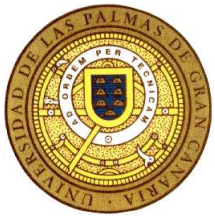


UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA.
Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles.

Proyecto Final de Carrera

DISEÑO DE PLATAFORMA DE BAJO COSTE PARA LA SIMULACIÓN A ESCALA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS INTELIGENTES

Titulaciones: Ingeniería Industrial
Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial

Moisés Díaz Cabrera

Tutores: Dr. D. Javier J. Sánchez Medina
Dr. D. Enrique Rubio Royo

Noviembre 2010.

A mi madre

Agradecimientos

Escucha el consejo y acepta la corrección,
y al fin llegarás a ser sabio.
Pr. 19, 20

Cuando se decide comenzar a realizar un trabajo de esta envergadura, es posible que el camino se haga cuesta arriba. Sin embargo, cuando encuentras una guía del tipo *"How to do it"*, o *"Author instructions"*, o incluso *"A Guide to ASEIMOV"*, el camino se allana y es más apetecible andarlo. Y ahí es donde sinceramente debo agradecer a Javier J. Sánchez Medina, tutor del proyecto, su ayuda, tanto académica como afectiva.

También deseo dar las gracias a José Miguel Rodríguez por las horas invertidas en el inicio del modelado en 3D del prototipo.

Por el gusto que da el resolver "ya" un problema, agradezco la importante ayuda que me ofrecieron los técnicos de laboratorio de la ULPGC.

Agradezco a todos aquellos profesores, expertos en la materia, que dedicaron su tiempo en darme alguna orientación en temas concretos y en responder mis numerosas dudas.

Finalmente, mi agradecimiento a los amigos, compañeros y aquellas personas que revisaron partes de este trabajo, que me aconsejaron o me dijeron que estaba bien.

Resumen

Los vehículos robóticos inteligentes conforman un área de investigación que está al alcance de grandes grupos de investigación, principalmente debido a sus altos costos. En el presente proyecto se ha desarrollado un vehículo eléctrico robótico inteligente a escala con presupuestos modestos.

Se ha diseñado y construido una plataforma de experimentación, que consiste en un vehículo eléctrico a escala 1:10, lo más fiel posible a un vehículo eléctrico de calle. El prototipo diseñado es un instrumento de experimentación útil para ensayar soluciones de sistemas de transporte inteligente (ITS), extrapolables a vehículos eléctricos de calle. Este vehículo se ha bautizado como ASEIMOV: *Autonomous Scaled Electric Intelligent MOnitorized Vehicle.*

Para este proyecto, el cual responde al área 1203 de la Unesco, se ha tomado como base un vehículo de radio control de modelismo, escala 1:10, al cual se le han incorporado un ordenador PC y elementos de robótica como sensores y servomotores. El proyecto se separa en las siguientes partes:

1. Sobre un chasis de un vehículo de radio control, se ha montado una placa base con todos sus elementos, respetando el espacio limitado del coche (escala 1:10). De hecho, todo lo que hemos querido equipar dentro ha estado fuertemente condicionado por su tamaño físico.

2. Se han colocado sensores infrarrojos y ultrasónicos, acelerómetro de tres ejes y cámaras web, más las tarjetas controladoras necesarias. Con todo, se ha introducido el concepto de burbuja de seguridad, debido a ello nuestro vehículo es capaz de percibir su entorno.

3. Para alimentar tanto el PC como los componentes de robótica, se ha instalado una batería de polímero de litio. La batería alimenta al ordenador y al controlador del motor, los cuales son protegidos. En consecuencias, se han desarrollado dos circuitos electrónicos de protección.

4. Se muestra dentro del proyecto algunos test iniciales realizados con el prototipo, los cuales nos dan una estimación de su potencialidad y alcance.

5. Se han colocado lastres realizando una distribución de masas con respecto a un vehículo eléctrico de calle. Ello se basa en la hipótesis de que una plataforma escalada con precisión, tendrá un comportamiento semejante a una plataforma real, y en consecuencias, su control adaptativo será más suave.

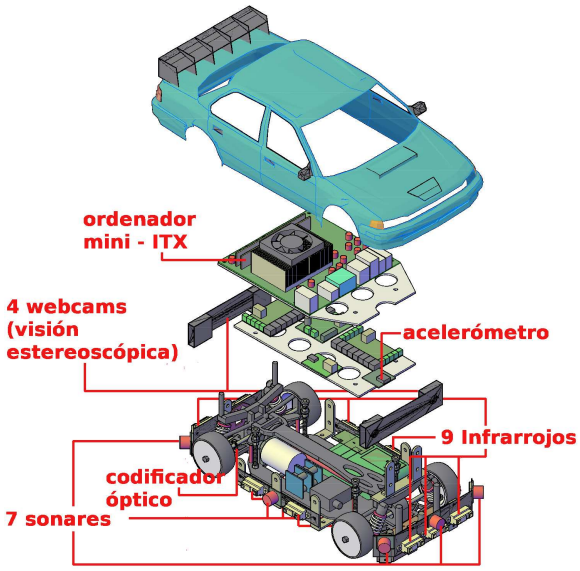


Figura 0.1: ASEIMOV

Por último, el modelo ASEIMOV reúne algunos paradigmas interesantes:

- El bajo costo (pero no baja calidad): Debido a la importancia de las tecnologías económicas, se ha pretendido estar al alcance de un mayor número de investigadores y grupos de todo el mundo.
- Componentes "off-the-shelf" (elementos estándar del mercado): Este tipo de componentes pueden llegar a ser más baratos y fáciles de obtener. Por ello se ha evitado emplear componentes a medida que resuelven este problema.
- Software Libre: A partir de la idea de que la investigación académica debe usar software libre, se ha instalado el sistema operativo Linux en el ordenador de abordo.

Palabras Claves: Vehículos Inteligentes, Sistemas de Transporte Inteligente (ITSs), Robótica, Bajo Coste, Software de Fuente Abierta.

Contenidos

Contenidos vii

Índice de figuras xiii

Índice de tablas xvii

I Memoria descriptiva 1

1 Introducción 3

1.1 Generalidades 3

1.1.1 Antecedentes y estado actual del tema 3

1.1.2 Peticionario 4

1.1.3 Objeto del proyecto 5

2 Estado del arte 7

2.1 Introducción 7

2.2 Trabajos de investigación de vehículos inteligentes 7

2.2.1 RoboCar Z 7

2.2.2 Dustbot 8

2.2.3 DRIVSCO 10

2.2.4 GUISTUB 11

2.2.4.1 Vehículo Verdino 11
2.2.5 ARGO. 13
2.2.6 AUTOPIA 15
2.2.7 Stanley 16
2.2.8 Dreambot 18
2.2.9 Nightmare 20

3 Análisis de prerrequisitos **23**
3.1 Introducción 23
3.2 Restricciones generales 23
3.3 Chasis 24
3.4 Motricidad 24
3.5 Odometría 25
3.6 Burbuja de seguridad 26
3.6.1 Odometría visual 26
3.7 Protección y gestión de la energía 27
3.8 Sistema informático 28

4 Solución Adoptada **29**
4.1 Introducción 29
4.2 Chasis 29
4.3 Motricidad 32
4.3.1 Motor DC 32
4.3.1.1 Controlador del motor 34
4.3.2 Servomotor 36
4.3.2.1 Controlador del servomotor 36
4.4 Odometría 37
4.4.1 Acelerómetro 37
4.4.2 Codificador Óptico 37

4.4.2.1 Construcción del sensor . . . 39
4.4.2.2 Software del ratón . . . 41
4.4.2.2.1 Interfaces y protocolos . . . 44
4.4.2.2.2 Consideraciones técnicas . . . 44
4.4.2.3 Test del encoder . . . 45
4.5 Burbuja de seguridad . . . 47
4.5.1 Sensores de ultrasonido . . . 48
4.5.2 Sensores infrarrojos . . . 51
4.5.3 Tarjeta PhidgetInterfaceKit 8/8/8 . . . 53
4.5.4 Odometría visual . . . 54
4.6 Protección y gestión de la energía . . . 56
4.6.1 Protección electromagnética del motor . . . 57
4.7 Sistema informático . . . 59

II Memoria justificativa 61

5 Elaboración del prototipo 63
5.1 Introducción . . . 63
5.2 Historia de ASEIMOV . . . 63

6 Calibración de sensores 83
6.1 Introducción . . . 83
6.2 Metodología . . . 83
6.2.1 Escenario . . . 86
6.3 Calibración sonar . . . 86
6.4 Calibración sensor infrarrojo . . . 89

7 Test realizados 95
7.1 Introducción . . . 95

7.2 Duración de la batería 95
7.3 Detener automáticamente el vehículo ante un obstáculo 96

8 Distribución de masas **99**
8.1 Introducción 99
8.2 Masas de un vehículo eléctrico 100
8.2.1 Cálculo de los pesos en las ruedas 103
8.2.2 Ruedas laterales 105
8.2.3 Ruedas delanteras y traseras 106
8.3 Masas en ASEIMOV 107
8.4 Masas adicionales 108

9 Circuito de Protección **111**
9.1 Introducción 111
9.2 Circuito de protección del PC 113
9.3 Circuito de protección del controlador del motor. 119
9.4 Circuito impreso 120

10 Conclusiones **125**
10.1 Introducción 125
10.2 Conclusiones 125

III Presupuesto **129**

11 Presupuesto **131**
11.1 Introducción 131
11.2 Presupuesto de los materiales adquiridos 133
11.3 Presupuesto del prototipo 137

IV Apéndices **141**

A Funcionamiento de un servomotor **143**

A.1 Esquema de control 146

A.2 Diagrama de control 146

B Protocolo de un ratón mecánico **149**

B.1 Paquete de datos 149

Bibliografía **151**

Glosario **155**

Planos (Tomo adjunto)

Índice de figuras

0.1 ASEIMOV vi

2.1 Aspecto de Robocar Z 8
2.2 Robots Dustbot 10
2.3 Sistema Drivsco 11
2.4 Vehículo Verdino 12
2.5 Vehículo autónomo ARGO 13
2.6 AUTOPIA: vehículo inteligente español 16
2.7 Stanley 17
2.8 DreamBot 18
2.9 Detalle del ratón utilizado como encoder de DreamBot 19
2.10 Nightmare 20

4.1 Chasis de ASEIMOV 30
4.2 Motricidad 32
4.3 Dispositivo controlador del motor 35
4.4 Dispositivo controlador del servomotor 36
4.5 Condificador óptico 40
4.6 Montaje del codificador óptico en el eje de la rueda. 42
4.7 Adaptación del hardware del ratón 43
4.8 Tipos de sonars 49

4.9 Sonar soldado . . . 51
4.10 Diferentes ángulos para diferentes distancias. . . . 52
4.11 Sensores infrarrojos . . . 53
4.12 Tarjeta PhidgetInterfaceKit 8/8/8 . . . 54
4.13 Cámaras web dentro de sus carcasas . . . 55
4.14 Batería XP8000 . . . 56
4.15 Jaula de Faraday . . . 58

5.1 Subaru Impreza de Kyosho de radio control . . . 64
5.2 Placa base . . . 66
5.3 Detalle del tamaño de la batería XP8000 . . . 67
5.4 Codificador casero . . . 69
5.5 Esquema motricidad . . . 70
5.6 Bandejas para las placas controladoras y el PC . . . 71
5.7 Montaje de las placas de aluminio. . . . 73
5.8 Sensores frontales . . . 74
5.9 Estructura-soporte frontal de los sensores . . . 74
5.10 Estructura-soporte trasera y lateral de los sensores . . . 75
5.11 Instalación de la burbuja de seguridad . . . 76
5.12 Burbuja de seguridad . . . 77
5.13 Circuitos de protección. . . . 78
5.14 Conector USB soldado . . . 79
5.15 Carrocería cortada. . . . 79
5.16 Vehículo final (I) . . . 80
5.17 Vehículo final (II) . . . 81

6.1 Medida del acelerómetro . . . 84
6.2 Escenario para la calibración de sensores . . . 86
6.3 Medidas del acelerómetro y del sonar . . . 87

6.4 Medidas del sonar y valores medios 88
6.5 Curva de calibración del sonar 89
6.6 Medidas del acelerómetro y del infrarrojo 90
6.7 Medidas del infrarrojo y valores medios 91
6.8 Curva de calibración sensor infrarrojo 92

7.1 Sensores delanteros de ASEIMOV 96

8.1 Entornos de los programas de dibujo utilizados 101
8.2 Vehículo para comparar: Renault Fluence Z.E. 102
8.3 Vehículo eléctrico modelado 104
8.4 Vista frontal de vehículo modelado 105
8.5 Vista lateral del vehículo modelado 106
8.6 Lastres de plomo pesados en la báscula digital. 110

9.1 Circuito electrónico de protección 112
9.2 Figura conceptual de un filtro pasivo paso bajo. 114
9.3 Diagrama de Bode 115
9.4 Fase del filtro 116
9.5 Espectro en frecuencia 118
9.6 Gráfico de tensiones 119
9.7 Circuito de protección al PC en protoboard. 120
9.8 Circuito impreso, parte I. 122
9.9 Circuito impreso, parte II. 123
9.10 Circuito impreso, parte III. 124
9.11 Circuito impreso, parte IV. 124

A.1 Partes de un servomotor 144
A.2 Funcionamiento de un servomotor 145
A.3 Diagrama de bloques de un servomotor 146

ÍNDICE DE FIGURAS

Índice de tablas

4.1 Características del motor 33
4.2 Especificaciones técnicas del controlador del motor 35
4.3 Resultados resolución del encoder 46

6.1 Características curva de calibración del sonar 89
6.2 Características curva de calibración del infrarrojo 93

8.1 Datos de masas del Renault Fluence Z.E. 102
8.2 Peso en las ruedas del vehículo modelado 107
8.3 Peso en las ruedas del prototipo 108
8.4 Peso total medio del prototipo 108
8.5 Comparación de masas entre un vehículo eléctrico y ASEIMOV 108
8.6 Masas adicionales 109
8.7 Distribución final de pesos 110

11.1 Presupuesto de los materiales adquiridos(I) 133
11.2 Presupuesto de los materiales adquiridos(II) 134
11.3 Presupuesto de los materiales adquiridos(III) 135
11.4 Precio final de los materiales adquiridos 135
11.5 Presupuesto de ASEIMOV (I) 137
11.6 Presupuesto de ASEIMOV(II) 138

11.7 Precio final de ASEIMOV 139

B.1 Paquete de datos de movimiento 150

Parte I

Memoria descriptiva

Capítulo 1

Introducción

1.1 Generalidades

1.1.1 Antecedentes y estado actual del tema

Los sistemas inteligentes de transporte constituyen uno de los retos actuales, a la vez que una necesidad imperiosa, en la sociedad actual. Muchas universidades y centros de investigación emplean un gran esfuerzo y tiempo en este tema. En algunos casos se han conseguido productos comerciales que resuelven parcialmente el problema, pues ofrecen una ayuda a la automatización facilitando las acciones del operario.

El estado científico-técnico de los proyectos actuales está bastante avanzado, aunque muchas de las soluciones exigen un cambio de la infraestructura, por ejemplo, trenes urbanos, metros, etc, apareciendo una fuerte inversión económica. En la actualidad se apuesta por vehículos inteligentes tales como autobuses, coches eléctricos y de gasolina, etc, que sean capaces de garantizar una conducción automática. Esto quiere decir: ir de un punto a otro circulando entre las líneas de un carril de una carretera; mantener una distancia mínima de seguridad entre un cluster de vehículos; regulación de la veloci-

dad en función de las condiciones del tráfico actual, haciendo adaptativa la inteligencia del vehículo; adelantamientos a otros vehículos, invadiendo por tanto otro carril o evitando obstáculos; ayudas al conductor humano a encontrar la ruta más corta; guiado a un conductor humano para aparcar el vehículo en entornos urbanos.

Desde la década de los 90 hemos podido ver los primeros prototipos de vehículos equipados con sistemas para realizar la conducción automática como de las infraestructuras de carreteras necesarias para llevar a cabo sus funcionalidades. Todo ello se ha probado y demostrado a la comunidad científica y al público en general.

1.1.2 Peticionario

El peticionario del presente proyecto es la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), con dirección Campus Universitario de Tafira Baja s/n, CP: 35017, Las Palmas de Gran Canaria. El centro es el que encarga la redacción del proyecto para obtener los títulos de Ingeniero Industrial y de Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial, al estudiante Moisés Díaz Cabrera, con NIF 78516774-H Dirección: c/Pasaje Playa de Sardina nº 6, Bañaderos-Arucas. CP: 35.414. Las Palmas de Gran Canaria. Tfno. de contacto: 618.415.109.

Dicho proyecto se realiza según lo estipulado en el Reglamento General de la ULPGC para la Realización y Evaluación de Proyectos Fin de Carrera de 25-06-2003 y en el Reglamento de Proyectos Fin de Carrera de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, aprobado en comisión de Proyectos Fin de carrera el 09-06-2004 y posteriormente aprobado en Junta de Escuela el 17-06-2004.

1.1.3 Objeto del proyecto

En este apartado acotaremos el problema de modo que sea viable desde el punto de vista económico y tecnológico adecuándolo al conocimiento y medios con los que disponemos.

1. Estudios previos acerca del mundo de vehículos inteligentes.

2. Elección de un vehículo eléctrico de radio control apto para nuestro proyecto, en relación a sus dimensiones, su escalado con la realidad (1:10, 1:8, etc), espacio libre bajo la carrocería, consumo energético, robustez... La elección de ese vehículo eléctrico se asemejará a un vehículo eléctrico de calle a escala, así haremos un escalado más fiel a la realidad.

3. Elección del tipo de sensores para la detección de la burbuja de seguridad de nuestro vehículo: sensores lásers, infrarrojos, ultrasónicos, cámaras web, giróscopos, GPS, acelerómetros, codificadores ópticos, etc.

4. Determinación del número de los sensores en el chasis del prototipo. Para ello realizaremos pruebas que determinen el comportamiento de dichos sensores.

5. Elección de los componentes para el control de la dirección de las ruedas y aceleración del vehículo.

6. Elección del sistema informático a instalar en el chasis del vehículo. Esta parte nos viene dada por el proyecto realizado por Aday Talavera Hierro de Ingeniería Informática de la ULPGC.

7. Ubicación de los sensores en el chasis del vehículo.

8. Elección de la fuente de alimentación de la plataforma.

9. Diseño de la gestión energética de nuestro prototipo.

10. Interconexión de todos los elementos del vehículo.

11. Elección de un vehículo eléctrico de calle adecuado que sirva como ejemplo para realizar el escalado de nuestro vehículo.

12. Escalado de masas del vehículo en relación con el vehículo de calle elegido.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1 Introducción

En este capítulo encontraremos diferentes ejemplos de vehículos inteligentes. Veremos el trabajo de universidades, centros de investigación o empresas sobre este tópico.

2.2 Trabajos de investigación de vehículos inteligentes

2.2.1 RoboCar Z

Robocar Z ha sido lanzado en el verano del 2009 en la empresa nipona ZMP.inc. (con sede en Tokio), la cual destaca en el desarrollo e investigación de Robots Humanoide Interactivos ([1], [2]).

Robocar Z es un pequeño vehículo robotizado autónomo, es una plataforma para probar algoritmos de navegación autónoma y otros posibles sistemas propios de vehículos inteligentes. Este vehículo nos enseñará cómo será el comportamiento de los coches controlados por robots en una escala menor a la

Figura 2.1: Aspecto de Robocar Z

real.

Esta plataforma lleva incorporado un microprocesador AMD Geode LX800; WiFi 802.11b/g/n; dos cámaras VGA CCD (opcionales); ocho sensores infrarrojos; tres acelerómetros; un giroscopio y un detector de distancias láser. La mecánica del coche consiste en cuatro ruedas, chasis y suspensión trasera, similar a un turismo real. Es interesante destacar que funciona con el Kernel de Linux.

Debido a que incorpora un sistema libre Linux, se pueden probar en él una amplia variedad de algoritmos; por ejemplo para el consumo de combustible, energía, etc. Este invento potenciará la ampliación en la investigación de tecnologías modernas.

Nótese que esta plataforma cuesta 5000€, al cambio, 7000 USD, sin incluir la carrocería ni las cámaras.

2.2.2 Dustbot

La Scuola Superiore Sant'Anna (Pontedera, Italia), ha desarrollado un robot autónomo basurero llamado "Dustbot". Este proyecto ha generado una notable producción científica en artículos en revista de un alto índice de impacto, así como ponencias en congresos [3]. El proyecto completo prevé acabarse en invierno del 2009.

DustBot, mide un metro y medio, pesa 70 kilos, puede transportar hasta 40 kilos. La autonomía de su batería se estima en 16km. La telemetría del robot basurero permite obedecer órdenes de recogida de basura mediante un teléfono móvil. El robot incorpora un sistema de navegación GPS y un giroscopio -un dispositivo mecánico inventado en 1852 que permite cambios de dirección en base a una rotación-. Es capaz de dar datos de la contaminación del aire y puede barrer la basura del suelo.

En septiembre de 2009, TECNALIA Corporación Tecnológica, en la estación de Euskotren en Atxuri (Bilbao) presentó a estos robots móviles, multifuncionales, colaborativos, autónomos y polivalentes. Esta nueva generación de robots forma parte del proyecto europeo de investigación DUSTBOT del VI. Programa Marco, en el que participa TECNALIA. Estos robots son capaces de vigilar grandes espacios; guiar a personas en grandes superficies comerciales; acompañamiento de personas discapacitadas o impedidas. Son de interés las funciones de orientación, navegación, comunicaciones con otras personas o centros de teleasistencia, etc. Estas plataformas están preparadas para usarse como guías en museos; para transportar y/o almacenar mercancías. El objetivo principal es la de limpieza en diferentes superficies.

Su aplicación ha sido reconocida por varios ayuntamientos europeos y en Japón, los cuales están interesados en este producto para limpiar calles estrechas y lugares donde los camiones de basura no pueden acceder. Este equipo ha lanzado dos robots previos. Uno es DustClean, equipado con herramientas para limpieza y también sensores para analizar en tiempo real la calidad del aire que lo rodea. El otro es el DustCart, con capacidad para transportar papeleras y vaciarlas.

El precio del proyecto Dustbot ronda los $3.9 millones de dólares. Se comenta que el robot debería incorporar un sistema de protección contra los que intenten dañarlo o robarlo.

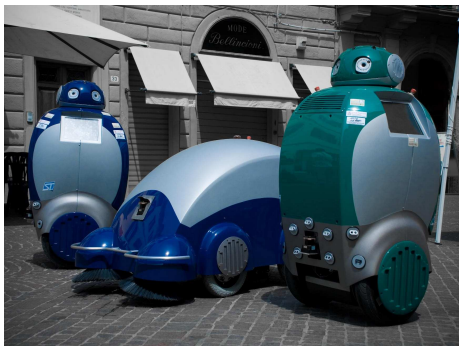


Figura 2.2: Robots Dustbot

2.2.3 DRIVSCO

Este proyecto fue fundado por la Comisión Europea y finalizado en julio del 2009. Este proyecto ha sido desarrollado por científicos de seis países europeos, entre ellos España, que han desarrollado un sistema informático que permite a los coches "aprender" la forma en que conduce el dueño del vehículo, y avisarle en caso de que realice movimientos que puedan provocar un accidente([4], [5]). El Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada, dirigidos por el profesor Eduardo Ros Vidal es el responsable de la aportación española del proyecto [6].

DRIVSCO no termina en un sistema de visión por computador para ayudar en la conducción, DRIVSCO además aprende el modo de conducir de su conductor. La metodología que lleva a cabo DRIVSCO es aprender la reacción del conductor ante una curva, una intersección, un peatón, otro vehículo, etc. Sin tener en cuenta si se trata de una conducción segura o deportiva por parte del usuario. DRIVSCO capta un modelo de comportamiento de conducción.

De esta manera, en la conducción nocturna, cuando el vehículo detecta un comportamiento diferente ante una curva, DRIVSCO lanza una señal de alarma que avisa al conductor de un comportamiento inusual. También es capaz de detectar un objeto de riesgo, proporcionando una señal de aviso.

Figura 2.3: Sistema Drivsco

Como se deduce, lo que DRIVSCO pretende es ayudar a mantener alerta al conductor, concentrando su atención al máximo, con el fin de mejorar la conducción.

2.2.4 GUISTUB

Guiado de un Sistema de Transporte en una Urbanización Bioclimática Cerrada (GUISTUB) es un proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y realizado por el Departamento de Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas de la Universidad de la Laguna; comenzado en 2004 y finalizado en 2007.

Este proyecto aborda la problemática del guiado automático de un vehículo eléctrico a través de una carretera sin señalización y sin vías dibujadas. Concretamente se trata de la carretera que conecta un conjunto de 25 viviendas bioclimáticas en la zona sur de la isla de Tenerife, en las instalaciones del Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER).

2.2.4.1 Vehículo Verdino

El vehículo constituye la unidad fundamental para el desarrollo del proyecto. Se trata de un vehículo autoguiado, muy parecido a los utilizados en los campos

Figura 2.4: Vehículo Verdino

de golf, como vemos en la siguiente figura:

Verdino reúne las características necesarias para alcanzar los objetivos marcados en el proyecto GUISTUB. Cabe destacar que Verdino poseo un sistema de limitación de velocidad y recuperación de carga de baterías, lo que no sólo permite que tenga una mayor autonomía, sino que además simplifica en gran medida el desarrollo de un sistema de control de velocidad. Este auto nos permite ausentarnos de infraestructuras costosas para los sistemas de guiado, pues ha de navegar por caminos semiestructurados([7], [8], [9]).

Las características detalladas de Verdino son:

- Ausencia de costosas infraestructuras para los sistemas de guiado. El sistema debe será capaz de moverse en un entorno de caminos semiestructurados en el que no será necesario realizar actuaciones costosas para posibilitar la navegación.

- Posibilidad de asignación de rutas de manera dinámica. Cada vehículo será capaz de moverse de manera autónoma entre dos puntos cualesquiera dentro del área de operación.

- Control de acceso y uso de los vehículos de manera centralizada.

Figura 2.5: Vehículo autónomo ARGO

- Emisión cero de CO_2 y ausencia de ruidos.

Verdino lleva incorporada cámaras que recogen los datos visuales necesarios para aplicar los algoritmos, así como un sistema de control interno que procesa los datos en tiempo real.

Este proyecto a derivado en muchos proyectos realizados en la universidad de La Laguna, así como en una notable producción científica.

2.2.5 ARGO.

El proyecto ARGO surge a principio de los 90 en el grupo de la Universidad de Parma encabezado por Massimo Bertozzi y Alberto Broggi. El trabajo comenzó con el proyecto europeo Eureka Prometheus, el cual finalizó en en 1994 con una demostración en París. La investigación continuó en la Universidad de Parma financiada por el Consejo de Investigación Nacional Italiano. En los últimos años se equipó un vehículo comercial Lancia Thema 2000, como vemos en la figura siguiente, con los dispositivos necesarios para realizar la conducción autónoma en autopistas. El vehículo dispone de un sistema de adquisición trinocular, empleando como procesador un sencillo PC-Pentium bajo el sistema operativo Linux, junto a un procesador hardware desarrollado específicamente para esta aplicación, denominada PAPRICA.

El resultado de esta investigación fue mostrado a la comunidad científica

internacional y al público en general durante la primera semana de Junio en 1998 con un viaje alrededor de Italia ([10], [11]), durante el cual el vehículo condujo más de 2000 km de forma autónoma. Algunas de las funcionalidades de este sistema son las siguientes:

- Conducción manual: el sistema monitoriza la actividad del conductor; en caso de situaciones potenciales de peligro el sistema avisa al conductor con señales acústicas y ópticas.
- Conducción supervisada: el sistema advierte al conductor con señales ópticas y acústicas y, en caso de peligro, toma control del vehículo para preservar su seguridad.
- Conducción automática: el sistema conduce automáticamente, siguiendo las líneas del carril y localizando obstáculos en condiciones de tráfico real. Es incluso capaz de realizar cambios de carril.

Debido a las características del sistema de visión artificial realizado, el vehículo puede conducir de forma autónoma tanto en autopistas como en algunas carreteras locales, siempre que presenten líneas pintadas sobre el asfalto. El proyecto entró en una segunda fase en la que los principales objetivos son:

- Desarrollo de un nuevo vehículo prototipo.
- Integración de los sistemas software y hardware para conseguir un módulo de seguridad activa y guiado automático.
- Desarrollo de nuevos algoritmos y arquitecturas para solventar los problemas exhibidos por el primer prototipo.
- Testear el vehículo en un nuevo largo viaje por carretera en condiciones reales de tráfico.

2.2.6 AUTOPIA

Otro proyecto de coche sin conductor es AUTOPIA ([12]). Un grupo de investigadores del Instituto de Automática Industrial (IAI) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), dentro del marco del Programa Autopía han gestado, por medio de vehículos de gama, un proyecto de conducción automática.

