

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior



Integración de sistemas en el iCab2.

Unidad de dirección.

Proyecto fin de carrera

Ingeniería Industrial

Gerardo Lara Sánchez

Septiembre 2011

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática.

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Integración de la unidad de dirección para el iCab2.

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor: Gerardo Lara Sánchez

Director: Fernando García Fernández

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior

Agradecimientos.

“*Triunfan* aquellos que saben cuándo luchar y cuándo no.”

Debo agradecer este proyecto a todos los que me han ayudado a llegar hasta aquí, y a los que me han hecho ver que hay mucho mundo después de la carrera, a los que me han formado para ello, y a los que me han dado mal ejemplo, porque de ellos también se aprende.

A mis padres, que tanto han sacrificado por mí, tantas veces han tenido que verme abajo por las derrotas, y tanto me han apoyado por superar esos fracasos; a mis hermanos, que tan poco han jugado conmigo mientras yo debía estudiar; a mis abuelos, los que lo han visto y los que no, que siempre han soñado por ver a su nieto llegar hasta aquí, igual que lo quieren para los sucesivos, y a mis tíos, tías y primos por animarme a conseguir lo que quiero.

A María, por alegrarme cada día con su buen humor.

A Jesús, por cambiarme el índice y enseñarme el poder del ratón y de la constancia.

A José Javier, por ayudarme en las labores de escritorio y a atar cabos sueltos.

A Fernando y Ángela, por suplirme de energías.

A José María, Arturo, y Fernando, por dejarme romper cosas a costa de tener que arreglarlas y mejorarlas después.

A Juanma y Pedro, porque sin sus ideas ni su ayuda no existiría este proyecto.

Índice de Contenidos

Índice de Contenidos

| | | |
|-------|---|------|
| I | INDICE DE FIGURAS..... | v |
| II | INDICE DE TABLAS..... | viii |
| III | INDICE DE ECUACIONES..... | ix |
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Propósito del proyecto..... | 1 |
| 1.2 | Desarrollo actual del iCab2 | 4 |
| 1.3 | Objetivos | 4 |
| 1.4 | Interés científico-industrial. Aplicaciones. | 6 |
| 2 | Estado del arte | 8 |
| 2.1 | Cybercars..... | 8 |
| 2.2 | ULTra | 9 |
| 2.3 | Minnesota Guidestar..... | 10 |
| 2.4 | Chauffeur..... | 11 |
| 2.5 | Skyweb Express | 11 |
| 2.6 | RUF | 12 |
| 2.7 | MIMICS..... | 13 |
| 3 | Diseño a nivel de sistema..... | 15 |
| 3.1 | Descripción general..... | 15 |
| 3.1.1 | Esquema de conjunto y unidades que lo forman..... | 15 |
| 3.1.2 | Modos de funcionamiento de la plataforma | 17 |
| 3.1.3 | Desglose de las unidades | 17 |
| 4 | Sistemas electromecánicos | 24 |



| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | Primera etapa..... | 25 |
| 4.1.1 | Motor Reductor..... | 25 |
| 4.1.2 | Encoder | 25 |
| 4.1.3 | Finales de carrera | 26 |
| 4.1.4 | Montaje del conjunto..... | 27 |
| 4.2 | Segunda etapa..... | 27 |
| 4.2.1 | Emplazamiento de la electrónica | 28 |
| 4.2.2 | Soporte de las guías telescópicas..... | 29 |
| 4.2.3 | Emplazamiento de las interfaces | 29 |
| 4.3 | Tercera etapa | 33 |
| 4.3.1 | Cableado..... | 33 |
| 4.3.2 | Interfaz de los subsistemas de Dirección: Control-Potencia..... | 35 |
| 5 | Sistemas electrónicos embebidos (SEE) | 37 |
| 5.1 | Introducción a los sistemas EDA | 37 |
| 5.2 | SEE pertenecientes al módulo de control | 38 |
| 5.2.1 | Circuito de alimentación | 39 |
| 5.2.2 | Microcontrolador | 39 |
| 5.2.3 | Circuito de programación y depuración..... | 42 |
| 5.2.4 | Unidad de comunicaciones con el PC..... | 43 |
| 5.2.5 | Comunicaciones con la unidad de tracción..... | 44 |
| 5.2.6 | Comunicaciones con el módulo de joystick | 45 |
| 5.2.7 | Control de estado del sistema..... | 46 |
| 5.2.8 | Control de temperatura | 47 |
| 5.2.9 | Conectores módulo de control..... | 50 |
| 5.3 | SEE pertenecientes al módulo de potencia..... | 60 |
| 5.3.1 | Circuito de alimentación | 61 |
| 5.3.2 | Comunicación con el módulo de control | 61 |
| 5.3.3 | Lógica de control | 61 |
| 5.3.4 | Puente en H..... | 62 |
| 5.3.5 | Conectores módulo de potencia | 63 |
| 5.4 | Diseño del PCB | 66 |
| 5.4.1 | Introducción al Layout..... | 67 |
| 5.4.2 | Especificaciones de diseño | 68 |
| 5.4.3 | Placa del módulo de control..... | 73 |



| | | |
|-------|--|--------------------------------------|
| 5.4.4 | Placa del módulo de potencia | 75 |
| 5.4.5 | Placa del módulo interfaz control-potencia | 76 |
| 6 | Montaje | 78 |
| 6.1 | Primera etapa | 78 |
| 6.2 | Segunda etapa | 80 |
| 6.2.1 | Montaje de la tapa de la guantera | 80 |
| 6.2.2 | Montaje de las placas al disipador | 81 |
| 6.3 | Tercera etapa | 84 |
| 6.3.1 | Cableado | 84 |
| 6.3.2 | Interfaz de los subsistemas de Dirección: Control-Potencia | 85 |
| 6.3.3 | Paneles frontales de interfaz humana | 86 |
| 7 | Software | 88 |
| 7.1 | Esquema de funcionamiento | 89 |
| 8 | Medidas experimentales | 92 |
| 8.1 | Pruebas en el módulo de control | 92 |
| 8.2 | Pruebas en el módulo de interfaz control-potencia | 94 |
| 8.3 | Pruebas en el módulo de potencia | 97 |
| 8.3.1 | Estado de reposo del puente | 99 |
| 8.3.2 | Estado de movimiento en sentido antihorario | 101 |
| 9 | Conclusiones | 102 |
| 9.1 | Trabajos futuros | 103 |
| | Bibliografía | 110 |
| A. | Libros | 110 |
| B. | Libros en formato PDF | 110 |
| C. | PowerPoint | ¡Error! Marcador no definido. |
| D. | Recursos de internet | 112 |
| E. | Apuntes de asignaturas | 114 |
| F. | Memorias de trabajos dirigidos, PFC's y tesis de máster | 114 |
| | Anexo A: Presupuesto | 116 |
| 1. | Personal | 116 |
| 2. | Materiales | 117 |
| 3. | Coste total del proyecto | 118 |
| | Anexo B: Esquemático del Módulo de Control. | 119 |
| | Anexo C: Esquemático del Módulo de Potencia. | 121 |



| | |
|--|-----|
| Anexo C: Esquemático del Módulo de Potencia. | 122 |
| Anexo D: Esquemático de un nuevo módulo genérico. | 123 |
| Anexo E: Esquemático de la interfaz control-potencia. | 125 |
| Anexo F: Plano de la tapa de la Guanterera. | 126 |
| Anexo G: Plano del Soporte de la Unidad de Dirección. | 128 |
| Anexo H: Plano de Modificación de los Conectores de Potencia. | 130 |
| Anexo I: Mecanizado y Roscado del disipador. | 132 |
| Anexo J: Plano del frontal de interfaz humana. | 134 |
| Anexo K: Comandos del puerto serie en el iCab2. | 136 |
| Anexo L: Mantenimiento..... | 142 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Ezgo Vehículo Original..... | 1 |
| Figura 1.2 Aplicación de la comunicación entre vehículos V2V | 3 |
| Figura 1.3 Plataforma iCab. Sensores y comunicaciones..... | 3 |
| Figura 2.1 Cybercars..... | 9 |
| Figura 2.2 ULTra | 10 |
| Figura 2.3 Minnesota Guidestar..... | 10 |
| Figura 2.4 Chauffeur..... | 11 |
| Figura 2.5 Skyweb Express | 12 |
| Figura 2.6 RUF | 12 |
| Figura 2.7MIMICS..... | 13 |
| Figura 3.1 Esquema de bloques del conjunto y localización en la plataforma | 16 |
| Figura 3.2 Ubicación de las unidades y los tendidos eléctricos | 16 |
| Figura 3.3 Modos de funcionamiento del sistema..... | 17 |
| Figura 3.4 Esquema montaje de unidad de comunicaciones..... | 18 |
| Figura 3.5 Ubicación de la unidad de comunicaciones | 18 |
| Figura 3.6 Modificaciones de la unidad de tracción | 19 |
| Figura 3.7 Esquema mecánico dirección original (Izq). Esquema elementos reutilizados (Der) 20 | 20 |
| Figura 3.8 Eliminación del volante | 21 |
| Figura 3.9 Unidad de dirección: Módulos | 21 |
| Figura 3.10 Módulo de Control: Subsistemas | 22 |
| Figura 3.11 Módulo de Potencia: Subsistemas | 23 |
| Figura 4.1 Proceso de diseño. Elementos que lo modifican | 24 |
| Figura 4.2 Moto-reductor Parvalux PM60 LWS..... | 25 |
| Figura 4.3 Encoder TKM60 | 26 |
| Figura 4.4 Finales de carrera | 26 |
| Figura 4.5 Montaje del conjunto motor encoder..... | 27 |
| Figura 4.6 Vista frontal habitáculo | 28 |
| Figura 4.7 La tapa unida por unos topes inferiores y un cierre superior | 29 |
| Figura 4.8 Soporte único para ambos lados..... | 29 |
| Figura 4.9 Flujo de aire forzado en la guantera | 30 |
| Figura 4.10 Vistas de la tapa con todos los elementos del diseño | 31 |
| Figura 4.11 Interruptores de seguridad para el panel de interfaz humana..... | 32 |
| Figura 4.12 guardadedos de seguridad para los interruptores..... | 32 |
| Figura 4.13 Tubos corrugados como elemento de protección | 34 |
| Figura 4.14 diagrama de la nueva organización de los cables | 34 |
| Figura 4.15 Placa de control y sus conectores | 35 |
| Figura 4.16 Segundo prototipo adaptador de niveles TTL-CMOS..... | 36 |
| Figura 5.1 layout del enrutado y simulación en OrCAD del resultado | 38 |
| Figura 5.2 Circuito de alimentación | 39 |
| Figura 5.3 Micro controlador PIC18F4550 | 39 |
| Figura 5.4 Circuito del Microcontrolador | 40 |
| Figura 5.5 Circuito de programación y depuración..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.6 Unidad de comunicaciones con el PC..... | 44 |
| Figura 5.7 Comunicaciones con la unidad de tracción. Envío | 45 |
| Figura 5.8 Comunicaciones con la unidad de tracción. Recepción | 45 |
| Figura 5.9 Comunicaciones con el submódulo de joystick..... | 46 |
| Figura 5.10 Control de estado del sistema..... | 46 |
| Figura 5.11 Control de temperatura | 47 |
| Figura 5.12 Características ULN2803 (Array de transistores Darlington) | 47 |
| Figura 5.13 Características Traco Ten5 4812 | 47 |
| Figura 5.14 Características de los ventiladores de 12 [V] de Maglev | 48 |
| Figura 5.15 Características de los ventiladores de la compañía S-force para 48 [V] | 49 |
| Figura 5.16 Propiedades ventilador Sunon KDE2404PKV2.MS.A.GN..... | 49 |
| Figura 5.17 Conector RJ45. Mono puerto | 50 |
| Figura 5.18 Conector AMP con un espaciado de 2,54 [mm]..... | 51 |
| Figura 5.19 SUBD 9 posiciones | 52 |
| Figura 5.20 Cableado del Joystick | 53 |
| Figura 5.21 Conector de sensado..... | 54 |
| Figura 5.22 Header 5x2 | 54 |
| Figura 5.23 Conector DB25 | 57 |
| Figura 5.24 Conector DB25 | 59 |
| Figura 5.25 Lógica de control | 62 |
| Figura 5.26 Puente en H..... | 62 |
| Figura 5.27 header 5x2..... | 63 |
| Figura 5.28 Conectores Tyco 556879-2 (izquierda) 556881-2 (derecha)..... | 64 |
| Figura 5.29 Detalle del conector a la placa de potencia | 65 |
| Figura 5.30 Conector J2 modificado..... | 65 |
| Figura 5.32 Perfil de una placa monocapa | 67 |
| Figura 5.33 Perfil de una placa bicapa | 67 |
| Figura 5.34 Encapsulado del transistor TO220 para el IRFIZ44N | 72 |
| Figura 5.35 Selección de cables..... | 72 |
| Figura 5.36 Placa del módulo de control Layout final. Capa TOP | 74 |
| Figura 5.37 Placa del módulo de control Layout final. Capa BOTTOM | 74 |
| Figura 5.38 Placa del módulo de potencia Layout final. Capa TOP..... | 75 |
| Figura 5.39 Placa del módulo de potencia Layout final. Capa BOTTOM..... | 75 |
| Figura 5.40 Placa del módulo interfaz control-potencia. Layout final. Capa TOP..... | 77 |
| Figura 5.41 Placa del módulo interfaz control-potencia. Layout final. Capa BOTTOM..... | 77 |
| Figura 6.1 conjunto motor encoder montado | 79 |
| Figura 6.2 Montaje del conjunto motor. Detalle de la junta cardan | 80 |
| Figura 6.3 Cableado del motor y del conjunto encoder-final de carrera..... | 80 |
| Figura 6.4 Vista frontal de la tapa | 81 |
| Figura 6.5 Vista posterior de la tapa | 81 |
| Figura 6.6 Unidad de dirección montada sobre el disipador | 82 |
| Figura 6.7 Montaje final extendido en la guantera..... | 82 |
| Figura 6.8 Montaje final recogido en la guantera..... | 83 |
| Figura 6.9 Conector DB25 de información y alimentación | 84 |



| | |
|---|-----|
| Figura 6.10 Conector DB25 de encoder y finales de carrera | 85 |
| Figura 6.11 Conector de potencia y portafusibles | 85 |
| Figura 6.12 montaje de la Interfaz control-potencia | 86 |
| Figura 6.13 vista general y cableado tras el frontal..... | 87 |
| Figura 9.1 arranque del sistema..... | 90 |
| Figura 9.2 Memoria EEPROM usada hasta el momento | 91 |
| Figura 9.3 Memoria de programa y de datos usada hasta el momento..... | 91 |
| Figura 8.1 Montaje para las pruebas de la interfaz control-potencia..... | 95 |
| Figura 8.2 Comprobación de las entradas de la interfaz control-potencia..... | 95 |
| Figura 8.3 Comprobación de las salidas PWMDIR y DPUENTE de la interfaz control-potencia.. | 96 |
| Figura 8.4 Comprobación de las salidas FCSUP y FCINF de la interfaz control-potencia..... | 96 |
| Figura 8.5 Simulador Módulo de Potencia..... | 97 |
| Figura 8.6 Fase de pruebas. Puente en H en reposo..... | 99 |
| Figura 8.7 Fase de pruebas. Puente en H en movimiento horario | 100 |
| Figura 8.8 Sentido horario Ciclo de trabajo del 20 %..... | 100 |
| Figura 8.9 Fase de pruebas. Movimiento del puente en sentido antihorario | 101 |
| Figura 9.1 Resultado de la integración de la dirección en el iCab2..... | 102 |
| Figura 9.2 Diseño OrCAD Capture de una placa por defecto..... | 107 |
| Figura 9.3 Diseño de una fuente de alimentación forward ejemplo | 109 |
| Figura 9.4 Diseño ejemplo de la red de comunicaciones..... | 109 |



Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 4.1 Características Moto-reductor Parvalux PM60 LWS | 25 |
| Tabla 4.2 Características encoder TKM60..... | 26 |
| Tabla 4.3 Características de los finales de carrea | 26 |
| Tabla 5.1 Características micro controlador PIC18F4550 | 40 |
| Tabla 5.2 Descripción de las señales del microcontrolador | 42 |
| Tabla 5.3 Características MAX1480B..... | 44 |
| Tabla 5.4 Equivalencia entre indicadores y señales de excitación..... | 46 |
| Tabla 5.5 Propiedades ventilador Sunon KDE2404PKV2.MS.A.GN | 49 |
| Tabla 5.6 Señales del conector J1. Conector de programación/depuración | 51 |
| Tabla 5.7 Señales del conector J2. Conector de comunicaciones con el PC | 52 |
| Tabla 5.8 Conexionado del cable del conector J2 al módulo de comunicaciones | 52 |
| Tabla 5.9 Señales del conector J3. Conector de comunicaciones con el joystick | 53 |
| Tabla 5.10 Señales del conector J4. Conector del circuito de sensado..... | 54 |
| Tabla 5.11 Señales del conector J5. Conector de comunicaciones con el módulo de potencia. 55 | |
| Tabla 5.12 Señales del conector J6. Conector de comunicación con la tracción | 55 |
| Tabla 5.13 Señales del conector J7. Control del estado del sistema (LED's) | 56 |
| Tabla 5.14 Señales del conector J8. Control de ventiladores 1 y 3 | 56 |
| Tabla 5.15 Señales del conector J9. Control de ventiladores 2 y 4 | 56 |
| Tabla 5.16 Señales del conector J10. Circuito de control del freno..... | 57 |
| Tabla 5.17 Señales del conector P1..... | 58 |
| Tabla 5.18 Señales del conector P2. Circuito del encoder | 60 |
| Tabla 5.19 Señales del conector de ventiladores y LEDs | 60 |
| Tabla 5.20 Señales del conector J5. Conector de comunicaciones con el módulo de potencia. 64 | |
| Tabla 5.21 Señales del conector J2. Conector de potencia..... | 65 |
| Tabla 5.22 Características de diseño de las pistas | 69 |
| Tabla 5.23 Constantes para el cálculo del ancho de pista | 70 |
| Tabla 5.24 Ancho de Pista [mils] vs Variación de Temperatura [°C]..... | 71 |



Índice de Ecuaciones

| | |
|---|----|
| Ecuación 1 Ancho en función del área y la longitud | 69 |
| Ecuación 2 Área en función del ΔT y de las constantes | 69 |
| Ecuación 3 Ancho en función del ΔT y de las constantes..... | 70 |

Capítulo 1:

Introducción.

1 Introducción

1.1 Propósito del proyecto

El **iCab (Intelligent Car Automobile)** surge de un **vehículo eléctrico de transporte** al cual se le han realizado **modificaciones hardware y software** para el **control automático** de la plataforma (a través de un ordenador) o **manual** (por medio de un joystick y pedales).

El vehículo eléctrico utilizado como plataforma es un carro de golf de flota de la compañía Ezgo.

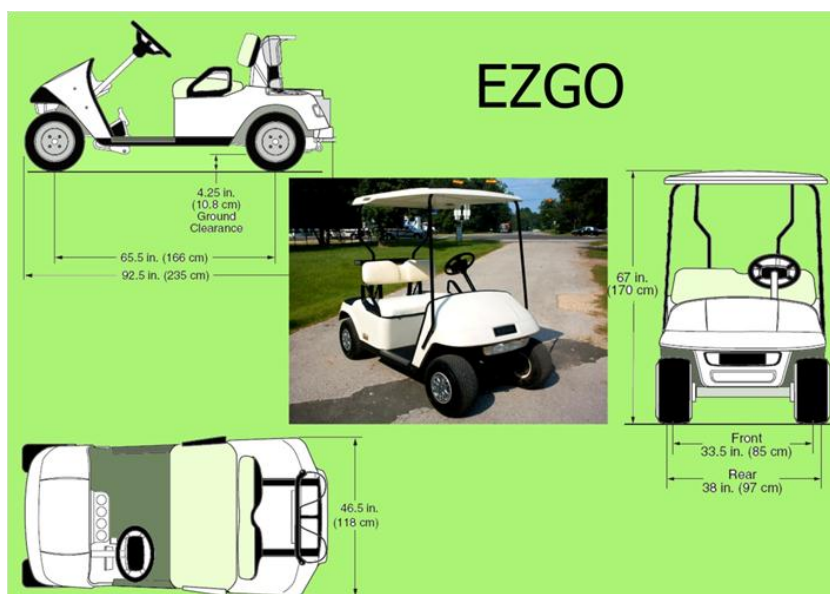


Figura 1.1 Ezgo Vehículo Original

Este proyecto de **I+D+I¹** pertenece a una de las líneas de investigación **del Laboratorio de Sistemas Inteligentes (LSI)** de la Universidad Carlos III de Madrid (**UC3M**) e involucra a personas que desarrollan e investigan en busca de la mejora del sistema en su conjunto.

El proyecto iCab surge con la primera plataforma (iCab1) y la evolución, para futuras líneas de investigación, es la creación de la segunda plataforma (iCab2). Es en este momento cuando surge el iCab2 y, con él, este proyecto. La plataforma será la misma, a efectos prácticos denominándola iCab; no obstante, se nombrará como iCab1 o iCab2 cuando se necesite hacer mención a la plataforma que recientemente se está fabricando o a la que ya está funcionando.

Las **plataformas iCab integran** un conjunto de **elementos que les permiten interactuar y conocer el entorno**. Estos sistemas que se le integran son: **un láser, un sistema de visión estereoscópica y un sistema GPS con sensores inerciales**. **Este conjunto de soluciones tecnológicas**, diseñadas para mejorar la operación y seguridad del transporte terrestre, sitúan a las plataformas iCab en el concepto de **Sistema Inteligente de Transporte (SIT)**.

El **objetivo principal de los SIT's es**, haciendo uso de las nuevas tecnologías, la **intensificación de los transportes y el control del mismo** con la aparición de nuevas formas de información sobre simulación, control en tiempo real y redes de comunicación. **El interés** de los SIT **proviene** de los **problemas causados por la congestión del tráfico** y sus aplicaciones pueden ser: el cobro electrónico de peajes, la gestión de tarifas de congestión en carreteras de acceso a las ciudades o la vigilancia automática de infracciones (velocidad y semáforos). No obstante, es de mayor interés la mayor seguridad en la carretera al añadir nuevas tecnologías, ya sean de control automático del vehículo, o de ayuda a la conducción.

Entre las plataformas iCab se establecerá un sistema de comunicaciones sin cables (wireless):

- **Entre vehículos** mediante un sistema **V2V (Vehicle to Vehicle)**.
- **Con una estación terrestre** a través un sistema **V2I (Vehicle to Infraestructure)**.

Los **sistemas V2V y V2I** tienen como **objetivo aumentar la seguridad en la carretera** y que los **conductores cuenten con información suficiente acerca de lo que ocurre a su alrededor**, facilitando su reacción ante cualquier peligro. Se presentan como **indicaciones sonoras o luminosas** como se puede ver a continuación:

¹ I+D+I significan Investigación + Desarrollo + Innovación tecnológica

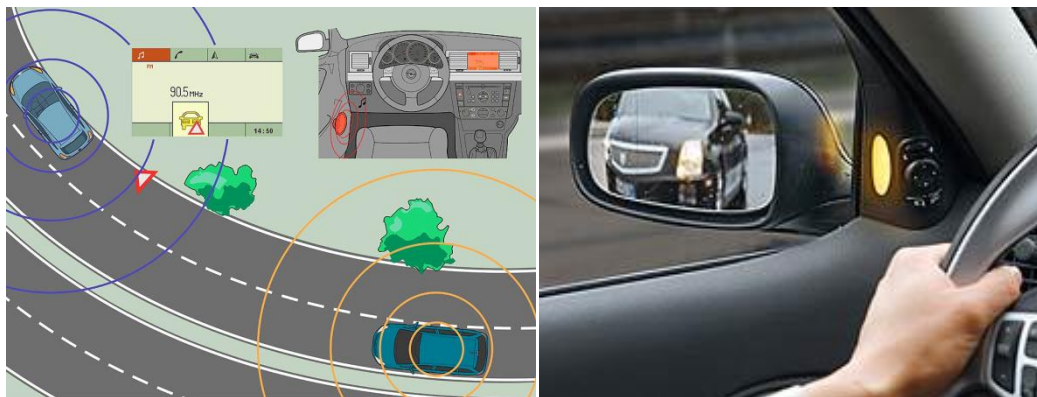


Figura 1.2 Aplicación de la comunicación entre vehículos V2V

A modo de resumen se pueden observar en la siguiente figura los sensores de que dispone cualquier plataforma iCab, los sistemas que la forman y su clasificación como sistema de transporte:





Laboratorio de
Sistemas Inteligentes



Sistema inteligente de transporte (SIT)

| | | |
|--|--|---|
| <p>Sistema Laser</p> <p>La medida de distancias en el entorno próximo al iCab es obtenida mediante el empleo de un láser SICK</p>  |  | <p>Movimiento Wireless</p> <p>Movimiento del vehículo por medio de un mando de la Wii</p>  |
| <p>Sistema GPS</p> <p>Sistema GPS diferencial, modelo MTI-G del fabricante Xsens Utilizado para el posicionamiento global. Posee sensores inerciales.</p>  | <p>Seta de emergencia inalámbrica</p> <p>Parada de emergencia de la plataforma.</p>  | <p>Pantalla táctil</p> <p>Xenarck 7" Dispositivo para intercambio de información con el PC</p>  |
| <p>Visión estereoscópica</p> <p>Sistema de visión para el cálculo de distancias</p>  | | |

Comunicaciones Wireless entre iCab's

Se establecen sistemas de comunicaciones del tipo V2V (Vehicule to vehicule)
V2I (Vehicule to infraestructure)



Figura 1.3 Plataforma iCab. Sensores y comunicaciones.



1.2 Desarrollo actual del iCab2

En estos momentos se están realizando avances en el control de la plataforma **iCab1**, estando su hardware **totalmente desarrollado** y siendo capaz de realizar movimientos sin actuación humana. Por tanto, la primera etapa de desarrollo se considera terminada.

En el momento de realización de este proyecto, el **iCab2** está en un estado avanzado pero aún **no operativo** para el desarrollo de la siguiente etapa, esto es, control desde un ordenador. Algunos de sus sistemas ya están implementados, como la seta inalámbrica, pero otros aún deben ser desarrollados hasta un nivel operativo, como la tracción y la alimentación de los sistemas con los solenoides. Por otro lado, faltan también montajes básicos para los siguientes trabajos, como son los cableados o los tubos de protección, que deberán ser montados en el vehículo.

1.3 Objetivos

El proyecto realizado tenía como **objetivo la construcción e integración de la unidad de dirección para la plataforma iCab2**.

La electrónica del iCab1 fue diseñada de tal forma que fuera **fácil de probar y testear**. Para el **iCab2** se partirá de la solución empleada en el iCab1, modificándola y adecuándola cuando ha sido posible para ir añadiendo las peculiaridades del **diseño modular, más sencillo y testado** propuesto para este proyecto.

En consecuencia los **objetivos primordiales** para este proyecto son **realizar la dirección en integración de sistemas de un nuevo vehículo** de la flota, y **aumentar la fiabilidad del sistema sin menospreciar la seguridad** (que se considera crítica por ser una plataforma que transportará personas).

Para la realización del mismo se plantearon **objetivos intermedios**:

Objetivos de diseño:



- **Introducción de mejoras al diseño** de la unidad de dirección, que añadan funcionalidades, una mayor modularidad y evitar los errores de diseño de la versión anterior.

Objetivos de fabricación:

- **Integración de la unidad de dirección** al hueco de la guantera.
- **Fabricar tres (3) unidades del módulo de control.**
- **Fabricar tres (3) unidades del módulo interfaz control-potencia.**
- **Fabricar una (1) unidad de interfaz frontal de LEDs y ventiladores.**
- **Fabricar dos (2) unidades de interfaz frontal de interruptores.**
- **Fabricación de todos los cables de conexión entre módulos y de alimentación del iCab2.**

Objetivos de seguridad, control y montaje:

- **Comprobar el funcionamiento de los módulos de control.**
- **Comprobar el funcionamiento de los módulos interfaz control-potencia.**
- **Montaje del módulo de control** en el conjunto de la unidad de dirección.
- **Montaje general del cableado** del vehículo.
- **Integración del sistema de control con los otros sistemas** del vehículo (Joystick, Tracción, Comunicaciones).
- **Revisión del software** para cubrir las nuevas funcionalidades, necesidades y expectativas del vehículo.

Durante el desarrollo del proyecto se marcaron unas pautas de diseño que se comentan a continuación:

- **El sistema debía tener protección electrónica** tanto para la unidad de dirección, como para los módulos de potencia y control. Esto se ha conseguido con la utilización de **fusibles** de protección para los módulos, un fusible de alimentación para la unidad de potencia y una **seta de emergencia** que interrumpe la corriente que suministran las baterías a la unidad de dirección y a la unidad de tracción.
- Un **diseño:**
 - **modular, funcional y de fácil montaje**, que se realizó con la herramienta informática Solid Edge.
 - capaz de dar a conocer **el estado de las unidades** que componen el sistema.

- **robusto**, que influye positivamente en la vida útil de los componentes que forman el diseño.
- realizado **con componentes comerciales** de fácil adquisición.
- Una distribución que facilita **un sencillo acceso y mantenimiento a la unidad de dirección** y a los módulos que la forman.
- **Simplificando las conexiones** de los **módulos de potencia y control**.

1.4 Interés científico-industrial. Aplicaciones.

La plataforma tiene un gran potencial y ofrece vías distintas para la investigación dentro del campo de los sistemas inteligentes.

Una de las **peculiaridades de esta unidad** (al estar provista de sensores, acelerómetros y un sistema de posicionamiento global) es la posibilidad de **adaptarse no solo a movimientos por el entorno** sino que podría llegar a **interactuar con él**. De esta manera, supera a los vehículos guiados por rutas fijas, siendo capaz de actuar en entornos más convencionales, abaratando los costes de implementación, ampliando su rango de aplicación y aumentando su interés en el campo de la investigación.

Una de las **aplicaciones de esta plataforma** es realizar actividades **de transporte de mercancías y personas en entornos urbanos de una manera autónoma**. Un ejemplo muy simple para ver el salto cualitativo que podría ofrecer el iCab es compararlo con un tren automatizado que transporta pasajeros sin conductor. Éste es capaz de desempeñar una tarea autónoma pero reducida, ya que se limita a las vías que están implementadas como su recorrido, lo que supone una alta inversión en infraestructura. En cambio, el iCab podría ser capaz de interactuar con el entorno por medio de todos sus sistemas de detección visual, como a través del posicionamiento GPS, **pudiendo evaluar y diseñar rutas “libres” sin carriles prefijados con el beneficio económico que introduce el concepto de “sin vías preconcebidas”**.

Una unidad funcional y operativa que fuera capaz de desempeñar estas funciones podría ser un medio de transporte “revolucionario”.



Por otro lado, la capacidad de controlar un vehículo enteramente eléctrico, añade un interés industrial en un área en auge en la actualidad, y que de seguro tendrá un gran crecimiento en los años venideros.



Capítulo 2:

Estado del Arte.

2 Estado del arte

Dentro del grupo de Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) se van a mencionar algunos de los SIT's más conocidos de forma esquemática diferenciando en los siguientes puntos:

- Plataforma
- Comportamiento
- Sensores
- Redes
- Otros datos de interés

2.1 Cybercars

Detrás de Cybercars aparece el consorcio Europeo INRIA² y el desarrollo está especialmente dirigido al transporte de personas (CyberCars, 2009).

² INRIA (Instituto Nacional de Investigación en Informática y Automática) es un centro de investigación francés especializado en Ciencias de la Computación, teoría del control y matemáticas aplicadas. Es un establecimiento público de investigación en ciencia y tecnología bajo la supervisión de los ministerios franceses de Investigación y de Economía, Finanzas e Industria.

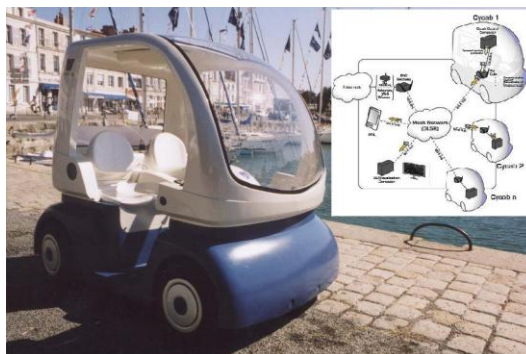


Figura 2.1 Cybercars

- **Plataforma:** es el primer desarrollo mundial de SIT basados en automóviles eléctricos.
- **Comportamiento:** su desarrollo se basa en un comportamiento autónomo capaz de calcular rutas On-line.
- **Sensores:** Inicialmente se comenzó utilizando balizas inductivas y Laser [Ollivier y Parent, 2002], con posterioridad se introdujo la visión estereoscópica 3D, [Royer, Dhome, y Lhullier, 2002] [Simond, 2007], Laser, sensores ultrasónicos, GPS y DGPS.
- **Redes:** El desarrollo contempla que pueda existir una red principal que comunique con todos los vehículos y que además puedan comunicarse entre ellos para compartir información.
- **Otros datos de interés:** Dispone de simulador [Mehani y Benenson, 2007] [Bouraoui y Petti, 2008] Boisse y Beneneson, 2007].

2.2 ULTra

Desarrollado por la Universidad de Bristol y la empresa ATS (Ultra, 2009).

- **Plataforma:** La propulsión se realiza con motor eléctrico y ruedas de goma que aminoran el ruido de rodadura.
- **Comportamiento:** Su comportamiento está basado en el cálculo de rutas en modo Off-Line, antes de comenzar el desplazamiento.
- **Sensores:** El sistema está basado en el guiado por carril y balizas inductivas.
- **Redes:** Una estación central establece la ruta y se la envía al vehículo para que la siga.
- **Otros datos de interés:** Esta implementado en el aeropuerto de Londres [Heathrow] y Cardiff.



Figura 2.2 ULTra

2.3 Minnesota Guidestar

Se trata de un programa estatal desarrollado por la Universidad de Minnesota (Guidestar, 2009)



Figura 2.3 Minnesota Guidestar

- **Plataforma:** Las pruebas se realizan en vehículos de motor térmico.
- **Comportamiento:** Se trata de un sistema que conoce la ruta a seguir y ayuda al conductor.
- **Sensores:** Entre otros dispone de balizas inductivas y detectores de colisión.
- **Redes:** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos y una red en cada vehículo para comunicarse con los que se encuentren próximos.
- **Otros datos de interés:** El concepto novedoso es que la información está en la carretera, además puede comunicarse con otros sistemas como por ejemplo el pago de peajes.

2.4 Chauffeur

Es un desarrollo en el que están participando entre otros DaimlerChrysler AG (Alemania), Centro Ricerche Fiat S.C.p.A. (Italia), IVECO (Italia) o Robert Bosch GmbH (Alemania) [CORDIS, 2009].



Figura 2.4 Chauffeur

- **Plataforma:** Se han realizado pruebas con dos vehículos de motor térmico (camiones).
- **Comportamiento:** Una persona conduce el primer vehículo del Convoy (vehículo guía) y el resto le sigue.
- **Sensores:** Está basado en sistemas de visión y radar.
- **Redes:** No utiliza comunicaciones.
- **Otros datos de interés:** Está diseñado para guiar un convoy con un único conductor, no en vano la traducción de chauffeur es conductor.

2.5 Skyweb Express

Creado por la compañía Taxi 2000. El diseño del vehículo se realizó para un único usuario [Taxi2000, 2009].



