



LIFE Project Number

<LIFE08 ENV/E/000136>

Acción 7. Entregable 1. Primeros resultados y mejoras (actualizado a 31/06/2014).

Reporting Date

<20/12/2013>

LIFE+ PROJECT NAME or Acronym

<ZERO - HYTECHPARK>

Data Project

Project location	Walqa Technology Park. Ctra. Zaragoza N330A, Km 566, 22197 Cuarte (Huesca), SPAIN
Project start date:	<01/01/2010>
Project end date:	<31/12/2010>
Total budget	1.408.110€
EC contribution:	678.080€
(%) of eligible costs	48,16%

Data Beneficiary

Name Beneficiary	Foundation for the Development of New Hydrogen Technologies in Aragon
Contact person	Mr Luis Correas
Postal address	Walqa Technology Park. Ctra. Zaragoza N330A, Km 566, 22197 Cuarte (Huesca), SPAIN
Telephone	0034 974 215258
Fax:	0034 974 215261
E-mail	director@hidrogenoaragon.org
Project Website	www.zerohytechpark.eu

INDICE

INDICE	2
FIGURAS	4
RESUMEN EJECUTIVO	8
OBJETIVO.....	9
DESARROLLO DEL DOCUMENTO	10
1. Modificaciones y mejoras realizadas en el vehículo	10
1.1. Desarrollo software de medición y control.....	10
1.2. Optimización y construcción del sistema de H ₂ a 350 bar.	13
1.3. Homologación del vehículo de pila de combustible de hidrógeno.....	15
1.4. Test de calidad.	16
2. Modificaciones y mejoras realizadas en la pila de cogeneración	26
2.1. Instalación de fancoil para calefacción	26
2.2. Sistema de control	27
2.3. Programación del sistema de control	28
2.4. Interfaz de usuario	30
2.5. Caudalímetro.....	32
3. Modificaciones y mejoras realizadas en el sistema de potencia portátil con hidrogeno (HyTow).....	33
4. Modificaciones y mejoras realizadas en la instalación de autoconsumo.....	37
5. Modificaciones y mejoras realizadas en la carretilla de pila de combustible de hidrogeno.....	39
6. Historia del vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno	41
6.1. El porqué del cambio al vehículo eléctrico	42
6.2. Tecnologías del hidrógeno	43
6.3. Generación de hidrógeno	43
6.4. Pilas de combustible	43
6.5. Vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno.....	53
6.6. Caso real en Fundación Hidrógeno Aragón.....	62
7. Plan de ensayos del sistema de compresión mediante hidruros metálicos.	81
7.1. Resultados del plan de ensayos	82

CONCLUSIONES	85
RESUMEN PARA EL PUBLICO GENERAL.....	86

FIGURAS

Figura 1. Sensor de tensión.....	10
Figura 2. Sensor de presión 0-400 bar	11
Figura 3. Captura de pantalla software REVA (estado FC)	12
Figura 4. Captura de pantalla software control REVA.....	12
Figura 5. Captura de pantalla software estado contactores REVA.	13
Figura 6. Circuito de alimentación de hidrogeno del vehículo de pila de combustibles de hidrógeno.	14
Figura 7. Depósitos Dynetek	14
Figura 8. Esquema conexión Dynetek.	15
Figura 9. Conexión conector eléctrico.....	16
Figura 10. Conexión manguera hidrogeno.....	17
Figura 11. Electroválvula H2 (estado ON).	19
Figura 12. Electroválvula H2 (estado OFF).	19
Figura 13. Fusibles de potencia.....	20
Figura 14. Resistencia entre chasis y bus DC.....	21
Figura 15. Conexiones de potencia controladora	22
Figura 16. Conexiones alimentación electroválvulas H2.....	22
Figura 17. Conexiones cables control controladora.....	23
Figura 18. Tensión en las batería auxiliar (estado ON-OFF).....	24
Figura 19 Protección conexiones de potencia.	25
Figura 20. Protección conexiones de potencia.	25
Figura 21. Fancoil en el techo del laboratorio.....	26
Figura 22. Detalle de la instalación de la pila de cogeneración y la bomba de la calefacción.....	26

Figura 23. Cuadro eléctrico con los diferentes componentes.	27
Figura 24. Esquema eléctrico de la instalación.	28
Figura 25. Ejemplo de un control ON-OFF de temperatura.	29
Figura 26. Página principal con los diferentes menús.....	30
Figura 27. Visualización de la instalación y del estado de los sensores y componentes.	30
Figura 28. Control del modo manual de la pila donde se puede encender y apagar la pila, así como elegir la potencia que entrega al inversor.	31
Figura 29. Modo automático donde se elige la temperatura deseada del depósito y la pila va modificando la potencia según dicha temperatura.	31
Figura 30. Caudalímetro instalado en la pila de cogeneración.	32
Figura 31. Conexión rápida en la botella de hidrógeno.	33
Figura 32. Regulador de presión de hidrógeno.	34
Figura 33. Brazo para el manejo del HyCarro.....	34
Figura 34. Refrigeración del sistema de control.	35
Figura 35. Rejillas traseras para la refrigeración.	36
Figura 36. Caja general de protección autoconsumo	37
Figura 37. Caja general de protección autoconsumo	38
Figura 38. Placa de control power pack.....	39
Figura 39. Power pack.....	40
Figura 40. Vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno.....	42
Figura 41. Stack pila de combustible.....	44
Figura 42. Gráfico comparativo del rango de potencias en función de su aplicación	48
Figura 43. Gráfico comparativo de sistemas de generación de potencia	49
Figura 44. Elementos de un vehículo de pila de combustible de hidrógeno	50

Figura 45. Esquema básico de una batería	55
Figura 46. Baterías de litio.....	57
Figura 47. Esquema de funcionamiento de una pila de combustible en un vehículo	58
Figura 48. Esquema de una pila de combustible PEM	59
Figura 49. Curva de polarización de una pila de combustible.....	60
Figura 50. Esquema vista planta REVA.....	63
Figura 51. Vista lateral derecha REVA.....	64
Figura 52. Vista lateral izquierda REVA	64
Figura 53. Vista trasera REVA.....	65
Figura 54. Vista delantera REVA.....	65
Figura 55. Interior sin asientos (Baterías Pb-Acido).....	66
Figura 56. Control vehículo eléctrico de baterías	66
Figura 57. Diagrama de bloques FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle).....	67
Figura 58. Batería de Litio FCEV	68
Figura 59. Curva de potencia FC.....	69
Figura 60. Perfil FCEV	70
Figura 61 . Sistema de alimentación de hidrógeno.....	73
Figura 62. Soporte para la colocación de los diferentes componentes	73
Figura 63. Componentes en la parte trasera del vehículo	74
Figura 64. Circuito de alimentación de la pila de combustible	74
Figura 65. Depósitos de hidrógeno	75
Figura 66. Certificado de taller Team Elias.....	76
Figura 67. Inspección técnica REVA.....	77

Figura 68. ITV REVA.....	77
Figura 69. Informe ITV REVA	78
Figura 70. Recarga del vehículo de hidrógeno	80
Figura 71. Vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno.....	81
Figura 72. Compresión de hidrógeno a 30 bar en rango de temperatura 25 – 80 °C y 80 – 150 °C.83	
Figura 73. Comparación entre el caudal de entrada de hidrógeno y presión alcanzada para los ensayos 25 – 80 °C y 80 – 150 °C.....	83
Figura 74. Evolución de la presión de salida en función de la presión de entrada.....	84

RESUMEN EJECUTIVO

A través de este informe, se pretende mostrar las diferentes mejoras que se han realizado en los diferentes prototipos que se han realizado dentro del proyecto LIFE + Zero HytechPark. Así como los ensayos llevados a cabo para los prototipos.

Y de esta manera ver como con estas mejoras, se produce una mejora sustancial de las prestaciones que teníamos en las diferentes aplicaciones y como de esta manera se reducen las emisiones de CO₂.

También se muestran las mejoras realizadas en la pila de cogeneración para su integración en la calefacción del edificio de la Fundación Hidrógeno Aragón.

Posteriormente, se va desarrollar una breves descripción de las configuraciones, tanto de los vehículos eléctricos de baterías, como de los vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrogeno. Finalizando con los ensayos del sistema de compresión de hidrógeno.

Se dará valor a las capacidades que se han adquirido, con la elaboración de este proyecto y que nos ha permitido conseguir aptitudes tanto teóricas como prácticas.

OBJETIVO

Con la ejecución de esta acción, el objetivo que pretendemos cumplir es la mejora de la eficiencia de las aplicaciones anteriormente desarrolladas y de esta manera conseguir una eficiencia mayor en las aplicaciones y también poder trasladar dichas aplicaciones a poder utilizarlas en aplicaciones reales.

Por ejemplo, conseguir que el vehículo de pila de combustible de hidrogeno pueda circular por la vía pública y ser utilizado por cualquier usuario interesado y debidamente capacitado otra de las aplicaciones reales es el aprovechamiento del calor generado por una pila de combustible en calentar un laboratorio de nuestro edificio.

DESARROLLO DEL DOCUMENTO

1. Modificaciones y mejoras realizadas en el vehículo

Después de realizar la transformación del vehículo eléctrico de baterías existente en la Fundación Hidrogeno Aragón a un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno. Se han llevado a cabo una serie de modificaciones para obtener un mayor rendimiento en el vehículo de pila de combustible y aparte dotar a este vehículo de un mayor valor, ya que podríamos realizar diferentes ensayos, para ver que realmente la autonomía con respecto al vehículo eléctrico de baterías se ve mejorada considerablemente. Y todas estas mejoras han sido realizadas, con el fin de poder superar la inspección técnica de vehículos, para poder utilizar el vehículo como si de un vehículo convencional se tratara.

A continuación se detallan las diferentes modificaciones y mejoras realizadas en el vehículo.

1.1. Desarrollo software de medición y control

Se ha desarrollado un software de control, para la medición y control de los principales componentes del vehículo, para de esta manera, conseguir que el manejo y conducción del vehículo, sea segura.

Para ello, se han instalado en el vehículo unos sensores de tensión, que se encargan de la medida de las tensiones de los diferentes componentes, y un sensor de alta presión encargado de mostrar en el display, la cantidad de hidrogeno que tenemos disponible.

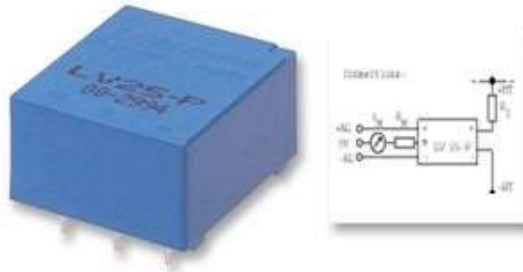


Figura 1. Sensor de tensión.



Figura 2. Sensor de presión 0-400 bar

En la tabla que aparece a continuación, se muestran los sensores de tensión que se han instalado en el interior del vehículo.

Tabla 1. Sensores.

COMPONENTE	TENSION DE FUNCIONAMIENTO	FUNCION
Electroválvula	12 Vdc	Alimentación del sistema de hidrogeno
Contactora de potencia	12 Vdc	Disposición de potencia en el vehículo
Tensión batería auxiliar	12 Vdc	Alimentación auxiliares vehículo (línea de vida, FC...)
Tensión batería de potencia	56-72 Vdc	Estabilización de la tensión del tren de potencia del vehículo
Crash sensor	12 Vdc	Estado de la línea de vida del vehículo
Presión H ₂	0-5 Vdc	Nivel de presión de los depósitos de hidrogeno (0-400 bar)

Cabe destacar que estos sensores pueden medir tensiones de 5 hasta 500 V, estas tensiones se encuentran en el rango de las que se van a medir en el tren de potencia del vehículo de pila de combustible de hidrógeno.

Con la instalación de estos sensores en el vehículo, y su posterior monitorización, en un software que se ha desarrollado para tal efecto, se conseguirá un rápido y correcto diagnóstico del estado en el que se encuentra el vehículo.

Se adjunta una captura de pantalla del software desarrollado.

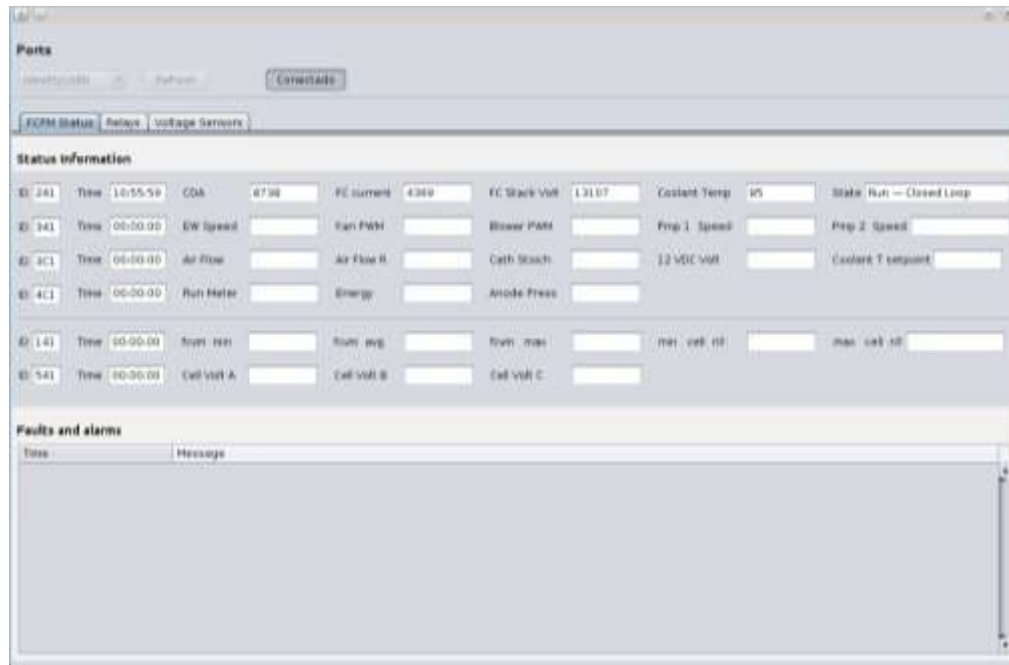


Figura 3. Captura de pantalla software REVA (estado FC).

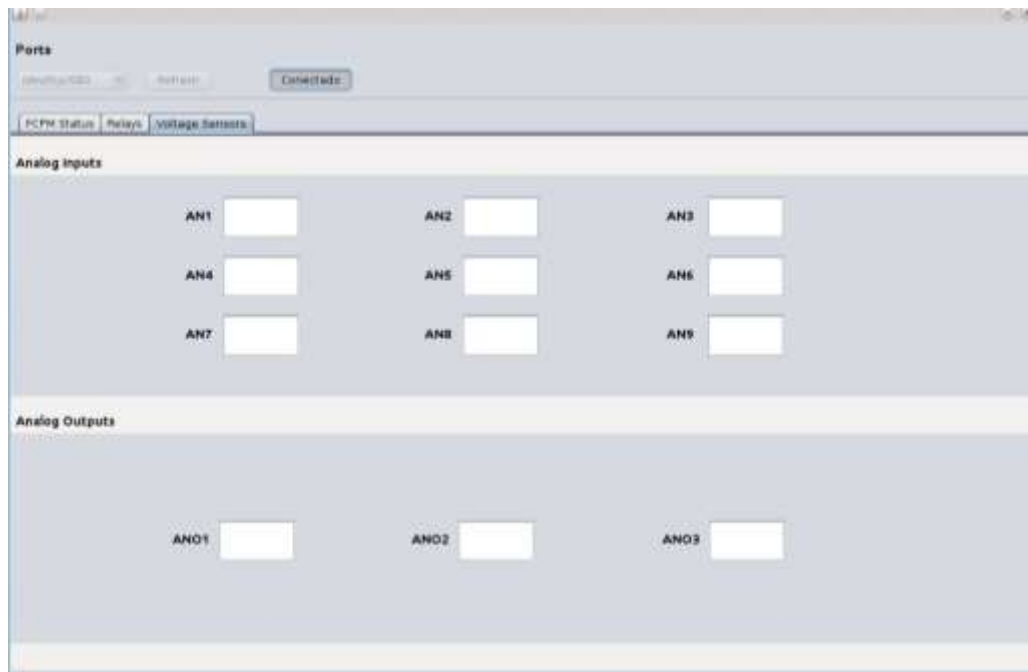


Figura 4. Captura de pantalla software control REVA.

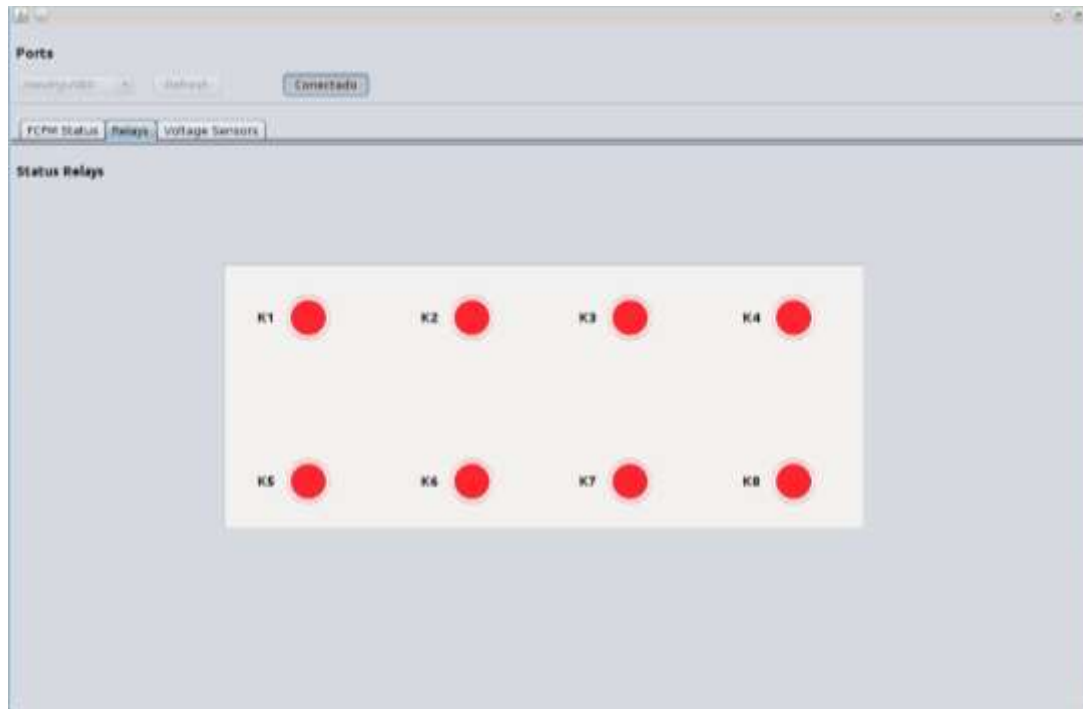


Figura 5. Captura de pantalla software estado contactores REVA.

1.2. Optimización y construcción del sistema de H₂ a 350 bar.

El sistema de almacenamiento está formado por dos depósitos de alta presión (350 bar) del fabricante canadiense Dynetek, y dos reguladores de presión, para regular la presión de almacenamiento a la presión de alimentación de la pila de combustible y toda la racorería y el tubing necesario, para la unión de los diferentes elementos que componen el circuito. Y además también se tiene un sensor de presión de alta presión para el control de la presión en los depósitos y para que conozca el usuario el hidrogeno que queda disponible.