AUTOPIA trata de llevar toda la tecnología que se ha desarrollado sobre robots móviles al mundo del automóvil. De momento, estos científicos ya han conseguido que tres Citroën, un C3 Pluriel y dos Berlingo, se conduzcan a sí mismos. Para ello, han sustituido el cerebro y las habilidades de un conductor humano por las de un ordenador, que controla la dirección y la velocidad del vehículo. Lo han conseguido sirviéndose de la técnica de "control borroso" o "lógica borrosa", que permite procesar información sensorial sobre dónde se encuentra el vehículo, en qué dirección va y qué obstáculos hay en el camino.

El movimiento en las furgonetas Citroën Berlingo se realiza con un motor eléctrico de 15 kW que puede alcanzar velocidades de 90 Km/h; en pruebas de conducción automática se han alcanzado velocidades de 60 Km/h.

Otro punto interesante del proyecto es que el vehículo adapta las técnicas desarrolladas para el control de robots autónomos al control de vehículos, modificando en la menor medida posible el entorno en que éstos han de evolucionar. Se han realizado inicialmente experimentos simples que muestran los resultados que van obteniéndose y creado la infraestructura que permita llegar a hacer cada vez unas maniobras más sofisticadas. Se ha construido un conjunto de vías de circulación que simula un pequeño barrio con sus calles, cruces, plazas y señales de tráfico en el que circulan los coches automatizados que han sido equipados con la instrumentación que se ha considerado necesaria para comenzar los trabajos y que puede ser ampliada en un futuro. Esta

Figura 2.6: AUTOPIA: vehículo inteligente español

pista de prueba se ha bautizado con el nombre de ZOCO (ZOna automática de COnducción de vehículos).

Actualmente, este proyecto sigue generando otros proyectos. Este grupo ha conseguido mejoras en los controladores al conectarlos por una red Ethernet [13].

2.2.7 Stanley

Stanley es un vehículo autónomo creado por la Universidad de Stanford, Stanford Racing Team [14] en colaboración con el Laboratorio de Investigación Electrónica de Volkswagen (ERL). Compitieron en el DARPA Grand Challenge en 2005 y ganaron; el premio se cifró en 2 millones de dólares.

Liderados por Profesor Sebastián Thrun, director del Laboratorio de Inteligencia Artificial de Stanford, Stanford Racing Team se ha desarrollado con el único fin de competir en el 2005 DARPA Grand Challenge. Stanley se encuentra actualmente en el Museo Nacional Smithsonian de Historia Americana. En la DARPA Urban Challenge 2007, el equipo de Stanford Racing compitió con un nuevo vehículo, una camioneta Volkswagen Passat modificado, conocido como "Junior".

El marco original de Stanley era una norma europea modelo diesel de Volk-

Figura 2.7: Stanley

swagen Touareg proporcionada por ERL de Volkswagen para la competencia.

El equipo de Stanford Racing eligió el Touareg para su "drive by wire" que es un sistema de control que puede ser adaptado para ejecutarse directamente desde un ordenador de a bordo sin el uso de controladores o servomotores. Sin embargo es importante señalar que el volante fue impulsado por un motor eléctrico y el tren de desplazamiento a cabo con un pistón hidráulico.

Para navegar, Stanley colocó en el techo cinco unidades de montaje con la tecnología LIDAR para construir un mapa en 3-D del medio ambiente, dicha información se complementa con la posición obtenida del sistema GPS. Esto lo podemos visualizar en la imagen 2.7. Además Stanley emplea un sistema de orientación basado en acelerómetros y giroscopios que controlan la orientación del vehículo y también sirve para complementar los datos del GPS y otros sensores. Adicionalmente, los datos de orientación son proporcionados por una cámara de vídeo que observa las condiciones de conducción a ochenta metros (más allá del alcance de los LIDAR), ello asegura suficiente espacio para la aceleración. También este vehículo incorporaba sensores en una rueda que actúan como un odómetro, en caso de pérdida de señal (como cuando se conduce a través de un túnel). Usando este sensor y su datos, el ordenador de

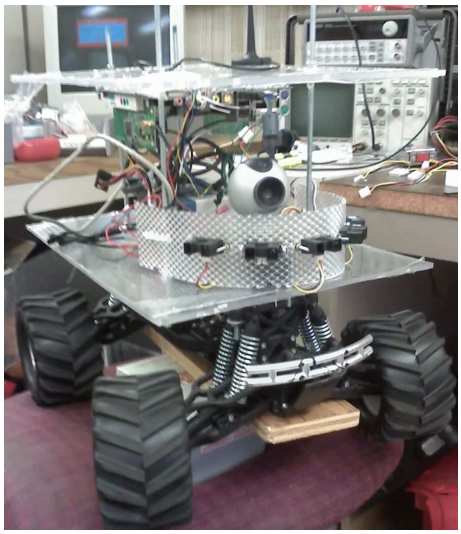


Figura 2.8: DreamBot

a bordo puede extrapolar lo lejos que ha viajado desde que se perdió la señal.

Para procesar los datos del sensor y ejecutar decisiones, Stanley estaba equipado con seis ordenadores de bajo consumo eléctrico, 1.6 GHz Intel Pentium M, los cuales ejecutan versiones diferentes del sistema operativo Linux.

Para corregir al principio un error común cometido por Stanley, el equipo de competición de Stanford, creó un registro de "las reacciones humanas y las decisiones", y vuelca los datos en un algoritmo de aprendizaje ligado a los mandos del vehículo, esta acción sirvió para reducir considerablemente los errores de Stanley. Este registro informático acerca de la manera de conducción de seres humanos hizo a Stanley más preciso en la detección de sombras, un problema que había causado muchos de los fracasos de los vehículos en el 2004 DARPA Grand Challenge [15].

2.2.8 Dreambot

DreamBot es un vehículo autónomo desarrollado por Carlos Agell como parte de su tesis en la la Universidad de California-Irvine. DreamBot utiliza un

modelo todo terreno de coche radio control como base de la plataforma.

Las características principales de DreamBot son:

- Basado en un coche radio control de escala 1:10, Traxxas Emaxx.
- Empleo de una camara web para capturar imágenes.
- Control del motor y el servomotor originales del coche radio control mediante una placa de instrumentación (Arduino Diecimila).
- Sensores de distancia infrarrojos dispuestos en forma radial.
- Dispositivo GPS.
- Control de velocidad empleando un ratón mecánico (de bola) como encoder.
- Sistema informático: placa mini-ITX, red inalámbrica Wi-Fi y sistema operativo Fedora-Linux.

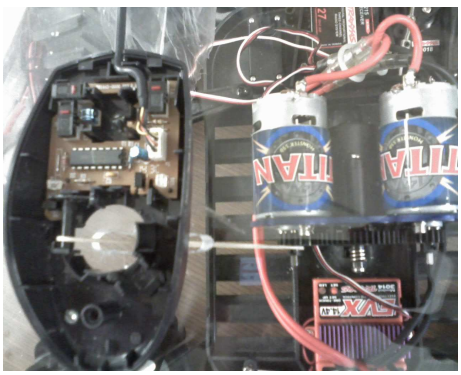


Figura 2.9: Detalle del ratón utilizado como encoder de DreamBot

Sobre la plataforma se han realizado experimentos como posicionamiento en tiempo real utilizando la señal del GPS y GoogleEarth and GoogleMaps y algoritmos de conducción autónoma.

2.2.9 Nightmare

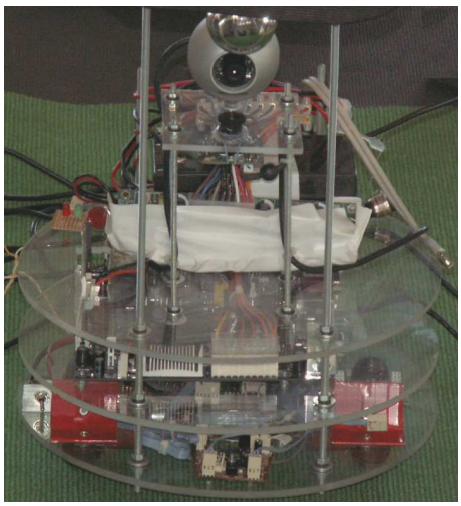


Figura 2.10: Nightmare

Nightmare es un robot de experimentación fabricado en la Universidad de Aveiro por António J. R. Neves, Gustavo A. Corrente and João Figueiredo [16]. Se diseño como un robot versátil que fuera capaz de participar en varias competiciones de robótica.

Las características principales de Nightmare son:

- Utiliza un microcontrolador PIC18F258 conectado a un ratón mećanico PS/2, dos leds, un sensor de terreno y un módulo con un doble puente H para controlar los dos motores que mueven el robot. El microcontrolador se conecta con el ordenador mediante un puerto RS232.
- El ratón se utiliza como encoder para los dos motores, además se utilizan los dos botones para iniciar y detener el robot.
- Los leds sirven para indicar el estado del robot. Por ejemplo, cuando alcanza un objetivo como parte de un algoritmo, se encienden.
- Dispone de dos cámaras web para captar el entorno.

- Sistema informático: placa mini-ITX VIA EPIA Nehemiah M10000, dispositivo de disco basado en una tarjeta compact flash de 512mb y sistema operativo Debian GNU/Linux Sarge 3.1.

El robot ganó el premio especial a la innovación de la edición en 2005 de la competición Micro-Rato, organizada en la Universidad de Aviero.

Capítulo 3

Análisis de prerrequisitos

3.1 Introducción

Los prerrequisitos que impone un proyecto de un vehículo eléctrico a escala son necesarios conocerlos y plantearlos como un primer paso. Son metas que necesitamos definir para posteriormente satisfacerlas de manera completa. En este capítulo veremos para cada parte del proyecto, los distintos requisitos que nosotros mismos hemos exigido que debe cumplir nuestro vehículo eléctrico a escala. La pregunta que ha de contestar este capítulo es: ¿Qué necesitamos?

3.2 Restricciones generales

Por antonomasia el vehículo tiene tres restricciones fuertes que en cada parte de este capítulo han de cumplirse intrínsecamente. Estas restricciones son:

- Restricción de espacio: la plataforma con la contamos es un vehículo 10 veces más pequeño que uno real. Todo lo que queramos equipar dentro de él estará fuertemente condicionado por su tamaño físico.

- Restricción de coste: un paradigma a conseguir en el proyecto es el bajo

coste. Queremos que cualquier grupo, sin condicionar el presupuesto del mismo, pueda realizar una réplica del modelo que proponemos. Nótese que el significado bajo coste no está ligado al significado de limitación tecnológica. La plataforma ha de ser flexible a conectarse a dispositivos de coste elevado.

- Restricción de energía: Al tener un dispositivo móvil, la fuente de energía será móvil; debido a ello la energía es limitada. Por tanto, se ha de equipar el vehículo con elementos de bajo consumo energético o que, al menos, en su conjunto el vehículo consuma una energía tal que la plataforma permita realizar experimentos dentro de un tiempo adecuado de uso. Además las prestaciones que hemos de conseguir son el funcionamiento de 4 cámaras webs al mismo tiempo; rápida telecomunicación y telemetría mediante wifi, por ejemplo, entre el PC "on-board" y un PC remoto; y el funcionamiento continuo de la burbuja de seguridad.

3.3 Chasis

Se necesita un chasis que permita ser mecanizado y adaptado con facilidad a las posibles soluciones que se vayan planteando. Un chasis robusto y de un material de alta dureza no es maleable y por tanto difícil de amoldar, por tanto no nos interesa. Cuanto más espacio libre tenga el chasis más adecuado será para nuestra aplicación. El vehículo final debe tener aspecto de vehículo, esto es, se debe instalar sobre el chasis una carrocería.

3.4 Motricidad

Lo que interesa de un vehículo eléctrico, de manera muy parca, es que se mueva con el menor consumo y el máximo par posible. En un vehículo real se

diferencian dos partes en la motricidad: por un lado la parte encargada de dar velocidad angular a las ruedas y por otra parte la encargada en dar la dirección al tren delantero.

El motor eléctrico ha de adaptarse al chasis del vehículo en tamaño. Por otro lado, ha de ser capaz de dar la energía mecánica suficiente a partir de una energía eléctrica limitada. Por ello, habrá una relacción de entendimiento tecnológico entre el par motor y la intensidad. Un motor eléctrico emite radiaciones electromagnéticas al ambiente. En un espacio muy cercano al motor se alojarán dispositivos electrónicos que pueden ser sensibles al daño electromagnético. Debido a ello el motor debe apantallar esos espurios, evitando así fallos futuros.

En un vehículo real la dirección del mismo se controla con un volante que gira a derecha o a izquierda. Debido a ello necesitamos un mecanismo que nos preste el mismo servicio que un volante. En robótica se emplean los servomotores para realizar este movimiento. En el apéndice A se explica en líneas generales cómo funciona este dispositivo.

3.5 Odometría

Una estimación precisa de la posición global de un vehículo es una cuestión clave para, en este caso, alcanzar una navegación autónoma. El desarrollo de un sistema robusto que estime la posición mientras rueda un vehículo es un reto en el mundo de los vehículos inteligentes.

Por ello, mediante los sensores pertinentes, aunque sobreabunde la información, el vehículo ha de poseer una tecnología que haga posible inferir en la trayectoria de manera fiable.

Hablaremos también de una odometría a nivel macro y a nivel micro. A nivel micro se refiere a nivel de recorridos pequeños de un punto 'a' a un

punto 'b', es decir, que la plataforma de datos fiables de los puntos por lo que ha pasado. A nivel macro es interesante conocer la posición con tecnologías GPS por ejemplo. Esta plataforma tiene la finalidad de hacer experimentos, cuanto más amplio sea el abanico odométrico, mayor fiabilidad y seguridad nos transmitirá el modelo.

3.6 Burbuja de seguridad

Se ha de asegurar que en un espacio determinado, alrededor del coche, se conozca si hay o no algún sólido y la distancia al mismo. El logro de esta parte evita al vehículo inteligente colisiones laterales, frontales o traseras; permite la conducción de un cluster de vehículos manteniendo una distancia fija; evita maniobras evasivas del vehículo, es decir, si algún obstáculo entra en contacto con la burbuja de seguridad, el vehículo puede de manera suave comenzar a cambiar la dirección; etc.

3.6.1 Odometría visual

Es necesario equipar al vehículo con cámaras para lograr visión estereoscópica tanto en la parte frontal como posterior del mismo. Esta visión nos permitirá detectar obstáculos, calcular distancias y un largo etcétera. Los sistemas de visión estéreos permiten, a partir de la combinación de una secuencia de imágenes, extraer información tridimensional (3D) del mundo real a partir de una imagen 2D mediante consideraciones geométricas.

La odometría visual se define como el proceso mediante el cual se determina la posición y la orientación de una cámara o de un sistema de cámaras mediante el análisis de una secuencia de imágenes adquiridas, sin ningún conocimiento previo del entorno.

Además, la odometría visual puede satisfacer la misma necesidad de la burbuja de seguridad, al menos en ciertas regiones. Es por ello, que ambas tecnologías pueden alternarse o complementarse para reforzar la decisión que ha de tomar la parte motriz del vehículo.

3.7 Protección y gestión de la energía

Se necesita un suministro de energía "on board" capaz de alimentar al motor eléctrico y al Sistema Informático (S.I.) con todos los sensores, cámaras webs y demás dispositivos electrónicos. La autonomía de este sistema será de al menos un tiempo aceptable. El tiempo en que esté a ON la energía en la plataforma, se han de resolver los siguientes puntos:

- Encendido y calibración del prototipo.
- Realizar experimentos y rutinas con la plataforma de manera holgada.
- Envío por WIFI y almacenamiento de resultados.
- Apagado seguro del sistema informático (S.I.). Es decir, no podemos permitir que el sistema se quede colgado y sin grabar durante el tiempo que dura un experimento.

Por otro lado hemos de proteger los elementos eléctricos (motor eléctrico y servomotor) de los elementos electrónicos (S.I., sensores, etc). Para ello son necesarias dos estrategias: apantallamiento de los elementos electromagnéticos ruidosos, emisores de espurios, y de los elementos susceptibles de sufrir ruidos electromagnéticos como, por ejemplo, los cables.

Además, otra prestación de este apartado es que se necesita que la fuente de energía disponga de la electrónica que garantiza el desacoplo y protección

generados por la parte eléctrica (el motor) al S.I. Hemos de asegurar que ningún pico de corriente inversa de la parte eléctrica contamine el S.I.

El buen funcionamiento y apantallamiento puede asegurar la integridad del sistema.

3.8 Sistema informático

Todo el prototipo debe gestionarse por un sistema informático que viene dado por el proyecto final de carrera de Aday Talavera Hierro, titulado "Diseño Hardware/Software para el control y monitorización de un vehículo eléctrico inteligente a escala".

El sistema informático ha de cumplir los siguientes apartados:

- Software abierto. Debido a ello el sistema operativo elegido es Debian - Linux.
- Componentes estándares del mercado basados en PC. Es decir, necesitamos una placa de PC convencional que se pueda emplear tanto para un ACER ASPIRE ONE, para el control de una grúa o para ASEIMOV.
- Evitar componentes OFF-THE-SHELF, pues la plataforma será más flexible cuanto menos componentes a medida posea, por lo tanto, los componentes han de ser de propósito general.
- Los componentes han de ser económicos para que se pueda cumplir el paradigma de "bajo coste".

Capítulo 4

Solución Adoptada

4.1 Introducción

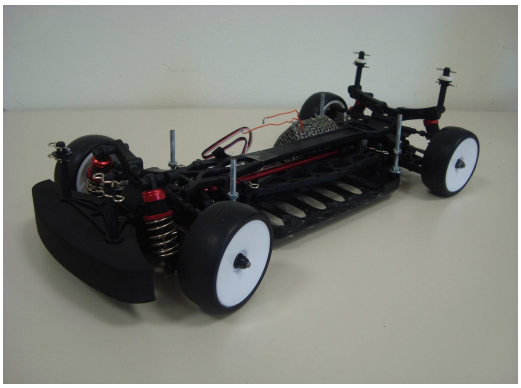
En este capítulo se mostrará la solución que se ha llevado a cabo en 6 partes distintas: chasis, motricidad, odometría, burbuja de seguridad, protección y gestión de la energía y sistema informático.

Los puntos descritos anteriormente son los más genéricos para diseñar una plataforma como ASEIMOV. Por lo tanto, en la solución se describirán las tecnologías empleadas para alcanzar nuestro vehículo eléctrico escalado de bajo coste.

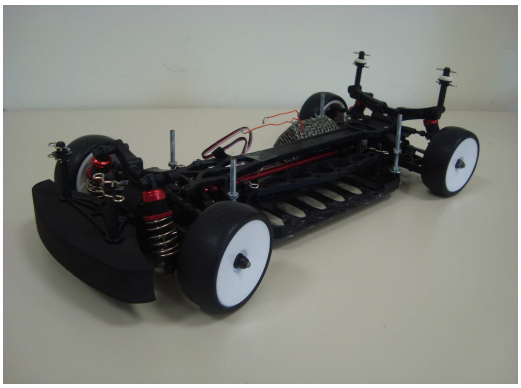
4.2 Chasis

Se ha comprado un vehículo eléctrico de radio control de escala 1:10, con una estructura idónea para el proyecto, pues su chasis es bastante plano. Esto da la posibilidad de hacerlo más flexible a los dispositivos que vamos a añadir.

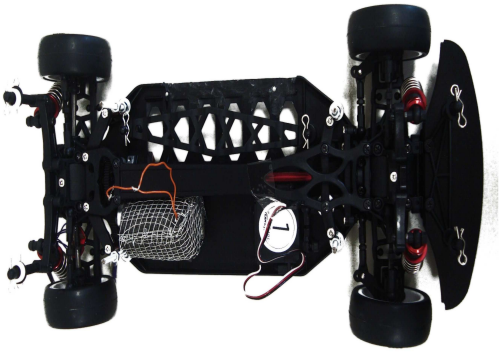
Por un lado, he colocado cuatro vástagos; estos son unas varillas de hierro enroscadas al chasis en la parte inferior. Para ello se realizaron cuatro taladros en el chasis del diámetro de dichas varillas. Los vástagos son unas varillas de



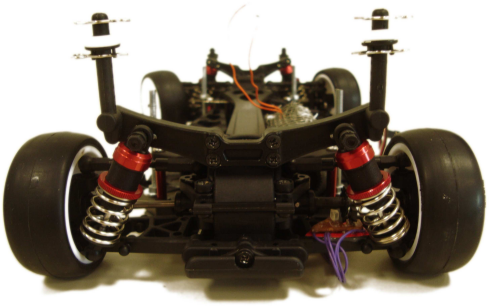
(a) Lateral del vehículo (1)



(b) Lateral del vehículo (2)



(c) Vista en planta



(d) Parte trasera del vehículo

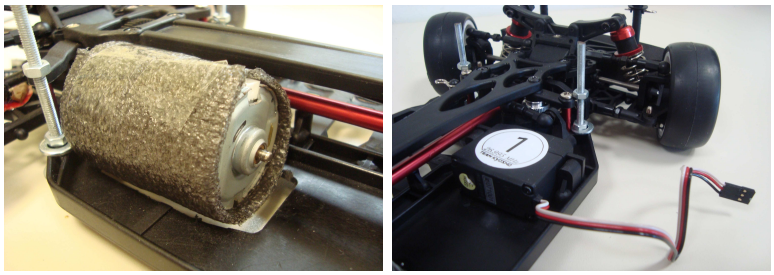
Figura 4.1: Chasis de ASEIMOV

4 mm de diámetros con rosca en toda su longitud. Con tuercas podemos poner topes a diferentes alturas.

Apoyándose en estas tuercas colocaremos dos bandejas de metacrilato a diferente altura. Estas bandejas han sido previamente diseñadas con unas dimensiones determinadas en un software de dibujo, en este caso en AutoCad. Además tienen unos orificios útiles para pasar cables por ellas. En la bandeja inferior descansarán las placas controladoras de los diferentes dispositivos: sensores, servomotor, motor, etc; en la bandeja superior descansará la placa madre.

Un tercer elemento diseñado ha sido la estructura portante de los sensores de la burbuja de seguridad. Para ello he pegado al chasis unas pequeñas escuadras en los laterales, en la parte trasera y delantera del vehículo. Para la colocación de los escuadras se ha cuidado en todo momento la ortogonalidad de los mismos. En las partes laterales se instalaron 3 escuadras por cada parte. En la parte trasera pegué una barra de aluminio ligera debajo del chasis y sobre ella se incorporaron 3 escuadras, donde dos de ellos forman 45º con respecto al ángulo central. En la parte delantera se eliminó el parachoques original y se fabricó una pieza de madera. Esta pieza permite colocar 4 pequeñas placas de aluminio, donde dos de ellas forman 45º con respecto a la horizontal. Sobre estas estructuras coloqué unos trozos de plástico duro de color negro. De esta manera se consigue una estructura rígida capaz de soportar los sensores y, sobretodo, capaz de quitar y poner con facilidad. Esto hace útil otra disposición diferente de los sensores que pertenecen a la burbuja de seguridad.

Para mayor claridad de estas estructuras portantes de los sensores se recomienda ver en el capítulo 5 las imágenes 5.9 y 5.10.



(a) Motor (b) Servomotor

Figura 4.2: Motricidad

4.3 Motricidad

La motricidad del vehículo se divide en dos partes. Por un lado lo relativo a un motor de corriente continua y por otro lado, un servomotor.

4.3.1 Motor DC

Se ha adquirido un vehículo de radio control el cual incorporaba un motor típico de un vehículo de carreras. La mecánica del coche incorpora un motor que proporciona tracción a las 4 ruedas, por ello este vehículo es un vehículo eléctrico de tracción a las 4 ruedas, a escala.

El objetivo no es diseñar un vehículo de carreras, sino un vehículo lo más fiel a un vehículo eléctrico real, a escala 1:10. Debido a ello, se ha cambiado ese motor eléctrico por otro de menor consumo energético, que nos proporciona un par motor y una velocidad, adecuadas a nuestras especificaciones.

El motor que incorporaba el vehículo de radio control consumía en el arranque unos 3 A de intensidad y en vacío 1.8 A, datos medidos con fuente de tensión e intensidad. Esta intensidad requiere un consumo considerado de energía de la batería. A tenor de estos datos, se desecha rápidamente este mo-

Tipo	Motor
Tipo de producto	Johnson Motor PMDC motors
Dimensiones	Ø 35.8 x 50, eje Ø 3.175 mm
Tensión	nominal 7.2 VDC
Par	@ constante 3.8 mNm/A
Número de Polos	3
Peso	162 g

Tabla 4.1: Características del motor

tor, pues el consumo de intensidad es muy elevado. No así la tensión, la cual se encontraba en el intervalo 0-7.2 V. Como veremos en 4.3.1.1, el controlador del motor es útil para intensidades menores a 1.5 A. Por lo tanto, debido al consumo elevado y a la limitación del controlador del motor, se ha optado por un motor de menores prestaciones pero muy útiles para un vehículo eléctrico a escala 1:10.

Las especificaciones más genéricas de nuestro motor las mostramos en la tabla 4.1.

Otra restricción que he tenido que respetar en el vehículo es la restricción de espacio. Este inconveniente ha estado presente en todo el diseño del vehículo. Sin embargo, las dimensiones de este motor respetan la restricción del espacio disponible en el chasis.

Estos son los motivos por los cuales he optado por la elección de este motor. Las pruebas realizadas confirman que la elección ha sido satisfactoria.

Por otro lado, para realizar el control digital del movimiento del motor, se ha empleado una placa controladora. A esta placa controladora por un lado se le suministra energía y por otro lado, por cable USB, se lleva dicha placa al ordenador de a bordo del vehículo. De esta manera, desde el PC controlamos el motor. Desde PC se controla el giro hacia derecha, hacia izquierda y el paro del motor.

4.3.1.1 Controlador del motor

Este controlador ofrece las siguientes características:

- Control de dos motores de corriente continua de baja tensión de forma independiente de la dirección, velocidad y aceleración.
- Ofrece una protección de sobreintensidad.
- Incluye cuatro entradas digitales usadas para transmitir el estado de interruptores, pulsadores, relés, etc.
- Se conecta directamente al puerto USB del PC.

Descripción del producto

El LV PhidgetMotorControl (imagen 4.3) es un controlador USB que puede controlar dos motores con escobillas de corriente continua de baja tensión de forma independiente de la dirección, velocidad y aceleración.

Existen muchas variaciones de motores con escobillas de corriente continua: motores de imán permanente, motores electroimán, motores sin núcleo, motores lineales... La PhidgetMotorController se puede utilizar con cualquiera de estos, así como otros dispositivos como los solenoides pequeños, las bombillas incandescentes, y los dispositivos hidráulicos o neumáticos como bombas y válvulas.

La placa incluye la protección de sobreintensidad y cuatro entradas digitales que pueden ser usados para transmitir el estado de los dispositivos tales como botones pulsadores, interruptores, relés, y los niveles de la lógica.

Como resumen se muestra la tabla 4.2:

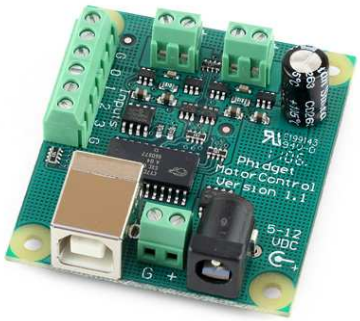


Figura 4.3: Dispositivo controlador del motor

Parámetros	1060
Actualización nominal de la salida del controlador	30 act/s
Tiempo de respuesta	30ms
Resolución de la velocidad	1.5%
Resolución de la aceleración	0.1% velocidad/s2
Límite de la aceleración[-100% a +100% de la velocidad]	250ms
Frecuencia del PWM	2.5kHz = 400us
Tensión mínima	5VDC
Tesión máxima	12VDC
Intensidad del Motor DC	1.5A
Sobreintensidad de disparo	1.5A
USB-Intensidad específica	100mA max
Consumo de la intensidad en reposo	20mA

Tabla 4.2: Especificaciones técnicas del controlador del motor

Figura 4.4: Dispositivo controlador del servomotor

4.3.2 Servomotor

El coche de radio control incorporaba un servomotor que permitía el giro a derechas y a izquierdas de las ruedas delanteras. En otras palabras, el sustituto de un volante en un coche real es, para este caso, un servomotor. La solución en este caso ha sido rápida, pues este mismo dispositivo soluciona la parte de la dirección del coche.

Por lo tanto, hemos adquirido una placa que controla este dispositivo. Dicha placa se conecta con la placa base mediante USB. Desde el PC se le da órdenes de giro hacia derecha y hacia izquierda. Se ha probado y funciona correctamente.

4.3.2.1 Controlador del servomotor

El PhidgetServo 1-Motor (figura 4.4) es un controlador basado en USB que puede controlar un servomotor alimentándolo directamente desde el puerto USB del ordenador.

El paso del PhidgetServo tiene una precisión de 0,1 grados, la precisión de posicionamiento del servo motor está en función de las características físicas del servo utilizado.

4.4 Odometría

Para poder tener una plataforma inteligente, la odometría es fundamental. Esta plataforma cuenta actualmente con dos sistemas odométricos.

4.4.1 Acelerómetro

La plataforma cuenta con un acelerómetro, el cual proporciona datos de la aceleración en los 3 ejes ortogonales. Esta placa se conecta a la placa base por USB. Con los datos de aceleraciones podemos integrar y obtener velocidades y posiciones. Este acelerómetro considera al vehículo cómo una masa que se mueve con una aceleración en los 3 ejes mencionados.