Figura 2.5 Skyweb Express

- **Plataforma:** Vehículo eléctrico monorraíl.
- **Comportamiento:** Se trata de un comportamiento programado. Se calcula el camino en modo Off-Line antes de comenzar el desplazamiento.
- **Sensores:** Los principales sensores están integrados en el raíl.
- **Redes:** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos. También existe comunicación entre vehículos que se encuentren próximos.
- **Otros datos de interés:** Dispone de un simulador Trackedit que permite el cálculo de rutas, dimensionado de la red, consumos, etc. Otro sistema similar fue SporTaxi (Suecia) que se intentó instalar en aeropuerto cercano a Oslo.

2.6 RUF

El concepto de RUF (Rapid Urban Flexible) fue inventado y desarrollado por Palle Jensen en Dinamarca.



Figura 2.6 RUF

- **Plataforma:** Son vehículos con motor eléctrico y pequeñas baterías, que se cargan mientras transitan por el raíl, también pueden ser vehículos híbridos.
- **Comportamiento:** Dispone de dos modos de funcionamiento, circulando por carreteras convencionales y guiado por carril.
- **Sensores:** Comunicación en el carril.
- **Redes:** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos.

- **Otros datos de interés:** Dispone de simulador y diseños para ser utilizados en sistemas de monorraíl elevados.

2.7 MIMICS

Ideado por la Universidad de Murcia en colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia y el Ministerio de Fomento [Úbeda y Martínez, 2001].



Figura 2.7 MIMICS

- **Plataforma:** Pruebas realizadas en un vehículo de motor térmico.
- **Comportamiento:** Control inteligente y apoyo a la conducción.
- **Sensores:** Utiliza el GPS EGNOS y Radar frontal. Evita obstáculos.
- **Redes:** En cada vehículo para comunicarse entre ellos.
- **Otros datos de interés:** Esta pensado principalmente para uso en convoy.

Cabe destacar que desde 1994 se celebra el congreso mundial ITS, en la bibliografía:

Descripción: ***Página oficial del congreso anual mundial de sistemas de transporte inteligente*** donde se muestra cada año los avances de las principales compañías en el sector, y donde se realizan tanto exhibiciones técnicas, como comienzos de joint-ventures³ entre empresas que suelen terminar en protocolos comunes de trabajo y diseño.

³ Joint-venture: acuerdo comercial entre empresas que deciden unir recursos o know-how para la realización de un avance tecnológico o comercial.



Capítulo 3:

Diseño a Nivel de Sistema.

3 Diseño a nivel de sistema

3.1 Descripción general

La plataforma está formada por diferentes unidades que se comunican entre sí para conseguir el objetivo común de controlar con total seguridad el vehículo.

3.1.1 Esquema de conjunto y unidades que lo forman

El iCab está formado por tres unidades:

- a) **Unidad de tracción:** es la encargada del **control del movimiento de las ruedas motrices** del vehículo.
- b) **Unidad de dirección:** es la encargada **del control de la posición de las ruedas directrices**. A este sistema se le atribuye el subsistema de joystick que controla la dirección en modo manual.
- c) **Unidad de comunicación:** es la **interfaz** encargada de **comunicar las unidades de dirección y tracción con el PC**.

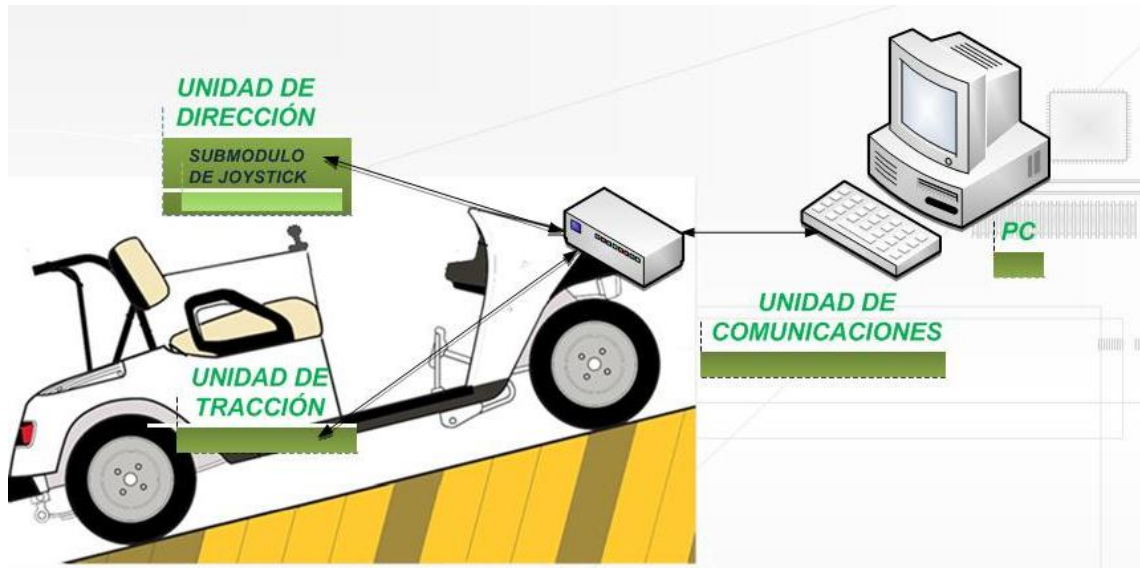


Figura 3.1 Esquema de bloques del conjunto y localización en la plataforma

Se presenta a continuación **la ubicación de las unidades en la plataforma original** y como se realizaron los tendidos eléctricos:

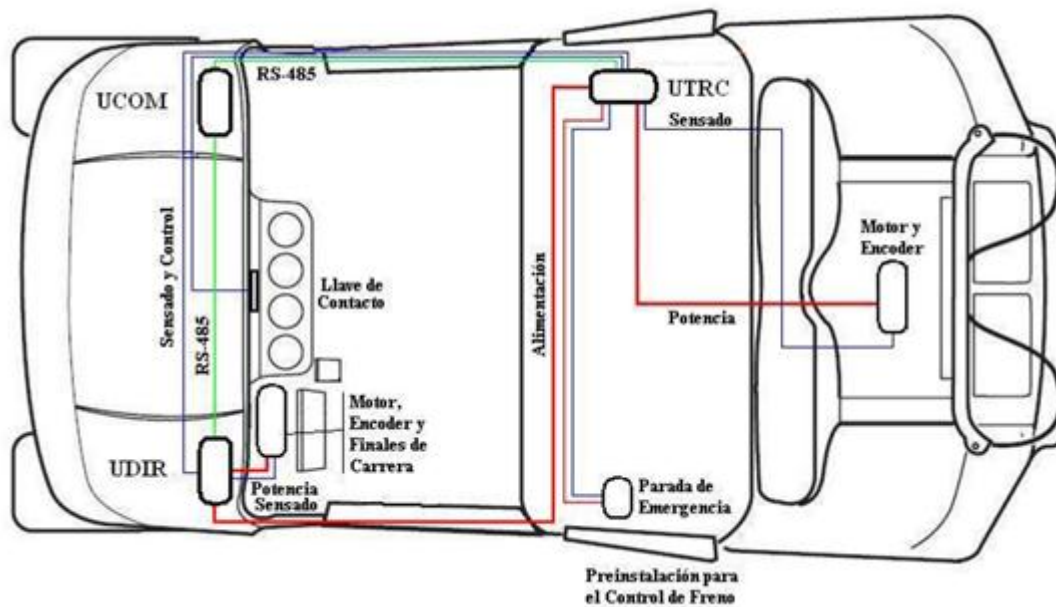


Figura 3.2 Ubicación de las unidades y los tendidos eléctricos

3.1.2 Modos de funcionamiento de la plataforma

El sistema dispone de dos modos de funcionamiento que se pueden intercambiar cuando la plataforma está apagada.

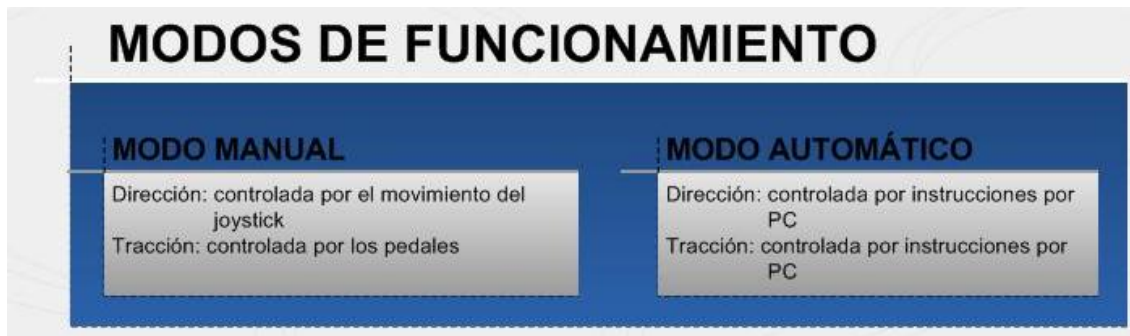


Figura 3.3 Modos de funcionamiento del sistema

- a) **Automático:** es **gobernado por el PC** a través del envío de información a la unidad de comunicación y ésta, a su vez, a las otras dos unidades.

El PC de control **envía la velocidad y aceleración** de consigna del **vehículo a la unidad de tracción** y **el ángulo y la velocidad de giro de las ruedas directrices a la unidad de dirección.**

El PC actúa con un nivel de abstracción mayor que la plataforma, puesto que es el encargado de generar la ruta a través de los sensores y posicionadores de que dispone.

Este modo es el que permite futuras líneas de investigación relacionadas con el control de la plataforma (SIT, V2V y V2I).

- b) **Manual:** lo manejan **los pedales originales de la plataforma** (para el **movimiento longitudinal**) y un **joystick** que manda la señal de **posición a la unidad de dirección** para controlar el giro de las ruedas directrices.

En este modo **la conducción la realiza un operador** y el uso de este modo está claramente indicado en las **etapas de desarrollo, depuración y diseño.**

3.1.3 Desglose de las unidades

Se va a describir las peculiaridades de diseño de las distintas unidades

1. Unidad de Comunicaciones

La **unidad de comunicaciones** presentaba **problemas potenciales de ruido**. En el sistema se dispone de **motores** que generan ruido al **accionarlos con señales moduladas por ancho de pulso (PWM)**.

Como se disponía de dos comunicaciones RS-485 (una por cada módulo) se optó por la adquisición de una **interfaz de RS-485 (2) a USB para facilitar el conexionado con el PC**. Se seleccionó RS-485 en lugar del RS-232 ya que se utiliza una transmisión diferencial que es más inmune al ruido.



Figura 3.4 Esquema montaje de unidad de comunicaciones

La **unidad de comunicaciones se ubica en la guantera derecha**, el tendido de los cables de comunicaciones ya no se realiza como se apreció en la Figura 3.2, aunque se sigue intentando evitar en mayor medida las interferencias que provengan de la alimentación de las unidades y de las alimentaciones de los motores.



Figura 3.5 Ubicación de la unidad de comunicaciones

2. Unidad de tracción

La **unidad de tracción** ha introducido **cambios mecánicos en la plataforma original** y ha necesitado del **diseño hardware** para el control de la tracción y poder establecer las **comunicaciones** con las otras unidades.

El **motor** original desarrolla una **potencia de 1900 [W]** a 2700 [rpm] y su **tensión nominal** es de **36 [V]**⁴. El motor es del tipo de excitación independiente y esta acoplado a una reductora con diferencial y desmultiplicador de 12,44:1. La cadena de transmisión envía el movimiento a los neumáticos traseros de 13 pulgadas.

El sistema presentaba un encoder de 4 pulsos por vuelta y el lazo de control era abierto, por lo cual **se ha sustituido el encoder por uno de mayor resolución** y se ha **realimentado el sistema para poder controlar la aceleración, velocidad y posición del motor y de la plataforma**.

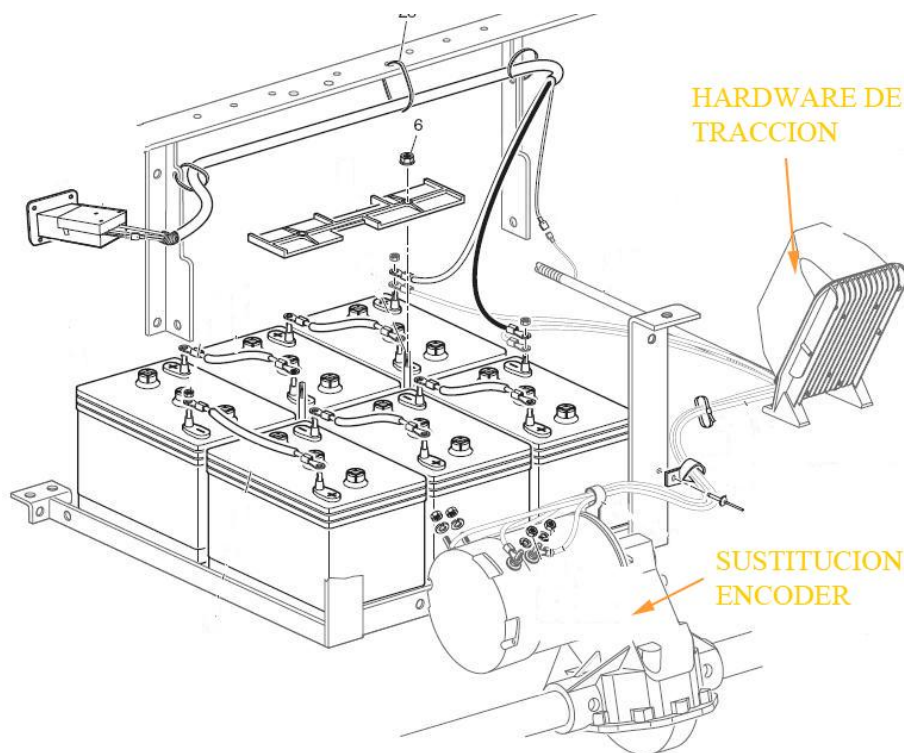


Figura 3.6 Modificaciones de la unidad de tracción

⁴ El sistema de almacenamiento de energía está formado por 6 baterías de 6[V] montadas en serie (las cuales son capaces de almacenar una carga de 225 [Ah]) que proporcionan una tensión de alimentación de 36 [V].

3. Unidad de dirección

La **dirección original** del vehículo era **completamente mecánica** y se controlaba a través de un **volante**, la barra de dirección, la cruceta y una cremallera de tres vueltas y media. El conjunto era el que producía el giro en las ruedas delanteras de 13 pulgadas.

Fue necesario **eliminar el volante** para controlar la dirección y el **diseño del hardware**, **incorporación** de un **motor, encoder** y del **diseño de la mecánica que lo acopla a la mecánica original** que se ha mantenido. La mecánica original que se ha aprovechado del vehículo se puede ver en la Figura 3.7 mientras que el montaje original es el que aparece en la parte izquierda de la misma figura.

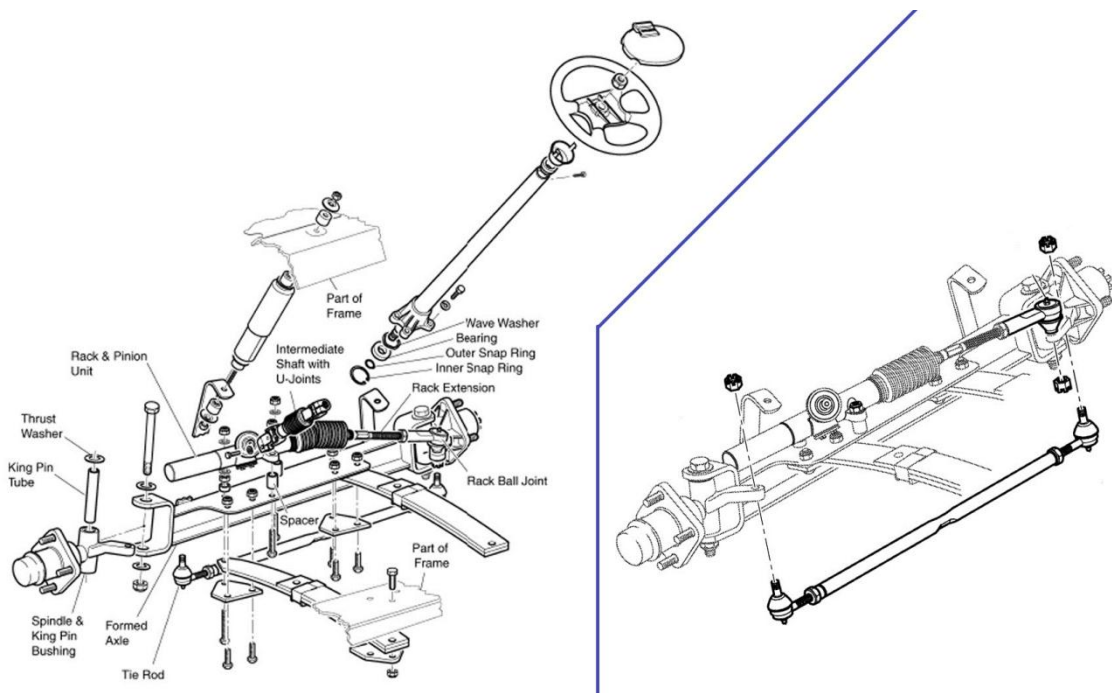


Figura 3.7 Esquema mecánico dirección original (Izq). Esquema elementos reutilizados (Der)

El conjunto electromecánico (que se puede observar en el apartado 4.1.4 Montaje del conjunto) de la dirección se realizó sobre los mismos anclajes del volante original. En la figura siguiente se puede observar el conjunto electromecánico y su ubicación en el vehículo.

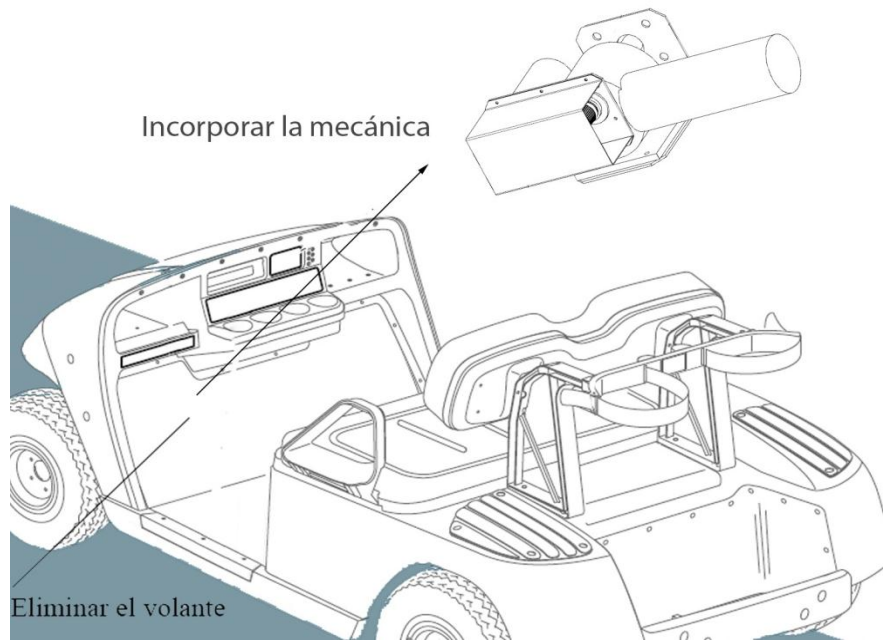


Figura 3.8 Eliminación del volante

La **unidad de dirección** de la plataforma iCab está **compuesta por 2 módulos**:



Figura 3.9 Unidad de dirección: Módulos

Módulo de control: Es el encargado de gestionar las **comunicaciones con la unidad de tracción, con el PC y generar las señales de control para el módulo de potencia.**

El **módulo de control** se divide en subsistemas (o circuitos) para poder definir mejor las peculiaridades de los mismos y, con ello, las del módulo. A continuación se muestran los subsistemas que forman en conjunto el módulo de control:

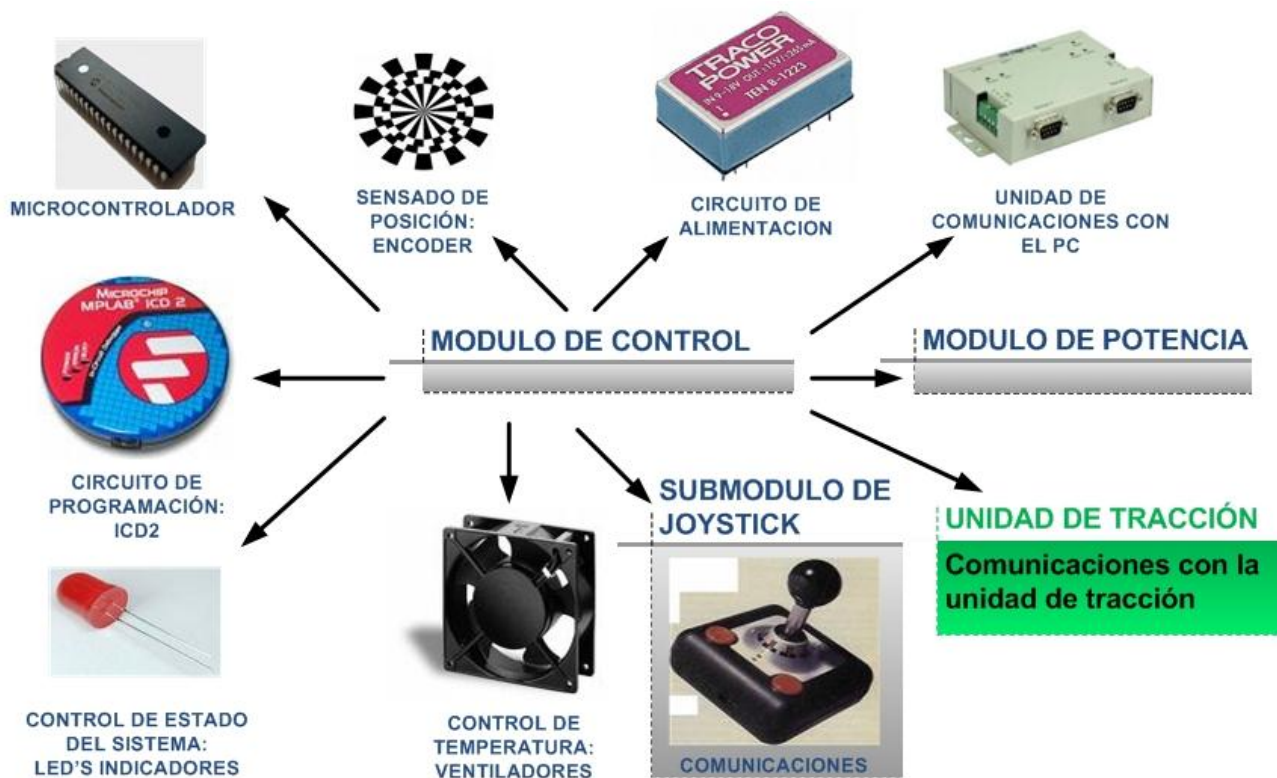


Figura 3.10 Módulo de Control: Subsistemas

Módulo de potencia: Es el encargado de **procesar las señales** lógicas que le llegan del **módulo de control** a un nivel de potencias mucho mayor.

Del mismo modo **el módulo de potencia se divide** en los siguientes subsistemas:

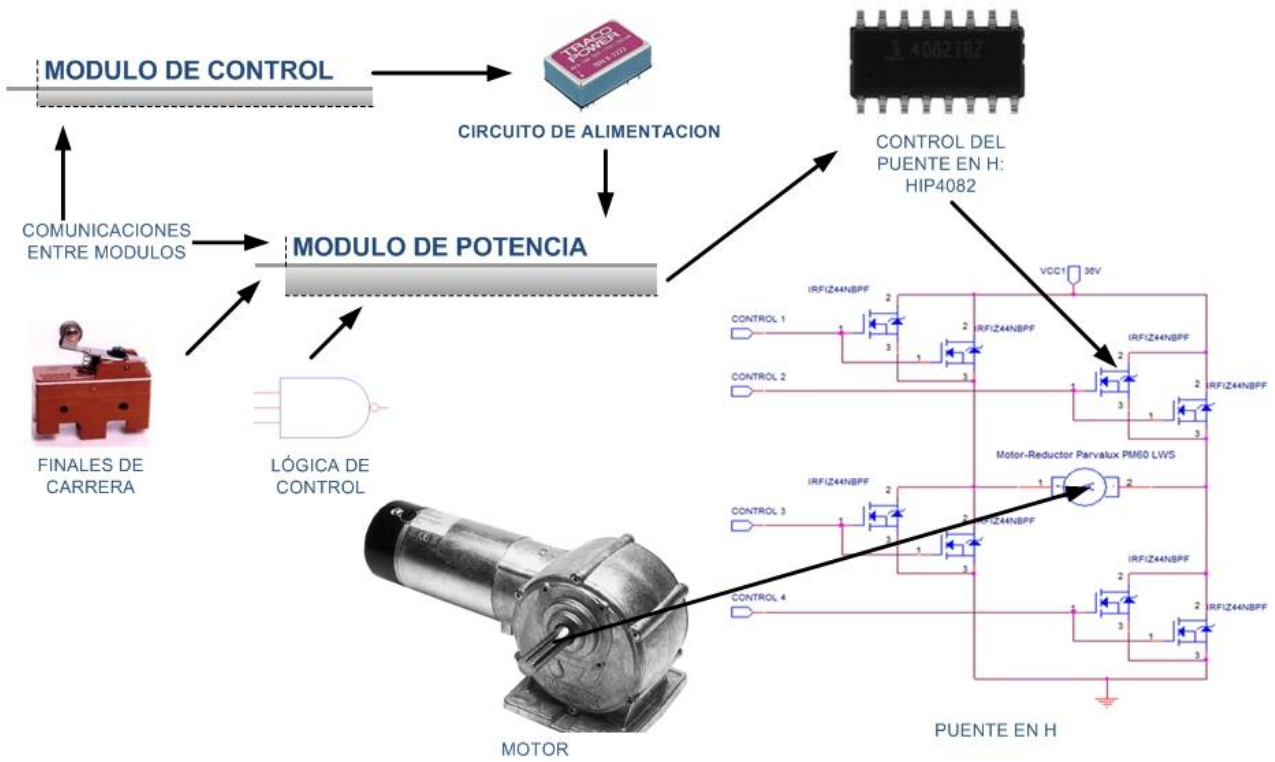


Figura 3.11 Módulo de Potencia: Subsistemas

Capítulo 4:

Sistemas electromecánicos.

4 Sistemas electromecánicos

El proceso de diseño se desarrolló con un **planteamiento iterativo**.

Los elementos que forman estos sistemas electromecánicos no son independientes entre sí. **La elección de un elemento u otro añade peculiaridades en el diseño** que son necesario comprobar cuando se ha realizado una selección, ya que han podido influirse de tal forma que un planteamiento inicial valido ya no lo sea. Es por eso que en esta metodología **se parte de un modelo (prototipo)** y se va **modificando de acuerdo a las características** de los elementos que le modifican y de las elecciones que se toman sobre ellos.

Este **proceso iterativo** se **realizó hasta que el prototipo cumplían con las necesidades de todos los elementos** que se consideraron en el diseño; estos elementos son los que se observan en la figura siguiente:

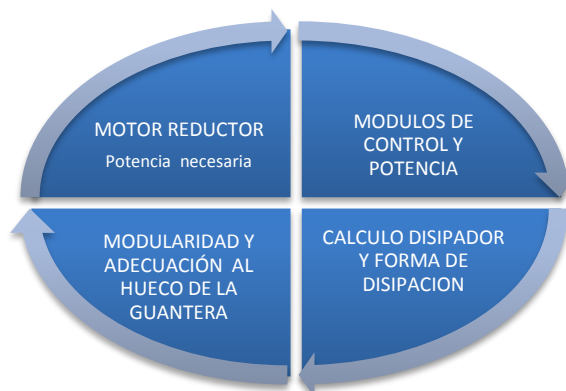


Figura 4.1 Proceso de diseño. Elementos que lo modifican

4.1 Primera etapa

4.1.1 Motor Reductor

El movimiento es generado por un **moto-reductor Parvalux PM60 LWS** que **consume 210 [W]** y entrega a la salida de su reductora un par de 20 [Nm] con una velocidad de 60 [rpm].

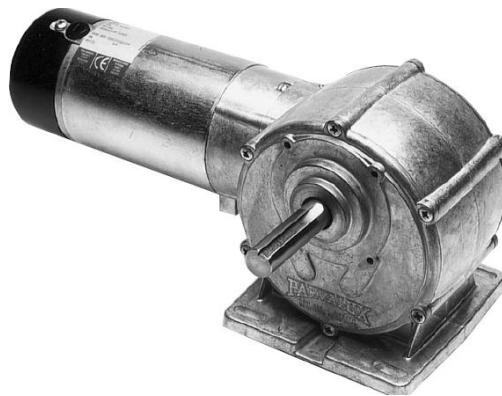


Figura 4.2 Moto-reductor Parvalux PM60 LWS

| | |
|--------------------------------|----------|
| Potencia | 210 [W] |
| Par | 20 [Nm] |
| Velocidad | 60 [rpm] |
| Tensión de alimentación | 36[V] |
| Peso | 8,5 [Kg] |

Tabla 4.1 Características Moto-reductor Parvalux PM60 LWS

4.1.2 Encoder

Se trata de un **encoder absoluto Tekel TKM60.S.1024.4.B.5.K4.6.PL20.22.S200.E**.

El encoder es capaz de discriminar hasta **cuatro (4) vueltas**, que es el rango de operación, y resuelve con **1024 cuentas por vuelta**.

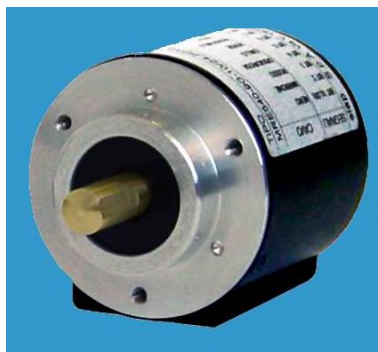


Figura 4.3 Encoder TKM60

| | |
|--------------------------------|----------|
| Tipo | Absoluto |
| Bits por vuelta | 1024 |
| Numero de vueltas | 4 |
| Tensión de alimentación | 5[V] |
| Resistencia de Pull-Up | 4,7[KΩ] |

Tabla 4.2 Características encoder TKM60

4.1.3 Finales de carrera

Los finales de carrera se presentan en el diseño como un **elemento de seguridad para la mecánica del vehículo**. Su función es **limitar el control electrónico de movimiento** del motor entre los márgenes mecánicos de la plataforma y evitar deterioros mecánicos y eléctricos de los componentes del sistema.



Figura 4.4 Finales de carrera

| | |
|--------------------------------|----------|
| Tensión de alimentación | 12 [V] |
| Resistencia de Pull-Up | 4,7 [KΩ] |

Tabla 4.3 Características de los finales de carrea

4.1.4 Montaje del conjunto

El esquema en el que **se acoplan el motor y el encoder sobre la cremallera** se puede ver en la figura siguiente, así como los finales de carrera.

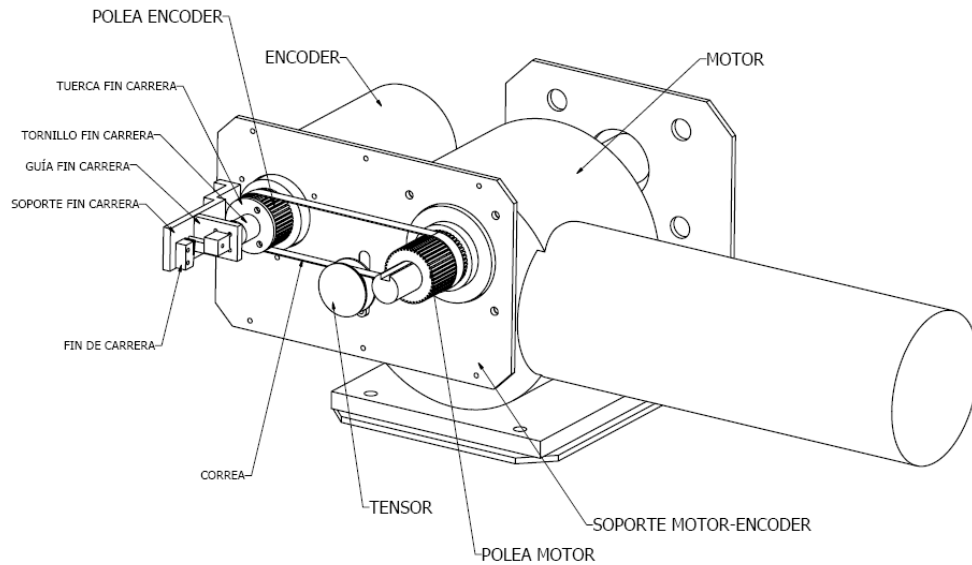


Figura 4.5 Montaje del conjunto motor encoder

En la figura anterior se observan las ruedas dentadas y la correa, que se disponen como los elementos que generan un movimiento solidario entre el motor, el encoder y los finales de carrera.

Este montaje fue desarrollado para el iCab1 y se considera **común para todas las plataformas iCab**, lo cual conlleva que el motor, el encoder y el montaje del conjunto son los mismos.

4.2 Segunda etapa

Una vez elegido el hardware y con las medidas del montaje de conjunto, se pasa a diseñar la electrónica de control y potencia que controlará el hardware, y su colocación en el vehículo. Para ello, se inicia con una iteración más (tras el iCab1) en la organización de las placas y su sustentación mecánica.

4.2.1 Emplazamiento de la electrónica

1. Diseño

El **lugar** en el que se **ubica la electrónica de la unidad de dirección es en la guantera izquierda** del vehículo. Esta se puede ver en la siguiente figura:

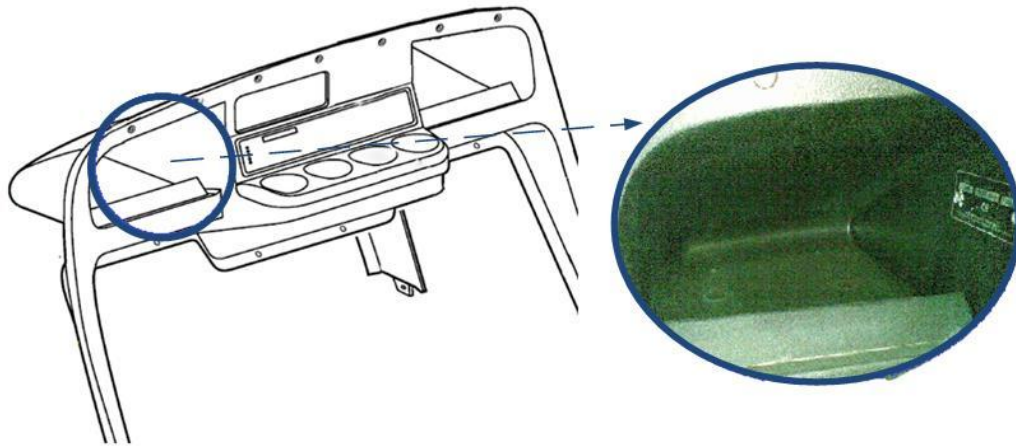


Figura 4.6 Vista frontal habitáculo

De la anterior figura se puede observar que la **guantera presenta unas formas complejas** que introducen dificultades en el proceso de diseño e integración de la unidad de dirección a la misma.

Con el fin de obtener un mayor volumen útil para la integración de la unidad de dirección, a la guantera se le eliminó el tope que se observa en la figura anterior (debajo de la chapa de referencia del vehículo).

