.

- 802.11a: es un estándar también conocido como Wi-Fi5. Su misión es crear un estándar de WLAN en la banda de 5 GHz, capaz de alcanzar tasas de hasta 54 Mbps. Se publicó en el 1999.
- 802.11b: es un estándar también conocido como Wi-Fi. Está pensado para WLAN en la banda de 2.4 GHz, con una tasa que alcanza los 11 Mbps. Fue publicada en el 1999.
- 802.11c: provee de documentación a la 802.11 sobre procedimientos específicos MAC de la Organización Internacional para la Comisión Electrónica de Estandarización Internacional (ISO/IEC). Su trabajo está concluido.

- 802.11d: su misión es definir nuevos requerimientos para la capa física para hacer funcionar la 802.11 en otros países donde no es posible implementar 802.11, por no tener la banda de 2.4 GHz libre o ser más corta.
- 802.11e: este grupo trabaja en los aspectos relacionados con la calidad de servicio, QoS (del inglés, *Quality of Service*). En el mundo de las redes de datos, calidad de servicio significa poder dar más prioridad de transmisión a unos paquetes de datos que a otros, dependiendo de la naturaleza de la información (voz, vídeo, imágenes, etc.).
- 802.11f: básicamente, es una especificación que funciona bajo el estándar 802.11g y que se aplica a la intercomunicación entre puntos de acceso de distintos fabricantes, permitiendo el roaming o itinerancia de clientes.
- 802.11g: pretende desarrollar una extensión de la 802.11b, *higherspeed PHY*, capaz de mantener la compatibilidad con la 802.11b. El objetivo inicial de este era alcanzar al menos 20 Mbps y se ha conseguido llegar hasta los 54 Mbps.
- 802.11h: una evolución del IEEE 802.11a que permite asignación dinámica de canales y control automático de potencia para minimizar los efectos de posibles interferencias. Este punto es una de las desventajas que tiene IEEE 802.11a frente a su competidor europeo HiperLAN/2 (que también opera en la banda de los 5 GHz).
- 802.11i: este estándar permite incorporar mecanismos de seguridad para redes inalámbricas, ofrece una solución interoperable y un patrón robusto para asegurar datos. Mejora los mecanismos de autenticación y seguridad de la 802.11, como es WEP. El sistema sobre el que se está trabajando se conoce como TKIP (del inglés, *Temporal Key Integrity Protocol*).
- 802.1x: pretende mejorar los mecanismos de seguridad de la 802.11, con los protocolos

de seguridad extendida (EAP).

### 3.2.2. Sistemas de Comunicación Vehicular

Los sistemas de comunicación vehicular son los sistemas empleados para la conexión entre vehículos, infraestructuras y peatones, están compuestos de básicamente dos componentes, las unidades de a bordo, OBU's (del inglés, *On Board Units*) y las unidades en vía, RSU's (del inglés, *Road Side Unit's*) (Figura 3.7), las cuales poseen como finalidad dar soporte a las comunicaciones de las aplicaciones de diversas naturalezas. La principal diferencia entre ambas unidades es el propósito por el cual han sido diseñadas. Las OBU's están destinadas a los vehículos, por lo cual pueden cambiar su posición, mientras que las RSU's se encuentran en las infraestructuras, lo que implica que son estáticas.

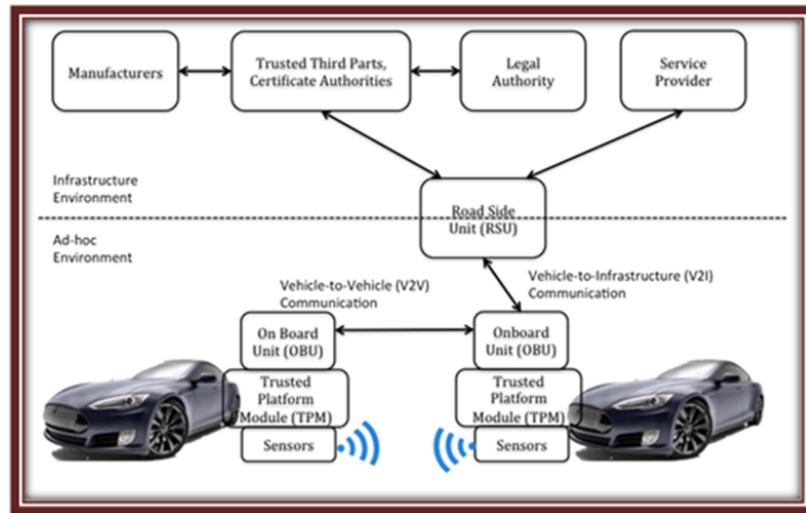


Figura 3.7: Ejemplo de la comunicación entre las OBU's y las RSU's

Como fue comentado anteriormente el objetivo de estos sistemas es comunicar los distintos componentes que conforman los ITS, es por eso que se clasifican en cinco tipos (7) (Figura

3.8):

- Vehículo con vehículo, V2V (del inglés, *Vehicle to Vehicle*): es el tipo de comunicación entre vehículos, la cual no necesita de una infraestructura fija que maneje la interacción entre los mismos, es usada por lo general en aplicaciones de seguridad, prevención de riesgos y para esparrar información. Debido a su naturaleza móvil este es un tipo de red ad-hoc vehicular, mejor conocida como VANET's.
- Vehículo con infraestructura, V2I (del inglés, *Vehicle to Infrastructure*): es el tipo de comunicación entre vehículos e infraestructura, es usada para esparrir información, así como para recolección de data.
- Vehículo con peatón, V2P (del inglés, *Vehicle to Pedestrian*): es el tipo de comunicación entre vehículos y peatones, que en este caso engloba tanto personas que se movilizan a pie, como en bicicleta. Es usada más que todo para aplicaciones de prevención de riesgo, así como para la obtención de los servicios de internet por parte de los peatones.
- Arquitectura híbrida, V2X (del inglés, *Vehicle to Everething*): es la combinación entre los escenarios planteados anteriormente, V2V, V2I, V2N y V2P. En este caso los vehículos intercambian información con las infraestructuras de forma multi salto o de un solo salto, dependiendo de las distancias.
- Vehículo con la red, V2N (del inglés, *Vehicle to Network*): es el tipo de conexión entre los automóviles y los servidores de aplicaciones, el cual tiene como principal uso dotar a los carros con los servicios de internet.

Ya repasado los tipos de comunicación vehicular ahora se procederá a hablar sobre las VANET's.

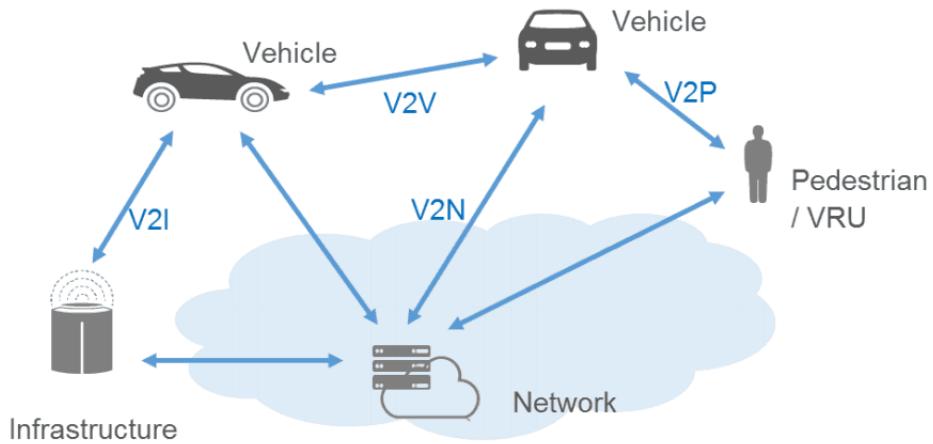


Figura 3.8: Tipos de comunicaciones vehiculares

### 3.2.2.1. Vanets

El uso de las diversas tecnologías inalámbricas enfocadas a vehículos ha sido objeto de estudio desde los años 70, teniendo como uno de los proyectos pioneros el desarrollado por el ministerio de industria y comercio internacional de Japón, MITTI (del inglés, *Ministry of International Trade and Industry*), que consistió en un sistema integral automovilístico de control de tráfico, CACS (del inglés, *Comprehensive Automonile Traffic Control System*), cuyo objetivo fue reducir la congestión vehicular y disminuir el número de accidentes de tráfico, aportando a los conductores información sobre las vías y asistencia en caso de emergencias (8).

En 1986, el proyecto PROMETHEUS (del inglés, *PROgramme for European Traffic with the Highest Efficiency and Unprecedented Safety*) conformada por 19 países de Europa, impulsó la investigación en comunicaciones móviles inalámbricas con la propuesta Prometheus SR-MRN (del inglés, *Short-Range Mobile Radio Network*), y de esta forma sentó un precedente en el desarrollo de sistemas de conducción vehicular automatizado(9).

