

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

LEGALIZACIÓN DE LAS REFORMAS REALIZADAS EN UN VEHÍCULO PARA SU FUNCIONAMIENTO CON HIDRÓGENO



Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado

ARITZ ARIBE MATEO

JOSÉ CARLOS URROZ UNZUETA

Pamplona, fecha de defensa 09/09/14



RESUMEN DEL TRABAJO:

El trabajo de fin de grado que voy a presentar a continuación trata sobre qué modificaciones tenemos que realizar a nivel técnico en un automóvil cuyo combustible utilizado en el motor de combustión interna es gasolina con el objetivo de hacerlo funcionar de manera bivalente con hidrógeno, quemando también el hidrógeno en el motor de combustión.

Para que ello sea posible deberemos añadir al automóvil ya existente todo el sistema de hidrógeno, el cual se encarga desde el almacenamiento del hidrógeno hasta la introducción del mismo en el motor de combustión interna. Otro objetivo a cumplir es que nuestro automóvil pueda circular legalmente, por ello tenemos que tener en cuenta que nuestro vehículo debe legalizarse después de realizarle las reformas, por lo que necesita cumplir todas las normas en relación a automóviles que emplean el hidrógeno como combustible.

LISTA DE PALABRAS CLAVE:

- **Hidrógeno**
- **MCIA (motores de combustión interna alternativos)**
- **Legalización de reformas en vehículos**
- **Motor bivalente gasolina-hidrógeno**
- **Instalación del sistema de hidrógeno en vehículos**

KEY WORDS:

- **Hydrogen**
- **ICE (Internal combustion engine)**
- **Legalization of reforms in vehicles**
- **Bivalent engine gasolina-hydrogen**
- **Hydrogen system installation in vehicles**

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 HISTORIA SOBRE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO	7
1.2 PROPIEDADES COMBUSTIBLES DEL HIDRÓGENO	10
1.2.1 Amplia gama de inflamabilidad.....	10
1.2.2 Baja energía de ignición	10
1.2.3 Pequeña distancia de apagado	11
1.2.4 Temperatura de auto ignición elevada	12
1.2.5 Alta velocidad de llama	12
1.2.6 Alta difusividad.....	12
1.2.7 Baja densidad	13
1.2.8 Relación aire-combustible.....	13
1.2.9 Problemas y soluciones del preencendido	15
1.2.10 Evolución técnica de los motores de gasolina a hidrógeno.....	17
1.2.11 Resumen cambios más importantes a realizar en el motor	21
1.3 ALMACENAMIENTO DEL HIDRÓGENO.....	23
1.3.1 Métodos más habituales para el almacenamiento del H_2	25
1.3.2 Otros métodos para el almacenamiento del H_2	30
2. ELEMENTOS Y ESQUEMA DE NUESTRO SISTEMA DE HIDRÓGENO	33
2.1 ESQUEMA Y DIBUJOS DEL SISTEMA DE HIDRÓGENO	33
2.2 INFORMACIÓN DE SISTEMAS Y COMPONENTES RELACIONADOS CON LA NORMATIVA.....	37
2.3 EXPLICACIÓN AL DETALLE DE SISTEMAS Y COMPONENTES DE HIDRÓGENO A INSTALAR TENIENDO EN CUENTA LA NORMATIVA	47
2.3.1 Depósito de H_2	48
2.3.2 Reguladores de presión.....	50
2.3.3 Válvulas automáticas y válvulas anti-retorno	52
2.3.4 Dispositivos de descarga de presión	54
2.3.5 Conductos de combustibles rígidos y flexibles	57
2.3.6 Accesorios de los componentes de hidrógeno	59
2.3.7 Filtro de hidrógeno.....	60
2.3.8 Caja estanca al gas	60
2.3.9 Instalación eléctrica	61

2.3.10 Conexión o receptáculo para el repostaje	61
2.3.11 Sensores de detección de fugas	63
2.3.12 Intercambiador térmico	64
2.3.13 Inyección de combustible	65
3. LEGALIZACIÓN DE LAS REFORMAS DE NUESTRO VEHÍCULO	71
3.1 INTRODUCCIÓN.....	71
3.2 ¿QUÉ ES UNA REFORMA?	72
3.3 CÓMO REALIZAR LAS REFORMAS DE NUESTRO VEHÍCULO (MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS)	73
3.3.1 Estructura del manual de reformas	74
3.4 CÓDIGOS DE REFORMA QUE AFECTAN A NUESTRO VEHÍCULO	82
3.4.1 Unidad motriz.....	82
3.4.2 Carrocería	89
4. CONCLUSIONES	93
4.1 ENERGÍA PRIMARIA Y VECTORES ENERGÉTICOS	93
4.2 MODIFICACIÓN DE UN VEHÍCULO PARA SU FUNCIONAMIENTO CON <i>H2</i>	94
5. REFERENCIAS.....	96
5.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
5.2 REFERENCIAS LINKOGRÁFICAS.....	96
5.3 BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	97
5.4 LISTA DE FIGURAS	98
5.5 LISTA DE TABLAS	101

1. INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos de motores que utilizan el hidrógeno como combustible tenemos que distinguir básicamente dos tipos de motores, el basado en "celdas de combustible" de hidrógeno que en sí se trata de un "motor eléctrico" que recibe electricidad de las propias celdas, y el "motor de combustión interna", similar a los motores convencionales, que logran la fuerza motriz gracias a la ignición del hidrógeno dentro de la cámara de combustión. Este último es el que a nosotros nos interesa y sobre el cuál vamos a realizar nuestro trabajo [1].

El motor de hidrógeno puede llegar a ser una de las tecnologías utilizadas en el futuro si su evolución e investigaciones siguen con buen pie. La Unión Europea apoya este tipo de tecnología como podemos observar en los cuatro fragmentos que mostramos a continuación pertenecientes al reglamento (CE) Nº79/2009 del parlamento europeo [2]:

- En el sector del transporte uno de los objetivos principales debe ser aumentar la proporción de vehículos respetuosos con el medio ambiente. Ha de ponerse especial empeño en que se comercialicen más vehículos de esta índole. Con la introducción de vehículos con combustibles alternativos puede conseguirse una mejora notable de la calidad del aire en las ciudades y, por consiguiente, también de la salud pública.
- El hidrógeno está considerado como una forma limpia de propulsión de vehículos para el futuro, de cara a un sistema económico sin emisiones basado en la reutilización de materias primas y en recursos renovables, ya que aquellos que lo utilizan como fuente de locomoción no emiten ni contaminantes basados en el carbono ni gases con efecto invernadero. Dado que el hidrógeno es un vector energético y no una fuente de energía, las ventajas del hidrógeno en relación con el clima dependen de la fuente utilizada para obtenerlo. Por consiguiente, debe prestarse atención a que el hidrógeno como combustible se produzca en la medida de lo posible a partir de recursos energéticos renovables para que su introducción no perjudique el equilibrio medioambiental general.
- La definición del marco de homologación para los vehículos impulsados por hidrógeno contribuiría a aumentar la confianza en esta nueva tecnología de los usuarios potenciales y de la población en general. Por tanto, es necesario crear un marco adecuado para acelerar la comercialización de los vehículos dotados de tecnologías de propulsión innovadoras y de los vehículos que utilizan combustibles alternativos con un impacto medioambiental reducido.

1.1. HISTORIA SOBRE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

A continuación vamos a hablar sobre la aplicación del hidrógeno en motores de combustión interna utilizándolo como combustible directo que es lo que realmente nos interesa, ya que nuestro objetivo es conocer acerca de su utilización en nuestro futuro automóvil. Para ello, primero realizaremos un repaso histórico para situarnos, para más adelante explicar los aspectos que caracterizan a los motores alimentados por este combustible [3]:

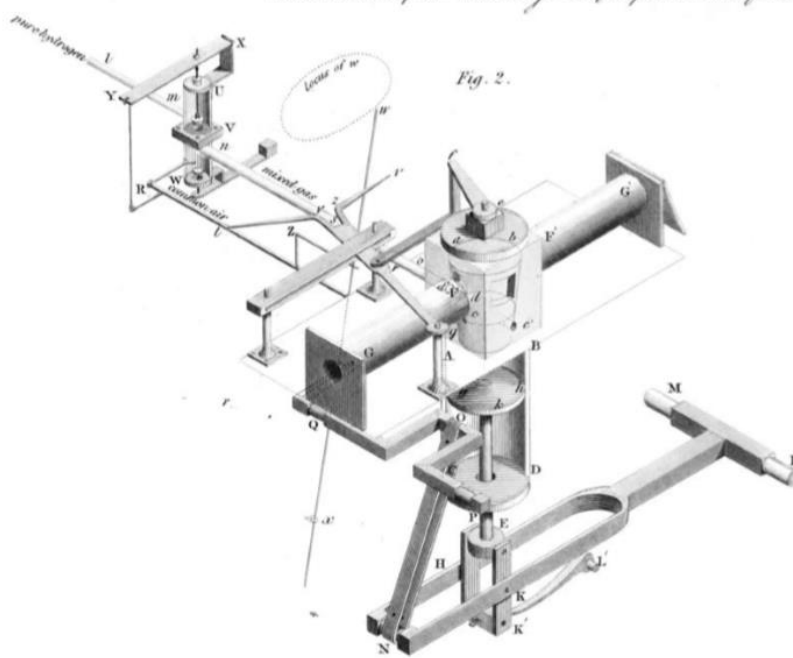
Ya en el siglo XVI se había observado por parte de los alquimistas que, cuando el aceite de vitriolo (nombre que éstos daban al ácido sulfúrico) actuaba sobre las limaduras de hierro, se desprendía un gas combustible de naturaleza, por aquel entonces, desconocida.