Tras una etapa de diseño CAD se llegó a la decisión de **fabricar un elemento de sustentación con unas guías telescópicas y una cubierta exterior** que incorpore los ventiladores, de manera que se protege la electrónica a la vez que se mantiene en condiciones óptimas de trabajo, tal como puede verse en la figura siguiente:

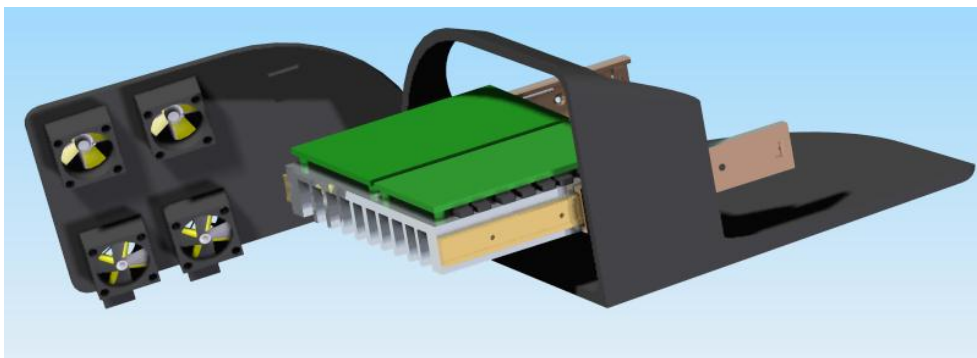


Figura 4.7 La tapa unida por unos topes inferiores y un cierre superior

4.2.2 Soporte de las guías telescópicas

El elemento sustentador no era un elemento genérico o estándar, de manera que se tuvo que diseñar específicamente para la aplicación deseada.

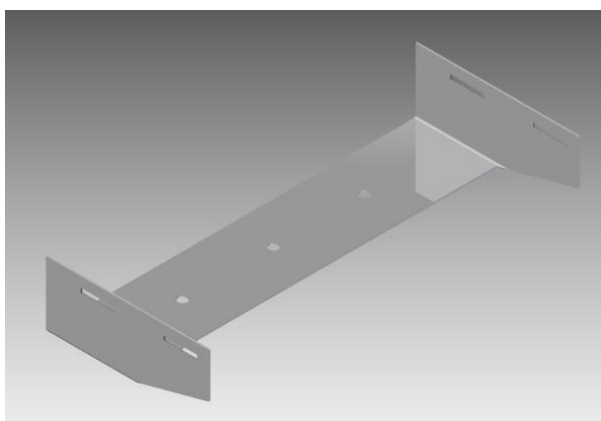


Figura 4.8 Soporte único para ambos lados

4.2.3 Emplazamiento de las interfaces

Se decidió añadir dos (2) interfaces para la electrónica del vehículo:

- una relacionada con el sistema de la dirección y que incluye un sistema de ventilación y unos LEDs de estado,
- otra que sirva de soporte para los interruptores del vehículo, a saber:
 - el control de la seta de emergencia,
 - el encendido del vehículo,
 - el modo de funcionamiento (manual o automático)

1. Ventiladores y LEDs de estado

Para mantener la electrónica en un régimen térmico regulado, se decidió implementar un sistema de convección forzada mediante ventiladores. El modo de acoplar los ventiladores al conjunto se realizó en conjunto con el resto de elementos que integran la guantera.

Para la **selección de los ventiladores se buscó modelos comerciales entre los distribuidores RS y Farnell.**

Los ventiladores se colocan de tal forma que el aire siga un flujo concreto que mejore la disipación.

El aire a temperatura ambiente entra del exterior por la zona inferior, donde empieza a calentarse y es extraído del interior por la zona superior, donde ha subido ya su temperatura al extraer calor. El calor extraído proviene al generarse un flujo forzado sobre las aletas del disipador y del recinto cerrado de la guantera. La idea del flujo de aire aparece en la Figura 4.9:

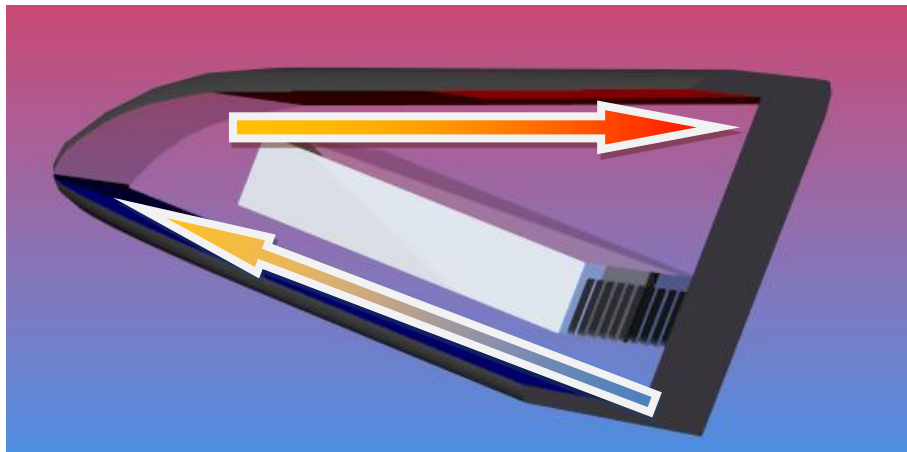


Figura 4.9 Flujo de aire forzado en la guantera

Tras una etapa de decisión se concluyó colocar 4 ventiladores de menor tensión que la tensión de alimentación manteniendo un flujo continuo a favor de la convección natural que se produciría en la guantera de manera natural, favoreciéndose así del flujo natural de disipación.

Por otro lado se decide añadir tres (3) LEDs que identifican el estado del vehículo, a saber:

- El estado encendido del vehículo
- El modo de funcionamiento
- El estado correcto o incorrecto del vehículo.

La solución final viene detallada en la bibliografía: Título: **Rediseño de la unidad de dirección para el iCab2** y puede verse en la imagen siguiente:

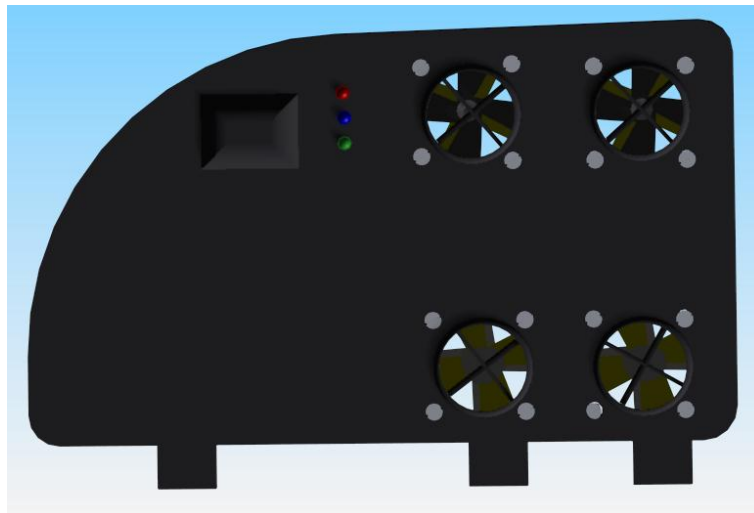


Figura 4.10 Vistas de la tapa con todos los elementos del diseño

2. Interfaz humana

En el iCab1 se proyectaron dos interruptores para el control del vehículo, véase la bibliografía: Título: **iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Diseño Hardware**, colocados en el interior del asiento junto a las placas de tracción, por motivos de seguridad y para que no pudieran ser accedidos durante el movimiento del vehículo.

Durante las etapas posteriores de pruebas se observó la incomodidad de tener que abrir el asiento cada vez que se quiere realizar algún cambio o parada y arranque en caliente, de manera que se decidió recablear los interruptores a un lugar más accesible para los investigadores, sin por ello reducir la seguridad en el vehículo.

Para ello, se decide colocar un panel de interfaz humana en el salpicadero del vehículo, de fácil acceso, con interruptores de seguridad, y cerca de la llave de arranque del vehículo, de manera

que todos los controles de los automatismos estén juntos en un nuevo panel en el frontal del vehículo.



Figura 4.11 Interruptores de seguridad para el panel de interfaz humana

Para los interruptores, se eligieron interruptores convencionales de dos posiciones y dos canales con toma central, pero se decidió incorporar una seguridad en forma de guardadedos, que impide el accionamiento accidental. A la hora del montaje, el apagado y el modo de funcionamiento manual están seleccionados con los guardadedos cerrados, mientras que para encender el vehículo o cambiar al modo automático, los guardadedos deben estar abiertos y el interruptor pulsado:

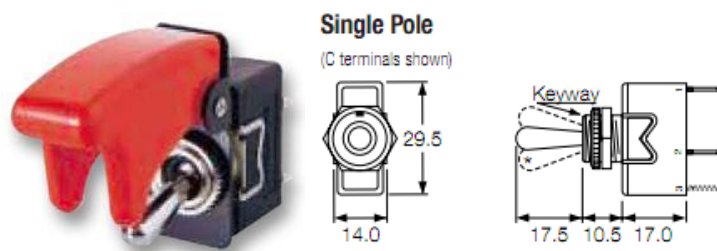


Figura 4.12 guardadedos de seguridad para los interruptores

El modelo elegido fue la referencia R17-10 de la empresa ARCOLECTRIC SWITCHES, comprado a través de Farnell. Fue seleccionado por su compatibilidad con los interruptores de los que ya se disponía en el almacén del departamento, y sus dimensiones eran acordes con la pieza que se debía fabricar.

Para colocar los interruptores en la nueva ubicación se utilizaron los nuevos tubos corrugados de protección para enlazar la guantera izquierda con el hueco del interfaz.

Una vez elegidos los cables e interruptores, se diseñó un frontal fabricado en un material semejante al del salpicadero del vehículo y de fácil colocación, tal como se muestra en el apartado 6.3.3 Paneles frontales de interfaz humana.

Se realizó un diseño del frontal en Solid Edge v20, que puede verse en el Anexo J: Plano del frontal de interfaz humana..

Por otro lado, se montaron en la tapa de la dirección 3 LEDs indicadores de estado, indicando la correcta alimentación del sistema (señal SLND), la correcta alimentación de la placa de dirección (señal 5V) y por último el modo de funcionamiento (señal AUTMAN). Estas señales no son controladas por el microcontrolador sino que se leen directamente del buffer.

4.3 Tercera etapa

Una vez decidida la ubicación del hardware principal en la guantera, el siguiente paso era intercomunicar los sistemas entre sí. Para ello necesitamos de tres tipos de acciones, a saber: cableados, interfaces de señal e interfaces de control humana.

4.3.1 Cableado

1. Descripción general

Tras estudiar el montaje en el iCab1, se decidió una reorganización en el iCab2 para simplificar los posteriores trabajos sobre el coche. Para ello,

- Se mantuvo el **principio de seguridad** de mantener alejadas, en la medida de lo posible, las líneas de alimentación (tensión y masa) de las de señal, para reducir el impacto de ruidos de alta frecuencia inducidos en los cables.
- Se mantuvo el **principio de seguridad** de apantallar los cables usando mallas a masa, agrupando en cada faja de cables señales de tensiones semejantes y de los mismos sistemas, de manera que se reduzcan los efectos de inducción por tener ruidos a las mismas frecuencias, para facilitar las labores de filtrado.

- Se incluyó un **principio de sencillez** en el mantenimiento al añadir tubo corrugado por el que todos los cables y fajas deben pasar, reduciendo drásticamente el efecto de la suciedad, humedad, golpes y elementos de sujeción por cable.



Figura 4.13 Tubos corrugados como elemento de protección

2. Redistribución de los cables

Una vez colocados los elementos de protección, el cableado hubo de ser redistribuido para ser enrutado por dichos tubos corrugados. Los cables se hicieron a medida, eliminando así excesos de longitud donde no es necesario, y añadiendo, con vistas a trabajos posteriores, longitud allí donde era necesaria tanto por comodidad como por seguridad antes posibles vibraciones.

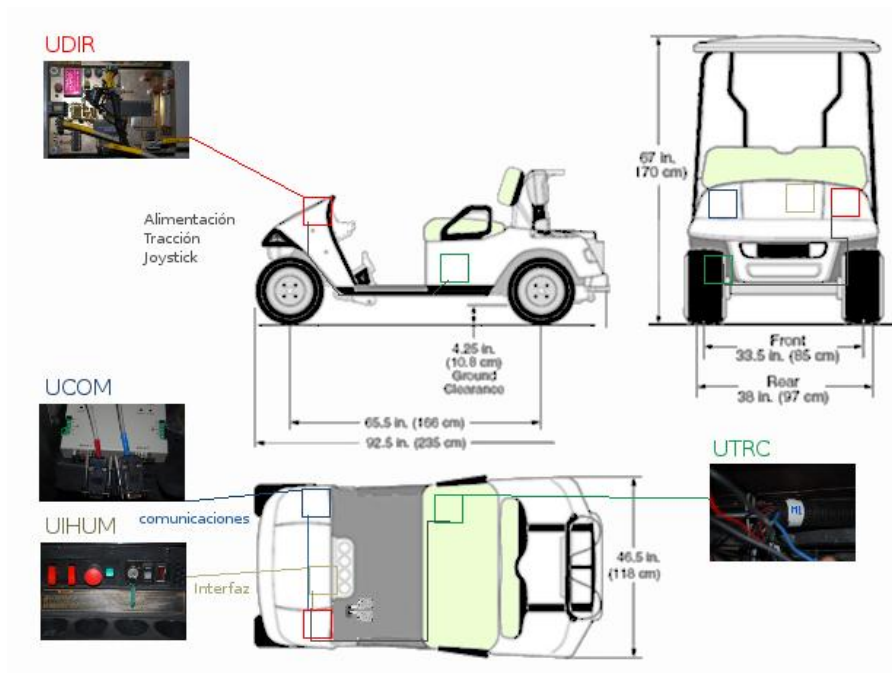


Figura 4.14 diagrama de la nueva organización de los cables

3. Conexionado

A partir de los conectores en la placa de los que parte cada grupo de cables, se utilizaron varios conectores al aire para interconectar las diferentes unidades. De esta agrupación en “fajas” surgen los conectores que llevan todas las señales necesarias.

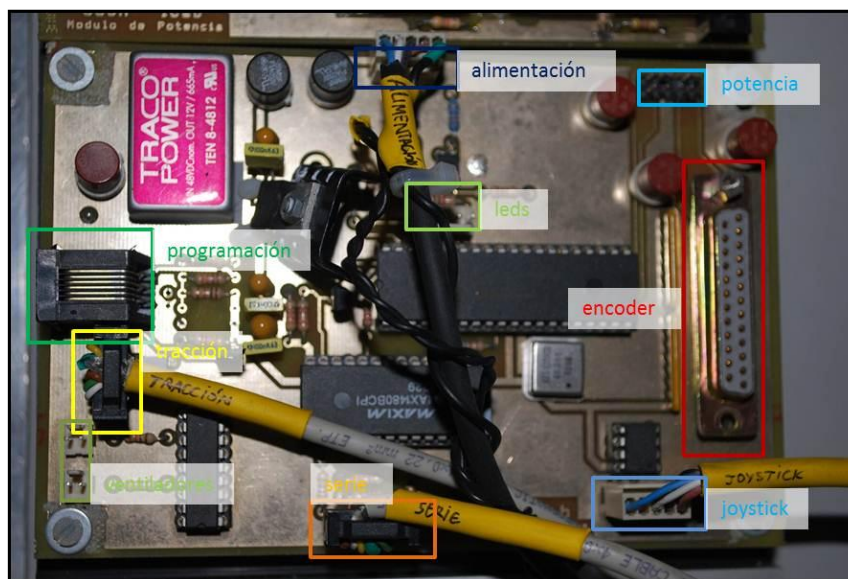


Figura 4.15 Placa de control y sus conectores

4.3.2 Interfaz de los subsistemas de Dirección: Control-Potencia

El **módulo de control** envía dos señales que son **DPUENTE** y **PWMDIR** para **controlar el movimiento del motor** por medio de unas **señales TTL** entre 5[V] y 0[V].

Se produjo un mal funcionamiento en el diseño al **cambiar la tecnología TTL⁵ de las puertas nand por las CMOS⁶**. Para obtener un “1” lógico con una alimentación de 12 [V] son necesarios

⁵ TTL (transistor-transistor logic). Es una familia lógica de construcción de circuitos electrónicos digitales.

Está fabricada a partir de transistores bipolares y su tensión de alimentación característica se halla comprendida entre los 4,75v y los 5,25V. Los niveles lógicos vienen definidos por el rango de tensión comprendida entre 0,2V y 0,8V para el estado L (bajo) y los 2,4V y Vcc para el estado H (alto).

⁶ CMOS (Complementary metal oxide semiconductor). Es una familia lógica de circuitos electrónicos. Su principal característica consiste en la utilización conjunta de transistores mosfets tipo n y tipo p configurados de tal forma que, en estado de reposo, el consumo de energía es únicamente el debido a las corrientes parásitas.

un mínimo de 8 [V] con lo que se presentaba un problema a la hora de interconectar los módulos.

Para subsanar este problema se creó una **placa adaptadora de niveles de tensión de TTL a CMOS** a través de un par de **circuitos integrados TC1411N**. Con esta solución, tomada para las señales de entrada de DPUENTE y PWMDIR, ya se obtuvieron las señales para los modos de operación de la placa de potencia. A partir de este diseño, se mandaron a producir tres (3) placas, con el diagrama realizado en OrCAD mostrado en el anexo E.

En las imágenes siguientes se pueden apreciar el segundo prototipo del adaptador de niveles:

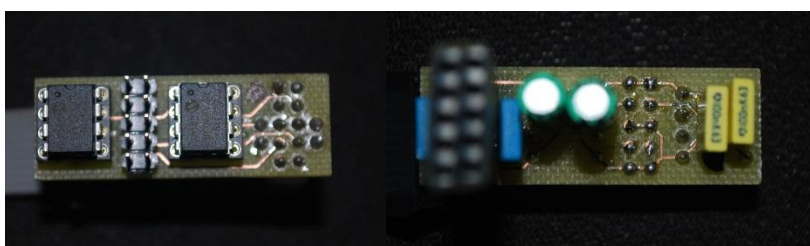


Figura 4.16 Segundo prototipo adaptador de niveles TTL-CMOS

Se muestra el posterior **montaje** de las placas en el apartado 6.3.2 Interfaz de los subsistemas de Dirección: Control-Potencia. Más tarde, se muestra la **comprobación** de las señales de la lógica de control y la salida del driver de control del puente, generando las señales necesarias para mover los transistores en el apartado 8.2 Pruebas en el módulo de interfaz control-potencia.

Su rango de alimentación está comprendido entre los (3|18) [V]. Siendo los estados alto y bajo proporcionales a la alimentación.

Capítulo 5:

Sistemas electrónicos embebidos (SEE)

5 Sistemas electrónicos embebidos (SEE)

5.1 Introducción a los sistemas EDA

La aparición de los entornos gráficos ha facilitado considerablemente el diseño y simulación de circuitos electrónicos, convirtiéndose, en la mayoría de los casos, en una herramienta imprescindible cuya evolución discurre paralelamente a la de los computadores en los que se hayan instalados.

Los llamados **entornos EDA** (*Electronic Design Automation*) son **similares a los programas CAD/CAM** (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) pero **orientados al diseño electrónico**. Se controla el diseño y la producción desde el computador, pudiendo realizarse los cambios necesarios mientras discurre el proceso.

Estos paquetes de software están compuestos por una serie de programas que utilizan los datos existentes en las librerías y los procesan para obtener finalmente un conjunto de ficheros que contienen el diseño.

En primer lugar hay que realizar la captura del esquema y a continuación se realiza el **diseño de la placa de circuito impreso PCB** (*Printed Circuit Board*). Se ha optado por el software de **OrCAD** por ser uno de los más extendidos y potentes.

El **generador de esquemas de OrCAD se denomina Capture** y con él se crea el esquemático del circuito (analógico, digital o mixto) a diseñar, utilizándose también para modificar diseños ya realizados.

También se utiliza para crear y modificar componentes, hacer chequeos eléctricos del circuito, obtener listados, etc.

El procedimiento es el siguiente: hay que crear un nuevo proyecto; posteriormente se añaden las librerías donde se encuentran los componentes, y se van uniendo entre ellos. Si un componente no se encuentra, como sucedió con algún conector se tendría que construir dicho componente. El Capture tiene una opción en la que se dibuja el componente y se le asigna los pines de manera personalizada, permite numerarlos según proceda.

La unidad de dirección se dividió en dos módulos, tal y como se vio anteriormente, en el **módulo de control y el de potencia**. En los siguientes apartados se desglosaran las citadas unidades por bloques funcionales, y más tarde se estudiarán los conectores utilizados.

5.2 SEE pertenecientes al módulo de control

Se puede observar el esquemático del módulo de control en el Anexo B: Esquemático del Módulo de Control. A partir del esquemático anterior, se desglosan a continuación las características de los circuitos que componen el módulo completo. La siguiente imagen refleja la simulación previa a la fabricación de la placa:

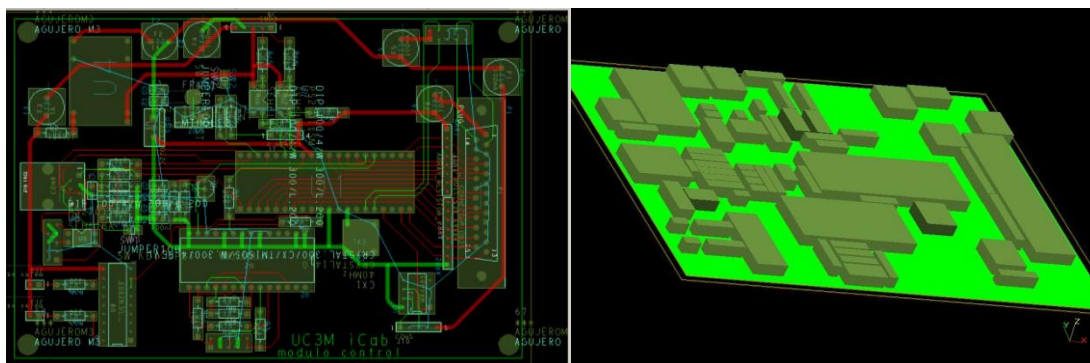


Figura 5.1 layout del enrutado y simulación en OrCAD del resultado

5.2.1 Circuito de alimentación

Es el circuito que **genera las tensiones de alimentación** que necesita el módulo partiendo de la tensión de batería de 36[V].

Este circuito está formado por un convertidor DC-DC (Traco) del que se obtienen 12V y en una segunda conversión por un regulador lineal del que se obtienen 5 [V].

El diodo de entrada protege al módulo de una polaridad inversa, mientras que los condensadores son los desacoplos.

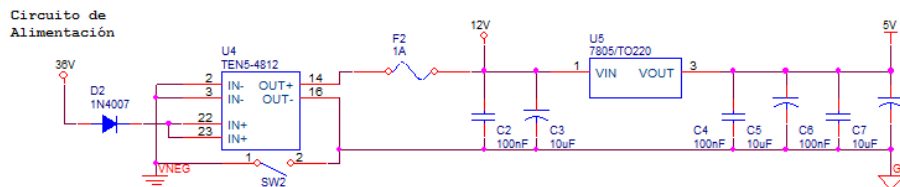


Figura 5.2 Circuito de alimentación

5.2.2 Microcontrolador

El modelo escogido es un PIC18F4550 de la compañía Microchip.

Este **microcontrolador es el núcleo central: encargado de gestionar todas las señales de los módulos de control y potencia**, así como de las **comunicaciones con los otros módulos y el PC**.

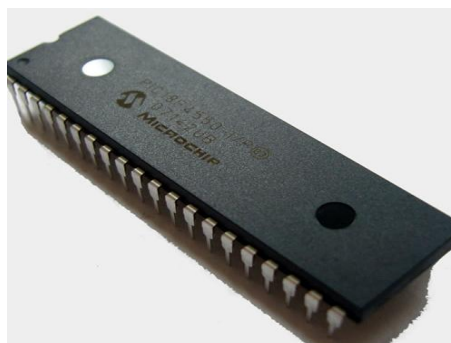


Figura 5.3 Micro controlador PIC18F4550

| | |
|---|------------------------|
| Tipo de memoria de programa | Flash |
| Memoria de programa | 32 [KB] |
| RAM | 2,048 [Bytes] |
| Data EEPROM (bytes) | 256 [Bytes] |
| Periféricos de comunicaciones digitales | USART I2C |
| Periféricos de captura/comparación/PWM | 1 CCP, 1 ECCP |
| Modos de timer | 1 x 8-bit, 3 x 16-bit |
| Convertor analógico digital | 13 ch, 10-bit |
| Comparadores | 2 |
| USB | 1, Full Speed, USB 2.0 |
| Rango de temperaturas | (-40, 85) [°C] |
| Tensión de funcionamiento | (2, 5.5) [V] |
| Número de pines | 40 |

Tabla 5.1 Características micro controlador PIC18F4550

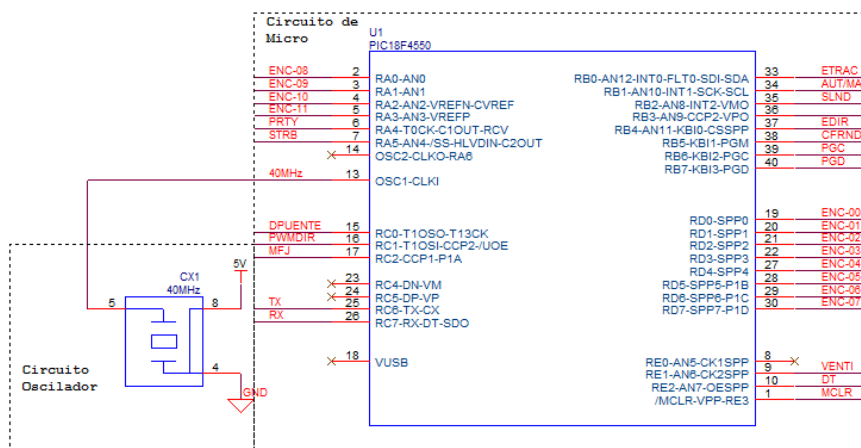


Figura 5.4 Circuito del Microcontrolador

A continuación se muestran en una tabla todas las señales del microcontrolador y su tipo para cada caso, diferenciando entre si son de alimentación (A), de entrada (E), de salida (S) o bidireccionales (B).

| Pin | Señal | Configuración | Descripción |
|-----|--------|---------------|---|
| 1 | MCLRC | E | Entrada digital. Master Clear Reset. Bajo: Reset del Micro. |
| 2 | ENC-08 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-08). |



| | | | |
|----|----------|---|---|
| 3 | ENC-09 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-09). |
| 4 | ENC-10 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-10). |
| 5 | ENC-11 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-11). |
| 6 | ENC-PRTY | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit de Paridad). |
| 7 | ENC-STRB | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit de Strobe). |
| 8 | - | - | No utilizada |
| 9 | VENTI | S | Salida Digital Alto: Activación de los ventiladores |
| 10 | DT | S | Salida Digital. Habilitación del driver RS485 para transmisión. Alto: Habilita el driver para transmitir datos. |
| 11 | 5V | A | Alimentación del microcontrolador. |
| 12 | GND | A | Alimentación del microcontrolador. |
| 13 | 40MHz | E | Entrada Digital. Entrada de reloj del microcontrolador. |
| 14 | - | - | No utilizada |
| 15 | DPUENTE | S | Salida Digital. Selección de sentido de giro. |
| 16 | PWMDIR | S | Salida Digital. PWM del Motor de Dirección. |
| 17 | MFJ | E | Entrada Digital. Modulación en Frecuencia del Joy. |
| 18 | - | - | No utilizada |
| 19 | ENC-00 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-00). |
| 20 | ENC-01 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-01). |
| 21 | ENC-02 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-02). |
| 22 | ENC-03 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-03). |
| 23 | - | - | No utilizada |
| 24 | - | - | No utilizada |
| 25 | TX | S | Salida Digital. Dato transmitido por la línea serie RS485. |
| 26 | RX | E | Entrada Digital. Dato recibido por la línea serie RS485. |
| 27 | ENC-04 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-04). |
| 28 | ENC-05 | E | Entrada Digital. |



| | | | |
|----|---------|---|--|
| | | | Sensado del Encoder de Dirección (Bit-05). |
| 29 | ENC-06 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-06). |
| 30 | ENC-07 | E | Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-07). |
| 31 | GND | A | Alimentación del microcontrolador. |
| 32 | +5V | A | Alimentación del microcontrolador. |
| 33 | ETRC | E | Entrada Digital. Estado de la UTRC. Bajo: Estado de la UTRC "correcto". |
| 34 | AUT/MAN | E | Entrada Digital. Sensado de modo automático o manual. Bajo: Modo Automático. Alto: Modo Manual. |
| 35 | LLVCTT | E | Entrada Digital. Sensado de la llave de contacto. Bajo: Llave de contacto no girada. |
| 36 | - | - | No utilizada |
| 37 | EDIR | S | Salida Digital. Estado de la UDIR. Bajo: Estado de UDIR "correcto". |
| 38 | CFRND | S | Salida Digital. Control de Frenado. |
| 39 | PGC | B | Bidireccional. Programming Clock: Entrada/Salida de reloj al microcontrolador. |
| 40 | PGD | B | Bidireccional. Programming Data: Entrada/Salida de datos serie al microcontrolador. |

Tabla 5.2 Descripción de las señales del microcontrolador

5.2.3 Circuito de programación y depuración

Con este circuito para la programación y depuración se dota al módulo de un conector que permite **programar y depurar el programa del microcontrolador** aprovechando su característica de "In-Circuit Programming" (ICP).

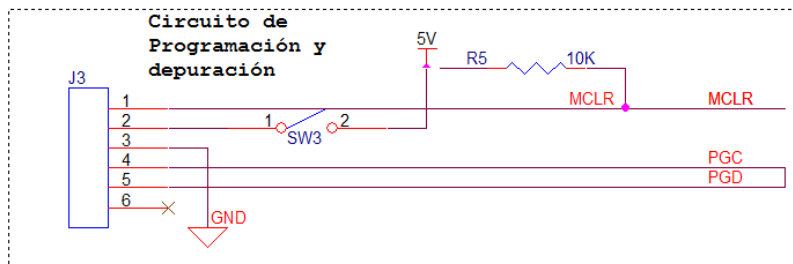


Figura 5.5 Circuito de programación y depuración

Como nota, se debe indicar que por falta de documentación en el iCab1, se reprodujo un error del diseño que ya se produjo en el anterior módulo de programación, siendo el diseño montado finalmente el de la figura 5.5. Este error consistía en la incorporación de unos diodos de rectificado y un condensador de desacoplo que, al no usar algunas características del microcontrolador posteriormente, hacían que el microcontrolador no entrara en el estado de programación. La solución pasó por eliminar componentes del montaje y realizar un puente en los pines del diodo.

5.2.4 Unidad de comunicaciones con el PC

Para aislar eléctricamente las señales de comunicación entre la unidad de dirección y el PC se utiliza un MAX1480B, el cual **adecúa los niveles de tensión de TTL a el estándar de comunicaciones RS485/RS232.**

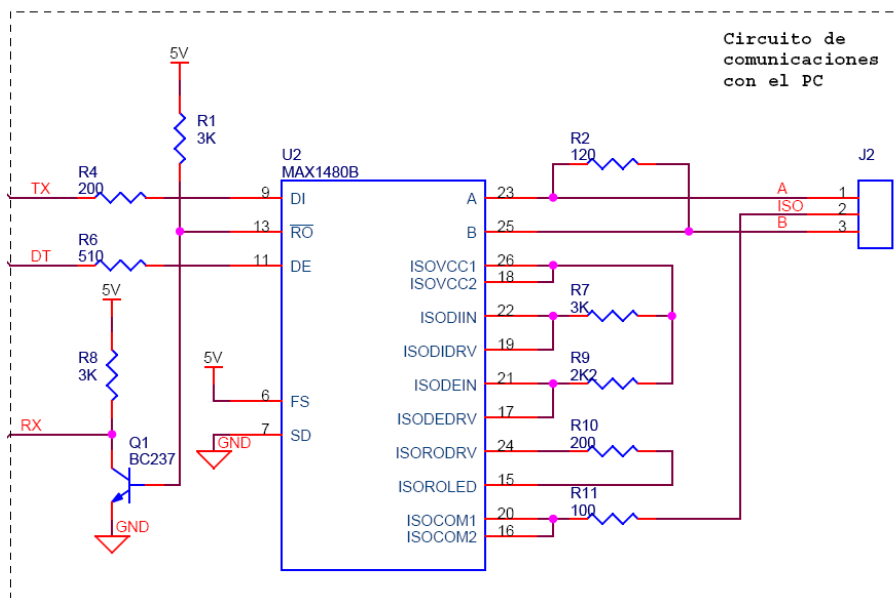


Figura 5.6 Unidad de comunicaciones con el PC

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Modo de transmisión | Half/full dúplex |
| Encapsulado | 28 Dip |
| Ratio transmisión | 0,25 [Mbps] |
| Tensión de alimentación | 5[V] |

Tabla 5.3 Características MAX1480B

5.2.5 Comunicaciones con la unidad de tracción

Las **comunicaciones con la unidad de tracción** se hacen por medio de **una señal de estado del sistema y otra señal que le habilita**.

El envío de la señal de estado y de la señal que refleja que la unidad está habilitada se observa en la figura siguiente:

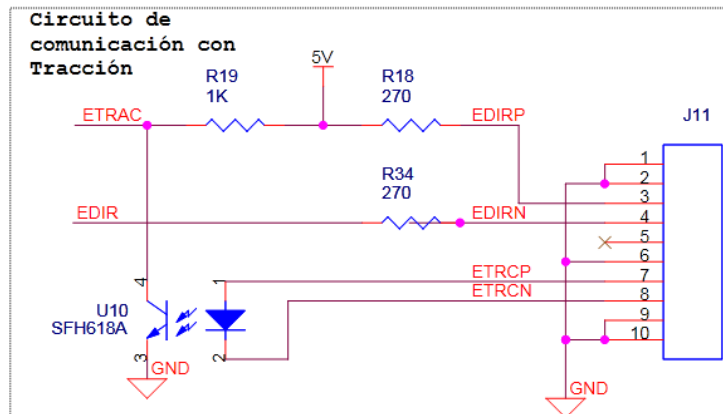


Figura 5.7 Comunicaciones con la unidad de tracción. Envío

La recepción de señales de la unidad de tracción se realiza por medio de unos optocopladores (SFH618A) que se encargan de separar la referencia de potencia con la referencia de control y de filtrar las altas frecuencias puesto que no son capaces de trabajar a ese rango de frecuencias.

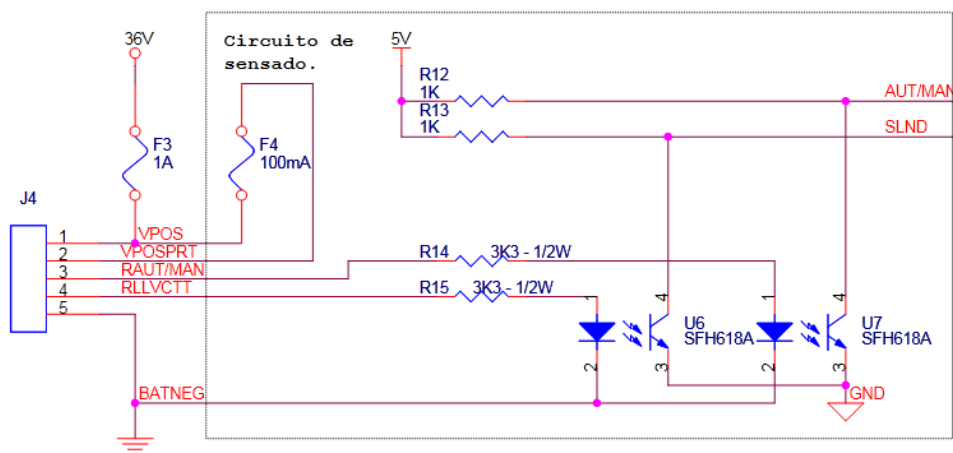


Figura 5.8 Comunicaciones con la unidad de tracción. Recepción

5.2.6 Comunicaciones con el módulo de joystick

Este circuito entrega la alimentación de 12[V] al submódulo del joystick, del cual recibe una señal diferencial variable en frecuencia que depende de la posición del joystick.