Un regulador se encarga de reducir la presión de 350 bar hasta 9 bar y el segundo regulador, hace una regulación de presión más específica de 9 bar hasta 5 bar que es la presión de alimentación de la pila.

La presión de almacenamiento es de 350 bar ya que es la presión máxima que dispensa la hidrogenera de la Fundación Hidrogeno Aragón.

La elección de estos depósitos, además de la presión de almacenamiento, es también el pequeño tamaño que tienen los mismos, destacar que estos depósitos estarán situados en la parte inferior de los asientos delanteros del vehículo.

En la imagen que aparece a continuación se pueden ver, el cajón que se ha construido para la disposición de los depósitos en el interior del vehículo.



Figura 6. Circuito de alimentación de hidrogeno del vehículo de pila de combustibles de hidrógeno.



Figura 7. Depósitos Dynetek

Para la construcción del sistema de hidrogeno se ha seguido el esquema que nos proporcionó el fabricante de los depósitos, el cual se muestra a continuación. La instalación del sistema de hidrogeno se ha llevado a cabo, siguiendo aparte de las instrucciones que nos proporcionó el fabricante, cumpliendo una serie de premisas, dadas por el anexo V del reglamento 110, es el reglamento adecuado para que la homologación de este vehículo sea un éxito.

Este anexo habla sobre la fijación de los depósitos de GLP Y GNC, que es lo que más se asemeja en cuanto a reglamentación se refiere al hidrogeno actualmente.

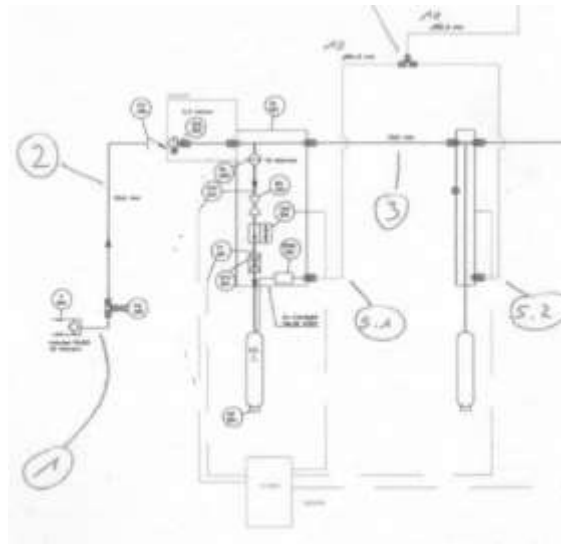


Figura 8. Esquema conexión Dynetek.

1.3. Homologación del vehículo de pila de combustible de hidrógeno.

Uno de los aspectos más importantes, de este proyecto y para de esta manera conseguir una reducción de las emisiones de CO₂, es conseguir la homologación del vehículo tras las modificaciones realizadas, y así conseguir que la utilización del vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno sea una inmediata realidad.

Los pasos a seguir en la homologación del vehículo eléctrico de pila de combustible se muestran a continuación:

- 1º Proyecto de reforma describiendo las modificaciones en función de la seguridad vial
- 2º Dictamen de actitud de reforma del fabricante o un laboratorio certificado. Ensayos.
- 3º Emisión de "Certificado Taller" como que se han realizado las modificaciones de reforma que pone el proyecto de reforma.

4º Se lleva el vehículo a la ITV con: Tarjeta ITV (vehículo eléctrico), proyecto, dictamen y certificado de taller. ITV emite una nueva tarjeta o modifica la existente.

5º El vehículo YA PUEDE CIRCULAR por la vía pública.

1.4. Test de calidad.

Para que el uso del vehículo para los usuarios sea seguro, se ha realizado un test de calidad, con el fin de demostrar que la conducción de este vehículo está totalmente seguro. Para ello, se ha analizado los siguientes aspectos:

Proceso de carga eléctrica

Proceso de carga de hidrogeno

Seguridad eléctrica

Seguridad de hidrogeno

Usuario.

Para analizar que el *proceso de carga eléctrica* del vehículo se realiza con seguridad y no puede producir ningún tipo de desperfecto, se han realizado los siguientes ensayos.

- ¿El Conector entra correctamente?

Se comprobaba que el conector de carga entra correctamente en elemento de carga del vehículo. Para comprobarlo se realizó la prueba y se toma una foto de dicho proceso para justificar dicho ensayo.



Figura 9. Conexión conector eléctrico.

- **Conexión del vehículo a la toma de corriente durante más de 24 horas.**

En este ensayo se verificara que tras estar conectado el vehículo durante 24 horas al enchufe. Este se encuentra en perfectas condiciones, se verificara que la batería se encuentra a la tensión adecuada y la temperatura de la batería es la correcta. También se verificará que tanto los elementos del vehículo como los de carga están en perfectas condiciones.

Tras la realización del ensayo se comprobó que todos los elementos se encontraban en perfectas condiciones.

- **El vehículo no se mueve cuando carga.**

En este ensayo se verifico que el vehículo permanece inmóvil cuando está cargando a pesar de que se realice todo lo posible para ponerlo en funcionamiento.

Posteriormente se analizado el proceso de carga de hidrogeno, para ellos se realizaron los siguientes ensayos.

- **¿El conector entra correctamente mecánicamente?**

Se conectó la manguera de recarga en el receptáculo, la manguera entra correctamente de una manera fácil sin tener que realizar ningún esfuerzo ni torsión. El llenado del depósito se realizó correctamente hasta una presión de 80 bar, la disponible en el momento de realización de la recarga.



Figura 10. Conexión manguera hidrogeno.

- **La conexión entre el boquerel y el receptáculo es estanca, (sin fugas).**

Se comprobó con el detector de hidrogeno la estanqueidad del acople, no se detectaron fugas de hidrogeno durante la carga.

- **El vehículo no se mueve cuando carga.**

El vehículo permanece inmóvil durante la carga, el contacto y relé colocado para tal fin en la tapa del receptáculo funciona perfectamente.

- **No hay fugas de en el cajón de H2 durante la carga.**

Se detectaron fugas de hidrogeno en el cajón, debido a una fuga existente en la salida de los depósitos de hidrogeno, la cual se subsano, por lo tanto no existen fugas de hidrogeno en el cajón ni durante la carga ni durante el uso del vehículo.

También se realizaron una serie de ensayos que permitieron demostrar la seguridad en reposo del sistema de hidrogeno.

- **El sistema no fuga en reposo.**

Se abrieron las electroválvulas y se ajustó el regulador, tras un largo periodo de tiempo, exactamente un fin de semana, se observó que no existía caída de presión en el regulador de presión, por lo tanto, no existía fugas en el sistema.

- **El sistema automático de corte de H₂ funciona correctamente.**

Se comprueba que después de activar el sensor de choque se cierran las electroválvulas y el circuito de hidrogeno queda cerrado.

Como se puede observar en las siguientes imágenes antes de activar el sensor la electroválvula se encuentra alimentada con lo que abre el circuito de hidrogeno.

Una vez activado el sensor esta electroválvula sé que queda sin tensión y cierra el circuito de hidrogeno.



Figura 11. Electroválvula H2 (estado ON).



Figura 12. Electroválvula H2 (estado OFF).

Al encontrarnos frente a un vehículo eléctrico, un punto muy importante de la seguridad el vehículo, es la *seguridad eléctrica* del mismo. Para ello, se realizaron los siguientes ensayos

- **Los fusibles de potencia son los de I max admisible por el dispositivo y el cableado**

Fusible de 250 A, cable de 70mm²: Intensidad máxima admisible cable al aire 244 A, tabla I ITC-BT 19. No Cumple. La intensidad máxima viene determinada por el convertidor, la intensidad máxima de este es de 210 A por lo que se debe de sustituir el fusible y colocar uno de dicha intensidad, 200 A.

Se ha colocado un fusible de 200 A, y se ha limitado la controladora a 200 A de manera que toda la instalación queda dimensionada correctamente.

Fusible de 100 A, cable de 70mm²: OK

Los cables elegidos cumplen los requisitos de caída de tensión, según el reglamento.



Figura 13. Fusibles de potencia.

- **La tensión entre el chasis y positivo/negativo del sistema es inferior a 50V (ver anexo 4 del reglamento 100).**

V+;chasis=64,95 V

V-; chasis=0,24 V

Existe un bus de 70V por lo que la tensión del sistema supera dicho valor.

- **La resistencia entre el chasis y positivo/negativo del sistema es al menos 500 Ohm/V (ver anexo 4 del reglamento 100).**

El cálculo de la resistencia de aislamiento se realizó bajo las prescripciones del anexo 4 del reglamento 100.



Figura 14. Resistencia entre chasis y bus DC.

Como se puede observar en la imagen anterior el valor de la resistencia de aislamiento entre el V+ de la controladora y tierra es mayor de 1000 ohmios.

- **Las conexiones eléctricas están bien sujetas mecánicamente (tornillos, empalmes, conectores) evitando desconexiones o "mal-contacto" con vibraciones.**

Se comprobaron que todas las conexiones de los cables, se encontraran correctamente unidas.



Figura 15. Conexiones de potencia controladora

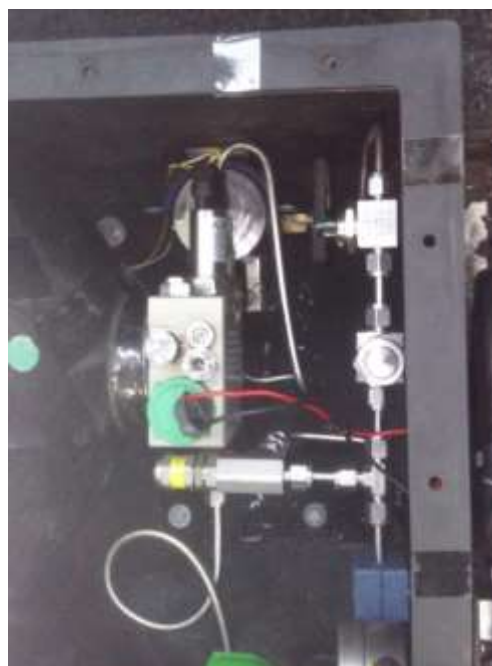


Figura 16. Conexiones alimentación electroválvulas H2.



Figura 17. Conexiones cables control controladora.

- **Los equipos de más de 50V tienen la pegatina de "alto voltaje".**

Se colocó en aquellos puntos en los que existe tensión mayor de 50V.

- **El sistema manual de corte de las baterías funciona correctamente.**

Se comprueba la continuidad del sistema de corte de las baterías, estos elementos se encuentran en perfecto estado.

Cuando el interruptor esta en OFF no existe paso de corriente, tensión 12V.

Cuando se activa el interruptor la tensión entre los dos puntos del interruptor es 0 con lo que deja pasar la corriente.



Figura 18. Tensión en las batería auxiliar (estado ON-OFF).

- **No hay partes vivas visibles ni accesibles para el conductor ni para el técnico (cuando se tiene desmontado todas las carcasas).**

Se protegieron todos los contactos visibles mediante goma protectora, para así de esta manera evitar, que se pueda producir algún accidente.



Figura 19 Protección conexiones de potencia.



Figura 20. Protección conexiones de potencia.

Se cubrieron dichos contactos con goma protectora, de manera que no queda visible ningún punto con tensión.

- **No hay continuidad entre V+ y chasis ni V- y chasis (batería de tracción y batería auxiliar).**

Se comprueba la continuidad en todas las partes accesibles conductoras del chasis y no se observan continuidades entre la batería de tracción y chasis.

2. Modificaciones y mejoras realizadas en la pila de cogeneración

2.1. Instalación de fancoil para calefacción

Como aplicación de la pila de cogeneración, se ha decidido instalar un fancoil para calefactar un laboratorio de las instalaciones de la Fundación Hidrógeno Aragón.

La instalación se compone de dicho fancoil con termostato y una bomba de agua para el movimiento del agua caliente del depósito.



Figura 21. Fancoil en el techo del laboratorio.



Figura 22. Detalle de la instalación de la pila de cogeneración y la bomba de la calefacción.

2.2. Sistema de control

Se ha realizado un sistema de control basado en un PLC programando un modo automático basado en mantener la temperatura del depósito a una temperatura constante elegida por el usuario.

Este sistema se compone de:

Sensores de temperatura

Sensor de corriente

Sensor de tensión

Caudalímetro de hidrógeno

PLC Twido (Schneider Electric)

Pantalla Magelis para la visualización de datos

Arduino para el encendido de la pila de combustible

Relés de activación

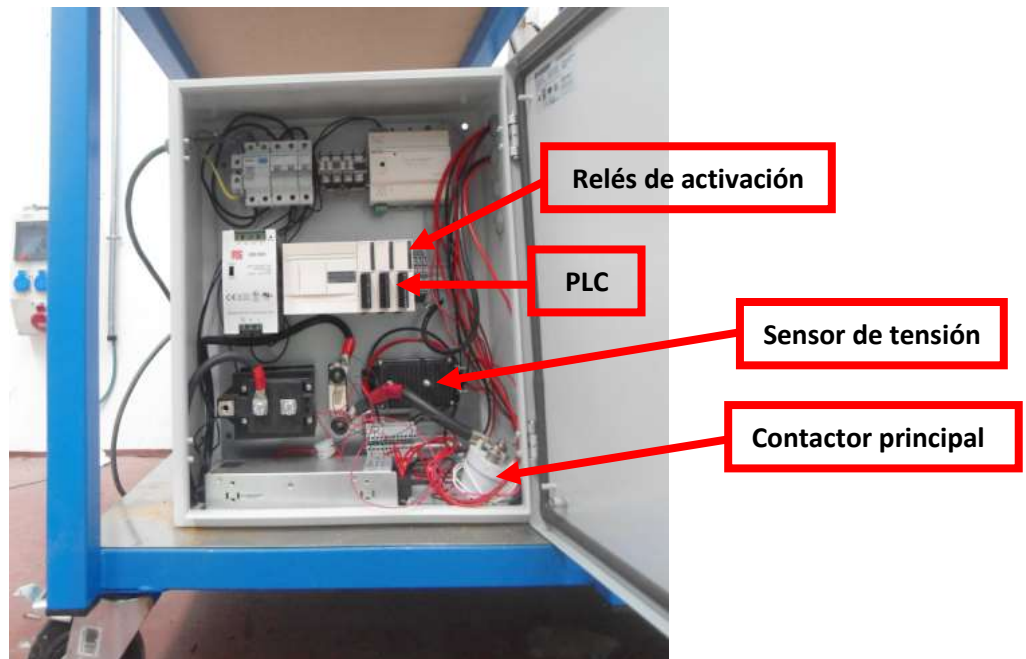


Figura 23. Cuadro eléctrico con los diferentes componentes.

A continuación se muestra el esquema eléctrico de conexión de los componentes anteriormente expuestos.

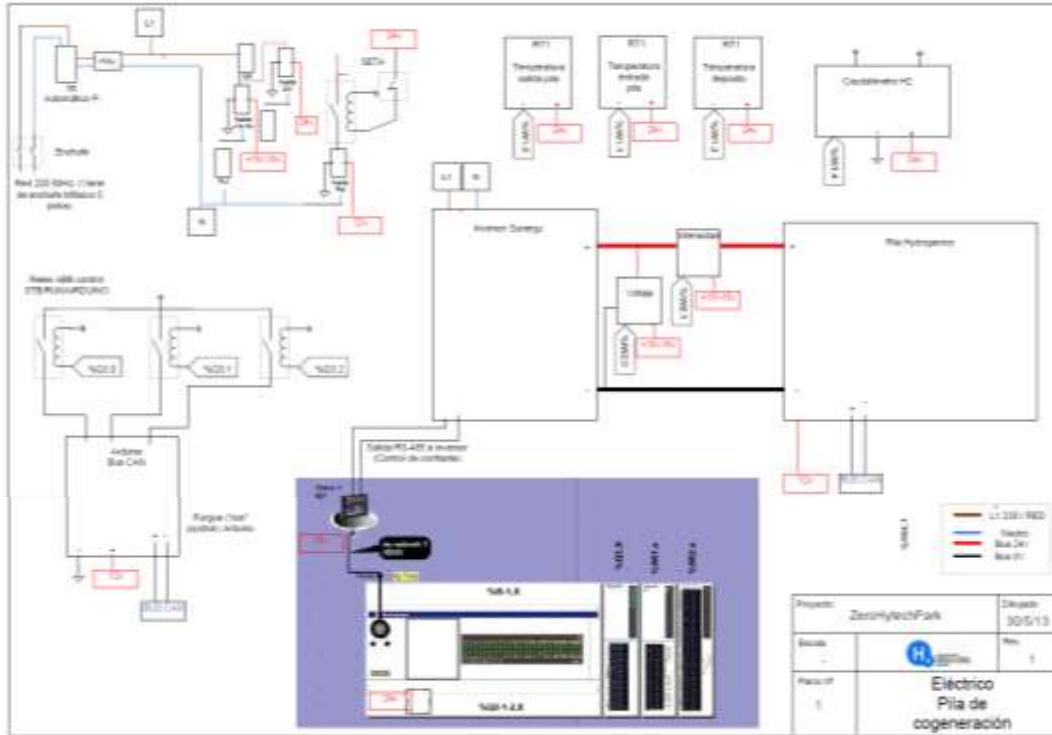


Figura 24. Esquema eléctrico de la instalación.

2.3. Programación del sistema de control

El sistema de control se basa en dos modos: el automático y el manual.

En el modo manual, se permite al usuario elegir la potencia que quiere que de la pila de combustible para mantener la temperatura del depósito. En operación normal de funcionamiento no se utilizaría esta opción.

En modo automático, se permite al usuario elegir la temperatura a la que desea que se mantenga el depósito. El PLC enciende la pila de combustible cuando la temperatura elegida por el usuario es menor que la del depósito y la apaga una vez alcanzada la misma.

Para evitar que la pila se esté encendiendo y apagando continuamente a pequeñas variaciones de temperatura (diferencia entre la temperatura deseada y la del depósito menor de 5°C) se diseña un sistema de histéresis por el cual hasta que la temperatura deseada no sea 5°C menor que la temperatura del depósito, la pila de combustible no se enciende.

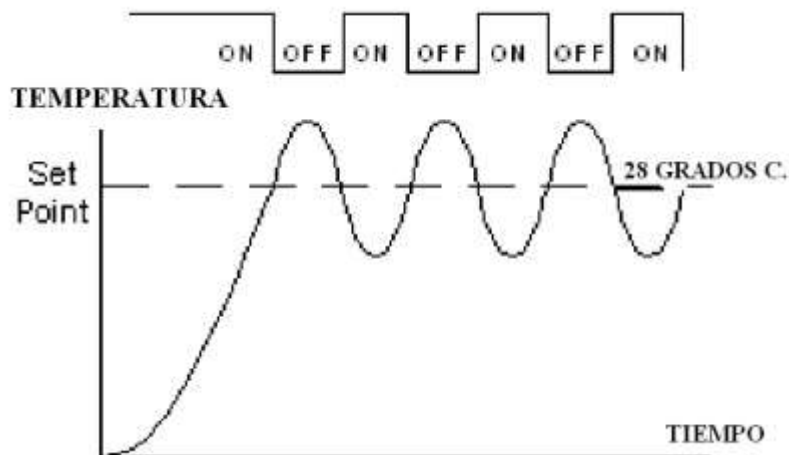


Figura 25. Ejemplo de un control ON-OFF de temperatura.