4.4.2 Codificador Óptico

Una restricción fuerte de nuestro vehículo es que ha de ser de bajo coste. Debido a ello he construido un sensor a partir de un ratón mecánico de ordenador.

Este sensor se ha colocado en la rueda trasera derecha del vehículo. Esto nos permitirá conocer las revoluciones de dicha rueda. Con la siguiente expresión podemos determinar la velocidad lineal en el centro de la rueda:

$$v = w \cdot r \tag{4.1}$$

Si queremos conocer la distancia que ha recorrido la rueda, lo podemos conocer mediante las siguientes expresiones. Con el radio de la rueda podemos conocer la longitud de la circunferencia de la rueda:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r \tag{4.2}$$

Por otro lado, el funcionamiento del sensor cuenta un número de tics. El

sensor está formado por un disco con 12 huecos equidistantes. Un tics es el paso entre un hueco/un no hueco. Cuando el sensor cuente 12 tics, sabremos que la rueda trasera, en este caso la derecha, ha dado una vuelta completa. Debido a ello, por software definiremos un factor de conversión de manera que conociendo el número de tics, podremos conocer el recorrido de esa rueda.

$$c = \frac{L}{12} \tag{4.3}$$

$$s = tics \cdot c \tag{4.4}$$

Donde:

v	velocidad lineal de la rueda trasera izquierda.
w	revoluciones de la rueda trasera izquierda.
r	radio de la rueda.
L	longitud de la circunferencia de la rueda.
c	factor de conversión.
tics	números de tics que son contados.
s	distancia/espacio recorrido.

Este sensor tiene algunas limitaciones, por un lado la mecánica del vehículo incorpora una caja diferencial en el tren trasero. Debido a ello la rueda trasera derecha en algunas situaciones no girará igual que la izquierda. Así que, una medida más fiable consistiría en instalar sensores de este tipo en las 4 ruedas. Sin embargo, el error que cometemos no es tan significante. Esta opción incrementaría los dispositivos del vehículo y probablemente no sería necesario debido a las simplificaciones que se podrían realizar. Al igual que en [17], se ha optado por un único sensor en una rueda, con la salvedad que en nuestro

caso tenemos una caja diferencial en el tren trasero.

4.4.2.1 Construcción del sensor

Partimos de la necesidad de contar las revoluciones por minutos (rpm) del vehículo. La mecánica del vehículo permite colocar en el eje, bien trasero o delantero, ambos separados a su vez por la caja del diferencial, algún sensor para satisfacer esta necesidad. Por ello, debido a que el eje de cada rueda gira solidario con esta, la solución llevada a cabo fue la de contar las revoluciones de la rueda con la misma tecnología que emplea un ratón mecánico para desempeñar su función. Esta solución tiene en cuenta uno de los propósitos del proyecto: plataforma de bajo coste.

En un ratón mecánico o de bola, nos encontramos con dos codificadores ópticos: uno permite el movimiento en el eje vertical y otro en el eje horizontal. Estos codificadores indican su movimiento en pequeños incrementos al controlador del ratón. De esta forma, se puede interpretar mediante software dicho incremento, como por ejemplo, para mover el cursor en la pantalla.

La idea es aprovechar el hardware de un ratón, para obtener la lectura de los incrementos mediante software, y calcular la velocidad de las ruedas del vehículo. No obstante, se debe estudiar la forma en la que el ratón comunica los datos al ordenador, para determinar si es posible emplearlo para el uso descrito. Por ejemplo, las ruedas del vehículo podrían ir demasiado rápido, impidiendo una correcta lectura por este medio.

En este prototipo se ha aprovechado el hardware del ratón, así como la comunicación con la placa base, que es vía USB. Para adaptar un codificador óptico se ha separado la parte del circuito impreso dónde descansa el diodo Led emisor y el receptor, pues se ha considerado que esas distancias han de ser respetada. Mediante finos hilos de cable se devuelven los terminales del emisor-receptor al punto correspondiente del circuito impreso, de esta manera,

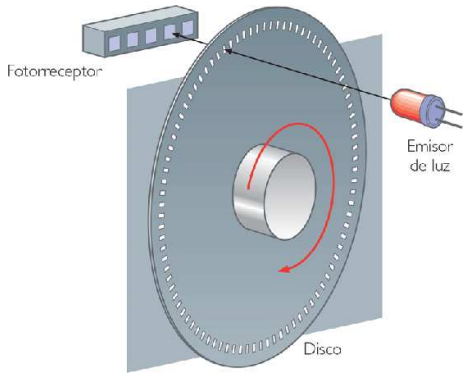


Figura 4.5: Condificador óptico

el circuito sigue funcionando igual.

El disco del ratón tenía 32 huecos. Hay que entender que la precisión en la carcasa del ratón no será la de nuestro caso. Debido a ello, hemos reducido los huecos del disco a 12 huecos equidistantes. Así pues, este disco lo hemos instalado en el eje de la rueda trasera izquierda de ASEIMOV. Seguidamente hemos colocado el emisor-receptor con su base de modo que el haz de luz atraviese los huecos del disco, como muestra la figura 4.4.2.1.

En resumen, los pasos a seguir son los siguientes:

1. En el eje de la rueda trasera derecha, tras separarlo del vehículo ensamblado, se realizó un corte inclinado al eje de dicha rueda. Ver figura 4.6(a).

2. De un ratón mecánico se tomó uno de los dos discos, como vemos en la figura 4.6(b).

3. Con un taladro se vació el eje del disco para introducirlo en el eje de la rueda. Ver figura 4.6(c).

4. Se eliminaron algunos huecos del disco: se pasó de 32 a 12 huecos equidistantes. Ver figura 4.6(d)

5. Un pegamentos epoxi fue suficiente para realizar la unión y así fijar perpendicularmente al eje de la rueda nuestro disco. Ver figura 4.6(f).

Por un lado, la placa del ratón fue mecanizada. Un aspecto importante es respetar las distancias del emisor, que es un diodo Led y del receptor. Por ello hice un corte en la placa aprovechando la diminuta base en la que se fija este sensor. Con pequeños hilos se soldaron 5 conexiones (3 del emisor y 2 del receptor) a los correspondientes puntos de la placa. En la figura 4.7 podemos ver en detalle el tratamiento hecho a la placa controladora del ratón mecánico.

La pequeña base fue fijada al chasis del vehículo respetando las distancias dadas por la configuración inicial del ratón. Por ello cuando la rueda gira n grados, el sensor detecta el número de huecos, obteniendo así una magnitud.

4.4.2.2 Software del ratón

A partir del hardware de un ratón, por software se pretende obtener la lectura de los incrementos, y calcular la velocidad de las ruedas del vehículo. No obstante, se debe estudiar la forma en la que el ratón comunica los datos al ordenador, para determinar si es posible emplearlo para el uso descrito. Por ejemplo, las ruedas del vehículo podrían ir demasiado rápido, impidiendo una correcta lectura por este medio.

El objetivo de este análisis es determinar si es viable utilizar un ratón mecánico para dicha función, estudiando el protocolo estándar de los ratones PS/2 y analizando cómo calcular la velocidad a partir de los datos obtenidos del ratón. Lo curioso es que estudiando el protocolo de comunicación de los ratones PS/2 es cómo si estudiáramos el protocolo de comunicación de los ratones mecánicos (de bola) USB. Esto se debe a temas de compatibilidad con aplicaciones antiguas. Por último, se diseñarán y ejecutaran experimentos que demuestren la viabilidad de usar el ratón como codificador óptico.

(a) Eje cortado

(b) Optical encoding disks

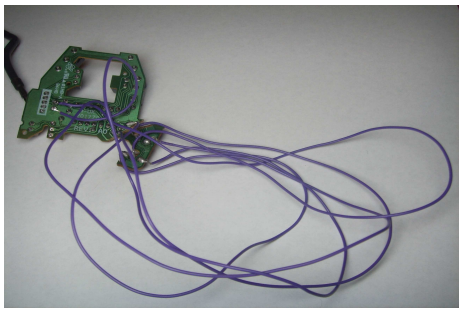
(c) Disco perforado VS disco sin perforar

(d) Reducción de ranuras

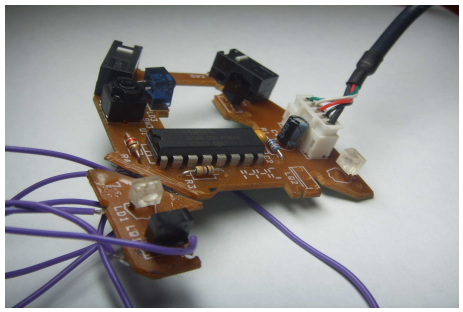
(e) Detalle del pegado de la pieza

(f) Pieza final

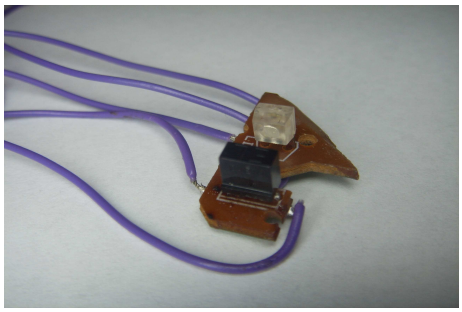
Figura 4.6: Montaje del codificador óptico en el eje de la rueda.



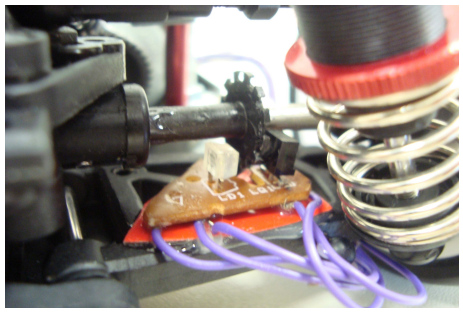
(a) Vista inferior de la placa controladora del ratón



(b) Vista superior de la placa controladora del ratón



(c) Emisor LED y receptor



(d) Placa colocada en el chasis de ASEIMOV

Figura 4.7: Adaptación del hardware del ratón

4.4.2.2.1 Interfaces y protocolos Los ratones mecánicos pueden utilizar tres tipos de interfaces:

- Puerto de serie RS232: los ratones que utilizan este puerto disponen de una amplia variedad de protocolos: protocolo Microsoft, protocolo Microsoft de 3 botones, protocolo Logitech, protocolo Mousesystems, protocolo Sun y protocolo MM.

- Puerto PS/2: los ratones de este puerto utilizan un protocolo básico estándar de tres botones. Existen extensiones del protocolo que permiten emplear una rueda de desplazamiento en el ratón y un cuarto y quinto botón. Este es el protocolo con el que se trabajará.

- Puerto USB: aunque son difíciles de encontrar, existen ratones mecánicos que emplean este puerto. En este caso se emplea el estándar USB HID (Dispositivo de Interfaz Humana), que se diseñó con el objetivo de emplearlo con todo tipo de dispositivos que precisarán de la interacción con una persona. Es empleada por ratones, teclados, joysticks, etc.

4.4.2.2.2 Consideraciones técnicas Atendiendo a la especificación del protocolo, puede definirse un límite teórico a la capacidad del ratón para detectar el movimiento. Los límites dependen de los parámetros siguientes:

- Modo de funcionamiento: se puede trabajar en dos modos. En el modo Stream, el ratón envía paquetes al controlador del ratón cada vez que se produce un cambio en su estado, es decir, cada vez que se mueve o se pulsa un botón. En el modo Remote, se solicita el envío de un paquete al ratón mediante el comando Read Data.

- Frecuencia de muestreo: indica la frecuencia con la que el ratón podrá enviar paquetes al controlador. Por defecto, 100 muestras/seg. Máximo

200 muestras/seg.

- Resolución: afecta a como se incrementan o decrementan los contadores de movimiento del ratón en función de los pulsos generados por el movimiento de las ruedas. Por defecto tiene un valor de 8 unidades/mm, pero se puede configurar con los valores 1, 2, 4 y 8 unidades/mm en ratones PS/2, no en ratones USB.

- Escalado: el escalado 2:1 modifica la cantidad de movimiento que envía el ratón en los paquetes, por tanto se configurará el ratón con un escalado 1:1.

Para el desarrollo bajo Linux, se disponen de una interfaz por medio de un fichero localizado en /dev/input/mouseN, donde N es un número entero que comienza en 0 por cada ratón conectado al sistema. Esta interfaz emplea el protocolo PS/2 independientemente de si es un ratón PS/2 o USB por razones de compatibilidad con aplicaciones antiguas. En este caso, y bajo el núcleo 2.6, el ratón siempre se encuentra en la siguiente configuración: modo Stream, reporte de datos activo, resolución 8 unidades/mm y frecuencia de muestreo 200.

4.4.2.3 Test del encoder

Para poder calcular la velocidad del movimiento, se debe tener en cuenta como lo mide un ratón mecánico. Se disponen de un emisor y un receptor óptico colocados uno frente al otro. En el espacio entre los dos se encuentra una rueda con ranuras, de forma que al producirse movimiento en dicha rueda, sus ranuras interrumpen o permiten la emisión y recepción del haz óptico, produciendo una serie de pulsos eléctricos (tics) que provocan un cambio en los registros internos del ratón. Cuando el ratón reporta el movimiento, lo

hace con los contenidos del registro del eje X y del eje Y, entre otros datos. Dependiendo de la resolución, los tics producen cambios mayores o menores en dichos registros.

Para calcular la velocidad, es necesario conocer el número exacto (o lo más exacto posible) de tics que se produce por segundo, ya que un tic significará un incremento de α grados, que será igual a 360 divido por el número de ranuras de la rueda. Así, se calcula la velocidad en grados/s, multiplicando por $2\pi/360$ en rad/s y multiplicando por el radio del encoder, en cm/s:

$$v = r \cdot \omega = r \cdot \frac{tics}{seg} \frac{grados}{tic} \frac{2\pi}{360} \tag{4.5}$$

Donde r es el radio de la rueda y los grados/tic se calculan dividiendo 360 entre el número de ranuras de la rueda.

El test realizado consiste en:

- Reset del ratón, cambio a frecuencia 200, activar envío de paquetes.
- Leer y acumular el movimiento reportado por el ratón para una vuelta completa de la rueda del encoder.
- Repetir la operación cinco veces para reducir los errores de mover la rueda con la mano.

Los resultados, para la resolución de 8 unidades/mm son los siguientes:

Medida 1	**Medida 2**	**Medida 3**	**Medida 4**	**Medida 5**
48	48	48	48	48

Tabla 4.3: Resultados resolución del encoder

Debido a que la resolución por defecto es de 8 unidades/mm, por software vemos que para una vuelta, el ratón cuenta 48 tics. Es decir, cada pulso o cada

cambio de hueco/no hueco, el ratón cuenta 8 pulsos. En realidad 4, debido a que un hueco/no hueco son 2 unidades. Es decir, cada vez que el haz pasa por un hueco, el ratón cuenta 2 unidades, cómo la resolución, por defecto en ratones USB es de 8 unidades/mm, el ratón cuenta 8 unidades/mm por cada paso. Entonces, debido a ello, el número lo debemos dividir entre 4. Eso nos da 12, que son los paso de huecos/no huecos que tiene nuestro disco. Este cambio puede incorporarse en la formula para calcular la velocidad, es decir:

$$v = r \cdot \omega = r \cdot \frac{tics}{seg} \frac{grados}{tic} \frac{2\pi}{360 \cdot 4} \tag{4.6}$$

Así, finalmente, hemos traducido el conteo de tics en un conteo de revoluciones por minutos de la rueda, y, posteriormente, en la velocidad lineal en el centro de la rueda en cm/s.

4.5 Burbuja de seguridad

La conducción de ASEIMOV se desarrolla en un entorno en el que algunas de sus características físicas van a determinar el comportamiento del mismo, esto es, la dirección del tren delantero y la transmisión a las 4 ruedas, así como el espacio que ocupa el vehículo. Para detectar y medir el entorno se precisan los sensores adecuados, que transmitirán esa información al sistema de control, el cual la procesará y determinará las acciones a realizar por el servomotor y motor. Es decir, la motricidad del vehículo depende de la información recogida por los sensores.

Existen multitud de sensores y de controladores, y se deberá elegir en cada caso aquellos que mejor satisfagan el objetivo final. En nuestro prototipo hemos tenido en cuenta aquellos sensores que sean fiables y adecuados para seguir manteniendo el título de vehículo inteligente a *bajo coste*.

En otras palabras, esta parte del proyecto consiste en garantizar que el vehículo conozca el entorno que lo rodea con el fin de evitar que se produzcan choques en la conducción. Pensando en la detección de obstáculos (peatones, vehículos, obstáculos genéricos) se han montado sensores con el fin de crear un espacio de seguridad. De esta manera podemos conseguir un mapa de medidas del entorno de ASEIMOV.

La burbuja de seguridad, como su nombre indica, consiste en dotar al vehículo de sensores de proximidad alrededor del mismo. El fin de este apartado es asegurar al vehículo que para un radio determinado, ningún obstáculo podrá estar presente, creando así un perímetro de seguridad.

Una restricción fuerte de nuestro vehículo es que ha de ser de bajo coste. Esto ha determinado el tipo de sensores elegidos para nuestra plataforma. En un primer momento se buscó la manera de integrar un sensor láser, sin embargo su precio rápidamente hizo que se desechara la idea. Un sensor láser es ideal, debido que para un ángulo de apertura, el sensor va tomando medidas con una frecuencia de muestreo, de su entorno. Finalmente, se decidió emplear sensores ultrasónicos y en sensores infrarrojos.

Para colocar los sensores en el chasis del vehículo se han diseñado e instalado unas tiras de plástico duro. Estas tiras ahora forman parte del chasis del vehículo y dan la posibilidad de colocar los sensores alrededor del mismo cómo se estime conveniente, de manera flexible. Ello se debe a que la configuración de la burbuja de seguridad de este proyecto probablemente es mejorable.

4.5.1 Sensores de ultrasonido

El sistema de los medidores ultrasónicos de distancia y sensores de ultrasonidos que se utilizan en los robots son, básicamente, un sistema de sonar.

Para realizar la medición, un dispositivo emisor envía una cadena de pulsos

(a) emisor y receptor separados

(b) emisor y receptor juntos

Figura 4.8: Tipos de sonars

ultrasónicos con una frecuencia comprendida entre 38-50 kHz. Dichos pulsos son recibidos por un receptor. Se mide el tiempo que tarda la onda en emitirse y en ser recibida, para obtener de esta manera la distancia entre el emisor y el objeto donde se produjo el rebote. En un sensor sonar, la medida depende del medio dónde se realice, en nuestro caso es el aire. Así pues, la velocidad del sonido en el aire es un parámetro que influye en la medida, el cual puede cambiar debido a parámetros ambientales tales como la presión atmosférica. De todos modos, otros trabajos demuestran que un sonar permite una medición bastante precisa.

Se pueden señalar dos clases de medidores, los que tienen un emisor y un receptor separados, y los que alternan la función, por medio de un circuito de conmutación, sobre un mismo emisor/receptor piezoeléctrico.

Para nuestro prototipo hemos elegido el sensor sonar LV-MaxSonar-EZ1 el cual es manufacturado por Maxbotix.com [18]. Este sensor es el mostrado en la figura 4.8(b).

Las características del sensor son:

- 2.5 V a 5.5 V de suministro con 2 mA de consumo de corriente.
- Las lecturas pueden ocurrir hasta cada 50 ms, (20Hz de frecuencia).
- 9600 Baud, 81 N.
- Analógico, (Vcc/512) / pulgada.
- Ancho de Pulso, (147 uS/pulgada).
- Diseñado para proteger los ambientes interiores.
- Alta producción de la unidad del sensor de onda cuadrada (doble Vcc).

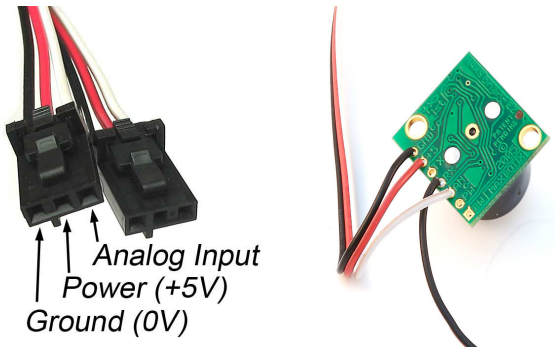
Los beneficios son:

- Dispositivo de muy bajo coste.
- Fiable y el rango de datos es estable.
- Características de la calidad del haz.
- Posee orificios en la placa del circuito para su montaje.
- Bajo consumo y facilidad de integración con múltiples dispositivos.
- Rápido ciclo de medición.
- El usuario puede elegir cualquiera de las tres salidas del sensor.

Este sensor se ha soldado con un cable analógico de tres pines como muestra la figura 4.9(a) a la parte trasera del sensor: el cable negro se suelda a GND, el cable rojo a +5 y el cable blanco a la AN. De manera opcional he soldado un cuarto cable a RX con el fin de apagar o encender el sonar desde el PC.

Una vez soldado el sensor, realizaremos la conexión del mismo a una tarjeta de entradas analógicas y digitales, la cual genera una cómoda interfaz de los dispositivos con el PC. En particular, la tarjeta empleada es la PhidgetInterfaceKit 8/8/8, ver 4.5.3.

En total se han instalado 7 sensores sonares: 4 en las esquinas del vehículo, uno en la parte frontal y uno por cada lateral. En el capítulo 5 podemos



(a) Cable analógico de tres pines (b) Parte de atrás del sonar

Figura 4.9: Sonar soldado

encontrar una explicación detallada de la instalación de este tipo de sensor en el vehículo.

4.5.2 Sensores infrarrojos

Estos dispositivos se encargan de medir distancias. Para ello se emplea un método de triangulación [19]. La idea básica es la siguiente: un pulso de luz infrarroja es emitida por el emisor. Esta luz viaja en el campo de visión y, o bien choca contra un objeto o simplemente sigue adelante. En el caso de que no existan objetos, la luz no se refleja y el significado de la lectura es que no hay ningún objeto. Si la luz se refleja en un objeto, el detector lo detecta y crea un triángulo entre el punto de reflexión, el emisor, y el detector. En la figura 4.10, podemos ver cómo cambia el ángulo según la distancia del sensor al obstáculo. Así, este dispositivo envía el voltaje que corresponde a la distancia de detección. Por lo tanto, este sensor también puede ser utilizado como un sensor de proximidad.

Estos detectores son una gran adición para la serie de detectores en la

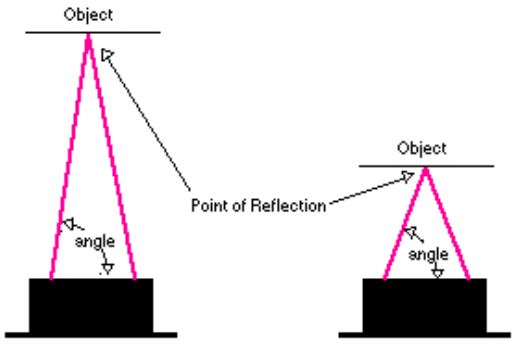


Figura 4.10: Diferentes ángulos para diferentes distancias.

robótica en general. Son bastante económicos, consumen poca energía, caben en espacios pequeños, y tienen una gama única que es ideal para pequeños robots. Estas características son las que han convencido para optar por sensores de la marca Sharp.

Si bien estos no ofrecen una precisión absoluta, ofrecen una rica información del entorno para un prototipo como ASEIMOV. Muchas veces, saber si un robot se encuentra cerca de una pared o lejos es suficiente para tomar decisiones acerca de qué hacer a continuación.

Por otro lado, se han localizado estos sensores en otro fabricante [20]. La gran cantidad de información y variedad han sido importantes para adquirirlos. Por un lado se han adquirido sensores infrarrojos de distancia media y de distancia larga, como vemos en la figura 4.11.

Además cada sensor incorpora una placa adaptadora (figura 4.11(a)). Esta placa es un convertidor analógico digital que se conecta entre el infrarrojo y la tarjeta PhidgetInterfaceKit 8/8/8 (ver apartado 4.5.3).

En total el vehículo incorpora 8 sensores infrarrojos de distancia media y uno en la parte frontal de larga distancia. En el capítulo 5 podemos encontrar una explicación detalla de la instalación de los infrarrojos en el vehículo.

(a) IR distancia media y placa adaptadora (b) IR de larga distancia

Figura 4.11: Sensores infrarrojos

4.5.3 Tarjeta PhidgetInterfaceKit 8/8/8

La tarjeta PhidgetInterfaceKit 8/8/8 permite conectar dispositivos a cualquiera de sus 8 entradas analógicas, 8 entradas digitales y/o 8 salidas digitales. Proporciona de una manera genérica y práctica la interfaz del PC con varios dispositivos.

Entradas analógicas Las entradas analógicas se utilizan para medir cantidades continuas, como la temperatura, la humedad, la posición, presión, etc. Existe una amplia variedad de sensores que pueden ser conectados directamente a la placa mediante el cable[1] incluido con el sensor. En ASEIMOV se han conectado una cantidad considerable de sensores infrarrojos y sonares a estas entradas analógicas.

Entradas digitales Las entradas digitales pueden ser usadas para transmitir el estado de pulsadores, interruptores de límite, relés, niveles lógicos, etc. Esta

[1] ver figura 4.9(a)

Figura 4.12: Tarjeta PhidgetInterfaceKit 8/8/8

tarjeta ofrece 8 terminales de entradas digitales, una de tierra y una de 5V.

Salidas digitales Las salidas digitales se pueden utilizar para manejar Led, transistores, etc. Además, las salidas digitales se pueden utilizar para controlar los dispositivos que aceptan una señal de +5V de control. La tarjeta ofrece 8 terminales de salida digital, una de tierra y una de 5V.

La tarjeta PhidgetInterfaceKit 8/8/8 es conectada directamente al ordenador mediante un cable USB.

4.5.4 Odometría visual

Consiste en utilizar sistemas, incorporados al vehículo, de visión por cámara para caracterizar, a través de técnicas de tratamiento de imágenes, el entorno visualizado (líneas, curvas,etc.) que se utilizará como referencia.

Los sistemas de visión han madurado considerablemente en la conducción inteligente. Numerosos algoritmos de conducción son llevados a cabo mediante sistemas de visión. Debido a ello, se han incorporado webcams a ASEIMOV para dar la posibilidad de desarrollar métodos de detección en un futuro. Ciertamente, el procesado de imágenes a tiempo real puede ser una tarea ardua y lenta que por el contrario presenta numerosas ventajas fiables.

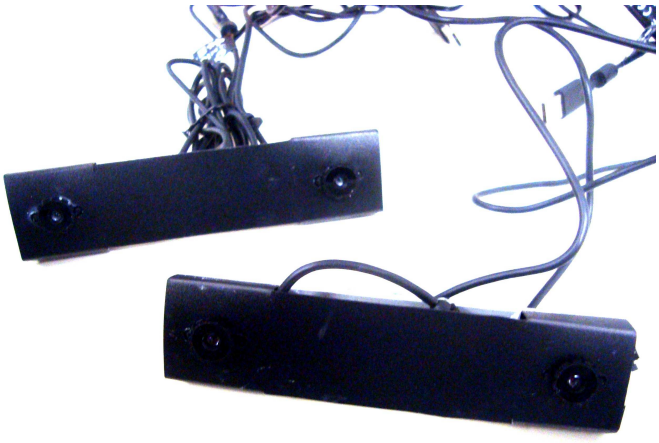


Figura 4.13: Cámaras web dentro de sus carcasas

Debido a ello se ha dotado a la plataforma de 4 cámaras: dos en la parte delantera y dos en la parte trasera del vehículo. De esta manera, el campo de visión que abarca el vehículo es adecuado para visualizar el medio que lo rodea.

Las cámaras incorporadas tienen las siguientes características:

- Sensor VGA (640 x 480 pixels).
- Captura de vídeo: hasta 640 x 480 píxeles.
- Fotos: hasta 1,3 megapíxeles (mejora por software).
- Captura de vídeo hasta 30 frames por segundo (con sistema recomendado).
- Micrófono integrado con tecnología Logitech RightSound.
- Hi-Speed USB 2.0 certificada.
- Clip universal para ordenadores portátiles, monitores LCD o CRT.
- Botón de instantáneas para capturar fotos.
- El enfoque manual.

Las webcams han sido desarmadas de su estructura original debido al es-

Figura 4.14: Batería XP8000

pacio enorme que ocupa cada una de ellas en su carcasa. Por lo que se han diseñado dos soportes, como vemos en la figura 4.5.4; en cada uno se integran dos cámaras. De esta manera se consigue visión estereoscópica en la parte delantera y posterior, integrándolas de manera elegante a nuestro vehículo. Con ellas podremos encontrar futuras soluciones de odometría visual.

4.6 Protección y gestión de la energía

La energía que se le suministra al sistema, es decir, al controlador del motor y al PC procede de una batería (XPAL Power batería externa universal XP8000) de polímero de litio. El polímero de litio es más estable que el litio y no es inflamable. Además, es moldeable y ligero, por lo que puede adaptarse a cualquier forma o tamaño. Esta batería incorpora 3 salidas con 3 niveles de tensión diferentes; empleamos dos: uno para el motor (9-12 V) y otro para el PC (16-20 V). El tercer nivel es una salida por USB de 5 V. Además, estos tres niveles, según los datos dado por el fabricante de la batería, tienen tres circuitos independientes. En la web `www.xpalpower.com` se nos asegura que podemos conectar la batería a 3 dispositivos independientes debido a la protección interna de la misma. Por otro lado, las dimensiones de la batería son adecuadas para el espacio que disponemos (109.2 x 73.7 x 23.0 mm).