Henry Cavendish, en 1766, observó que este gas era diferente de otros gases inflamables y lo denominó aire inflamable, aunque se equivocó al suponer que procedía del metal y no del ácido.

En 1781, el propio Cavendish observó que cuando este gas ardía en el aire y en el oxígeno, se formaba agua, descubrimiento que indujo a *Antoine Lavoisier a llamarlo Hidrógeno*, es decir, productor de agua (del francés Hydrogène, a su vez del griego υδρώ, “agua” y γένος-ου, “generar”).

El interés por el hidrógeno como combustible no es tan reciente como se pueda creer. La tentativa más temprana en desarrollar un motor alimentado por hidrógeno fue divulgada por el *reverendo W. Cecil en 1820*. Cecil presentó su trabajo ante la Cambridge Philosophical Society en un papel titulado “En la aplicación del gas de hidrógeno para producir energía móvil en una máquina”. El motor funcionó basándose en el principio de vacío, en donde la presión atmosférica mueve el pistón contra el vacío para producir potencia. El vacío se creaba quemando una mezcla de hidrógeno y aire, permitiendo que se expandiese y que posteriormente se enfriase. Aunque el motor funcionó satisfactoriamente, los motores de vacío nunca llegaron a ser prácticos.

En la imagen siguiente se puede observar un esquema del motor ideado por el reverendo W. Cecil en 1820, que utilizaba el hidrógeno como combustible primario.



Motor ideado por el reverendo W. Cecil

“Figura 1.”

Cuarenta años más tarde, durante su trabajo con los motores de combustión, durante las décadas de 1860 y 1870, *Nikolaus August Otto* (el inventor del ciclo Otto), utilizó, según se informa, un productor sintético de gas para el combustible, que probablemente contenía hidrógeno en un 50%. Otto experimentó también con gasolina, pero considerando que era peligroso trabajar con ese combustible, decidió volver a usar los combustibles gaseosos. El desarrollo del carburador, no obstante, inició una nueva era en la cual la gasolina pudo usarse de manera práctica y segura, con lo que desplomó el interés por los demás combustibles.

Varios años más tarde, cuando se comenzaron a construir los dirigibles, que eran básicamente globos de hidrógeno, el ingeniero alemán *Rudolph Erren* trabajó en un motor para estos aparatos cuyo combustible era el hidrógeno. Llegó a resolver los problemas de autoencendido en el carburador mediante la inyección directa y, de no ser por ciertos acontecimientos (Figura 2) y por el descubrimiento de grandes y accesibles yacimientos de petróleo, podría haber sido posible la construcción de dirigibles a hidrógeno.



“Figura 2.”

Desde entonces, el hidrógeno se ha utilizado extensivamente en el programa espacial, puesto que dispone de la mejor relación energía/peso de cualquier combustible. Esto, junto a la carrera espacial entre la antigua U.R.R.S. y los Estados Unidos se produjo un gran avance en el manejo del hidrógeno. El hidrógeno en estado líquido es el combustible elegido para los motores espaciales, además de propulsar a varios vehículos en diversas misiones espaciales, incluyendo las misiones Apolo en la Luna, Skylab, las misiones Viking en Marte y la misión Voyager a Saturno.

Durante los últimos años, la preocupación por un aire más limpio, junto con una regulación más estricta de la contaminación atmosférica y el deseo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, han hecho despertar de nuevo el interés por el hidrógeno como posible combustible para vehículos.