A continuación se muestra la configuración de entradas/salidas del PLC de control con todos los componentes y variables que se utilizan.

Tabla 2. Relación de las entradas y salidas del PLC de control

Entradas digitales			Salidas digitales			Entradas Analógicas		
Simbolo	Nombre	Dispositivo	Simbolo	Nombre	Dispositivo	Simbolo	Nombre	Dispositivo
F_INV	%I0.0	Fallo Inversor	RUN_FC	%Q3.0	Run pila	T_DEP	%IW1.0	Temperatura depósito
CONT_CAL	%I0.1	Contador de Calorías	STB_FC	%Q3.1	Standby pila	T_IN	%IW1.1	Temperatura entrada a la pila
	%I0.2		INIT_FC	%Q3.2	Inicializar pila	T_OUT	%IW1.2	Temperatura salidas de la pila
	%I0.3			%Q0.3			%IW1.3	
	%I0.4			%Q0.4		Q_H2	%IW1.4	Caudalimetro hidrógeno
	%I0.5			%Q0.5			%IW1.5	
	%I0.6			%Q0.6			%IW1.6	
	%I0.7			%Q0.7			%IW1.7	
	%I0.8			%Q0.8		V_FC	%IW2.0	Tensión pila
	%I0.9			%Q0.9		I_FC	%IW2.1	Intensidad pila
	%I0.10						%IW2.2	
	%I0.11						%IW2.3	
	%I0.12						%IW2.4	
	%I0.13						%IW2.5	
							%IW2.6	
							%IW2.7	

2.4. Interfaz de usuario

Para una correcta visualización de los datos y para facilitar al usuario el manejo de la instalación, se ha desarrollado un interfaz de usuario por medio de una pantalla táctil:

Dispone de diferentes menús para ir navegando

Visualización del estado de los sensores en la instalación

Apartado donde se visualizan todas las temperaturas, tensión e intensidad

Modos de control: manual y automático



Figura 26. Página principal con los diferentes menús.

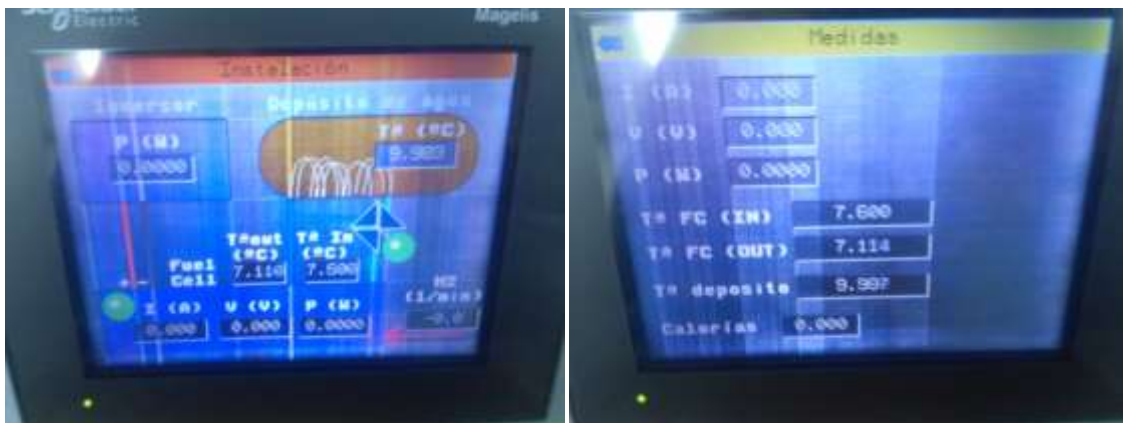


Figura 27. Visualización de la instalación y del estado de los sensores y componentes.



Figura 28. Control del modo manual de la pila donde se puede encender y apagar la pila, así como elegir la potencia que entrega al inversor.



Figura 29. Modo automático donde se elige la temperatura deseada del depósito y la pila va modificando la potencia según dicha temperatura.

2.5. Caudalímetro

Se ha llevado a cabo la instalación de un caudalímetro, el que dispone de dos sondas de temperatura a través de las cuales podemos ver la cantidad de energía en forma de calor que produce la pila de combustible dedicada a la cogeneración, instalada en las Fundación Hidrogeno Aragón.



Figura 30. Caudalímetro instalado en la pila de cogeneración.

3. Modificaciones y mejoras realizadas en el sistema de potencia portátil con hidrogeno (HyTow)

Las principales mejoras y modificaciones que se han llevado a cabo dentro de esta aplicación van encaminadas a mejorar tanto la eficiencia como la manejabilidad de este sistema de potencia portátil con hidrogeno, asi de esta manera se aumenta la usabilidad del mismo.

Dentro de la instalación de hidrogeno, se ha llevado a cabo la instalacion de una conexión rápida a la salida de la botella de hidrogeno, para de esta manera el cambio de botellas si es necesario se realice de la forma más rápida posible.

Dentro del sistema de alimentación de hidrogeno, se ha instalado un regulador de alta presión que regula la presión desde 200 bar, que es la presión de almacenamiento de la botella hasta 1.5 bar que es la presión de entrada de la pila de combustible de hidrogeno.



Figura 31. Conexión rápida en la botella de hidrógeno.



Figura 32. Regulador de presión de hidrógeno.

Para mejorar la manejabilidad del sistema, se han realizado alguna modificación mecánica, en el brazo realizado en fibra de carbono, ya que anteriormente tenía una longitud elevada y su manejo era un poco más complicado que después de realizar esta modificación.



Figura 33. Brazo para el manejo del HyCarro.

Para prevenir posibles problemas que puedan aparecer por una mala refrigeración, de los diferentes componentes encargados se han colocado varios ventiladores que se encargaran de una correcta refrigeración de los diferentes componentes.

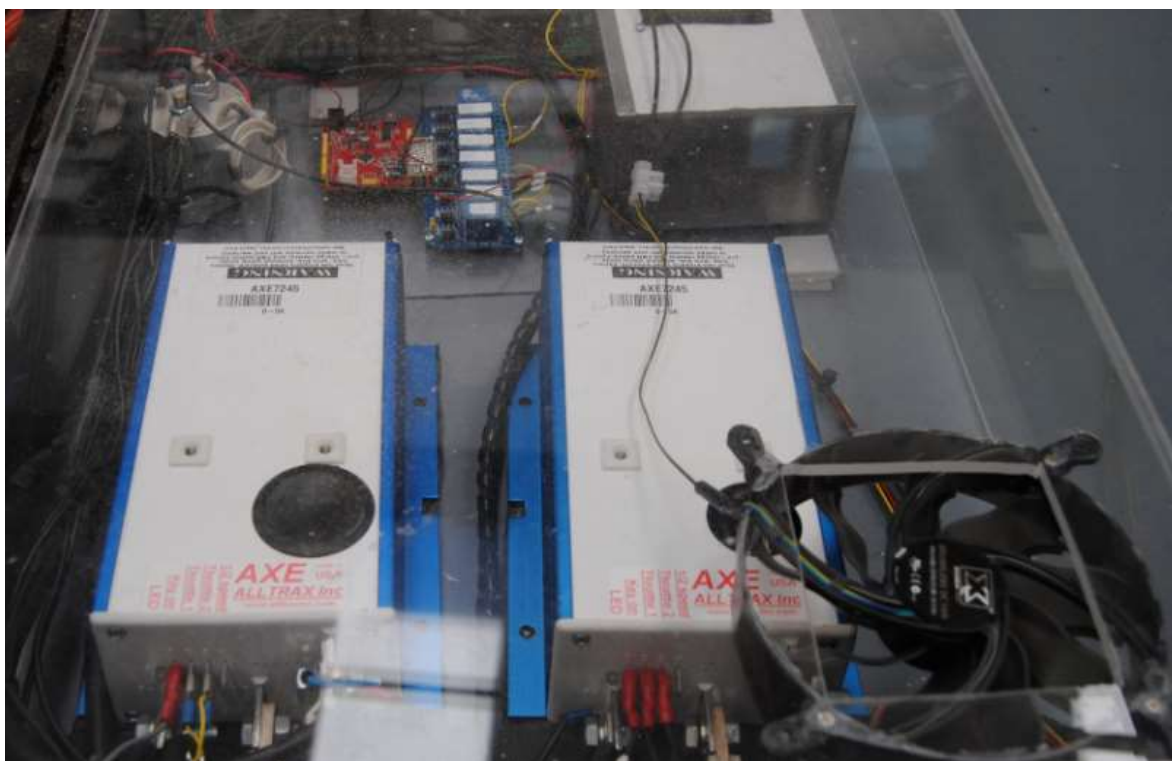


Figura 34. Refrigeración del sistema de control.



Figura 35. Rejillas traseras para la refrigeración.

4. Modificaciones y mejoras realizadas en la instalación de autoconsumo.

En la instalación de autoconsumo, que se ha implementado en el edificio de la Fundación Hidrogeno, las mejoras que se han realizado son mínimas, ya que la instalación se ha legalizado hace pocos meses y su funcionamiento es correcto, por lo que no ha sido necesaria la implementación de ninguna mejora ni modificación en dicha instalación.

A continuación, se muestra unas imágenes de las cajas de protección, que se han instalado y se han etiquetado de manera correcta, para que cualquier usuario de la instalación, identifique los diferentes componentes sin problemas.



Figura 36. Caja general de protección autoconsumo



Figura 37. Caja general de protección autoconsumo

5. Modificaciones y mejoras realizadas en la carretilla de pila de combustible de hidrogeno.

En la carretilla de pila de combustible de hidrogeno, las modificaciones y mejoras desde la finalización de la construcción del prototipo hasta el día de hoy, las modificaciones y mejoras que se han realizado son mínimas.

La mayoría de las modificaciones, se han centrado en optimizar la placa de control y el software que controla, todo el balance de planta del power pack, para conseguir un control más eficiente y optimizado. Cabe destacar, que la interface desarrollada, sigue siendo igual a la que se desarrolló, para la construcción del primer prototipo, solo se ha modificado el software de control del balance de planta.

A continuación, se adjuntan unas imágenes, en las que se representa la placa de control y el power pack, en el interior del cajón desarrollado para esta aplicación.

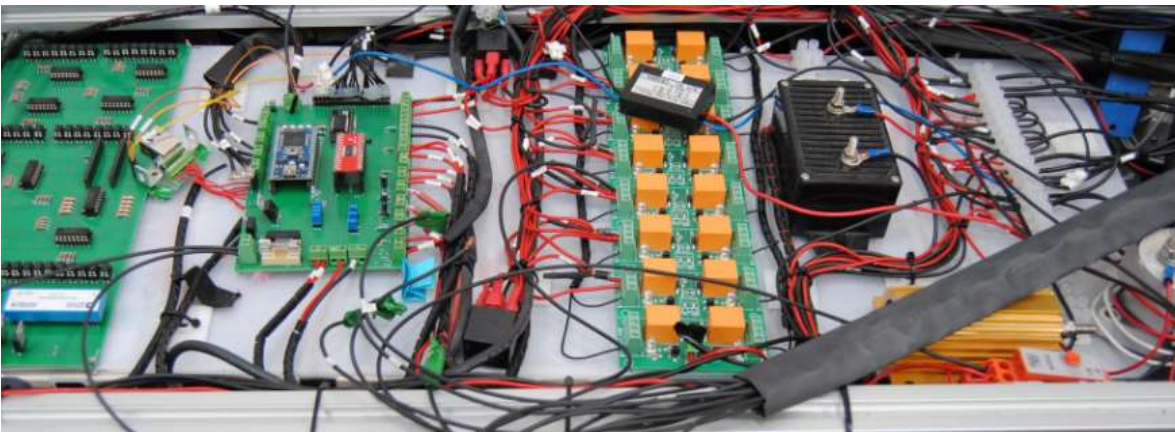


Figura 38. Placa de control power pack



Figura 39. Power pack

6. Historia del vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno

Para comenzar realizaremos una pequeña introducción histórica de los vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno.

1959: el primer vehículo moderno de pila de combustible fue una modificación del tractor agrícola Allis-Chalmers, equipado con una pila de combustible de 15 kW.

La carrera espacial **durante la Guerra Fría** condujo el desarrollo de la tecnología de pilas de combustible. Por ejemplo, el proyecto Gemini probó las pilas de combustible para suministrar energía eléctrica durante las misiones espaciales tripuladas. El desarrollo de pilas de combustible continuó con el programa Apolo en el que se utilizaron pilas de combustible alcalinas para los sistemas de energía eléctrica en las cápsulas Apolo y módulos lunares.

1966: General Motors desarrolló el primer automóvil de pila de combustible, el Electrovan Chevrolet. Tenía una pila de combustible PEM, una autonomía de 120 kilómetros y una velocidad máxima de 115 km/h. Había sólo dos asientos, debido a que tanto la pila de combustible como tanques de combustible ocupaban la parte trasera de la camioneta. Sólo se fabricó uno, ya que el proyecto se consideró de un costo prohibitivo.

En los 70: General Electric y otras empresas continuaron trabajando en el desarrollo de pilas de combustible PEM.

En los 80: principalmente, la utilización de pilas de combustible estaba aún limitada a aplicaciones espaciales. Sin embargo, el cierre del programa Apolo hizo que muchos expertos fueran del sector espacial a empresas privadas.

En los 90: Los fabricantes de automóviles se interesaron en las aplicaciones de pilas de combustible, y se prepararon algunos vehículos de demostración.

2001: El primer depósito de hidrógeno de 700 bar fue desarrollado, pudiendo reducir así el tamaño de los depósitos de combustible para que pudieran ser utilizados en automoción.

2009: En septiembre, Los fabricantes líderes en tecnología de pila de combustible -Daimler AG, Ford Motor Company, General Motors Corporation/Opel, Honda Motor Co., Hyundai Motor Company, Kia Motors Corporation, y la alianza Renault SA y Nissan Motor Corporation y Toyota Motor Corporation- redactaron un acuerdo para homogeneizar el desarrollo e introducción al mercado de coches eléctricos con pila de combustible.

Estos fabricantes han desarrollado un importante know-how en este terreno, por lo que la firma de esta "Carta de Intenciones" significa un gran paso hacia la producción en serie de coches libres de emisiones.

Las compañías que han firmado la carta conjunta han anticipado que a partir del año 2015 una cantidad significativa de vehículos eléctricos con pila de combustible podrán ser comercializados. Cada fabricante establecerá su propia producción y estrategia comercial, así como su calendario de comercialización, por lo que podría ser que ésta se adelantara respecto a la fecha anunciada, el año 2015.

2011: Mercedes Benz anunció que tiene previsto adelantar la producción del Mercedes-Benz F-Cell al 2014.

2012: Aunque actualmente no hay coches de pila de combustible disponibles para su venta comercial, más de 20 prototipos y coches de demostración han sido lanzados desde 2009. Estos coches han sido probados a lo largo de más de 3 millones de kilómetros y con más de 27.000 recargas de combustible.

Algunos lanzamientos incluyen:

Hyundai Tucson-ix35 FCEV (2010)

BMW 1 series-fuel cell hybrid (2010)

Mercedes-Benz-F800-(2010)

Mazda 5Hydrogen RE Hybrid (2009)

Fiat Panda-HyTRAN (2009)

Audi Q5-FCEV (2009)

Nissan X-Trail-FCV (2009)

Volkswagen Caddy-Maxi HyMotion (2009)

Mercedes-Benz B-Class-F-Cell (2009)



Figura 40. Vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno

6.1. El porqué del cambio al vehículo eléctrico

El vehículo eléctrico propulsado total o parcialmente por electricidad es más que un simple cambio en el tipo de automóvil por múltiples razones:

Porque es más eficiente y más respetuoso con el medioambiente que el resto de tecnologías de propulsión actuales.

Porque es una oportunidad para la industria española de fabricar y desarrollar productos de más contenido tecnológico propio.

Porque su despliegue tiene consecuencias positivas en más de un sector (automoción, energía, TICs, etc.).

6.2. Tecnologías del hidrógeno

La combinación de almacenamiento de hidrógeno, con su producción por medio de electrolizadores y su reconversión a electricidad mediante pilas de combustible, es una de las tecnologías con más opciones de futuro, aplicable incluso a pequeña escala (sistemas aislados) y es la que se ha empleado en la transformación de nuestro vehículo eléctrico de baterías a un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno. A continuación, se van a explicar estos puntos tan importantes.

6.3. Generación de hidrógeno

El hidrógeno actualmente sigue obteniéndose a partir de fuentes no renovables, principalmente gas natural, debido al precio de mercado. El principal proceso a partir de energías renovables es el de la electrólisis del agua, la gran ventaja es la viabilidad del proceso a largo plazo, ya que casi cualquier fuente de energía puede valer, o mejor dicho, existen ya procesos para obtener hidrógeno a partir de cualquier fuente de energía (renovable y no renovable) y agua.

En el caso de obtención a partir de agua se obtiene de forma convencional mediante electrólisis (aplicar corriente eléctrica a una disolución acuosa). En el caso del gas natural, y en general, de combustibles fósiles, mediante reformado con vapor (una recombinación química). Actualmente el 95% de los 500 mil millones de metros cúbicos de hidrógeno producido en el mundo lo es a partir de reformado de gas natural. El resto se obtiene como subproducto en la fabricación del cloro, por electrólisis.

Las opciones más interesantes para la producción de hidrógeno en el futuro serán la electrólisis a alta presión, la termólisis (ruptura de la molécula de agua con calor) solar por ciclos termoquímicos, y la gasificación de biomasa y de carbón (con captura y secuestro de CO₂). Existen incluso conceptos más a futuro, como la fotólisis (ruptura de la molécula de agua mediante la luz), y la producción por algas y microorganismos vivos.

6.4. Pilas de combustible

La utilización de las pilas de combustible es el gran potencial de usar el hidrógeno frente a los combustibles convencionales. Su principal ventaja es un alto rendimiento en el proceso de obtención de energía en comparación con los sistemas de combustión (maquinas térmicas).

La eficiencia de los motores está limitada por la Termodinámica, ya que el proceso implica la transformación de calor en energía mecánica y a continuación en eléctrica para su distribución y/o almacenamiento. Las pilas de combustible convierten directamente energía química en energía eléctrica, llegando a obtener entre 2 y 3 veces más rendimiento. Además no producen residuos contaminantes ni ruido.

Una pila de combustible se compone de varias celdas, todas iguales, donde se produce la recombinación del hidrógeno con el oxígeno a través de una membrana semipermeable a los iones

(electrolito). La reacción es electroquímica, no de combustión (no arde ni explota), por lo que no está sometida al límite que marca la segunda Ley de la Termodinámica. Por esa razón se pueden, teóricamente, alcanzar eficiencias eléctricas de hasta el 80%, frente al 40% para centrales térmicas convencionales y el 60% para ciclos combinados.



Figura 41. Stack pila de combustible

Existen actualmente seis tipos de pilas: poliméricas (PEM o PEMFC), alcalinas (AFC), de ácido fosfórico (PAFC), de carbonatos fundidos (MCFC), de óxido sólido (SOFC) y de metanol directo (DMFC), que es una derivación de las poliméricas y comparte sus ventajas e inconvenientes.