En la década de los 90 surgieron varios proyectos como, PATH (del inglés, *California Partners for Advanced Traffic and Highways*), ASV (del inglés, *Advanced Safety Vehicle*) y PROMOTE CHAUFFEUR, que desarrollaron distintas áreas de la comunicación vehicular, tales como: estándares, arquitectura y diseño de la red, protocolos de enrutamiento, creación de aplicaciones y mejora en los aspectos de seguridad (10). Dichos progresos conllevaron que el concepto de VANET tomara relevancia en la comunidad científica, produciendo de esta forma que se realizaran cada vez más proyectos buscando la optimización de este tipo de red. En la figura 3.9 se pueden encontrar los distintos proyectos realizados desde su comienzos hasta el año 2010 (10).

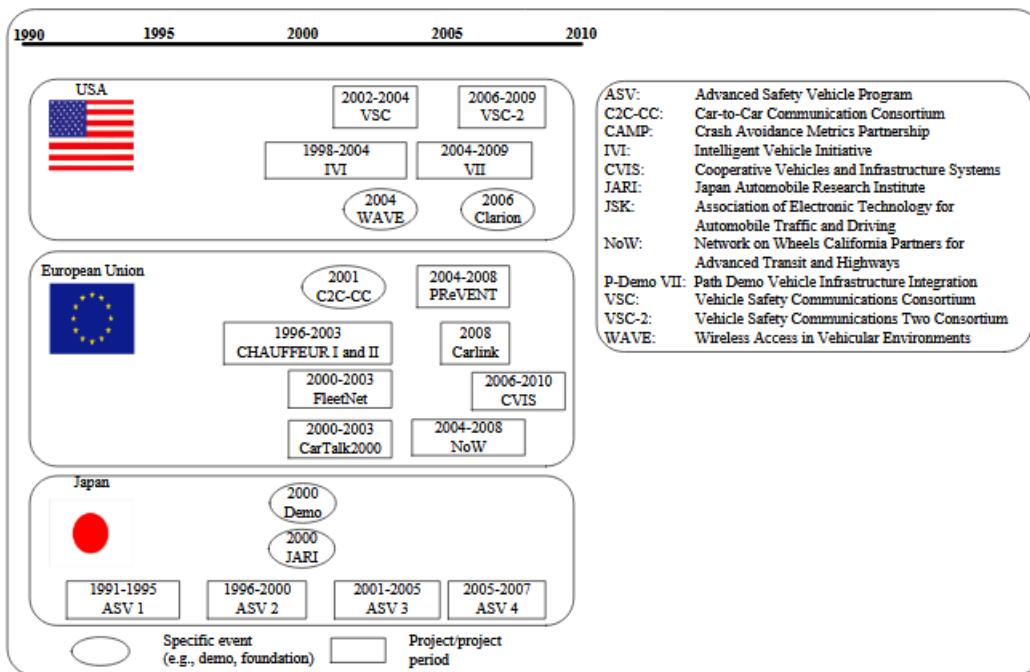


Figura 3.9: Proyectos relacionados a las VANETS a lo largo de la historia

De esta forma se puede decir que las VANET's son una derivación de las redes ad-hoc, donde cada vehículo se define como un nodo de la red capaz de intercambiar información con

otros vehículos o con puntos de acceso estacionarios ubicados en las vías. Al ser un derivado de las redes ad-hoc, las VANET's poseen las mismas características que estas, con la diferencia, que en este caso los nodos al ser vehículos varian su posición de forma más rápida, lo que produce desconexiones más frecuentes, ocasionando que el intercambio de datos se tenga que realizar de forma muy rápida, y sea propenso a sufrir interferencias de otros enlaces. Debido a estos inconvenientes este tipo de red se diseñó con la intención de que los mismos afectaran lo menos posible, así pues distintos entes realizaron sus propias especificaciones, pudiéndose reanudar tres: el ETSI, en Europa, la comisión federal de comunicaciones de Estados Unidos, FCC (del inglés, *Federal Communications Commission*) y la asociación de industrias y negocios de radio, ARIB, (del inglés, *Association of Radio Industries and Businesses*). Estas especificaciones se pueden encontrar en la tabla número ??.

| Característica          | Japón   | Europa  | USA   |
|-------------------------|---|---|---|
| Tipo de comunicación    | Half-duplex (OBU)/Full-duplex(RSU) & Half-duplex  | Half-duplex   | Half-duplex   |
| Banda y radiofrecuencia | Ubicado en la banda de 5.8 GHz, con un ancho de banda de 80 MHz & Ubicado en la banda de 5.9 GHz  | Ubicado en la banda de 5.9 GHz, con un ancho de banda de 20 MHz | Ubicado en la banda de 5.9 GHz, con un ancho de banda de 75 MHz |
| Canales                 | 30 metros   | De 15 a 20 metros   | 1000 metros   |
| Tipo de modulación      | 2-ASK, 4-PSK (ASK: modulación por desplazamiento de amplitud, del inglés Amplitude Shift Keying PSK: modulación por desplazamiento de fase, del inglés, Phase Shift Keying) | OFDM  | OFDM  |

Cuadro 3.1: Comparativa de las especificaciones de las VANET's

A razón de este trabajo las normas a considerar son las realizadas las europeas, ya que, el proyecto fue realizado en España, país que se rige bajo esta normativa. Dicho esto, se procede a describir la comunicación de corto alcance, DSRC (del inglés, *Dedicated Short Range Communication*), tecnología empleada por las VANET's para conectarse entre si.

### 3.2.2.2. DSRC

Las DSRC son comunicaciones inalámbricas en ambos sentidos, de medio a corto alcance, que permiten una transmisión de data a alta velocidad, lo cual es una cualidad muy importante a la hora enviar los mensajes de seguridad y de las aplicaciones preventivas. Debido a su estructuración, la misma está diseñada específicamente para el uso en comunicaciones V2V y V2I. En Europa este tipo DSRC están diseñadas bajo la arquitectura de acceso a comunicaciones terrestres móviles, CALM (del inglés, *Communications Acces for Land Mobiles*) (Figura 3.10), las cuales estan basadas en el modelo de capas OSI.

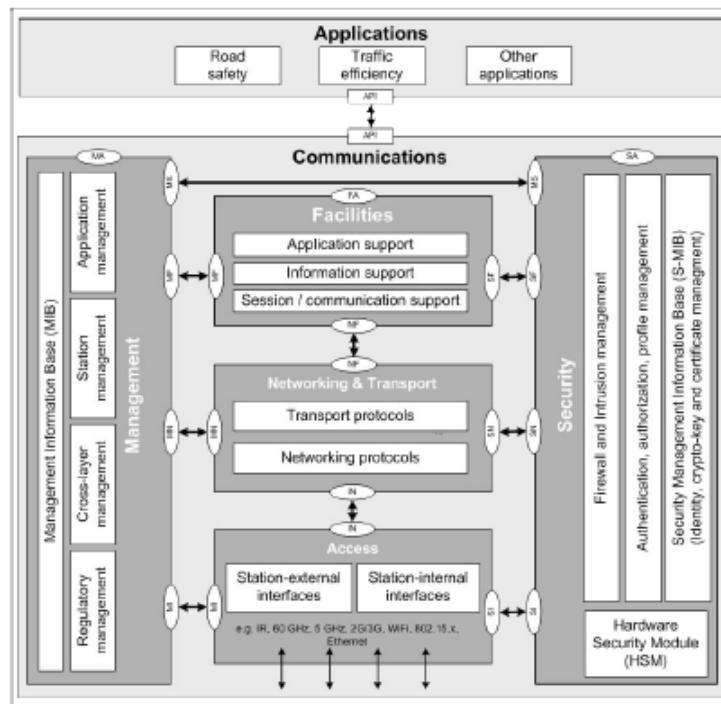


Figura 3.10: Arquitectura CALM

Esta arquitectura además de ser diseñada por el ETSI, también fue creada por varios entes europeos como lo son: la organización europea de estandarización, ESOs (del inglés, *European Standardization Organizations*) y el comité europeo de estandarización, CEN (del inglés, Eu-

ropean Committee for Standardization). Unidos, realizaron la ISO/TC204WG16, que es un conjunto de documentos donde se detallan toda la información referente a las DSRC. En la figura 3.11 se puede observar una distribución de la arquitectura CALM, un poco más detallada indicando las capas con sus respectivos contenidos y los documentos donde se hablan de las mismas.