1.2. PROPIEDADES COMBUSTIBLES DEL HIDRÓGENO

A continuación vamos a hacer un repaso de aquellas propiedades del hidrógeno que contribuyen a usarlo como combustible, por lo tanto es importante conocerlas. Estas propiedades son [3]:

- Amplia gama de inflamabilidad.
- Baja energía de ignición.
- Pequeña distancia de apagado.
- Temperatura de auto ignición elevada.
- Alta velocidad de llama en condiciones estequiométricas.
- Elevada difusividad.
- Muy baja densidad.

A parte de estas propiedades también hablaremos sobre:

- Relación aire-combustible.
- Problemas y soluciones del pre-encendido.
- Evolución técnica de los motores de gasolina a hidrógeno.
- Resumen de los cambios más importantes a realizar en el motor.

1.2.1. Amplia gama de inflamabilidad

El hidrógeno dispone de una amplia gama de inflamabilidad en comparación con el resto de combustibles. Como consecuencia, el hidrógeno puede ser quemado en un motor de combustión interna sobre una amplia gama de mezclas aire/combustible. Una ventaja significativa de esto es que el hidrógeno puede funcionar en una mezcla pobre donde la cantidad de combustible es menor que la cantidad teórica, estequiométrica o químicamente ideal necesaria para la combustión con una cantidad dada de aire.

Generalmente, la economía del combustible es mayor y la reacción de combustión es más completa cuando un vehículo funciona con una mezcla pobre de aire/combustible. Además, la temperatura final de la combustión es generalmente más baja, reduciendo así la cantidad de agentes contaminantes, tales como óxidos de nitrógeno, emitidos a través del escape.

1.2.2. Baja energía de ignición

El hidrógeno tiene una energía de ignición muy baja. La cantidad de energía necesaria para prender el hidrógeno es mucho menor que en el caso de la gasolina. Esta característica permite a los motores de combustión interna de hidrógeno quemar mezclas pobres y asegurar una rápida ignición.

Desafortunadamente, la baja energía de ignición significa que los gases calientes y las zonas calientes del cilindro, pistón, válvulas... pueden actuar como fuentes de ignición, creando problemas de ignición prematura y retroceso de llama. Prevenir este hecho es uno de los desafíos asociados cuando se diseña un motor de combustión interna de hidrógeno y debido a ello se deben considerar una serie de cambios necesarios para quemar hidrógeno en un motor de combustión interna.

El primer cambio es referente a las bujías. Deberán ser de *tipo frías* y no deberán disponer de punta de platino, debido a que el platino es un catalizador, promoviendo la ignición. Los conectores de tipo frío están diseñados para enfriarse rápidamente y, por lo tanto, evitar la posibilidad de actuar como bujía incandescente causando la preignición. Las bujías con punta de alambre fino de iridio son las que mejor actuarían en los motores de combustión interna de hidrógeno.

El segundo cambio se refiere al tipo de aceite lubricante utilizado. Deberá utilizarse aceite sintético con el fin de evitar la pirolisis causada por pequeñas zonas calientes de la cámara de combustión, que llegarían a provocar la preignición del combustible. La pirolisis es un proceso de descomposición térmica que puede llegar a destruir el aceite y descomponerlo. Con el fin de evitar que suceda esto, deberán instalarse sistemas de ventilación del cárter y separadores de aceite. Además, para reducir la posibilidad de que se filtre aceite en la cámara de combustión se recomienda aplicar recubrimiento de diamante en los asientos de las válvulas, mientras que los pistones deberán fabricarse de material hipereutéctico y deberán ser de tipo “faldón” con tolerancia mucho menor a las normales. Realizando un control en los gases de escape para detectar la presencia de hidrocarburos nos indicará el buen sellado del motor (en lo que se refiere a no permitir que el aceite pase a la cámara de combustión).

1.2.3. Pequeña distancia de apagado

El hidrógeno, cuando se quema, tiene una distancia de apagado muy pequeña, más pequeña que en el caso de la gasolina. Por este motivo, las llamas de hidrógeno circularán más cerca de las paredes del cilindro que otros combustibles antes de extinguirse. Por lo tanto, resultará más difícil apagar una llama de hidrógeno que una llama de gasolina.

La menor distancia de apagado puede incrementar también la tendencia a que se produzca el fenómeno de retroceso de llama, puesto que la llama de la mezcla aire/hidrógeno puede introducirse más fácilmente a través de una válvula de admisión entreabierta que si se tratase de una mezcla aire/gasolina.