En este circuito se dispone de un **convertor de la señal diferencial** recibida del módulo del joystick a niveles TTL (MAX485).

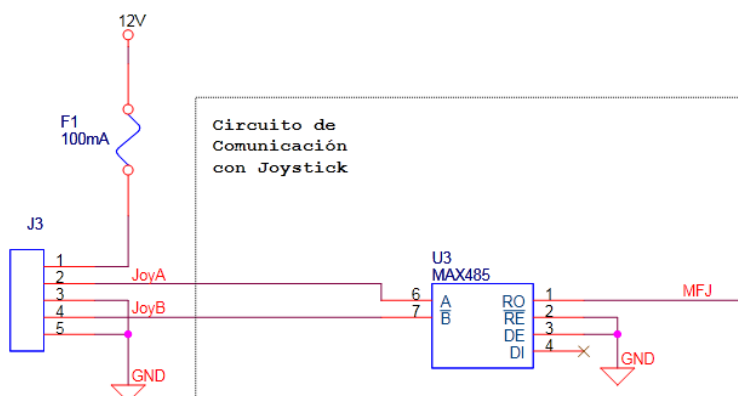


Figura 5.9 Comunicaciones con el submódulo de joystick

5.2.7 Control de estado del sistema

Este circuito tiene la finalidad de **informar rápidamente al usuario de la plataforma o al investigador el estado del conjunto** a través de unos LEDs luminosos.

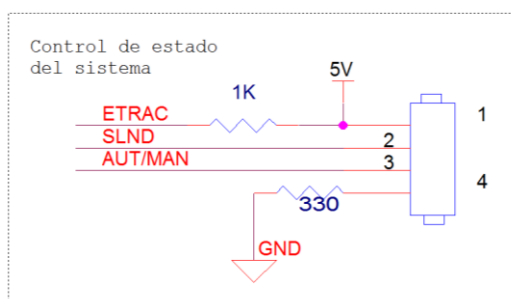


Figura 5.10 Control de estado del sistema

Se contempla en la siguiente tabla las equivalencias de **funcionamiento de los indicadores luminosos**:

| Señal de entrada | Color | Funcionamiento en estado |
|------------------|-------|--------------------------|
| ETRAC | Rojo | Alto |
| SLND | Verde | Alto |
| AUT/MAN | Azul | Alto |

Tabla 5.4 Equivalencia entre indicadores y señales de excitación

5.2.8 Control de temperatura

Para controlar la temperatura en el interior del receptáculo es necesario el uso de ventiladores que fuercen un flujo de aire. El circuito que los alimenta es un array de transistores Darlington controlado por uno de los pines libres del micro.

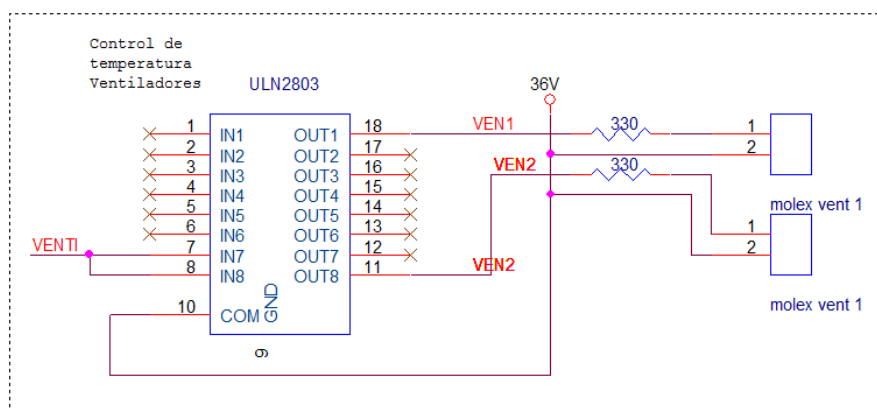


Figura 5.11 Control de temperatura

Las características del array de transistores Darlington ULN2803 se aprecian de su datasheet:

500-mA Rated Collector Current (Single Output)
High-Voltage Outputs . . . 50 V

Figura 5.12 Características ULN2803 (Array de transistores Darlington)

El diseño del conjunto ofrecía dos posibilidades de alimentación de los ventiladores:

- **Alimentar el ventilador a 12 [V]:** esta opción **no fue viable** porque el convertidor de 36 [V] a 12 [V] (Ten5 4812 de Traco), del módulo de control, **está trabajando a una corriente nominal que se acerca a su máxima.**

| Models | | | | |
|-------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Ordercode TEN 5-4812 | Input voltage range | Output voltage 12 VDC | Output current max. 500 mA | Efficiency typ. 86 % |

Figura 5.13 Características Traco Ten5 4812

Resultaba muy interesante puesto que para 12[V] existen muchos ventiladores de distintos tamaños que son compatibles con el diseño del montaje en la tapa.

Las características de los ventiladores de la compañía Maglev de 12 [V] para el tamaño 40x40x20 [mm] aparecen a continuación:

| Model | P/N | Bearing ● VAPO ● 2BALL | Rating Voltage (VDC) | Power Current (AMP) | Power Consumption (WATTS) | Speed (RPM) | Air Flow (CFM) | Static Pressure (Inch-H ₂ O) | Noise (dBA) | Weight (g) |
|-------------|---------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------|---|----------------|---------------|
| KDE1204PKVX | MS.A.GN | ● | 12 | 0.12 | 1.4 | 8200 | 10.8 | 0.27 | 27.5 | 31 |
| KDE1204PKV1 | MS.A.GN | ● | 12 | 0.07 | 0.8 | 7200 | 8.9 | 0.21 | 25.5 | 31 |
| KDE1204PKV2 | MS.A.GN | ● | 12 | 0.05 | 0.6 | 6200 | 7.7 | 0.16 | 21.0 | 31 |
| KDE1204PKV3 | MS.A.GN | ● | 12 | 0.03 | 0.4 | 5200 | 6.3 | 0.11 | 18.0 | 31 |

Figura 5.14 Características de los ventiladores de 12 [V] de Maglev

El ventilador que menos corriente demanda es 30 [mA], si se usaban en el conjunto 4 ventiladores iguales se demandarían 120 [mA] que era el 24% de la corriente que el convertidor es capaz de introducir.

Se pudo elegir otro convertidor de mayor potencia y corriente pero finalmente no se seleccionó por la diferencia de precios entre el elemento seleccionado y la disponibilidad. Además, seleccionando esta tensión para alimentar los ventiladores se induciría ruido en la unidad de dirección.

- **Alimentar el ventilador a 36 [V]:** el integrado ULN2803 es capaz de actuar a esa tensión para mover un ventilador de 48 [V] o 24 [V].

El siguiente paso en la selección fue buscar unos **ventiladores que no excediesen las medidas indicadas en el diseño** y que pudieran funcionar a una tensión de 36 [V]

Los **ventiladores estándar de 48 [V] exceden las medidas del diseño** (siendo las medidas inferiores para esta tensión 80x80x32 [mm]). Su rango de tensiones abarca la alimentación de 36 [V] de la batería como se puede observar con los ventiladores de la compañía S-force para una alimentación de 48[V].

| Air flow | Air flow | Nominal Voltage | Voltage Range | Noise | | Sinter-Sleeve Bearings | Ball Bearings | Power Input | Nominal Speed | Temperature Range | Service Life L_{10} | at 40 °C | at t_{max} |
|-------------------|----------|-----------------|---------------|-------|------|------------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------|----------|--------------|
| m ³ /h | CFM | V DC | V DC | dB(A) | bels | □/■ | Watt | min ⁻¹ | °C | Hours | Hours | | |
| 54 | 31.8 | 48 | 36...56 | 36 | 5.2 | ■ | 2.6 | 3 300 | -20...+75 | 70 000/30 000 | | | |
| 67 | 39.4 | 48 | 36...56 | 43 | 5.8 | ■ | 4.3 | 4 200 | -20...+75 | 62 500/27 500 | | | |
| 80 | 47.1 | 48 | 36...56 | 48 | 6.2 | ■ | 5.8 | 5 000 | -20...+65 | 55 000/30 000 | | | |

Figura 5.15 Características de los ventiladores de la compañía S-force para 48 [V]

Como las baterías disminuyen su tensión a medida que se descargan, no se podía asegurar que el ventilador funcionase independientemente del estado de carga de las baterías (oscila entre los 36 y 48 [V]).

La siguiente opción fue buscar **ventiladores de 24 [V] (iguales)** y ponerlos **en serie**, siempre que cumplan con las especificaciones de tensión.

En esta tensión de alimentación no se presentaron muchos problemas para encontrar ventiladores **de las dimensiones** que **el diseño** pedía. El **ventilador escogido** fue de la **compañía Sunon** y sus características se muestran a continuación:

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| Modelo | Sunon KDE2404PKV2.MS.A.GN |
| Medias | 40x40x20 [mm] |
| Tensión de operación | [8...27,6] [V] |
| Tensión de inicio | 8 [V] @ 25 [°C] |
| Corriente de operación | 33 [mA] |
| Potencia consumida | 0,8 [W] |
| Ruido | 21 [dB(A)] |

Tabla 5.5 Propiedades ventilador Sunon KDE2404PKV2.MS.A.GN

Al disponer de dos ventiladores montados en serie y supuestos iguales se obtiene que su rango de operación está comprendido entre los: (16|55,2) [V]. Este rango de tensión no influye en su mínimo con el estado de carga de las baterías.

La decisión final, a efectos de ventiladores, fue incorporar 4 ventiladores (2 pares de dos ventiladores en serie) iguales alimentados por dos salidas del ULN2803 que serán controladas por el PIC18F4550 de la placa de control.

5.2.9 Conectores módulo de control

Se tomaron unos **criterios** de acuerdo a la selección de conectores:

- El conector debería de **simplificar el conexionado entre módulos y entre unidades**.
- El conector debería ser **estándar y estar disponible** en el laboratorio.
- El conector tendrá **un espaciado entre pines de 100 [mils] (2,54 [mm])** que es el que se usa en la fabricación de placas bicapa⁷ para montaje de componentes PDIP⁸ como son las que forman la unidad de dirección.

Para fijar ideas se mostrará una tabla en la que se describen los pines de los conectores con su número y señal en cada pin. Además se especificará la función de la señal: entrada (E), salida (S), ambas (B) o alimentación (A).

1. *J1 Conector de programación*

Por este conector se realiza la comunicación con el circuito programador/ depurador ICD2 de la compañía microchip. **El conector** utilizado es **un RJ45** como el que se muestra a continuación:



Figura 5.16 Conector RJ45. Mono puerto

⁷ Se explicará que son las placas bicapa en el apartado 5.1 Introducción a los sistemas EDA

⁸ Los componentes PDIP (plastic dual in-line package) es un tipo de encapsulado para dispositivos electrónicos el cual se establece el espaciado entre pines (100 [mils] para esta tecnología) y se especifica el número de pines que contiene el encapsulado.

El cableado de los conectores es el que se muestra en la siguiente tabla:

| Numero | Señal | Función |
|--------|--|---------|
| 1 | MCLR | E |
| 2 | SW1: Activar Programación ⁹ | E |
| 3 | GND | A |
| 4 | PGC | B |
| 5 | PGD | B |
| 6 | No conectada | --- |

Tabla 5.6 Señales del conector J1. Conector de programación/depuración

2. J2 Conector de comunicaciones con el PC

El conector seleccionado para las comunicaciones es **un terminal de la serie AMP**. Este conector se seleccionó para múltiples sistemas del módulo de control. El conector dispone de un espaciado de 2,54 [mm] entre pines.



Figura 5.17 Conector AMP con un espaciado de 2,54 [mm]

Este conector únicamente tenía que transmitir **3 señales** ya **que transmite en modo diferencial** gracias al MAX1480B. Se utilizó un conector AMP de 3 pines y las señales se pueden ver en la siguiente tabla:

⁹ SW1: Switch 1, o interruptor 1. En la placa de dirección existe un jumper que se puede dejar desconectado para impedir la reprogramación del microcontrolador.

| Numero | Señal | Función |
|--------|-------|---------|
| 1 | A | S |
| 2 | ISO | A |
| 3 | B | S |

Tabla 5.7 Señales del conector J2. Conector de comunicaciones con el PC

Se prestó especial atención a las comunicaciones a través de RS232 ya que sería conveniente evitar ruidos entre las señales, por ello es imprescindible el uso de un **par trenzado entre las señales A y B**, una malla conectada a tierra para encerrado el cableado en una jaula de Faraday, y una señal **ISO** que se utiliza **como referencia**.

Este cable se dirige la **unidad de comunicaciones** (formado por el concentrador serie a USB) a través de un **conector SUBD¹⁰ de 9 posiciones**. El conexionado de este conector se aprecia en la siguiente tabla con la numeración que se aprecia en la Figura 5.18

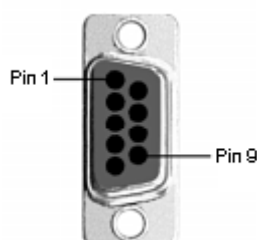


Figura 5.18 SUBD 9 posiciones

| Numero | Señal | Función |
|-------------|--------|---------|
| 1 | A | B |
| 2 | B | B |
| 5 | ISO | A |
| 3,4,6,7,8,9 | Libres | --- |

Tabla 5.8 Conexionado del cable del conector J2 al módulo de comunicaciones

¹⁰ Un SUBD (sub miniatura) son dos o más filas paralelas de pines, por lo general rodeados por un escudo metálico en forma de "D", que proporciona el apoyo mecánico y protección contra las interferencias electromagnéticas. La forma de "D" garantiza la orientación correcta en la conexión.

3. *J3 Comunicación con el joystick*

Con este conector se recibe la señal del joystick en modo diferencial y se envía alimentación para su funcionamiento. El cable que envía las señales en modo diferencial es necesario que sea trenzado para evitar ruidos.



Figura 5.19 Cableado del Joystick

| Numero | Señal | Función |
|--------|-------|---------|
| 1 | JOYB | E |
| 2 | GND | A |
| 3 | JOYA | E |
| 4 | GND | A |
| 5 | 12V | A |

Tabla 5.9 Señales del conector J3. Conector de comunicaciones con el joystick

Con el posicionamiento de las señales se intentó separar las señales diferenciales de posibles ruidos con la alimentación del dispositivo.

4. *J4 Conector del circuito de sensado*

Este conector **informa del estado de la plataforma**. El conector seleccionado fue un conector **AMP de 5 pines**.



Figura 5.20 Conector de sensado.

| Numero | Señal | Función |
|--------|------------|---------|
| 1 | SLND | E |
| 2 | AUT/MAN | E |
| 3 | BATNEG | A |
| 4 | VPOSPRT | A |
| 5 | VPOS (36V) | A |

Tabla 5.10 Señales del conector J4. Conector del circuito de sensado

5. *J5 Conector de comunicaciones con el módulo de potencia*

El conector seleccionado fue un **header 5x2** como el mostrado en la Figura 5.21.



Figura 5.21 Header 5x2

El conexionado de los pines se realizó como se aprecia en la siguiente tabla:

| Numero | Señal | Función |
|----------|--------|---------|
| 1,2 | 12V | A |
| 3 | PWMDIR | S |
| 4 | DPUNTE | S |
| 5,6,9,10 | GND | A |
| 7 | FCSUP | S |
| 8 | FCINF | S |

Tabla 5.11 Señales del conector J5. Conector de comunicaciones con el módulo de potencia

6. *J6 Circuito de comunicación con la tracción*

El conector seleccionado fue un **header 5x2**. El conexionado de los pines es como se aprecia en la siguiente tabla:

| Numero | Señal | Función |
|--------------|-------|---------|
| 1 | EDIR | S |
| 2,3,4,6,7,10 | GND | A |
| 5 | ETRCN | S |
| 8 | EDIRP | S |
| 9 | ETRCP | S |

Tabla 5.12 Señales del conector J6. Conector de comunicación con la tracción

7. *J7 Control de estado del sistema (LED's)*

El conector seleccionado fue un conector **AMP de 4 pines** como el de la Figura 5.20 Conector de sensado.



| Numero | Señal | Función |
|--------|---------|---------|
| 1 | 5V | A |
| 2 | SLND | S |
| 3 | AUT/MAN | S |
| 4 | GND | A |

Tabla 5.13 Señales del conector J7. Control del estado del sistema (LED's)

8. J8 y J9 Control de temperatura

Estos conectores son idénticos y son los encargados de **administrar la alimentación necesaria para mover los ventiladores.**

El conector seleccionado fue un conector **AMP de 2 pines.**

| Numero | Señal | Función |
|--------|-------|---------|
| 1 | VEN1 | S |
| 2 | 36V | A |

Tabla 5.14 Señales del conector J8. Control de ventiladores 1 y 3

| Numero | Señal | Función |
|--------|-------|---------|
| 1 | VEN2 | S |
| 2 | 36V | A |

Tabla 5.15 Señales del conector J9. Control de ventiladores 2 y 4

9. J10 Circuito de control del freno

Este conector está formado **por un pin** que controla la señal de activación del freno. Actualmente no tiene uso, ya que no se ha ideado la forma de controlar el freno

electrónicamente, aun así se ha incorporado en el diseño con idea de mejora del sistema en un futuro.

| Numero | Señal | Función |
|--------|-------|---------|
| 1 | FRN | S |

Tabla 5.16 Señales del conector J10. Circuito de control del freno

10. (Conector DB25) Conjunto

Para simplificar el cableado, se realizó un conector al aire que agrupa los puntos 2 (Serie), 3 (Joystick), 4 (Sensado), 5 (Tracción) anteriores. El conector es un DB25¹¹ como se puede observar en la siguiente figura



Figura 5.22 Conector DB25

| Numero | Señal | Conector placa | Lado Placa | Conector cable | Lado Cable |
|--------|-------|----------------|------------|----------------|--------------|
| 1 | SLND | SENSADO | Azul | puente | Verde-Rojo |
| 2 | - | - | - | - | - |
| 3 | ETRCP | TRACCION | Amarillo | TRACCION | Rojo |
| 4 | JOYA | JOYSTICK | Azul | JOYSTICK | Negro+Blanco |
| 5 | GND | JOYSTICK | Negro | JOYSTICK | Rojo |
| 6 | - | - | - | - | - |
| 7 | B | SERIE | Marrón | SERIE | Marrón |
| 8 | - | - | - | - | - |
| 9 | - | - | - | - | - |

¹¹ También se puede nombrar como SUBD25



| | | | | | |
|----|---------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 10 | BATNEG | ALIMENTACION | Negro | TRACCION | Negro |
| 11 | EDIRN | TRACCION | Blanco | TRACCION | Blanco |
| 12 | - | - | - | - | - |
| 13 | AUTMAN | SENSADO | Blanco | TRACCION Puente | Azul Verde-Rojo |
| 14 | GND | SERIE TRACCION ALIMENTACION | Malla Malla Negro (pin) | puente SERIE | Rojo-verde Blanco+Malla |
| 15 | - | - | - | - | - |
| 16 | EDIRP | TRACCION | Verde | TRACCION | Negro |
| 17 | JOYB | JOYSTICK | Blanco | JOYSTICK | Verde+Negro |
| 18 | 12V | JOYSTICK | Marrón | JOYSTICK | Negro |
| 19 | A | SERIE | Amarillo | SERIE | Amarillo |
| 20 | ISO | SERIE | Verde | SERIE | Verde |
| 21 | - | - | - | - | - |
| 22 | VPOSPRT | ALIMENTACION | Marrón | TRACCION | Verde |
| 23 | ETRCN | TRACCION | Marrón | TRACCION | Negro |
| 24 | - | - | - | - | - |
| 25 | GND | JOYSTICK TRACCION ALIMENTACION | negro | TRACCION JOYSTICK puente | Marrón Malla Rojo-Verde |

Tabla 5.17 Señales del conector P1

11. J11 (conector DB25) Circuito del encoder

Este conector es el **encargado de alimentar y recoger la información que envía el encoder.**

Se prestó especial atención a **evitar interferencias** entre las señales. Para ello se incorporó la señal de tierra (para apantallar) entre las **señales** que dieron más **problemas en la anterior plataforma (iCab1) que fueron STRB y PRTY.**

El orden de las señales en los pines aparece así simplificar el ruteado de las pistas del módulo de control y disminuir la longitud de los cables.

Estas modificaciones se realizaron cómodamente en Orcad gracias a la **compatibilidad entre Layout y Capture a través de la opción AutoECO.**

El conector es un DB25¹² como se puede observar en la siguiente figura



Figura 5.23 Conector DB25

| Numero | Señal | Función |
|--------|--------|---------|
| 1 | 5V | A |
| 2 | FCINF | E |
| 3 | GND | A |
| 4 | ENC-02 | E |
| 5 | ENC-05 | E |
| 6 | GND | A |
| 7 | ENC-07 | E |
| 8 | GND | A |
| 9 | ENC-10 | E |
| 10 | GND | A |
| 11 | GND | A |
| 12 | GND | A |
| 13 | ENC-00 | E |
| 14 | FCSUP | E |
| 15 | GND | A |
| 16 | ENC-03 | E |
| 17 | ENC-04 | E |
| 18 | ENC-06 | E |

¹² También se puede nombrar como SUBD25

| | | |
|-----------|--------|---|
| 19 | GND | A |
| 20 | ENC-08 | E |
| 21 | ENC-09 | E |
| 22 | ENC-11 | E |
| 23 | PRTY | E |
| 24 | STRB | E |
| 25 | ENC-01 | E |

Tabla 5.18 Señales del conector P2. Circuito del encoder

12. (Conector AMP 8) Ventiladores y LEDs

El frontal de la placa se conecta mediante 3 cables que se unen a un conector AMP de 8 pines dispuesto en la tapa. El pinout es el que sigue:

| Numero | Señal | Función |
|---------------|--------------|----------------|
| 1 | 5V | A |
| 2 | SLND | S |
| 3 | AUT/MAN | S |
| 4 | GND | A |
| 5 | VEN1 | S |
| 6 | 36V | A |
| 7 | VEN2 | S |
| 8 | 36V | A |

Tabla 5.19 Señales del conector de ventiladores y LEDs

5.3 SEE pertenecientes al módulo de potencia

Se puede observar el esquemático del módulo de potencia en el Anexo C: Esquemático del Módulo de Potencia. A partir del esquemático anterior, se desglosan a continuación las características de los circuitos que componen el módulo completo, que han sido revisadas del iCab1 al iCab2.

5.3.1 Circuito de alimentación

La alimentación del módulo de potencia **proviene del módulo de control**, siendo ésta de 12 [V] y de tierra 0[V] (GND).

5.3.2 Comunicación con el módulo de control

Del módulo de control provienen **dos señales** que son las **que generan la lógica** necesaria para el movimiento del puente, estas señales son: **DPUENTE y PWMDIR**. **DPUENTE** se utiliza para **establecer el sentido de giro del motor**. **PWMDIR** la genera el micro y es una **señal modulada por ancho de pulso a 40 [MHz]**.

Como la salida del microcontrolador es TTL y la lógica de potencia es de tecnología CMOS, se diseñó la interfaz control-potencia, descrita en el apartado 4.3.2 Interfaz de los subsistemas de Dirección: Control-Potencia.

5.3.3 Lógica de control

El diseño de la lógica de control es el mismo que se diseñó para el iCab1 y, puesto que se comprobó su correcto funcionamiento, se ha mantenido sustituyendo la tecnología TTL por tecnología CMOS esperando una mayor robustez con respecto al ruido.

La misión principal de esta lógica es **evitar daños en los elementos mecánicos** producidos por malfuncionamientos software o hardware. Este malfuncionamiento podría realizar movimientos en el sentido de giro en el que un final de carrera estuviese pisado. Además de la protección permiten la selección del sentido de giro del motor.

El esquema de la lógica de control se puede observar en la Figura 5.24

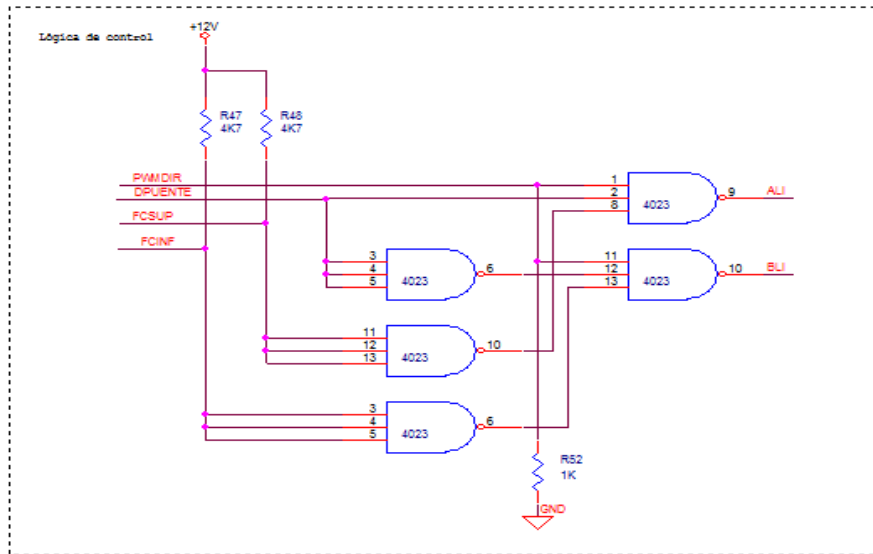


Figura 5.24 Lógica de control

5.3.4 Puente en H

El esquema del puente en H se puede ver en la siguiente figura:

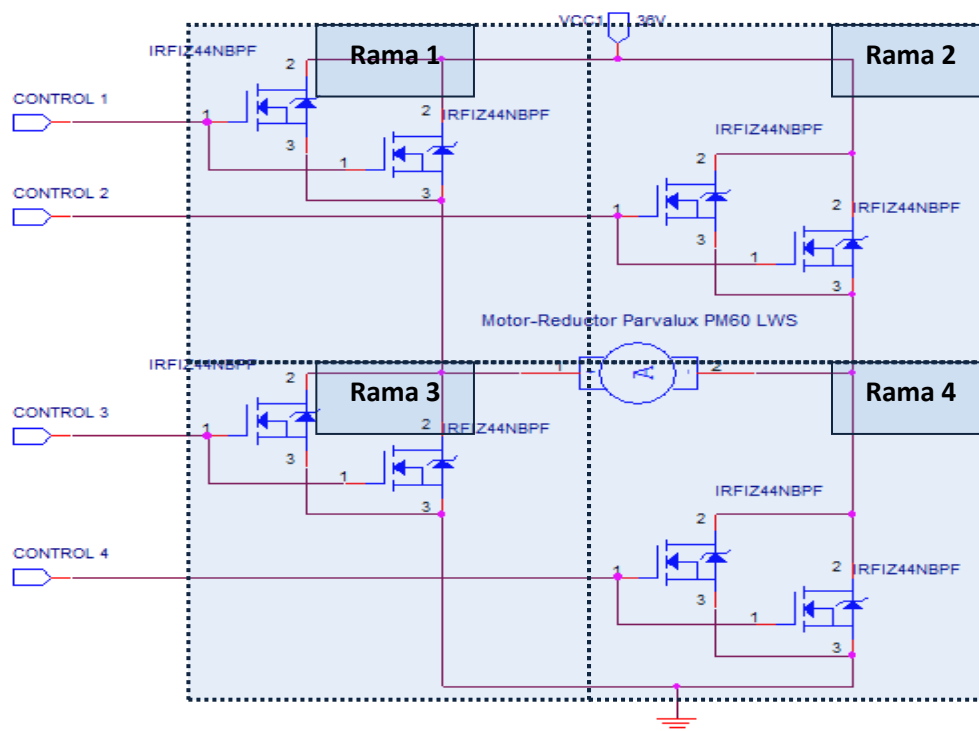


Figura 5.25 Puente en H

Los transistores aparecen en paralelo para disminuir la resistencia equivalente (R_{DSon}). Si se suponen en conducción, al aparecer dos resistencias iguales y en paralelo, y se calcula la resistencia equivalente del conjunto, se obtiene que la resistencia se reduce a la mitad.

Esta forma de colocarlos **puede producir problemas por diferencias de corriente entre ellos** y, a su vez, incrementos de temperatura que sobrepasen los límites del encapsulado. En visión general se planteó:

- El rediseño con transistores fácilmente paralelizables.
- El cambio de transistores a otros con mejores prestaciones.
- Pedir transistores macheados.

No se ha modificado el diseño ya que, durante el funcionamiento del módulo de potencia del iCab1, no se ha producido sobrecalentamientos o desviaciones de comportamiento normal que hayan sugerido un cambio. Sin embargo si se ha seleccionado el transistor que ha surgido del mantenimiento del iCab1, los transistores originales eran IRFZ48V y se sustituyeron por IRFIZ44NBPF¹³ (ambos de la compañía International Rectifier).

5.3.5 Conectores módulo de potencia

1. J1 Circuito de comunicaciones con el módulo de control

El conector seleccionado es un **header 5x2** como el mostrado en la siguiente figura



Figura 5.26 header 5x2

El conexionado de los pines se aprecia en la siguiente tabla:

¹³ Se usará a partir de ahora la referencia reducida del componente IRFIZ44N.

| Numero | Señal | Función |
|----------|---------|---------|
| 1,2 | 12V | A |
| 3 | PWMDIR | S |
| 4 | DPUENTE | S |
| 5,6,9,10 | GND | A |
| 7 | FCSUP | S |
| 8 | FCINF | S |

Tabla 5.20 Señales del conector J5. Conector de comunicaciones con el módulo de potencia

2. J2 Conector de potencia

Este conector debía **cumplir los requisitos de tensión y corriente** para la aplicación, ya que es el encargado de dar alimentación al puente en H y este, a su vez, al motor.

Se buscaron soluciones comerciales para este conector y finalmente se seleccionaron los conectores de la **compañía TycoElectronics** de la **serie AMP de conectores de potencia** (conectores para aplicaciones de **más de 10[A]**). Los números de identificación (part number) de los componentes son: 556879-2 y 556881-2 para el conector del cable y para el conector de la placa PCB respectivamente.

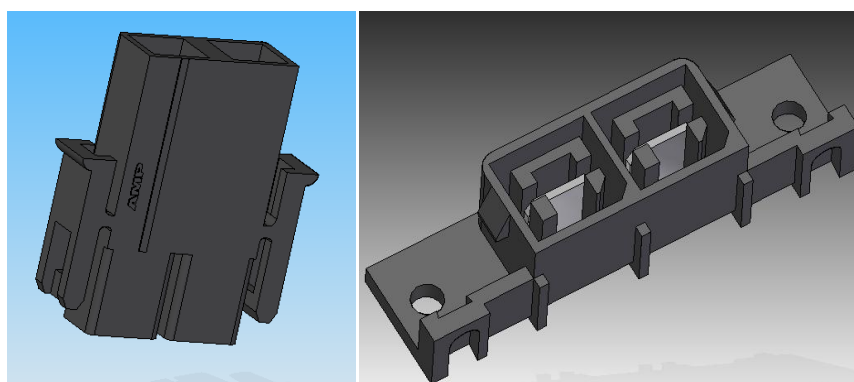


Figura 5.27 Conectores Tyco 556879-2 (izquierda) 556881-2 (derecha)

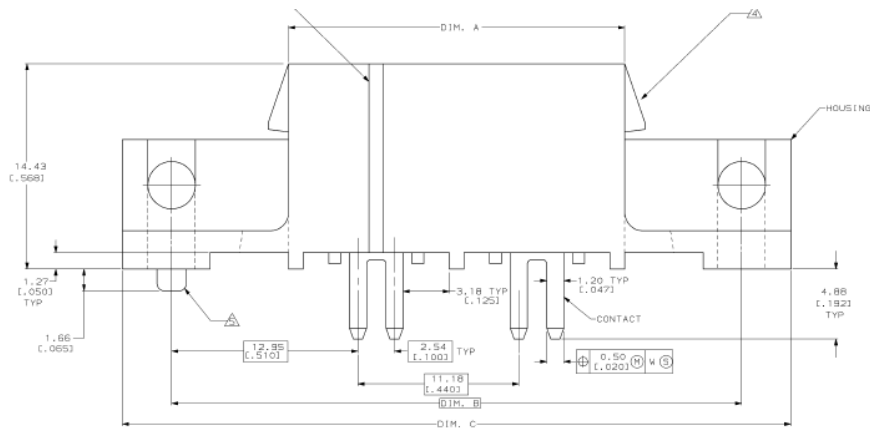


Figura 5.28 Detalle del conector a la placa de potencia

En la práctica **el componente fue adaptado**¹⁴ a la placa en tamaño ya que, por las características de la ubicación que tendrá (diseño de la guantera), el tamaño excedía el del permitido por el montaje. En el conector que aparece en la placa de potencia se le han **eliminado las aletas de anclaje** para reducir el tamaño del conjunto. En la figura siguiente se puede observar como ha quedado finalmente.

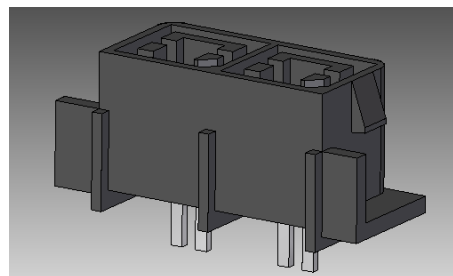


Figura 5.29 Conector J2 modificado

Finalmente se muestran las señales de los pines

| Numero | Señal | Función |
|------------|------------|---------|
| 1,2 | 36V (BPOS) | A |
| 3,4 | GND (BNEG) | A |

Tabla 5.21 Señales del conector J2. Conector de potencia

¹⁴ Las modificaciones físicas realizadas al componente se pueden apreciar en Anexo F: Plano de Modificación de los Conectores de Potencia.



Estos conectores (el de placa, el aéreo y los terminales) aunque se han obtenido como muestras gratuitas (samples) en la página de TycoElectronics, en el momento de hacer el presupuesto, se tomaran los precios del distribuidor de componentes electrónicos RS en agosto del 2009.

5.4 Diseño del PCB

La **placa de circuito impreso (PCB Printed Circuit Board)** es, básicamente, un **soporte para un circuito electrónico**. Consta de un material base, aislante, sobre el que se disponen pistas conductoras, generalmente de cobre, que conforman el conexionado entre los distintos componentes.

En general la **PCB consta de dos caras**:

- En una de ellas, la llamada **cara de componentes** (superior o **“top”**), se colocan los **componentes** mediante la **inserción** de sus **patillas** en agujeros pasantes, llamados taladros (**“dril”**) (también se pueden colocar sin necesidad de agujeros pasantes: son los llamados componentes de montaje superficial **“SMD”**).
- La otra cara llamada **cara de soldadura** (inferior o **“bottom”**), incorpora las **pistas de cobre** que **unen** las distintas **patillas de los componentes**; es en esta cara donde se realiza la unión o soldadura de la patilla con la pista de cobre: son los llamados **PCB monocapa**.

Con la incorporación de la tecnología de montaje superficial (SMT: *superficial Mount Technology*) la colocación de componentes no se ciñe a solo a la cara de componentes sino que se colocan también en la soldadura, aumentando así la densidad de componentes en la misma área de placa.

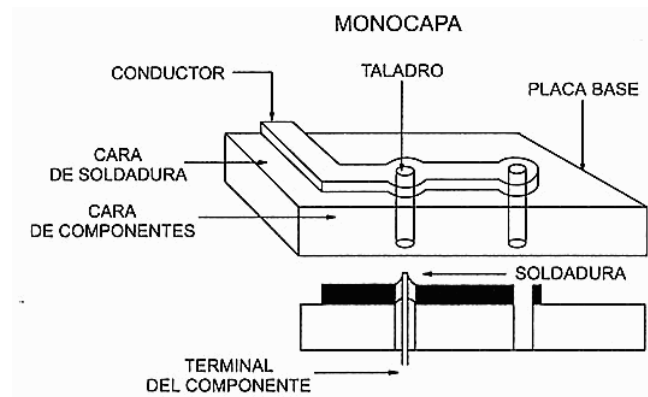


Figura 5.30 Perfil de una placa monocapa

La PCB del circuito que **se ha fabricado es una bicapa** puesto que tenemos una cara superior (top) y otra inferior (bottom) y unos **agujeros pasantes metalizados**.

