

Proyecto fin de carrera

Ingeniería Industrial

Automatización de micro-red eléctrica con fuentes renovables y almacenamiento de Hidrógeno

Tutor: Carlos Bordons Alba

Autor: Manuel Ángel Coronel Domínguez

Junio 2011

Agradecimientos:

A mis padres, gran parte de esta titulación se las debo ellos, gracias por ser como sois.

A mi familia, novia y amigos sin ese apoyo incondicional jamás hubiera terminado.

A Luis, compañero de laboratorio, sin su gran ayuda mi proyecto se hubiera alargado al infinito.

Índice

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción.....	11
-----------------------	----

1.2 Objetivos	13
---------------------	----

2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE MICRORRED

2.1 Descripción funcional de micro-red	14
--	----

3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

3.1 Pila de combustible. MES-DEA 1.5	16
--	----

3.1.1 Introducción.....	16
-------------------------	----

3.1.2. Antecedentes históricos	16
--------------------------------------	----

3.1.3 Reacción electroquímica.....	17
------------------------------------	----

3.1.4 Componentes.....	17
------------------------	----

3.1.5 Selección y modo de operación de la pila de combustible MES-DEA 1.5.....	20
--	----

3.1.6 Especificaciones técnicas de la pila de combustible MES-DEA 1.5	21
---	----

3.2 DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE HIDRUROS METÁLICOS HBOND-7000H.....	26
---	----

3.2.1 Introducción.....	26
-------------------------	----

3.2.2 Almacenamiento de hidrógeno en hidruros metálicos	27
---	----

3.2.3 Contenedor de hidruros metálicos HBOND-7000 H. Selección.	33
--	----

3.2.4 Especificaciones técnicas del contenedor HBOND-7000H	36
--	----

3.3 Electrolizador de agua	37
----------------------------------	----

3.3.1 Introducción.....	37
-------------------------	----

3.3.2 Especificaciones técnicas	38
---------------------------------------	----

3.4 Convertidor DC/DC de pila de combustible.....	39
---	----

3.4.1 Introducción.....	39
-------------------------	----

3.4.2 Especificaciones técnicas	39
---------------------------------------	----

3.5 Convertidor DC/DC del electrolizador	40
--	----

3.5.1 Introducción.....	40
-------------------------	----

3.5.2 Especificaciones técnicas	40
---------------------------------------	----

3.6 Fuente de alimentación. LBS 60-100	41
--	----

3.6.1 Introducción.....	41
-------------------------	----

3.6.2 Especificaciones técnicas	41
---------------------------------------	----

3.7 Carga electrónica. PLA 2.5k-60-1000.....	44
3.7.1 Introducción.....	44
3.7.2 Especificaciones técnicas	45
3.8 Baterías.....	50
3.8.1 Introducción.....	50
3.8.2 Especificaciones técnicas	51
3.9 AUTÓMATA PROGRAMABLE. M340.....	53
3.9.1 Introducción.....	53
3.9.2 Especificaciones técnicas	53
3.10 Sistema de purificación de agua	57
3.11 Elementos de medidas y actuadores.....	58
3.11.1. Instrumentos de medida	58
3.11.2. Elementos de actuación.....	60
3.12 Pasarela de comunicación CAN/CANOpen	62
3.13 BUS DE CORRIENTE.....	63
3.13.1 Cableado	64
3.13.2 Protecciones	64
3.14 Protecciones alterna.....	66
3.14.1 Sobrecorriente	66
3.14.2 Contactos indirectos	66
3.15 Cableado de señales	68
3.16 Fuentes de alimentación auxiliares	69
3.16.1 Fuente de alimentación de 24VDC	69
3.16.2 Fuente de alimentación de 12VDC	69
3.17 Seta de emergencia	70
3.18 Conducciones de hidrógeno	71
3.19 Sistema de calefacción/refrigeración de agua. Calentador de agua.....	72
3.20 Sistema de aporte de nitrógeno	73
3.21 Sistema de extinción de incendios y seguridad	75
4 MONTAJE DE EQUIPOS	
4.1 Introducción.....	77
4.2 Elementos de medida	79
4.2.1Termopar	79