Se diferencian fundamentalmente en el material del electrolito, lo que le confiere sus características de temperatura de operación, flexibilidad en combustibles, tolerancia a contaminación, o necesidad de metales nobles como catalizadores.

Las pilas de combustible tienen una previsible aplicación en transporte y aplicaciones portátiles (móviles, ordenadores, etc.) y en generación de calor y electricidad, tanto a pequeña (viviendas unifamiliares) como a gran escala (centrales de potencia e industrias).

El grado de desarrollo tecnológico de las pilas de combustible hace pensar que esta opción es bastante probable que tenga éxito y de hecho las principales marcas automovilísticas han presentado en los últimos años prototipos de coches propulsados por hidrógeno.

Las pilas de combustible suponen pues una oportunidad para mantener una actividad industrial de alto valor añadido e innovadora, que mantenga la competitividad de las empresas.

La pila de combustible exige asimismo muchos componentes novedosos a su alrededor: compresores, bombas, electrónica de control, conectores, depósitos a altas presiones, desionizadores de agua, recuperadores de calor y reformadores en una lista muy extensa que toca a todos los sectores industriales: metalúrgico, plásticos, nuevos materiales, químico, tecnologías de fabricación, textil, electrónica y software, por citar algunos.

Las pilas de combustible están compuestas por multitud de sistemas y componentes, y pueden adaptarse en innumerables aplicaciones. Por lo tanto, la cadena de valor en la fabricación de pilas

es enorme y hay espacio para proveedores de materia prima, fabricantes de componentes, fabricantes del «stack» (el núcleo de la pila), integradores, mantenedores, empresas de servicios, usuarios finales y reciclaje, desde grandes corporaciones a pequeñas empresas.

6.4.1. Ventajas e inconvenientes de las pilas de combustible

Alta eficiencia:

Las pilas de combustible generan una corriente eléctrica por una oxidación directa de un combustible, sin procesos de combustión. Como se verá en el siguiente apartado, la ausencia de una combustión y de transmisión de la energía en forma de calor permite, teóricamente, rebasar la máxima eficiencia posible para las máquinas térmicas (motores y turbinas). En la práctica también se consiguen eficiencias muy altas (50% o incluso superior) en comparación con las máquinas térmicas.

Aunque las pilas de combustible no sean máquinas térmicas ni haya combustión, parte de la energía del combustible se convierte en calor, que hay que evacuar o aprovechar.

Sin partes móviles:

Las celdas de combustible no funcionan como una máquina térmica, en la que un fluido genera trabajo mecánico. Al carecer de partes móviles, su funcionamiento es completamente silencioso.

En cambio, las pilas de combustible necesitan de sistemas adicionales para poder funcionar, como son la alimentación del combustible, la refrigeración y la alimentación del aire. En este último caso, se suele usar un compresor eléctrico de aire, que produce cierto ruido, especialmente si gira a muy altas revoluciones.

Funcionamiento continuo:

La pila de combustible, a diferencia de los acumuladores electroquímicos (baterías), es un dispositivo de conversión de energía que tiene la capacidad de producir energía eléctrica mientras se suministra combustible y oxidante a los electrodos. Se evita por lo tanto la necesidad de las recargas (largas y costosas), aunque requiere de un suministro externo de combustible, que, en el caso del hidrógeno especialmente, adolece de una falta de infraestructura o con una logística costosa.

Modularidad:

Las pilas de combustible, al estar compuestas de celdas iguales concatenadas, pueden dimensionarse para lograr el voltaje que se necesite. De igual manera, el área de la celda es responsable de la corriente, de manera que se puede lograr la potencia requerida por apilamiento de más celdas y seleccionando el tamaño (área) de la celda.

Las potencias que pueden generarse oscilan entre los milivatios a los megavatios. Las potencias grandes, superiores a las decenas de kilovatios, están muy desfavorecidas por los altos costes de las pilas, frente a otras opciones como motores o turbinas.

Respuesta rápida:

Las pilas de combustible reaccionan frente a una demanda eléctrica muy rápidamente, en el rango de las décimas de segundo, aunque no tanto como los acumuladores electroquímicos (rango de milisegundos).

Algunos tipos de pilas precisan muy pocos segundos para arrancar desde paro (las de baja temperatura). En cambio, otros tipos de pilas, como las de alta temperatura, solo pueden arrancar desde cero con procesos muy lentos, de varios días. Incluso, hay pilas que no deben de pararse nunca (como las de carbonatos fundidos).

Emisiones:

Virtualmente, la única emisión posible de una pila de combustible es agua, bien en vapor, bien condensada como líquido. Al no haber combustión, no se produce ningún óxido de nitrógeno.

En cualquier caso, si se alimenta una pila con un combustible que contenga carbono (metanol, gas natural, GLP, diesel), se generará CO₂ en el proceso de tratamiento del combustible, que acabará emitiéndose a la atmósfera.

Variedad de combustibles:

En teoría, cualquier sustancia capaz de oxidación química que pueda ser suministrada continuamente (como un fluido), puede ser oxidado como combustible en el ánodo de una celda de combustible. Igualmente, el oxidante puede ser cualquier fluido que pueda ser reducido con un caudal suficiente.

El hidrógeno gaseoso ha llegado a ser el combustible de preferencia para muchas aplicaciones, a causa de su alta reactividad cuando se usan los catalizadores adecuados. La posibilidad de producirlo a partir de gas natural o hidrocarburos, hacen que virtualmente las pilas de combustible puedan ser empleadas con el combustible más conveniente en cada aplicación. No obstante, en muchos tipos de pilas, la calidad del hidrógeno que se debe suministrar a la pila es muy exigente, de forma que el pretratamiento del combustible se complica y encarece.

Igualmente, el oxidante más común es el oxígeno gaseoso, disponible en el aire de forma rápida y económicamente para aplicaciones terrestres, y también fácilmente almacenable para aplicaciones espaciales.

Durabilidad:

Las pilas de combustible actuales tienen una durabilidad superior a las 4.000 horas de funcionamiento continuo (pilas PEM), lo que está en el rango de vida útil de muchas aplicaciones, como los turismos. Se conocen durabilidades mucho mayores, del orden de las 10.000 horas, lo cual aún no llega a la vida requerida para determinadas aplicaciones, como generación estacionaria o transporte de mercancías.

La degradación, la corrosión, o fallos en los componentes limitan la vida práctica de operación de las celdas de combustible, aunque se está progresando mucho en la duración de las pilas.

Aunque aún no se conoce bien el comportamiento de las pilas de combustible en situaciones de cargas variables y muchos arranques y paradas, hay que señalar que los acumuladores electroquímicos convencionales (baterías) también tienen ciertas exigencias en cuanto a su operación, que pueden llevar a la degradación rápida de las baterías (descargas profundas, efecto memoria).

Precio:

Las pilas de combustible son equipos muy caros en comparación con tecnologías maduras como los motores de combustión o las baterías convencionales. En el caso de los motores de combustión, que están en el orden de magnitud de 50-100 €/kW, el coste de las pilas es de dos órdenes de magnitud mayor, en el entorno de los 6.000 €/kW.

No obstante, muchas veces hay que analizar el coste global de la disponibilidad de la energía, como es el caso típico de las carretillas elevadoras eléctricas, en las que, en los sitios en los que se usan a 3 turnos, se necesitan tres juegos de baterías (uno en uso, uno en carga, uno en enfriamiento), más los cargadores, más la ocupación de área en la nave, más los operarios dedicados al manejo de las baterías, más el hecho de que la batería pierde prestaciones a lo largo del turno. En el caso de las carretillas, la rentabilidad de usar pilas de combustible está ya muy cercana a la solución tradicional de las baterías.

El coste tan elevado se debe en parte a los materiales utilizados (metales nobles como el platino, o materiales de muy alta tecnología como las membranas), a la cantidad de desarrollo que han requerido recientemente (alta tecnología), a las soluciones no optimizadas (sobredimensionamiento de materiales, redundancias, ausencia de componentes ajustados a la aplicación), y sobre todo, a que las pilas no se fabrican con medios de producción serie. Todos los fabricantes trabajan sobre pedido, y la mayor parte de ellos montan las pilas manualmente. Los bajos volúmenes del mercado actual no justifican aun las inversiones en medios de ensamblaje automáticos.

Tecnología en evolución:

Existen varios tipos de pilas de combustible, siendo lo más aceptado actualmente que las pilas PEM son las más evolucionadas y con mayores expectativas.

Hay que señalar que la especie iónica y la dirección en la que se transporta difieren entre cada tipo de pila, influyendo sobre la producción y eliminación de agua, con el consiguiente impacto sobre el sistema. El ión puede ser tanto un ión positivo como un ión negativo, es decir, que el ión transporte tanto carga positiva, como negativa (defecto o exceso de electrones).

6.4.2. Aplicaciones de las pilas de combustible

Las celdas de combustible tienen muchas características que las hacen idóneas como dispositivos de conversión de energía. Dos de ellas son la eficiencia relativamente alta y el bajo impacto ambiental (prácticamente sin emisiones gaseosas y de partículas sólidas).

Las características, ventajas, e inconvenientes comentados en la sección anterior son la base para seleccionar el tipo de celda de combustible que responde a las necesidades de una variedad de aplicaciones.

Las principales aplicaciones se pueden englobar dentro de 3 grandes grupos:

Aplicaciones estacionarias: Generación eléctrica (distribuida), cogeneración, sistemas eléctricos de respaldo (backups), y sistemas autónomos.

Aplicaciones móviles: alimentación eléctrica para propulsión de cualquier tipo de vehículo (terrestre, marítimo y aéreo), y alimentación auxiliar de vehículos (Auxiliary Power Units, APU).

Aplicaciones portátiles: Fuentes de alimentación para electrónica portátil, y grupos electrógenos.

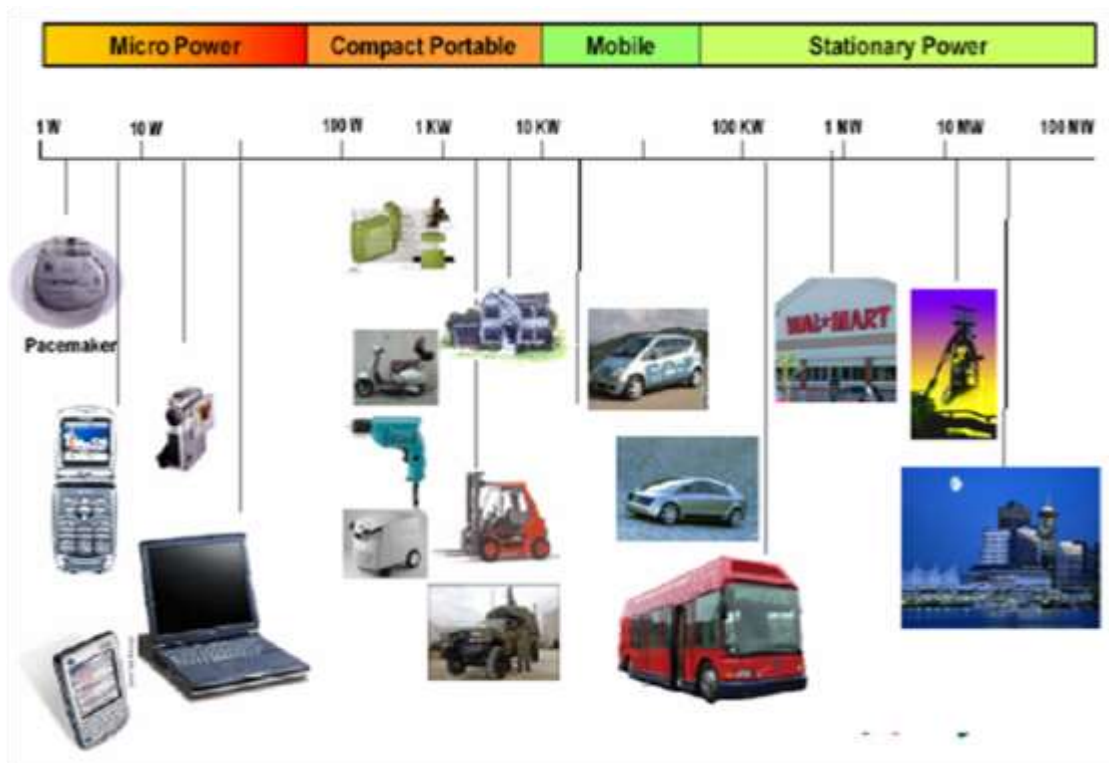


Figura 42. Gráfico comparativo del rango de potencias en función de su aplicación

Aplicaciones estacionarias

Si bien la producción eléctrica mediante pilas de combustible puede llevarse a cabo tanto de forma centralizada como descentralizada (microgeneración), es ésta última la que será aplicable a

corto plazo, hasta que se logre un nivel de madurez suficiente de la tecnología y una adecuada escala de precios.

Por otra parte, las pilas de combustible debido a su propia naturaleza de generación sin combustión tienen niveles de emisiones extremadamente bajos. A medida que los niveles estándares de emisión sean más estrictos, las pilas de combustible se irán convirtiendo en una muy buena opción de microgeneración. Dentro de los diferentes tipos de pilas hay dos que destacan para aplicaciones estacionarias: las pilas de óxido sólido (SOFC) y las de carbonatos fundidos (MCFC). Las razones para su adecuación a las aplicaciones estacionarias radican en su elevada temperatura de operación, que les facilita las operaciones de reformado y uso de sus calores residuales, ya sea para cogeneración o para realizar una hibridación con turbinas de gas, lo que contribuye a mejorar su rentabilidad.

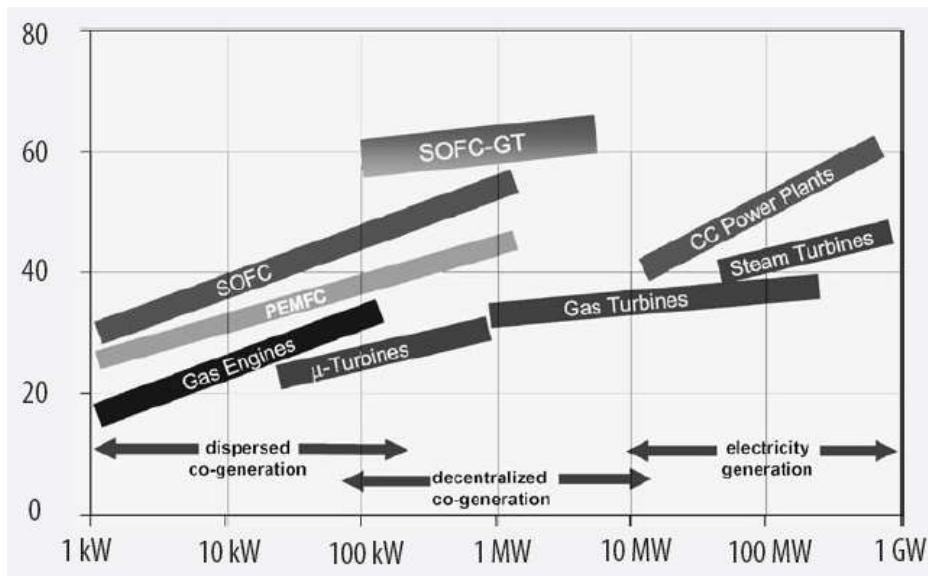


Figura 43. Gráfico comparativo de sistemas de generación de potencia

Aplicaciones móviles

Este sector se enfrenta a los problemas derivados del uso de los combustible fósiles, como son dependencia energética, el aumento del precio del barril del petróleo y los problemas medio ambientales que causan, entre los que se encuentra el efecto invernadero. La legislación ambiental, cada vez más, fuerza a los fabricantes de automóviles a sustituir aquellos vehículos que produzcan gran cantidad de emisiones contaminantes. La tecnología eléctrica basada en pilas de combustible de hidrógeno ofrece una oportunidad tangible para alcanzar este requerimiento.

La mayoría de los fabricantes de automóviles ven el uso del hidrógeno en pilas de combustible como sucesoras de los motores de combustión interna, debido a las múltiples vías de generación

de hidrógeno, a su alto rendimiento usando pilas de combustible y a su nula contaminación (o casi nula, según procedencia del hidrógeno).

Los ensayos en carretera han sido positivos empleando distintos vehículos y lugares. Según el estudio de prospectiva Hidrógeno y Pilas de Combustible (OPTI), señala que, en el año 2020, el 5% de los coches que funcionen en Europa serán alimentados por hidrógeno. Por otra parte, expertos del sector estiman que en unos 30 años, los parques automovilísticos de los países desarrollados (actualmente con más de 750 millones de unidades incluyendo turismos, autobuses y camiones) contarán con más vehículos con motor eléctrico alimentado por pila de combustible que con motor de combustión interna.

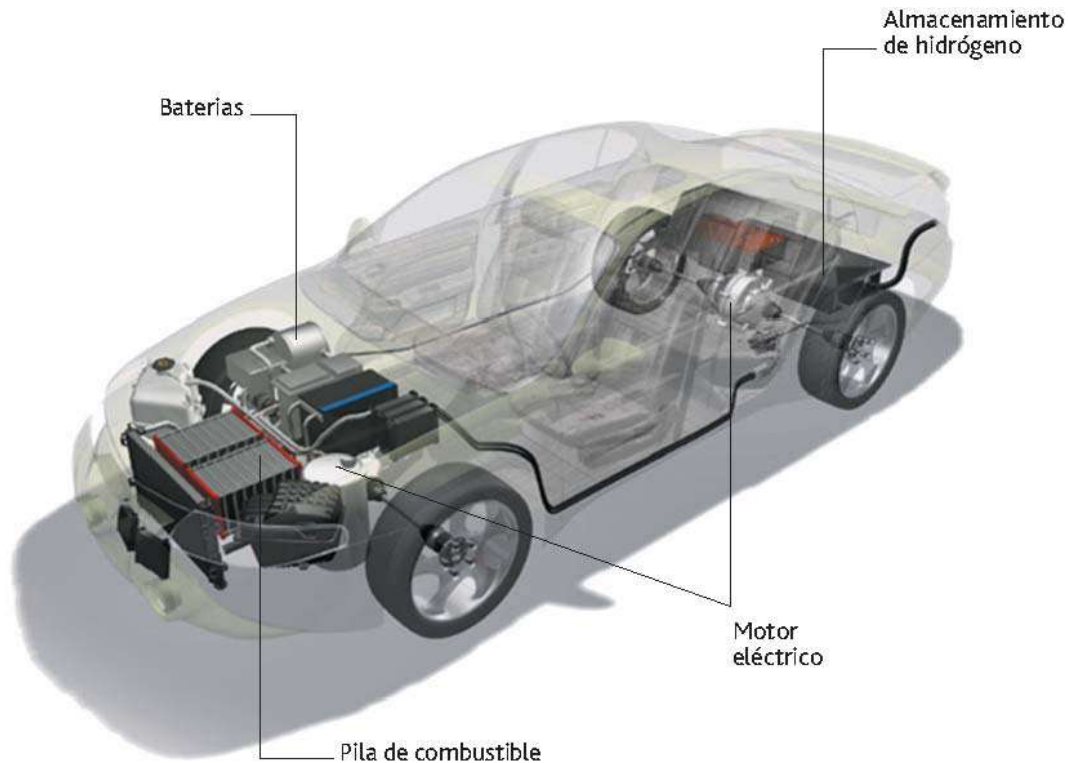


Figura 44. Elementos de un vehículo de pila de combustible de hidrógeno

La tecnología de pila de combustible más utilizada en este tipo de vehículos es la de membrana polimérica (PEMFC) con una potencia de 50-100 kW para turismos y 120-300 kW para autobuses y camiones. Los vehículos movidos con pilas de combustible conllevan un aumento del rendimiento. Frente a una eficiencia del 15-20% en los vehículos actuales, estos nuevos vehículos pueden alcanzar una eficiencia del 45-50%, ya que transforman directamente la energía química, almacenada en el enlace H - H de la molécula de hidrógeno, en energía eléctrica y vapor de agua, que constituye la única emisión producida.