Para mayor flexibilidad de la plataforma se han diseñado dos circuitos de

protección que se conectan a las dos salidas de la batería que usamos, pues si se decidiera colocar otra batería sin protección interna, ello sería posible gracias a la protección externa. En el capítulo 9 se explicará el diseño de dicho circuito.

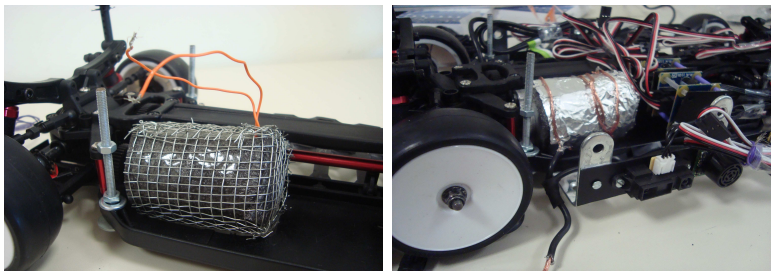
Para tener un punto a tierra, en el vehículo se ha pegado un cable de manera que en uno de los extremos una cantidad considerable de cobre roce el suelo todo el tiempo. Por la otra parte del cable aparecen dos cables: uno se conectará al PC y otro al cable enrollado sobre el motor, como se explica en 4.6.1. La finalidad es tener un punto de tierra para que la electricidad estática se descargue sin dañar ningún dispositivo ni a la persona que manipula la plataforma. Por tanto, el cable que se conecta con la placa base irá a la masa del mismo.

4.6.1 Protección electromagnética del motor

Un motor es un elemento mecánico que emite ruido eléctrico y, por tanto, campo magnético hacia sus alrededores. Los alrededores del motor en gran parte son elementos electrónicos vulnerables al ruido y por tanto a fallar por un mal aislamiento. Por ello, conviene reducir este efecto nocivo, por ejemplo con un tipo de blindaje alrededor del motor. El blindaje actúa como una jaula de Faraday que apantalla las señales de fuga debido al ruido eléctrico, y así reduce la radiación electromagnética que podría interferir con otros dispositivos.

El blindaje se ha realizado abrazando las dimensiones cilíndricas del motor con un trozo de esponja. De esta forma se reduce el riesgo de que cualquier pieza metálica produzca contacto eléctrico con el motor.

Test Jaula de Faraday Se ha conectado una fuente de tensión a los cables del motor. El motor en la realidad tendrá un controlador que sólo permite el paso de 1.5 A. Con un margen de seguridad del 87%, se ha limitado la corriente de la fuente a 1.3 A. Con un osciloscopio se ha conectado un canal al motor y otro



(a) Mallado (b) Papel de aluminio

Figura 4.15: Jaula de Faraday

a una malla metálica[2] que envuelve al motor, como vemos en la figura 4.15(a). Para poner la malla a tierra tomé un cable dónde una parte está conectado a tierra, en este caso al polo negativo de la fuente de tensión, y la otra parte directamente a la malla.

En la fuente he ido aumentando el valor de tensión y he visualizado la señal en los alrededores del motor. Efectivamente en el osciloscopio se ha podido ver unas mínimas interferencias.

Según lo analizado, el efecto del ruido del motor no es muy significativo, debido a ello como medida preventiva he aceptado el diseño de una jaula de Faraday. Sin embargo, para añadir más seguridad, he cambiado el mallado primero por una envoltura de papel de aluminio. De esta forma, se reduce aún más las longitudes de onda que podrían atravesar el encapsulado. Luego con un cable enrollado (véase la imagen 4.15(b)), se conecta a tierra dicho envoltorio y así se consigue una superficie equipotencial de tensión nula. El cable mencionado estará en contacto con el suelo proporcionando un punto de tierra para el motor y para el PC. La utilidad de este cable es despejar la electricidad estática contenida en el hardware del vehículo.

[2]Es un tejido de alambre conocido en el comercio como “malla mosquitero”.

4.7 Sistema informático

El desarrollo del sistema informático sobrepasa los límites de este proyecto. Sin embargo, la solución ha este apartado ha sido llevada a cabo por Aday Talavera Hierro. Esta es explicada en su proyecto final de carrera de Ingeniería Informática de la ULPGC, titulado "Diseño Hardware/Software para el control y monitorización de un vehículo eléctrico inteligente a escala". Se desarrolla el diseño del sistema informático y la aplicación JAVA para el control y la telemetría de ASEIMOV.

Parte II

Memoria justificativa

Capítulo 5

Elaboración del prototipo

5.1 Introducción

En este capítulo se narra paso por paso la historia de la construcción del prototipo. Aquí aparecerán las ideas que se han tenido, las que se han desechado y las que se han llevado a cabo a lo largo del tiempo de gestación de ASEIMOV. Para hacer más ameno al lector, la historia estará acompañada de imágenes y fotos tomadas a lo largo de la elaboración del vehículo. El fin de este episodio es poder tener una guía con el fin de realizar una réplica justificada del prototipo.

5.2 Historia de ASEIMOV

Antes de abordar el proyecto hubo que visitar varios portales de robótica por Internet, ver vídeos de vehículos a escala controlados por pc. Se visitaron a varios profesores de la ULPGC, expertos en temas de robótica. Se buscaron proyectos fin de carreras en la facultad de ingeniería, de informática y de telecomunicaciones de esta universidad. Con el fin de ampliar la información, se visitó la biblioteca de la facultad de Informática y de Ingeniería Electrónica

Figura 5.1: Subaru Impreza de Kyosho de radio control

y Automática de la Universidad de La Laguna (ULL), consiguiendo documentación acerca de proyectos de robótica, pues como se lee en 2.2.4.1, en dicha universidad hay muchos proyectos escritos a partir de un vehículo autónomo real.

En los inicios, se barajaba la idea de fabricar un chasis a escala, así como la carrocería. Se había pensado en materiales ligeros como aluminio y una carrocería de fibra previamente moldeada con mallas. Rápidamente se desechó esta idea debido a la complejidad y al tiempo que se debía emplear. Debido a ello, se pensó en adquirir un vehículo de radio control.

Un vehículo de radio control es una réplica un tanto fiel en el aspecto exterior a un vehículo real. Debido a ello se visitaron diferentes tiendas de modelismo de la isla, finalmente se localizó un Subaru Impreza (figura 5.1). Lo mejor, sin duda, de este vehículo de radio control es su chasis, pues es muy plano y dentro cabe, un tanto apretado, todo el sistema informático y electrónico necesario. Entonces, debido a que la restricción de espacio se respetaba, se decidió comprar este juguete.

Este coche en la realidad se emplea en carreras, sin embargo, en este trabajo lo útil es la estructura interna, pues simula un turismo a escala.

El siguiente paso fue la búsqueda de sensores y actuadores. Tras visitar varias webs [1], buscar sensores y actuadores y estudiar distintos presupuestos se optó por seguir las indicaciones de www.phidgets.com. Esta empresa nos ofertaba tarjetas controladoras del motor y del servomotor que por USB las podemos conectar al PC, así como tarjetas para conectar los sensores de la burbuja de seguridad. También adquirimos sensores ultrasonidos y sensores infrarrojos. Se estudió la posibilidad de incluir un sensor láser en la burbuja de seguridad. Debido a las características de este tipo de sensores, incorporar un sensor láser para la detección de obstáculos aumentaría la seguridad y la garantía de dicha burbuja. Sin embargo, el elevado precio de este sensor rompía con el paradigma de bajo coste de este proyecto. Esta es la razón por la que fue descartado.

Otro punto a favor de phidgets fue la extensa y detallada información que gratuitamente oferta su web.

Debido a ello, sin tardar mucho, pues intuíamos que el pedido tardaría un tiempo en realizarse, se hizo un pedido sobredimensinado de los elementos de robótica que phidgets ofrecía. En el presupuesto (11.2) podemos analizar detenidamente esta partida realizada.

El controlador de toda la instrumentación electrónica es una placa madre a bordo del prototipo. Para la elección de la placa madre había que tener en cuenta varios impedimentos. En el mercado se han buscado siempre las placas más pequeñas posibles con las mayores prestaciones posibles, como muchos puertos USB: debido a que una gran parte de dispositivos de nuestro prototipo se conectan por USB al PC. Otro punto ha sido la energía, nos interesaba una placa cuyo consumo energético fuera mínimo. Otro punto interesante es la wifi, una placa con wifi incorporada nos facilita la comunicación del vehículo con

[1] www.bricogeek.com/shop,www.ro-botica.com, www.superrobotica.com, www.todorobot.com.ar, www.phidgets.com

Figura 5.2: Placa base

otro PC remoto. Finalmente se optó por la placa Zotac IONITX MODELO A-E, como muestra la imagen 5.2.

Paralelamente también se buscó una fuente de energía. Como siempre, respetando la restricción de espacio, se ha hecho una búsqueda de baterías. La energía se emplea en el PC y en el controlador del motor eléctrico de corriente continua. En los inicios, se pensaba en una batería que ofreciera una potencia determinada. Según lo comentado en los prerrequisitos energéticos (3.7), es necesario incorporar una electrónica que proteja dos circuitos y que los separe, pues las corrientes parásitas inversas pueden dañar seriamente al PC y a lo que ya se ha instalado en él. Afortunadamente hemos localizado una batería (XPAL Power batería externa universal XP8000), como se comenta

Figura 5.3: Detalle del tamaño de la batería XP8000

en 4.6, capaz de ofrecer una cantidad de energía aceptable. Además, esta batería soluciona el problema del espacio, en la imagen 5.3 podemos comparar su tamaño.

En este punto del proyecto también se pensó en solucionar la odometría del vehículo. Inicialmente se pensó en un encoder en un eje de la rueda del vehículo. En phidgets se comercializaba una tarjeta de lectura de alta velocidad de un codificador óptico típico de 2 bits, la cual se conecta por USB al PC. Además, para detectar el movimiento, esta empresa ofrecía un acelerómetro de 3 ejes, entre otras cosas. Se decidió adquirir dicho acelerómetro pero no la tarjeta de lectura del codificador óptico. La razón es el paradigma del bajo coste y la limitación de espacio en el vehículo para incorporar un codificador óptico.

Debido a ello, se decidió realizar un codificador óptico casero para medir las revoluciones por minuto. El costo ha sido prácticamente nulo, pues hemos tomado la tecnología de un ratón mecánico que estaba en desuso. La idea reside en adaptar uno de los dos (a veces tres contando la rueda central) encoders del ratón para un eje de rueda del vehículo. Así pues, hemos introducido en un eje del tren trasero uno de los discos del ratón. Además, la placa del ratón fue correctamente cortada y soldados los cables oportunos para el correcto funcionamiento. Así se pudo colocar, con precisión en el vehículo. Luego, por software, se realizó la correcta lectura de las revoluciones por minuto. Para

más detalle ver el apartado 4.4.2.2. Un punto importante que origino fallos en un inicio fue la resolución del ratón. En un ratón la carcasa es fabricada a medida, de modo que los componente están perfectamente colocados para poder funcionar bien. En nuestro caso esto no se cumple. No tenemos carcasa, por tanto la holgura es enorme. De hecho, el disco tuvo que ser puesto en el eje varias veces hasta conseguir ser colocado lo más perpendicular posible. Cuando el motor giraba, el disco giraba dejando en el espacio de un círculo mal dibujado. Ante este problema, se pensó en disminuir la resolución del ratón y para ello se redujo el número de huecos del disco. Afortunadamente, el resultado fue satisfactorio y permitió tomar lectura a partir de este codificador óptico casero.

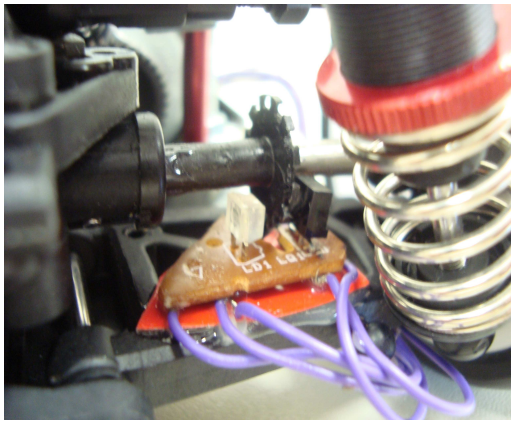
El motor que incorporaba vehículo originalmente es un motor típico de competiciones de carreras. Por ello, tuvimos un problema en el consumo energético. El motor consumía una intensidad mayor de 1.5A en vacío. Esto es un problema, debido a que el controlador del motor permitía el paso de 1.5A máximo. O bien podríamos haber elegido otro controlador o bien cambiar el motor. Optamos por cambiar el motor. La razón radica en que nuestro prototipo tiene el fin de realizar experimentos a escala. Por lo tanto, la velocidad máxima también ha de estar escalada, así pues, no es necesario un motor de alta velocidad, como el que originalmente incorporaba el vehículo.

Logramos encontrar un motor tal que cumpliera la restricción de energía y también la restricción de espacio, pues las medidas de la bancada del chasis original limitaban también la elección. El motor que empleamos es de la marca Johnson, las características las podemos ver en 4.3.1

Este motor tuvo un pequeño inconveniente de sencilla solución. El eje del motor era de mayor diámetro que el eje del motor original, debido a ello, el piñón que giraba solidario con el eje original, no encajaba en este caso. La solución fue trivial: realizar un taladro en el piñón.

(a) Disco cortado

(b) Disco cortado, agujeros tapados



(c) Encoder casero instalado en el prototipo

Figura 5.4: Codificador casero

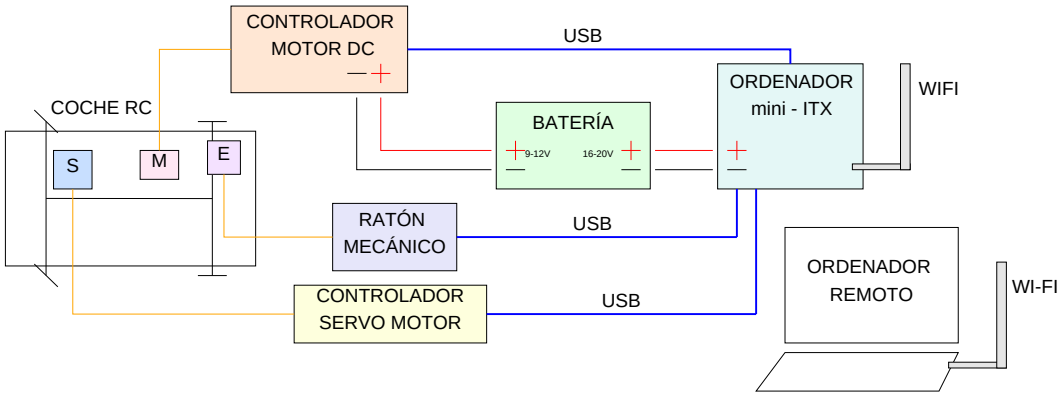


Figura 5.5: Esquema motricidad

Una vez realizada esta operación, se colocó el motor en el chasis con dos tornillos y se conectó en él la placa controladora. Luego, desde un pc y con un programa que phidgets nos ofrece se hicieron pruebas y se ratificó que el motor funcionaba bien, así como el servomotor.

El vehículo posee muchas placas controladoras de dispositivos, así como una placa madre. Para aprovechar al máximo el espacio libre entre el chasis original y la carrocería, la cual cierra este espacio, se ha decidido poner dos bandejas de metacrilato a diferente altura y a una distancia mínima, como ilustra la figura 5.6. El diseño de las bandejas se realizaron en AutoCad. La bandeja inferior tiene 8 taladros de 30mm de diámetro con el fin de tener huecos para pasar cables, aligerar peso y dar ventilación; la bandeja superior tiene tres taladros de igual diámetro para pasar los cables que se conectan a la placa madre. La placa inferior se reserva para colocar todas las placas controladoras: dos tarjetas de adquisición de datos de los sensores de la burbuja de seguridad (PhidgetInterfaceKit 8/8/8), la placa controladora del motor, la placa controladora del servomotor y la placa del acelerómetro en el centro del vehículo. La placa del ratón mecánico o ahora la placa del encoder descansa en la parte trasera del vehículo, en una especie de maletero. Hay otras placas, como los adaptadores para los sensores de distancia infrarrojos que, debido a su

Figura 5.6: Bandejas para las placas controladoras y el PC

pequeño tamaño, no las colocaremos en esta bandeja sino por los espacios libres del vehículo. Debido a la pequeña altura de estas placas, las distancias entre las bandejas son pequeñas. Esto es conveniente debido al poco espacio existente. Por último, la placa superior se reserva para colocar la placa madre. Para sujetar las bandejas decidí colocar 4 vástagos. Estos vástagos son el resultado del corte de un tornillo sinfín. Para instalarlas en el chasis se realizaron cuatro taladros y se sujetaron con el sistema tuercas-arandelas. Por otro lado, para sujetar las bandejas coloqué tuercas y arandelas plásticas.

Bajo la necesidad de sujetar los sensores alrededor del vehículo, en un primer momento se construyó unas barras de aluminio previamente diseñadas en AutoCad. Con las plantillas hechas se hicieron una cantidad enorme de agujeros. Esto fue debido a que se pretendía hacer una estructura flexible que permitiera colocar los sensores en diferentes posiciones alrededor del vehículo.

A la placa delantera se soldaron por los extremos unas placas pequeñas para conseguir un cierto ángulo e instalar en cada placa pequeña un sensor. Es decir, por cada placa pequeña delantera se colocará un sensor. Del mismo modo se realizó esta operación con la placa trasera. Debido a ello, se elaboraron unas plantillas de cartón que ayudaron a respetar el ángulo diseñado (figura 5.7(b)), mientras se soldaron las placas.

Mediante unas piezas llamadas escuadras, las cuales han sido ligeramente mecanizadas para adaptarlas al chasis, se colocaron estas placas en ASEIMOV.

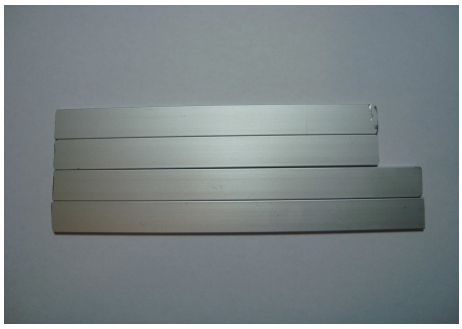
Como paso último con las placas, se pintaron de color negro con el fin de dar una capa aislante a las placas. El resultado final fue horrible, por lo que con mucha paciencia se desmontó esta estructura.

Tras discutir la manera de diseñar de nuevo esta estructura se eligió la que a continuación voy a explicar. En las partes laterales coloqué 3 escuadras por cada parte. En la parte trasera pegué una barra de aluminio ligera debajo del chasis y sobre ella coloqué 3 escuadras, donde dos de ellos forman 45º con respecto a la barra de aluminio horizontal. En la parte delantera se eliminó el parachoques original de foam y se fabricó una pieza de madera. Esta pieza permite colocar 4 pequeñas placas de aluminio, donde dos de ellas forman 45º con respecto a la horizonal. Las escuadras colocadas son menos pesadas y más finas que las antiguas. Se recomienda visualizar los planos, la explicación visual de este tema explica de manera más comprensiva la fabricación de los soportes.Sobre las escuadras coloqué unas barras de plástico duro de color negro[2] previamente taladradas. De esta manera se consigue una estructura rígida capaz de soportar los sensores y, sobretodo, flexible para quitar/poner los sensores y/o para quitar/poner incluso otras barras con otra configuración de la posición de los sensores, como muestra la figura 5.9.

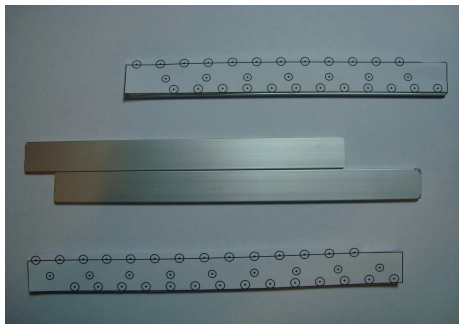
Así pues, los sensores fueron montados en los soportes anteriormente explicados, en la figura 5.12 podemos ver algunas imágenes del proceso de montaje de la burbuja de seguridad. La colocación de éstos ha sido la siguiente:

- En la parte frontal se han instalado 6 sensores. En cada esquina, formando 45º con la horizontal, un sonar. En la parte frontal a un nivel inferior se colocaron 3 infrarrojos, donde el central es un infrarrojo de

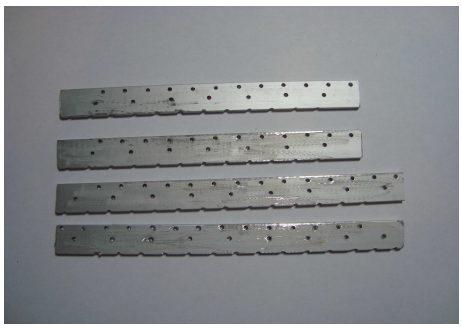
[2]Material empleado normalmente en la tapa trasera de las encuadernaciones de trabajos académicos.



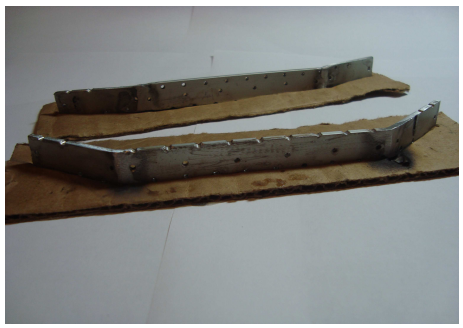
(a) Placas cortadas



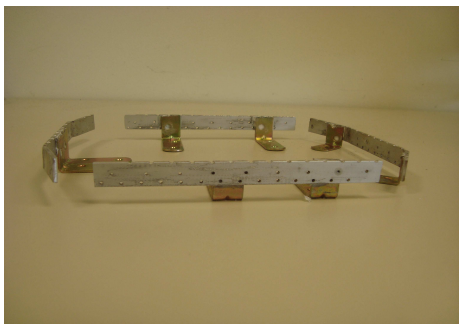
(b) Plantilla sobre las placas



(c) Placas taladradas



(d) Placas soldadas



(e) Distribución de las placas

Figura 5.7: Montaje de las placas de aluminio.

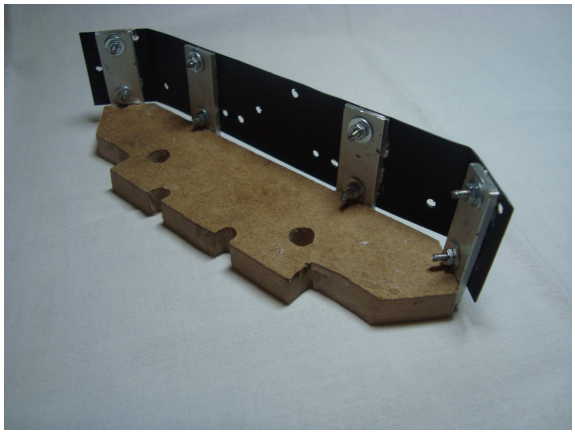


Figura 5.8: Sensores frontales

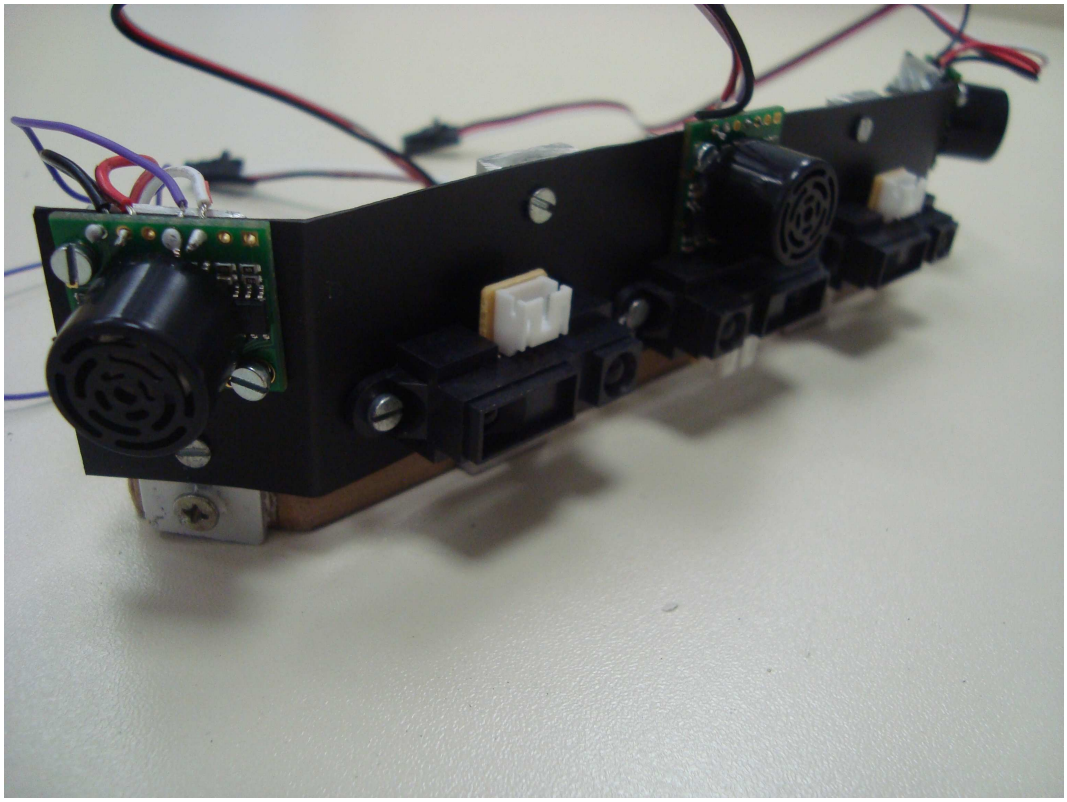


Figura 5.9: Estructura-soporte frontal de los sensores

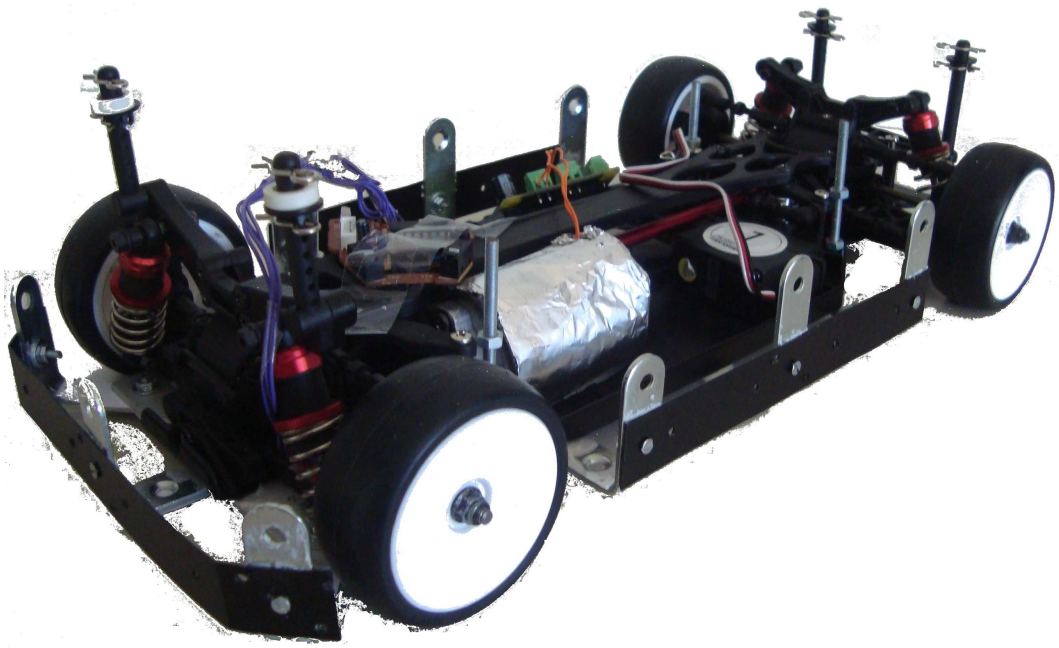


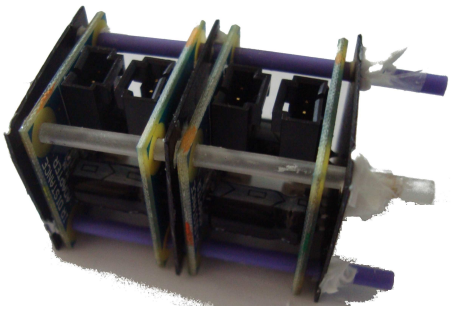
Figura 5.10: Estructura-soporte trasera y lateral de los sensores

largo alcance (20-120cm) y los de los lados infrarrojos de alcance medio (10-80cm), como el resto de infrarrojos de ASEIMOV. En un nivel superior, se instaló un sonar central.