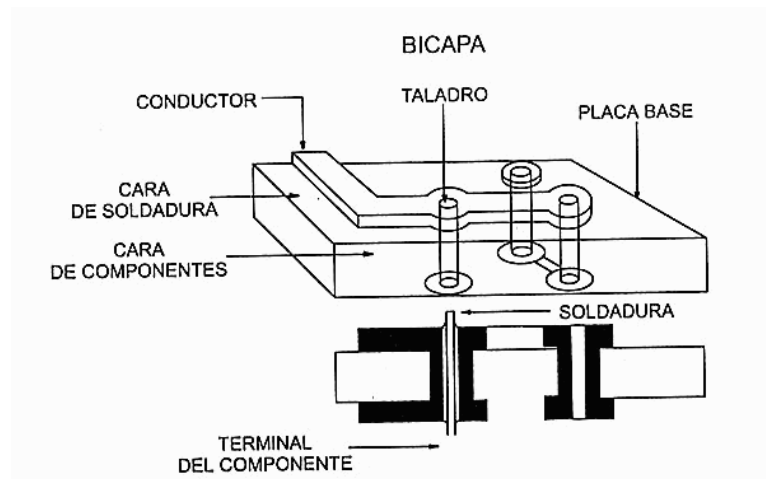


Figura 5.31 Perfil de una placa bicapa

5.4.1 Introducción al Layout

La herramienta de OrCAD para la realización de circuitos impresos es el **Layout**. Mediante OrCAD Capture dibujamos el plano completo del circuito y generamos un listado de conexiones (*netlist*) cuyo contenido será:

- Nombres de las footprint (huellas)
- Nomenclatura de los componentes en PCB
- Tipo de encapsulado comercial
- Referencia enumerada de componentes de E/S

- Información de pines, conexiones, propiedades del componente, etc.

Este archivo será procesado por el Layout, en el cual se tendrá que definir unos parámetros de diseño, como son por ejemplo el borde o contorno exterior de la tarjeta, posicionamiento de los componentes, definir los tipos de nodos o vías, o el número y orden de las capas para el trazado.

5.4.2 Especificaciones de diseño

El sistema físico, que se está planteando en la unidad de dirección, presenta unas características que deben tenerse en cuenta para cumplir con los criterios de diseño del sistema.

Cálculo del ancho de pista

Hay que remarcar, antes de empezar, que las unidades en las que se expresan estos cálculos están muy influenciadas por las **medidas anglosajonas**, aunque se aplicará la mayor claridad al presentarlas en la unidad en la que se calculó y en la unidad correspondiente del sistema internacional.

Para calcular el **ancho de una determinada pista** es necesario **conocer tres datos**:

1. La **corriente máxima** que puede circular por la pista.
2. El **incremento máximo** permitido **de temperatura** que puede soportar esa pista (con respecto al ambiente).
3. El **grosor de la pista**. Este dato se refiere a **la altura** y se expresa en unidades anglosajonas (onzas por pie cuadrado¹⁵). Sus medidas estándar de fabricación son de 1, 2 y 3 [onzas por pie cuadrado] (35, 70 y 105 [μm]).

El grosor viene definido por la tecnología de fabricación de la placa. Ambos módulos (de control y potencia) se diseñaron pensando en la realización interna en la universidad, lo

¹⁵ 1 onza por pie cuadrado = 35 [μm] = $35 \cdot 10^{-6}$ [m]

cual limitaba algunos criterios de diseño, como son el grosor de la pista o el metalizado de vías.

Con los criterios de fabricación que marcaba la universidad se establece que **el grosor** de las pistas sea de **1 [onza por pie cuadrado] (35 [μm])**.

La **corriente máxima** que necesita el **motor** pertenece a un rango de corrientes entre **(5, 25|7, 5) [A]**, como se ha comentado anteriormente.

Se establece como **criterio** de fabricación **aumentar la vida útil del sistema**, para ello se **sobredimensionaron**, en la medida de lo posible, los **anchos** mínimos que se calcularan en los apartados siguientes.

Las características para el diseño de las pistas se ven reflejadas en la tabla siguiente:

| | |
|-----------------------------------|---------|
| T_{ambiente} | 35 [°C] |
| T_{funcionamiento} | 45 [°C] |
| ΔT | 10 [°C] |

Tabla 5.22 Características de diseño de las pistas

Para calcular el ancho de la pista se hace uso de las siguientes ecuaciones

$$\text{Ancho} = \frac{\text{Área}}{L \cdot 1,378}$$

Ecuación 1 Ancho en función del área y la longitud

$$\text{Área} = \left[\frac{I}{K_1 \cdot \Delta T^{k_2}} \right]^{\frac{1}{k_3}}$$

Ecuación 2 Área en función del ΔT y de las constantes

Donde L es el grosor de la pista, en el caso del diseño es de 1 [onza por pie cuadrado]

Se sustituyen los valores conocidos en la ecuación anterior:

$$Ancho = \frac{\left[\frac{I}{K_1 \cdot \Delta T^{k_2}} \right]^{\frac{1}{k_3}}}{L \cdot 1,378}$$

Ecuación 3 Ancho en función del ΔT y de las constantes

Las constantes que aparecen dependen de la situación de la pista: **pista interna**, que se encuentra entre capas o **pista externa**, que se encuentra en la capa superior o inferior.

| | k_1 | k_2 | k_3 |
|----------------------|--------|--------|--------|
| Pista Interna | 0,0150 | 0,5453 | 0,7349 |
| Pista Externa | 0,0647 | 0,4281 | 0,6732 |

Tabla 5.23 Constantes para el cálculo del ancho de pista

En el caso del diseño, las pistas se van a rutear en las capas superior e inferior, con lo que se buscan las constantes para pista externa. Se obtiene para la corriente de diseño del motor el ancho de pista:

$$Ancho = \frac{\left[\frac{10}{0,0647 \cdot 10^{0,4281}} \right]^{\frac{1}{0,6732}}}{1 \cdot 1,378} = 300 [mils]$$

Si se realiza un análisis de sensibilidad, se puede apreciar qué ocurriría en el caso de una pista exterior:



| Corriente [A] | Ancho [mils] | ΔT [°C] |
|---------------|--------------|-----------------|
| 6 | 140 | 10 |
| | 108 | 15 |
| | 90 | 20 |
| | 78 | 25 |
| | 70 | 30 |
| 8 | 215 | 10 |
| | 166 | 15 |
| | 138 | 20 |
| | 120 | 25 |
| | 107 | 30 |
| 10 | 300 | 10 |
| | 231 | 15 |
| | 192 | 20 |
| | 167 | 25 |

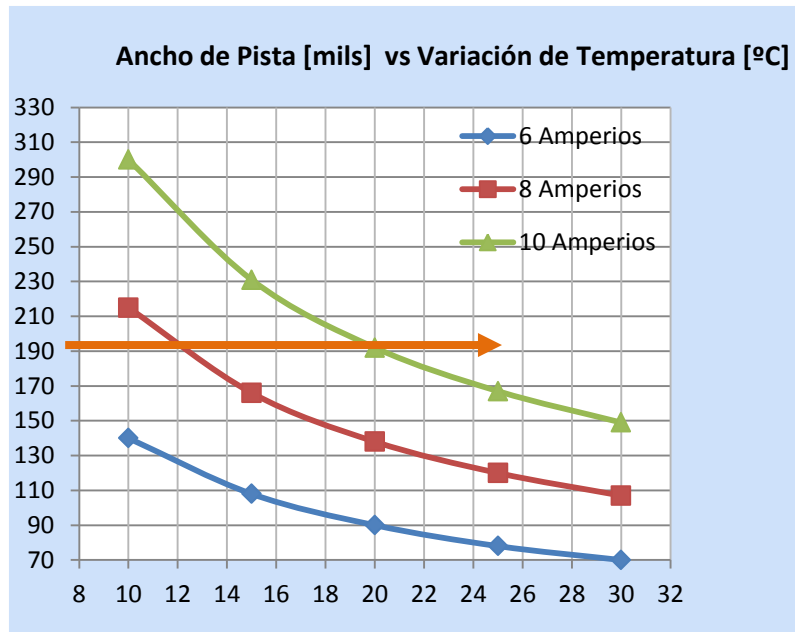


Tabla 5.24 Ancho de Pista [mils] vs Variación de Temperatura [°C]

Se selecciona el ancho de pista de las que proporcionan la corriente para mover el motor.

Se tomó el valor de 160 [mils] (4,06[mm]) ya que éste garantiza el funcionamiento:

- Con una corriente de 6 [A] para cualquier ΔT .
- Con una corriente de 8 [A] salvo para ΔT menores de 12 [°C].
- Con una corriente de 10 [A] salvo para ΔT menores de de 20 [°C] el diseño no sería válido.

La corriente que se ha seleccionado es superior a la calculada en apartados anteriores, ya que mejorar el funcionamiento del sistema. Así mismo el ΔT podría ser mayor que el seleccionado escogiendo por lo tanto una pista de menor ancho.

Finalmente se **seleccionó** el **ancho** de la **pista de 160 [mils] (4,06 [mm])** y, al **fabricarse** la PCB sobre **una placa bicapa** (y al tener las **vías metalizadas**), se va a **dividir** el citado **ancho entre la capa superior (top) y la inferior (bottom)** con lo que se tiene que el ancho que se debe incorporar es de **80 [mils] (2,03[mm])(por capa)**. Este ancho se ha seleccionado también por otro motivo: el transistor tiene un encapsulado TO220 y la distancia entre las patas permite, en el layout, un ancho de pista de ∓ 40 [mils].

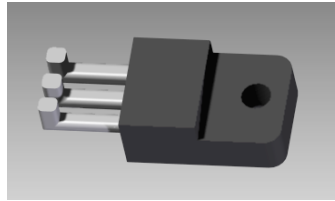


Figura 5.32 Encapsulado del transistor TO220 para el IRFIZ44N

Cálculo del ancho de los cables de alimentación

Para buscar el diámetro de cable mínimo para la aplicación, en el Reglamento Electrotécnico de Baja tensión, se hace uso de la siguiente tabla:

| Sección nominal mm ² | 1 terno de cables unipolares (1) | | | | | 1 cable tripolar o tetrapolar | | | | | 2 cables unipolares | | | | 1 cable bipolar | | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------|------|------|------|-----------------|-----|-----|-----|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | TIPO DE AISLAMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | V | B | D | R | P | V | B | D | R | P | V | B | D | R | V | B | D | R | |
| 1,5 | 16 | 18 | 18 | 18 | 30 | 15 | 17 | 17 | 17 | 15 | 22 | 25 | 27 | 27 | 20 | 23 | 25 | 25 | |
| 2,5 | 22 | 25 | 26 | 26 | 38 | 21 | 24 | 25 | 25 | 18 | 30 | 34 | 36 | 36 | 26 | 30 | 33 | 33 | |
| 4 | 30 | 34 | 35 | 35 | 48 | 28 | 32 | 34 | 34 | 25 | 40 | 45 | 48 | 48 | 35 | 40 | 44 | 44 | |
| 6 | 38 | 44 | 45 | 46 | 62 | 36 | 41 | 43 | 44 | 35 | 50 | 60 | 64 | 64 | 45 | 55 | 58 | 58 | |
| 10 | 53 | 61 | 62 | 64 | 80 | 50 | 57 | 60 | 61 | 50 | 70 | 80 | 85 | 85 | 65 | 75 | 79 | 79 | |
| 16 | 71 | 81 | 83 | 86 | 102 | 65 | 75 | 80 | 82 | 70 | 95 | 105 | 115 | 115 | 85 | 95 | 103 | 103 | |
| 25 | 96 | 110 | 115 | 120 | 130 | 87 | 100 | 105 | 110 | 90 | 125 | 145 | 155 | 155 | 115 | 130 | 138 | 138 | |
| 35 | 115 | 135 | 140 | 145 | 160 | 105 | 120 | 130 | 135 | 110 | 155 | 175 | 190 | 190 | 140 | 160 | 170 | 170 | |
| 50 | 145 | 165 | 175 | 180 | 195 | 130 | 150 | 160 | 165 | 140 | 185 | 210 | 225 | 225 | 165 | 190 | 200 | 200 | |
| 70 | 185 | 215 | 225 | 230 | 250 | 165 | 190 | 200 | 210 | 180 | 230 | 265 | 280 | 285 | 205 | 240 | 255 | 255 | |
| 95 | 235 | 270 | 280 | 285 | 305 | 205 | 235 | 250 | 260 | 220 | 285 | 325 | 345 | 350 | 255 | 295 | 310 | 310 | |
| 120 | 275 | 315 | 325 | 335 | 350 | 240 | 275 | 290 | 300 | 250 | 330 | 380 | 400 | 405 | 295 | 345 | 360 | 360 | |
| 150 | 315 | 360 | 375 | 385 | 410 | 275 | 315 | 335 | 350 | 295 | 375 | 430 | 455 | 465 | 340 | 390 | 410 | 415 | |
| 185 | 365 | 420 | 440 | 450 | 465 | 315 | 365 | 385 | 400 | 335 | 430 | 490 | 525 | 535 | 390 | 450 | 475 | 485 | |
| 240 | 435 | 490 | 515 | 535 | 530 | 370 | 435 | 460 | 475 | 380 | 505 | 580 | 615 | 630 | 460 | 530 | 560 | 565 | |
| 300 | 500 | 570 | 595 | 615 | 605 | 425 | 495 | 520 | 545 | 440 | 580 | 670 | 710 | 730 | 535 | 615 | 650 | 660 | |
| 400 | 585 | 660 | 700 | 720 | 675 | 495 | 575 | 610 | 645 | 500 | 665 | 770 | 815 | 840 | 620 | 715 | 760 | 770 | |
| 500 | 665 | 760 | 800 | 825 | 745 | — | — | — | — | — | 760 | 865 | 915 | 950 | — | — | — | — | |
| 630 | 765 | 870 | 915 | 950 | 810 | — | — | — | — | — | 880 | 1015 | 1080 | 1100 | — | — | — | — | |
| 800 | — | — | — | — | 875 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1.000 | — | — | — | — | 925 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |

Figura 5.33 Selección de cables

El cable que disponemos es unipolar, con aislamiento de etileno – propileno (D en la tabla anterior) y con un diámetro de cobre de 2 [mm]. Se busca para el área que genera ese diámetro y, al no aparecer directamente, se realiza una interpolación lineal obteniendo:

$$I_{\max} = 26 \text{ [A]}$$

Esta corriente es aproximadamente el triple de la que necesita la unidad de dirección en el peor de los casos. Por lo tanto se incorporará el cable de este diámetro en la alimentación de 36 [V] del módulo de potencia y en el conector del motor desde el mismo módulo.

5.4.3 Placa del módulo de control

Esta placa fue profundamente modificada para cubrir las nuevas necesidades, tanto de la mecánica como de los nuevos componentes que necesitaban ser integrados en el diseño. Para el tamaño de placa se partió de las posibilidades de espacio de la guantera, y sobre todo del ancho de la placa de potencia, que era el mayor limitante. Una vez que se encontró el disipador que serviría de base, se decidieron las medidas de ambas placas y se inició el trabajo en el soporte de las guías, que se hizo en paralelo con el diseño de las placas. Dado que la mecánica podía variar, se decidió realizar los taladros de sujeción aislados eléctricamente y en la zona exterior de la placa para, en caso de que las medidas variaran, el impacto fuera mínimo sobre los avances ya producidos.

Dado que uno de los mayores problemas que tenía el diseño de la placa de control en el iCab1 eran las interferencias electromagnéticas producidas por la placa de potencia, así como los picos de corriente entre distintas zonas de la placa, que trabajan a distintas tensiones, se decidió hacer un plano de masas en cada cara unidos entre sí por agujeros pasantes con continuidad eléctrica, de manera que las corrientes parásitas fueran absorbidas más fácilmente. Además, la zona de 36 [V] está separada de la zona de 12 [V] y 5 [V] mediante unos pines que pudieran ser conectados o desconectados. Por otro lado, se mantuvieron las líneas de alimentación de 36 [V] en una cara en la medida de lo posible, mientras que las de 12 [V] y 5 [V] quedaron en la otra cara, para eliminar interferencias entre ellas.

A la hora de organizar los componentes, se agrupó por módulos alrededor del microcontrolador, haciendo las pistas de potencia y de señal lo más cortas posibles para eliminar fuentes de ruido. La decisión frente al cableado fue mantener los conectores en la zona exterior de la placa, decisión frecuente en el diseño, para eliminar la propagación de interferencia electromagnética, reducir la resistencia térmica del montaje y simplificar el conexionado posterior.

El resultado se puede ver en las siguientes figuras:

1. Placa del módulo de control: Layout Capa TOP

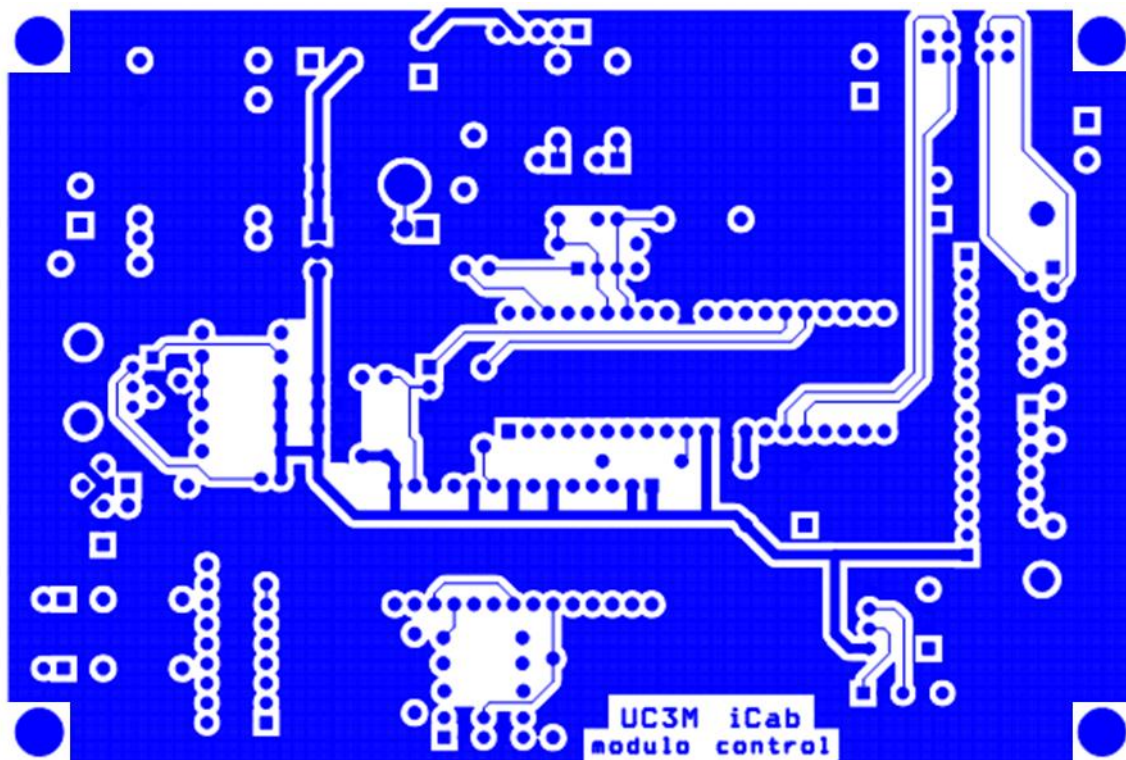


Figura 5.34 Placa del módulo de control Layout final. Capa TOP

2. Placa del módulo de control: Layout Capa BOTTOM

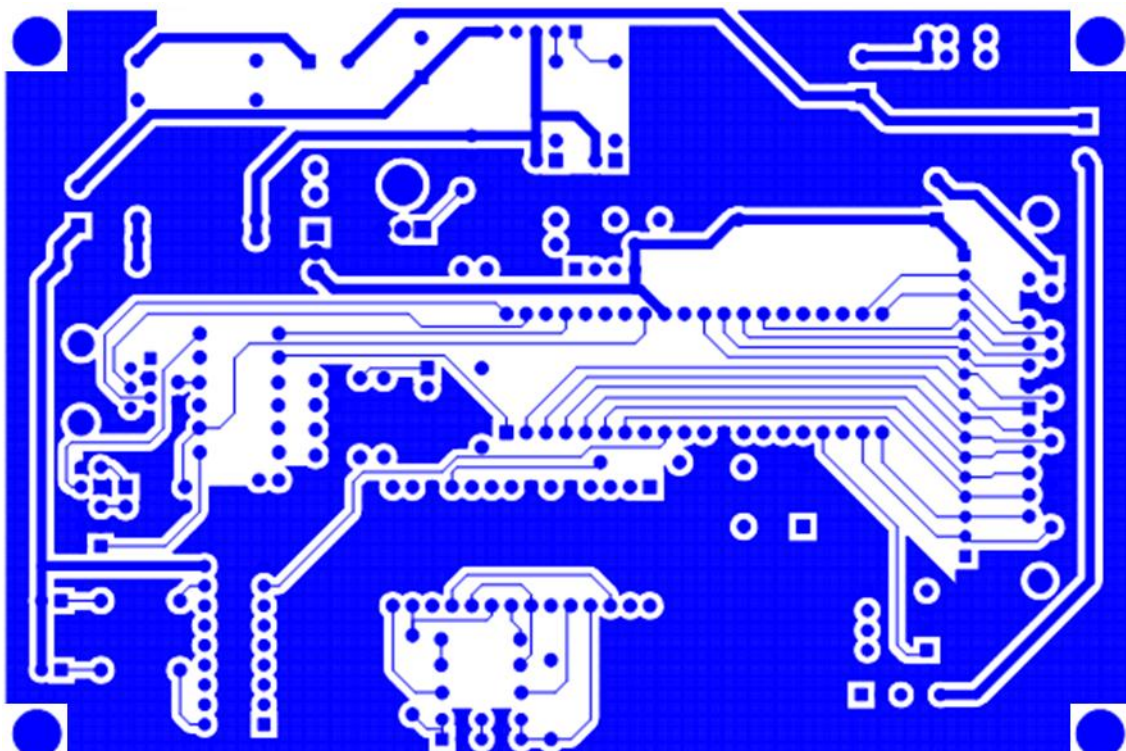


Figura 5.35 Placa del módulo de control Layout final. Capa BOTTOM

5.4.4 Placa del módulo de potencia

Esta placa se rediseñó del iCab1 al iCab2 tal como viene desarrollado en la bibliografía: Título: **Rediseño de la unidad de dirección para el iCab2.**

1. Placa del módulo de potencia: Layout Capa TOP

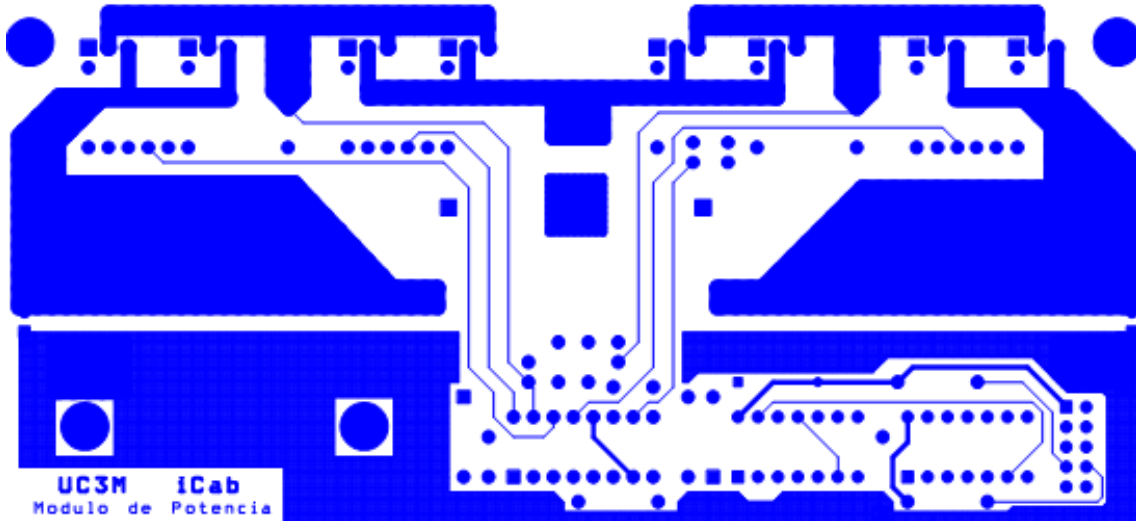


Figura 5.36 Placa del módulo de potencia Layout final. Capa TOP

2. Placa del módulo de potencia: Layout Capa BOTTOM

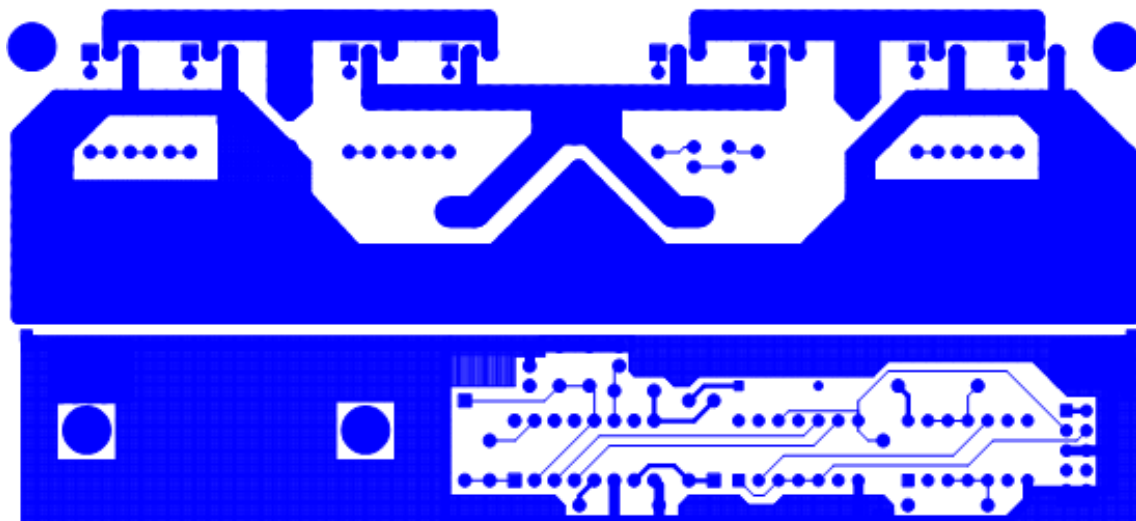


Figura 5.37 Placa del módulo de potencia Layout final. Capa BOTTOM

3. Placa del módulo de potencia: Layout Taladros

En la placa se realizaron unos agujeros, en los planos de masas, para mejorar anteriores problemas que se produjeron en la placa de potencia, por un dimensionado escaso de las pistas de tierra. Para mejorar esta característica se introdujo en el montaje dos cables de 2 [mm] de diámetro interno para aumentar el área útil.

5.4.5 Placa del módulo interfaz control-potencia

El diseño de la interfaz control-potencia se basa en el prototipo que se desarrolló en la bibliografía: Título: **Rediseño de la unidad de dirección para el iCab2** y que dio buenos resultados. Se decidió mantener el pequeño tamaño de la tarjeta PCB para poder seguir montándola sin tener que producir una nueva fijación, de manera que el conector de la placa de control fuera también la sujeción mecánica de la placa. Para disminuir tensiones en el susodicho conector, se intentó mantener todos los componentes posibles en la zona inferior, disminuyendo el momento y los productos de inercia, y se usó un diseño de soldadura en ambas caras para poder reducir el tamaño del silicio.

Por el contrario, al usar un diseño de doble cara se pensó que la tarjeta debería de ser producida fuera de las instalaciones de la universidad, pero finalmente se decidió que con un soldador experimentado esto no sería necesario.

A continuación se muestra el layout de las dos capas, TOP y BOTTOM, del interfaz control-potencia:

1. Placa del módulo interfaz control-potencia: Layout Capa TOP

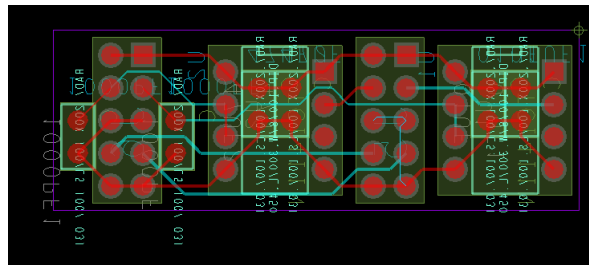


Figura 5.38 Placa del módulo interfaz control-potencia. Layout final. Capa TOP

2. Placa del módulo interfaz control-potencia: Layout Capa BOTTOM

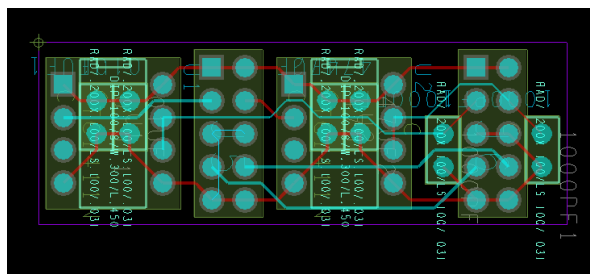


Figura 5.39 Placa del módulo interfaz control-potencia. Layout final. Capa BOTTOM

Cabe destacar, que el montaje de esta interfaz no es exactamente igual que en el primer prototipo, ya que los conectores no están distribuidos igual. Es por ello que las interfaces llevan indicadores en sus superficies para facilitar su colocación.

Capítulo 6:

Montaje.

6 Montaje

Una vez **diseñada la unidad de dirección** se pasó a la etapa de montaje, siendo este paralelo a la etapa de comprobaciones de los módulos de control y potencia según lo expuesto en el apartado 8 Medidas experimentales. Este proceso incluyó:

- Ensamblado de la mecánica de la dirección, a partir de los planos de montaje.
- Soldado. Contacto de pistas y pines.
- Aislamientos de masas y pistas. Contacto y aislamiento de componentes.
- Correcta alimentación en vacío (Tensión e intensidad). Estimación de consumo con carga y dimensionado de fusibles.
- Programación. Cableado de sensores, pruebas de lectura y simulación de entradas.

6.1 Primera etapa

El inicio del montaje del sistema de dirección comienza por desmontar la dirección original del vehículo, manteniendo la junta cardan junto con su protección.

En paralelo se comienza el montaje del conjunto mecánico de la dirección, como se ha podido observar en la **Figura 4.5 Montaje del conjunto motor encoder**, obteniendo el bloque completo, tal y como se explica en la bibliografía: Título: ***iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Diseño Hardware***. Se puede ver en la Figura 4.5 Montaje del conjunto motor

encoder, una idea del montaje original. El resultado obtenido para el vehículo iCab2 se puede ver en la siguiente figura:

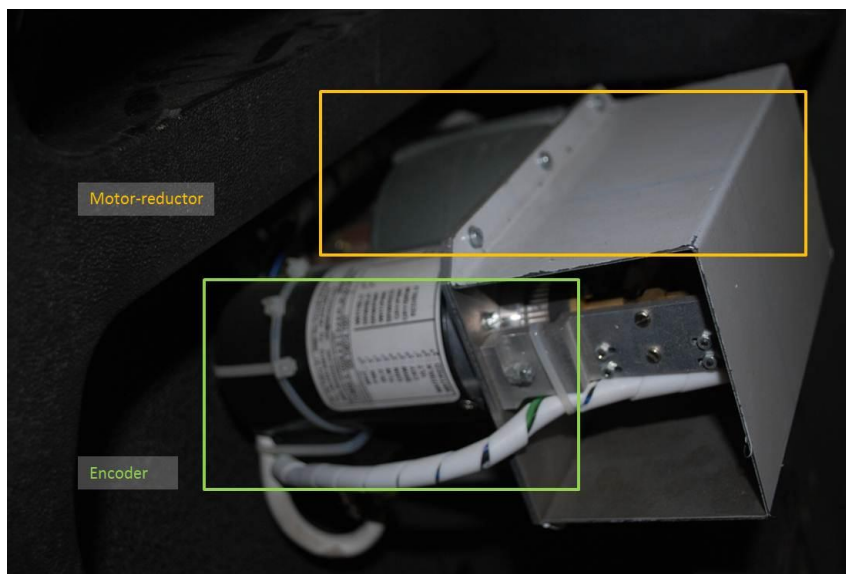


Figura 6.1 conjunto motor encoder montado

Para fijar el conjunto al vehículo se debe levantar el faldón de goma del suelo por el lateral del vehículo, y realizar los agujeros necesarios en el chasis del vehículo, para posteriormente atornillar la base del conjunto en el chasis del vehículo. En este momento aún no se debe fijar el conjunto a la junta cardan, puesto que se debe hacer un ajuste del centrado de las ruedas y el motor, y para ello la electrónica de control debe estar programada, testada y conectada al conjunto.

La forma más cómoda que se ha visto durante este proyecto para centrar el encoder con las ruedas fue, con todo el conjunto montado, centrar las ruedas del vehículo, y en el conjunto motor-encoder, soltar un pequeño tornillo de cabeza allen 1,5 [mm] interior situado en la polea motor, de manera que al rotar el encoder no gire el motor. De esta manera, leyendo por el puerto serie los valores podemos buscar el valor central (2048 en pasos de encoder), y fijar así su posición. Una vez hecho esto, se pueden volver a apretar el tornillo allen y unir la junta Cardan al motor.



Figura 6.2 Montaje del conjunto motor. Detalle de la junta cardan

Para terminar esta etapa, se debe cablear el motor; se realiza un taladro por una sección no visible del chasis, conectando con el hueco entre el salpicadero y el capó, y de ahí a la guantera. Los cables que deben pasar por este conducto son los finales de carrera, el encoder, y la salida de la etapa de potencia al motor, como puede verse en la siguiente figura:

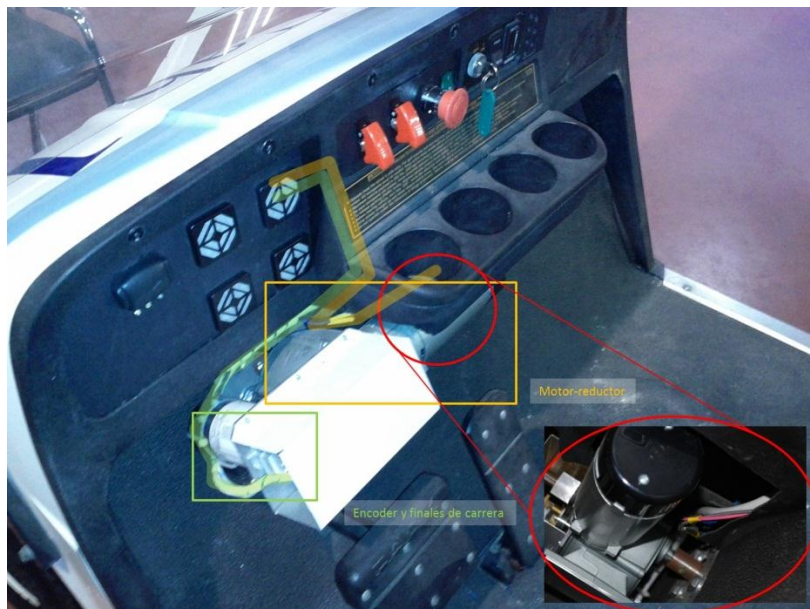


Figura 6.3 Cableado del motor y del conjunto encoder-final de carrera

6.2 Segunda etapa

6.2.1 Montaje de la tapa de la guantera

La **tapa** de la guantera se fabricó a partir de un **plástico** con una **textura parecida** al plástico colindante del vehículo. El resultado de la integración lo podemos ver en la imagen siguiente:



Figura 6.4 Vista frontal de la tapa

En la parte posterior se puede apreciar cómo están cableados los ventiladores y los indicadores luminosos, así como el conector asociado.