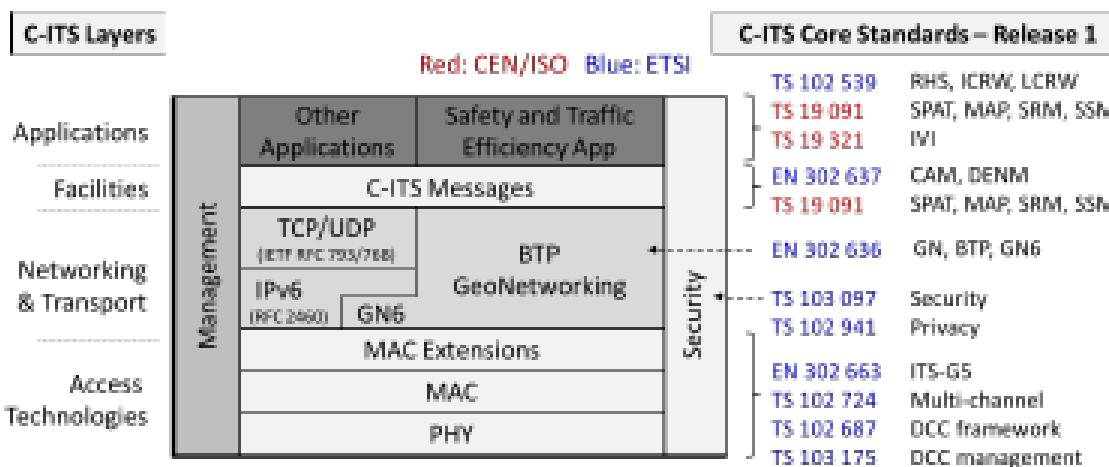


Figura 3.11: Capas de la arquitectura CALM, con los respectivos documentos donde se encuentran

Entonces, cada capa posee las siguientes especificaciones:

- Capa de acceso: está basada en el estándar IEEE 802.11p, donde se poseen tres bandas de frecuencia de 5 GHz, distribuidas como se muestra en la figura 3.12, donde los dos primeros canales se emplean para aplicaciones de seguridad, dejando los otros 5 para el resto de aplicaciones. Los canales de seguridad poseen un ancho de 20 MHz, mientras que los demás de 10 MHz. Se tienen dos niveles en esta capa, el nivel físico y de MAC, siendo los equivalentes a los niveles 1 y 2 del modelo OSI.

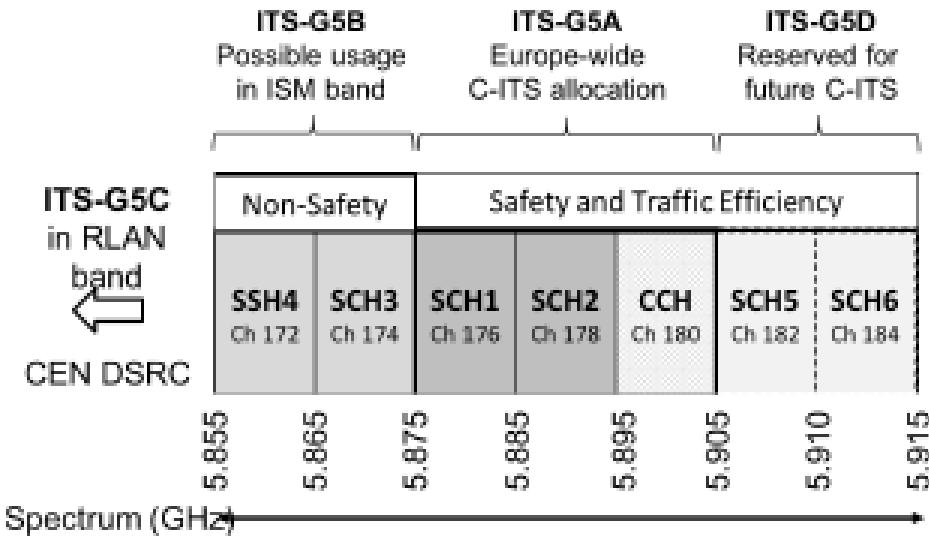


Figura 3.12: Distribución de canales en la capa de acceso

Nivel físico: en este nivel es donde se da la transmisión física, la cual emplea, al igual que el estándar IEEE 802.11a una OFDM con 52 subportadoras, de las cuales 48 son para data, las mismas poseen una separación de 30 MHz, con una duración de símbolos de 8 ms, que deja un delay de 1.6 ms para rangos de comunicaciones menores a 1 km. Los enlaces se producen obviando los procedimientos de negociación, como el escaneo del canal, la autenticación y asociación, lo que genera que se produzcan conexiones más rápidas y directas, reduciendo así, el delay por control de paquetes. Este tipo de enlace es conocido como OCB.

Nivel MAC: en este nivel se introduce el mismo esquema especificado en los estándares IEE 802.11, el CSMA/CA, optando por el servicio de calidad conocido como EDCA (del inglés, *Enhanced Distributed Channel Acces*), el cual asigna prioridades a los canales, dependiendo de ciertos parámetros y condiciones, basados en la clase del tráfico, es decir si son mensajes de rutina o de eventualidades. Además de estas características, la capa MAC también cuenta con: un "gatekeeper" y un operador multi canal, MCO (del

inglés, *Multi-Channel Operator*), donde el *gatekeeper* asegura que las capas superiores puedan transmitir los paquetes dentro de los límites establecidos por las prioridades y el MCO controla los transceptores para cambiar de canales según se necesite.

- Capa de red y transporte:es en este nivel donde se lleva a cabo el transporte de los mensajes, esta compuesta por dos protocolo de enrutamiento, *Geonetworking*, e IPv6. Esta capa corresponde a las capas 3 y 4 del modelo OSI.

*Geonetworking*: es un protocolo de enrutamiento que provee el transporte de paquetes en una red ad-hoc sin necesidad de una infraestructura que coordine las conexiones. Emplea la posición geográfica para asignar las direcciones a cada vehículo conectado a la red y de esta forma identificarlos, podiendo de así, efectuar una comunicación eficiente. Para poder realizar esta identificación se envía un paquete a cada nodo en un área determinada descrita por alguna figura geométrica. En conjunto *Geonetworking* maneja cinco formas de envío de paquetes, *geo-unicast*, *geo-broadcast*, *geo-anycast*, *single-hop broadcast* y *topologically-scoped broadcast*, siendo las últimas dos, formas sin direccionamiento geográfico. En el caso del *geo-broadcast* los paquetes son usados para la distribución de mensajes de eventos relacionados al conductor, mientras que los mensajes periódicos de estatus del vehículo son enviados empleando el *single-hop broadcast*.

En la parte superior se encuentra las BTP, las cuales permiten un transporte de paquetes similar al de UDP, entre esta capa y la de servicios, además de permitir la transmisión de paquetes de paquetes IPv6 sin modificaciones, cumpliendo con los requisitos de las conexiones vehiculares.

IPv6: es el protocolo de internet empleado para las conexiones con las estructuras de IP fija y celulares. Para poder realizar esta conexión utiliza los protocolos de UDP, TCP.

- Capa de servicios: es en esta capa donde se clasifican los mensajes recibidos y enviados. Basicamente los mensajes se pueden agrupar en dos tipos, los CAM (del inglés *Cooperative Awareness Message*) y los DENM, (del inglés, *Decentralized Environmental Notification Message*). Esta capa corresponde a las capas 5 y 6 del modelo OSI.

CAM: son mensajes periódicos que proveen la información de estatus del vehículo a los demás ITS cercanos. Su transmisión se activa cuando el conductor se encuentra en una situación segura. Este tipo de mensajes esta compuesto por una cabezera que contiene la información del tipo de mensaje y dirección del transmisor. En pro de reducir el tamaño de estos mensajes, el contenido siguiente a la cabezera varia según la frecuencia en la cual son enviados, es decir los mensajes de alta frecuencia contienen la data  dinámica como lo puede ser posición, velocidad, aceleración, etc, mientras que los de frecuencia bantienen información del rol del vehículo. El período de envío de estos mensajes depende las reglas impuestas por los productores de los módulos de comunicación, siendo el mínimo tiempo permitido 100 ms, y el máximo 1 s.

DENM: son mensajes de advertencia, que se generan cuando ocurre un evento no común, como lo puede ser un accidente de tráfico, una falla en los vehículos, etc. A diferencia de los CAM estos mensajes se transmiten en una área determinada, siendo retransmitidos a su vez para poder alcanzar la mayor cobertura posible. Los DENM están compuestos por una cabezera que contiene el tipo del evento, tiempo en que se detectó, posición etc. seguidamente del cuerpo, donde se da la completa descripción del evento. Estos mensajes son transmitidos en las frecuencias bajas, aun más bajas que la de los CAM.

- Capa de aplicaciones: Es la capa final, donde se clasifican las aplicaciones a las que estan destinados los mensajes. Básicamente la aplicaciones son cuatro: Seguridad vial, Servicios locales, servicios de internet y eficiencia del tráfico. Esta capa corresponde a

la séptima y última capa del modelo OSI.