Actualmente, el problema principal para impulsar esta tecnología en el sector del transporte reside en el elevado coste de fabricación de las pilas de combustible, coste del sistema de almacenamiento, coste de la producción de hidrógeno, la durabilidad de las pilas de combustible, el tamaño de la unidad de almacenamiento del hidrógeno y su capacidad de almacenaje.

Aplicaciones portátiles

Las pilas de combustible son unos potenciales substitutos de las baterías recargables. El mercado de las aplicaciones portátiles ha sido uno de los que ha crecido más rápido en la última década. Ordenadores portátiles, teléfonos móviles, cámaras portátiles y otros pequeños dispositivos eléctricos son vendidos por millones cada año. Algunas empresas están desarrollando las pilas de combustible para proporcionar la energía para usos portátiles. Estas pilas de combustible ofrecerán una alternativa a las baterías convencionales. Serán utilizadas para usos especiales, donde sea importante una vida útil larga, bajo peso o pequeño tamaño. Tales usos incluirían la alimentación de un ordenador portátil, una radio o un teléfono móvil. Los sistemas de pila de combustible para usos portátiles, ya sean alimentados por hidrógeno a presión, hidrógeno almacenado en hidruros metálicos o directamente por metanol, tienen una densidad de energía mucho mayor que las baterías convencionales (por ejemplo, el metanol tiene una densidad de energía teórica aproximadamente de diez veces el de una batería de níquel-cadmio). Pueden ser rellenados rápidamente y son ambientalmente benignos.

En un futuro los teléfonos móviles dispondrán de pilas de combustibles de menor peso y tamaño que las actuales baterías, que permitirán una autonomía de hasta 20 horas, frente a las 5 horas de las actuales.

Por último conviene puntualizar que las pilas de combustible no tienen por qué desplazar a las baterías en muchas aplicaciones, sino que una correcta utilización sinérgica de ambos (hibridación), pila de combustible y batería, puede dar los resultados óptimos.

A su vez, las aplicaciones se deben distinguir en cuanto a si hacen uso de las ventajas básicas de las pilas de combustible en cuanto a eficiencia y posibilidad de usar hidrógeno (en lugar de derivados del petróleo) para lograr autosuficiencia energética o emisiones cero en el punto de uso, o si en cambio sacan partido de otras características como su baja emisión de ruidos, la modularidad, o no requerir de carga como las baterías, por ejemplo.

En el primer caso, nos encontramos con aplicaciones de mercado de masas o usos de la energía masiva, en las que se ha de competir en precio con las tecnologías actuales. Está claro que la entrada paulatina en el mercado de masas se beneficia de las ventajas ambientales, hasta que los precios se equilibren (menores costes de las pilas y mayores costes de los combustibles tradicionales). Entre estas aplicaciones tenemos

la automoción: turismos, autobuses, motocicletas.

la generación eléctrica, donde las pilas se usarán preferentemente como generación distribuida en pequeñas y medianas plantas, antes que en grandes plantas centralizadas.

y la cogeneración doméstica o residencial, en la que la pila de combustible genera electricidad y agua caliente.

En el segundo caso, se trata de aplicaciones llamadas nicho, en las que el usuario es proclive a pagar un precio superior por disponer de alguna ventaja adicional, o bien aplicaciones en las que la disponibilidad de energía se paga a precio alto. Por ejemplo,

Los sistemas de respaldo (backups) garantizan una mayor duración del suministro eléctrico en caso de fallo de la red, un menor volumen (hidrógeno frente a baterías) y que no hay descarga a lo largo del tiempo, como con baterías.

Los sistemas autónomos pueden evitar completamente el consumo de gasóleos en grupos generadores si se genera el hidrógeno in situ mediante las fuentes renovables disponibles.

Los vehículos eléctricos (minicoches, sillas de ruedas) y los industriales (carretillas elevadoras) tienen la ventaja de mayor autonomía y tiempo de recarga muy reducido.

Las unidades de potencia auxiliar en vehículos (turismos, camiones, autobuses, aviones) reducen el consumo de combustible en momentos en los que no se circula pero se necesita climatización u otros servicios.

Los grupos electrógenos basados en pila de combustible son mucho más silenciosos y no emiten gases.

En electrónica portátil la promesa de mayor autonomía y de recarga instantánea son la clave. En algunas aplicaciones, como telefonía móvil de última generación, incluso se supera a las baterías en cuanto a potencia.

6.4.3. Almacenamiento

Uno de los principales problemas técnicos a los que se enfrenta el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno es que a pesar de que el hidrógeno posee un alto poder calorífico por unidad de peso, tres veces mayor al de la gasolina, debido a su baja densidad su poder calorífico por unidad de volumen es muy bajo.

En forma gaseosa, a presión, requiere de grandes volúmenes de almacenamiento, con el consiguiente gasto de materiales para la construcción de recipientes.

En el sector de la automoción, el almacenamiento del hidrógeno es como gas principalmente, aunque también se usa el hidrógeno líquido debido a su mayor densidad energética.

El hidrógeno gas se usa a una presión de 350 bares, sin embargo ya existen los primeros vehículos movidos a 700 bares consiguiendo unas altas autonomías.

El hidrógeno líquido requiere volúmenes para el almacenamiento mucho menores, pero consume grandes cantidades de energía (casi el 30% de la energía que se utiliza en la producción).

Otro método de almacenamiento lo constituye la formación de hidruros metálicos o no metálicos, que se comentará posteriormente. De esta forma pueden almacenarse grandes cantidades de hidrógeno en pequeños volúmenes.

Asimismo se está llevando a la práctica la acumulación del hidrógeno mediante su síntesis en productos como el metanol, lo cual permite almacenarlo en forma líquida para su utilización como combustible.

No existe aún un método que resuelva completamente el problema del almacenamiento, por lo que cada uno de ellos se emplea según las posibilidades y su utilización final. No obstante, el uso cada vez mayor del hidrógeno plantea la necesidad de contar con formas seguras y económicas de almacenamiento.

A continuación, después de una pequeña introducción del hidrógeno y las pilas de combustible, nos centraremos en la explicación de los diferentes componentes que forman parte del tren de potencia de un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno.

6.5. Vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno

Los vehículos alternativos, como son el vehículo híbrido, eléctrico y de pila de combustible, traen intrínsecamente una serie de elementos y componentes propios de su naturaleza y su funcionamiento, los cuales están basados en la electro-movilidad.

6.5.1. Componentes

Para lograr que los coches eléctricos de pila de combustible sean parte de la vida cotidiana, en primer lugar resulta necesario conocer los distintos componentes que lo forman, tales como motor eléctrico, pila de combustible, baterías, convertidores, etc., los cuales se van a tratar, uno por uno, en los siguientes puntos.

I MOTORES ELÉCTRICOS

El vehículo puede usar un solo motor eléctrico, dos (uno para cada rueda motriz) o cuatro (uno en cada rueda). Se pueden usar motores de corriente continua o de corriente alterna.

I.I MOTORES DE CORRIENTE CONTINÚA

Tienen la ventaja de ser más fáciles de controlar que los de alterna ya que solo hay que controlar la amplitud.

Los de excitación independiente son los mejores, aunque también son más complicados de controlar debido a que no solo hay que controlar la tensión aplicada al inducido, sino también al inductor (excitación). Con este doble control se puede obtener cualquier curva par-velocidad.

Cuando se conectan en serie, el inductor tiene pocas espiras de hilo grueso, ya que por él circula toda la corriente del inducido (de gran valor). Si la máquina dispone de ambos tipos de excitación, serie y paralelo, se denomina *compound* o *compuesta*.

Estos sistemas de conexión se emplean para producir la autoexcitación de la máquina, a partir del magnetismo remanente de los polos inductores. Es frecuente (aunque no son normas generales) emplear la conexión serie en motores y la *shunt* y *compound* en generadores.

I.II MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Son más difíciles de controlar que los de continua ya que hay que controlar la frecuencia de la tensión de alimentación y la amplitud de esta tensión. Pueden ser síncronos o de inducción.

Los síncronos giran a velocidad constante, independiente de la carga (velocidad de sincronismo). Esta velocidad viene fijada por la frecuencia de la tensión de alimentación. El mayor problema que tienen es que no pueden arrancar por sí mismos, ya que solo pueden girar a la velocidad de sincronismo.

Los de inducción pueden ser de jaula de ardilla o de rotor bobinado. El de jaula de ardilla es el motor más robusto de todos, ya que no necesita escobillas.

II BATERÍAS

El término "pila", en castellano, denomina los generadores de electricidad basados en procesos químicos normalmente no reversibles, o acumuladores de energía eléctrica no recargables; mientras que batería se aplica generalmente a los dispositivos electroquímicos semi-reversibles, o acumuladores electroquímicos de energía eléctrica que si se pueden recargar. Tanto "pila" como "batería" son términos provenientes de los primeros tiempos de la electricidad en los que se juntaban varios elementos o celdas; en el primer caso, uno encima de otro, "apilados", y en el segundo, adosados lateralmente, "en batería", como se sigue haciendo actualmente, para así aumentar la magnitud de los fenómenos eléctricos y poder estudiarlos sistemáticamente. El funcionamiento de una batería está basado esencialmente en una reacción química reversible del tipo reducción-oxidación (también conocida como redox), un proceso en el cual uno de los componentes se oxida (pierde electrones) y el otro se reduce (gana electrones); es decir, un proceso cuyos componentes no resulten consumidos ni se pierdan, sino que meramente cambien su estado de oxidación, que a su vez puedan retornar al estado primero en las circunstancias adecuadas.

El modelo básico de batería se basa en la elección de dos materiales. Dichos materiales forman un llamado par electroquímico, uno de ellos se reducirá y el otro se oxidará. El proceso de reducción se da en el cátodo, ya que éste gana electrones y el proceso de oxidación se da en el ánodo, ya que éste dona electrones. Dicho flujo de electrones entre el par electroquímico se conduce por un cable de manera que pueda ser aprovechado en forma de electricidad.

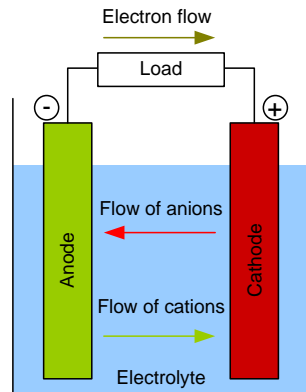


Figura 45. Esquema básico de una batería

II.1 CARACTERÍSTICAS

A continuación hay una pequeña descripción de los parámetros característicos de una batería.

Parámetros de importancia

Desde el punto de vista del comportamiento electroquímico de estos sistemas se estudian algunos parámetros de importancia, para poder analizar en qué estado se encuentran las baterías.

Voltaje

El valor dependerá del sistema de ánodo y cátodo que se tenga así como de los respectivos sobrepotenciales que tengan esos electrodos

$$V = E_c - E_a - C$$

Para obtener el mayor voltaje en una batería, es útil combinar dos electrodos que tengan potenciales muy diferentes (E_c y E_a), además de diseñar y operar la manera de disminuir al máximo factores como el sobrevoltaje, la polarización, etc. representados por C .

Corriente

Directamente relacionado con la aplicación, se podrá requerir que sea constante pero en un largo período de tiempo; por ejemplo en un marcapasos se necesitarán corrientes del orden de los microamperios ($1 \times 10^{-7} A$) durante un largo período de tiempo (años). Mientras que en el lanzador de un torpedo, se requieren que en un segundo pasen 5000 A.

Capacidad

Da una idea de la carga almacenada y disponible en la batería. Este valor está limitado por el electrodo de menor capacidad. La capacidad se expresa en unidades de carga como Amperios x hora (Ah). Por ejemplo, para una batería de tracción la capacidad es del orden de 10 a 20kAh,

mientras que para una batería que mantiene la memoria de un computador es del orden de 0,1 a 0,5 Ah.

Densidad de almacenamiento de energía

Es una medida de la carga por unidad de peso total de la batería. Esto resulta especialmente importante para baterías de tracción en vehículos eléctricos o uso aeroespacial.

Densidad de potencia

Es la potencia por unidad de peso de la batería.

Velocidad de descarga

Se expresa como un cociente: c/n , y es la corriente que permite descargar la capacidad "c" en "n" horas.

Vida media

Cantidad de ciclos de carga y descarga a los que se puede someter la batería antes de terminar su vida útil.

Eficiencia de energía

Es el cociente entre la energía obtenida en la descarga y la energía empleada para cargar la batería.

Comportamiento ante la sobrecarga

De importancia para las baterías secundarias, ya que reacciones secundarias (por ejemplo electrólisis del agua) pueden disminuir notablemente la vida útil del sistema.

Autodescarga

Perdida de carga por reacciones químicas que ocurren, aunque el sistema no esté siendo utilizado.

Tolerancia a las condiciones de uso

De acuerdo al uso, se requerirá resistencia a temperaturas extremas, golpes mecánicos, posición, etc.

Efecto memoria

Es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo: se crean cristales en el interior de las baterías, a causa de una reacción química al calentarse la batería, bien por uso o por las malas cargas. Para prevenirlo no hace falta esperar a descargar totalmente la batería antes de realizar una carga, basta con que una de cada pocas cargas sea completa.

II.II TIPOS

Una vez presentadas las características generales de algunos de los principales pares electroquímicos utilizados en baterías, se van a explicar las características físicas y el modo de funcionamiento de los pares más populares y prometedores del mercado, así como las características y peculiaridades específicas de cada uno:

Plomo ácido.

Níquel-cadmio.

Níquel-metal hidruro.

Litio.

Zebra.

Metal-aire.



Figura 46. Baterías de litio

III PILAS DE COMBUSTIBLE

A largo plazo, cuando la implantación del coche eléctrico sea un hecho, y se quiera abandonar definitivamente los combustibles fósiles sin renunciar a la autonomía, la solución pasaría por la hibridación de los coches eléctricos con pilas de combustible de hidrógeno.

Las pilas de combustible tienen muchas características que las hacen idóneas como dispositivos de conversión de energía, entre las que destacan su eficiencia relativamente alta y su bajo impacto ambiental prácticamente sin emisiones gaseosas ni partículas sólidas. Además, tienen capacidad para amoldarse a un amplio rango de usos y potencias, englobando desde las pequeñas

aplicaciones portátiles hasta las grandes estaciones de cogeneración y trigeneración, pasando por todo tipo de aplicaciones móviles.

La pila de combustible empleada por excelencia en la hibridación de vehículos es la pila PEM (Polimer Electrolite Membrane). Las pilas PEM ofrecen ventajas únicas en términos de alta eficiencia, alta densidad energética, emisión nula de contaminantes y operación continua siempre que dispongan de combustible. No obstante, hay que destacar el hecho de que el coste y la duración son todavía los dos hándicaps importantes para la producción masiva y su consiguiente comercialización.

La hibridación se realiza, de manera que la pila de combustible hace las veces de cargador de baterías. Así pues, el vehículo funciona de la misma forma que un híbrido serie de combustión, sustituyendo el motor por una pila de combustible.

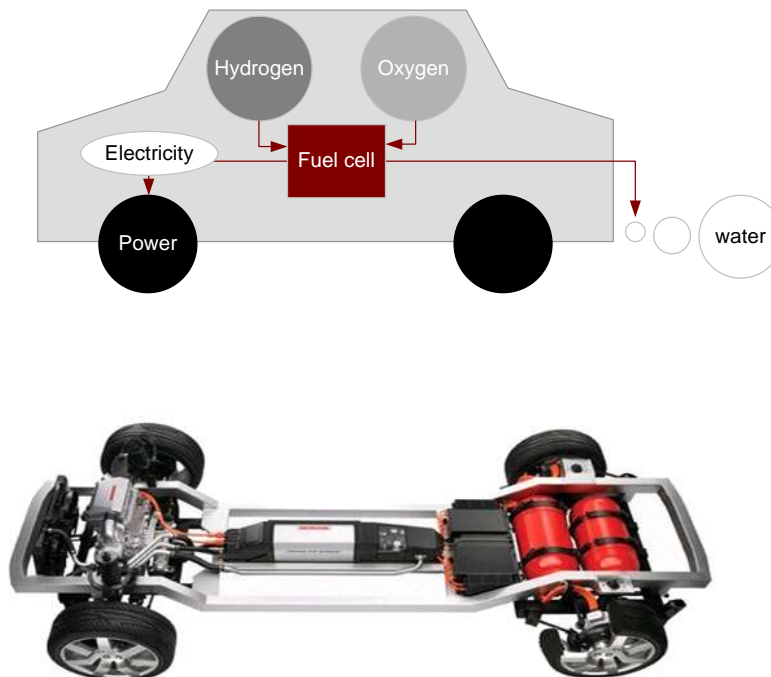


Figura 47. Esquema de funcionamiento de una pila de combustible en un vehículo

La principal ventaja de una pila de combustible respecto a una batería reside en la independencia de la capacidad de almacenamiento con la potencia, de manera que el almacenamiento depende del volumen del tanque y la potencia del tamaño de la pila. La pila de combustible simplemente transforma la energía química del hidrógeno en energía eléctrica de forma directa.

La conversión de energía se realiza mediante una membrana de Nafion® que solo permite el paso de iones, obligando a los electrones a fluir por los cables, de manera que se extraigan los electrones de la reacción de combustión de hidrógeno.

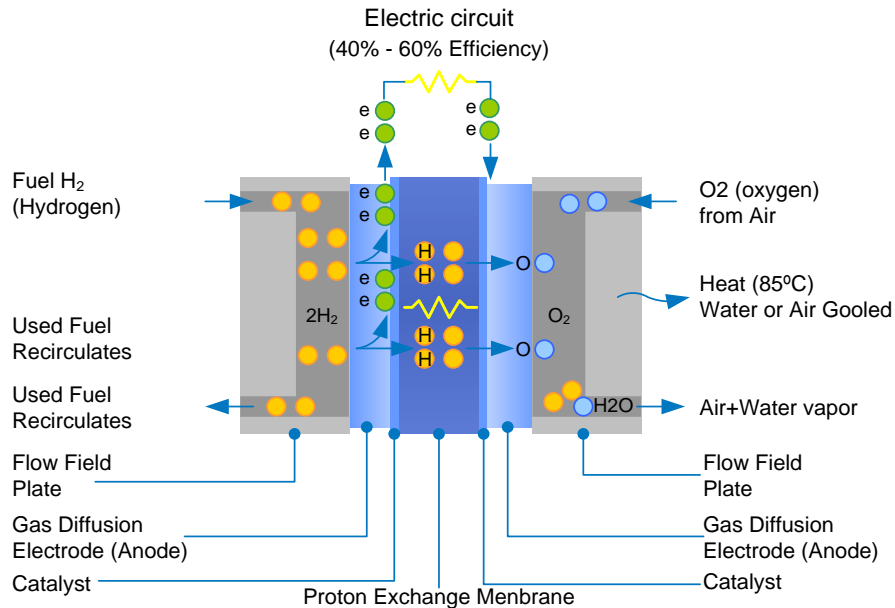


Figura 48. Esquema de una pila de combustible PEM

El funcionamiento es el siguiente:

El ánodo se alimenta con hidrógeno y el cátodo con oxígeno (aire). (Ánodo y cátodo) están separados por una membrana que impide su mezcla. El hidrógeno se disocia y se separa de sus electrones, éstos pasan a través del conductor eléctrico y los iones pasan a través de la membrana. Cuando los electrones, iones hidrógeno y el oxígeno se encuentran en el cátodo se forma agua desprendiendo energía útil (eléctrica y térmica).