1.2.4. Temperatura de auto ignición elevada

El hidrógeno dispone de una temperatura de auto ignición relativamente elevada. Esto tiene implicaciones importantes cuando se comprime una mezcla de aire e hidrógeno. De hecho, la temperatura de auto ignición es un factor importante en la determinación de la relación de compresión que debe tener un motor, puesto que el aumento de temperatura durante la compresión está relacionado con la relación de compresión.

El aumento de temperatura viene determinado por la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 (V_1/V_2)^{\gamma-1}$$

V_1/V_2 = relación de compresión

T_1 = temperatura inicial absoluta

T_2 = temperatura final absoluta

γ = relación de calores específicos

La temperatura final absoluta limita la relación de compresión. La elevada temperatura de auto ignición del hidrógeno permite usar mayores relaciones de compresión en este tipo de motores que en motores alimentados por combustibles fósiles.

1.2.5. Alta velocidad de llama

El hidrógeno tiene una alta velocidad de llama en condiciones estequiométricas. Bajo estas condiciones, la velocidad de llama del hidrógeno es bastante más elevada que en el caso de la gasolina. Esto significa que los motores de combustión interna de hidrógeno podrán acercarse más al ciclo termodinámico ideal del motor. No obstante, con mezclas pobres de aire/hidrógeno, la velocidad de la llama disminuye significativamente.

1.2.6. Alta difusividad

El hidrógeno tiene una difusividad muy alta. Esta capacidad para dispersarse en el aire es considerablemente mayor que en el caso de la gasolina, y resulta ventajoso por dos razones principales. En primer lugar, facilita la formación de una mezcla uniforme del combustible con el aire. En segundo lugar, en caso de producirse una fuga de hidrógeno, éste se dispersará rápidamente.

1.2.7. Baja densidad

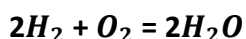
El hidrógeno tiene una densidad muy baja. Esto da lugar a dos problemas cuando se utiliza como combustible en un motor de combustión interna.

En primer lugar afectará al volumen que ocupará el combustible en el interior del cilindro de almacenaje previo a la combustión, siendo necesario un gran volumen de dicho cilindro como para que el vehículo pueda ofrecer unas buenas características de conducción.

En segundo lugar, el aumento de volumen del combustible reducirá la cantidad de aire que se puede introducir en el cilindro (y por tanto la densidad de energía de la mezcla aire/hidrógeno), hecho que repercutirá directamente en una disminución de la potencia obtenida. Además, este hecho se convierte en un problema aún mayor al saber que, para conseguir reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno se deben usar mayores cantidades de aire.

1.2.8. Relación aire-combustible

La combustión teórica o estequiométrica del hidrógeno y el oxígeno se da como:



Moles de H_2 para una combustión completa = 2 moles

Moles de O_2 para una combustión completa = 1 mol

Puesto que el aire es utilizado como oxidante, en vez del oxígeno, el nitrógeno que forma parte del aire debe ser incluido en los cálculos, suponemos que el aire está formado sólo por oxígeno y nitrógeno, sin tener en cuenta los demás gases.

Moles de N_2 en el aire = Moles de O_2 · (79% N_2 en el aire / 21% O_2 en el aire) = 1 mol de O_2 · (79% N_2 en el aire / 21% O_2 en el aire) = 3,762 moles de N_2

Por ello vemos que por cada mol de oxígeno en el aire tenemos 3,762 moles de nitrógeno.

Número de moles del aire = Moles de O_2 + moles de N_2 = 1 + 3,762 = 4,762 moles de aire

Peso del O_2 = 1 mol de O_2 · 32 g/mol = 32 g

Peso del N_2 = 3,762 moles de N_2 · 28 g/mol = 105,33 g

Peso del aire = peso del O_2 + peso del N_2 = 32g + 105,33 g = 137.33 g

Peso del H_2 = 2 moles de H_2 · 2 g/mol = 4 g

La relación estequiométrica de aire/combustible para el hidrógeno y el aire es:

- A/C en la masa = masa del aire/masa del combustible = 137,33 g / 4 g = **34,33 : 1**
- A/C en volumen: = volumen (moles) del aire/volumen (moles) del combustible = 4,762 / 2 = **2,4 : 1**