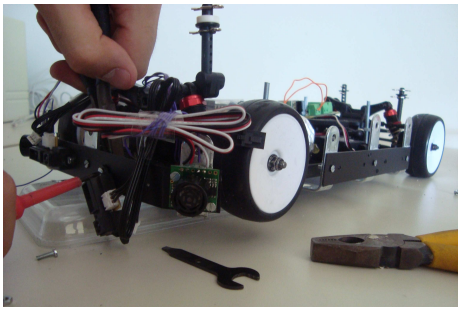
- La configuración por cada lateral es de 3 sensores: dos infrarrojos y en el centro un sonar. Ambos laterales poseen la misma configuración.

- En la parte trasera se instalaron 4 sensores. En cada esquina, formando 45º con la horizontal, un sonar. En la parte trasera se colocaron dos infrarrojos.

Por otra parte, las placas adaptadoras de los sensores IR, en total 9 en el vehículo, se han colocado de la siguiente forma: 3 sobre la pieza de madera de la parte frontal, 2 sobre las escuadras de la parte trasera, 4 entre el hueco existente entre el motor y el servomotor, sosteniéndolas con finos tubos de plástico. La visualización de los planos harán más compresible la colocación



(a) 4 placas adaptoras de los sensores IR



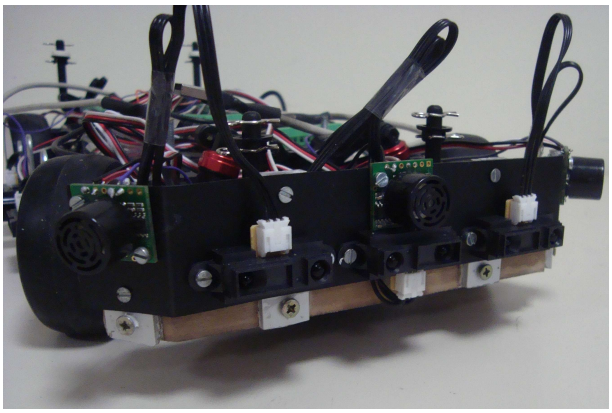
(b) Detalle colocación de los sensores

(c) Detalle del corte de los tornillos

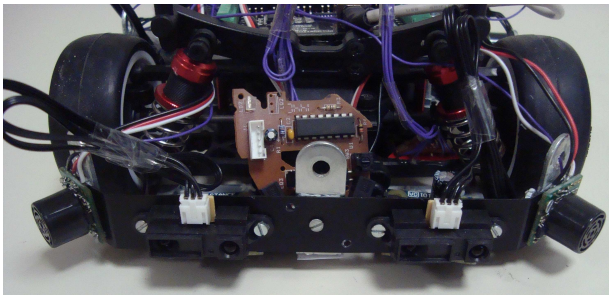
Figura 5.11: Instalación de la burbuja de seguridad

de los sensores.

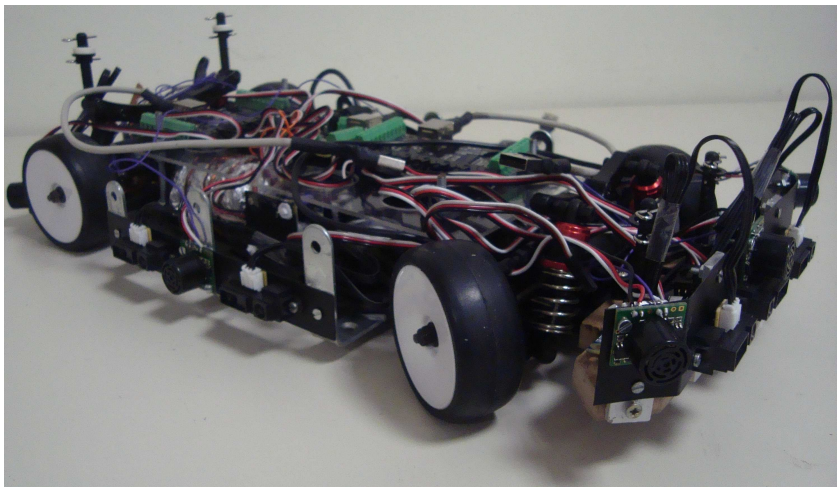
El siguiente paso consiste en el diseño de dos circuito de protección: uno de protección al PC y otro al actuador del motor. El primer paso ha sido estudiar qué parámetros se querían proteger. En el caso del actuador del motor, se pensó en proteger contra sobretensiones, sobreintensidades y corrientes inversas. En el caso del PC, se protegen los mismos parámetros más una etapa de filtrado que atenúa las señales mayores de 100MHz. Las simulaciones en el PC, con el software Pspice, se obtuvieron unos resultados que aportaron la confianza de proceder a montar los circuitos en protoboard. Las pruebas en el laboratorio de este circuito aseguraron el buen funcionamiento de los circuitos. Así que el siguiente paso ha sido diseñar un circuito impreso y luego llevarlo



(a) Sensores frontales



(b) Sensores traseros



(c) Sensores frontales y laterales

Figura 5.12: Burbuja de seguridad

a ejecución. El resultado final lo podemos ver en las figuras 5.13. Nótese que ambos circuitos pueden usarse o no. La batería nombrada en este proyecto no necesita de este circuito, debido a su protección interna. Sin embargo, otra batería puede no tener protección y en tal caso puede usarse este circuito.

(a) Circuito de protección del actuador del motor

(b) Circuito de protección del PC

Figura 5.13: Circuitos de protección.

Una vez montado este circuito en el coche, procedí a montar toda las placas en la bandeja inferior y el ordenador en la bandeja de metacrilato superior y conectar todo el sistema.

Paralelamente realicé el diseño de las estructuras de las cámaras web. Véase la imagen 4.5.4. A continuación se procedió a realizar el montaje de las cámaras web en el vehículo. La carcasa delantera se sostiene con una estructura ligera de metal.

Debido a que los cables USB eran demasiado largos, se han cortado y soldado nuevos conectores USB tipo A. En la imagen 5.14 podemos ver el detalle de uno de estos conectores. Además, debido a que necesitamos más conectores USB de los que la placa ofrece, hemos instalado un hub USB de 4 puertos, en ellos se conectarán aquellos dispositivos que consuman menos corriente, principalmente el acelerómetro, el ratón mecánico y el disco duro.

Otro paso delicado ha sido el corte de la carrocería, ver figura 5.15. Pues se

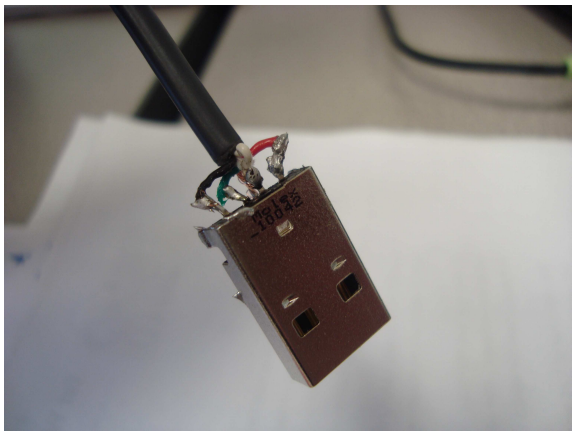
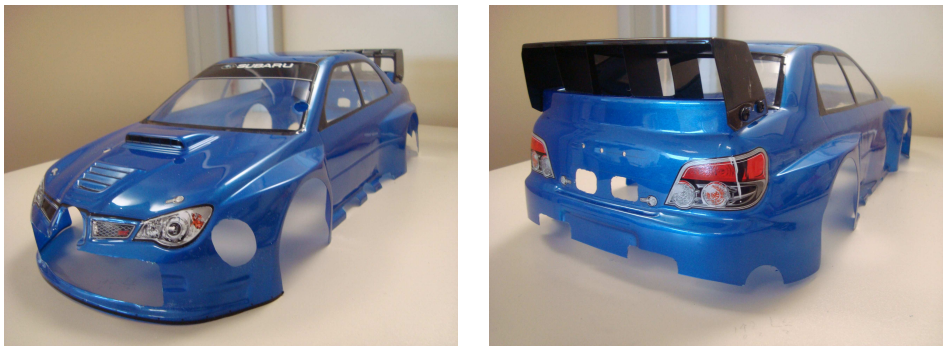


Figura 5.14: Conector USB soldado

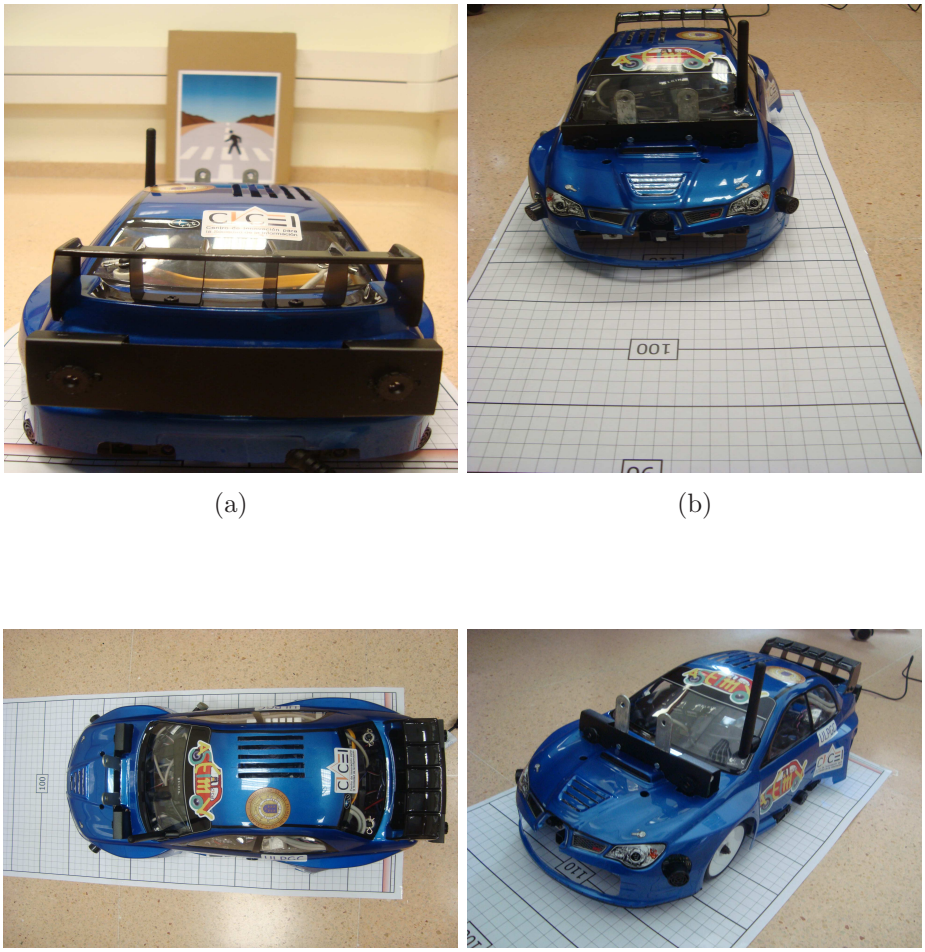
ha adaptado la carrocería antigua al nuevo vehículo. Por ello se han realizado cortes en las partes dónde se localizan los sensores, con el fin de adaptarla lo más posible.



(a) Vista frontal e izquierda (b) Vista trasera y derecha

Figura 5.15: Carrocería cortada.

Finalmente, se ha probado que funciona el hardware, el sistema informático y la telemetría. Es decir, que lo realizado en ambos proyectos, tanto el realizado en informática como el presente proyecto, han conseguido que el vehículo funcione. Por lo que la instalación de la carrocería que vemos en la figura 5.15 da concluida la construcción de ASEIMOV. El aspecto final lo podemos apreciar en las figuras 5.16 y 5.17.



(a) (b)

(c) (d)

Figura 5.16: Vehículo final (I)

Figura 5.17: Vehículo final (II)

Capítulo 6

Calibración de sensores

6.1 Introducción

En este capítulo se muestra la metodología empleada para el análisis de la calibración de sensores. Estos sensores pertenecen a la burbuja de seguridad. No obstante, el estudio de la calibración debe de extenderse a cualquier dispositivo perceptor. Se muestra en este episodio el estudio con dos tipos diferentes de sensores de distancia: sensor sonar e infrarrojo. De cada uno de estos dos tipos obtendremos las curvas de calibración.

6.2 Metodología

En las hojas de características de los sensores podemos conocer el rango de distancias en el que es válida la medida de los sensores. Además la medida en tensión de cada sensor, con el software desarrollado en el sistema informático, nos traduce a un valor en *cm* de la medida percibida por el sensor en cuestión.

Situando el sensor de distancia a 10 cm de la pared, se ha ido tomando muestras con el vehículo de manera que el sensor midiera distancias de 10 en 10 cm. Con lo cual para este estudio el rango de medidas de los sensores es de

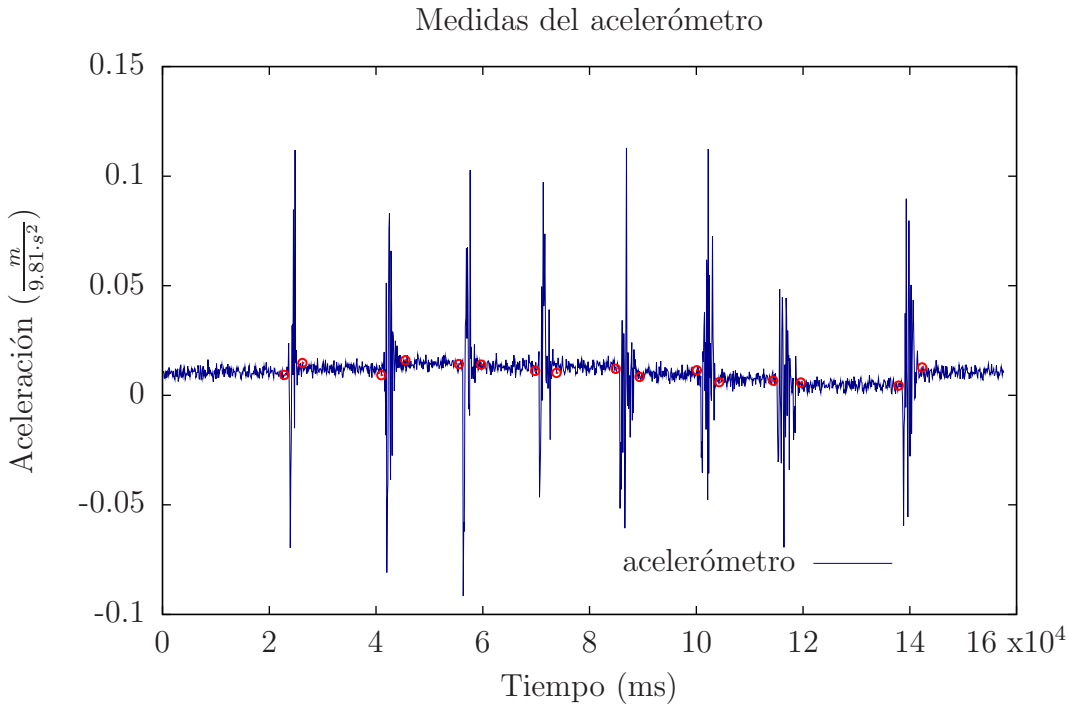


Figura 6.1: Medida del acelerómetro

10 a 90 cm. En cada punto hemos tomado más de 100 muestras. Sin embargo, en el análisis tomaremos 100 muestras en cada uno de los puntos, para poder comparar con el mismo número de muestras.

Además se ha conectado al mismo tiempo el acelerómetro. El acelerómetro da un pulso cada vez que el coche se mueve y se para. Este pulso servirá de límites para cada medida. En la figura 6.1 podemos ver en azul la curva descrita por el sensor. Los círculos rojos indican que el vehículo ha sufrido una aceleración brusca, esto corresponde con el cambio de vehículo parado a vehículo en movimiento.

Detectando los puntos de pulso podremos detectar los puntos de cambio de distancia del coche a la pared. Así conseguimos seleccionar los puntos que pertenecen a cada medida por el sensor.

Ambos sensores toman datos con la misma frecuencia de muestreo. Para

este caso se ha fijado a 50 ms.

El siguiente paso es filtrar los datos de cada medida para obtener el valor de continua. La etapa de filtrado se realiza en dos etapas. La primera etapa consiste en un suavizado de las muestras con la función *smooth* en Matlab. Con esta función se ha elegido la versión *rloess*. Esta versión es una de las más robustas que tiene la función *smooth*, pues el método elimina para el filtrado aquellos valores o puntos cuyas medias de las desviaciones absolutas superen el valor 6. La segunda etapa de filtrado consiste en realizar una transformada de fourier. En Matlab usamos la función *fft*. El valor absoluto de la transformada de fourier nos proporciona un espectro dónde podemos detectar los valores de máxima amplitud y así discriminar, para un valor de amplitud determinado, aquellos valores ruidosos. Una vez hecho este filtrado manual, realizamos la transformada inversa de fourier para regresar al dominio del tiempo. Para ello empleamos la función *ifft* de Matlab.

Al final de este método se consigue un vector con el valor de continua de la señal. Así que tomamos la media de ese vector para conseguir las distancias medidas por los sensores.

En este apartado tenemos las medidas en cm de lo devuelto por el sensor y las medidas reales. Por lo tanto, en una gráfica representamos los puntos obtenidos. Finalmente, ajustamos los puntos a una curva para conseguir la curva de calibración, según la literatura estudiada ([21]). Con esta curva, para un rango determinado, podemos tomar una medida del sensor y relacionar esa medida con el valor real. Nótese que la curva perfecta o teórica coincidiría con una recta de pendiente uno. Sin embargo, se mostrará que en la realidad no se conseguirá la teórica recta de pendiente unitaria. Para detectar qué curva se adapta mejor a nuestros puntos se ha empleado la interfaz gráfica de Matlab *cftool*. En ella se han probado varios métodos de ajuste y comparado la bondad de ajuste de la curva en cada caso.

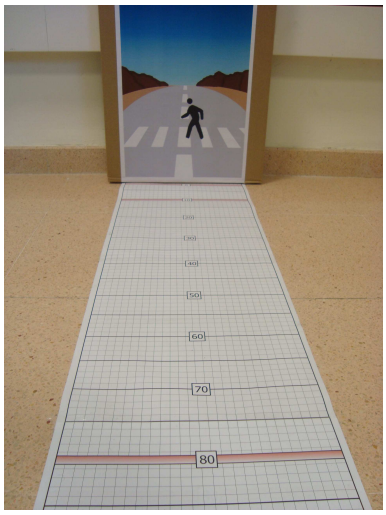


Figura 6.2: Escenario para la calibración de sensores

6.2.1 Escenario

Para realizar este experimento se ha diseñado un pequeño escenario, como vemos en la figura 6.2. En él encontramos un dibujo que servirá de pared. Además, en el suelo se ha pegado una especie de alfombra de papel con las medidas de un punto a la pared descrita.

De esta manera, situaremos al vehículo delante de la pared, de modo que el sensor que se desee estudiar, pueda ser localizado a una distancia conocida de la pared.

6.3 Calibración sonar

Cada vez que el sonar toma un valor, el software interpreta ese valor de acuerdo a la ecuación 6.1 dada por el fabricante.

La fórmula para traducir el valor del sonar a distancia es la siguiente:

$$distancia(cm) = ValorSensor \cdot 1.296 \tag{6.1}$$

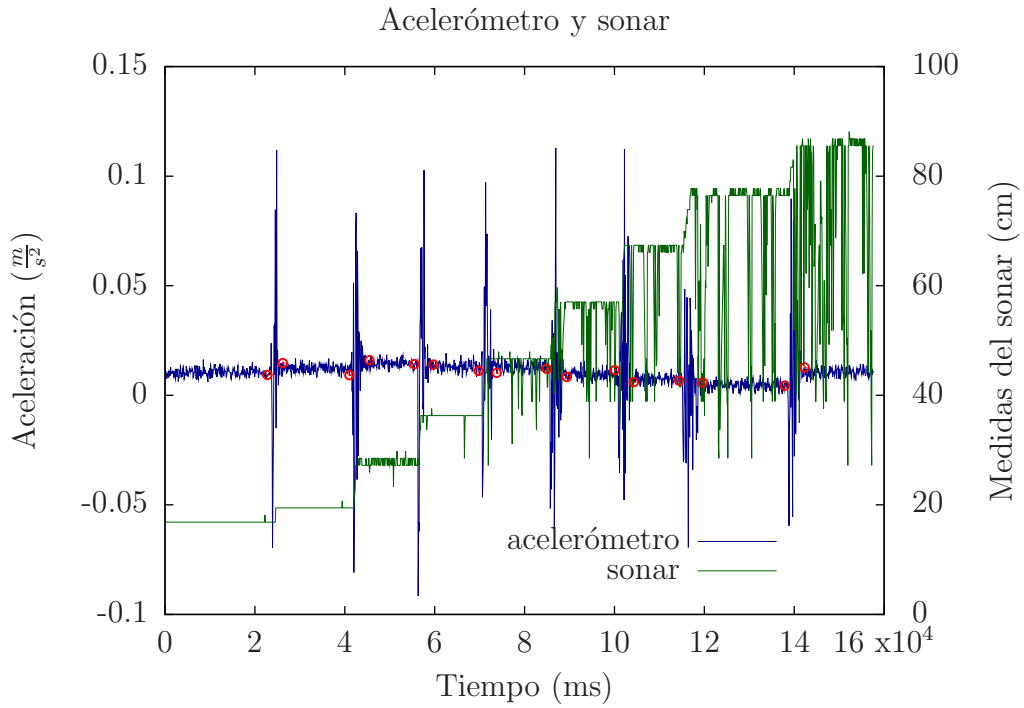


Figura 6.3: Medidas del acelerómetro y del sonar

Paralelamente el acelerómetro ha tomado datos también. Por ello en un primer lugar hemos determinado los intervalos dónde el sensor mide en la misma distancia. En el gráfico 6.3 quedan marcados en círculos rojos. Teniendo ese dato, se ha determinado en la curva de las medidas del sonar los intervalos de medida.

Las medidas se han realizado de 10 en 10, en un rango de 10 a 90 cm. Comprobamos con el gráfico que cuando el sensor mide valores pequeños aparece el efecto de la fidelidad. Por otro lado, cuando medimos valores altos, en el sensor aparece el efecto de la exactitud [22].

También comprobamos que el funcionamiento del acelerómetro y del sensor sonar son coherentes, con lo cual, en un primer momento podemos decir que ambos sensores pueden trabajar juntos.

Tras la etapa de filtrado, podemos concluir que los efectos de la exactitud

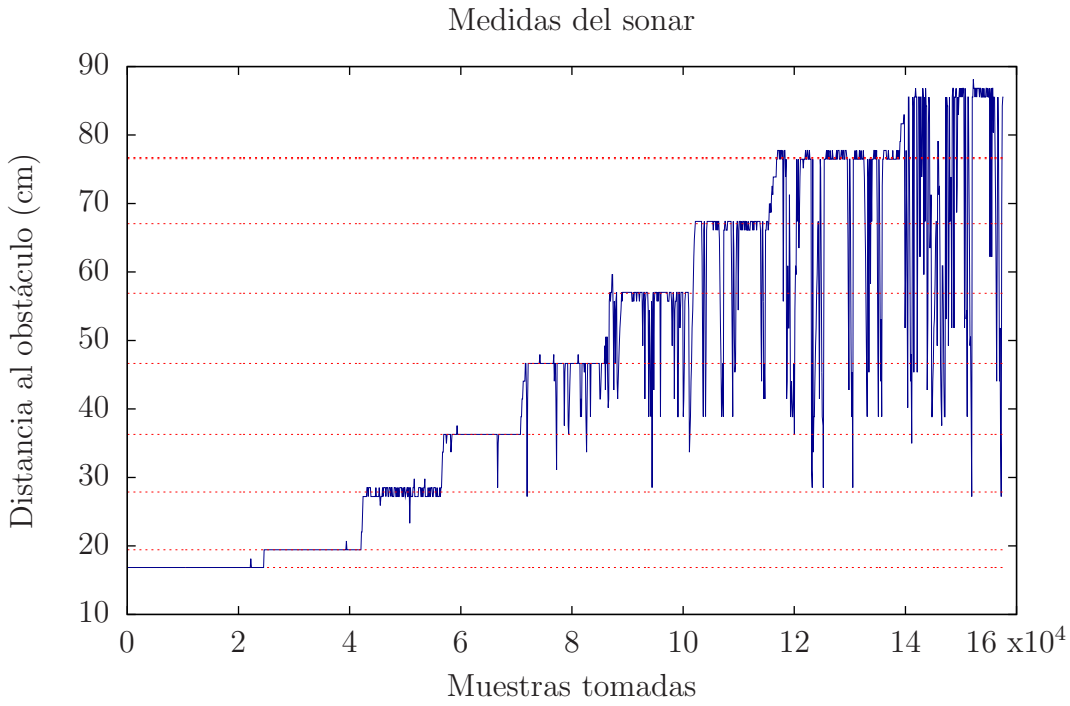


Figura 6.4: Medidas del sonar y valores medios

influye notoriamente. Pues nuestro filtro no ha sido capaz de detectar el valor de continua en las muestras tomadas a 90 cm entre el sonar y la pared. El gráfico 6.4 muestra los valores de continua en la medición en estático del sonar, salvando el último punto de medición, dónde la variación de las medidas son exageradas.

El último paso es calcular la curva de calibración, ver figura 6.5. Tras probar varios métodos de ajuste, se ha optado por una curva polinomial de 4º grado. Por lo tanto, un valor medido por el sensor y traducido por el software instalado actualmente, puede ser introducido a la ecuación 6.2 para obtener el valor real. Según el ajuste de la curva en Matlab, la bondad de ajuste es del 97.79%.

$$f(x) = -4.371 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 + 0.001207 \cdot x^3 - 0.1097 \cdot x^2 + 5.003 \cdot x - 46.76 \quad (6.2)$$

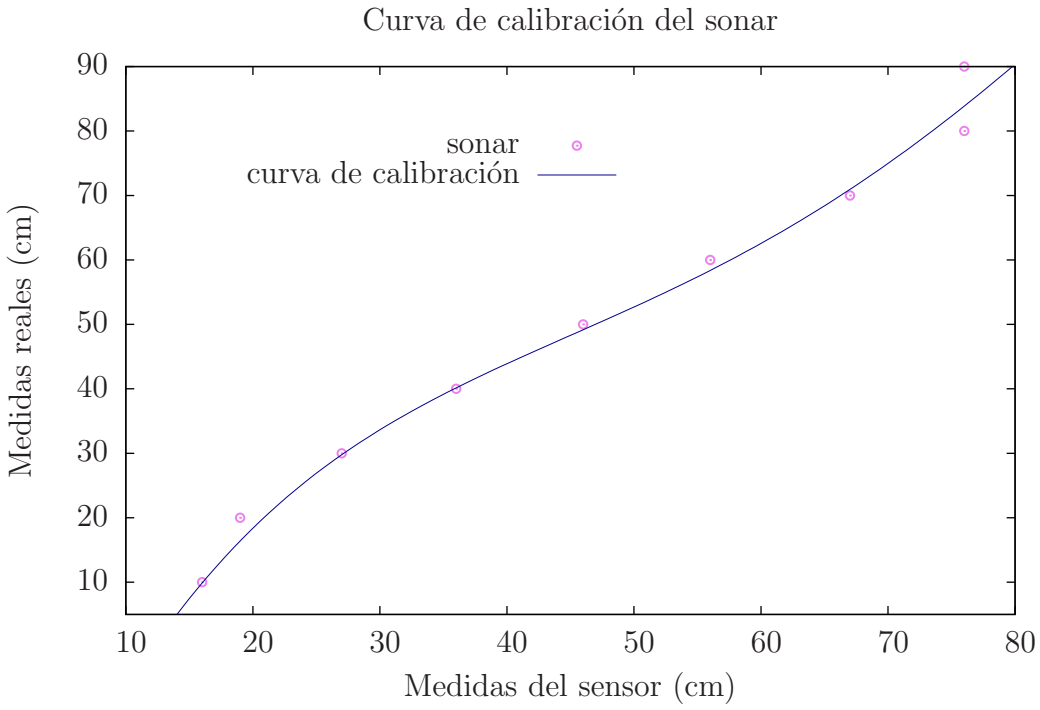


Figura 6.5: Curva de calibración del sonar

Rango	$[16.8 - 76.5]\,cm$
Fondo de escala	$76.5\,cm$
Escala de medida	$59.6876\,cm$
Salida a fondo de escala	$90\,cm$

Tabla 6.1: Características curva de calibración del sonar

Finalmente, las características más significantes de la curva de calibración las vemos en la tabla 6.1.