La pila de combustible tiene una tensión de salida variable en función de la corriente demandada. La relación entre tensión y corriente en una pila de combustible viene expresada por su curva de polarización. La curva V-I (tensión-corriente) representa cómo evoluciona la tensión de la pila de combustible a medida que se le demanda más corriente.

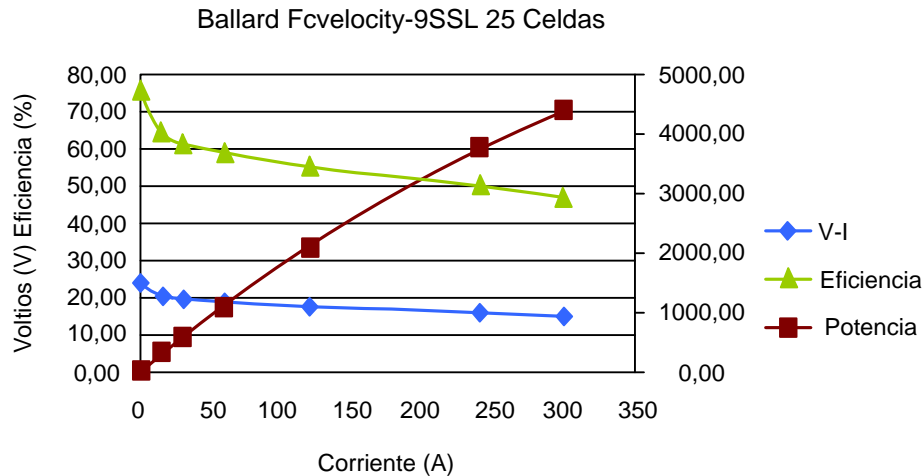


Figura 49. Curva de polarización de una pila de combustible

Se puede apreciar también en la gráfica como la eficiencia de la pila (al contrario que la de un motor térmico) disminuye al aumentar la potencia.. Por ello la pila de combustible es siempre mejor utilizarla a bajos niveles de carga. Aun así, una pila tiene siempre una eficiencia mayor que un motor térmico en cualquier régimen de funcionamiento.

Como conclusión, la pila de combustible ofrece una alternativa de futuro al transporte por carretera con altas autonomías, de manera que se podrá ampliar la autonomía del coche eléctrico, limitada hasta ahora por las baterías electroquímicas utilizadas.

IV SUPERCONDENSADORES

Debido a las frecuentes paradas y aceleraciones en el funcionamiento de los vehículos eléctricos y de pila de combustible, la curva de descarga y carga del almacenamiento de energía es muy variada.

La potencia media requerida por el almacenamiento de energía es mucho menor que la potencia pico de la aceleración y de subida de rampa en un tiempo relativamente corto. La potencia máxima en relación a la potencia media puede llegar a una relación superior a 10:1.

En el diseño de un vehículo híbrido, la capacidad de potencia máxima de almacenamiento de energía es más importante que su capacidad energética, y por lo general obliga a una reducción de tamaño. Basado en la tecnología de baterías actual, el diseño de la batería ha de llevar a cabo la compensación entre la energía específica, la potencia específica y el ciclo de vida. La dificultad de obtener simultáneamente valores elevados de la energía específica, la potencia específica y el ciclo de vida ha llevado a sugerir que el sistema de almacenamiento de energía de vehículos híbridos y eléctricos debería ser una hibridación de una fuente de energía y una fuente de alimentación. La fuente de energía, principalmente las baterías y pilas de combustible, tienen alta energía específica, mientras que la fuente de alimentación tiene una potencia específica elevada. Las

fuentes de alimentación se pueden recargar desde la fuente de energía durante el momento menos exigente de conducción o el momento del frenado regenerativo. La fuente de alimentación que ha recibido amplia atención es el supercondensador.

IV.I CARACTERÍSTICAS DE LOS SUPERCONDENSADORES

El supercondensador se caracteriza por una potencia específica mucho más elevada, pero una energía específica mucho más baja en comparación con las baterías. Su energía específica es del orden de unos pocos vatios-hora por kilogramo. Sin embargo, su potencia específica, pudiendo llegar hasta 3 kW/kg, muy superior a cualquier tipo de batería. Debido a la baja densidad de energía específica y a la dependencia de la tensión terminal en SOC (State Of Charge), es difícil usar únicamente supercondensadores como sistema de almacenamiento de energía para vehículos híbridos, eléctricos y de pila de combustible. Sin embargo, hay una serie de ventajas que pueden resultar del uso de supercondensadores como una fuente de potencia auxiliar. Una prometedora aplicación es el llamado sistema híbrido de almacenamiento de energía mediante batería y supercondensadores para los vehículos híbridos, eléctricos y de pila de combustible. Los requerimientos de energía específica y potencia específica pueden ser separados, proporcionando así una oportunidad de diseñar una batería que esté optimizada para la energía específica y el ciclo de vida, con poca atención prestada a la potencia específica. Debido al efecto de nivelación de carga del supercondensador, la descarga de alta corriente de la batería y la carga de alta corriente a la batería por el frenado regenerativo se reducen al mínimo para que la energía disponible, la resistencia y la vida de la batería puedan aumentar significativamente.

Después de hablar de los componentes principales que tiene en su tren de potencia un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno, también es de destacar otros componentes que forman parte de la arquitectura del vehículo.

Electrónica de potencia (Convertidores DCDC, Inversores)

Sumadores de par mecánico

Cajas de cambio alternativas

Volantes de inercia

Sistema de hidrógeno

Los sistemas de almacenamiento de hidrógeno deben satisfacer muchos requerimientos, tales como: aspectos de seguridad, peso, dimensiones, durabilidad, coste, asistencia de recarga, reciclado de los materiales usados y robustez contra esfuerzos mecánicos. Todos estos requerimientos deben ser considerados durante el desarrollo.

Hay ya muchas tecnologías para el almacenaje de hidrógeno desarrolladas. El almacenamiento en depósitos a presión o como hidrógeno líquido son los sistemas más avanzados. Para aplicaciones de transporte rodado, almacenar hidrógeno comprimido es el método más prometedor. Los depósitos de compuesto de fibra de carbono modernos aguantan presiones superiores a 700 bar.)

Los objetivos a medio y largo plazo, son la mejora de las características del depósito, publicación y adecuación de normas internacionales específicas y reducción de costes de los sistemas de depósito.

En cuanto a las conducciones, se utilizan tuberías de acero inoxidable 316 o de cobre. Estos materiales cumplen con el requisito de ser resistentes a la fragilización por el contacto con el hidrógeno.

Unidad electrónica de control (ECU)

Para concluir, decir que nos enfrentamos a los retos de la limitación de los recursos fósiles y la creciente concentración de gas del efecto invernadero en la atmósfera. De ahí que la industria del automóvil esté buscando nuevas soluciones para cumplir los requisitos del sector del transporte en un futuro cercano. Uno de los enfoques más prometedores para el futuro del transporte por carretera es el vehículo eléctrico con la tecnología del sistema de la pila de combustible en combinación con un motor eléctrico.

Con esta tecnología la mayoría de los inconvenientes de los vehículos con un motor de combustión interna pueden ser resueltos sin mayores inconvenientes teniendo en cuenta el rendimiento y la autonomía. Por lo tanto, esta tecnología tiene a medio y largo plazo el potencial de lograr una cuota de mercado significativa.

Los vehículos equipados con pila de combustible en general, no tienen arquitectura híbrida, sino que son puramente eléctricos. Llevan en todo caso, un conjunto de baterías para hacer una regulación eficiente de la energía mediante almacenamiento intermedio. Esto se justifica por el hecho de que la pila es capaz de proporcionar adecuadamente una gran potencia en régimen constante, pero se adapta mal a demandas instantáneas de potencia.

Por el contrario, el vehículo tiene una demanda de potencia altamente cambiante. Las baterías aquí son el elemento intermedio ideal para conectar producción y consumo de energía.

6.6. Caso real en Fundación Hidrógeno Aragón

En este apartado se va a explicar el caso real que se ha desarrollado dentro del marco proyecto LIFE+

Conversión de un vehículo eléctrico de baterías a un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno.

Homologación de dicho vehículo.

Como se acaba de comentar, se ha llevado a cabo, la conversión de un vehículo eléctrico de baterías (REVA) a un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno (FCEV)

Comenzaremos describiendo, los sistemas que posee el REVA, en formato convencional.

Destacar que el vehículo REVA, es un vehículo exclusivamente eléctrico, que posee una serie de elementos cuya disposición se muestra a continuación en la siguiente imagen y con las conexiones existentes en el mismo sistema (representadas en color rojo).

Los principales componentes de este vehículo son las 8 baterías de 6 V, cada una, que hacen un voltaje total de 48 V. Estas baterías alimentan directamente al motor de corriente continua encargado del aire acondicionado y a través un variador de frecuencia (motor controller) al motor trifásico, encargado del desplazamiento del vehículo eléctrico.

También se dispone de un conversor AC/DC/DC, que convierte la tensión de red (220 V) del punto de recarga del vehículo en dos tensiones (dos salidas), una de 48 V, encargada de la carga de nuestro banco de baterías y otra de 12 V, encargada de la alimentación de los elementos auxiliares de nuestro vehículo (Radio CD, ventiladores de refrigeración...).

En la imagen que aparece a continuación, se puede observar la disposición en planta del vehículo REVA en cuestión, en la que se puede observar la disposición de los componentes y el espacio que disponemos para la colocación de los nuevos componentes de nuestro nuevo tren de potencia, formado por un sistema de hidrogeno. Destacar que las medidas se encuentran en cm.

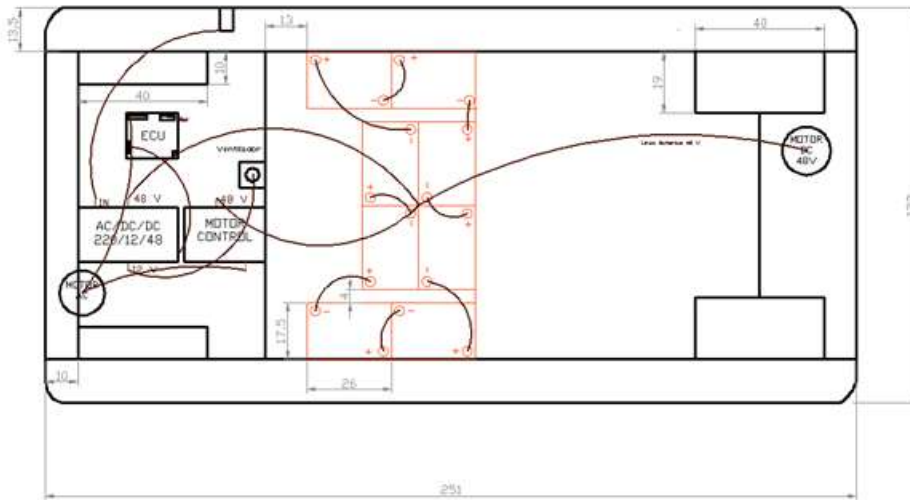


Figura 50. Esquema vista planta REVA



Figura 51. Vista lateral derecha REVA



Figura 52. Vista lateral izquierda REVA



Figura 53. Vista trasera REVA



Figura 54. Vista delantera REVA

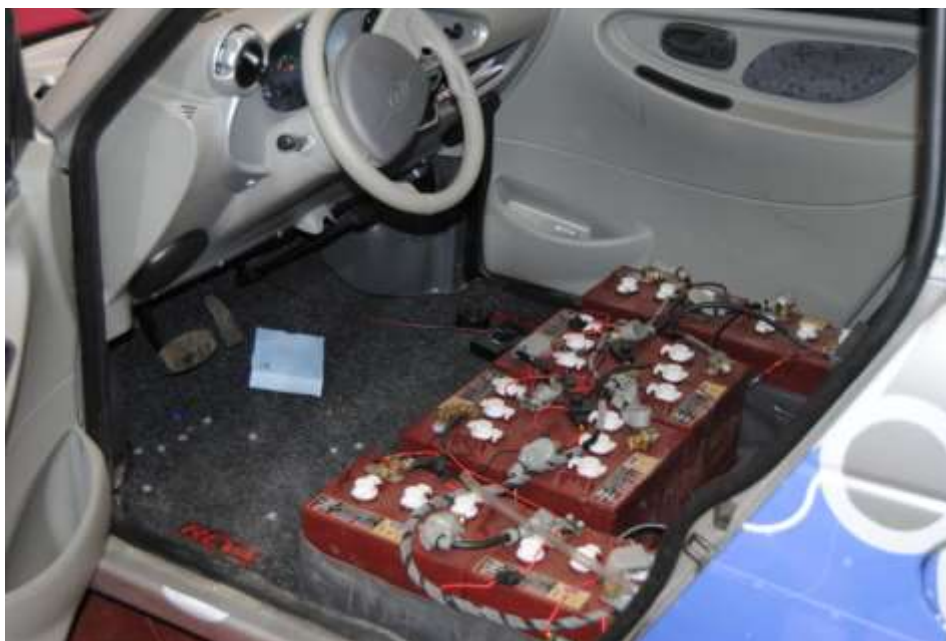


Figura 55. Interior sin asientos (Baterías Pb-Acido)



Figura 56. Control vehículo eléctrico de baterías

A continuación, se va a describir el tren de potencia del vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno y los cálculos justificativos del mismo.

Como se puede observar en la imagen, que aparece a continuación, se muestra un diagrama de bloques de la disposición de los componentes de esta modificación, conocida como FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle).

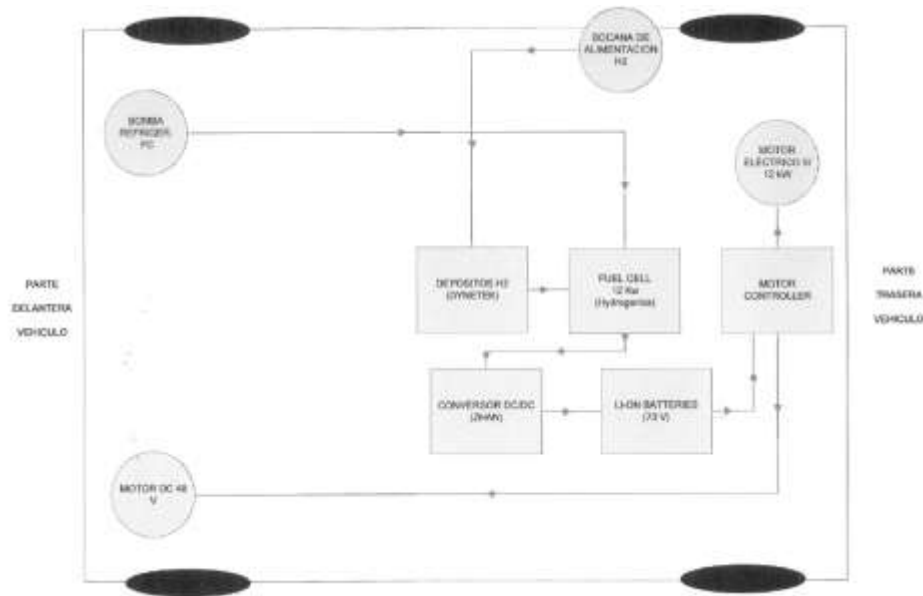


Figura 57. Diagrama de bloques FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)

En esta configuración, los componentes que forman parte de nuestro tren de potencia son las baterías de litio, cuya función es el almacenamiento de la energía generada con la frenada regenerativa que produce el motor eléctrico y el sistema de hidrógeno, formado por la pila de combustible y los depósitos.

- Características baterías

Tecnología: Ion litio

Tensión: 70 V

Capacidad: 20 Ah

$$kWh (baterías) = Tensión(V) * Capacidad (Ah) = 70 V * 20 Ah = 1,4 kWh$$



Figura 58. Batería de Litio FCEV

- Características sistema de hidrógeno

Pila de combustible (Hydrogenics 12 kW)

Potencia pila: 12 kW

Consumo pila: Conociendo el consumo de la pila cuando entrega 12 kW es de 190 l/min y que la eficiencia, según la curva de características es del orden de 46 %. Para las diferentes potencias, que entrega la pila, se estima el consumo de la siguiente manera:

$$\text{Factor aproximación consumo} = \frac{\text{Potencia (kW)}}{\text{Eficiencia FC}} * 100$$

Ecuación 7: Factor aproximación consumo Hydrogenics

Se utiliza el factor de aproximación para 12 kW, que presenta una eficiencia de 46 % (ver Figura 59) para los posteriores cálculos de consumo de la pila, según sea la potencia.

$$\text{Factor aproximación consumo 12 kW} = \frac{\text{Potencia (kW)}}{\text{Eficiencia FC}} * 100 = \frac{12}{46} * 100 = 26,087$$

El cálculo del consumo se realizará utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Consumo} \left(\frac{l}{min} \right) = \frac{190 \left(\frac{l}{min} \right) * \text{Factor (Potencia kW)}}{26,087}$$

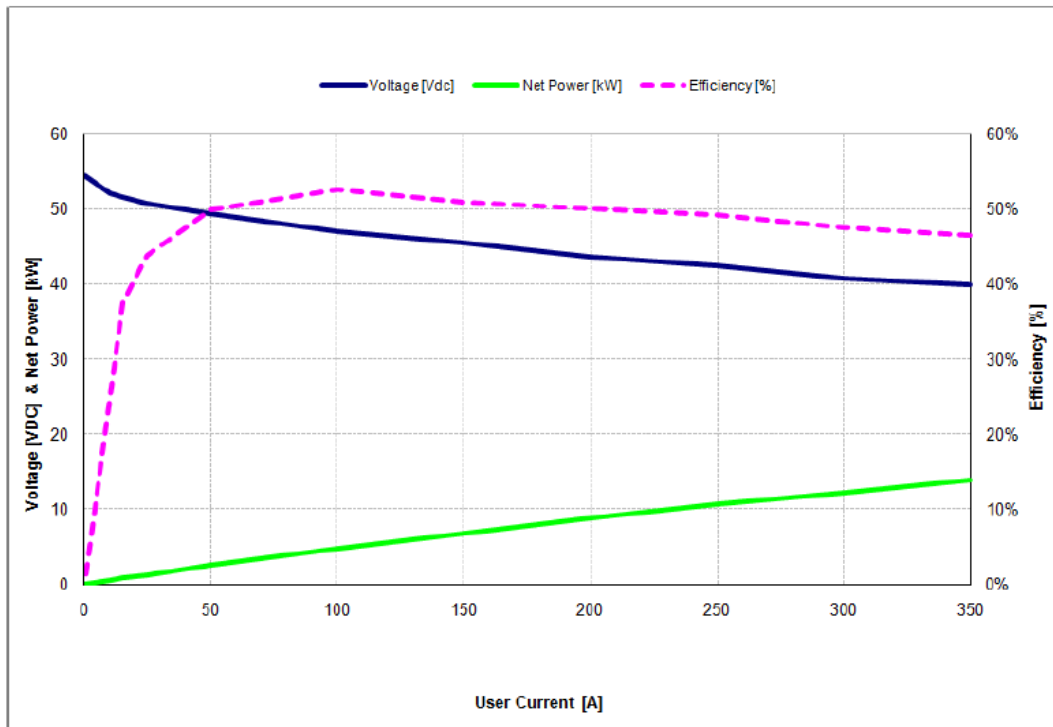


Figura 59. Curva de potencia FC

- Sistema de almacenamiento de hidrógeno

Presión de almacenamiento: 350 bar.

