

Índice

| | |
|--|-----------|
| <i>Resumen</i> | III |
| <i>Abstract</i> | V |
| 1 Introducción | 1 |
| 1.1 Objetivos del proyecto | 1 |
| 1.2 El hidrógeno | 1 |
| 1.2.1 Propiedades del hidrógeno gaseoso | 2 |
| 1.2.2 Propiedades del hidrógeno líquido | 3 |
| 1.2.3 Producción de Hidrógeno | 3 |
| 1.2.4 Almacenamiento de hidrógeno | 4 |
| 1.2.5 Hidrógeno como combustible | 5 |
| Combustión directa | 5 |
| Pilas de Combustible | 6 |
| 1.3 La pila de combustible | 6 |
| 1.3.1 Tipos de pilas de combustible | 8 |
| 1.3.2 Aplicaciones de las pilas de combustible | 9 |
| Estacionarias | 9 |
| Móviles | 10 |
| Portátiles | 11 |
| 1.3.3 La pila de hidrógeno | 11 |
| 1.4 Baterías | 12 |
| 1.4.1 Tipos de baterías | 13 |
| 1.5 Definición de vehículo eléctrico | 14 |
| 1.5.1 Referencia histórica del coche eléctrico | 14 |
| Primeras referencias | 14 |
| Mediados del siglo XX | 15 |
| Desarrollos hacia final del siglo veinte y comienzos del siglo XXI | 15 |
| 1.5.2 Vehículos híbridos | 15 |
| Visión global | 16 |
| Visión comercial | 16 |
| Vehículos híbridos con pila de hidrógeno | 16 |
| 2 El proyecto DELFÍN 2 | 21 |
| 2.1 Introducción | 21 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.2 | Antecedentes. El proyecto DELFÍN | 21 |
| 2.3 | El vehículo eléctrico eL GEM | 23 |
| 2.3.1 | El cuadro de mandos | 24 |
| 2.3.2 | Recarga de baterías | 24 |
| 2.3.3 | El motor eléctrico | 25 |
| 2.3.4 | El acelerador | 25 |
| 2.4 | El circuito de hidrógeno | 26 |
| 2.4.1 | Depósito de hidrógeno | 26 |
| 2.4.2 | Sensor de presión del depósito | 26 |
| 2.4.3 | Sensor de temperatura del depósito | 26 |
| 2.4.4 | Válvula solenoide del depósito | 27 |
| 2.4.5 | Sensores de presión alta y baja | 27 |
| 2.4.6 | Válvula solenoide de alta presión | 29 |
| 2.5 | PC-Car | 29 |
| 2.5.1 | Convertidor USB-CAN | 30 |
| 2.5.2 | Pantalla táctil | 30 |
| 2.6 | El sistema eléctrico | 30 |
| 2.6.1 | Fuentes de alimentación auxiliares | 31 |
| 2.6.2 | Juego de interruptores | 33 |
| 2.6.3 | El bus de potencia | 34 |
| 2.6.4 | Funcionamiento del sistema eléctrico | 35 |
| 2.7 | Las pilas de combustible | 36 |
| 2.7.1 | Características nominales de polarización | 36 |
| 2.7.2 | Temperatura óptima | 38 |
| 2.7.3 | El aire | 39 |
| | Refrigerante | 40 |
| | Oxidante | 41 |
| 2.7.4 | El fuel | 41 |
| | Presión | 41 |
| | Purgas | 42 |
| 2.7.5 | Estados transitorios | 42 |
| | Arranque | 43 |
| | Apagado | 43 |
| | Transitorios de potencia | 43 |
| 2.7.6 | Degradación | 44 |
| 2.7.7 | Objetivos de control | 44 |
| 2.7.8 | Termistores | 45 |
| 2.7.9 | Ventiladores | 45 |
| 2.7.10 | Electroválvulas de purga | 45 |
| 2.7.11 | Medición de tensión de celdas (CVM) | 46 |
| | Módulos de adquisición de datos | 48 |
| | Convertor RS-485 a CAN | 49 |
| | Conexión del CVM | 49 |
| 2.8 | Distribución de los elementos | 50 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3 | Diseño de la ECU | 55 |
| 3.1 | La ECU | 55 |
| 3.2 | <i>Hardware</i> de la ECU | 56 |
| 3.2.1 | PC/104 | 56 |
| 3.3 | Tarjeta de adquisición | 57 |
| 3.3.1 | Tarjeta de comunicación CAN | 58 |
| 3.3.2 | Módulo de alimentación | 59 |
| 3.4 | <i>Software</i> de la ECU | 59 |
| 3.4.1 | QNX | 59 |
| 3.4.2 | Lenguaje de programación C | 60 |