6.4 Calibración sensor infrarrojo

En el vehículo se han instalado 9 sensores infrarrojos, de los cuales 8 son de distancia media y uno de larga distancia, como se explica en 4.5.2. Este estudio de calibración hace referencia al tipo de sensores de distancia media, es decir,

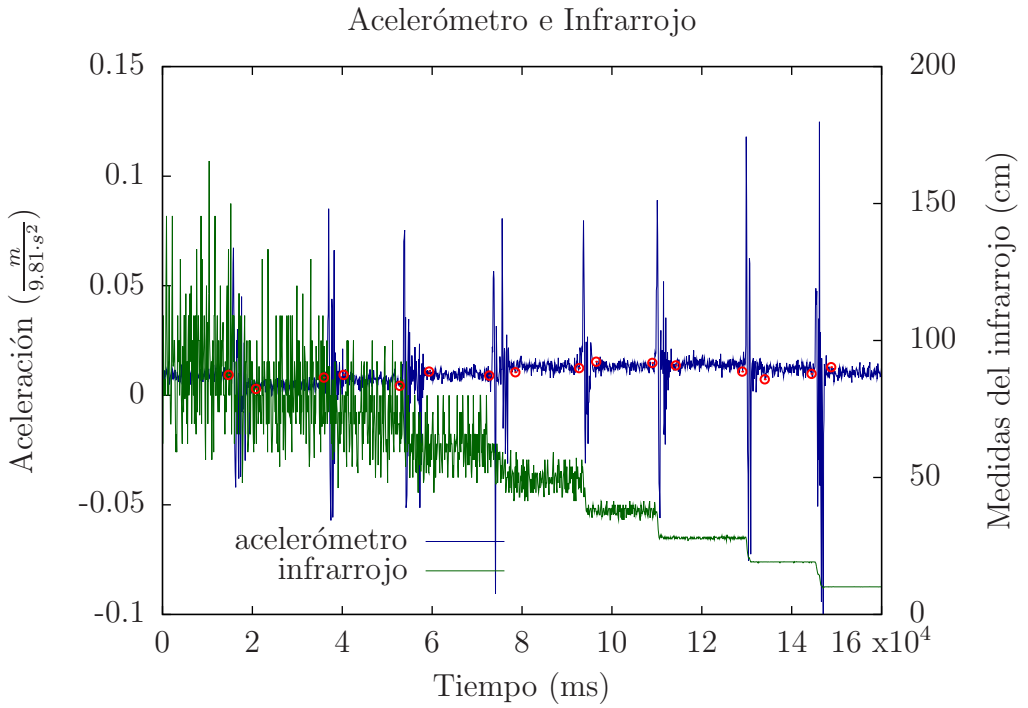


Figura 6.6: Medidas del acelerómetro y del infrarrojo

los de rango [10 -80]cm, según los datos del fabricante.

Al igual que en el caso anterior, el fabricante ofrece la ecuación para transformar la tensión en distancia en cm. Por software encontramos esa relación según la ecuación 6.3.

$$distancia(cm) = \frac{4800}{ValorSensor - 20} \tag{6.3}$$

Al mismo tiempo el acelerómetro ha tomado datos también. Con estos datos, en un primer paso hemos determinado los intervalos dónde el infrarrojo mide en la misma distancia. En el gráfico 6.6 quedan marcados en círculos rojos. Teniendo esos límites, se han determinado en la curva "medidas del infrarrojo" los intervalos de igual medida.

Las medidas se han realizado de 10 en 10, en el rango de 90 a 10 cm, es

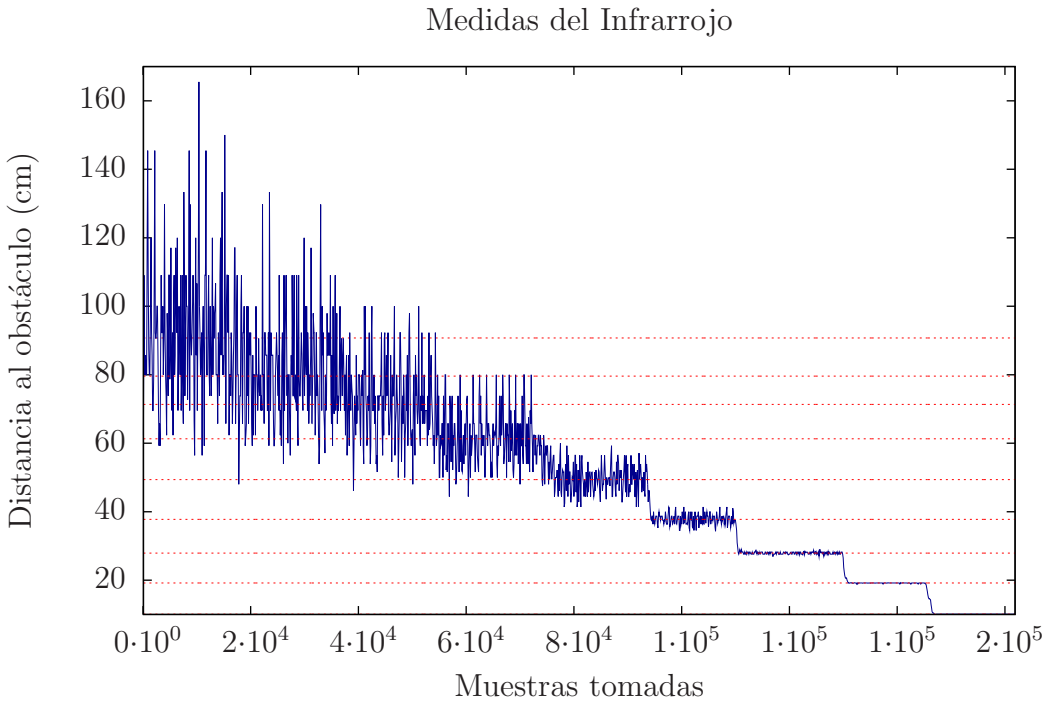


Figura 6.7: Medidas del infrarrojo y valores medios

decir, primero hemos medido a 10 cm de la pared hasta llegar a 90 cm, justo al revés que en el caso del sonar. Este orden es irrelevante, pues lo interesante es tomar muchas medidas en en un punto. Comprobamos con el gráfico que cuando el sensor mide valores altos, aparece el efecto de la exactitud.

También comprobamos que el funcionamiento del acelerómetro y del sensor sonar son coherentes, con lo cual, en un primer momento podemos decir que ambos sensores pueden trabajar juntos, al igual que en el caso anterior del sonar y acelerómetro.

La etapa de filtrado, a diferencia que con el sensor sonar, ha logrado extraer de manera aceptable los valores de continua de la señal en cada intervalo de medida. El gráfico 6.7 muestra los valores de continua en la medición en estático del sensor en cuestión.

El último paso es calcular la curva de calibración, ver figura 6.8. Tras probar

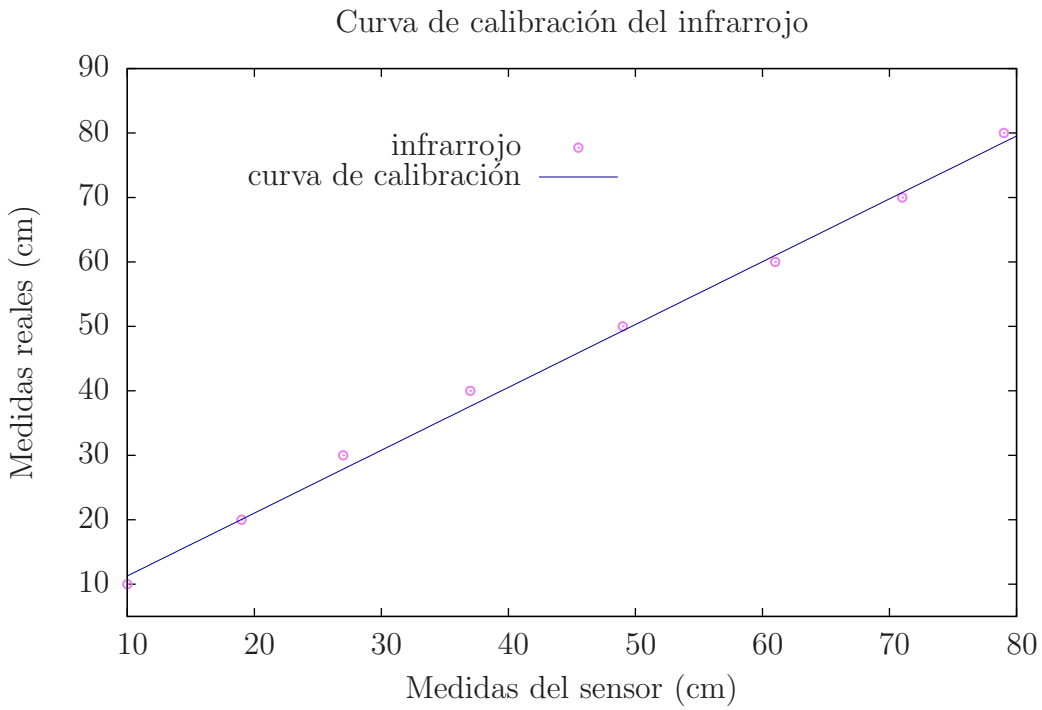


Figura 6.8: Curva de calibración sensor infrarrojo

varios métodos de ajuste, se ha optado por la ecuación de la recta, como vemos en la ecuación 6.4. Según el ajuste de la curva en Matlab, la bondad de ajuste es del 99.84%. Debido a que este dato en este caso presenta un índice mayor que la bondad de ajuste en sensor sonar, se ha aceptado ajustar los puntos a una recta.

$$f(x) = 0.9751 \cdot x + 1.531 \tag{6.4}$$

Finalmente, las características más significantes de la curva de calibración las vemos en la tabla 6.2.

Rango	$[10 - 90.1]\,cm$
Fondo de escala	$90.1\,cm$
Escala de medida	$80.1\,cm$
Salida a fondo de escala	$90\,cm$

Tabla 6.2: Características curva de calibración del infrarrojo

Capítulo 7

Test realizados

7.1 Introducción

Se han realizado unas pruebas sencillas con el objetivo de empezar a probar la plataforma. Se ha optado por realizar una calibración de dos sensores, cuyo estudio lo vemos en el capítulo 6, medir la duración de la batería e implementar un algoritmo sencillo para detener el vehículo cuando se encuentra con un obstáculo de frente.

Las pruebas de este capítulo se han realizado en colaboración con Aday Talavera Hierro, con objeto de poder estimar las posibilidades de la plataforma.

7.2 Duración de la batería

En esta prueba se ha comprobado la duración del vehículo encendido a pleno rendimiento, utilizando la batería como fuente de energía. En este contexto, a pleno rendimiento se entiende como el estado en el que se utilizan todos los sensores disponibles a la vez que se mueve el vehículo.

Para hacer este test se ha cargado la batería del sistema completamente y se ha controlado el tiempo con un cronómetro desde que se ha encendido

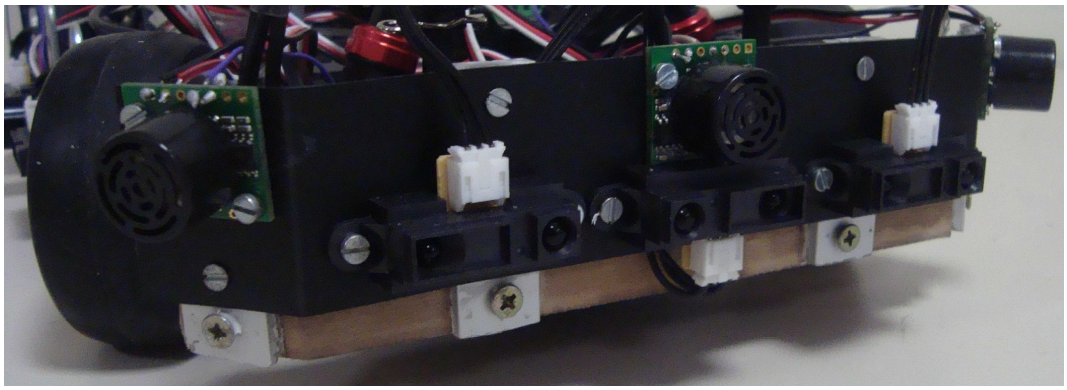


Figura 7.1: Sensores delanteros de ASEIMOV

el sistema informático hasta que se ha agotado la energía de la batería. El pleno rendimiento se ha conseguido visualizando en el software desarrollado, de manera simultánea, todos los sensores y cámaras del vehículo mientras el coche se movía por una habitación.

Se ha realizado este test en dos ocasiones diferentes. Se concluye con que la autonomía de nuestro prototipo alcanza como máximo 50 min.

7.3 Detener automáticamente el vehículo ante un obstáculo

En esta prueba se ha implementado un algoritmo para detener el vehículo cuando se le presenta un obstáculo de frente.

Para ello se ha utilizado un sensor de la parte frontal del vehículo, donde disponemos de dos infrarrojos de corta distancia, un infrarrojo de larga distancia y un sonar. La disposición de estos sensores puede verse en la figura 7.1.

Se ha desarrollado una pequeña aplicación que controla el motor y obtiene los datos de estos sensores. El algoritmo utilizado es el siguiente:

```
avanzarMotor()
```

```
mientras( distanciaSensor > umbral )
{
    avanzarMotor();
}
detenerMotor();
```

Esta pequeña aplicación ha sido implementada aprovechando la aplicación realizada por Aday Talavera Hierro.

Al algoritmo se le pasan los siguientes parámetros:

- Ip del servidor.
- ID del sensor con el que se mide. A cada sensor se le ha asignado un código para poder ser identificados.
- Velocidad con la que avanza el motor.
- Umbral de distancia a la que debe detenerse el vehículo.

Capítulo 8

Distribución de masas

8.1 Introducción

En este capítulo se ha realizado una aproximación de cómo debe ser la distribución de pesos en nuestro prototipo según un vehículo real. Los elementos empleados en nuestro vehículo son principalmente plásticos, y en consecuencia, el comportamiento de los mismos en dinámico no serán iguales a un vehículo real, atendiendo a las diferencias de las propiedades físicas de ambos vehículos. Además, nuestro vehículo no es un vehículo dónde viajan pasajeros, por tanto el interior no se parece a un turismo escala 1:1. Sin embargo, teniendo en cuenta estas limitaciones, se pretende que este prototipo sea lo más fiel a uno real en cuanto a la distribución de pesos en estático.

El interés reside en lo parecido que puede llegar a ser la conducción de nuestro prototipo, comparado con el comportamiento de la circulación de un turismo real. Presuponemos que lograr esta meta, nos suavizará el futuro control adaptativo de ASEIMOV.

Por lo tanto, se procede a explicar la metodología propuesta para realizar una distribución de masas según un vehículo eléctrico real.

8.2 Masas de un vehículo eléctrico

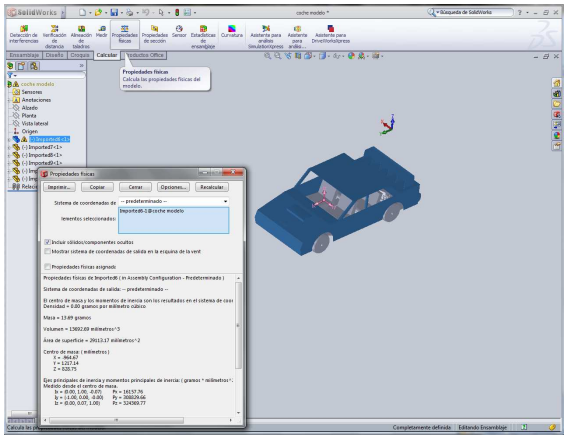
El primer paso consiste en conseguir un vehículo eléctrico real dónde se diferencie la distribución de pesos de cada componente. De esta manera, en estático, podríamos estudiar las diferentes partes del vehículo y la geometría de los elementos más pesados. Un dato relevante será conocer los centros de gravedad de cada parte. Cuantos más datos se conozcan de la distribución de pesos, más podríamos acercar la distribución de masas de nuestro vehículo a escala.

En este primer acercamiento a un estudio de escalado de masas, con el software AutoCAD se ha modelado un vehículo real a base de sólidos 3D. En dicho vehículo se han agrupado cinco partes diferentes: ruedas, baterías, chasis y mecánica interna, carrocería y motor. Hemos considerado que estas partes son las más pesadas y significativas en un vehículo real. Cuantas más partes se diferencien y sus modelados sean más reales, mejor será el estudio.

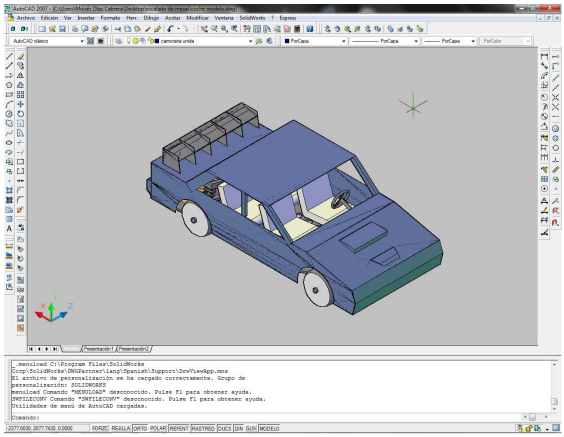
Entonces, en AutoCAD con el comando *juntar*, se reunieron los elementos de piezas comunes. Por ejemplo, una rueda tiene tres elementos diferentes modelados: neumático, llantas y perno o tornillo. Para este apartado se juntaron esas tres piezas en una. De la misma manera se juntaron las cuatro ruedas en una pieza sola. Las piezas unidas tienen una importancia en el peso global del vehículo. Un tornillo, por ejemplo, no presenta un peso significativo en el peso global. Debido a ello, el peso del tornillo se ha juntado con el peso del neumático y de la llanta. Pues estos tres elementos juntos si presentan un peso considerable.

Posteriormente, con un programa de diseño mecánico llamado Solid Edge, versión 9, se ha importado el dibujo realizado en AutoCAD, con la extensión *.sat*. En la figura 8.1 vemos los entornos de ambos programas.

Lo siguiente será calcular los centros de gravedad *(cdg)*. En Solid Edge es posible conocer datos acerca de las propiedades físicas de nuestro modelo.



(a) Entorno Solid Edge



(b) Entorno AutoCAD

Figura 8.1: Entornos de los programas de dibujo utilizados

8. Distribución de masas

	Peso(kg)
Conjunto de baterías	250
Motor	160
4 ruedas: llanta + neumático 205/55 R16	80
Peso del vehículo en vacío	1.543

Tabla 8.1: Datos de masas del Renault Fluence Z.E.

Figura 8.2: Vehículo para comparar: Renault Fluence Z.E.

Solid Edge es capaz de analizar las propiedades físicas de cada parte del modelado y, a su vez, todo el modelado. Por lo tanto, según el sistema de referencias, por medio de este software determinaremos los cdg. Es importante que tanto AutoCad como Solid Edge, mantienen el mismo sistema de referencias.

Debido a ello, a cada parte del vehículo se le ha asignado una masa según la tabla 8.1. Estos datos hacen referencia al Renault Fluence Z.E., (ver imagen 8.2), los cuales han sido tomados a través de la información encontrada en la web.

El dato del peso del chasis y de la carrocería no se han encontrado. Sin embargo, con el Solid Edge se ha estimado el peso de la carrocería: sabemos que las carrocerías están elaboradas con diferentes aleaciones, principalmente son de componentes de aluminio (70%) y de acero (30%). En dicho software se le ha asignado una densidad, según la aleación descrita, a la carrocería modelada.

Así, al tener el volumen de la carrocería modelado, se ha determinado el peso de la misma, el cual ha resultado 265 kg. Este valor responde a los valores normales de carrocerías. Por otro lado, el peso resultante de la diferencia peso del vehículo en vacío y la sumatoria de todos los demás pesos, se ha asignado al chasis del vehículo, este resultó 788 kg.

Posteriormente, tras asignar un peso a cada parte del vehículo modelado, se han calculado los centros de gravedad de cada parte y, finalmente, el centro de masas del vehículo.

En la figura 8.3 podemos visualizar el vehículo eléctrico que hemos modelado y una figura con el centro de masas del vehículo, considerado como una masa heterogénea.

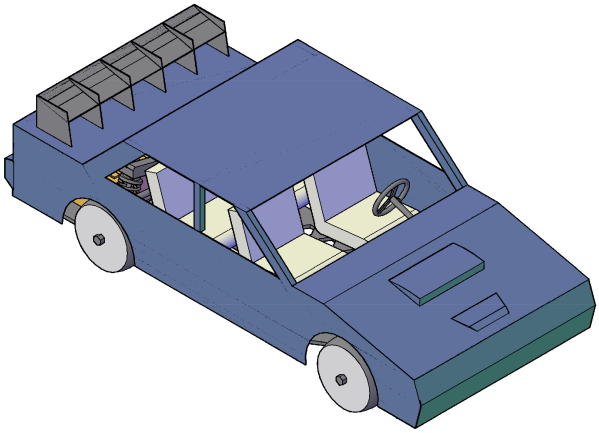
Una vez conocido los centros de gravedad, podemos realizar la comparación de diversas maneras. Para este proyecto se ha decidido realizar el escalado a partir del peso que descarga cada rueda, es decir, de la reacción de cada rueda con el piso.

8.2.1 Cálculo de los pesos en las ruedas

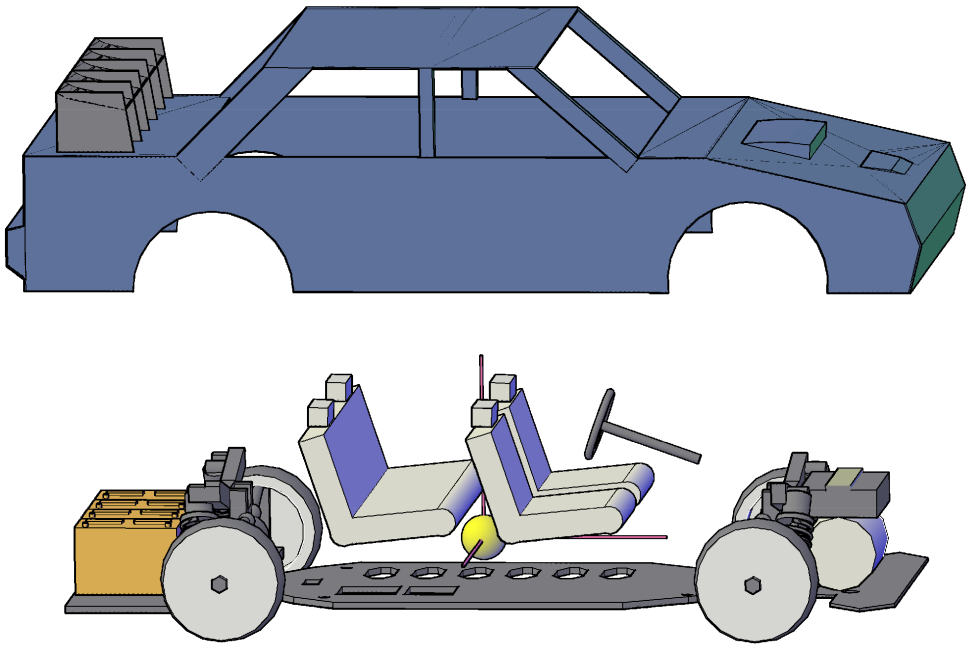
Antes de comenzar esta parte, es preciso definir en el glosario los términos centro de masas, centro de gravedad y centroide.

Este método es un procedimiento genérico empleado frecuentemente para el cálculo de centros de masas en vehículos a escala real. Según [23], se pueden determinar las coordenadas del centro de gravedad de un coche (x_G, y_G, z_G), conociendo el reparto cargas sobre los ejes del vehículo (trasero - delantero) y al peso propio del mismo.

Nuestro problema es el inverso. En este punto conocemos las coordenadas del centro de masas y pretendemos averiguar el peso que descarga cada rueda. Afortunadamente, el procedimiento que presenta la literatura puede emplearse



(a) Imagen del vehículo



(b) Centro de masas (esfera amarilla)

Figura 8.3: Vehículo eléctrico modelado

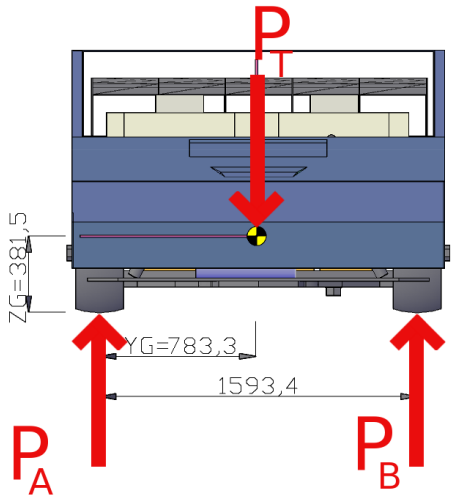


Figura 8.4: Vista frontal de vehículo modelado

en este caso inverso. Nótese, que en la realidad existe instrumental para calcular el peso de cada rueda en estático.

8.2.2 Ruedas laterales

Para calcular las reacciones en las ruedas derechas e izquierdas realizamos la resolución de un problema sencillo de pesos en una barra, (ver figura 8.4.)

Tomamos momentos en el lateral izquierdo:

$$\sum M = 0 \tag{8.1}$$

$$-783.3 \cdot P_T + 1593.4 \cdot P_B = 0 \tag{8.2}$$

Sabemos que la masa del vehículo en vacío es de 1543 kg. En unidades de fuerzas tendríamos:

$$P_T = m_T \cdot g = 1543 \cdot 9.81 = 15136,83\,N \tag{8.3}$$

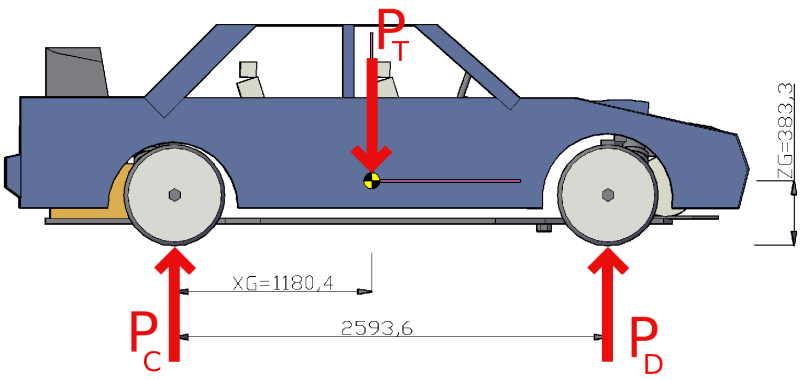


Figura 8.5: Vista lateral del vehículo modelado

En consecuencias, tenemos que $P_B = 7441.12\,N$, o en unidades de masa: $m_B = 758.52\,kg$.

Por otro lado, se resuelve la siguiente igualdad:

$$P_A + P_B = P_T \tag{8.4}$$

En consecuencias: $P_A = 7695.71\,N$, ó, $784.48\,kg$.

8.2.3 Ruedas delanteras y traseras

Para calcular las reacciones en el tren delantero y trasero realizamos el procedimiento anterior, (ver figura 8.5).

Tomando momentos en la rueda trasera, empleando la expresión 8.1, se obtiene lo siguiente:

$$-1180.4 \cdot P_T + 2593.6 \cdot P_D = 0 \tag{8.5}$$

Por lo tanto:

Ruedas lateral izquierdo (P_A)	$784.48\,kg$
Ruedas lateral derecho (P_B)	$758.52\,kg$
Ruedas traseras (P_C)	$840.59\,kg$
Ruedas delanteras (P_D)	$702.41\,kg$

Tabla 8.2: Peso en las ruedas del vehículo modelado

$$P_D = 6890.67\,N \tag{8.6}$$

En unidades de masa tendríamos: $m_D = 702.41\,kg$.

Por otro lado, aplicando la segunda ley de Newton:

$$P_D + P_C = P_T \tag{8.7}$$

De esta manera determinamos que $P_C = 8246.16\,N$, ó, $m_C = 840.59\,kg$.

Finalmente, en unidades de masa, obtenemos la tabla 8.2.

8.3 Masas en ASEIMOV

En este apartado se ha medido el peso de las ruedas en nuestro vehículo con una báscula digital.

En un primer momento se ha realizado una tentativa de peso del vehículo. Se han calculado los pesos en las ruedas y se ha comparado con los datos del vehículo en escala real. Con este dato se ha redistribuido la masa en el vehículo moviendo algunos cables. Dentro del vehículo hay un peso considerable debido a los cables. Una vez realizado esto, se ha medido de nuevo las reacciones en las ruedas. Se han realizado 6 mediciones en cada parte. El resultado de las mediciones se muestra en la tabla 8.3.

El peso total del vehículo lo vemos en la tabla 8.4. Se ha sumado el peso

Ruedas lateral izquierdo ($P_A\, g$)	1650	1657	1665	1652	1667	1657	**1658.00**
Ruedas lateral derecho ($P_B\, g$)	1562	1584	1586	1587	1586	1586	**1581.83**
Ruedas traseras ($P_C\, g$)	1728	1723	1725	1724	1725	1727	**1725.33**
Ruedas delanteras ($P_D\, g$)	1542	1541	1538	1539	1545	1543	**1541.33**

Tabla 8.3: Peso en las ruedas del prototipo

$P_A + P_B$	3239.83
$P_C + P_D$	3266.67
P_T	**3253.25**

Tabla 8.4: Peso total medio del prototipo

de las ruedas laterales derechas e izquierdas, $P_A + P_B$. Por otro se ha sumado el peso de las ruedas delanteras y traseras, $P_C + P_D$. Luego se han sumado y calculado la media:

En consecuencias, se muestra el peso de ambos vehículos a comparar en la tabla 8.5.