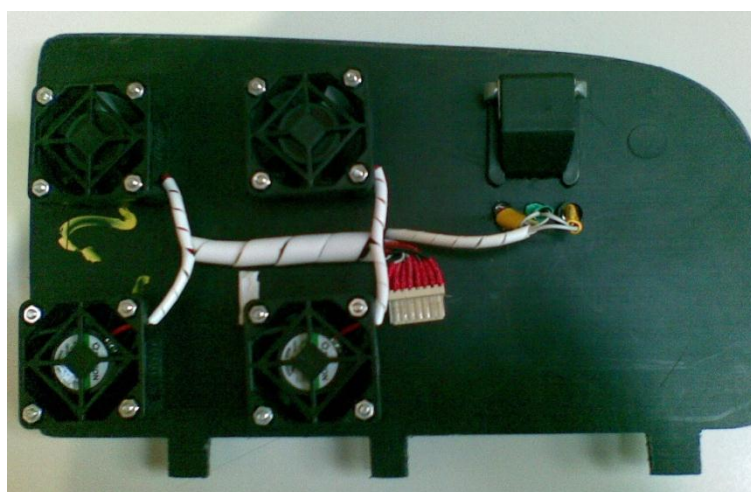


Figura 6.5 Vista posterior de la tapa

6.2.2 Montaje de las placas al disipador

El **módulo de control** se sujeta al disipador por **4 torretas de métrica 3 (M3)**; el **módulo de potencia** se sujeta al disipador a través de **4 torretas de métrica 3 (M3)** y **8 tornillos también M3**, uno por cada transistor del puente, todos **aislados eléctricamente** del disipador.

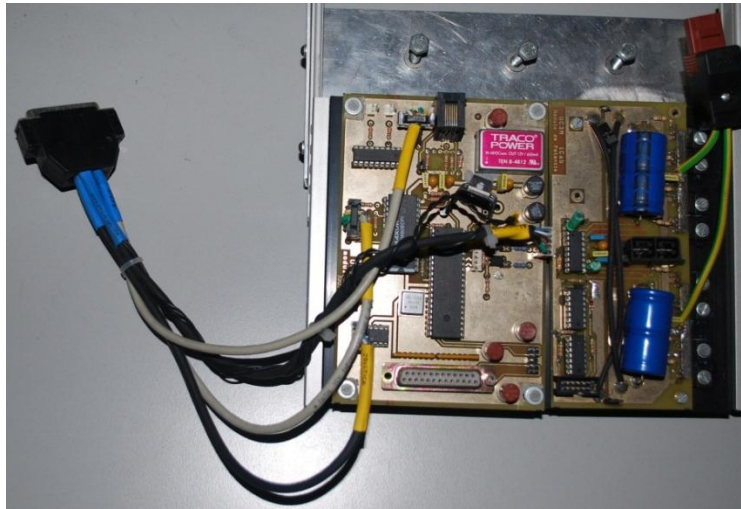


Figura 6.6 Unidad de dirección montada sobre el disipador

Posteriormente el disipador y las placas son atornillados **por 2 tornillos de métrica 4 (M4)** a cada una de las guías. Las guías, a su vez, son unidas a la guantera por medio de 2 tornillos cada una al soporte diseñado. Se puede apreciar el conjunto montado abierto (y sin tapa) en la siguiente figura:

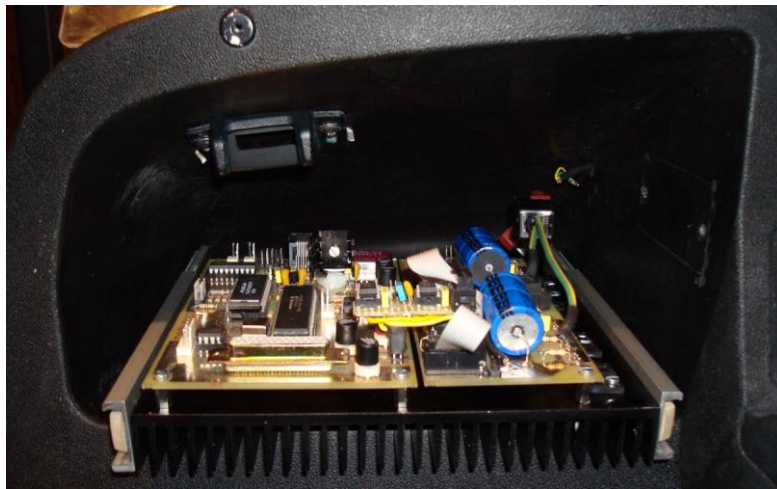


Figura 6.7 Montaje final extendido en la guantera

Y cuando el elemento deslizante se encuentra recogido en la siguiente figura:



Figura 6.8 Montaje final recogido en la guantera

El soporte se fija a la guantera mediante 3 tornillos de métrica 6 (M6) y 2 arandelas cada uno por ambos lados para elevar el conjunto y darle un área mayor de apoyo a los tornillos.

En la toma de estas imágenes no se ha presentado con el cableado completo necesario para el correcto funcionamiento para poder apreciar mejor el montaje del sistema sobre la guantera.

6.3 Tercera etapa

En esta tercera etapa se deben interconectar los otros sistemas al sistema de la dirección, al igual que dentro del sistema, los subsistemas de la dirección entre sí.

6.3.1 Cableado

Para el cableado de los sistemas se siguen los principios que se han planteado en el apartado **4.3.1 Cableado**, de manera que todos los cables han de ir en fajas con hilos de tensiones semejantes, de señales relacionadas, bajo mallas de eliminación de ruidos y a través de tubos corrugados de protección. Distinguiremos el cableado en dos conjuntos, que fueron organizados a dos conectores DB25 al aire:

El primer conector DB25 lleva los conjuntos de datos de la tracción, comunicaciones, Joystick e interfaz humana, y el cable de alimentación a partir de los conectores de placa vistos en el apartado 5.2.9 Conectores módulo de control.

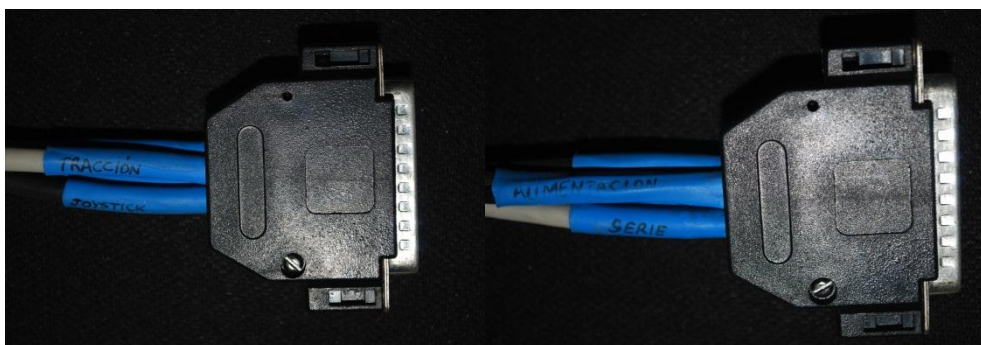


Figura 6.9 Conector DB25 de información y alimentación

El segundo conector DB25 sirve para conectar el encoder y los finales de carrera. Este cable incluye en una parte de su recorrido en el interior de la guantera un conector molex de 4 pines en los cables del final de carrera que sirve para introducir un puente y poder recolocar la dirección dentro del rango de trabajo si se llega a producir algún problema.



Figura 6.10 Conector DB25 de encoder y finales de carrera

El cable de alimentación de la placa de potencia con el conector modificado incluye en su recorrido un portafusibles para introducir el fusible de 6 [A] que utiliza como seguridad, aunque en fase de pruebas viene siendo común el uso de un fusible de 4 [A]. Además, en la misma faja se incluye un conector AMP 4 en el cableado de los finales de carrera. Esto sirve en el caso de que la dirección, por fallos de encoder, haya acabado en un lateral, y active el final de carrera. En ese caso, se puede desconectar en ese punto y conectar un adaptador que simule unos finales de carrera desconectados y se pueda llevar de nuevo a la dirección al margen correcto, mediante el cortocircuito de los pines en circuito cerrado.



Figura 6.11 Conector de potencia y portafusibles

6.3.2 Interfaz de los subsistemas de Dirección: Control-Potencia

Tras montar los componentes en las placas y la etapa de pruebas paralela, se descubrió el problema de los niveles de tensión y se diseñó la interfaz que subiría las señales de nivel TTL a

CMOS. Para conectarlo, en la etapa de diseño de la placa y el conector se realizó de tal manera que el cableado fuera el mínimo posible, incluyendo uno de ellos en la misma placa.

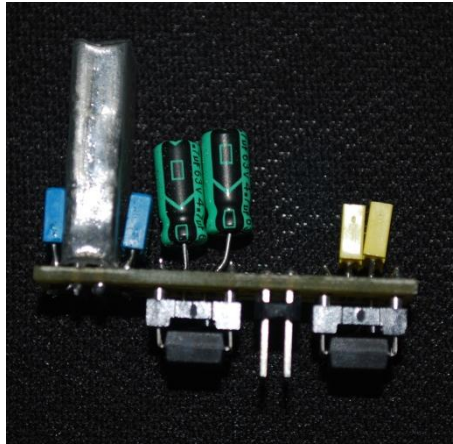


Figura 6.12 montaje de la Interfaz control-potencia

6.3.3 Paneles frontales de interfaz humana

Tal como se vio en el apartado 4.2.32 Interfaz humana, fue necesario desarrollar un panel para colocar la interfaz humana, incluyendo así el control de la seta inalámbrica, proyecto posterior al desarrollo original del iCab1 y anterior al iCab2.

Se buscó un lugar con capacidad suficiente en el salpicadero, y se aprovechó un hueco de serie del vehículo para emplazar los interruptores deseados. Se cableó a través de tubo corrugado, y se utilizó para ocultar el circuito de alimentación de la seta de emergencia y seta de emergencia inalámbrica. El resultado puede verse en el anexo J.

El cableado quedó oculto tras la superficie plástica, y el regulador de tensión diseñado para la seta inalámbrica se incluyó en el hueco junto con el resto de sus controles, tal y como puede verse en las siguientes imágenes:

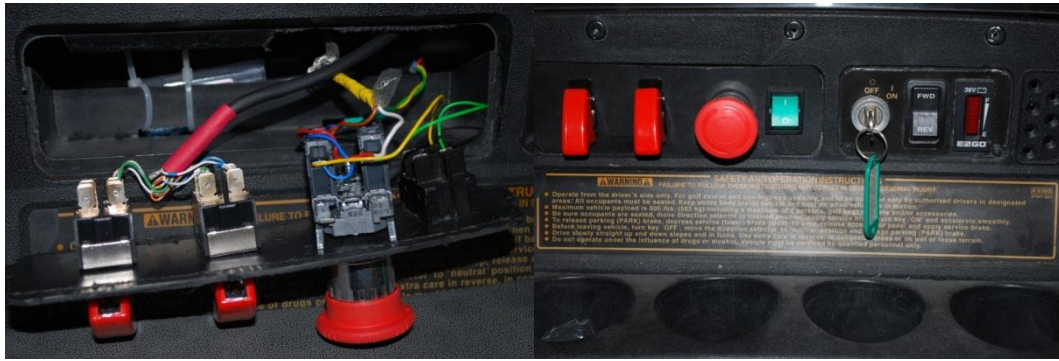


Figura 6.13 vista general y cableado tras el frontal

El resultado final fue tan satisfactorio, en cuanto a comodidad y poca intrusión¹⁶, que tras su uso fue incluido también en el iCab1.

¹⁶ Es totalmente compatible con el iCab1, ya que usa los mismos conectores y zona de colocación, y puede ser intercambiado entre unidades.

Capítulo 7:

Software.

7 Software

El software desarrollado para este proyecto **parte de la base de trabajos dirigidos** anteriores, que puede seguirse en la bibliografía: Título: ***Sistema de dirección del vehículo auto tripulado iCab1***, que a su vez están basados en el trabajo de Juan Manuel Hidalgo y Pedro Portaláin, documentado en la bibliografía como Título: ***iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Mecánica y software***, donde puede consultarse la mayor parte de la configuración del microcontrolador a bajo nivel, ya que se mantuvo el mismo microcontrolador y por tanto, mucho de las librerías, por compatibilidad y sencillez a la hora de obtener recambios.

Como **entorno de desarrollo** se utilizó el MPLAB IDE de microchip en su versión 8.x (se empezó con la 8.1 y se ha terminado con la 8.5), la **herramienta de programación** fue el MPLAB ICD2 de microchip y el **lenguaje** utilizado fue C, junto con llamadas de bajo nivel en ensamblador, mediante el uso del **compilador** para C MCC18 en su versión 3.20. Dado que el patillaje del iCab2 es retrocompatible con el del iCab1, un firmware¹⁷ del iCab1 funcionará en el iCab2 pero no hará uso pleno de sus características.

Este firmware debe ser capaz de **controlar** una serie de problemas y **errores** de lectura, guardar y cargar **variables de la memoria EEPROM** interna y **comunicarse** mediante dos

¹⁷ Firmware: software o código ensamblado para un microcontrolador que debe gestionar y regular el trabajo de éste. En nuestro caso el fin último es la regulación del motor, y principalmente bajo dos condiciones: que el coche esté es modo manual, o que esté en estado automático.

sistemas, el puerto serie RS232 hacia el ordenador, y un protocolo de bajo nivel (mediante modulación de ancho de pulso o PWM) con el que se comunica con el Joystick.

Finalmente, debe realizar una serie de **lecturas y escrituras** en pines, para leer el estado del vehículo, controlando tanto los ventiladores como la interfaz humana.

Como punto no elaborado ni cubierto por este proyecto, la placa tiene una característica no explotada pero que está implementada a nivel hardware, que es el control del freno, que deberá ser realizado en proyectos posteriores.

7.1 Esquema de funcionamiento

Existen en las librerías dos tipos de éstas, las librerías “cfg_”, que se refieren a librerías de configuración del microcontrolador, y las librerías propias, sin prefijo, que se dedican al uso corriente con funciones que hacen uso de las anteriores librerías de configuración. Cuando se usa el indicador “_d” se refiere a que esta librería nació con compatibilidad para la tracción (que usan el indicador “_t”), pero que ha sido modificada para la dirección. Ejemplos de esta nomenclatura son “cfg_micro_d.c”, o “estructuras.h”. Se ha intentado guardar toda definición de funciones, definiciones en sí, y estructuras, en los archivos .h, mientras que se ha guardado las funciones en los archivos .c.

La programación del código ha sido realizada conforme a las líneas que se enseñan en asignaturas de últimos años de la especialidad de electrónica, siendo el código muy directo, hace uso de muchas ejecuciones eficientes, y por motivos de rendimiento y eficiencia se buscan temporizaciones extremadamente precisas, como el hecho de realizar una función por milisegundo en la interrupción de alta prioridad. No obstante, dado que se usan comandos a muy bajo nivel sin muchas capas de programación, el código es fácilmente depurable y rápido en su ejecución, una labor crítica en este tipo de aplicación.

El firmware funciona en un bucle infinito desde que se arranca el vehículo y gestiona el arranque del software.

Durante el arranque existe una secuencia crítica, que debe ser mencionada. Por compatibilidad con la versión anterior, no se modificó el pinout, pero existe un problema con el arranque debido a cómo se inicia el microcontrolador, la salida que dan los pines y la señal

incontrolada que llega a la potencia, que hace que el motor se accione sin motivo. Esto fuerza a tener que arrancar el vehículo con la llave desactivada y que hasta que se halló la fuente produjo muchos problemas. Para reducir de alguna manera este problema, se introdujo un delay (retardo) al arranque que hace que los condensadores carguen mientras el microcontrolador está aún arrancando, pero que evita una parte del problema y no lo subsana totalmente. Una vez terminada la configuración del micro, se activan las interrupciones y se inicia el bucle de trabajo.

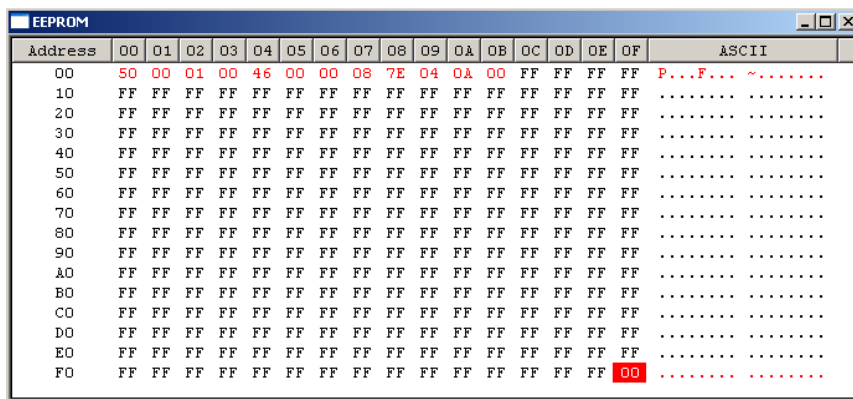
```
void IniciaSistema(void)
{
    ConfiguraMicro();
    VENT_ON();
    mDeshabilitaInt;
    mDireccionOk;
    PWMPuente(0);
    Delay(200);
    Delay(200);
    Delay(200);
    UsartIniciaComunicaciones();
    IniciaRom();
    IniciaVariables();
    IniciaFallo();
    mDireccionOk;
    mHabilitaInt;
}
```

Figura 9.1 arranque del sistema

A partir de este momento el microcontrolador funciona como una máquina de estados en la que se temporiza todo mediante el uso de las interrupciones. Para esto, existen dos tipos, las interrupciones de alto nivel, y las interrupciones de bajo nivel. Las comunicaciones fueron definidas en un proyecto anterior como de bajo nivel, por lo que el puerto serie necesita de ser comprobado con el checksum siempre. En la interrupción de alto nivel se incluyen labores de temporización críticas, como el regulador PID, la lectura de entradas PWM o el control de errores. Para diferenciar entre ellos se usan varios TIMERS, siendo sus tiempos base de 10,176 [ms] para el timer 1 y la lectura completa del joystick funcionando entre 1,6384 [ms] y 3,2640 [ms]. Esta temporización tan precisa, y la necesidad de realizar sin falta cálculos en determinados intervalos de tiempo, hizo que se decidiera dividir en intervalos de 10 [ms] aproximadamente, pudiendo así hacer 10 intervalos de cerca de 1 [ms], en los cuales se pueden realizar labores completas, como es guardar las entradas (pines, stack de los puertos de comunicación) de manera regular, decidir la gestión del motor, el estado de trabajo, el

control de errores, y sobre todo las lecturas de encoder, que supusieron un problema al recibir gran cantidad de ruido y falsos valores .

Sin entrar más a fondo a comentar el código, si se valora necesario comentar los comandos existentes en el iCab2 que pueden ser utilizados a través del puerto de comunicaciones. La lista completa se adjunta en el anexo H. Cabe destacar que los comandos de ROM deben ser usados con cautela, pudiendo llegar a desestabilizar el uso de la dirección por su baja velocidad de proceso. Se muestra en la siguiente imagen la cantidad de EEPROM usada, siendo el valor en 0xFF y marcado en rojo la dirección del primer valor válido en la EEPROM, cambiando éste durante su vida útil si se descubre que la EEPROM tiene fallos, siendo así un método dinámico y autoregenerador de valores.



| Address | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 0A | 0B | 0C | 0D | 0E | 0F | ASCII |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|
| 00 | 50 | 00 | 01 | 00 | 46 | 00 | 00 | 08 | 7E | 04 | 0A | 00 | FF | FF | FF | FF | P...F...~..... |
| 10 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| 20 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| 30 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| 40 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| 50 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| 60 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| 70 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| 80 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| 90 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| A0 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| B0 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| C0 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| D0 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| E0 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | ..... |
| F0 | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | FF | 00 | ..... |

Figura 9.2 Memoria EEPROM usada hasta el momento

Por otro lado, al ser el microcontrolador de arquitectura Harvard, guarda un espacio de memoria distinto para datos y para programa, a diferencia de una arquitectura Von Neumann, en la que la memoria es compartida por datos y programa. La cantidad de memoria usada por el programa es de 10 [kb], siendo un 64,89 [%] de la cantidad total. Se reserva también espacio de datos, habiendo sido usado 433 [b], un 21,44 [%] de la memoria de datos total. Nótese que la cantidad total de memoria para datos y programa puede ser balanceado mediante la modificación del archivo p18f4550.lkr.

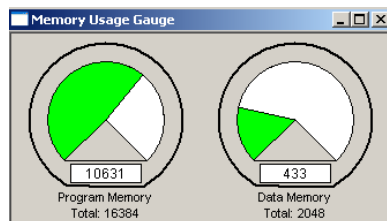


Figura 9.3 Memoria de programa y de datos usada hasta el momento

Capítulo 8:

Medidas experimentales.

8 Medidas experimentales

8.1 Pruebas en el módulo de control

El **procedimiento** fue el siguiente para las 3 placas producidas:

- **Se comprobó la alimentación** de todas las zonas: 36 [V], 12 [V] y 5[V], estando únicamente montados los componentes que la generaban.

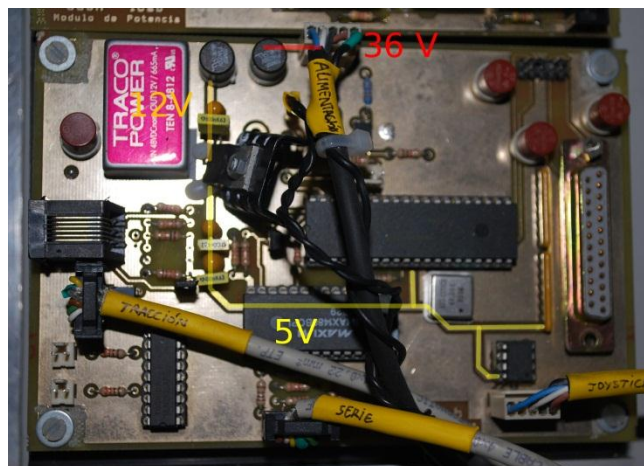


Figura 7.1 Puntos de control de tensión de fácil acceso

- **Se comprobó que se genera la señal de reloj de 40 [MHz]** por medio del osciloscopio.
- **Se comprobó que, tras montar todos los integrados, los fusibles siguen funcionando** y por tanto no hay falsos contactos ni cortocircuitos en la placa.

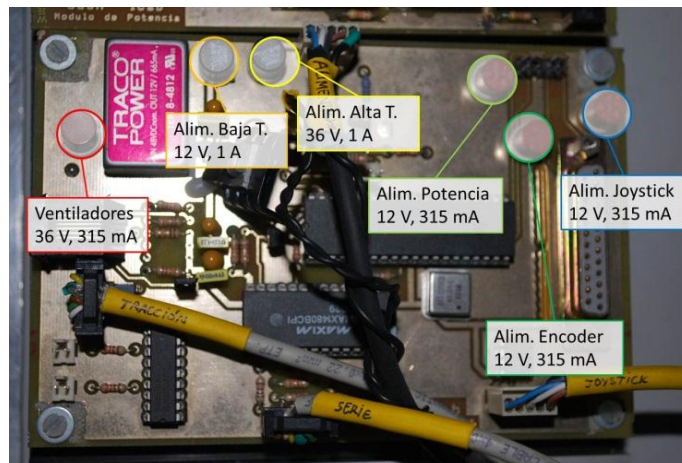


Figura 7.1 Fusibles, valores, utilidad y posición

- **Se montó el microcontrolador** y se **detectó** a través del dispositivo de programación/depuración **ICD2**, **programándolo con el firmware del iCab2**.
- Comprobado el funcionamiento del micro **se conectó el circuito** que gestiona las **comunicaciones** y se intentó **establecer comunicación a través del puerto serie**. **Se obtuvo respuesta del micro** pudiendo comprobar todas las funciones que estaban implementadas. Inicialmente, se leen los errores de falta de joystick, unidad de tracción y encoder, sistemas que se prueban a posteriori.
- **Se comprobó el funcionamiento del joystick**, conectándolo y leyendo los valores por el puerto serie (ver Figura 4.15 Placa de control y sus conectores).
- **Se comprobó el funcionamiento del encoder**, ya que en la anterior versión (iCab1) el encoder daba constantes problemas de paridad (señal PARITY) y de habilitación de las señales (STROBE) (ver Figura 4.15 Placa de control y sus conectores). Tras una serie de pruebas y la revisión por parte del servicio técnico del fabricante, se decidió no utilizar la señal de PARITY como medida de seguridad para poder usar el encoder que ya está montado.
- **Se comprobó el funcionamiento de los LEDs de estado y los ventiladores**, conectando el cable del frontal a los distintos conectores y alimentando desde una fuente externa.

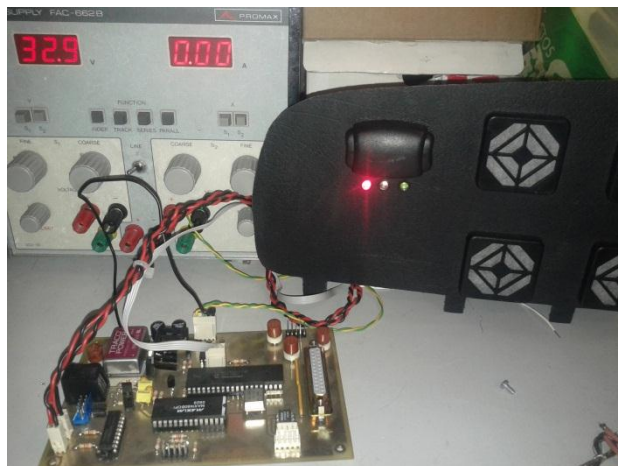


Figura 7.1 Pruebas con el frontal. LEDs y ventiladores

Esta placa está más sujeta a pruebas de software que a pruebas de hardware, por sus bajas tensiones, y por su carácter integrador. Por tanto, la programación, en el apartado 7 Software, tiene una mayor importancia al tener que agrupar todas las funciones de la placa con los otros módulos del iCab.

Tras todas estas pruebas se da por comprobado el **funcionamiento correcto del módulo de control**.

8.2 Pruebas en el módulo de interfaz control-potencia

Para probar la interfaz control-potencia hicieron falta los siguientes dispositivos:

- **Una señal PWM** que se genera en el generador de funciones entre 0 y 5 [V] a la frecuencia de 100 [KHz] menor a la generada por el microcontrolador por limitaciones del generador de funciones, pero dentro del rango de trabajo de los componentes. Los valores de ciclo de trabajo están comprendidos entre el 20 [%] y el 50 [%], que es la zona más frecuente de utilización. Esta señal es controlada con un interruptor.
- **Fuente de alimentación** que entrega 12 [V].
- **El osciloscopio:** se ha utilizado para ver las señales del generador de funciones y la salida de la interfaz.

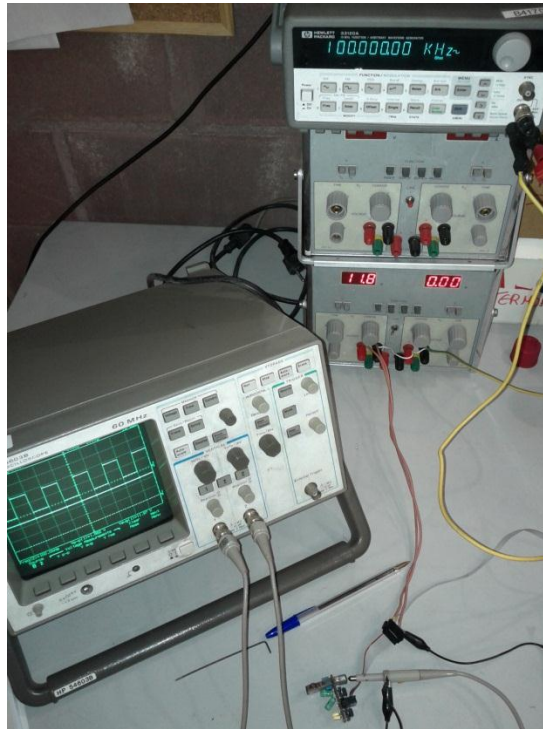


Figura 8.1 Montaje para las pruebas de la interfaz control-potencia

Tras el montaje se comprobó la alimentación y correcta conexión de los componentes, como puede verse en la imagen siguiente, en la parte superior en el canal 2 la señal de entrada de 100 [KHz], 5 [V_{pp}] y 50% de trabajo, y en la parte inferior la alimentación de 12 [V]:

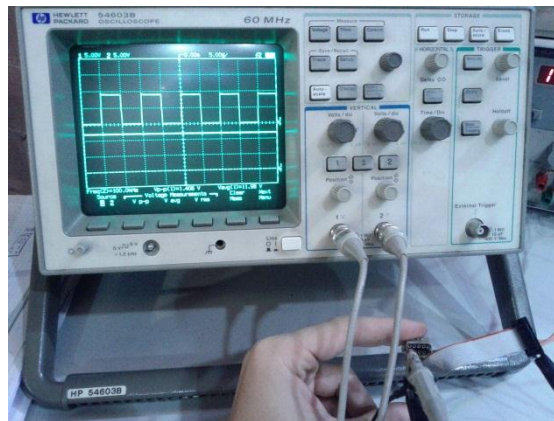


Figura 8.2 Comprobación de las entradas de la interfaz control-potencia

Se pasó a comprobar, por tanto, la salida de las señales PWMDIR y DPUENTE. En la parte superior la señal de entrada de 100 [KHz], 5 [V_{pp}] y 50% de trabajo, en la parte superior la salida con la misma frecuencia y ciclo de trabajo, pero 12 [V_{pp}]. La escala de esta señal es 10 [V/división]:

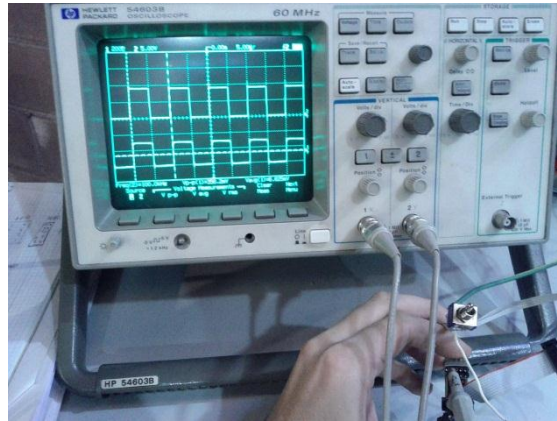


Figura 8.3 Comprobación de las salidas PWMDIR y DPUENTE de la interfaz control-potencia

Por último, se comprueban las señales FCSUP y FCINF, que deben pasar inalteradas. Para esta prueba se modifica la entrada a 100 [KHz], 5 [V_{pp}] y 20% de trabajo:

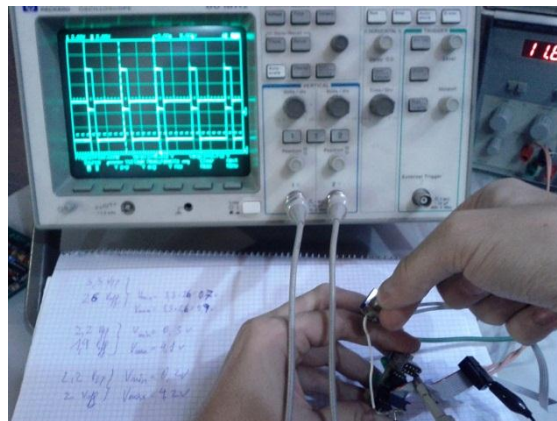


Figura 8.4 Comprobación de las salidas FCSUP y FCINF de la interfaz control-potencia

Puede verse, como conclusión, que la señal de salida, de valor 12 [V_{pp}], entra dentro del margen aceptable de señal CMOS en el que trabaja el módulo de potencia de entre 8 [V] y 12 [V].

Tras todas estas pruebas se da por comprobado el **funcionamiento correcto del módulo interfaz control-potencia**.

8.3 Pruebas en el módulo de potencia

Para simular algunas señales se reutilizó **un simulador de señales**, ya utilizado en proyectos anteriores, para simular los finales de carrera para el módulo de potencia. El desarrollo paso por paso está descrito en la bibliografía: Título: **Rediseño de la unidad de dirección para el iCab2**.



Figura 8.5 Simulador Módulo de Potencia

La **fase de pruebas** se realizó con los siguientes **dispositivos**:

- **Unidad de dirección:** se presenta la unidad completa montada sobre el disipador. Esta supe la señal de PWMDIR, DPUENTE, 12 [V] y tierra.
- **Baterías del vehículo:** entregan **36 [V]** con suficiente corriente al sistema en la fase de pruebas.
- **Adaptador de niveles:** Es el dispositivo encargado de elevar las señales PWMDIR y DPUENTE de niveles TTL a CMOS
- **Simulador de señales,** para simular los finales de carrera.
- **El osciloscopio:** se ha utilizado para ver las señales que se salen de la interfaz control-potencia y las salidas de la lógica de control de la placa de potencia y posteriormente del driver.

Se comprobó por partes el **funcionamiento del sistema**:



- Con los circuitos integrados fuera se comprobó la **alimentación de la placa** y se observó que llegaban los 12 [V] del diseño.
- **Se introdujo la lógica de control y se simularon todas las posibilidades de entradas** para ver que funcionase dentro del rango de trabajo.
- **Se introdujo el driver de control y se midió la excitación de los mosfets.**

Las medidas tomadas se pueden ver a continuación con la simulación de las señales para el estado de reposo, generando movimiento en sentido horario y para el movimiento en sentido antihorario.

8.3.1 Estado de reposo del puente

El estado de reposo del puente se produce si:

- No hay señal PWM en PWMDIR.
- Están los dos finales de carrera pisados.
- El sentido de giro es antihorario y esta pisado el FCINF.
- El sentido de giro es horario y esta pisado el FCSUP.

En cualquiera de estos casos obtenemos las siguientes excitaciones en los transistores y ninguna salida entre los terminales de salida MPOS y MNEG.

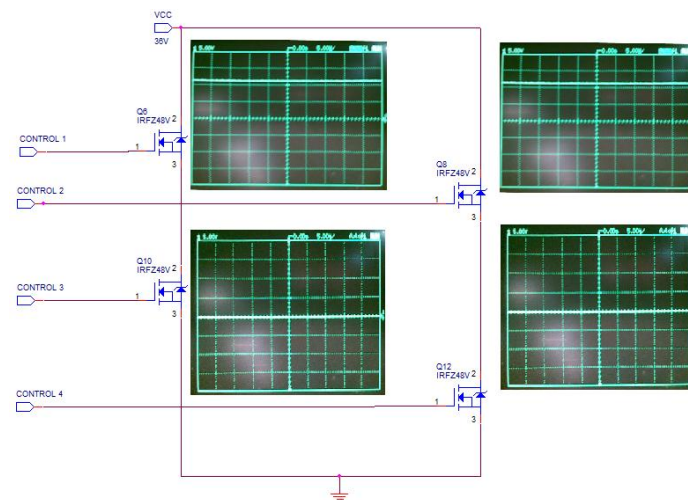


Figura 8.6 Fase de pruebas. Puente en H en reposo

1. Estado de movimiento en sentido horario

Este movimiento se produce cuando:

- DPUENTE está a "1".
- PWMDIR está generando una señal PWM.
- No está pisado FCSUP.