Volumen de almacenamiento: 2 depósitos de 18 l.

Se instala dos depósitos de hidrógeno, por limitaciones de espacio, como se observa en la imagen que aparece a continuación, que representa la vista en planta del FCEV a realizar en el vehículo eléctrico REVA.

En la Figura 60, se muestra el perfil del FCEV, después de la modificación realizada en el vehículo eléctrico.

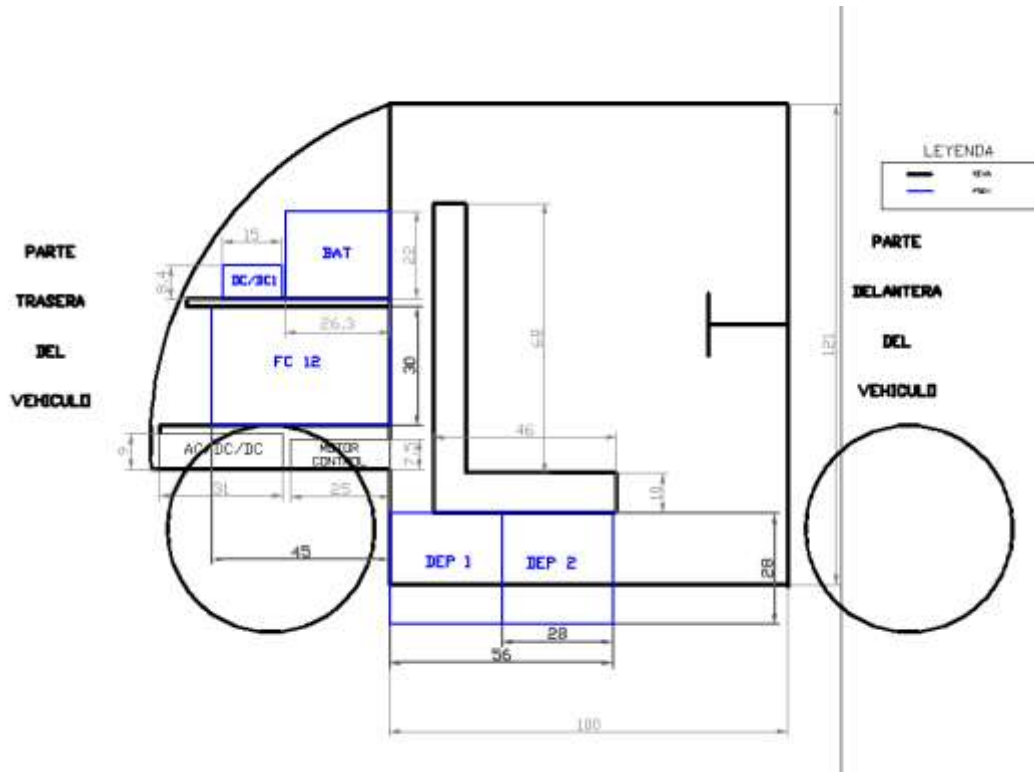


Figura 60. Perfil FCEV

Para el cálculo de los gramos disponibles de hidrógeno, se necesita conocer el factor de compresibilidad del hidrógeno. Conociendo la presión de almacenamiento (350 bar.) el factor de compresibilidad es de 1,236.

$$g H_2 \text{ disp.} = \frac{\rho_{H_2} \left(0,0899 \frac{g}{l}\right) * \text{Volumen depositos (l)} * \text{presion almacenamiento (bar)}}{\text{Factor compresibilidad}}$$

$$= \frac{0,0899 \left(\frac{g}{l}\right) * 36 l * 350 \text{ bar}}{1,236} = 916,456 g \text{ disponibles de } H_2$$

A continuación, se realizarán los cálculos de la autonomía, que se consigue con el vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno, tras la transformación realizada. Realizando un circuito de conducción urbana y otro de conducción interurbana.

- Circuito urbano

Consumo medio (kW): 6 kW

Velocidad media (km/h): 50 km/h

$$kWh(FC) = \frac{\text{Potencia FC (kW)} * g H_2 \text{ disponibles}}{\text{Consumo pila } \left(\frac{g}{min}\right) * 60} = \frac{6,5 \text{ kW} * 916,456g}{7,86 \left(\frac{g}{min}\right) * 60} = 12,63 \text{ kWh}$$

$$kWh \text{ disponibles} = kWh \text{ (baterías)} + kWh(FC) = 12,63 \text{ kWh} + 1,4 \text{ kWh} \\ = 14,03 \text{ kWh}$$

$$\text{Autonomía (min)} = \frac{kWh \text{ disponibles}}{\text{Consumo medio (kW)}} * 60 = \frac{14,03 \text{ kWh}}{6 \text{ kW}} * 60 = 140,3 \text{ min}$$

$$\text{Autonomía (km)} = \frac{\text{Autonomía (min)} * V_{media} \left(\frac{km}{h}\right)}{60} = \frac{140,3 \text{ min} * 50 \text{ km/h}}{60} = 117 \text{ km}$$

- Circuito Interurbano (conducción en carretera)

Consumo medio (kW): 7 kW

Velocidad media (km/h): 55 km/h

$$kWh(FC) = \frac{\text{Potencia FC (kW)} * g H_2 \text{ disponibles}}{\text{Consumo pila } \left(\frac{g}{min}\right) * 60} = \frac{7,8 \text{ kW} * 916,456g}{8,98 \left(\frac{g}{min}\right) * 60} = 13,26 \text{ kWh}$$

$$kWh \text{ disponibles} = kWh \text{ (baterías)} + kWh(FC) = 13,23 \text{ kWh} + 1,4 \text{ kWh} \\ = 14,63 \text{ kWh}$$

$$\text{Autonomía (min)} = \frac{kWh \text{ disponibles}}{\text{Consumo medio (kW)}} * 60 = \frac{14,63 \text{ kWh}}{7 \text{ kW}} * 60 = 125,4 \text{ min}$$

$$\text{Autonomía (km)} = \frac{\text{Autonomía (min)} * V_{media} \left(\frac{km}{h}\right)}{60} = \frac{125,4 \text{ min} * 55 \text{ km/h}}{60} = 115 \text{ km}$$

En la Tabla 3, se muestran los resultados obtenidos según el ciclo de conducción y la configuración de trenes de potencia.

Tabla 3. Resumen simulaciones

<i>TIPO DE VEHÍCULO</i>	<i>AUTONOMÍA URBANA</i>	<i>AUTONOMÍA CARRETERA</i>
<i>REVA</i>	<i>80 km</i>	<i>75,43 km</i>
<i>FCEV (FC 12 kW + 100 V 20 Ah)</i>	<i>117 km</i>	<i>115 km</i>

En la tabla que aparece a continuación, se puede observar la ubicación concreta de cada elemento que componen el sistema de hidrogeno y también se indica si con la instalación de cada nuevo componente es necesaria alguna modificación mecánica en el vehículo.

Tabla 4. Ubicación componentes

<i>COMPONENTE</i>	<i>UBICACION</i>	<i>MODIFICACIONES MECANICAS</i>
<i>Baterías de litio</i>	<i>Parte trasera</i>	<i>Cerramiento trasero</i>
<i>Depósitos de H₂</i>	<i>Parte inferior de los asientos</i>	<i>Modificación del chasis</i>
<i>FC (Hydrogenics 12 kW)</i>	<i>Parte trasera</i>	<i>Cerramiento trasero</i>
<i>Convertidor DC/DC</i>	<i>Parte trasera</i>	<i>Cerramiento trasero</i>
<i>Bocana de alimentación</i>	<i>Parte izquierda trasera</i>	<i>Nueva apertura exterior</i>

El sistema de hidrogeno estará compuesto, por la bocana de alimentación de los depósitos, el sistema de almacenamiento (depósitos de hidrogeno), pila de combustible (12 kW) y un conversor DC/DC, encargado de convertir la tensión de salida de la pila de combustible a la tensión de alimentación del controlador del motor. También destacaremos que el almacenamiento de energía se realizara mediante el empleo de supercondensadores, que sustituirán a las baterías que se encuentran en la actualidad en el vehículo.

La disposición en planta de estos componentes se puede observar en la siguiente imagen (dimensiones en cm), el sistema de hidrogeno está representado en color azul, los demás componentes son los que ya se encontraban existentes en la configuración inicial del REVA, y los cuales se mantendrán en esta nueva configuración.

También destacar que la tensión del bus de continua ha surgido un cambio, debido al cambio de diferentes componentes de nuestro tren de potencia.

Tabla 5. Tensión bus DC

<i>Tipo de vehículo</i>	<i>Tensión BUS DC</i>
<i>Vehículo inicial</i>	<i>48 V</i>
<i>FCEV</i>	<i>70 V</i>

A continuacion se muestra el sistema de alimentacion de nuestra pila de combustible, desde la bocana de alimentacion, hasata la entrada de hidrogeno de nuestra pila de combustible.

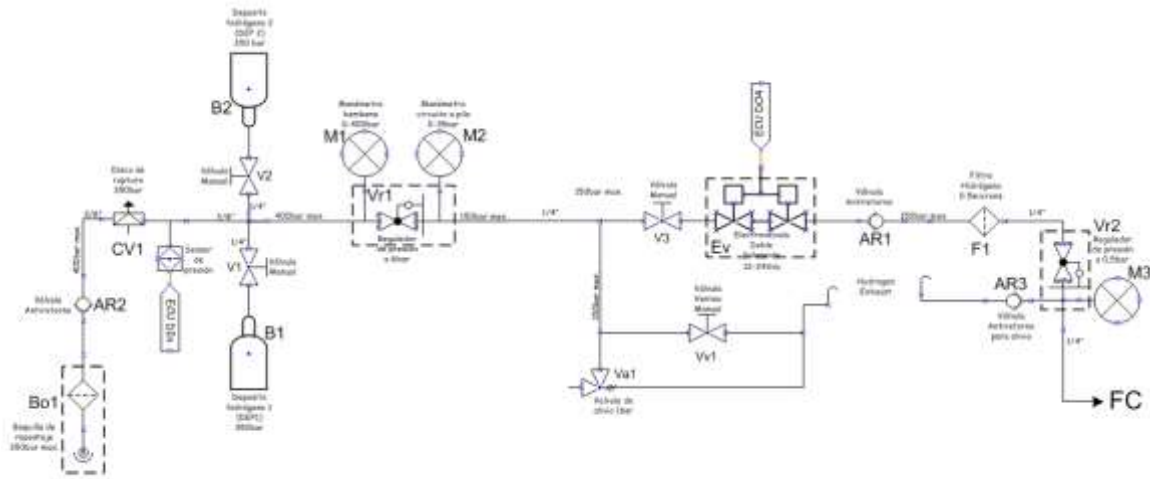


Figura 61 . Sistema de alimentación de hidrógeno

A continuación, aparecen una serie de imágenes de la transformación del vehículo eléctrico de baterías a un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno.



Figura 62. Soporte para la colocación de los diferentes componentes



Figura 63. Componentes en la parte trasera del vehículo

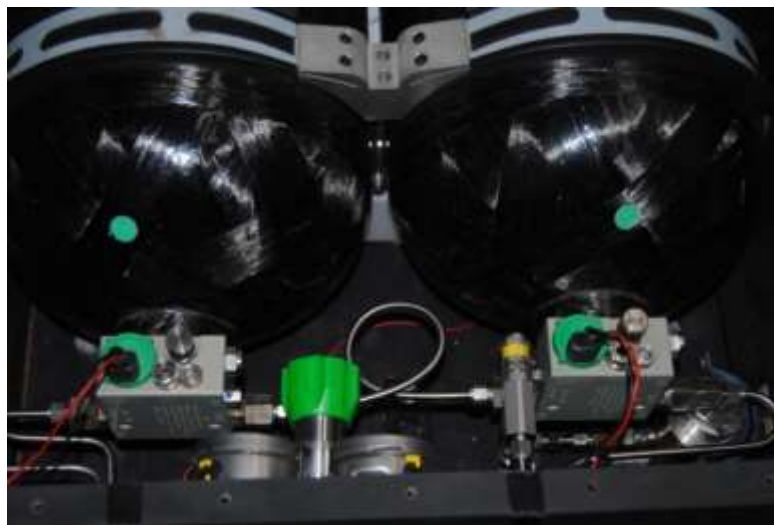


Figura 64. Circuito de alimentación de la pila de combustible



Figura 65. Depósitos de hidrógeno

Uno de los aspectos más importantes, de este proyecto y para de esta manera conseguir una reducción de las emisiones de CO₂, es conseguir la homologación del vehículo tras las modificaciones realizadas, y así conseguir que la utilización del vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno sea una inmediata realidad.

Los pasos a seguir en la homologación del vehículo eléctrico de pila de combustible se muestran a continuación:

- 1º Proyecto de reforma describiendo las modificaciones en función de la seguridad vial
- 2º Dictamen de actitud de reforma del fabricante o un laboratorio certificado. Ensayos.
- 3º Emisión de "Certificado Taller" como que se han realizado las modificaciones de reforma que pone el proyecto de reforma.
- 4º Se lleva el vehículo a la ITV con: Tarjeta ITV (vehículo eléctrico), proyecto, dictamen y certificado de taller. ITV emite una nueva tarjeta o modifica la existente.
- 5º El vehículo YA PUEDE CIRCULAR por la vía pública.

A continuación se muestra el certificado de taller en la que se certifican que todas las modificaciones mecánicas que se han realizado en el vehículo eléctrico de baterías para que la construcción del vehículo eléctrico con pila de combustible de hidrogeno haya sido posible, cumplen con la normativa correspondiente.

**7.- CERTIFICADO DE TALLER.**

D. ALEJANDRO LATAPIA LLINAS, expresamente autorizado por la empresa TEAM ELIAS, S.L., domiciliada en LA PLAZA DE ALFONSO provincia de ZARAGOZA, calle SAUCE, nº 88, dedicada a la actividad de TALLER DE REPARACIÓN DE VEHÍCULOS, con nº de registro industrial 30.898.

CERTIFICA

Que la mencionada empresa ha realizado las reformas y asume la responsabilidad de la ejecución sobre el vehículo marca REVA, tipo L7e, variante DELUXE i, denominación comercial REVA, matrícula 3405 GFF y nº de bastidor MB7EVP1A7A101395, de acuerdo con:

- La normativa vigente en materia de reforma de vehículos.
- Las normas del fabricante del vehículo aplicables a las reformas llevadas a cabo en dicho vehículo.
- El proyecto técnico de las reformas, adjunto al expediente.

OBSERVACIONES:

Reforma consistente en la modificación de la parte inferior del chasis del vehículo según se muestra en el presente informe.

Zaragoza, a 30 de octubre de 2012.

Team ELIAS, S.L.

Figura 66. Certificado de taller Team Elias

Destacar, que la inspección técnica que tuvo que realizar este vehículo, es la misma que un vehículo convencional, exceptuando, claro está la prueba de emisiones. A continuación, se muestra una imagen del momento que el vehículo, realizo la inspección.



Figura 67. Inspección técnica REVA



Figura 68. ITV REVA

Se adjunta también el informe, generado cuando se realizó la inspección técnica del vehículo, en el que se ve que la inspección tuvo una resolución FAVORABLE.



INFORME DE INSPECCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS

S.E.M. GRUPO ITEVELESA ARAGON S.A. Estación 5001
Polígono Industrial de Malpica C/D, nº 24 50016-Zaragoza Telf.: 976570818

Clasificación 0849	Tipo L7e	Marca/Modelo REVA REVA	Nº bastidor AR5001080648	Fecha 1ª matriculación 04/06/2008	Matrícula 3405-GFF
Tipo de inspección REPARA SIN PROYECTO		Kilometraje	Contraseña de homologación E11*2002/24*0098*04	Fecha inspección 30/10/2013	Informe Nº 1.853.801

SEGUNDA INSPECCIÓN

Elementos inspeccionados Informe correspondiente a la factura nº:

CO IDENTIFICACIÓN A. 01-02. Identificación B. 01-03. Estado de funcionamiento C. 01-04. Estado de seguridad D. 01-05. Estado de conservación					
--	--	--	--	--	--

Mediciones efectuadas durante la inspección:

FRENADO (KN) Equipo nº	1º eje		2º eje		3º eje		4º eje		EMISIONES N° RUIDO N°	ALINEACIÓN (m/Km)	
	izq/dcha	izq/dcha	izq/dcha	izq/dcha	izq/dcha	izq/dcha	izq/dcha	izq/dcha		Opacidad (m ⁻¹) K	Equipo nº
Freno Servicio	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	CO Ralentí (%)	-	1º Eje
Freno Socorro	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	CO Acelerado (%)	-	2º Eje
Freno Estacionamiento	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	Factor λ	-	VEL.ACT.LIM. (Km/h)
Deceleración (m/s²)	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	Ruido dB(A)	-	Equipo nº

Relación de defectos encontrados en la inspección:

(El resto de puntos han sido inspeccionados como favorables)

Los elementos indicados con A han sido inspeccionados en La línea 02 por el inspector 89

Los elementos indicados con B han sido inspeccionados en por el inspector por el inspector

Los elementos indicados con C han sido inspeccionados en por el inspector por el inspector

Los elementos indicados con D han sido inspeccionados en por el inspector

NOTAS:

RESULTADO DE LA INSPECCIÓN: FAVORABLE

FECHA PRÓXIMA INSPECCIÓN: Antes de 21/05/2015
(sólo en caso de inspección favorable)

Observaciones 2ª fase de la inspección: 1.838.604 En la estación: 5001	Vº 8ª Estación  Firma y sello
---	--

HORA DE EMISIÓN: 13:20
Inspección reglada por el R.D. 3843/04, RD 1117/2010 y RD 324/2012

Página 1 de 1

Figura 69. Informe ITV REVA

Este proyecto se ha desarrollado con el principal objetivo de transformar un vehículo eléctrico de baterías en un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno, después de realizar las correspondientes simulaciones en la que se demuestra que la autonomía del vehículo aumenta

considerablemente. También destacar que todas las modificaciones realizadas en el vehículo, se ha respetado todas las premisas dadas por la ITV, organismo encargado de la homologación del vehículo.

Las configuraciones que se han estudiado son las siguientes:

BEV (Battery Electric Vehicle)

FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)

Se han simulado las diferentes configuraciones, para conocer la autonomía “teórica”, mediante dos circuitos:

Circuito urbano (Parque Tecnológico Walqa).