### 3.3. Sistemas Cooperativos



En lo que respecta a hoy en día los vehículos ya están conectados con distintos dispositivos. No obstante, en el futuro cercano también podrán interactuar directamente entre ellos. Esta in-

acción es el campo de investigación de los sistemas inteligentes de transporte cooperativos, C-ITS (del inglés, *Cooperative Intelligent Transport Systems*) (Figura 3.13), los cuales se definen como aquellos

sistemas de seguridad, eficiencia y confort en el entorno vi-

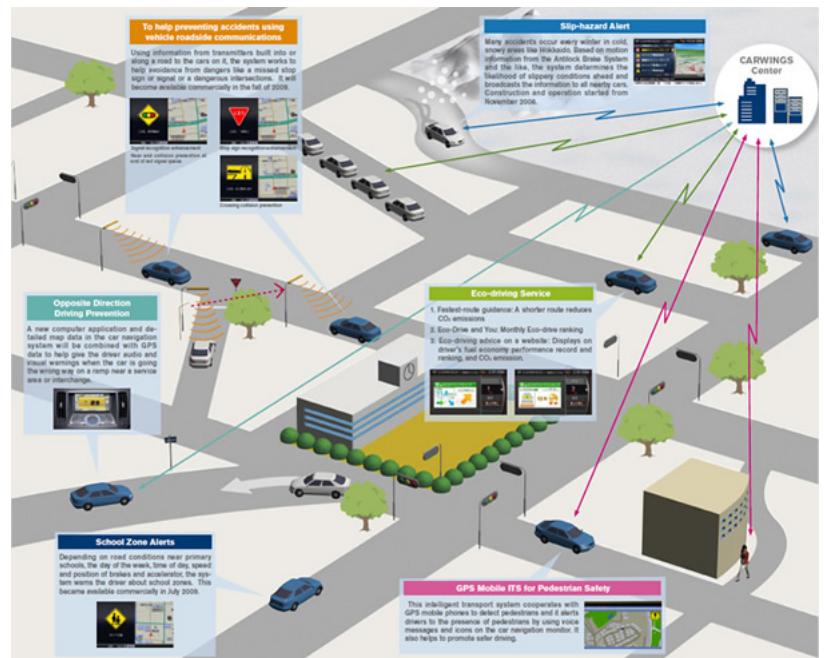


Figura 3.13: Ejemplo de algunos C-ITS

asados en el intercambio de información entre vehículos y/o infraestructura mediante comunicaciones inalámbricas. Incluso se puede extender al intercambio de información a usuarios que no están en el interior de un vehículo, es decir, el vehículo se encuentra conectado a un entorno cooperativo, lo que posibilita que además de poseer datos propios pueda obtener datos de su entorno.

En pro de los avances en este área el 30 de noviembre del 2016 la Unión Europea adoptó

la estrategia europea en C-ITS<sup>1</sup>, iniciativa que tiene como objetivo facilitar la convergencia entre las inversiones y los marcos de trabajo en toda la EU, con la finalidad de poder ver estos sistemas para el 2019. En el mismo se pretende que en el 20<sup>19</sup> se aseguren todos los aspectos legales para proporcionar certeza a los inversores públicos y privados, así como a distintos entes internacionales. Esta iniciativa consta de tres fases, siendo la primera (2014-2016), el acondicionamiento de las infraestructuras en las vías y prueba de las DSRC, la segunda (2016-2017), las primeras pruebas tangibles de estos sistemas en la sociedad y la tercera (2017-2019), la implementación definitiva de los mismos.

A través de los C-ITS se pueden realizar distintas maniobras cooperativas que pueden facilitar el trabajo en situaciones complejas, además de ayudar al conductor cuando el mismo no se encuentre en condiciones de poder manejar correctamente. Son por estas razones que a continuación se procederá a ahondar un poco más sobre este tema.

### **3.3.1. Maniobras Cooperativas**

Las investigaciones llevadas a cabo para el control de vehículos autónomos en maniobras cooperativas están en la vanguardia de los ITS. Ejemplos de esta cooperación se plasman en intersecciones, ACC, adelantamientos, platooning, entre otras. Es por esto que procede a describir algunas maniobras, y como las mismas pueden ayudar a mejorar la conducción en distintos casos.

---

<sup>1</sup><https://ec.europa.eu/transport/themes/its/>

### 3.3.1.1. ACC

Permite fijar una velocidad de conducción y mantenerla de forma automática sin necesidad de pisar ni el acelerador ni el freno, manteniendo una distancia de seguridad con el carro delante. Para poder calcular esta distancia se pueden emplear distintos dispositivos, como lo pueden ser radares, telémetros láser, o comunicaciones V2V, donde los vehículos transmiten su velocidad y posición a la que circulan al resto de los vehículos. Cuando se emplean las comunicaciones V2V el ACC pasa a ser llamado control de crucero adaptativo cooperativo, CACC (del inglés, *Cooperative Adaptive Cruise Control*) (Figura 3.14) .

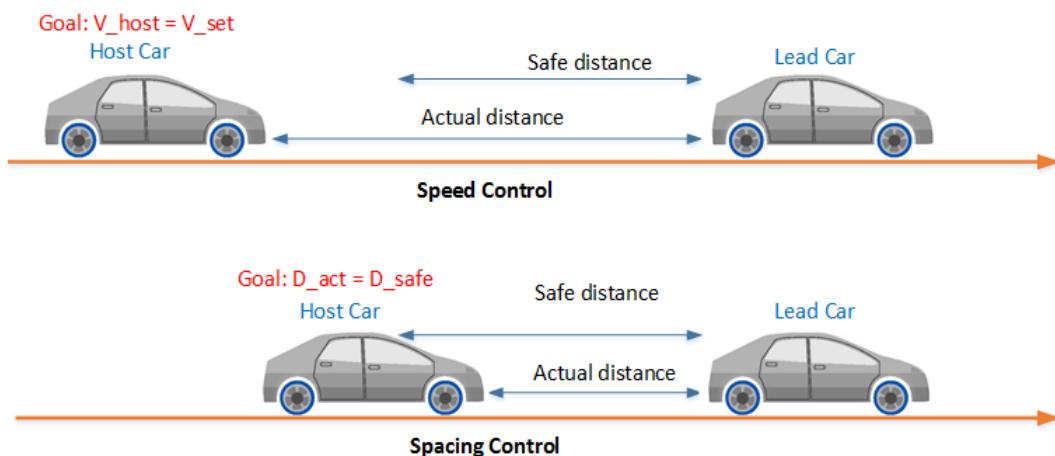


Figura 3.14: Ejemplo de un CACC

### 3.3.1.2. Stop And Go

Permite acelerar y desacelerar los vehículos, cuando sea necesario aumentando así el confort al manejar, seguridad del conductor y reducir los riesgos de colisiones. Para cumplir estos objetivos el vehículo toma acción sobre el acelerador y freno, por lo general en situaciones en el que el carro que está al frente realiza un frenado de emergencia en momentos que se presente tráfico en la vía. Existen distintos métodos de predicción para saber cuando se

 debe de frenar y cuando se debe de acelerar, siendo las comunicaciones V2V  método más efectivo, donde a través de la velocidad y posición del vehículo delantero se puede establecer un criterio de cuando frenar y  cuando acelerar. En la figura 3.15 se pueden apreciar los dos casos, cuando se frena (a) y cuando acelera (b).

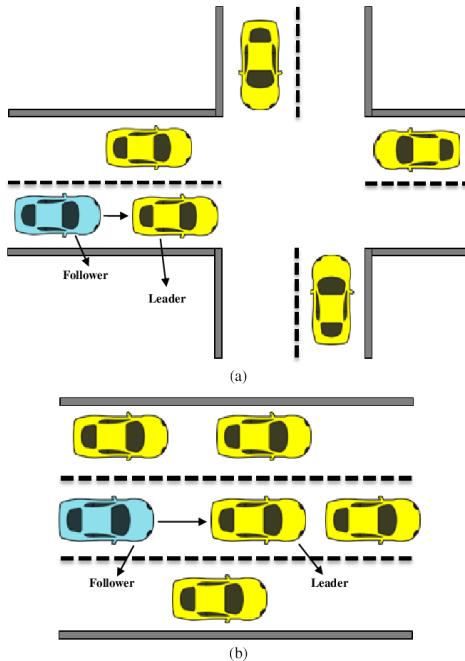


Figura 3.15: Ejemplo de un Stop and Go

### 3.3.1.3. Control Lateral

Permite controlar el volante dependiendo de la posición del vehículo delantero, es decir controla el movimiento lateral, tomando en cuenta las acciones del carro que tenga adelante, y de esta forma realizar la conducción del vehículo que permita al conductor descansar en momentos de mucho cansancio. Para lograr esta forma de conducción se emplean las comunicaciones V2V, en donde el vehículo delantero transmite su posición y dirección, para que el carro seguidor ajuste su posición con respecto a esta. En la figura 3.16 se puede ver un

ejemplo del control lateral en un cambio de canal.