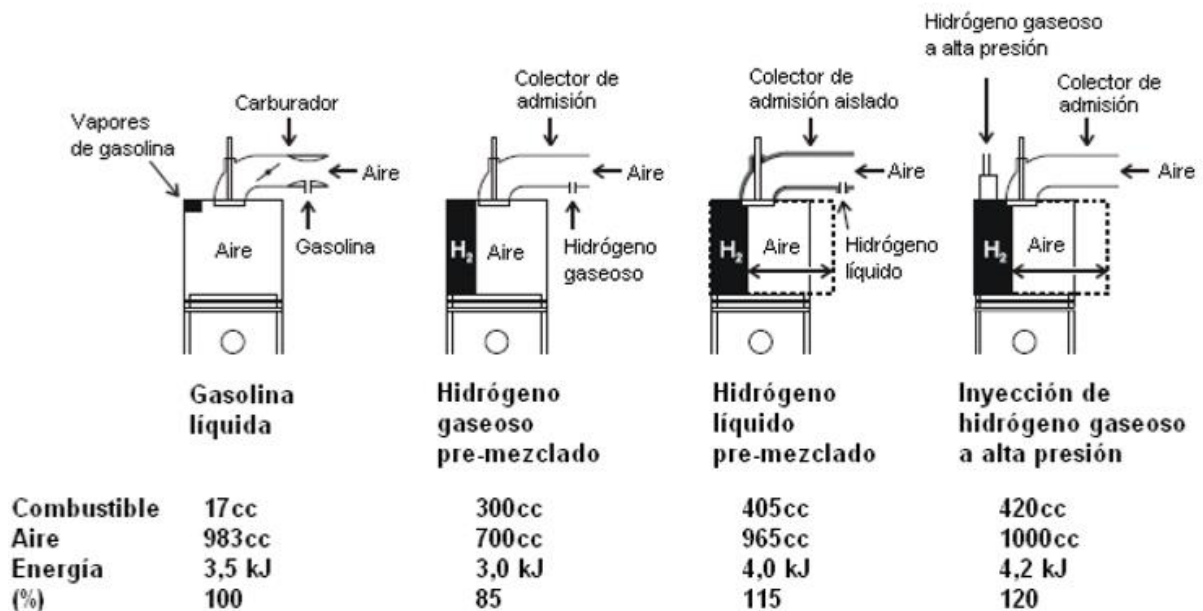
Porcentaje de espacio ocupado en la cámara de combustión por una mezcla estequiométrica de hidrógeno:

- % H₂ = volumen (moles) de H₂ / volumen total = volumen H₂ / (volumen aire + volumen de H₂) = 2 / (4,762 + 2) = 29,6%

Los cálculos demuestran que la relación estequiométrica o químicamente necesaria de aire/combustible, en términos másicos, para la combustión completa de hidrógeno es de 34:1. Esto significa que, para producir una combustión completa, por cada gramo de combustible serán necesarios 34 g de aire. Esta es una relación mucho más elevada que la requerida en motores de gasolina (14,7:1).

Puesto que el hidrógeno es un combustible gaseoso en condiciones ambientales, desplazará mayor parte del volumen de la cámara de combustión que un combustible líquido. Por lo tanto, el aire podrá ocupar menos espacio de la cámara de combustión. En condiciones estequiométricas, el hidrógeno desplaza cerca del 30% del volumen total de la cámara de combustión, en comparación con cerca del 1 – 2% desplazado en el caso de la gasolina.

En la figura 3 se comparan los volúmenes de la cámara de combustión y el contenido en energía para motores de hidrógeno y de gasolina.



“Figura 3.”

Dependiendo del método que utilicemos para introducir el hidrógeno en la cámara de combustión, la energía obtenida a la salida, comparada con la obtenida en un motor de gasolina (100%), variará desde el 85% (inyección por el colector de admisión) hasta el 120% (inyección a alta presión).

Debido al amplio rango de inflamabilidad del hidrógeno, los motores que utilicen este combustible podrán funcionar con relaciones de aire/combustible desde 34:1 (estequiométrica) hasta 180:1. La relación aire/combustible puede expresarse también en términos de relación equivalente, denominado por *landa* (λ). *Landa* es igual a la relación aire/combustible estequiométrica dividida por la relación real. Para una mezcla estequiométrica, la relación aire/combustible real es igual a la relación real, con lo que *landa* se iguala a la unidad (1). Para relaciones aire/combustible pobres, *landa* valdrá más que la unidad.

Por otra parte, mediante el uso de un turbocompresor instalado en el sistema de escape del motor, tendremos la posibilidad de introducir mayor cantidad de aire en el interior del motor. No obstante, si se hace uso de un turbocompresor, deberemos tener en cuenta que, aparte de meter mayor cantidad de aire en el interior del cilindro, lo estaremos introduciendo también a mayor temperatura, hecho que deberemos contrarrestar. Para ello deberá utilizarse un refrigerador de aire de admisión (se recomienda una temperatura máxima de admisión para esta aplicación de 60°C aproximadamente, ya que temperaturas de admisión mayores podrían llegar a causar detonaciones en el combustible, con lo que nos encontraríamos de nuevo con el problema de la preignición).