8.4 Masas adicionales

La comparación entre las masas de ambos vehículos se ha realizado en tanto por ciento, como vemos en la tabla 8.6. Ahí se muestran los porcentajes de pesos en el vehículo real y en nuestro prototipo; la masa después de hacer

	Real(kg)	ASEIMOV(g)
Ruedas lateral izquierdo (P_A)	784.47	1658.00
Ruedas lateral derecho (P_B)	758.52	1581.83
Ruedas traseras (P_C)	840.59	1725.33
Ruedas delanteras (P_D)	702.41	1541.33
Peso total (P_T)	1543.00	3253.25

Tabla 8.5: Comparación de masas entre un vehículo eléctrico y ASEIMOV

	Real(%)	ASEIMOV(%)	$m_{ASEIMOV}\,g$	$m'_{ASEIMOV}\,g$	$m'_{adicional}\,g$
P_A	50.84	50.96	1658.00	1658.00	0.00
P_B	49.16	48.62	1581.83	1603.15	21.32
P_C	54.48	53.03	1725.33	1844.55	119.22
P_D	45.52	47.38	1541.33	1541.33	0.00

Tabla 8.6: Masas adicionales

la distribución de pesos y la masa después de realizar la comparación; en la última columna se muestra la masa adicional que se ha de colocar.

La masa $m'_{ASEIMOV}\,g$ se ha calculado siguiendo la relación siguiente:

$$P_T = P_A + (P_B + P'_B) \equiv 100\,\% = 50.84\,\% + 49.16\,\% \tag{8.8}$$

Por lo tanto:

$$(P_B + P'_B) = \frac{49.16\,\% \cdot 1658.00\,g}{50.84\,\%} = 1603.15\,g \tag{8.9}$$

Por lo tanto, la masa adicional que hemos de colocar en el lateral derecho, será:

$$P'_B = 1603.15 - 1581.83 = 21.32\,g \tag{8.10}$$

Idem para la masa adicional en la parte trasera, P_C.

En nuestro vehículo no podemos eliminar masas, en todo caso, añadir masas. Tras las comparaciones descritas en las ecuaciones anteriores, la parte del vehículo que más carga necesita es la parte trasera izquierda. En esa parte, en un pequeño soporte libre en el vehículo, hemos añadido $21.32 + 119.22 = 140.54\,g$. Ver figura 8.6.

Tras colocar lastres de plomo en el lugar indicado, se ha realizado una nueva medición de la masa en las ruedas del vehículo, como vemos en la columna

Figura 8.6: Lastres de plomo pesados en la báscula digital.

	Real(%)	ASEIMOV(%)	$m''_{ASEIMOV}\,(g)$	ε_{abs}	ε_{rel}
P_A	50.84	49.99	1690.6	0.86	0.02
P_B	49.16	49.75	1682.6	0.59	0.01
P_C	54.48	54.57	1845.6	0.09	0.00
P_D	45.52	45.70	1545.6	0.18	0.00

Tabla 8.7: Distribución final de pesos

$m''_{ASEIMOV}\,(g)$ de la tabla 8.7. Dicha tabla representa distribución de pesos en estático que se ha logrado. Se ha definido el error absoluto y relativo como:

$$\varepsilon_{abs} = |\text{magnitud}_{\text{referencia}} - \text{magnitud}_{\text{medida}}| \tag{8.11}$$

$$\varepsilon_{rel} = \frac{\varepsilon_{abs}}{\text{magnitud}_{\text{referencia}}} \tag{8.12}$$

Capítulo 9

Circuito de Protección

9.1 Introducción

Se ha diseñado un circuito electrónico de protección del controlador del motor y de la placa base, pues ambos dispositivos son los que requieren energía directamente de la fuente o batería a bordo. Para simular el comportamiento me he ayudado del simulador Pspice v 8.0. En la figura 9.1 vemos dos circuitos diferentes: uno de protección al PC y otro al controlador del motor. Además aparece dos fuentes de tensión alterna, simulando dos niveles de energía diferentes para los dispositivos. En la realidad tenemos una batería que ofrece diferentes niveles de energía.

A pesar de que la batería real ofrece corriente continua, he puesto en el simulador de circuitos una fuente alterna para simular ruido. El ruido que hemos querido introducir es una señal sinusoidal de 500 MHz de frecuencia, debido a que la frecuencia del reloj del PC es de esta magnitud y queremos filtrar, y de amplitud 2 V. Por otro lado, en la fuente que va al circuito de protección del PC he colocado un valor de continua que varia entre 16-20 V y en la otra fuente de 9-12 V.

Los componentes del circuito han sido adquiridos en www.digikey.com y han

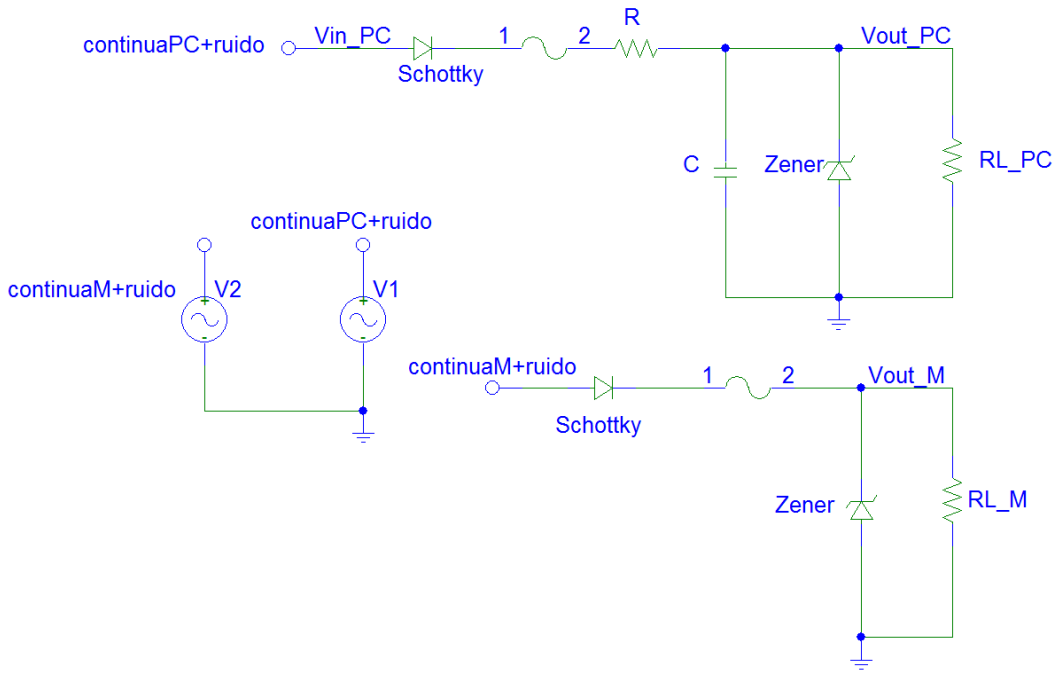


Figura 9.1: Circuito electrónico de protección del PC y del controlador del motor

sido elegido con especial cuidado de la potencia que han de disipar. A pesar de que en el mercado existen chips integrados, los cuales pueden ser adquiridos en la misma página, capaces de proteger las magnitudes que se explicarán a continuación y salvando el paradigma del espacio, por motivos de elección a medida y de comprensión de cada dispositivo por separado, se decidió diseñar el circuito.

A continuación explicaré ambos circuitos por separado.

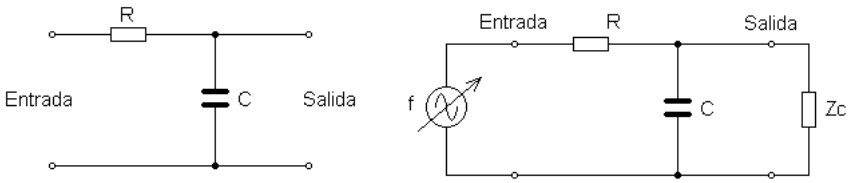
9.2 Circuito de protección del PC

Este circuito lo he diseñado para que proteja lo siguientes posibles problemas electrónicos. Su diseño lo he realizado de manera más cuidadosa, debido a la vulnerabilidad, a la información que guarda para los experimentos y al precio.

- Polaridad. Para proteger al circuito contra errores de polaridad he colocado un Schottky. Si se desea puede utilizado como rectificador. La caída de tensión es de 475 mV y soporta 3 A. Este dispositivo semiconductor es ideal para esta aplicación debido a la pequeña caída de tensión y a la protección que ofrece.

- Sobreintensidad. Según las especificaciones técnicas, la corriente en la entrada del PC no superará 1.2 A, por ello he colocado un fusible reseteable de valor 1.33 A. Este fusible produce un circuito abierto entre sus bornes cuando se supera la intensidad. Una vez se enfríe, el mismo fusible es útil de nuevo.

- Sobretensión. El diodo zener en paralelo a la carga, el PC, protege al circuito para las sobretensiones. La tensión de entrada al PC no superará los 19 V, debido a la limitación de la fuente de tensión. Por ello, el valor del zener es de 20 V. Si la tensión de entrada fuese mayor, pasaría mucha



(a) Filtro vacío (b) Filtro en carga

Figura 9.2: Figura conceptual de un filtro pasivo paso bajo.

corriente por el zener y se abriría el fusible, manteniendo 20 V en la salida.

- Etapa de filtrado. La etapa de filtrado consiste en un filtro pasivo paso bajo. La elección de un filtro pasivo se debe a la dificultad de colocar un elemento activo, por ejemplo, una fuente de tensión, a bordo en el vehículo. Las señales que necesitamos filtrar son las de frecuencia mayor a la frecuencia del reloj del PC, es decir 500 MHz. Así pues, el filtro diseñado atenuará señales de más de 100 MHz. Sabemos que la placa base posee una impedancia de 20 ohmios [1].

  El filtro mostrado en la figura 9.2(a) tiene la siguiente función de transferencia:

$$V_{out} = V_{in}\frac{Z_C}{Z_C + Z_R} = V_{in}\frac{\frac{1}{jwC}}{R + \frac{1}{jwC}} \tag{9.1}$$

  La frecuencia de corte se define como aquella para la que el valor óhmico de la resistencia coincide con el valor óhmico de la reactancia, en este caso la capacidad. Entonces:

[1] Conectando la fuente de tensión al PC y haciendo lectura de la intensidad y la tensión, detecté este valor (Z=V/I).

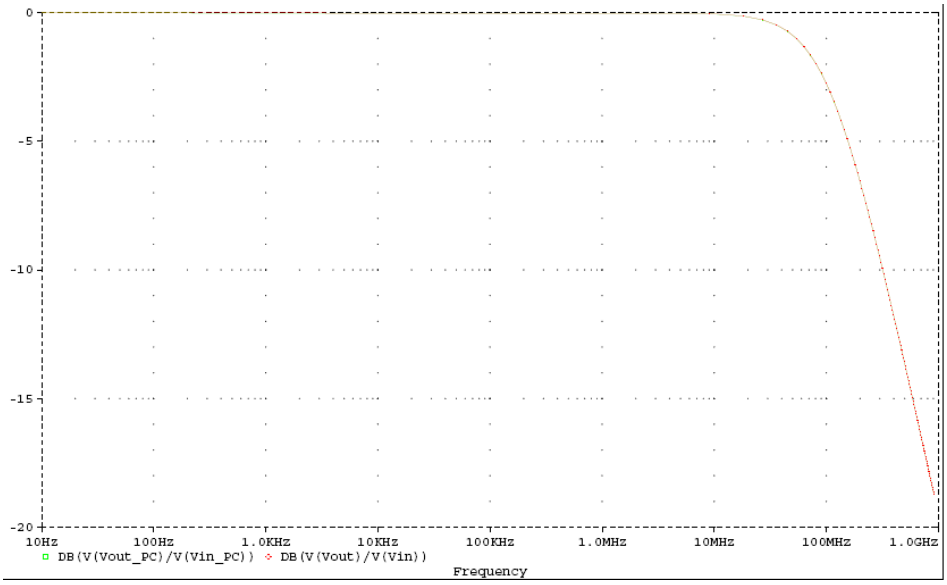


Figura 9.3: Diagrama de Bode: comportamiento del filtro sin conectar la resistencia de carga (rojo) y conectando la resistencia de carga (verde)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \tag{9.2}$$

La ganancia del circuito quedaría:

$$G = \frac{1}{1 + jwRC} \tag{9.3}$$

El módulo de la ganancia será:

$$|G| = \frac{1}{\sqrt{1 + (RCw)^2}} \tag{9.4}$$

Este módulo se representa en una gráfica con el eje de ordenadas en decibelios y el de abscisas en Hz. En la figura 9.2 vemos el resultado de esta representación.

El desfase entre la tensión en extremos del condensador (tensión de sa-

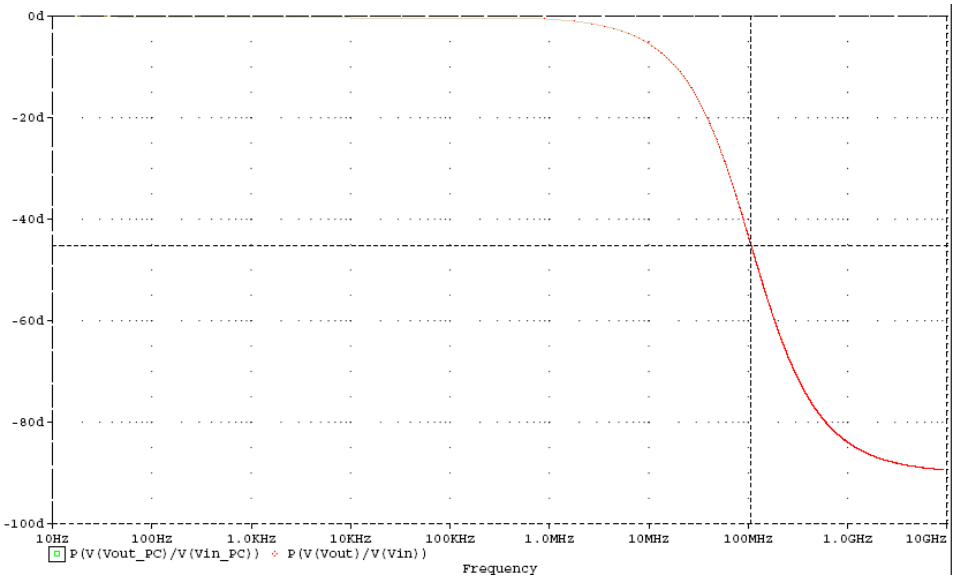


Figura 9.4: Fase del filtro: comportamiento sin conectar la resistencia de carga (rojo) y conectando la resistencia de carga (verde)

lida) y la tensión aplicada en la entrada vendrá dado por:

$$\varphi = -90 + arctg\frac{Z_C}{R} \tag{9.5}$$

Este ángulo saldrá negativo indicando que la tensión de salida estará atrasada respecto a la de entrada. Representando gráficamente la expresión anterior del desfase tendremos el gráfico de la figura 9.2:

Hasta ahora sólo he hablado del filtro de la figura 9.2(a) y en la realidad el filtro que tenemos es uno tal como el de la figura 9.2(b).

Por tanto, para el cálculo de un filtro pasa bajo de primer orden, con condensador, teniendo en cuenta el efecto de la carga, hemos de aplicar las siguientes expresiones.

Empezaremos por hacer que Z_C (impedancia del condensador sea diez veces más pequeña (por lo menos) que la resistencia de carga a la frecuencia de corte. Con estas condiciones se calcula el condensador de la

siguiente forma:

$$C = \frac{1}{2\pi R f_c} \qquad con, \quad Z_C \leq \frac{Z_L}{10} \tag{9.6}$$

En nuestro caso resulta un condensador de unos 0.79 nF. Debido a que nos interesa que en la resistencia del filtro se pierda la menor tensión posible para aprovechar la mayor parte de la tensión de la fuente en la salida, tomaremos un condensador de valor normalizado de $0.1\,\mu F$. Así se cumple más rigurosamente la inecuación anterior.

Sólo resta hallar R de la forma siguiente:

$$R = \frac{1}{2\pi C f_c} \tag{9.7}$$

Se tomará el valor normalizado más próximo inmediatamente inferior al calculado, en este caso 0.015 ohmios.

Para demostrar la validez del filtro volvemos a las gráficas 9.2 y 9.2 donde se muestra el comportamiento del filtro calculado sin y con la resistencia de carga conectada. Primero se muestra la gráfica de la tensión de salida del filtro (en dB) y a continuación el desfase introducido.

Como puede apreciarse, la desviación de la respuesta el filtro con carga respecto a la respuesta sin carga es muy pequeña.

Por otro lado, mostramos también el espectro en frecuencias del circuito en la figura 9.2. En él vemos que para frecuencias superiores a 100MHz desaparecen las señales de tensión.

Para finalizar este apartado, en el gráfico 9.2 se muestra la señal de entrada, la señal de salida y el valor eficaz de la señal de salida. Este gráfico demuestra que a pesar del ruido, el valor eficaz del circuito para

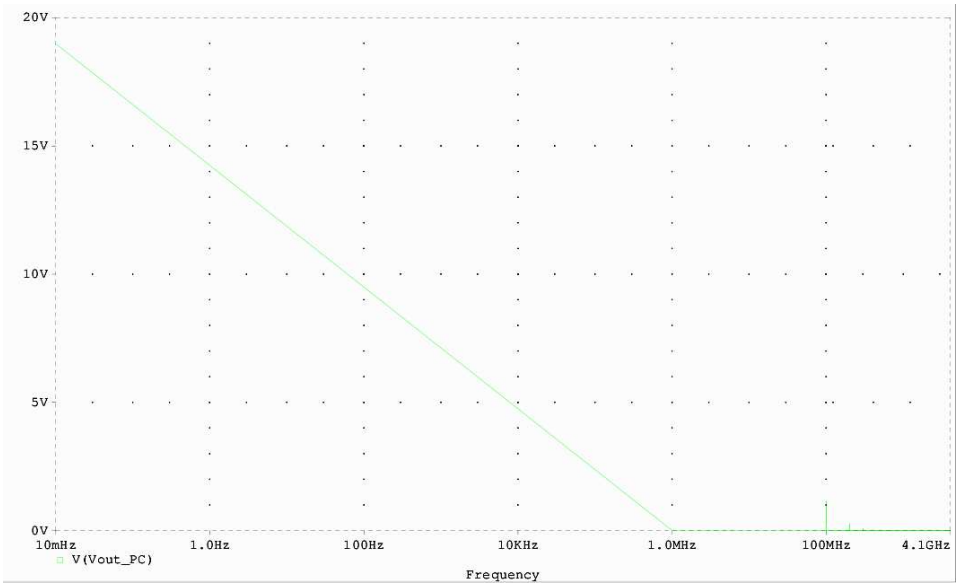


Figura 9.5: Espectro en frecuencia

una señal de entrada ruidosa cuyo valor de continua es de 19V, el valor eficaz de la salida tiende a 19V también.

Como resultados experimentales, he probado este circuito con una fuente de tensión y he medido los valores de tensión e intensidad con un multímetro.

Los resultados han sido satisfactorios. He variado la tensión según el intervalo que ofrece la batería (16-19 V) y he comprado que casi toda la tensión de entrada se refleja en la salida, con pérdidas de milivoltios, como era de esperar en la resistencia sobretodo. Además, he aumentado la tensión de entrada con valores superiores a 20 V y se ha comprobado que en la salida se mantiene el valor de 20 V. Este fenómeno responde muy bien a lo esperado por teoría. El zener normalmente producirá un circuito abierto en sus bornes hasta que sucede una sobretensión, conduciendo por él el exceso de intensidad. Además se comprobó que la potencia de disipación del zener es suficiente de manera que cuando pasa un exceso de intensidad por él, este no se quema ni se rompe.

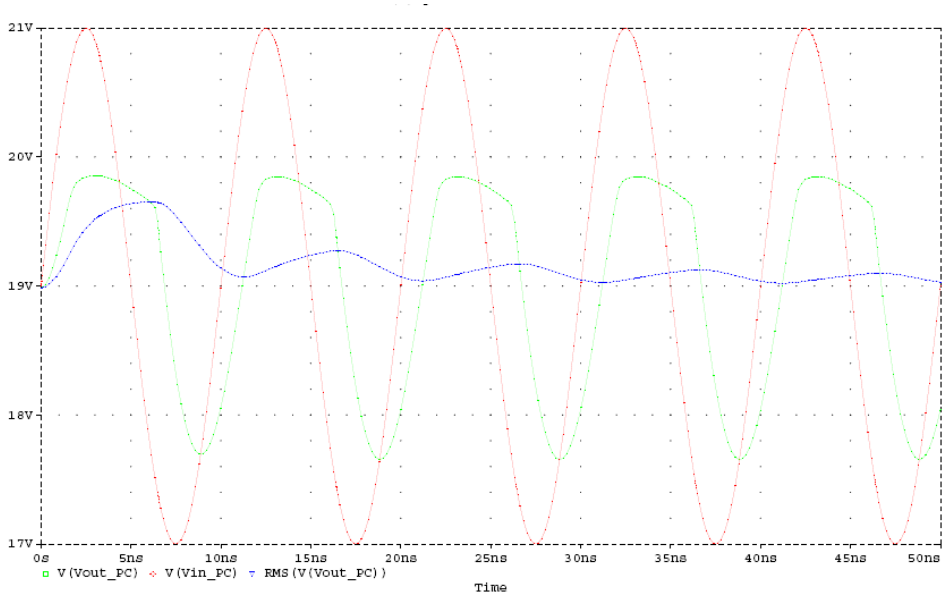


Figura 9.6: Señal de entrada (verde), señal de salida (roja), valor eficaz de la señal de salida (azul)

9.3 Circuito de protección del controlador del motor.

El diseño de este circuito protege las siguientes partes:

- Polaridad. Para proteger al circuito contra errores de polaridad se ha integrado un Schottky. Si se desea puede utilizado como rectificador. La caída de tensión es de 475 mV y soporta 3 A. Este dispositivo semiconductor es ideal para esta aplicación debido a la pequeña caída de tensión y a la protección que ofrece.

- Sobreintensidad. Según las especificaciones técnicas, la corriente en la entrada del controlador del motor no superará 1.5 A. Debido a que el motor no consume más de 1.33 A y por facilidad de conseguir materiales, se ha colocado el mismo fusible que en el circuito anterior, es decir, un

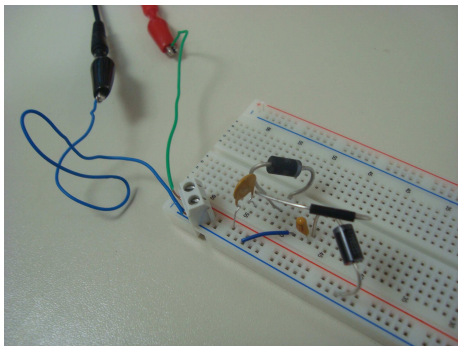


Figura 9.7: Circuito de protección al PC en protoboard.

fusible reseteable de valor 1.33 A.

- Sobretensión. Al igual que en el circuito anterior, se ha colocado un diodo zener en paralelo al controlador del motor. La tensión zener es de 12 V, así pues, si la tensión es menor de 12 V, el zener se comportará como un abierto y si la tensión supera los 12 V, el zener mantiene a la salida el valor de la tensión conduciendo por él mismo mucha intensidad. El zener es un diodo de potencia, en concreto de 1500 W, con lo cual es capaz de conducir mucha intensidad sin romperse.

Estos circuitos han sido probados con una fuente de tensión y un multímetro. Los resultados han sido satisfactorios y esperados, debido a la sencillez del circuito. La figura 9.7 muestra una evidencia de esta parte.

9.4 Circuito impreso

Una vez simulado en Pspice y comprobado en la protoboard que funcionan ambos circuitos, se procedió al diseño del circuito impreso. Para ello me ayudé del software Protel DXP v.7.073. El primer paso fue calcular el ancho de las pistas de dicho circuito. Para ello empleé la fórmula que la norma ANSI / IPC-2221/IPC-2221A nos ofrece para el cálculo del ancho de pistas.

$$I = 0.024 \cdot \delta T^{0.44} \cdot A^{0.725} \tag{9.8}$$

de donde,

I	intensidad (A)	2
δT	incremento de temperatura en el ambiente en ºC	10
A	área de sección transversal en $mils^2$	$1,.18 \cdot x$

En realidad la norma plantea dos fórmulas, una para pistas externas y otra para pistas internas dentro de la placa. Al tratarse de circuitos pequeños, dónde tenemos mucho espacio en la placa, hemos seleccionado la fórmula más restrictiva, esto es, la que mayor ancho de pista nos proporciona el resultado.

La intensidad es de 2 A, aunque con los cálculos, esa intensidad no se alcanza. El δT es un valor estimado y el área de la sección es la el alto de las pistas multiplicado por la magnitud que queremos conocer. El alto de la pista estimamos que es un valor que ronda por los 0.03 mm ó 1.18 mils. Haciendo los cálculos, determinamos que el ancho de la pista ha de ser de 2,3 mm. Debido a ello, por seguridad, hemos diseñado el circuito con un ancho de pista de 3 mm.

Con este dato, he ido al software de diseño de circuitos impreso y he diseñado el footprint. Una vez validado el circuito diseñado, imprimí el resultado en papel poliéster con una impresora láser. Así obtuve el denominado cliché. Es normal que a veces el cliché tenga algunas imperfecciones, debido a ello, al dibujo se le da una capa de blackcovering o ennegrecedor de tinta láser, como vemos en la figura 9.8(a).

El siguiente paso es llevarnos el dibujo a la insoladora. Usando una placa sensible a la luz ultravioleta[2] se insola el cliché con dicha luz durante 50 se-

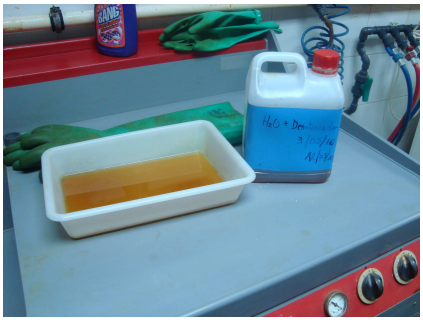
[2]En este caso hemos empleado una placa de fibra de vidrio fotosensible positiva, por ello en el diseño del circuito hemos permitido ver las pistas de cobre. En caso de usar una placa fotosensible negativa, en el diseño justo no se dibujaría los canales por dónde circularía la intensidad en la placa final.

gundos. De esta manera se ablanda la resina en las partes donde incide la luz. Podemos ver en la figura 9.8(b) y 9.8(c) la máquina insoladora.

(a) Cliché y blackcovering

(b) Insoladora

(c) 50 segundos de insolación



(d) Revelador

Figura 9.8: Circuito impreso, parte I.

El siguiente paso es el revelador. Aquí se elimina la resina que ha quedado sensible tras el proceso de insolación, como vemos en la figura9.8(d).

A continuación se realiza un proceso de atacado, como vemos en la figura 9.9. Ello consiste en atacar al cobre que queda descubierto después del revelado en la placa, con percloruro férrico, $FeCl_5$ durante 10 minutos. El $FeCl_5$ ataca al cobre que ve hasta eliminarlo. Un exceso de tiempo en este proceso se traduciría en una posible eliminación del cobre de las pistas. La máquina produce un burbujeo interno, de esta manera el $FeCl_5$ líquido se mueve, hay un pequeño calentamiento del líquido y una oxigenación.

Luego, limpiamos con agua la placa. Seguidamente, sumergimos la placa en decapante como vemos en la figura 9.10(a). Finalmente volvemos a limpiar

Figura 9.9: Circuito impreso, parte II.

con agua y secamos con una servilleta la placa.

Debido a que teníamos marcado el grosor de los agujeros de los dispositivos que se instalarán en la placa, con un soporte adecuado y unas brocas de pequeño diámetro, se taladra la placa, como vemos en la figura 9.10(c). Una vez la placa queda correctamente agujerada, se corta el material sobrante para conseguir dos placas diferentes correspondientes a dos circuitos de protección diferente.

Finalmente, soldamos con estaño cada elemento en su lugar correspondiente en ambas placas y obtenemos el resultado de la figura 9.11.

Figura 9.10: Circuito impreso, parte III.

(a) Circuito de protección del motor (b) Circuito de protección del PC

Figura 9.11: Circuito impreso, parte IV.

Capítulo 10

Conclusiones

10.1 Introducción

En este capítulo se muestran las conclusiones obtenidas en el presente proyecto. Para seguir un orden, se han listado las conclusiones en base a los objetivos del proyecto que se mencionan en la sección 1.1.3.

10.2 Conclusiones

1. Se ha hecho un estudio de las distintas universidades y centros de investigación que han trabajado y trabajan en vehículos eléctricos inteligentes. Se han analizado los prototipos y el instrumental de cada uno. Los trabajos más significantes se muestran en el capítulo 2. Además se han encontrado empresas que comercializan vehículos como el nuestro para centros e institutos de investigación.