| 3.5 | Señales eléctricas de sensores y actuadores | 60 |
| 3.6 | La comunicación CAN | 60 |
| 3.6.1 | Controller Area Network (CAN) | 60 |
| | Principales características de CAN | 62 |
| | Soporte físico | 62 |
| | La trama CAN | 63 |
| 3.6.2 | Los buses CAN del DELFÍN 2 | 63 |
| 3.7 | Comunicación con el CVM | 64 |
| 3.8 | Comunicación con los convertidores de potencia | 65 |
| 3.9 | Comunicación con la GUI | 66 |
| 3.10 | Control de las pilas de hidrógeno | 67 |
| 3.11 | Gestión de potencia | 70 |
| 3.11.1 | Estados de los convertidores | 70 |
| 3.11.2 | Límites de las magnitudes eléctricas del bus de potencia | 70 |
| 3.11.3 | Estado de carga de las baterías (SOC) | 73 |
| 3.11.4 | Balance de potencia | 74 |
| 3.12 | Tratamiento de fallos | 76 |
| 4 | Programación de la ECU | 81 |
| 4.1 | Variables globales | 81 |
| 4.2 | Librerías | 82 |
| 4.3 | Cabeceras | 82 |
| 4.4 | Organización del programa | 82 |
| 4.5 | El proceso principal | 82 |
| 4.5.1 | Función recoge_cola | 83 |
| 4.5.2 | Manejador del temporizador del <i>watchdog</i> | 83 |
| 4.5.3 | Funciones de impresión por pantalla | 83 |
| 4.6 | El hilo de adquisición de datos | 83 |
| 4.6.1 | Función inicia_tadq | 84 |
| 4.6.2 | Función calibra_adq | 84 |
| 4.6.3 | Función cda_wr | 84 |
| 4.6.4 | Función cad_rd | 84 |
| 4.6.5 | Función dig_wr | 84 |
| 4.6.6 | Función dig_rd | 84 |
| 4.6.7 | Función interpreta_analog | 84 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.6.8 | Función termistores | 85 |
| 4.7 | El hilo de comunicación CAN | 85 |
| 4.8 | El hilo de comunicación con los convertidores | 85 |
| 4.8.1 | Función manda_comando_cv | 85 |
| 4.8.2 | Función bytestofloat y floattobytes | 85 |
| 4.9 | El hilo de comunicación con la GUI | 86 |
| 4.9.1 | Función rx_pccar | 86 |
| 4.9.2 | Función tx_pccar | 86 |
| 4.9.3 | Manejador del temporizador de transmisión a la GUI | 86 |
| 4.9.4 | Función adapta_var | 86 |
| 4.10 | El hilo de control de la pila de hidrógeno | 86 |
| 4.10.1 | Función start_fc | 87 |
| 4.10.2 | Función stop_fc | 88 |
| 4.10.3 | Función stop_emerg_fc | 88 |
| 4.10.4 | Función reposo_fc | 89 |
| 4.10.5 | Función control_marcha | 89 |
| 4.10.6 | Función cambia_purga | 89 |
| 4.11 | El hilo control_purgas | 89 |
| 4.11.1 | Manejador del temporizador de purgas | 91 |
| 4.12 | El hilo de la gestión de potencia | 91 |
| 4.12.1 | Función calcula_SOC | 92 |
| 4.12.2 | Función balance_pot | 92 |
| 4.12.3 | Función actua_pilas | 92 |
| 4.13 | El hilo de errores | 92 |
| 4.13.1 | Función h2_errores | 92 |
| 4.13.2 | Función conv_errores | 93 |
| 4.13.3 | Función cvm_errores | 93 |
| 4.13.4 | Función aire_errores | 93 |
| 4.13.5 | Función otros_errores | 93 |
| 4.13.6 | Función actuacion_leve | 93 |
| 4.13.7 | Función actuacion_grave | 93 |
| 4.13.8 | Función actuacion_critica | 93 |
| 4.14 | El proceso CVM | 93 |
| 4.14.1 | Hilo principal | 93 |
| 4.14.2 | Hilo trata_cvm | 94 |
| 4.15 | Relación de archivos del código | 94 |
| 5 | Ensayos | 95 |
| 5.1 | Ensayo de control de pila | 95 |
| 5.2 | Ensayo de gestión de potencia | 97 |
| 6 | Conclusiones y mejoras | 107 |
| | <i>Índice de Figuras</i> | 109 |
| | <i>Índice de Tablas</i> | 111 |
| | <i>Bibliografía</i> | 113 |