4.2.2 Transductores de presión	79
4.2.3 Medidor de caudal másico de hidrógeno	79
4.2.4 Medidor de caudal de agua	79
4.3 Elementos finales de actuación	80
4.3.1 Válvulas solenoides	80
4.3.2 Válvula reductora de presión	80
4.4 Elementos de seguridad	82
4.4.1 Válvula de seguridad o de alivio	82
4.4.2 Elementos antirretorno	82
4.5 Comunicaciones entre equipos y autómatas programables	83
4.5.1 Termopares	83
4.5.2 Transductores de presión	83
4.5.3 Caudalímetro másico de hidrógeno	83
4.5.4 Caudalímetro de agua	83
4.5.5 Válvulas solenoides	84
4.5.6 Fuente de alimentación	84
4.5.7 Carga electrónica	84
4.5.8 Servidor OPC	85
4.5.9 Electrolizador	85
4.5.10 CAN/CANOpen bus	85
4.5.10.1 Convertidores DC/DC	86
4.5.10.2 Pila de combustible	86
4.6 Disposición del depósito de almacenamiento de hidrógeno	87
4.7 Disposición de la línea de hidrógeno instalada	88
4.8 Sistema de calefacción/refrigeración del depósito de almacenamiento	89
5 PROGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA	
5.1 Introducción	91
5.2 Descripción	92
5.2.1 Función descarga hidrógeno	92
5.2.2 Función carga hidrógeno	92
5.2.3 Función control de pila de combustible	92
5.2.4 Función control del electrolizador	93
5.2.5 Función inertización	93

5.3 Estados de funcionamiento	94
5.3.1 Reposo	94
5.3.2 Puesta en funcionamiento	95
5.3.3 Puesta en reposo	95
5.3.4 Puesta en emergencia	96
5.3.5 Automático	97
5.3.6 Manual	98
5.3.7 Emergencia	98
6 SCADA	
6.1 Introducción.....	100
6.2 Descripción	101
6.2.1 Pantallas.....	101
6.2.1.1 Principal	101
6.2.1.2 Supervisión de fluidos.....	102
6.2.1.3 Gestión de electricidad	104
6.2.1.4 Funcionamiento	106
6.2.1.5 Perfiles de generación y demanda	107
6.2.1.6 Configuración	108
6.2.2 Almacenamiento de parámetros	109
6.2.3 Base de datos de perfiles de generación y demanda	109
6.2.4 Usuarios	110
6.2.5 Alarmas	110
7 ENSAYOS	
7.1 Caracterización de pila de combustible	111
7.2 Caracterización de electrolizador.....	113
7.3 Caracterización de convertidores dc/dc.....	115
7.3.1 Convertidor de pila de combustible	115
7.3.2 Convertidor del electrolizador.....	116
7.4 Caracterización de baterías	119
7.5 Ensayo de planta durante un día	121
8 CONCLUSIONES	
8.1 Conclusiones	124

8.2 Mejoras.....	124
9 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	125

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Resumen del sistema	15
Ilustración 2 - Funcionamiento pila de combustible	18
Ilustración 3 - Composición básica de un 'stack' típico de una pila de combustible.....	20
Ilustración 4 - Imagen de la pila de combustible con sus diferentes partes indicadas.	22
Ilustración 5 - Imagen de la pila de combustible con sus diferentes partes indicadas.	22
Ilustración 6 - Imagen del sistema de suministro de hidrógeno y aire, y salida de gases.	23
Ilustración 7 - Imagen de la unidad electrónica de control con sus diferentes partes indicadas.	23
Ilustración 8 - Imagen de la unidad electrónica de control con sus diferentes partes indicadas.	24
Ilustración 9 - Sistema de refrigeración de la pila de combustible.....	24
Ilustración 10 - Átomos de hidrógeno alojados en los intersticios de FeTi.	28
Ilustración 11 - Representación de las fases α y β en carga y descarga.	29
Ilustración 12 - Curvas PCI (PCT) de un hidruro ideal para tres temperaturas.....	30
Ilustración 13 - Efecto del dopado de NaH_4 con Ti en las curvas PCI	31
Ilustración 14 - Isocoras de Van't Hoff.....	32
Ilustración 15 - Depósito de hidruros metálicos HBond-7000H	33
Ilustración 16 - Hidrógeno almacenado por masa y volumen.	34
Ilustración 17 - Curvas PCI para el hidruro formado por el MgH_2	35
Ilustración 18 - Vista frontal del electrolizador	38
Ilustración 19 - Vista frontal de convertidor de pila de combustible	39
Ilustración 20 - Vista frontal del convertidor del electrolizador.....	40
Ilustración 21 - Fuente programable	41
Ilustración 22 - Plano acotado de la fuente programable	43
Ilustración 23 - Vista frontal de la carga electrónica	44
Ilustración 24 - Esquema del panel frontal de la carga electrónica.....	45
Ilustración 25 - Esquema del panel trasero de la carga electrónica	46
Ilustración 26 - Curva operacional de la carga electrónica.....	49
Ilustración 27 - Imagen de conjunto de baterías.....	50
Ilustración 28 - Baterías Enersol T 376	52
Ilustración 29 - Vista frontal del PLC.....	53
Ilustración 30 - BMX CPS2000.....	54
Ilustración 31 - CPU P34 20302.....	54
Ilustración 32 - Módulo DDI 1602.....	55
Ilustración 33 - Módulo DDO1602	55
Ilustración 34 - Módulo AMI 0402	55
Ilustración 35 - AMO 0210	56
Ilustración 36 - Sistema de purificación de agua	57
Ilustración 37 - Transductor de presión.....	58
Ilustración 38 - Termopar tipo T	59
Ilustración 39 - Caudalímetro de agua.....	59
Ilustración 40 - Electroválvula.....	60
Ilustración 41 - Regulador de presión.....	61