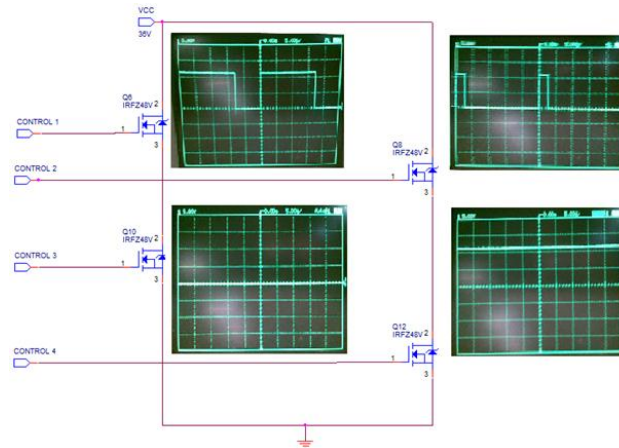


Figura 8.7 Fase de pruebas. Punte en H en movimiento horario

Para comprobar el funcionamiento del puente se le aplicó 36 [V] de alimentación al puente (entre MPOS y MNEG) y se introdujo **una resistencia de 1 [KΩ]**, comprobando entre sus patas la excitación que le llegaba con un ciclo de trabajo variable de PWMDIR. En la figura siguiente el ciclo de trabajo introducido es del 80 %.



Figura 8.8 Sentido horario Ciclo de trabajo del 20 %

Se observa un gran rizado en la señal, este es debido a que la resistencia que se seleccionó es muy grande en comparación a la del funcionamiento normal (del orden de unos pocos Ω), sin embargo se seleccionó esta para disminuir notablemente la corriente que la fuente necesitaba introducir a la carga.

8.3.2 Estado de movimiento en sentido antihorario

Este movimiento **se produce cuando**:

- **DPUENTE** está a **“0”**.
- **PWMDIR** está **generando una señal PWM**.
- **No está pisado FCINF**.

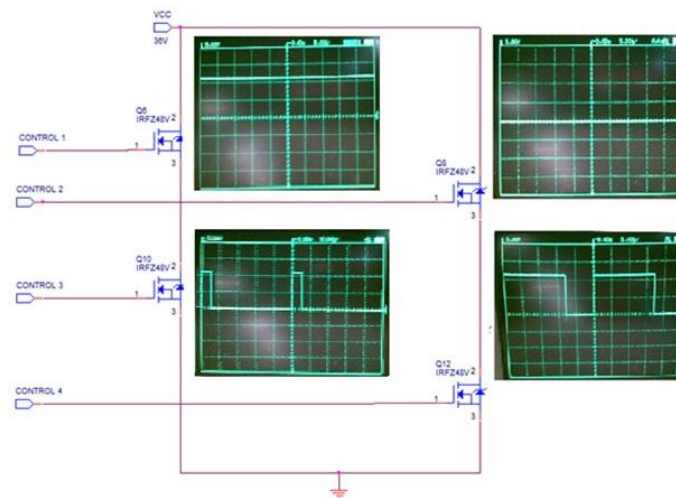


Figura 8.9 Fase de pruebas. Movimiento del puente en sentido antihorario

Para este sentido de giro se obtuvieron las mismas medidas sobre la resistencia cambiando la referencia de positivo por la de negativo.

Las pruebas con el motor no se consideraron necesarias porque los requerimientos de corriente para el motor con un ciclo de trabajo del 20 % (que es el mínimo que el generador de funciones podía ofrecer) estaban muy por debajo del límite para una fuente de alimentación en paralelo. En segundo lugar, en el momento del desarrollo de este proyecto, los solenoides que deben activar la alimentación de la dirección y que están controlados por el módulo de tracción no estaban operativos. Por último, las inercias mecánicas que tiene el sistema se vieron mucho mayores que las inercias eléctricas del sistema, con lo que la respuesta global va a venir dada por el sistema con más inercia, esto es, la lenta respuesta de la mecánica.

Tras todas estas pruebas se da por comprobado el **funcionamiento correcto del módulo de potencia**.

Capítulo 9:

Conclusiones.

9 Conclusiones

Este proyecto ha supuesto simplemente la continuación del diseño y montaje de la flota de investigación iCab para el departamento de sistemas de visión. Personalmente, no obstante, ha sido la finalización de una etapa de 3 años de trabajo en un campo, los sistemas embarcados, que ha generado muchas inquietudes y ganas de investigar mucho más en mi persona. La realización de este proyecto, y el resultado de montaje tan satisfactorio en los resultados pese a sus errores, es una prueba que ha enseñado a la persona que escribe mucho en el campo práctico que gran cantidad de asignaturas a lo largo de la carrera no han llegado más que a vislumbrar.

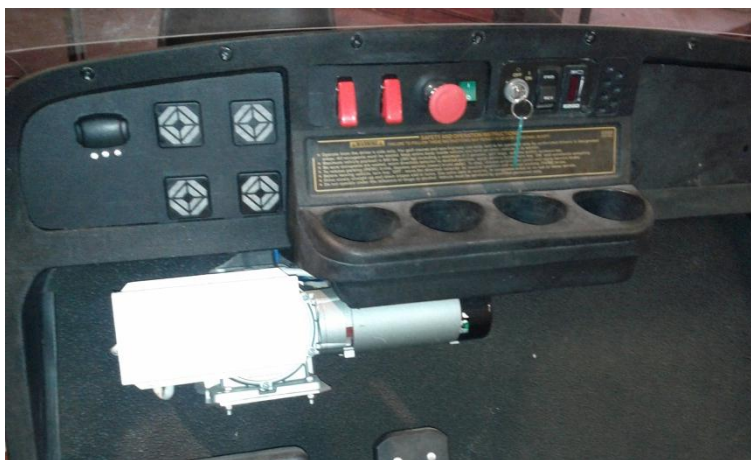


Figura 9.1 Resultado de la integración de la dirección en el iCab2

Por otro lado, no sólo el proyecto ha supuesto una ampliación de los conocimientos que se han visto en la carrera y con el que se ha presentado la posibilidad de enfrentarse a un problema real, con las peculiaridades y características que esto conlleva. Se han ampliado, y reforzado con su uso una serie de conocimientos que han logrado cumplir los siguientes objetivos:

- Lectura y comprensión de diagramas de circuitos e interconexión de sistemas eléctricos y electrónicos.
- Conocimientos en la rama de **electrónica** y el **control**, así como en la **automatización** de sistemas y **programación** en tiempo real.
- Uso de entornos de programación y diseño que pueden estar incluidos en una herramienta CAM más completa:
 - Conocimiento de **Orcad Capture**, para el desarrollo de los diseños esquemáticos, de las conexiones, así como de la creación de informes y la lista de materiales.
 - Conocimiento de **Orcad Layout**, para el desarrollo de las placas de circuito impreso, así como la comprensión de las principales reglas que se deben tener en cuenta para su diseño.
 - Conocimiento de **MPLab** y de la herramienta de programación y depuración **ICD2**.
 - Conocimiento de **Solid Edge** para el modelado del sistema en 3D, consiguiendo así su integración.
- Estimación, **búsqueda y compra** de componentes a través de empresas dedicadas a la venta a empresas y organizaciones. Gestión del trabajo a través de una organización como es la Universidad Carlos III de Madrid.
- **Montaje de electrónica** e interconexión de sistemas.
- **Búsqueda, comprobación y superación de problemas** y errores, común en el trabajo con prototipos de hardware electrónico y mecánico.

9.1 Trabajos futuros

La plataforma iCab2 da un paso más para su finalización con este proyecto fin de carrera. Llega el momento de subir un nivel de abstracción y permitir que el grupo de investigación LSI

desarrolle la plataforma con sistemas de comunicaciones entre plataformas del tipo V2V y V2I, navegación autónoma por GPS y sistemas de visión que conviertan a esta plataforma en un SIT.

Para la evolución de la plataforma iCab es necesario que se realicen nuevos PFC's y trabajos dirigidos en diferentes campos. Tras todo el trabajo desarrollado y con toda la experiencia recogida a través de estos años, se han ido viendo una serie de pautas para trabajar, los pros y contras de muchas de las soluciones elegidas. Por ello, en este proyecto se ha llegado a dos conclusiones posibles para la continuación de la plataforma iCab:

1. *La continuación del proyecto en la línea ya desarrollada.*

Para ello, se debe realizar un rediseño de la unidad de dirección y en la unidad de tracción, una nueva iteración para introducirle las mejoras y corrección de errores ya observados, algunos ya incorporadas en el diseño del iCab2 con respecto a la primera plataforma iCab1.

Ejemplos de este punto son:

- La implementación en la placa de control de la interfaz control-potencia
- Rediseño del circuito de programación, integrando la solución ya tomada en el apartado de montaje de este proyecto.
- La optimización de la solución tomada para el control de los ventiladores, pudiendo ser ampliada hacia el control de más ventiladores a partir del uso de un microcontrolador esclavo controlado a través de protocolo ISP.
- La mejora de diseño de la placa de control, revisando las radiaciones electromagnéticas, y estudiando su posible regulación para legalizar el uso del vehículo en la vía pública.
- La optimización del firmware, junto con el estudio de la planta de la dirección y su regulación
- Estudio y estandarización de cableados, usando una faja de cables en vez de varias pequeñas.

Otras opciones de mejora incluyen:

- La integración de una mayor memoria EEPROM, mediante el uso de un microcontrolador esclavo a través de puerto ISP.



- La implementación de un microcontrolador con más pines GPIO ¹⁸ para sensor los finales de carrera.
- El uso de un encoder más fiable.
- El uso del USB integrado en el microcontrolador para desechar el puerto serie, a costa de implementar más seguridad de niveles de tensión en la placa.

Como continuación de este proyecto para el uso de la plataforma iCab2:

- Se debe desarrollar la unidad de tracción hasta un nivel operativo, revisando el funcionamiento de la nueva placa y del encoder, que producen el giro de las ruedas tractoras de la plataforma.
- Se deberá llevar a cabo la integración del control electrónico del freno, ya que por el momento no existe ningún dispositivo electromecánico que sea capaz de controlar el frenado del vehículo por una señal controlable electrónicamente.
- Se deberá revisar el sistema de alimentación, ya que las baterías del iCab2 han dado una serie de problemas de carga que hace pensar que están cerca del final de su ciclo de vida.
- Se debe reestudiar el problema del encoder, de un elevado precio y que produce muchos errores para el sistema que se está utilizando.

2. Desarrollo de una plataforma más dirigida a la investigación en grupo.

Debido a la dificultad de manejar un proyecto tan complejo, se hace necesaria la figura de un jefe de proyecto, alguien decidido a manejar y conocer por completo los complejos sistemas necesarios para el funcionamiento de la plataforma iCab a nivel hardware.

Por ello, y para eludir este problema, se puede desarrollar una nueva solución de manera que mucha gente pueda trabajar simultáneamente en los vehículos, con unidades más sencillas, menos complejas, con un diseño más modular.

El concepto fluye con algunas ideas en mente que han sido desarrolladas en las asignaturas dedicadas a la electrónica analógica, digital, de potencia y de control, a saber:

¹⁸ GPIO: General Purpose Input Output. Es un modelo de trabajo para los pines de los microcontroladores que permite el uso para distintos fines de un pin. Éste puede ser controlado por software por lo que en cada ciclo de reloj posterior a un cambio, el pin puede convertirse en un pin de entrada, salida, reloj, u otros.



- Las fuentes de ruido deben ser aisladas. Para un mejor aislamiento, se deben solo compartir líneas de alimentación filtradas y líneas de comunicación.
- Los niveles de comunicación deben ir acordes a los niveles de ruido. En zonas de mayor ruido, hacen falta señales de comunicación más robustas.
- Existen aplicaciones muy dependientes del tiempo que tienen que ser revisadas. Las comunicaciones tienen que cubrir una posible variabilidad temporal.
- Se deben utilizar conectores apropiados y de un uso más estandarizado por facilidad de obtención de repuestos, seguridad, y fiabilidad.

Por otro lado,

- Cada módulo debe ser capaz de llevar a cabo su tarea independientemente, todas sus entradas y salidas deben ser a través del puerto de comunicaciones. Nace la necesidad de estandarizar las comunicaciones.
- Cada módulo tiene que ser fácil de diseñar y partir de una base ya realizada, esto es:
 - o A nivel de hardware con una placa PCB que tenga todos los componentes básicos en el estado de diseño OrCAD y que por tanto pueda ser modificada.
 - o A nivel software un código que cubra las necesidades básicas de la placa prediseñada en OrCAD, con ejemplos y plantillas de comandos de comunicaciones.
- Cada módulo tiene que tener un fin lógico, es decir, un sensado o un actuado que otro circuito no pueda hacer sin aumentar de gran manera la complejidad de éste, o sin incluir graves problemas de ruidos en el otro circuito entre los dos sistemas a controlar.
- Deben usarse todas las posibilidades que aporte el microcontrolador en su circuitería. Es decir, si el microcontrolador lleva un timer integrado para USART, debe usarse ese en vez de uno genérico, como se bien realizando hasta ahora. Del mismo modo, para algunas aplicaciones, como por ejemplo el encoder, puede usarse un pin como fuente de interrupción que controle la señal STROBE y ejecute una lectura correcta mientras sea bueno el dato, en vez de bloquear al micro en un bucle de lectura, pudiendo estar en ese tiempo realizando otros cálculos de mayor importancia, como se viene realizando .

Estas premisas pueden ser desarrolladas y cubiertas como se indica a continuación:

A. Dentro de cada módulo.

En el apartado de hardware se debe diseñar una placa que disponga de la mayor parte de los módulos necesarios, y una serie de conectores donde el desarrollador pueda conectar sus entradas o salidas sin tener que rediseñar de manera importante la placa. Se muestra un ejemplo de diseño en la siguiente figura (más detalle en el anexo F):

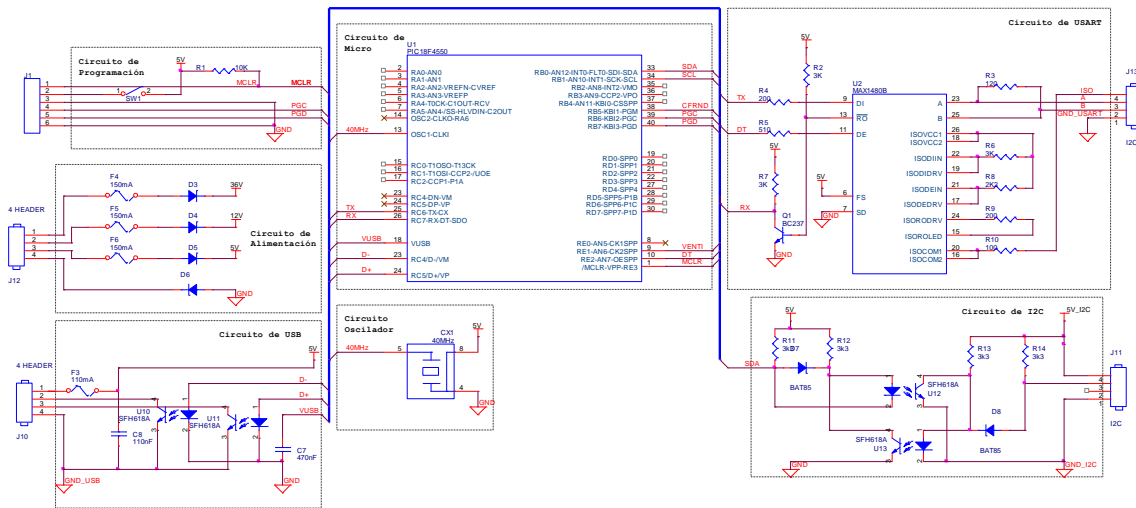


Figura 9.2 Diseño OrCAD Capture de una placa por defecto

Esta placa incluye:

- El microcontrolador, con un reloj y un circuito de alimentación con aislamiento de alta frecuencia, que puede ser realizado por ejemplo mediante un diodo de potencia que sature a frecuencias medias.
- Los circuitos de comunicación para ICP¹⁹, USART, USB e I2C²⁰, aislados mediante optoacopladores.
- Una serie de pines guiados a conectores.

El diseñador que realice cada montaje solo deberá fabricar la placa prediseñada, y montar los componentes que necesite. De esta manera, el código que se escriba le servirá de base.

¹⁹ ICP: In Circuit Programming, o programación en el circuito, es una tecnología que permite programar un microcontrolador sin tener que sacarlo e insertarlo en un programador externo.

²⁰ Inter-IC: protocolo de comunicación a bajo nivel de bajos requerimientos y alta ganancia de señal sobre ruido usado desde los años 80 y que ha seguido siendo desarrollado por Phillips. Alcanza unas velocidades de hasta 3.4Mbps y permite regulación de tensión de señal y ser optoacoplado.



En cuanto al software, un firmware modular que haga uso del mínimo de recursos posible, pero que sea capaz de dar funcionalidad a todos los circuitos propuestos, junto con todas las librerías necesarias para usar las comunicaciones en el protocolo estandarizado. Esto incluye:

- **Main.c** con las definiciones, declaraciones, interrupciones de alta prioridad y baja prioridad.
- **Cfg_micro.c** con la correcta configuración del microcontrolador para su uso básico, con cada punto usado explicado y los recursos no utilizados también nombrados.
- **Usb.c** un stack de comunicaciones usb en caso de usarse.
- **Usart.c** un stack de comunicaciones serie en caso de usarse.
- **ISP.c** un stack de comunicaciones ISP en caso de usarse.

De esta manera un desarrollador puede integrar un nuevo sensor o actuador a la cadena de trabajo sin más que fabricar su tarjeta, programarla, y probarla. Más tarde deberá un desarrollador dedicado, a programar las comunicaciones de otros sistemas, para utilizar la información de este nuevo sensor o actuador.

B. Fuera de cada módulo.

En el sistema global se deberá formar una red de comunicaciones y alimentaciones que vincule todos los módulos y los haga trabajar en conjunto. Para ello:

Para la **alimentación** puede usarse un regulador de alimentación con aislamiento galvánico que puede ser diseñado en el departamento, o un modelo comercial, que alimente a partir de los 36 [V] de las baterías, y realice una reducción de tensión a 5[V], 12 [V], dando un amperaje por línea suficiente para cada actuador. En caso de necesitar más potencia, podrían usarse varios conectores para un mismo sistema.

En esta sentido, son de aplicación preferente los reguladores de tensión DC-DC de tipo forward²¹, ya que aíslan galvánicamente la alimentación de la carga de los ruidos de la batería, y permiten una regulación a tensiones inferiores a la de entrada, que es el caso de interés.

²¹ Tal y como se describe en la bibliografía E.2.

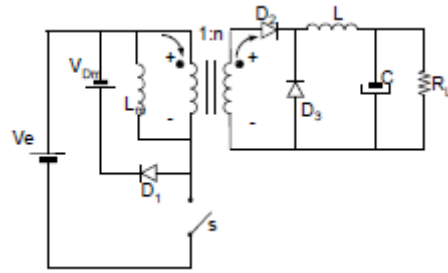


Figura 9.3 Diseño de una fuente de alimentación forward ejemplo

En las **comunicaciones**, siguiendo los prefectos de regulaciones de señal a ruido existente, se pueden realizar 3 zonas de comunicación, pudiendo observarse un ejemplo en la siguiente figura:

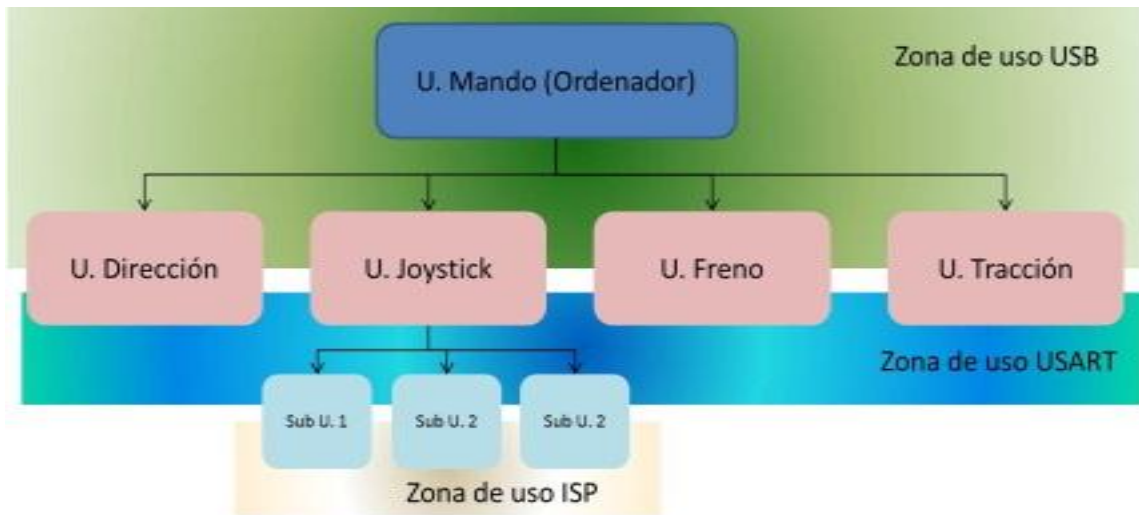


Figura 9.4 Diseño ejemplo de la red de comunicaciones

Bibliografía.

Bibliografía

Se van a dividir los recursos bibliográficos de acuerdo a la procedencia y al formato:

A. Libros

1. Título: ***Algoritmo para el calculo del ancho de pista de una placa de circuito impreso***
Autor: Alexandre, Francisco Javier
Editorial: IEE
Año: 2003
2. Título: ***Circuitos microelectrónicos.***
Autor: Sedra/Smith
Editorial: Oxford University Press
Año: 1997

B. Libros en formato PDF

1. Título: ***Complete PCB design using Orcad Capture and Layout***
Autor: Mitzner, Kraig
Editorial: Newnes.
Año: 2003
2. Título: ***Algoritmo para el calculo del ancho de pista de una placa de circuito impreso***
Autor: Alexandre, Francisco Javier
Editorial: IEE.
Año: 2003
3. Título: ***Introducción a la programación en C***
Autor: Peña Basurto, Marco A.
Editorial: UPC.

- Año: 2000.
4. Título: ***Diseño de circuitos impresos con Orcad Capture y Layout V 9.2***
Autor: Recasens Bellver, Maria Auxiliador.
Editorial: Thomsom.
Año: 2002
 5. Título: ***Starting Electronics Construction***
Autor: Brindley, Keiith
Editorial: Newnes
Año: 2005
 6. Título: ***Ezgo. Service Parts Manual. Tehcnicians repair and service manual***
Autor: Ezgo
Año: 2002
 7. Título: ***Curso basico de MPLSB microcontroladores PIC***
Autor: Savall, David
Año: 2005
 8. Título: ***Fundamental of Heat and Mass Transfer. Solution manual***
Autor: Incropera
Año: 2005
 9. Título: ***Introduction to heat transfer***
Editorial: JOHN WILEY & SONS
Año: 2002
 10. Título: ***Microchip. Mplab c18 getting started***
Compañía: Microchip.
Año: 2004
 11. Título: ***Mplab user's guide***
Compañía: Microchip.
Año: 2004
 12. Título: ***PIC18F2455/2550/4455/4550***
Compañía: Microchip.
Año: 2004

C. Recursos de internet

1. Descripción: ***Guías extensibles de la compañía Chambrelan.***
Título: **Chambrelan**
URL: <http://www.chambrelan.com/es/pages/interface/accueil.php4>
2. Descripción: ***Calculador del ancho de pista para una pcb.***
Título: **Circuit calculator**
URL: <http://circuitcalculator.com/wordpress/2006/01/31/pcb-trace-width-calculator/>
3. Descripción: ***Ayuda para el calculo de las resistencias termicas.***
Título: **Heat sink temperature calculator.**
URL: <http://www.daycounter.com/Calculators/Heat-Sink-Temperature-Calculator.phtml>
4. Descripción: ***Suministrador de componentes electronicos.***
Compañía: **Farnell**
URL: <http://es.farnell.com/>
5. Descripción: ***Suministrador de componentes electronicos.***
Compañía: **RS**
URL: es.rs-online.com
6. Descripción: ***Catalogo de disipadores.***
Compañía: **Seradhe**
URL: <http://www.seradhe.com/>
7. Descripción: ***Conectores de potencia***
Compañía: **Tycoelectronics.**
URL: [http://www.tycoelectronics.com/.](http://www.tycoelectronics.com/)
8. Descripción: ***Aprendizaje de Orcad Capture, Orcad Layout y Orcad PSpice [Videos].***
Compañía: **FutureWorks.**
URL: <http://www.futureworkss.com/TRABAJOS/TECNOLOGICOS/cursocad/cursocadmenu.htm>
9. Descripción: ***Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la UC3M.***
Departamento: **LSI de la UC3M.**
URL: http://www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto_ing_sistemas_automatica/investigacion/lab_sist_inteligentes

10. Descripción: ***Página web de la compañía Microchip***
Compañía: **Microchip.**
URL: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=64
11. Descripción: ***ejemplo de diseño USB***
Compañía: **Olimex.**
URL: <http://www.olimex.com/dev/pdf/PIC/PIC-USB-4550.pdf>
12. Descripción: ***ejemplo de diseño I2C optoacoplado***
Compañía: **emcelettronica.**
URL: <http://dev.emcelettronica.com/isolating-i2c-interfaces>
13. Descripción: ***Generalidades sobre el protocolo I2C***
Compañía: **I2C-bus.**
URL: <http://www.i2c-bus.org/>
14. Descripción: ***introducción al I2C***
Compañía: **best-microcontroller-projects.**
URL: <http://www.best-microcontroller-projects.com/i2c-tutorial.html>
15. Descripción: ***Diseño de I2C de alta velocidad***
Compañía: **eetimes.**
URL: <http://www.eetimes.com/design/embedded/4025023/Opto-electrical-isolation-of-the-I2C-Bus>
16. Descripción: ***Rango válido de aceptación de valores lógicos en tecnología TTL y CMOS***
Compañía: **allaboutcircuits.**
URL: http://www.allaboutcircuits.com/vol_4/chpt_3/10.html
17. Descripción: ***Página oficial del congreso anual mundial de sistemas de transporte inteligente***
Compañía: **ITS world congress**
URL: <http://www.itsworldcongress.org/>

D. Apuntes de asignaturas

1. Asignatura: ***Instrumentación electrónica.***
Profesor: Acedo, Pablo.
Año: 2007.
2. Asignatura: ***Electrónica Industrial***
Profesor: Barrado, Andrés.
Año: 2009.
3. Asignatura: ***Ingeniería térmica y de fluidos***
Profesor: Rodriguez Aumentez, Pedro
Año: 2008.
4. Asignatura: ***Diseño electrónico asistido por ordenador***
Profesor: Fernandez Herrero, Cristina
Año: 2010.
5. Asignatura: ***Sistemas electrónicos digitales***
Profesor: Patón, Susana
Año: 2008.

E. Memorias de trabajos dirigidos, PFC's y tesis de máster

1. Título: ***Control de la plataforma de vehiculo electrico EZGO***
Autor/es: Gines Portalatin, Pedro y Hidalgo Fiestas, Juan Manuel
Tipo de memoria: **Proyecto fin de máster**
Año: 2008
2. Título: ***iCab. Automatización de un vehiculo eléctrico. Mecánica y software***
Autor/es: Hidalgo Fiestas, Juan Manuel
Tipo de memoria: **Tesis de máster.**
Año: 2009
3. Título: ***iCab. Automatización de un vehiculo eléctrico. Diseño Hardware***
Autor/es: Gines Portalatin, Pedro
Tipo de memoria: **Tesis de máster.**
Año: 2009
4. Título: ***Sistema de dirección del vehiculo auto tripulado iCab1***

- Autor/es: Anaya Catalan, Jose Javier, Lara Sanchez, Gerardo y Martinez Roca, Jesus
Tipo de memoria: **Trabajo dirigido.**
Año: 2008
5. Título: ***Detección y clasificación de obstáculos en entornos variantes mediante radar laser***
Autor/es: Garcia Fernandez, Fernando
Tipo de memoria: **Tesis de máster.**
Año: 2009
6. Título: ***Rediseño de la unidad de dirección para el iCab2***
Autor/es: Martínez Roca, Jesús.
Tipo de memoria: **Proyecto fin de carrera.**
Año: 2009
7. Título: ***Sistema de dirección del vehiculo auto tripulado iCab1***
Autor/es: Lara Sanchez, Gerardo y Martinez Roca, Jesus
Tipo de memoria: **Trabajo dirigido.**
Año: 2009
8. Título: ***Fusión de escáner láser y cámara de infrarrojos para la detección y seguimiento de trayectoria de peatones.***
Autor/es: Anaya Catalán, Jose Javier
Tipo de memoria: **Proyecto de fin de carrera.**
Año: 2008
9. Título: ***Convertor A/D empleando modulación PWM y un circuito de decodificación mediante FPGA***
Autor/es: Martin Ruiz, Manuel.
Tipo de memoria: **Proyecto fin de carrera.**
Año: 2008

Anexo A:

Presupuesto.

Anexo A: Presupuesto

El **presupuesto** se va a desglosar en **dos tipos de gastos**, a saber, gasto en **personal** y gasto en **materiales**.

1. Personal

El coste de personal es un cálculo aproximado asociado a la mano de obra y recursos humanos necesarios para la implementación y diseño del proyecto. El coste horario está en función del sueldo neto, es decir, con las reducciones del I.R.P.F., seguridad social, etc.

| TAREA | ENCARGADO | COSTE HORARIO | NÚMERO DE HORAS | COSTE TOTAL |
|--|----------------|---------------|-----------------|-------------------|
| Estudio previo y diseño del modelo | Ingeniero | 26 [€/h] | 200 [h] | 5.200 [€] |
| Diseño del circuito, programación, integración y montaje | Ingeniero | 21 [€/h] | 400 [h] | 8.400 [€] |
| Preparación del documento técnico | Administrativo | 16 [€/h] | 80 [h] | 1.280 [€] |
| TOTAL COSTE PERSONAL | | | | 14.880 [€] |

2. Materiales

Se puede observar el presupuesto reducido a continuación:

| DESCRIPCION | PRECIO | IVA ²² | CANTIDAD | PRECIO FINAL |
|-----------------------------------|----------------|-------------------|----------|--------------|
| Vehículo | 2300,00 [€] | 1 | 1 | 2300,00 [€] |
| Motor | 672,00 [€] | 1,16 | 1 | 779,52 [€] |
| Encoder | 713,00 [€] | 1,16 | 1 | 827,08 [€] |
| Disipador 200X200X25 [mm] | 47,65 [€] | 1 | 1 | 47,65 [€] |
| Guías extensibles de 150 [mm] | 39,72 [€] | 1 | 2 | 79,44 [€] |
| Accesorios ventilador | 3,29 [€] | 1 | 12 | 39,48 [€] |
| Engranaje | 152,63 € | 1 | 2 | 305,26 [€] |
| Guía fin de carrera | 94,74 € | 1 | 1 | 94,74 [€] |
| Soporte motor | 136,84 € | 1 | 1 | 136,84 [€] |
| Soporte motor - Encoder | 173,68 € | 1 | 1 | 173,68 [€] |
| Tapa (Aluminio) | 152,63 € | 1 | 1 | 152,63 [€] |
| Interruptores varios y F. Carrera | -[€] | 1 | 6 | 18,26 [€] |
| PIC18F4550 | 5,61[€] | 1 | 3 | 16,83 [€] |
| ULN2803AN | 1,598[€] | 1 | 3 | 4,794 [€] |
| Max485CPA+ | 2.50[€] | 1 | 3 | 7,50 [€] |
| Max1480BCPI | 14,80 [€] | 1 | 3 | 44,40 [€] |
| Condensadores varios | 0,20 [€] | 1 | 28 | 5,60 [€] |
| Guardadedos R17-10 | 4,88 [€] | 1 | 4 | 19,52 [€] |
| Cableado y conectores varios | 99,52 [€/100m] | 1 | 30 | 29,85 [€] |
| Conectores varios | 0,20 [€] | 1 | 15 | 3 [€] |

²² La columna IVA hace referencia en tanto por uno a aquellos productos que en el precio de factura no venía reflejado el IVA. Por ello en todos los elementos que aparecen con un 1 (en tanto por 1) es porque el precio viene directamente con el IVA incluido.

| | | | | |
|------------------------------------|----------------|---|-----------------------|--------------------|
| Tubo Corrugado | 36,29 [€/100m] | 1 | 10 | 3,63 [€] |
| Componentes módulo potencia | - [€] | 1 | 3 | 168.19 [€] |
| Mecánica : montaje | 180,00 [€] | 1 | 1 | 180,00 [€] |
| PCB módulo de control | 30,00 [€] | 1 | 3 | 90,00 [€] |
| PCB módulo de potencia | 30,00 [€] | 1 | 3 | 90,00 [€] |
| PCB módulo interfaz | 30,00 [€] | 1 | 3 | 90,00 [€] |
| Adaptador de RS232(2) a USB | 130 [€] | 1 | 1 | 130 [€] |
| | | | TOTAL MATERIAL | 5664,21 [€] |

3. Coste total del proyecto

El coste total del proyecto será la suma de los costes calculados en los anteriores apartados.

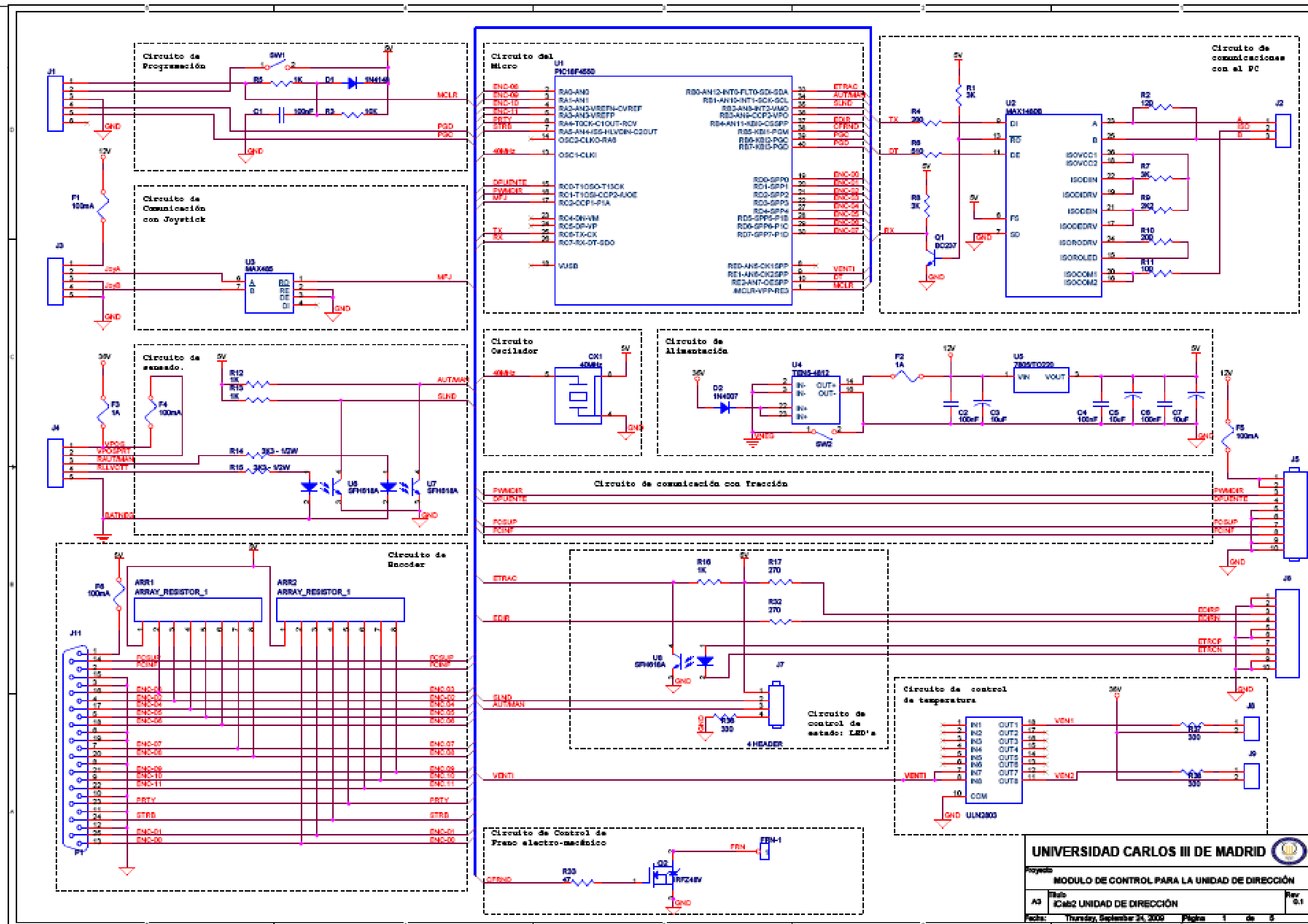
| TIPO DE COSTE | CANTIDAD |
|-----------------------------|----------------------|
| TOTAL COSTE MATERIAL | 5664,21 [€] |
| TOTAL COSTE PERSONAL | 14.880 [€] |
| COSTE TOTAL | 20.544,21 [€] |

Anexo B:



Esquemático del Módulo de Control.