Por último, el hecho de incorporar un turbocompresor añade el problema del incremento de la temperatura del aceite del motor, ya que será este quien refrigere el turbocompresor. Deberemos tener esto en consideración y solucionarlo, por ejemplo, mediante la instalación de un radiador de aceite.

1.2.9. Problemas y soluciones del pre-encendido

El principal problema que ha surgido con el desarrollo de los motores que operan con hidrógeno es la *ignición prematura* del mismo. La ignición prematura es un problema mucho mayor en motores de hidrógeno que en cualquier otro tipo de motores de combustión interna, debido a la menor energía de ignición del hidrógeno, un mayor rango de inflamabilidad y una menor distancia de apagado.

Tanto en los motores alimentados por gasolina como en los que funcionan a base de hidrógeno, el mecanismo por el cual se produce el pre-encendido es el mismo. En cualquiera de los dos casos, los gases de entrada encuentran una fuente de calor con la suficiente intensidad como para iniciar el proceso de combustión de la mezcla mientras la válvula de admisión se encuentra todavía abierta, y cuando todavía no se ha

producido el salto de la chispa de la bujía. Las posibles fuentes de calor pueden ser una zona de alta temperatura en la cámara de combustión, como por ejemplo la propia bujía, algún defecto en la cámara de combustión, sustancias depositadas incandescentes, o los propios gases de escape, los cuales podrían conservar todavía una temperatura suficiente para producir la ignición de la mezcla entrante.

Gracias a una serie de experimentos, se ha logrado eliminar algunas de estas posibles causas del pre-encendido en motores de combustión interna de hidrógeno. En primer término, la posibilidad de que los gases de escape sean los responsables de este problema se desecha debido a que el tiempo durante el cual coexisten éstos gases con la nueva mezcla entrante en el cilindro no es lo suficientemente largo como para que se produzca la ignición. Debido a esto, se ha tratado de eliminar las zonas calientes de la cámara de combustión por medio de la refrigeración de válvulas con sodio o incluyendo bujías construidas con materiales que tengan elevados coeficientes de conductividad térmica.

Se parte de una hipótesis según la cual las partículas sólidas que quedan después de la combustión permanecen a temperaturas mayores que los gases circundantes al final de la carrera de escape, debido a su mayor capacidad calorífica y su mayor masa. Así pues, un primer punto a tener en cuenta consiste en reducir la temperatura de los gases de escape antes de introducir la nueva mezcla, de forma que estas fuentes puntuales de calor no consigan prenderla.

Un sistema que se ha ideado para evitar los problemas del pre-encendido es utilizando técnicas de disolución térmica, tales como la recirculación de gases de escape (EGR) o la inyección de agua.

Tal y como indica su nombre, *un sistema EGR* hace recircular una pequeña cantidad de los gases de escape nuevamente dentro del colector de admisión. La introducción de los gases de escape ayudará a reducir la temperatura de las zonas calientes de la cámara de combustión, reduciendo las posibilidades de que se produzca el pre-encendido del hidrógeno. Además, haciendo recircular los gases de escape, reduciremos la temperatura máxima de la combustión, con lo que reduciremos las emisiones de NO_x . Normalmente, una recirculación de entre el 25% y el 30% de los gases de escape solventan el problema del pre-encendido.

Otra técnica consiste en *inyectar agua en la cámara de combustión*. Inyectando agua en la corriente de hidrógeno antes de mezclarse con el aire producirá mejores resultados que no introduciéndola en la mezcla aire/hidrógeno dentro del colector de admisión. Una consideración importante a tener en cuenta si se utiliza este sistema es que el agua podría llegar a mezclarse con el aceite del motor, así que debe tenerse especial cuidado en que los segmentos sean totalmente estancos.

1.2.10. Evolución técnica de los motores de gasolina a hidrógeno

La principal ventaja de utilizar el hidrógeno en motores de combustión interna es que podemos aprovechar toda la experiencia tecnológica acumulada en este campo. Tengamos en cuenta que la configuración del propio motor de hidrógeno es conceptualmente la misma que la de los motores de combustión interna alternativos de combustibles clásicos (con sus cilindros, pistones, cigüeñal, sistema de refrigeración y demás elementos constructivos). De esta manera, a la hora de desarrollar un motor de combustión interna de hidrógeno podemos partir de una base de conocimientos desarrollada durante muchas décadas.