Ilustración 42 - Pasarela de comunicación CAN/CANOpen	62
Ilustración 43 - Esquema de buses de campo.....	63
Ilustración 44 - Esquema del bus de corriente	64
Ilustración 45 - Magnetotérmico de fuente programable.....	65
Ilustración 46 - Magnetotérmico pila de combustible	65
Ilustración 47 - Magnetotérmico de las baterías.....	65
Ilustración 48 - Caja de protecciones.....	66
Ilustración 49 - Interruptor diferencial	67
Ilustración 50 - Cable apantallado	68
Ilustración 51 - Cables de alimentación.....	68
Ilustración 52 - Fuente de alimentación auxiliar de 0-36VDC	69
Ilustración 53 - Fuente auxiliar de 12VDC.....	69
Ilustración 54 - Seta de emergencia	70
Ilustración 55 - Termo eléctrico.....	72
Ilustración 56 - Sistema de nitrógeno.....	73
Ilustración 57 - Punto de consumo de nitrógeno	73
Ilustración 58 - Extintor tipo ABC.....	75
Ilustración 59 - Detector de fugas de H2 portátil	76
Ilustración 60 - Válvula de seguridad.....	76
Ilustración 61 - Esquema del circuito de gases	77
Ilustración 62 - Esquema de electroválvulas de gases.....	80
Ilustración 63 - Esquema de electroválvulas de agua.....	80
Ilustración 64 - Transformador de señal de termopares a 4-20mA	83
Ilustración 65 - Convertidor de frecuencia a 4-20mA.....	84
Ilustración 66 - Esquema de PLCs, OPCs y SCADA	85
Ilustración 67 - Esquema de buses CAN	86
Ilustración 68 - Representación tridimensional de depósito de hidruros	87
Ilustración 69 - Depósito de hidruros metálicos.....	87
Ilustración 70 - Línea de hidrógeno instalada con depósito de hidruros	88
Ilustración 71 - Termo eléctrico.....	89
Ilustración 72 - Caudalímetro de agua instalado.....	90
Ilustración 73 - Visión general del software Unity.....	91
Ilustración 74 - Posibles estados del programa	94
Ilustración 75 - Predecesores y sucesores del estado reposo	94
Ilustración 76 - Predecesores y sucesores del estado puesta automático	95
Ilustración 77 - Predecesores y sucesores del estado puesta en reposo	96
Ilustración 78 - Predecesores y sucesores del estado puesta en emergencia	96
Ilustración 79 - Predecesores y sucesores del estado automático.....	97
Ilustración 80 - Predecesores y sucesores del estado manual	98
Ilustración 81 - Predecesores y sucesores del estado emergencia	99
Ilustración 82 - Visión general del software Vijeo citect	100
Ilustración 83 - Pantalla principal del SCADA.....	102
Ilustración 84 - Pantalla de supervisión de fluidos	103
Ilustración 85 - Subpantalla de calibración de sensores.....	103

Ilustración 86 - Subpantalla de pila de combustible.....	104
Ilustración 87 - Pantalla de supervisión del bus de corriente.....	104
Ilustración 88 - Subpantalla de control de fuente programable	105
Ilustración 89 - Subpantalla del convertidor del electrolizador	105
Ilustración 90 - Subpantalla de visualización de tendencias	106
Ilustración 91 - Subpantalla de supervisión y configuración de baterías	106
Ilustración 92 - Pantalla resumen de funcionamiento	107
Ilustración 93 - Subpantalla de gestión de errores.....	107
Ilustración 94 - Pantalla de gestión de perfiles de generación y consumo de electricidad	108
Ilustración 95 - Pantalla de configuración de parámetros.....	109
Ilustración 96 - Gráfica de caracterización de la pila de combustible	111
Ilustración 97 - Rendimiento de la pila vs potencia eléctrica	112
Ilustración 98 - Gráfica de caracterización del electrolizador	113
Ilustración 99 - Rendimiento del electrolizador vs Potencia eléctrica	114
Ilustración 100 - Gráfica de caracterización de convertidor de pila de combustible	115
Ilustración 101 - Rendimiento convertidor + pila	116
Ilustración 102 - Gráfica de caracterización de convertidor del electrolizador.....	117
Ilustración 103 - Rendimiento electrolizador + convertidor.....	118
Ilustración 104 - Caracterización de baterías	119
Ilustración 105 - Relación de estado de carga y tensión interna de baterías.....	119
Ilustración 106 - Esquema de simulación del sistema completo en un día	121
Ilustración 107 - Potencia demandada y generada en ensayo diario.....	122
Ilustración 108 - Evolución de venta compra de electricidad.....	122
Ilustración 109 - Evolución de consumo y generación de hidrógeno, y estado de caga de baterías	123