Anexo B: Esquemático del Módulo de Control.



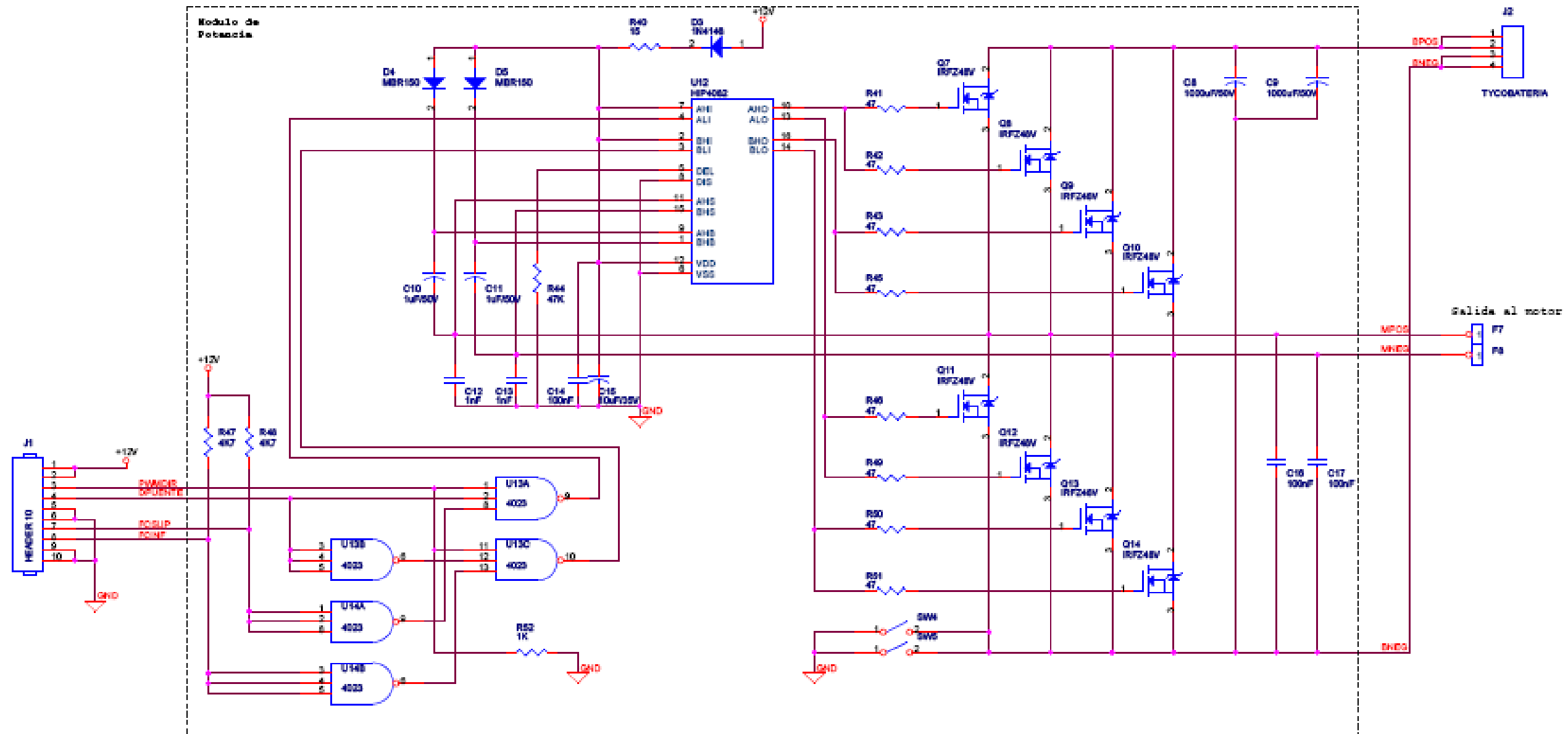
Anexo C:




Esquemático del Módulo de Potencia.



Anexo C: Esquemático del Módulo de Potencia.

Anexo C: Esquemático del Módulo de Potencia.



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID 

Proyecto:
MÓDULO DE POTENCIA PARA LA UNIDAD DE DIRECCIÓN

A3   ICab2 UNIDAD DE DIRECCIÓN Rev: 2.1

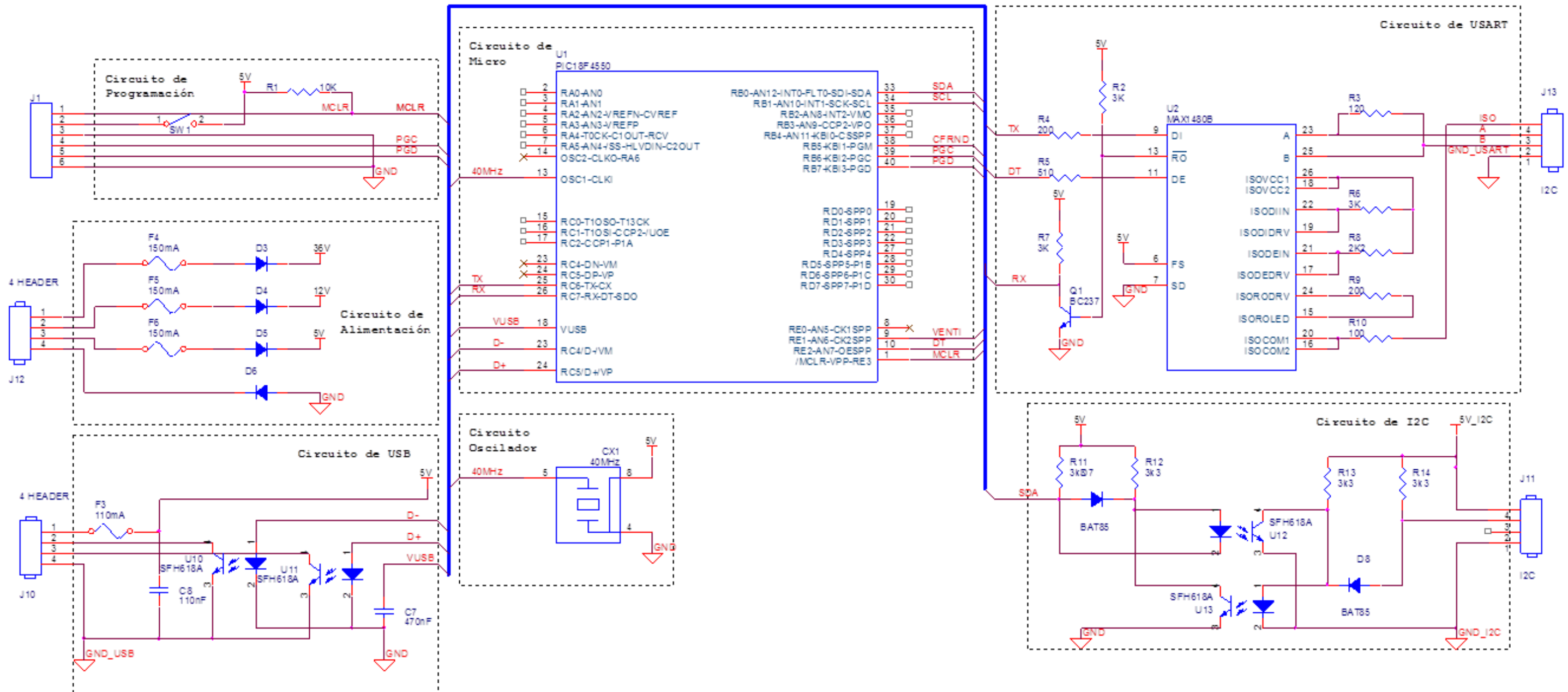
Fecha: Tuesday, June 16, 2020 Página: 2 de 5

Anexo D:



Esquemático de un nuevo módulo genérico.

Anexo D: Esquemático de un nuevo módulo genérico.

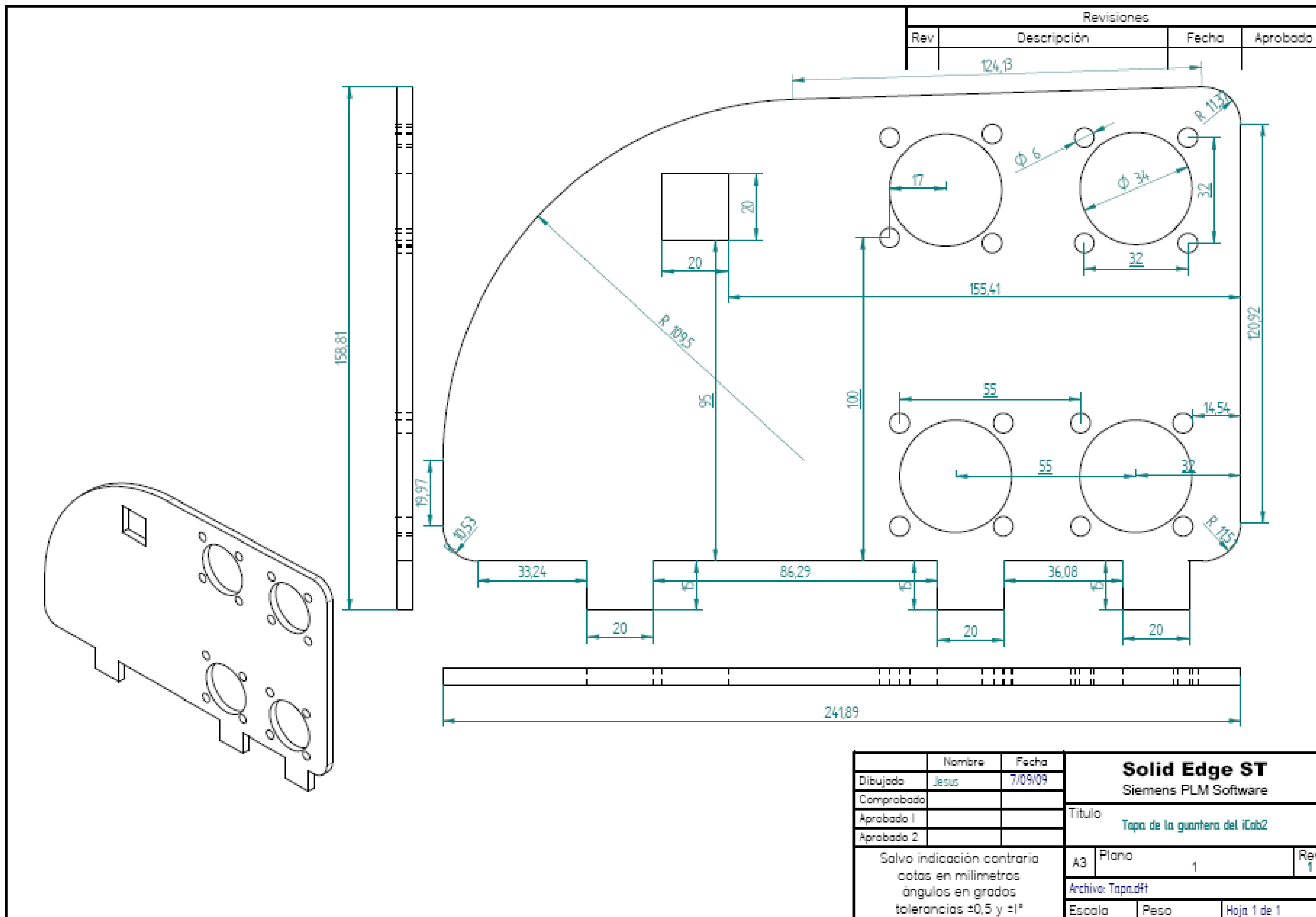


Anexo F:



Plano de la tapa de la Guantera.

Anexo F: Plano de la tapa de la Guantera.



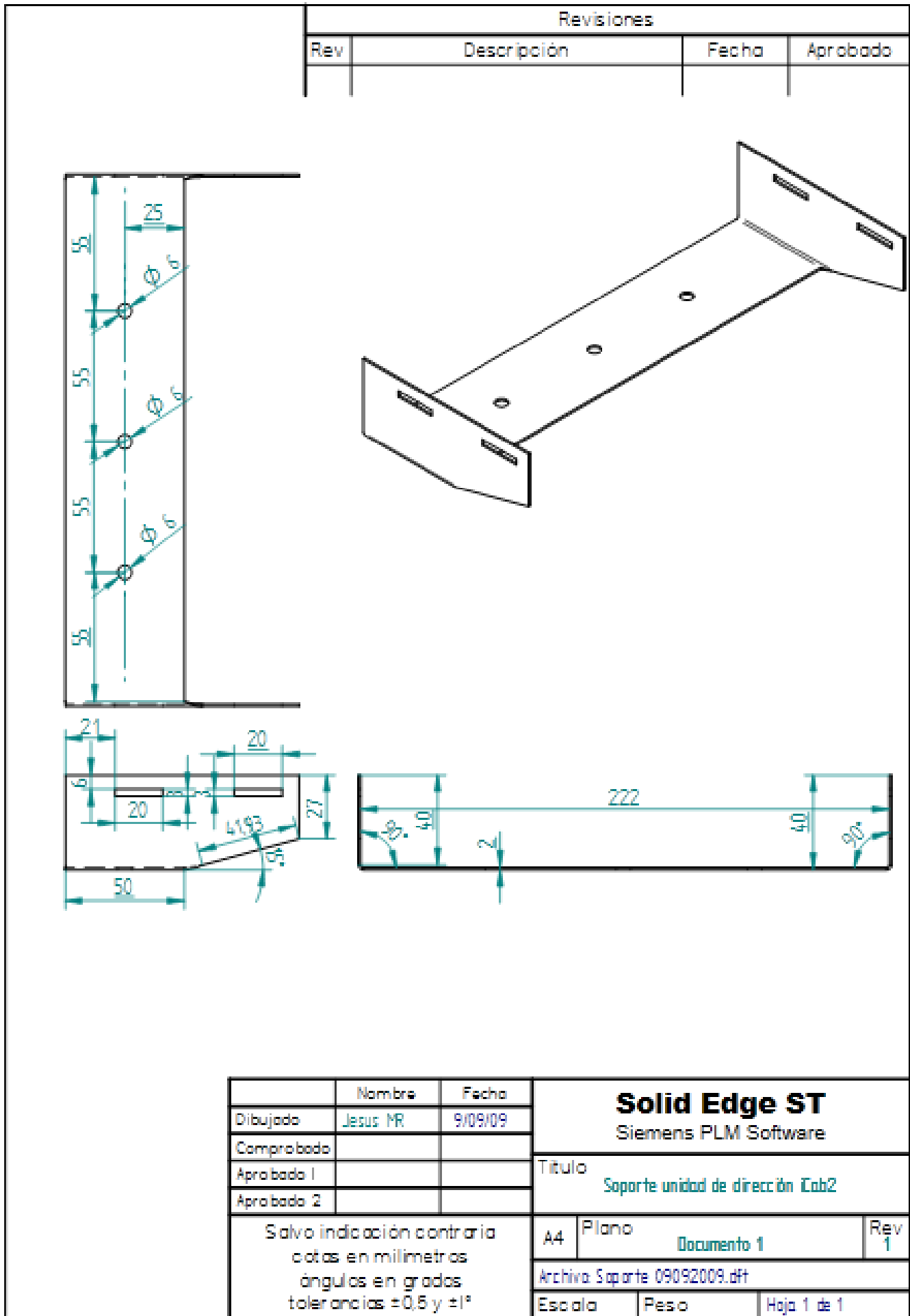
Anexo G:



Plano del Soporte de la Unidad de
Dirección.

Anexo G: Plano del Soporte de la Unidad de Dirección.

Anexo G: Plano del Soporte de la Unidad de Dirección.

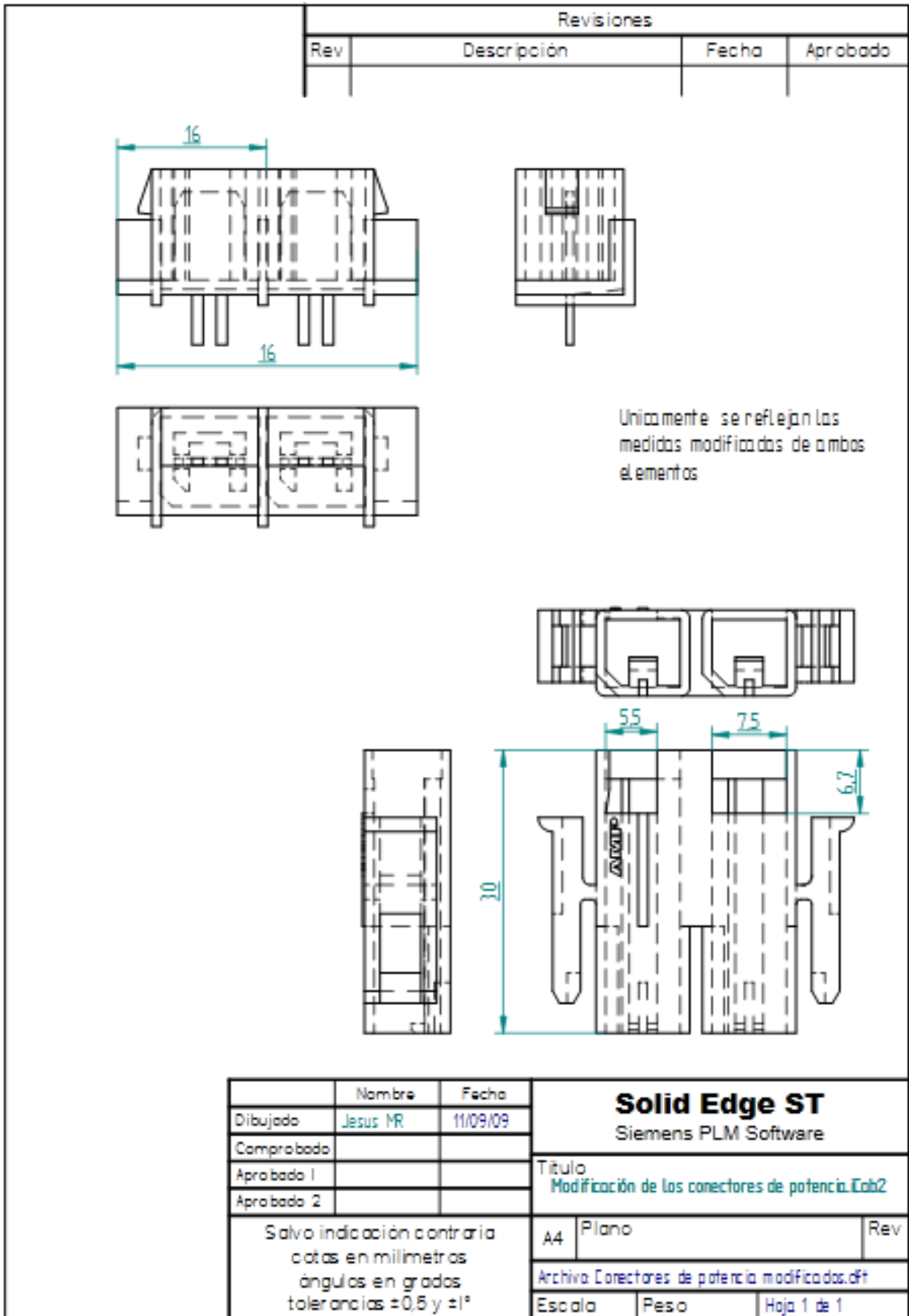


Anexo H:



Plano de Modificación de los Conectores de Potencia.

Anexo H: Plano de Modificación de los Conectores de Potencia.



Anexo I:



Mecanizado y Roscado del disipador.

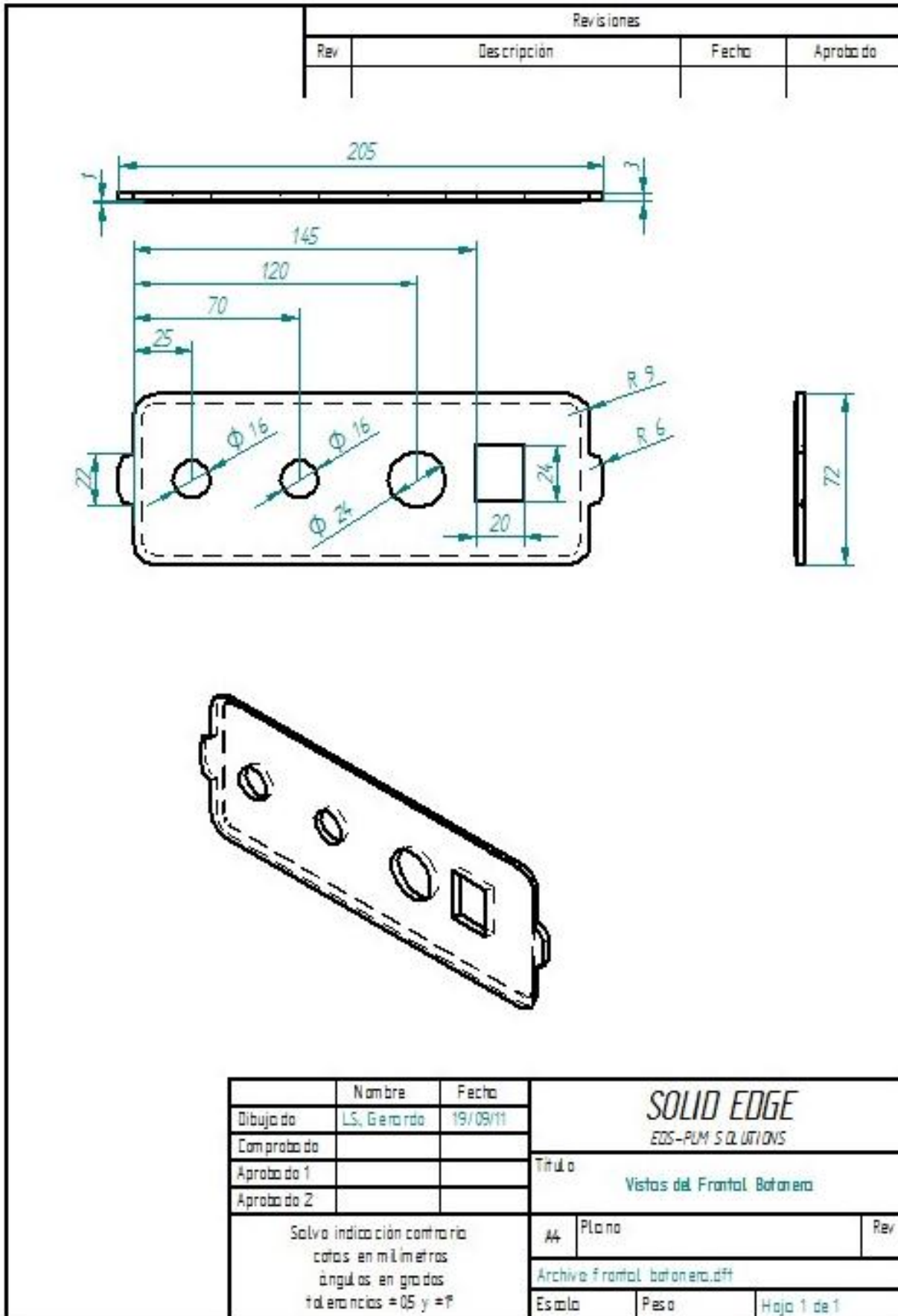
Anexo I: Mecanizado y Roscado del disipador.

Anexo J:



Plano del frontal de interfaz humana.

Anexo J: Plano del frontal de interfaz humana.



Anexo K:

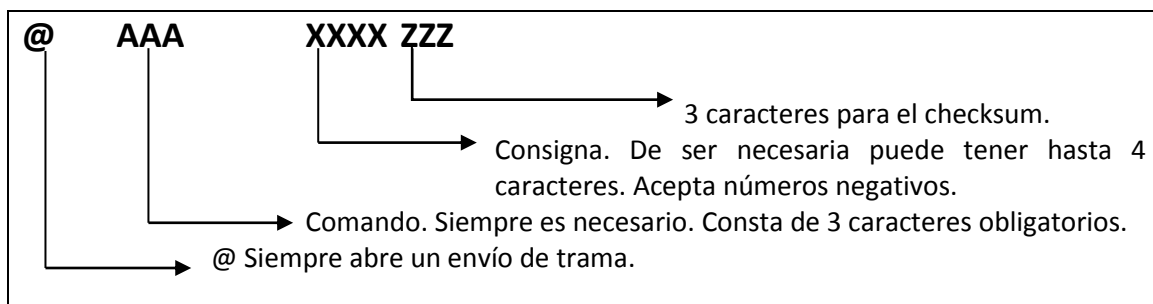
Comandos del puerto serie en el iCab2.

Anexo K: Comandos del puerto serie en el iCab2.

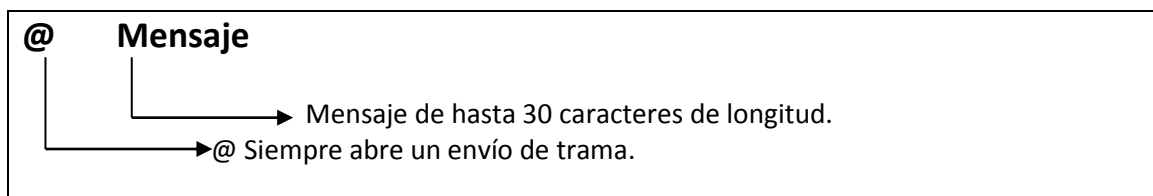
A continuación se detallan los comandos que pueden ser enviados por el puerto serie a la unidad de dirección, junto con ejemplos y posibles resultados.

Formato de comando

El formato genérico de comando enviado al microcontrolador es el siguiente:



El formato genérico del mensaje recibido desde el microcontrolador es el siguiente:



Notas Previas:

- Dada la necesidad de un sistema de seguridad estable, cuando se detecta un error de Software o Hardware no se responde más que el mensaje de error explicado como @ERR. En caso contrario, se responderá con el comando respuesta indicado en la lista a continuación.

- las velocidades indicadas son siempre en un porcentaje 0-100% de la velocidad máxima que puede mantener el motor. Los valores recomendados son del orden 10-45%.
- los ángulos indicados son siempre en el rango +-45º, con un formato de dos valores enteros y dos decimales sin coma, incluyendo signo negativo si es necesario. Ej: ángulo de 23,32º se deberá introducir como @ANG2332.
- los valores de constantes del PID deberán introducirse con un formato de 1 valor entero y 3 decimales con signo, de ser necesario. Ej: Ki=0,023 se deberá introducir como @MKI0023.
- El sistema no diferencia entre mayúsculas o minúsculas.
- en el caso que se introduzca un comando que necesita datos, sin la consigna necesaria, se devuelve un mensaje de dato sin formato.

| | |
|-----------|--|
| @ V E R | |
| Resultado | Devuelve la versión del firmware instalada en el microcontrolador. |
| Ejemplo | @ V E R |
| Notas | |

| | |
|-----------|-------------------|
| @ H L T | |
| Resultado | Para el vehículo. |
| Ejemplo | @ H L T |
| Notas | |

| | |
|-----------|--|
| @ L E N | |
| Resultado | Devuelve el valor leído del encoder variará en el rango centro ± giromaximo, siendo giromaximo el valor leído desde el comando @LZM. El centro se considera el valor leído desde el comando @LCE |
| Ejemplo | @ L E N |
| Notas | Devuelve el valor en pasos de encoder para la transformación a grados se tiene que realizar la siguiente operación: $^{\circ} = (Valor - Centro) \cdot 39.82$ En caso de error devuelve una cadena de caracteres (fallo de encoder) |

| | |
|-----------|--|
| @ S E N | |
| Resultado | Devuelve el último valor leído del encoder, sin cadena de caracteres en caso de error. |
| Ejemplo | @ S E N |
| Notas | |

| | |
|-----------|---|
| @ E N + | |
| Resultado | Modifica el valor del encoder en +100 pasos |
| Ejemplo | @ E N + |
| Notas | |

| | |
|-----------|---|
| @ E N - | |
| Resultado | Modifica el valor del encoder en -100 pasos |
| Ejemplo | @ E N - |
| Notas | |

| | |
|-----------------|--|
| @ E N C - - - - | |
| Resultado | Modifica el valor del encoder al valor dado por consigna |
| Ejemplo | @ E N C 1 5 0 0 @ E N C - 1 5 0 0 |
| Notas | |

| | |
|-----------|---|
| @ J O Y | |
| Resultado | Devuelve el último valor leído del JOYSTICK, referido al mismo eje que el encoder |
| Ejemplo | @ J O Y |
| Notas | |

| | |
|-----------------|--|
| @ A N G - - - - | |
| Resultado | Introduce el valor de ángulo para el algoritmo regulado si se trabaja en modo automático |
| Ejemplo | @ A N G 2 2 0 0 (22º) @ A N G - 2 2 1 (-2,21º) |
| Notas | El valor tiene que estar dentro del rango abierto $\pm 45^\circ$. Si se trabaja en modo manual dará un mensaje de error. |

| | |
|-----------------|---|
| @ V E L - - - - | |
| Resultado | Introduce el valor de velocidad para el algoritmo regulado si se trabaja en modo automático. |
| Ejemplo | @ V E L 2 2 (22%) @ V E L 0 7 0 (70%) |
| Notas | Velocidad siempre positiva. El sentido de giro lo da el ángulo. Si se trabaja en modo manual dará un mensaje de error. |

| | |
|-----------------|---|
| @ V M X - - - - | |
| Resultado | Modifica el valor de rom de velocidad máxima. |
| Ejemplo | @ V M X 2 2 (22%) @ V M X 0 7 0 (70%) |
| Notas | Velocidad siempre positiva. El sentido de giro lo da el ángulo. El valor tiene que estar dentro del rango abierto 0-100. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio. |

| | |
|-----------|--|
| @ L V M | |
| Resultado | Lee el valor de rom de velocidad máxima. |
| Ejemplo | @ L V M |
| Notas | |

| | |
|-----------------|---|
| @ M D Z - - - - | |
| Resultado | Imponemos en la Rom el valor de la zona muerta (el error que permitimos al controlador a la hora de colocar las ruedas en su posición). Este valor es en pasos de encoder. |
| Ejemplo | @ M D Z 5 (5) @ M D Z 0 7 (7) |
| Notas | La consigna introducida (xxxx) se tomara como y no como la zona total. El valor tiene que estar dentro del rango abierto 0-100. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio |

| | |
|-----------|-------------------------------------|
| @ L D Z | |
| Resultado | Lee el valor de rom de zona muerta. |
| Ejemplo | @ L D Z |
| Notas | |

| | |
|-----------------|---|
| @ Z M X - - - - | |
| Resultado | Imponemos en la Rom el valor máximo de giro de las ruedas que permitimos mediante programación. Este valor es en pasos de encoder. |
| Ejemplo | @ Z M X 5 (5) @ M D Z 0 7 (7) |
| Notas | @ZMX1200 corresponde a un giro maximo aproximado de 30°. La consigna introducida (xxxx) se tomara como $\pm xxxx$ desde el centro. El valor tiene que estar dentro del rango abierto 0-2000. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio. |

| | |
|-----------|-------------------------------------|
| @ L Z M | |
| Resultado | Lee el valor de rom de giro maximo. |
| Ejemplo | @ L Z M |
| Notas | |

| | |
|-----------------|--|
| @ C E N - - - - | |
| Resultado | Modifica el centro de las ruedas |
| Ejemplo | @ C E N 5 0 (50) @ C E N - 0 7 0 (-70) |
| Notas | El valor sera introducido en pasos de encoder el centro del encoder es 2048 que corresponde al centro ORIGINAL de las ruedas. El valor tiene que estar dentro del rango abierto 1000-4000. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio |

| | |
|-----------|---------------------------|
| @ L C E | |
| Resultado | Lee el valor de centrado. |
| Ejemplo | @ L C E |
| Notas | |

| | |
|-----------------|---|
| @ J O V - - - - | |
| Resultado | Modifica la velocidad a la que se mueven las ruedas en modo manual. |
| Ejemplo | @ J O V 5 0 (50%) @ J O V 0 2 7 (27%) |
| Notas | El valor será introducido en pasos de encoder. El valor tiene que estar dentro del rango abierto 15-85. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio |

| | |
|-----------|--|
| @ L J O | |
| Resultado | Lee el valor de la velocidad a la que se mueven las ruedas en modo manual. |
| Ejemplo | @ L J O |
| Notas | |

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| @ A M X - - - - | |
| Resultado | Modifica la aceleración máxima. |
| Ejemplo | @ A M X 5 0 (50) @ A M X 0 2 7 (27) |

| | |
|-------|--|
| Notas | El valor será introducido en unidades por ciclo. No recomendado un valor >1. El valor tiene que estar dentro del rango abierto 1-10. El sistema tiene que estar en modo manual para poder realizar el cambio |
|-------|--|

| | |
|-----------|--|
| @ L A M | |
| Resultado | Lee el valor de la aceleración máxima. |
| Ejemplo | @ L A M |
| Notas | |

| | |
|-----------|---|
| @ R O M | |
| Resultado | Reescribe los valores de fábrica de la ROM. |
| Ejemplo | @ R O M |
| Notas | |

| | |
|-----------|---|
| @ S T T | |
| Resultado | Lee el modo de funcionamiento, manual o automático. |
| Ejemplo | @ S T T |
| Notas | |

| | |
|-----------|--|
| @ E R R | |
| Resultado | Lee el estado de los errores. |
| Ejemplo | @ E R R |
| Notas | Devuelve una cadena de grupos de 3 caracteres. De no haber error en un bloque, se devuelve “___”, en caso de haber error en un bloque, se devuelve el tipo de error. La cadena completa es: “JOYENCROMNOMSERTRAKEY” JOY – Error de Joystick ENC – Error de Encoder ROM – Error de ROM NOM – Error de No movimiento SER – Error de Serie TRA – Error de Tracción KEY – Error de Llave de contacto |

Anexo L:



Mantenimiento.

Anexo L: Mantenimiento.

Se va a desglosar el procedimiento de mantenimiento que ha surgido de la práctica para resolver errores de la plataforma iCab1.

Este procedimiento hace referencia a la problemática que se ha comprobado y, por tanto, es posible que algún estado de error no esté contemplado en este manual si no se ha presentado, es por ello que se deja como guía orientativa para aquella persona que realice el manteniendo de las plataformas iCab siempre dejando bajo su consideración cualquier otra forma de actuación.

SE HA PRODUCIDO UN FALLO EN LA UNIDAD DE DIRECCIÓN

