

Índice de Páginas:

1. OBJETIVOS.....	1
2. ESTADOS DEL ARTE.....	2
2.1. Hidrogeno.....	4
2.1.1. Propiedades del Hidrógeno.....	4
2.1.1.1. <i>Propiedades del Hidrógeno gaseoso.....</i>	6
2.1.1.2. <i>Propiedades del Hidrógeno líquido.....</i>	8
2.1.2. Producción de Hidrógeno	9
2.1.2.1. <i>Reformado de combustibles.....</i>	9
2.1.2.2. <i>Electrolisis.....</i>	9
2.1.2.3. <i>Producción biológica.....</i>	9
2.1.3. Almacenamiento de Hidrógeno.....	10
2.1.3.1. <i>Gases comprimidos.....</i>	10
2.1.3.2. <i>Líquidos criogénicos.....</i>	11
2.1.3.3. <i>Hidruros metálicos.....</i>	11
2.1.3. Hidrógeno como combustible.....	11
2.1.3.1 <i>Combustión directa.....</i>	12
2.1.3.2. <i>Combustible de motores.....</i>	13
2.1.3.3. <i>Pilas de Combustible.....</i>	14
2.1.4. Pilas de combustible.....	14
2.1.4.1. <i>Fundamentos del funcionamiento de pilas de combustible.....</i>	14
2.1.4.2. <i>Tipos de pilas de combustible.....</i>	17
2.1.4.3. <i>Aplicaciones de las pilas de combustibles.....</i>	19
2.2. Baterías.....	22
2.2.1. Tipos de baterías.....	23
2.2.2. La opción de los Supercondensadores.....	24
2.3. Comparativa.....	28
2.4. Vehículos Híbridos.....	30
2.4.1. Visión global.....	30
2.4.2. Visión comercial.....	31
3. PROYECTO HERCULES-LEON.....	36
3.1 Estructuración del proyecto León.....	37
3.2. AICIA automática.....	39
3.3. Estudios previos al desarrollo.....	41
3.3.1. Datos genéricos del León.....	41
3.3.1.1. <i>Santana 350.....</i>	42
3.3.1.2. <i>Motor.....</i>	43
3.3.1.3. <i>Baterías.....</i>	43
3.3.1.4. <i>Pila de Combustible.....</i>	44
3.3.1.5. <i>Sistema de acondicionamiento de potencia: convertidores.....</i>	45
3.3.1.6. <i>Depósitos de Hidrógeno.....</i>	46
3.3.1.7. <i>Sensores de Hidrógeno.....</i>	47
3.3.2. Estimaciones de potencia y consumo.....	49
3.3.2.1. <i>Potencia.....</i>	49
3.3.2.2. <i>Consumo.....</i>	50
3.3.3. Protocolo de comunicaciones: CAN.....	51
3.3.3.1. <i>Parámetros CAN a considerar</i>	52
3.3.3.2. <i>Estimaciones.....</i>	56
3.3.3.3. <i>Conclusiones.....</i>	59
3.4. Supervisor.....	60
3.4.1. Diseño de la aplicación.....	60
3.4.2. Interfaz de usuario.....	61
4. DISEÑO DE LA ECU.....	62
4.1. Hardware.....	63
4.1.1. PC/104.....	63
4.1.2. Tarjeta de adquisición de datos.....	65