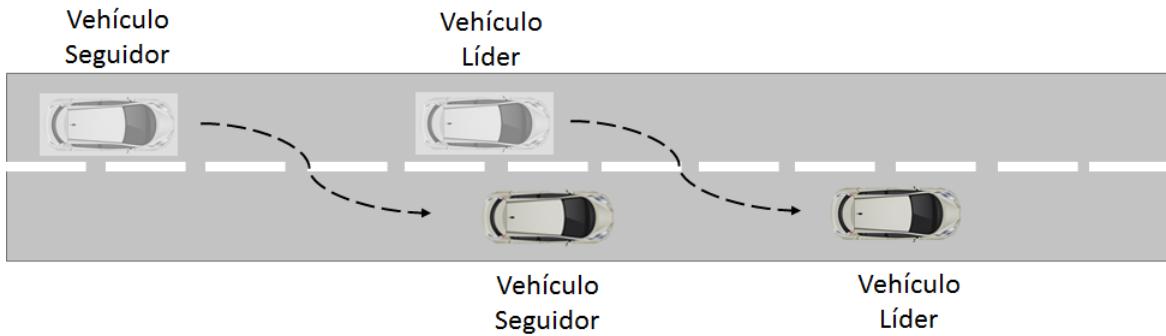


Figura 3.16: Ejemplo de un Contol Lateral

### 3.3.1.4. Platooning

Permite que un grupo de vehículos pueda viajar a una distancia segura, teniendo velocidades altas. En esta maniobra el carro líder dicta la velocidad y dirección del grupo, envián mediante comunicación V2V, su velocidad, posición y dirección a los demás integrantes del grupo, para que los mismos se ajusten tomando como referencia estos datos. Con esta forma de conducción se reducen los riesgos de colisiones, así como una maximización de la cantidad de vehículos en las autopistas. En la figura 3.17 se puede apreciar un ejemplo de Platooning, donde el vehículo líder es un camión que guía a los demás carros.

## 3.4. Lógica Borrosa

La lógica borrosa se puede definir como una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento. Básicamente, cualquier problema del mundo se puede resolver a través

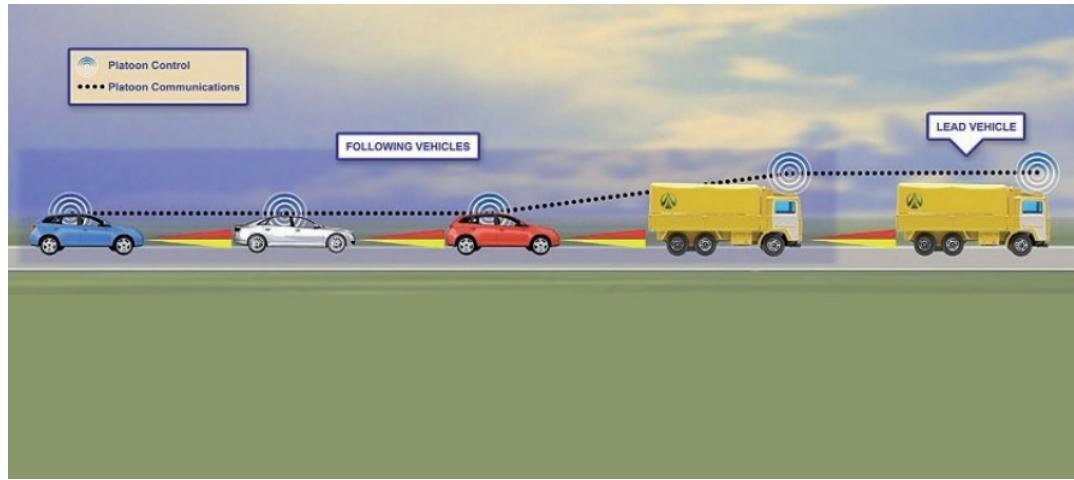


Figura 3.17: Ejemplo de un Platooning

de un conjunto de variables de entradas, las cuales proporcionan un valor adecuado de variables de salidas. El término fue acuñado por primera vez en 1974 por Lofti A. Zadeh, donde la presentó como una forma de procesamiento de información en la que los datos podrían tener asociados un grado de pertenencia parcial a conjuntos. Además describió el concepto de conjunto difuso y su función de pertenencia asociada, la cual toma valores en el intervalo unitario, y siendo en la década de los 90 que se introdujeron los conceptos restantes, variable lingüistica y de reglas if-then.

Entonces para que la lógica borrosa pueda lograr su objetivo, se establecen conjuntos difusos que proporcionan la imprecisión de forma cuantitativa al cual será sometido el valor. Dichos conjuntos se manifiestan a través de funciones de membresía o pertenencia las cuales entregan el grado de pertenencia de un valor hacia un tributo establecido.

Para ejemplificar mejor estos conceptos, se procederá a describir el caso de la altura en los hombres. Según la lógica clásica se definen dos conjuntos, hombres altos y hombres bajos, quienes se constituyen de hombres mayor a 1.8 m y menor a dicho valor, es decir cualquier

hombre cuya estatura sea 1.79 m será considerado como bajo, y uno de 1.81 m, como alto. En la lógica difusa no solo se tienen dos conjuntos estrictamente definidos, si no que se tienen conjuntos intermedios, los cuales permiten una transición entre un caso y el otro, es decir un hombre puede tener una estatura de 1.78 m con un grado de certeza de 0.8 y bajo con un grado de certeza de 0.2, mientras que en el caso de un hombre de 1.60 m de estatura, este puede pertenecer al conjunto de hombres bajos con 0.9 grados y al de hombres altos con 0.1 grados. Dicha comparación puede ser mejor apreciada en la figura 3.18.



Figura 3.18: Lógica clásica vs Lógica difusa

### 3.4.1. Control Borroso

Los controladores borrosos surgen en los años 60, como una herramienta empleada en el control de procesos complejos de cualquier tipo, permitiendo dar valores intermedios entre dos extremos a una variables que se desea manipular, y con esto hacer posible que la lógica humana sea empleada más directamente.

Estos controladores reciben entradas analógicas debido a su rango no discreto y se clasifican por el grado de membresía de sus conjuntos, los cuales corresponden a reglas implemen-

tadas que aplican la lógica humana para determinar de que forma los conjuntos difusos o sus combinaciones, definen la(s) salida(s) del controlador. En la figura 3.19 se puede encontrar un esquema de la representación de estos controladores.

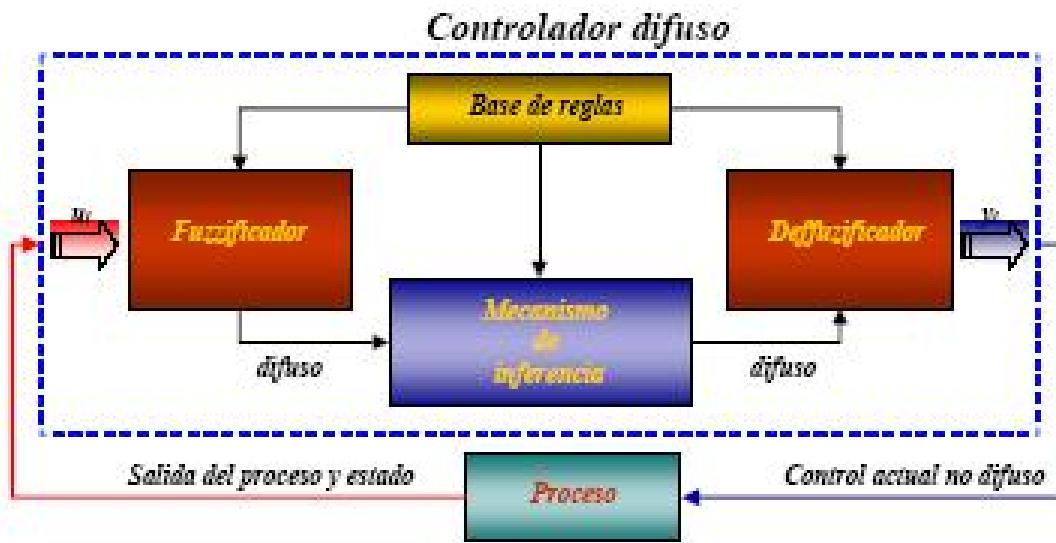


Figura 3.19: Esquema de un controlador borroso

Como se puede apreciar los controladores borrosos están compuestos por varias etapas, las cuales consisten en:

- Fuzzyficación: Esta etapa consiste en transformar la(s) variable(s) de entrada en un grado de pertenencia que cuantifica el grado de membresía de los determinados conjuntos difusos. Es en este proceso donde las funciones de membresía son aplicadas, más comúnmente tienen forma de trapezoides, triángulos, gaussianas, etc. Definiendo de esta forma el grado de transición de pertenencia entre un conjunto y otro, permitiendo así, que la etapa de inferencia pueda interpretar la entrada de forma correcta
- Inferencia: Es en esta etapa que se representa verdaderamente la lógica del controlador,



es donde se evalúan las entradas "fuzzyficadas" de la etapa anterior, a través de condiciones definidas, las cuales permiten calcular la salida del mismo. La base de reglas está constituida por una serie de condiciones que consideran la(s) entrada(s) y establecen cuantitativamente salidas difusas que posteriormente serán interpretadas por la etapa final. Dentro de esta fase se pueden encontrar dos métodos importantes, Mamdani y Takagi-Sugeno, que consisten en:

Mamdani: es posiblemente el método más empleado, propuesto por Ebrahim Mamdani en 1975, este método busca obtener un único número que represente el resultado, a través de la evaluación de los grados de pertenencia en las reglas propuestas. En el caso de que una regla tenga múltiples antecedentes se utilizan los operadores AND u OR, dependiendo de lo que se busque, en el caso del operador AND se suele usar la T-Norma estándar del mínimo y para el OR la T-Conorma estándar del máximo. Finalmente con el resultado de esta evaluación se aplica un recorte o escalado a las funciones de salida para unificarlas, y así obtener el valor.

Takagi-Sugeno: este método emplea los mismos principios que Mamdani, con la única diferencia que, para obtener el valor de salida no se emplean funciones de pertenencia, sino que se asignan valores numéricos a las reglas, reduciendo el coste computacional con respecto a Mamdani, pero perdiendo la representación del conocimiento humano.

- Desfuzzificación: Es la última etapa que realiza el controlador, es donde se establece(n) la(s) salida(s) del mismo, a partir de las reglas evaluadas en la etapa precedente. Dependiendo del método de inferencia empleado se pueden utilizar técnicas como el centro de gravedad o centro promediados para el caso de Mamdani, o funciones ponderadas para el caso de Takagi-Sugeno.

### 3.5. Resumen



En el presente capítulo se presentó el estado del arte relacionado al tema del trabajo, donde primero se resumieron algunos puntos de importancia para poder entender, el cómo están estructurados los sistemas de comunicación actualmente, como lo son el modelo de capas OSI y las redes ad-hoc, así como también los protocolos de transporte que se emplean hoy en día.

De igual forma se presentó una descripción extensa de los protocolos de comunicación, tanto vehiculares, como comerciales. Donde también se tocó el cómo surgió cada uno, sus componentes y sus usos. Temas de gran utilidad para la comprensión del trabajo y de las consideraciones contempladas.



Ya conociendo todo lo necesario de los sistemas de comunicación se procedió a hablar sobre los C-ITS y de como estos pueden ayudar con distintos problemas que se presentan a la hora de conducir. Para luego dar a conocer algunas maniobras que se pueden realizar con estos sistemas, más específicamente las que se realizaron en este trabajo, y para cerrar se describieron los fundamentos sobre los cuales estan basados los controladores borrosos, controladores empleados para el desarrollo de las maniobras cooperativas presentadas.

# Capítulo 4

## Plataformas Experimentales

En este capítulo se explican las plataformas experimentales utilizadas para el desarrollo y validación de los algoritmos propuestos en el presente trabajo, las cuales fueron: Matlab y Dynacar. Donde la herramienta de Matlab fue empleada para la realización de los códigos, y conjunto a su entorno de simulación, Simulink se implementaron los bloques que conforman la arquitectura de control de los vehículos, más específicamente los relacionados a las comunicaciones V2V y maniobras cooperativas, para luego ser utilizados y validados en el simulador Dynacar. Es por esto que a continuación se detallará de mejor forma cada una de estas plataformas.

### 4.1. Software Matlab

MATLAB<sup>1</sup> es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado, IDE (del inglés, Integrated Development Environment), que cuenta con diversas prestaciones como la manipulación de matrices, implementación de algoritmos, creación de

---

<sup>1</sup><https://la.mathworks.com/products/matlab.html/>

interfaces gráficas de usuario, GUI (del inglés, Graphical User Interface) y la comunicación con programas en otros lenguajes y otros dispositivos de hardware. Debido a su capacidad de desempeño asíncrono permite manejar fuentes heterogéneas de datos, como sensores, sistemas de comunicación, etc, sin ninguna restricción. Teniendo en cuenta estas cualidades, el MATLAB permite a ingenieros e investigadores utilizar las ventajas de un software eficiente y fácil de usar en aplicaciones que necesitan desarrollos robustos y de procesamiento rápido.

En este trabajo se empleó la versión 2016a<sup>2</sup> de MATLAB, disponible desde el 21 de marzo de 2016, la cual cuenta con numerosas mejoras con respecto a sus antecesoras, como por ejemplo: la inclusión y corrección de distintos toolbox relacionados al área de control, así como también el perfeccionamiento en las técnicas de depuración de código. Este IDE posee cuatro ventanas, como se muestra en la figura 4.1.

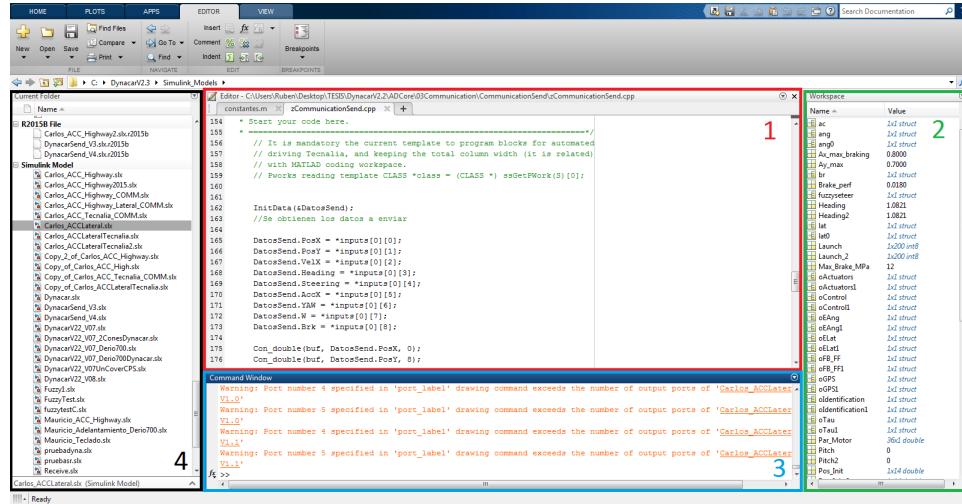


Figura 4.1: IDE de MATLAB

Donde:

<sup>2</sup><https://la.mathworks.com/company/newsroom/mathworks-announces-release-2016a-of-the-matlab-and-simulink-product-families.html/>

1. Editor de texto: es donde se crean programas y funciones, para luego ser compiladas y ejecutadas.
2. Espacio de trabajo: es donde se muestran todas las variables y estructuras creadas, las cuales pueden ser manipuladas tanto con la ventana de comandos como con el editor de texto.
3. Ventana de comandos: es donde se pueden escribir y ejecutar líneas de código directamente.
4. Carpeta actual: es donde se muestra la carpeta actual, con sus respectivos archivos.

Este software emplea su propio lenguaje de programación, el lenguaje M, pero a través de compiladores como Mingw32, se pueden utilizar otros lenguajes como C o C++. Lo que da paso a la utilización de otras características como lo son el uso de las S-Function, funciones de suma importancia en el esquema de Dynacar, ya que permiten crear bloques de simulink, empleando algoritmos realizados en lenguajes como C, C++ y Fortran.

Para la realización de los bloques del sistema de comunicación se emplearon las S-Function, conjunto a la librería de Sockets para Windows de lenguaje C. Librería que permite el uso de los sockets, que son enlaces punto a punto, que permiten comunicar una computadora con otra. Dichos enlaces pueden ser de dos tipos: Stream Sockets y Datagram Sockets, siendo basados cada uno en los protocolos de transporte TCP y UDP respectivamente. Ya habiendo explicado el software MALTAB, ahora se procederá a describir la herramienta, Simulink

#### 4.1.1. Simulink

Simulink es una herramienta de matlab hecha para modelar, simular y analizar sistemas dinámicos. Soporta tanto sistemas lineales como no lineales, modelando tiempo continuo, tiempo discreto o en forma mixta. Estas características resultan favorables para la implementación de la arquitectura de control por medio de bloques. En la figura 4.2 se puede ver la interfaz gráfica de Simulink, interfaz que se basa en una amplia biblioteca de componentes con entradas y salidas que se pueden interconectar entre sí. Este editor gráfico permite crear y gestionar bloques jerárquicos, es decir se puede tener diagrama principal y dentro del mismo tener diagramas secundarios, cualidad de gran utilidad para la independización de los módulos de comunicación.