Circuito carretera (Walqa – Decathlon).

Para la comprobación de las simulaciones se ha utilizado un modelado, desarrollado mediante el software Matlab/Simulink y se llega a la conclusión que las simulaciones son correctas.

En la tabla 4, se comparan las diferentes configuraciones de trenes de potencia presentadas en este proyecto, con el vehículo de combustión tan utilizado en la actualidad, cuya utilización se pretende disminuir o incluso desaparecer.

Tabla 6. Comparación diferentes tecnologías

	BEV	FCEV	COMBUSTIÓN
AUTONOMÍA (km)	65	120	500
RECARGA			
80 %	1/2h.		
100 %	8h.	2 min	2-3 min
COSTE (c€/km)	1.75	7	10
BATERÍAS	200Ah 48V 10kWh	20Ah 100V 2kWh	-
PILA DE H₂	-	12kW	-
EMISIONES (gr CO₂/km)	0	0	130

En la tabla 4, se observa, como con las diferentes configuraciones de trenes de potencia de vehículos eléctricos (BEV y FCEV), la autonomía que se consigue es inferior a la que conseguimos con un depósito del vehículo de combustión, por lo tanto, los vehículos eléctricos actualmente tiene un verdadero interés en ambientes urbanos, donde los desplazamientos son cortos.

Otro problema que presenta el BEV, es el largo periodo de tiempo de recarga del vehículo, este problema se soluciona con la adición de una pila de combustible de hidrógeno (FCEV), en el que el periodo de recarga se asemeja al tiempo de repostaje del vehículo convencional.

Las principales ventajas que presentan los vehículos eléctricos frente al vehículo de combustión (gasolina o diesel), como se observa en la tabla 8, es el menor coste del combustible (c€/km) y las

emisiones emitidas a la atmósfera de los vehículos eléctricos que son nulas, si la electricidad con la que se recargan las baterías o con la que se produce el hidrógeno proviene de energías renovables.

Dentro de las diferentes tecnologías, se llega a la conclusión que las mejores configuraciones del tren de potencia del vehículo eléctrico, es decir, con la que se obtiene mayor autonomía, son aquellas en las que se añade una pila de combustible de hidrógeno al tren de potencia del vehículo.

FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)

Mediante esta conversión del vehículo reduciremos las emisiones de CO₂. Y además, se consiguen mejores prestaciones que las que se tenían con este mismo vehículo, cuando era un vehículo eléctrico de baterías, se obtiene un mayor autonomía y una reducción considerable del tiempo de recarga.



Figura 70. Recarga del vehículo de hidrógeno



Figura 71. Vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno

7. Plan de ensayos del sistema de compresión mediante hidruros metálicos.

En esta etapa del proyecto se realiza una propuesta de plan de ensayos para la caracterización del sistema de compresión para una posible integración posterior con los equipos de la Fundación Hidrógeno Aragón.

Los ensayos planteados se han propuesto con el objetivo de adquirir información práctica del sistema de compresión. Este sistema es un proceso novedoso de compresión, y no existen datos experimentales de estos equipos a nivel de uso práctico. Información práctica de los sistemas de compresión se requiere para el posterior desarrollo del sistema.

- Determinación de la presión alcanzada a distintas presiones de entrada y rangos de temperatura empleada:

	$\Delta T_1(25\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_2(80\text{ }^{\circ}\text{C} - 150\text{ }^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_3(25\text{ }^{\circ}\text{C} - 150\text{ }^{\circ}\text{C})$
P_{i1} (10 bar)	P_{f11} x3	P_{f21} x3	P_{f31} x3
P_{i2} (20 bar)	P_{f12} x3	P_{f22} x3	P_{f32} x3

P_{i3} (30 bar)	P_{f13} x3	P_{f23} x3	P_{f33} x3
-------------------	--------------	--------------	--------------

Para un mejor conocimiento del comportamiento se emplean tres presiones de entrada al compresor, sobre las cuales se les aplican tres rangos distintos de temperatura para poder conocer su comportamiento con temperaturas para agua líquida, con deficiencias en el enfriamiento y con todo el rango de temperaturas planteado.

- Determinación de los caudales y velocidades.

Aprovechando los ensayos del punto anterior se determina la velocidad de carga y descarga de los hidruros. Esta información permitirá escalar los requerimientos energéticos y los sistemas de compresión y almacenaje.

7.1. Resultados del plan de ensayos

Para probar el funcionamiento del sistema se realizó una serie de ensayos para poder conocer mejor el comportamiento del sistema.

Los ensayos realizados son cargas y descargas del sistema bajo las condiciones de fabricación del sistema de hidruros metálicos.

Las condiciones de trabajo fueron rangos de temperatura entre 25 °C y 150 °C, y presiones de entrada entre 10 bar y 30 bar.

Se realizaron ensayos en tres tipos de rangos diferentes de temperatura, entre 25 °C y 150 °C, entre 25 °C y 80 °C y entre 80 °C y 150 °C. Estos últimos rangos se vieron ineficaces para la compresión de hidrógeno debido a diversos factores. Para el rango 25 – 80 °C, la presión alcanzada a la salida es inferior de manera proporcional a la alcanzada en el rango 25 – 150 °C. Para el caso del rango 80 – 150 °C, la presión de entrada máxima (30 bar) no era lo suficientemente elevada para poder realizar la absorción de manera significativa, y por ende poder comprimir hidrógeno.

En la Figura 72 se muestran los diagramas de presión para el proceso de compresión de hidrógeno a 30 bar a la entrada y para los rangos de temperatura 25 °C a 80 °C. La presión alcanzada en este caso es de 96 bar. Posterior a este rango de temperaturas se realizó el rango 80 °C – 150 °C¹. En esta etapa los caudales de entrada de hidrógeno disminuyeron rápidamente, ver Figura 73, debido a que la presión de equilibrio a 80 °C está más cerca de 96 bar que de los 30 bar de presión de suministro de hidrógeno. Esto provoca que la cantidad de hidrogeno que puede entrar en la aleación metálica sea escasa.

¹ El sistema se mantuvo a 140 °C en lugar de 150 °C, pero a efectos prácticos se considera válido este caso.

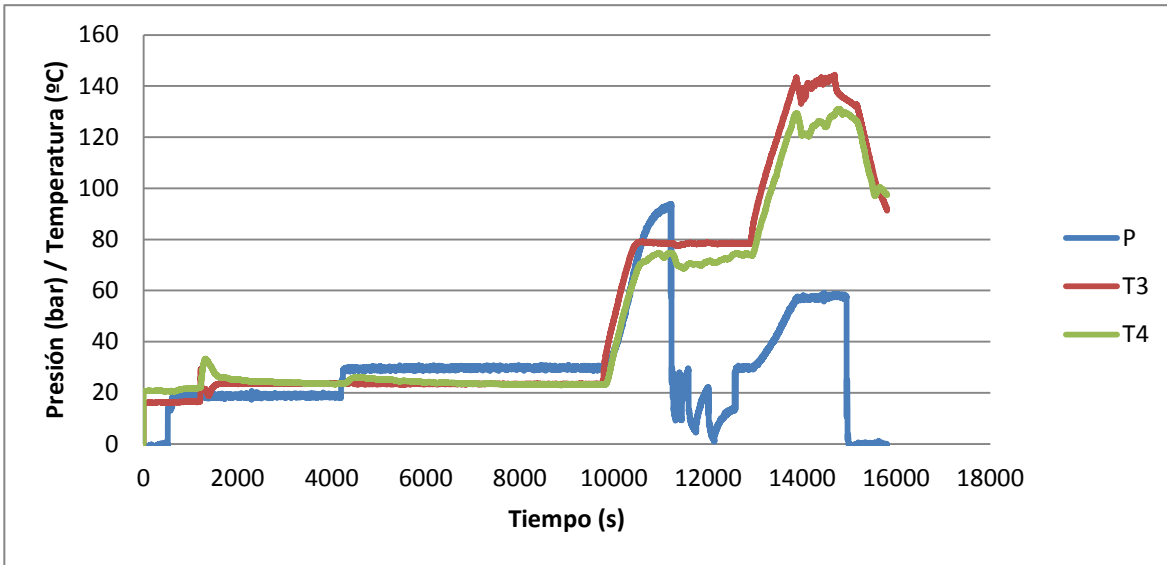


Figura 72. Compresión de hidrógeno a 30 bar en rango de temperatura 25 – 80 °C y 80 – 150 °C.

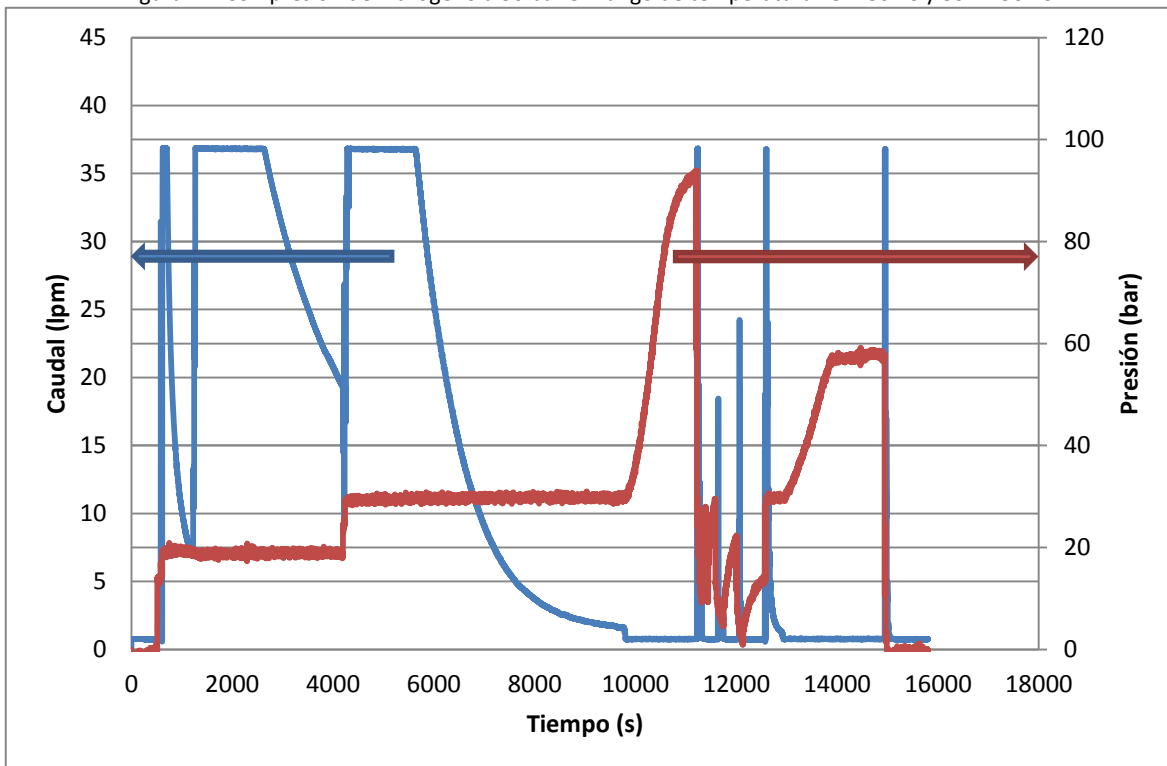


Figura 73. Comparación entre el caudal de entrada de hidrógeno y presión alcanzada para los ensayos 25 – 80 °C y 80 – 150 °C.

Por ello los ensayos que mejores resultados van a dar son los que operan en el rango de las temperaturas 25 – 150 °C, debido principalmente a que los hidruros están optimizados para trabajar en ese rango de temperaturas.

La siguiente etapa de ensayos se centro en el estudio de la influencia de la presión de entrada del depósito. A mayores presiones de entrada se consigue una mayor cantidad de hidrógeno absorbido, y por ende mayor potencial para la compresión. Este aumento de la presión de entrada aumentará la cantidad de hidrógeno almacenado hasta que se supere la presión de equilibrio, en tal caso se requeriría un aumento considerable de la presión de entrada para conseguir introducir hidrógeno en la aleación de manera apreciable.

En la Figura 74 se muestra el efecto del empleo de diferentes presiones de entrada y su evolución para los mismos rangos de temperatura aplicada, es decir 25 °C en la carga y 150 °C en la descarga. En ella se aprecia el aumento de la presión final acorde al aumento de la presión de entrada. Para una presión de entrada de 10 bar se consigue una presión máxima de 74 bar (7,4 veces la presión inicial), para 20 bar de presión de entrada, 143 bar (7,1 veces la presión inicial) y para 30 bar de entrada se alcanzan 250 bar de presión (8,3 veces la presión inicial).

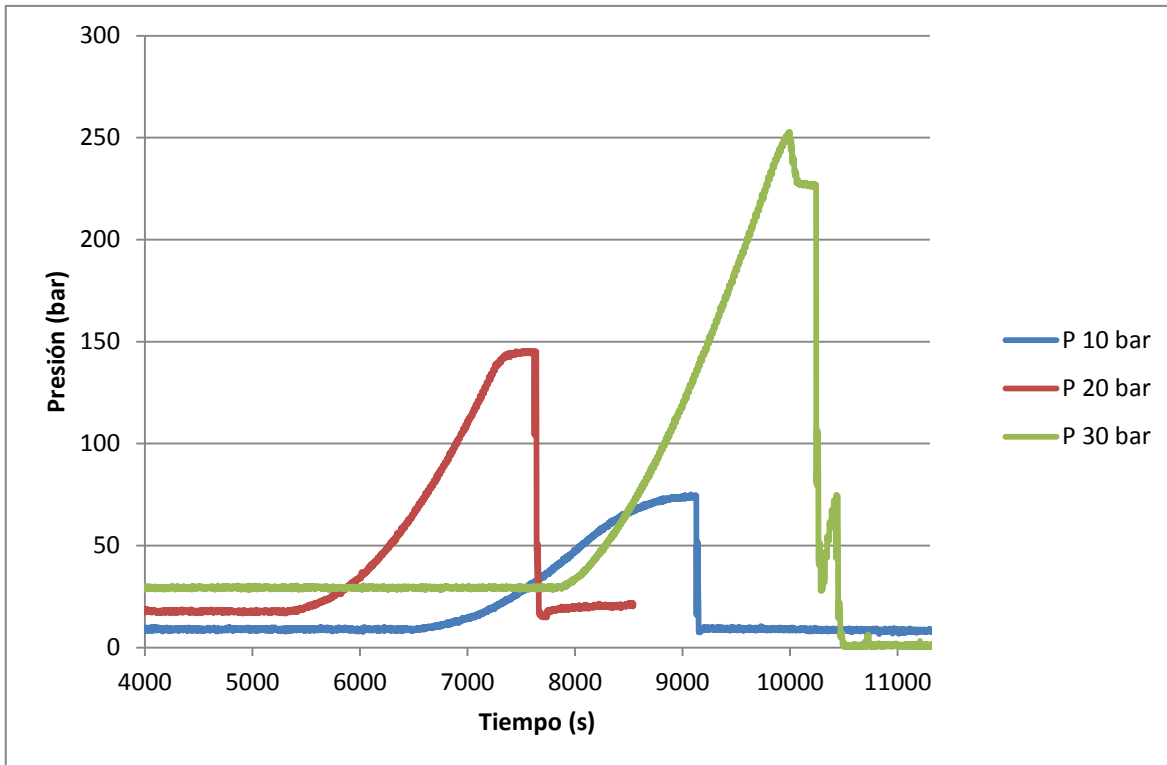


Figura 74. Evolución de la presión de salida en función de la presión de entrada.

CONCLUSIONES

Durante este año se ha llevado a cabo en la Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón, la transformación de un vehículo eléctrico de baterías a un vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno.

El día 21 de mayo de 2012, se llevó a cabo la presentación a los medios de comunicación en la que se realizó una recarga de hidrogeno, mediante la Hidrogenera situada en las instalaciones de la Fundación y posteriormente se realizó una demostración del funcionamiento del vehículo en las instalaciones del Parque Tecnológico Walqa.

Después de esta presentación se han llevado una serie de mejoras, y así de esta manera optimizar el diseño del vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno y también se ha continuado con la homologación del vehículo y la superación de manera favorable de la inspección técnica de vehículos y de esta manera conseguir que su conducción sea una realidad.

A día de hoy el vehículo se encuentra homologado, por los organismos competentes y está siendo utilizado, para realizar diferentes ensayos, para ver la mejoría, con la introducción de la pila de combustible en el power train del vehículo y además es como vehículo de empresa, por parte de los trabajadores de la Fundación.

Cabe recordar que se disponen de dos vehículos eléctricos en pleno funcionamiento, un eléctrico puro de baterías, que en él también se podrán ir probando diferentes tecnologías de baterías existentes en el mercado actual y otro el de pila de combustible de hidrogeno, con estos dos vehículos cuando se tenga la certificación correspondiente se podrá cubrir el transporte de los trabajadores de la fundación en el entorno del Parque Tecnológico, reduciendo considerablemente las emisiones de CO₂ producidas.

Dentro del apartado de movilidad, también se ha desarrollado, un prototipo de remolque para limpieza de cascos urbanos. Aporta una solución factible para limpieza. La implementación de este sistema lograria disminuir el ruido de las ciudades e incluso ampliar al horario nocturno la limpieza de algunas zonas de la ciudad por convertirse esta actividad en compatible con el descanso e los ciudadanos. Respecto a otras opciones con baterías electricas, el prototipo presenta una amplia autonomía y un tiempo de recarga del orden de minutos. Un sistema fuente de energía puramente electrica no se considera factible por las necesidades de autonomía y recarga de la aplicación.

Además, también se ha llevado a cabo la transformación de una carretilla elevadora eléctrica de baterías en una carretilla eléctrica con pila de combustible. Los principales problemas que presentan las carretillas de baterías son los largos tiempos de recarga de las baterías y la escasa autonomía que presentan. En un mismo turno de trabajo de 8 horas, un operario deberá parar al menos una vez para reemplazar las baterías por unas cargadas (tiempo perdido en el reemplazo 15-30 minutos); con una carretilla de hidrógeno la recarga se hace inmediata (2-3 minutos) y una única carga permite operar durante todo el turno de trabajo.

Se ha realizado un plan de ensayos para la verificación del funcionamiento del sistema de compresión de hidrógeno. Se ha visto unas buenas capacidades de compresión aprovechando calor en lugar de electricidad.

Con los ensayos realizados se han conseguido alcanzar hasta los 250 bar en una sola etapa, lo que confirma las capacidades de este sistema para alcanzar los 700 bar en varias etapas y con diferencias térmicas aceptables.

RESUMEN PARA EL PUBLICO GENERAL

En este deliverable se han mostrado las diferentes mejoras y modificaciones que se han realizado en las diferentes aplicaciones desarrolladas por la Fundación Hidrogeno Aragón, dentro del marco del proyecto Zero Hytechpark.

Las mejoras se han realizado, con el fin de mejorar la eficiencia y la disponibilidad de las diferentes aplicaciones desarrolladas.

En las aplicaciones que se han realizado mejoras son las siguientes:

- Vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrogeno
- Sistema de cogeneración, basado en una pila de combustible de hidrogeno
- Sistema portátil de potencia con pila de combustible de hidrogeno
- Instalación de autoconsumo fotovoltaico.
- Carretilla elevadora de pila de combustible de hidrogeno.