2. Se ha hecho una búsqueda por las marcas punteras en el mercado de vehículos de radio control. Se han analizados vehículos de varias escalas y se ha elegido un vehículo de escala 1:10. A pesar de que ha sido posible instalar toda la aparamenta electrónica y el PC, estimamos que

para otra futura unidad, se debería elegir otra escala. Estimamos que la más adecuada sea la escala 1:9. La escala 1:8 es una escala común en vehículos de radio control, aunque estimamos que es excesiva para este caso. Sin embargo, la escala 1:9 tiene una dimensión tal que aliviaría adecuadamente la restricción de espacio.

3. Los sensores elegidos son principalmente de bajo coste. En este apartado cabe mencionar el encoder que hemos instalado, elaborado a partir de un enconder de un ratón mecánico. Este aprovechamiento ha dado muy buenos resultados en este trabajo. La relación eficiencia - dinero, supera con creces al tiempo invertido. Además, de un cable USB es posible conseguir dos codificadores ópticos, debido a que el ratón de bola tiene dos. Incluso, en algunos ratones, podemos encontrar 3 encoders. Todo por el precio de un puerto USB. En este vehículo hemos instalado un acelerómetro de 3 ejes. En futuros prototipos queremos incorporar además un giróscopo. Sabemos que un sensor láser sería ideal, sin embargo su alto costo rompería el paradigma de bajo coste que se ha querido respetar.

4. Alrededor del vehículo se han instalado 7 sonares, 8 infrarrojos de distancia media y un infrarrojo de larga distancia. Hemos estimado que estos sensores nos garantizan la introducción del concepto de burbuja de seguridad en el vehículo. Para futuros trabajos, con cada sensor por separado o combinándolos, será posible llegar a conocer, con un cierto error, el entorno del vehículo. De esta manera, presuponemos que estos sensores de bajo costo no sólo nos dirán si hay obstáculo o no, sino que para un rango definido, nos dirán a la distancia que se encuentra.

5. Para el motor de corriente continua se ha elegido un controlador. A dicho controlador le llega energía por un terminal, por otro le llega la

información desde el PC y por otro terminal envía la orden al motor. El controlador actual tiene limitación de intensidad en 1.5 A. Para futuros trabajos ya hemos localizado otro controlador que resuelve este tema. En consecuencias, será posible introducir un motor de más revoluciones y de mayor par. Para el servomotor hemos incorporado un controlador que se conecta por USB al ordenador. Este servomotor nos ha dado buenos resultados en los test realizados.

6. La elección del PC y del sistema informático se ha llevado a cabo por Aday Talavera Hierro, de Ingeniería Informática de la ULPGC. En su proyecto final de carrera además se realizó un software para controlar remotamente a ASEIMOV.

7. Para colocar los sensores se han diseñado unos soportes de plástico. La idea que se ha guardado es la posibilidad de cambiarlos de lugar con facilidad. Nos interesaba que estos sean flexibles a la hora de quitar/poner, pues en futuros estudios podríamos reorganizarlos de otra manera. En el interior del vehículo se han instalado dos bandejas de metacrilato. En la bandeja inferior hemos colocado las placas controladoras y en la bandeja superior el PC.

8. Se ha elegido una única fuente de energía para el vehículo. Se trata de una batería de polímero de litio con tres niveles de energía, de los cuales hemos usado dos: uno para el motor y otro para el PC. Esta batería nos proporciona una autonomía de unos 55 minutos aproximadamente.

9. Como se apuntaba anteriormente, actualmente el vehículo dispone de una fuente de energía. La energía ha sido cuidadosamente gestionada. Debido a ello, se han diseñado dos circuitos de protección: uno para el PC y otro para el motor. Estos circuitos se han construido e instalado

en el vehículo. A corto plazo hemos pensado en dividir las fuentes de energía, es decir, en instalar dos baterías, una para el PC y otra para el motor. La razón es que pretendemos emplear un motor eléctrico de mayor consumo. A largo plazo, podría estudiarse la integración de células fotoeléctricas, que permitan transformar la energía luminosa en energía eléctrica.

10. Se ha realizado las conexiones adecuadas en el vehículo, las cuales nos han permitido conseguir que funcionara. En su mayor parte, las conexiones se han realizado vía USB. En el plano 14 podemos ver un esquema de todas las conexiones realizadas. A corto plazo se ha pensado en mejorar el cableado. Urge buscar un sistema que reduzca el volumen de cable y su disposición dentro del vehículo.

11. Se ha realizado una búsqueda de los vehículos eléctricos punteros en el mercado. Para su posterior comparación, se ha elegido el Renault Fluence Z.E., debido a su parecido con un turismo real y a la información técnica encontrada.

12. El último paso ha sido distribuir las masas de nuestro vehículo, según la distribución de masas del vehículo eléctrico elegido. Para ello se ha llevado a cabo una técnica basada en el peso de las ruedas y en la determinación del centro de gravedad. Añadiendo lastres de plomo se ha conseguido equiparar en 2 dimensiones la distribución de masas. Todo ello se justifica con la hipótesis de que un vehículo a escala, con una distribución de masas en estático lo más parecido a un vehículo real, estimamos que su comportamiento podrá ser más parecido a un vehículo real. En este caso, el control adaptativo sobre el vehículo podrá ser más suave. En futuros trabajos, este estudio debería hacerse según las masas en los tres ejes de coordenadas.

Parte III

Presupuesto

Capítulo 11

Presupuesto

11.1 Introducción

Se han diferenciado dos tipos de presupuestos. Por un lado el de los materiales a comprar y por otro lado el del prototipo final. Se han comprado más materiales de los necesarios para realizar el prototipo. Las razones son varias, las principales son:

- A priori no se conocía el número mínimo de materiales que vamos a emplear para diseñar a ASEIMOV.

- Conseguir los materiales es una tarea lenta debido a la lejanía de Canarias con respecto a los puntos de ventas. Por ejemplo, algunos materiales se han adquirido en Canadá (por ejemplo los adquiridos en *phidgets*), pasando por mayoristas españoles y/o Canarios.

Nótese que uno de los logros o paradigmas perseguidos con el proyecto es que el vehículo debe de ser de bajo coste.

11.2 Presupuesto de los materiales adquiridos

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO €	IMPORTE €
Vehículo			
Coche eléctrico RC Kyosho E 1:10	1	270.00	270.00
Motor	1	8,85	8,85
Estructura interna			
Placas de metacrilato cortadas	2	15,00	30,00
Listón de aluminio (1m)	2	2,50	5,00
Escuadras de acero	15	0,30	4,50
Tornillos, vástagos, tuercas	1,3	3,00	3,90
Pegamento “No más clavos”	1	5,00	5,00
Pegamento Epoxi	1	4,00	4,00
Poxilina	1	2,50	2,50
Film plástico termorretractil 4,8	1	1,80	1,80
Sistema informático			
Zotac IonITX modelo A-E	1	155,69	155,69
DIMM 1 GB. 800MhZ DDR2	2	17,42	34,84
OCZ 8 Gb - eSata – Throttle	1	35,95	35,95
XPAL Power batería XP8000	1	109,00	109,00
Adap placa 2 hembras	2	1,00	2,00
HD Takems ssd 32GB	1	95,36	95,36
Linksys Router Wireless -N, WiFI	1	42,96	42,96
Fuente psu 80W 12V DC DC	1	45,33	45,33

Tabla 11.1: Presupuesto de los materiales adquiridos(I)

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO €	IMPORTE €
Controladores y percepción			
Ratón de bola puerto ps/2	2	6,00	12,00
Logitech WebCam C160	4	14,67	58,68
PhidgetServo 1-Motor	1	38,85	38,85
PhidgetMotorControl	1	85,14	85,14
Sensor IR 2Y0A21 (10 - 80cm)	10	10,00	100,00
Sensor IR 2Y0A02 (20 - 150cm)	2	21,57	43,14
IR Distance Adapter	12	10,75	129,00
PhidgetInterfaceKit 8/8/8	2	77,95	155,90
Sonar Sensor	8	34,10	272,80
Accelerometer 3-Axis	1	77,95	77,95
Instrumentación			
Soldador	1	11,00	11,00
Carrete de estaño	1	5,00	5,00
Osciloscopio digital	1	2555,00	2555,00
Dremel, Kit Dremel y accesorios	1	145,72	145,72
Generador de funciones	1	390,00	390,00
Fuente de tensión	1	568,00	568,00
Balanza de cocina	1	19,00	19,00
Multímetro digital	1	90,00	90,00

Tabla 11.2: Presupuesto de los materiales adquiridos(II)

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO €	IMPORTE €
Componentes electrónicos			
Conector Jack alimentación	6	0,86	5,16
Conector base alimentación	6	0,38	2,28
Cable 2x0,75 rojo/negro (1m)	2	0,84	1,68
Fusible PTC reseteable 1,35A	3	0,38	1,14
Rectificador Schottky 3A 20V	3	0,41	1,23
Resistencia 0,015 OHM 2W	2	1,43	2,86
Condensador Tántalo 0,1UF 35V	2	0,60	1,20
Zener TVS 20V	2	0,50	1,00
Zener TVS 14,1V	2	0,51	1,02
Conectores plug USB-A	14	1,52	21,28
Placa fibra de vidrio fotosensible+	1	0,80	0,80
Elaboración circuitos impresos	2	0,60	1,20
Protoboard	1	6,53	6,53

Tabla 11.3: Presupuesto de los materiales adquiridos(III)

Total Importe	Base Imponible	%	IGIC	TOTAL €
5661,24	5661,24	5,00	283,06	**5944,30**

Tabla 11.4: Precio final de los materiales adquiridos

11.3 Presupuesto del prototipo

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO €	IMPORTE €
Vehículo			
Coche eléctrico RC Kyosho E 1:10	1	270.00	270.00
Motor	1	8,85	8,85
Estructura interna			
Placas de metacrilato cortadas	2	15,00	30,00
Listón de aluminio (1m)	1	2,50	2,50
Escuadras de acero	11	0,30	3,30
Tornillos, vástagos, tuercas	1	3,00	3,00
Pegamento “No más clavos”	1	5,00	5,00
Pegamento Epoxi	1	4,00	4,00
Poxilina	1	2,50	2,50
Film plástico termorretractil 4,8	1	1,80	1,80
Sistema informático			
Zotac IonITX modelo A-E	1	155,69	155,69
DIMM 1 GB. 800Mhz DDR2	2	17,42	34,84
OCZ 8 Gb - eSata – Throttle	1	35,95	35,95
XPAL Power batería XP8000	1	109,00	109,00
ADAP placa 2 hembras	2	1,00	2,00
HD Takems ssd 32GB	1	95,36	95,36
Linksys Router Wireless -N, WiFI	1	42,96	42,96
Fuente psu 80W 12V DC DC	1	45,33	45,33

Tabla 11.5: Presupuesto de ASEIMOV (I)

11. Presupuesto

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO €	IMPORTE €
Controladores y percepción			
Ratón de bola puerto ps/2	1	6,00	6,00
Logitech WebCam C160	4	14,67	58,68
PhidgetServo 1-Motor	1	38,85	38,85
PhidgetMotorControl	1	85,14	85,14
Sensor IR 2Y0A21 (10 - 80cm)	8	10,00	80,00
Sensor IR 2Y0A02 (20 - 150cm)	1	21,57	21,57
IR Distance Adapter	10	10,75	107,50
PhidgetInterfaceKit 8/8/8	2	77,95	155,90
Sonar Sensor	7	34,10	238,70
Accelerometer 3-Axis	1	77,95	77,95
Componentes electrónicos			
Conector Jack alimentación	6	0,86	5,16
Conector base alimentación	6	0,38	2,28
Cable 2x0,75 rojo/negro (1m)	1	0,84	0,84
Fusible PTC reseteable 1,35A	2	0,38	0,76
Rectificador Schottky 3A 20V	2	0,41	0,82
Resistencia 0,015 OHM 2W	1	1,43	1,43
Condensador Tántalo 0,1UF 35V	1	0,60	0,60
Zener TVS 20V	1	0,50	0,50
Zener TVS 14,1V	1	0,51	0,51
Conectores plug USB-A	8	1,52	12,16
Placa fibra de vidrio fotosensible+	1	0,80	0,80
Elaboración circuitos impresos	2	0,60	1,20

Tabla 11.6: Presupuesto de ASEIMOV(II)

Total Importe	Base Imponible	%	IGIC	TOTAL €
1749,43	1749,43	5.00	87,47	**1836,9**

Tabla 11.7: Precio final de ASEIMOV

Parte IV

Apéndices

Anexos A

Funcionamiento de un servomotor

Los servomotores se componen, en esencia, de un motor de corriente continua, un juego de engranajes para la reducción de velocidad, un potenciómetro ubicado sobre el eje de salida (que se usa para conocer la posición) y una plaqueta de circuito para el control.

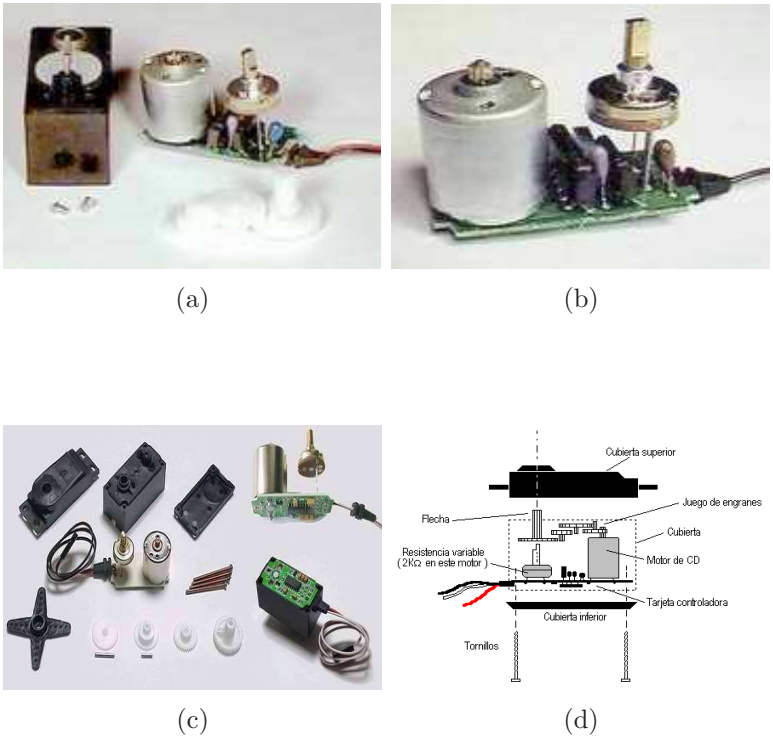
El potenciómetro que está está sujeto a la flecha, mide hacia dónde está ubicado en todo momento. De esta manera, la tarjeta controladora sabe hacia dónde mover el motor.

La posición deseada se le da al servomotor por medio de pulsos. Así pues, todo el tiempo debe haber una señal de pulsos presente en ese cable.

Si lo que se desea controlar es la posición de un servomecanismo, como en este caso, en lugar de un tacómetro (que es para medir velocidad) necesitamos un encoder de posición. Si hablamos de un servo cuyo movimiento es giratorio, será necesario un encoder (un detector que codifica la posición) que nos dé un valor diferente a su salida según cual sea su posición en grados.

Los servos que se usan en robótica son de este tipo. Como dije antes, por lo general poseen un motor de CC, que gira a velocidad alta, una serie de engranajes para producir la reducción de velocidad de giro y acrecentar su capacidad de torque, un potenciómetro conectado al eje de salida (que es ni

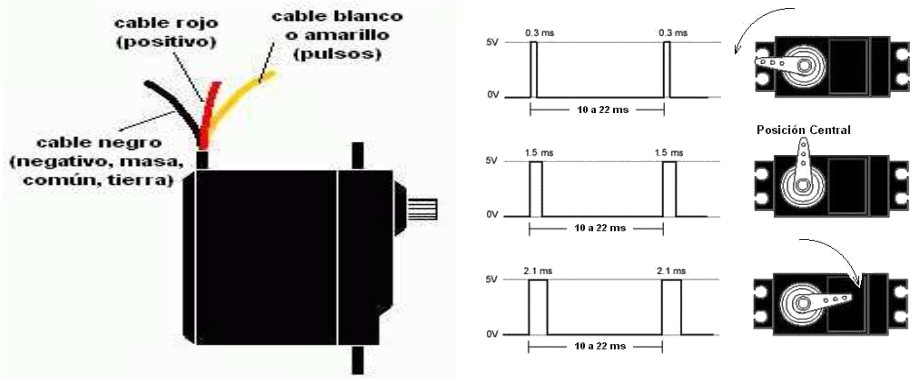
A. Funcionamiento de un servomotor



(a) (b)

(c) (d)

Figura A.1: Partes de un servomotor



(a) Cableado de un servomotor (b) Señal de control de un servomotor

Figura A.2: Funcionamiento de un servomotor

más ni menos que el encoder) y un circuito de control de la realimentación.

Estos servos reciben señal por tres cables: De los tres cables que salen de su cubierta. El rojo es de voltaje de alimentación ($+5\,V$), el negro es de tierra (0 V ó GND). El cable blanco (a veces amarillo) es el cable por el cuál se le instruye al servomotor en qué posición ubicarse (entre 0 grados y 180). La alimentación de estos servos es, normalmente, de entre 4,8 y 6 voltios (figura A.2(a)).

El estándar de esta señal controladora para todos los servos de este tipo, elegido para facilitar el uso en radio control, es un pulso de onda cuadrada de 1,5 milisegundos que se repite a un ritmo de entre 10 a 22 ms. Mientras el pulso se mantenga en ese ancho, el servo se ubicará en la posición central de su recorrido. Si el ancho de pulso disminuye, el servo se mueve de manera proporcional hacia un lado. Si el ancho de pulso aumenta, el servo gira hacia el otro lado (figura A.2(b)). Generalmente el rango de giro de un servomotor cubre entre 90º y 180º de la circunferencia total, o un poco más, según la marca y modelo.

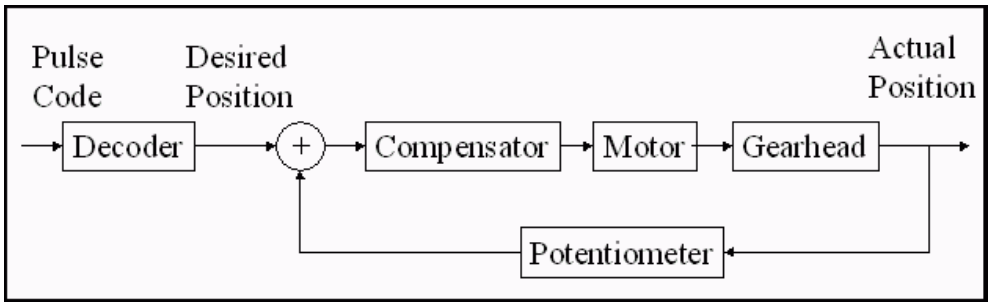


Figura A.3: Diagrama de bloques de un servomotor

A.1 Esquema de control

Hay dos formas de contemplar este tipo de esquemas de control. Desde el punto de vista del controlador, es un sistema de bucle abierto. No existe realimentación entre el servomotor y el sistema que genera los pulsos. Desde el punto de vista del nivel local (interior del «servo») es un sistema de bucle cerrado. La electrónica del servomotor está constantemente tratando de eliminar la diferencia entre los comandos y la posición actual. Esta doble personalidad es una característica muy importante, ya que el «servo» necesita una atención mínima por parte del controlador, pero a su vez de forma constante resiste activamente corrigiendo las influencias externas que pueden llevar el eje lejos de la posición ordenada.

A.2 Diagrama de control

El diagrama de bloques de la figura A.3 muestra el mecanismo de realimentación interna del servo. La posición deseada se compara con la posición de salida del eje del servo. Un compensador ajusta esta señal, y se establece la entrada del motor. El motor está conectado a una caja de engranajes, de modo que la salida tiene un alto par, aunque una baja velocidad. Un potenciómetro está

conectado al eje de salida para proporcionar la señal de realimentación.

A. Funcionamiento de un servomotor

Anexos B

Protocolo de un ratón mecánico

En este apéndice vamos a explicar el protocolo de un ratón mecánico. Es necesario conocer este protocolo para luego tratar con los datos que reporta el fichero de lectura del ratón.

B.1 Paquete de datos

Los valores de movimientos son enteros en complemento a 2 de 9 bits, donde el bit más significativo o bit de signo corresponde a los bit 5 y 6 del byte 1: el X sign bit y el Y sign bit. Su valor representa el incremento de cada contador con respecto al último paquete enviado, en unidades correspondientes a la resolución actual. El rango de valores va desde -255 a +255. Si se sobrepasa este rango, el bit correspondiente de overflow es activado: X overflow o Y overflow.

Los bits Medio, Derecho e Izquierdo corresponde al estado del botón con ese nombre: pulsado (valor 1) o no pulsado (valor 0).

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	Y overflow	X overflow	Y sign bit	X sign bit	1	Medio	Dcho	Izdo
Byte 2	Movimiento X							
Byte 3	Movimiento Y							

Tabla B.1: Paquete de datos de movimiento

Bibliografía

[1] http://www.zmp.co.jp/e_html/products_rc-z_en.html. Página web de la compañía japonesa ZMP.

[2] http://www.linuxfordevices.com/c/a/News/Linux-robot-car-targets-autonomous-navigation/. Página web de noticias sobre dispositivos que utilizan todo el potencial de Linux.

[3] http://www.dustbot.org/. Web oficial del proyecto Dustbot.

[4] http://www.pspc.dibe.unige.it/~drivsco/. Página web del grupo PSPC en el Departamento de Biofísica y de Ingeniería Electrónica (Dibe) de la Universidad de Génova (Italia).

[5] http://www.eurekalert.org/pub_releases_ml/2009-09/aaft-r092209.php. Esta página web es un servicio mundial de noticias operado por la AAAS, sociedad de la ciencia. La web aporta noticias de investigación a los medios de comunicación.

[6] http://granadadigital.com/index.php/universidad_gr/157110-redaccion-gd. Periódico digital de Granada de noticias varias.

[7] E.J. González, L. Acosta, A. Hamilton, J. Felipe, M. Sigut, J. Toledo, and R. Arnay. *Distributed Computing, Artificial Intelligence, Bioinfor-*

matics, Soft Computing, and Ambient Assisted Living, chapter Towards a Multiagent Approach for the VERDINO Prototype. June 10-12, 2009.

[8] Rafael Arnay, Leopoldo Acosta, Marta Sigut, and Jonay T. Toledo. *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2008)*, chapter Detection of Non-structured Roads Using Visible and Infrared Images and an Ant Colony Optimization Algorithm. 2009.

[9] Evelio J. González, Leopoldo Acosta, Alberto Hamilton, Jonatán Felipe, Marta Sigut, Jonay Toledo, and Rafael Arnay. Towards a multiagent approach for the verdino prototype. In *IWANN '09: Proceedings of the 10th International Work-Conference on Artificial Neural Networks*, pages 21–24, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag.

[10] Alberto Broggi, Massimo Bertozzi, and Alessandra Fascioli. Argo and the millemiglia in automatico tour. *IEEE Intelligent Systems*, 14(1):55–64, 1999.

[11] *Automatic Vehicle Guidance: the Experience of the ARGO Autonomous Vehicle.* World Scientific Co. Publisher, Singapore, 1999.

[12] http://www.iai.csic.es/users/autopia/accueil.htm. Página web del proyecto AUTOPIA por el Instituto de Automática Industrial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

[13] Joshue Perez, Carlos Gonzalez, Vicente Milanes, Enrique Onieva, Jorge Godoy, and Teresa de Pedro. Modularity, adaptability and evolution in the autopia architecture for control of autonomous vehicles. *IEEE International Conference on Mechatronics*, 2009.

[14] http://cs.stanford.edu/group/roadrunner. Stanford Racing Team.

[15] http://www.popularmechanics.com/science/robotics/2169012.html?page=1. Popular Mechanics.

[16] António J. R. Neves, Gustavo A. Corrente, and João. Figueiredo. Nightmare: a simple and efficient vision-based robot. In EPIA-2005, editor, *Proc. of the 12th Portuguese Conf. on Artificial Intelligence*. Covilhã, Portugal, December 2005.

[17] *Mobile Robotic Car Design*. 2005.

[18] www.maxbotix.com. Sensores sonares Maxbotix.

[19] http://www.acroname.com/robotics/info/articles/sharp/sharp.html. Sensores infrarrojos de Sharp.

[20] www.phidgets.com. Página de productos USB de robótica.

[21] *Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning*. Univ. Michigan, 1996.

[22] *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press, 2000.

[23] Manuel Cascajosa. *Ingeniería de vehículos: sistemas y cálculos*. Tébar, 2007.

[24] www.m-w.com. Diccionario de términos técnicos.

BIBLIOGRAFÍA

Glosario

A

ASEIMOV *Autonomous Scaled Electric Intelligent MOnitorized Vehicle.* Siglas del nombre de este proyecto, p. 28.

C

centro de gravedad El Centro de gravedad es el punto en el cual se puede considerar que todo el peso de un cuerpo está concentrado y representado como una partícula. Cuando la aceleración debida a la gravedad sea constante, el centro de gravedad y el centro de masa de un cuerpo homogéneo coinciden, p. 103.

centro de masas El Centro de masa es el punto en el cual se puede considerar concentrada toda la masa de un objeto o de un sistema, p. 103.

centroide Si una figura geométrica posee un centro de simetría, este punto es el centroide de la figura. Cuando se hable de un cuerpo físico real, hablaremos de centro de masa. Si la densidad del cuerpo es la misma en todos los puntos, las posiciones del centroide y el centro de masa coinciden, p. 103.

E

electricidad estática La electricidad estática es un fenómeno que se debe a una acumulación de cargas eléctricas en un objeto. Esta acumulación puede dar lugar a una descarga eléctrica cuando dicho objeto se pone en contacto con otro, p. 57.

encoder Un encoder es un codificador rotatorio, también llamado codificador del eje, suele ser un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, p. 46.

exactitud La exactitud en un sensor es la capacidad de un instrumento de medida de dar indicaciones que se aproximen al valor real, exacto o verdadero de la magnitud medida, p. 87.

F

fidelidad La fidelidad en un sensor hace referencia a la capacidad de un sensor de dar la misma medida al medir varias veces la misma magnitud en las mismas condiciones, p. 87.

filtro pasivo Filtro electrónico que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, formado únicamente por elementos pasivos, es decir, resistencias, condensadores y bobinas, p. 114.

fusible reseteable Fusible conocido como PTC, se trata de una resistencia con propiedades muy características. Si el circuito trata de consumir más de una de corriente determinada el PTC se “abrirá” (por calentamiento). Al incrementar su resistencia tratará de romper el

circuito permitiendo solo una pequeña corriente de fuga. Al mitigarse esa sobreintensidad, el PTC se resetea y permite que fluya nuevamente corrientes de hasta el valor de dicho fusible. Es un fusible ideal para ser empleado en dispositivos con baterías que requieren protección contra descargas accidentales de alta corriente, p. 113.

H

hub USB dispositivo que permite concentrar varios puertos USB *Universal Serial Bus*, permitiendo la conexión con una máquina mediante un solo bus. Podría definirse como un distribuidor o concentrador de puertos USB, p. 78.

I

infrarrojos Dispositivo electrónico que mide la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación, esta resulta invisible para nuestros ojos pero no para estos aparatos electrónicos, ya que se encuentran en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible, p. 48.

L

LIDAR *Light Detection and Ranging* tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado, p. 17.

O

odometría La odometría es el estudio de la estimación de la posición de vehículos con ruedas durante la navegación, p. 25.

odómetro Dispositivo que indica la distancia recorrida en un viaje por un vehículo, p. 17.

P

Plug-and-play *enchufar y usar.* Tecnología que permite a un dispositivo informático ser conectado a un ordenador sin tener que configurar los controladores mediante jumpers o software específico proporcionado por el fabricante.

S

Schottky Los diodos Schottky son dispositivos que tienen una caída de voltaje directa (VF) muy pequeña, del orden de 0.3V o menos. Operan a muy altas velocidades y se utilizan en fuentes de potencia, circuitos de alta frecuencia y sistemas digitales. Reciben también el nombre de diodos de recuperación rápida (Fast recovery) o de portadores calientes. A diferencia del diodo semiconductor normal que tiene una unión P–N, el diodo schottky tiene una unión Metal-N, p. 113.

servomotor Es un dispositivo que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control, p. 31.

sonar Sensor de distancia analógico mediante sonido. Produce una salida analógica discreta dependiendo del tiempo en que se demora el pulso de sonido en regresar al sensor, el cual puede ser utilizado para calcular la distancia aproximada, p. 48.

V

visión estereoscópica La visión binocular o visión estereoscópica es la capacidad que tiene un ser vivo de integrar las dos imágenes que está viendo en una sola por medio del cerebro (Sistema nervioso central). Éste último es el encargado de percibir las sensaciones que tanto un ojo como otro están viendo y de enviar una respuesta única y en tres dimensiones, p. 26.

Z

zener Los diodos zener o también llamado diodos de avalancha o de ruptura, son diodos semiconductores de unión pn cuyas propiedades están controladas en las zonas de polarización inversa y por esto son muy útiles en numerosas aplicaciones. El diodo zener es la parte esencial de los reguladores de tensión casi constantes con independencia de que se presenten grandes variaciones de la tensión de red, de la resistencia de carga y temperatura, p. 113.