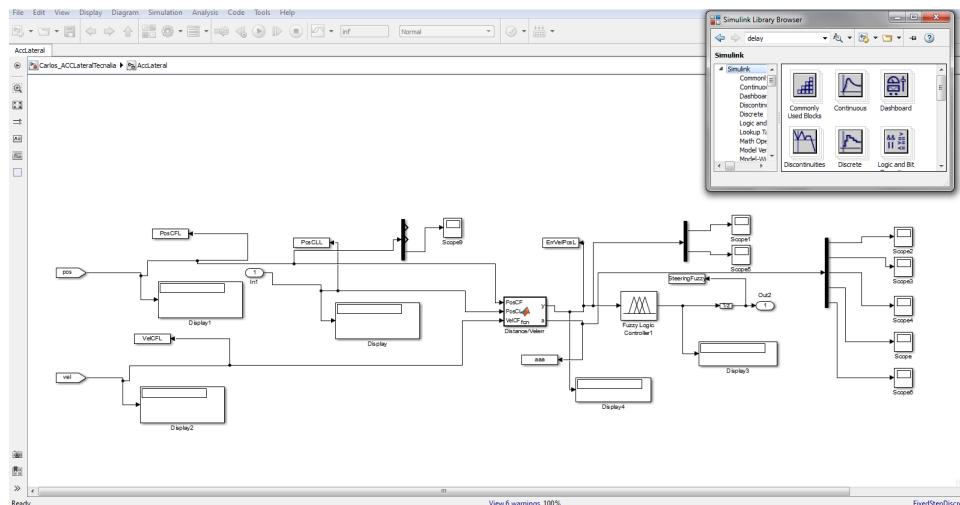


Figura 4.2: IDE de Simulink

En conjunto con MATLAB, Simulink se emplearon para validar el modelo del la arquitectura de control del Twizy en el simulador Dynacar, es por eso que a continuación se procederá a hablar sobre el simulador, así como también de la arquitectura de control utilizada.

## 4.2. Simulador Dynacar

Dynacar<sup>3</sup>, desarrollado por Tecnalia en la pataforma de LabVIEW, es un software que permite a los ingenieros  diseñar y probar modelos completos de vehículos en un ambiente completo y personalizable. Así pues, Dynacar está compuesto de tres módulos:

- Código de la dinámica de vehículos en LabVIEW: son los agoritmos necesarios para el software de prueba, los mismos son ejecutables en tiempo real, y poseen ya, una biblioteca de carros y escenarios de prueba básicos.
- Interfaz gráfica de usuario: es la interfaz que permite realizar la parametrización de los vehículos y escenarios (Figura 4.3).
- Entorno visual 3D: es el módulo que permite la visualización de las pruebas y del simulador de manejo real del vehículo en el entorno virtual.

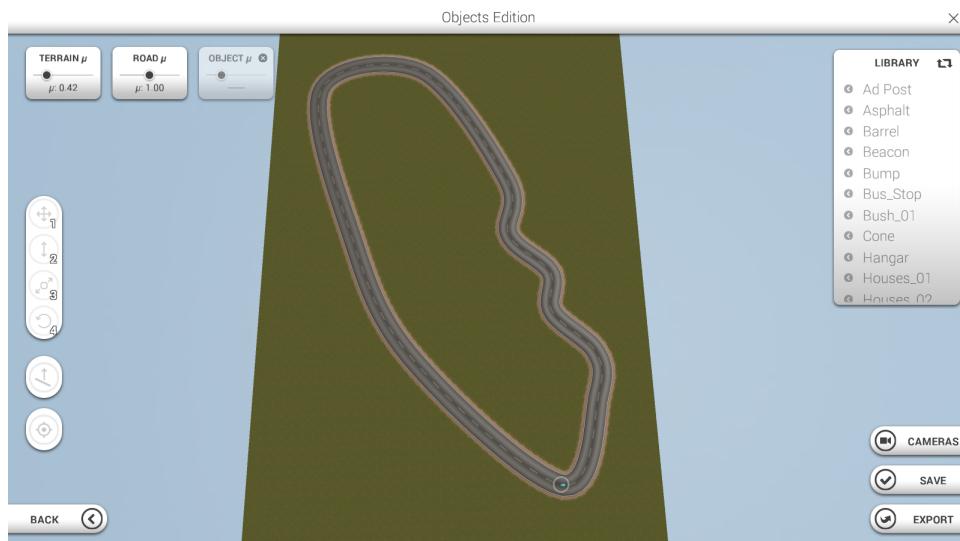


Figura 4.3: Interfaz gráfica de usuario para la creación de escenarios

<sup>3</sup><http://www.dynacar.es/en/home.php> es software

Para poder modelar los vehículos en este simulador, solo basta con aportar los siguientes datos:

- Masa del vehículo y sus propiedades de inercia.
- Propiedades de la suspensión del vehículo.
- Propiedades de la dirección del vehículo.
- Propiedades aerodinámicas del vehículo.
- Propiedades de los neumáticos del vehículo.
- Motor, caja de cambios y propiedades de la transmisión del vehículo.
- Propiedades de los actuadores del vehículo.

Este simulador se hizo con el objetivo de poder detectar fallos en la ejecución de las maniobras de forma visualmente sencilla, y de esta forma poder conocer cual o cuales aspectos son los que se necesitan revisar. Para conseguir este objetivo la plataforma ofrece el entorno visual, el cual se comunica mediante socket de UDP con otras aplicaciones, las cuales mandan una trama de datos, con las características del vehículo. En dicho entorno se pueden observar en tiempo real la velocidad lineal en Km/h y la velocidad angular en RPM las ruedas. Además de estos datos también muestra las acciones sobre los actuadores medidos en porcentajes, y los ángulos que poseen los vehículos, como se puede apreciar en la figura 4.4.



Figura 4.4: Simulador Dynacar

Ya habiendo descrito tanto Dynacar como Simulink, ahora se procederá a repasar brevemente la arquitectura de control empleada para el Twizy, realizada en Simulink y probada en Dynacar.

#### 4.2.1. Arquitectura de control

La arquitectura propuesta es ilustrada en la figura 4.5, la cual incluye un modelo altamente representativo de la dinámica del vehículo para probar capacidades autónomas, como lo son: generación de la ruta a tiempo real, control, comunicación y otros algoritmos que puedan ser incluidos en la unidad de control del motor, ECU (del inglés, *Engine Control Unit*).

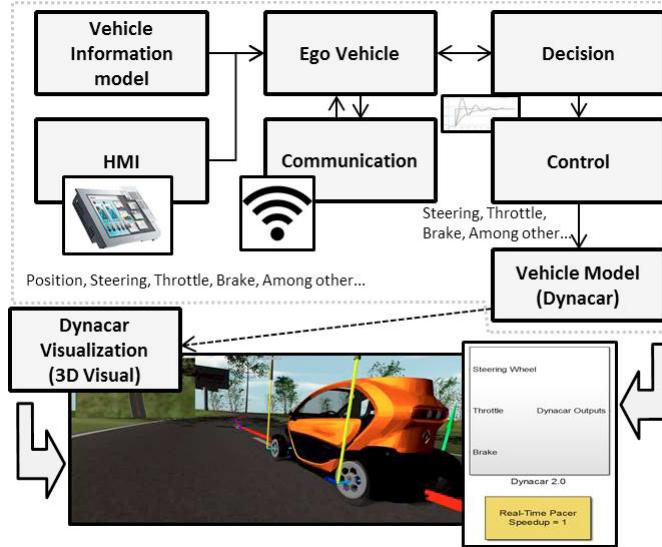


Figura 4.5: Arquitectura de control

Donde cada bloque representa:

- Información del modelo de vehículo, en inglés, *Vehicle information model*: es el bloque responsable de adaptar las señales de posición, velocidad, etc del simulador. El mismo entrega los valores de los distintos sensores (GPS, Láser, etc) como si hubiesen sido obtenidos de la plataforma real. Una de las características más relevantes de este módulo es la escalabilidad de la data del simulador a la realidad, donde este genera los valores de las coordenadas X-Y, el ángulo de las ruedas, dirección y velocidad escalados directamente para usarlos. Lo que se genera del bloque alimenta al módulo de percepción (*Ego Vehicle*).
- Interfaz humano-máquina, HMI (del inglés, *Human Machine Interface*): es el bloque responsable de comunicar la información y configuraciones en tiempo real a los demás módulos, simulando un vehículo real. Presenta el puente entre la interacción del usuario con el vehículo autónomo.
- Comunicación, en inglés *Communication*: es el módulo encargado de simular las comu-

nificaciones V2X, característica importante para la prueba de maniobras más complejas. Esta plataforma es de gran utilidad para simular las interacciones de los vehículos con las infraestructuras. En este bloque es donde se enfocó el presente trabajo, incorporando a la arquitectura un bloque para enviar la trama de datos, la cual consta de la posición, velocidad, ángulo de dirección, tiempo y el valor de los actuadores, así como un bloque de recepción de datos. Además de los ya mencionados se agregó un bloque con el cual se puede observar en el visor 3D, el vehículo con el cual se está realizando la comunicación.