4.1.3. Tarjeta CAN.....	65
4.2. Software.....	67
4.2.1. QNX.....	67
4.2.2. Entornos de programación.....	68
4.3. Comunicaciones BUS-CAN.....	69
4.3.1. Red del vehículo.....	69
4.3.2. Normativa para mensajes CAN del Leon.....	70
4.3.3. Listas de mensajes.....	71
4.3.3.1. Mensajes de la ECU.....	72
4.3.3.2. Mensajes de la Pila de Combustible.....	77
4.3.3.3. Mensajes de los Convertidores de Potencia.....	80
4.3.3.4. Mensajes del Motor y el Variador.....	84
4.3.3.5. Otros mensajes.....	87
4.3.4. Colas de Recepción: congestión.....	88
4.4. Protocolos de actuación.....	91
4.4.1. Niveles de error.....	92
4.4.2. Listas de errores.....	93
4.4.2.1. Errores en la ECU.....	93
4.4.2.2. Errores de la Pila de Combustible.....	94
4.4.2.3. Errores de los Convertidores.....	95
4.4.2.4. Lista completa de los errores.....	96
4.4.3. Actuación.....	102
4.4.3.1. Problemática y regla principal de actuación.....	104
4.4.3.2. Respuestas especiales ante errores en la Pila de Combustible.....	104
4.5. Diseño.....	105
4.5.1. Señales analógicas y digitales.....	105
4.5.2. Diagramas de estado de componentes.....	106
4.5.2.1. Diagrama de estado de la Pila de Combustible.....	106
4.5.3. Estados de funcionamiento de la ECU.....	107
4.5.4. Pedal del acelerador.....	108
4.5.5. Frenada regenerativa.....	111
4.5.6. Gestión de potencia.....	113
4.5.6.1. Estados del gestor.....	114
5. PROGRAMACION DE LA ECU.....	116
5.1. Jerarquía de programación.....	117
5.2. Variables globales.....	119
5.3. Proceso principal.....	120
5.3.1. Función check_comm.....	121
5.3.2. Función calculo_velocidad.....	121
5.3.3. Función calculo_H2.....	121
5.3.4. Función calculo_bateria.....	122
5.3.5. Función secuencia_arranque.....	122
5.3.6. Función secuencia_parada.....	123
5.3.7. Función parada_emergencia.....	124
5.3.8. Funciones para enviar comandos.....	126
5.3.9. Función calculo_potencias.....	127
5.3.10. Bucle principal.....	128
5.4. Hilo de traducción de señales.....	130
5.4.1. Función digital.....	130
5.4.2. Función analog.....	131
5.4.3. Función calculo_acelerador.....	131
5.4.4. Función calculo_presionH2.....	132
5.5. Hilo de comunicación CAN.....	133
5.5.1. Función can_in_datos.....	133
5.5.2. Funcion manejador_contador_ciclos.....	134
5.5.3. Funcion dinamica_potencia.....	135
5.5.4. Función bytetosignedshort.....	135
5.5.5. Función signedshorttobyte.....	136
5.6. Hilo de supervisión de errores.....	137

5.6.1. Función h2_errores.....	137
5.6.2. Función fc_errores.....	137
5.6.3. Función conv_errores.....	137
5.6.4. Función vm_errores.....	138
5.6.5. Función actuacion_critica.....	138
5.6.6. Función actuacion_grave.....	138
5.6.7. Función actuacion_leve.....	139
5.7. Relación de archivos de código.....	140
6. SIMULACIONES Y ENSAYOS.....	143
6.1. Monitorización de bancada de ensayos.....	144
6.2. Simulaciones del gestor de potencia.....	147
6.2.1. Estado de carga Baja.....	148
6.2.2. Estado de carga Media.....	149
6.2.3. Estado de carga Alta.....	150
6.2.4. Estado de carga Completa.....	151
6.2.5. Simulación progresiva.....	152
6.2.6. Conclusiones de las simulaciones.....	154
7. CONCLUSIONES Y MEJORAS.....	155
8. BIBLIOGRAFÍA.....	158
9. GLOSARIO.....	161
10. ANEXOS.....	165

Índice de Imágenes:

Imagen 1: montañas nubladas en sudamerica.....	2
Imagen 2: una enorme región de hidrógeno ionizado en la Galaxia del Triángulo.....	4
Imagen 3: protón y electrón en el átomo de Hidrógeno.....	5
Imagen 4: proceso de electrolisis.....	9
Imagen 5: deposito de composite.....	10
Imagen 6: diagrama del desarrollo esperado del Hidrógeno (AEH2).....	12
Imagen 7: reacciones básicas en una celda.....	15
Imagen 8: diagrama de una batería.....	22
Imagen 9: supercondensadores comerciales.....	25
Imagen 10: comparativa de capacitores.....	25
Imagen 11: esquema de diseño de un supercondensador con aerogel.....	26
Imagen 12: gráfica comparativa de diferentes sistemas de generación.....	28
Imagen 13: diagrama Fiat Panda híbrido.....	32
Imagen 14: Fiat Panda híbrido.....	32
Imagen 15: diagrama Nissa X-trail FCV.....	33
Imagen 16: Nissa X-trail FCV.....	33
Imagen 17: diagrama Honda FCX Clarity.....	33
Imagen 18: Honda FCX Clarity.....	33
Imagen 19: diagrama Toyota FCHV	34
Imagen 20: Toyota FCHV	34
Imagen 21: diagrama BMW hydrogen 7.....	34
Imagen 22: BMW hydrogen 7.....	34
Imagen 23: diagrama Mercedes B-Class FC.....	35
Imagen 24: Mercedes B-Class FC.....	35
Imagen 25: posiciones de dispositivos en el Leon.....	37
Imagen 26: esquema de dispositivos del Leon.....	38
Imagen 27: diagrama de funcionamiento de dispositivos del Leon.....	42
Imagen 28: fotografías del Santana 350.....	43
Imagen 29: fotografía de una batería XP de Valence Technologies.....	44
Imagen 30: fotografía de la pila de combustible de Nuvera.....	44
Imagen 31: esquema de funcionamiento del sistema de acondicionamiento.....	45
Imagen 32: esquema de los depósitos de hidrógeno.....	46
Imagen 33: fotografía de los depósitos de hidrógeno.....	47
Imagen 34: sensor HS-440.....	47
Imagen 35: fotografía de un sensor HSS-440.....	48
Imagen 36: esquema del conector de sensor HSS-440.....	48
Imagen 37: red de sensores HSS-440.....	48
Imagen 38: aplicación LabVIEW para estimaciones de consumo.....	50
Imagen 39: esquema de la arquitectura de red de un vehículo de alta gama.....	52
Imagen 40: conector DB9.....	53
Imagen 41: campos de mensajes CAN de tipo A y B.....	54
Imagen 42: codificación NRZ.....	56
Imagen 43: panel principal del interfaz gráfico del Supervisor.....	61
Imagen 44: fotografía del pc/104 con los dos módulos montados sobre y bajo él.....	63
Imagen 45: dimensiones del PC/104 Plus.....	64
Imagen 46: fotografía del PC/104 con la SDRAM, el disco duro y la CompactFlash.....	64
Imagen 47: fotografía de la tarjeta PCM3718HG montada sobre el PC/104.....	65
Imagen 48: tarjeta de adaptación de PC/104 – Plus para bus CAN.....	65
Imagen 49: esquema de conectores de la tarjeta CAN.....	66
Imagen 50: captura del escritorio en QNX.....	67
Imagen 51: captura de QNX Momentics IDE.....	68
Imagen 52: red de bus CAN en anillo.....	69
Imagen 53: diagrama genérico de actuación ante errores críticos.....	102
Imagen 54: diagrama de estados de la Pila de Combustible.....	106
Imagen 55: estados de funcionamiento de la ECU.....	108
Imagen 56: perfil del pedal del acelerador.....	109

Imagen 57: conector y pines del pedal del acelerador.....	109
Imagen 58: circuito para el pedal del acelerador.....	109
Imagen 59: conector del cable del pedal.....	110
Imagen 60: curvas de funcionamiento de las señales del pedal del acelerador.....	111
Imagen 61: relación potencia/posición del pedal del acelerador.....	112
Imagen 62: bus y consignas de potencia.....	113
Imagen 63: jerarquía de procesos.....	118
Imagen 64: diagrama previo al bucle principal	120
Imagen 65: diagrama de la secuencia de arranque.....	122
Imagen 66: diagrama de la secuencia de parada.....	123
Imagen 67: diagrama de la secuencia de parada de emergencia de la FC.....	124
Imagen 68: diagrama de la secuencia de parada de emergencia de los convertidores.....	125
Imagen 69: diagrama de las funciones de envío de comandos.....	126
Imagen 70: diagrama de la gestión de la potencia.....	127
Imagen 71: diagrama del bucle principal	129
Imagen 72: colas de mensajes.....	130
Imagen 73: relación potencia/posición del pedal del acelerador.....	131
Imagen 74: panel Bancada General del Monitor de la bancada.....	144
Imagen 75: panel Depositos H2 del Monitor de la bancada.....	145
Imagen 76: panel Red Sensores H2 del Monitor de la bancada.....	145
Imagen 77: panel Pila de Combustible del Monitor de la bancada.....	146
Imagen 78: captura de pantalla del Simulador del Gestor de Potencia.....	147
Imagen 79: gráfica de simulación en estado de carga baja.....	148
Imagen 80: gráfica de simulación en estado de carga media.....	149
Imagen 81: gráfica de simulación en estado de carga alta.....	150
Imagen 82: gráfica de simulación en estado de carga completa.....	151
Imagen 83: gráfica de simulación progresiva.....	153

Índice de Tablas:

Tabla 1: propiedades del hidrógeno gaseoso.....	6
Tabla 2: propiedades del hidrógeno líquido.....	8
Tabla 3: reacciones electroquímicas.....	15
Tabla 4: tipos de pila de combustible.....	19
Tabla 5: tabla comparativa de baterías.....	24
Tabla 6: comparativa entre propulsión del vehículo y contaminación.....	31
Tabla 7: datos del Santana 350.....	42
Tabla 8: datos del motor eléctrico.....	43
Tabla 9: datos de las baterías UEV 18XP.....	44
Tabla 10: datos de la pila de combustible de Nuvera.....	45
Tabla 11: datos de los sensores de hidrógeno.....	48
Tabla 12: tabla de relación velocidad, tiempo de bit, longitud, en CAN.....	53
Tabla 13: tamaño de cada tipo de trama en bits.....	54
Tabla 14: comparativa de codificaciones.....	54
Tabla 15: estimaciones de la probabilidad de error según la potencia de ruido.....	57
Tabla 16: probabilidad de que una trama CAN genere una trama de error.....	58
Tabla 17: estimación según el número de tramas de datos por segundo.....	58
Tabla 18: formulario para mensajes CAN	72
Tabla 19: datos del mensaje Info form ECU 1: consignas de potencia.....	72
Tabla 20: datos del mensaje Info form ECU 2: pila de combustible.....	73
Tabla 21: datos del mensaje Info form ECU 3: baterías y vehículo.....	73
Tabla 22: datos del mensaje Info form ECU 4: hidrógeno.....	74
Tabla 23: datos del mensaje Info form ECU 5: convertidores.....	75
Tabla 24: datos del mensaje Info form ECU 6: variador y motor.....	75
Tabla 25: datos del mensaje Info form ECU 7: errores 1.....	76
Tabla 26: datos del mensaje Info form ECU 8: errores 2.....	76
Tabla 27: datos del mensaje System Operating Command.....	77
Tabla 28: datos del mensaje Emergency Stop.....	78
Tabla 29: datos del mensaje Info from Fuel Cell 1.....	78
Tabla 30: datos del mensaje Info from Fuel Cell 2.....	79
Tabla 31: datos del mensaje Errors from Fuel Cell.....	79
Tabla 32: datos del mensaje Comando de Convertidores.....	80
Tabla 33: datos del mensaje Consigna del Convertidor de FC.....	81
Tabla 34: datos del mensaje Consigna del Convertidor de Baterías.....	81
Tabla 35: datos del mensaje Consigna del Convertidor de Crowbar.....	81
Tabla 36: datos del mensaje Informacion de Convertidores 1.....	82
Tabla 37: datos del mensaje Informacion de Convertidores 2.....	82
Tabla 38: datos del mensaje Informacion de Convertidores 3.....	82
Tabla 39: datos del mensaje Informacion de Convertidores 4.....	83
Tabla 40: datos del mensaje Errores del convertidor de pila.....	83
Tabla 41: datos del mensaje Errores del convertidor de baterías.....	83
Tabla 42: datos del mensaje Errores del convertidor de salida.....	84
Tabla 43: datos del mensaje Estado de convertidores.....	84
Tabla 44: datos del mensaje Comando del Variador.....	85
Tabla 45: datos del mensaje Consigna del Motor.....	85
Tabla 46: datos del mensaje Informacion del Variador.....	86
Tabla 47: datos del mensaje Errores de Variador y Motor.....	86
Tabla 48: datos del mensaje Estado del Variador-Motor.....	86
Tabla 49: datos del mensaje Key Car	87
Tabla 50: datos de los mensajes de Sensores de Hidrógeno.....	88
Tabla 51: componentes del vehículo con comunicación CAN	91
Tabla 52: ejemplo de datos de mensaje CAN de errores.....	92
Tabla 53: códigos de errores en Pila de Combustible.....	94
Tabla 54: códigos de errores en Convertidores.....	95
Tabla 55: conversión byte a signed short.....	136

Acrónimos:

ADQ – Adquisición de Datos

AEH2 – Asociación Española del Hidrógeno

AICIA – Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía

CAN – Controller Area Network

ECU – Electronic Control Unit o Unidad de Control Electrónico

EFFC – Errors from Fuel Cell

FC – Fuel Cell

H2 – Hidrógeno

IFFC – Info from Fuel Cell

INTA – Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

ISO – Organización Internacional para la Normalización

OMS – Organización Mundial de la Salud

PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell

POSIX – Portable Operating System Interface UNIX

SOC – System Operating Command

VI – Virtual Instrument