- Ego-vehicle: es el módulo responsable de recolectar la data de los módulos: información del modelo del vehículo, HMI y comunicaciones, armando así un paquete con la información y los parámetros de configuración del vehículo, el cual es trasladado a los bloques de decisión y control .
- Decisión, del inglés *Decision*: es el bloque encargado de generar la ruta por donde se va a transitar, para lo cual el módulo se divide en dos sub módulos, el planificador global y el planificador local.
  - Planificador global: es el encargado de generar la ruta que va a seguir el vehículo. Para crear la ruta el bloque considera la información tanto del punto de partida como del punto de llegada, así como también la información proveniente del bloque de HMI, que puede cambiar el camino de forma dinámica. Esta ruta tiene que ser lo suficientemente precisa para que el planificador local pueda generar trayectoria suave, que, además tome en cuenta escenarios urbanos, como intersecciones, rotondas, etc.
  - Planificador local: basado en la información proveniente del planificador global, este bloque genera una trayectoria suave empleando curvas paramétricas, como

es demostrado en [numero]. El objetivo es suavizar el cambio de la curvatura entre segmentos rectos y curvas. Este bloque considera la posibilidad de cambiar la trayectoria en caso de que ocurra un escenario inesperado, como, evasión de objetos, incorporación, entre otros. Para generar este suavizado se emplean por ejemplo las curvas de bezier, como es demostrado en [3], las cuales son de fácil implementación y de bajo coste computacional.

- *Buffer* de planificación: es el arreglo empleado para comunicar el bloque de desición con el de control. El mismo pretende optimizar e incrementar el tiempo de respuesta del cálculo de las leyes de control, en caso de detectarse una trayectoria irreal, como un generada con un objeto en frente del vehículo, la misma es removida antes de enviarse al módulo de control. El *Buffer* está compuesto por: el valor de identificación del punto, tipo de punto, coordinadas X-Y, máxima velocidad del segmento, curvatura y la orientación del segmento.
- Control, en inglés *Control*: es el bloque encargado de realizar el control longitudinal (aceleración y freno) y el control lateral (Volante). Para cumplir este objetivo el módulo recive el *buffer* de planificación del bloque de desición, con el cual se puede emplear un controlador PID para el control longitudinal, y un controlador basado en la lógica difusa como el mostrado en [5], para el control lateral, basado en la utilización del error lateral, error angular y error en la curvatura. Las señales resultantes de este módulo son normalizadas de 0 a 1 para el caso del acelerador y freno, y de -1 a 1 para el volante.
- Modelo del vehículo y visualización, en inglés *Vehicle Model and Visualization*: es el bloque de Dyanacar encargado de modelar el vehículo. Adicionalmente la herramienta visual que provee un monitoreo en tiempo real de los algoritmos implementados.

En la figura 4.6 se puede apreciar la implementación de esta arquitectura en la herramienta

ta Simulink, donde se observan los bloques bien divididos, con sus respectivas conexiones. De este diagrama se resalta el bloque de DynacarJam, el cual es el puente entre el diagrama y el visor 3D, ducho bloque recive el valor de los actuadores y del volante, entregando un vector con todos los valores necesarios para el movimiento del vehículo en el simulador, siendo el equivalente, el bloque de Twizy V1.0, el cual cumple la función de puente entre Simulink y el vehículo.

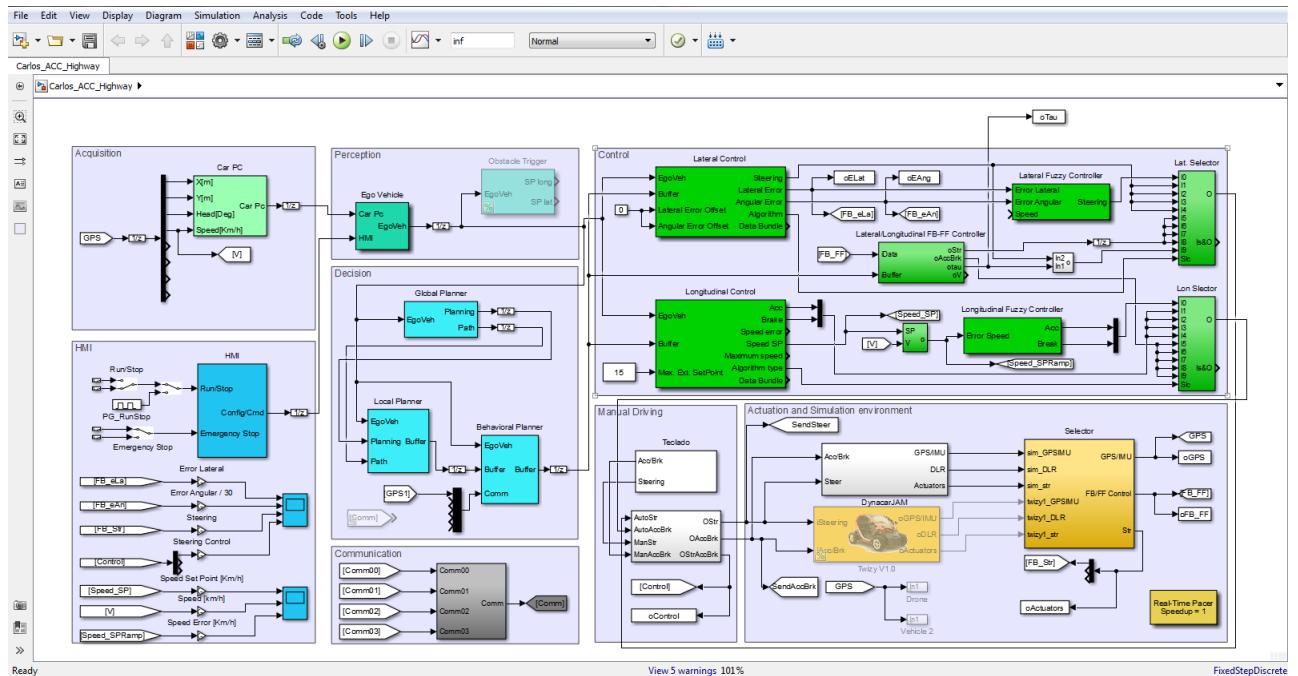


Figura 4.6: Arquitectura de control implementada en Simulink

### 4.3. Resumen

En el capítulo 4 se presentaron las plataformas experimentales empleadas en el transcurso del trabajo. Dentro de estas plataformas se encuentra MATLAB, del cual se resaltaron sus características más importantes, así como los beneficios de poder programar en otros

lenguajes. Posteriormente se habló sobre la herramienta Simulink, que debido a su cualidad asíncrona se adapta perfectamente para implementar la arquitectura de control, tanto para el simulador Dynacar, como para los vehículos Twizy

Además, se presentó el simulador Dyancar como una forma de validar los algoritmos propuestos y los sistemas diseñados para vehículos autónomos. Cabe destacar que el mismo provee un entorno 3D, de gran utilidad para monitorear en tiempo real la respuesta de los vehículos en distintas situaciones, así como sus características.

Finalmente se presentó de forma muy breve la arquitectura control establecida para la validación de los modelos, en el simulador Dynacar, describiendo cada bloque, así como las conexiones entre cada uno. Además se mostró la implementación de esta arquitectura en Simulink, resaltando la diferencia entre el diagrama empleado en Dynacar y el utilizado en los Twizy.



# Capítulo 5

## Sistema de Comunicación

### 5.1. Análisis del Sistema de Comunicación

#### 5.1.1. Sistema de Comunicación Comercial Vs Sistema de Comunicación Vehicular

#### 5.1.2. UDP Vs TCP

#### 5.1.3. Descripción del Mensaje a Enviar

### 5.2. Implementación en Dynacar

#### 5.2.1. Módulo de Envío

#### 5.2.2. Módulo de Recepción

#### 5.2.3. Módulo de Envío al Visor

#### 5.2.4. Prueba del Sistema de Comunicación a Distintas Tasas de Envío

### 5.3. Resumen