No obstante, deberemos realizar una serie de modificaciones en los actuales motores de combustión interna para adaptarlos a funcionar con hidrógeno, debido, precisamente, a las particulares características de este. Estas modificaciones serán las siguientes:

- **Control del aceite del motor**

Se pretende minimizar el consumo de aceite, que, al fin y al cabo, acaba quemándose en la cámara de combustión, produciendo sus consiguientes emisiones. Para tratar de evitarlo se deberemos utilizar el tipo de aceite más adecuado posible.

- **Sistemas de ignición**

Debido al bajo límite de energía de ignición del hidrógeno, es fácil producir su ignición, y se pueden aprovechar los sistemas de ignición de los motores de combustión interna de gasolina. En las más pobres relaciones aire/combustible (entre 130:1 y 180:1) la velocidad de la llama se reduce considerablemente, y es preferible utilizar un sistema de doble bujía.

Las bujías para los motores de hidrógeno deben estar clasificadas como *frías* y *cuyos extremos no sean de platino*. Una bujía fría es aquella que transfiere el calor desde el extremo de la misma a la cabeza del pistón de manera más rápida que una de tipo caliente. Esto significa que la posibilidad de que la punta de la bujía produzca la ignición de la mezcla de aire/combustible es reducida. Las bujías de tipo caliente están diseñadas para mantener una cierta cantidad de calor, con lo que no se acumulan restos carbonosos. Puesto que el hidrógeno no contiene carbón, las bujías de tipo caliente no presentan un interés especial en este tipo de motores.

- **Ventilación del cárter del motor**

La ventilación del cárter del motor resulta mucho más importante en los motores de combustión interna de hidrógeno que no en los de gasolina.

Como en los motores de gasolina, el combustible sin quemar puede filtrarse por los aros del pistón y entrar en el cárter del motor. Puesto que el hidrógeno tiene un límite de energía de ignición más bajo que la gasolina, el hidrógeno que no se haya quemado y que pueda entrar en el cárter del motor tiene una alta probabilidad de incendiarse. Se debe prevenir la acumulación de hidrógeno en esa zona mediante la ventilación.

Una ignición dentro del cárter motor puede dar como resultado un simple ruido o acabar incendiando el motor. Cuando el hidrógeno se incendia dentro del cárter del motor, lo que ocurre es que se produce una subida repentina de la presión. Para aliviar esta presión debe instalarse una válvula de descarga de presión.

Los gases de escape también se pueden filtrar a través de los aros del pistón hacia el cárter del motor. Puesto que las emisiones que se producen en la combustión del hidrógeno en un motor son vapor de agua, el agua puede condensarse en el cárter del motor si no tenemos una ventilación adecuada. Si se llegase a mezclar el agua condensada con el aceite del motor, se reduciría su capacidad de lubricación, dando como resultado un mayor desgaste del motor, además de que se podrían llegar a formar hidrocarburos.

- **Sistema de escape**

El principal problema que nos encontraremos en el sistema de escape es la gran cantidad de agua que generará la combustión del hidrógeno en el interior del motor. El sistema de escape deberá estar diseñado de tal manera que el agua generada pueda circular a través de él y sea expulsada por la salida del sistema.

Deberá prestarse especial atención también a los materiales de dicho sistema, ya que deberán ser capaces de resistir a la corrosión. De este modo, se recomienda el uso de aceros inoxidables para la construcción de los tubos de escape y silenciadores.

- **Aceite lubricante**

Uno de los problemas que nos podemos encontrar con el aceite lubricante es que, debido a la gran cantidad de agua generada por el motor al consumir hidrógeno, el aceite pueda quedarse pegado a las paredes de los cilindros, anulando así su función de lubricar.

Por otro lado, es necesario reducir al máximo las emisiones de hidrocarburos (que pueden llegar a formarse debido a la reacción del hidrógeno con el aceite del motor, al haberse descompuesto éste último), con lo que se tratará de utilizar lubricantes sintéticos de baja volatilidad a elevadas temperaturas.

- **Eficiencia térmica**

El rendimiento termodinámico teórico de un motor de ciclo Otto se basa en la relación de compresión del motor y la relación de calores específicos del combustible, tal y como se muestra a continuación:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}}$$

V_1/V_2 = relación de compresión

γ = relación de calores específicos

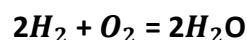
η_t = rendimiento termodinámico teórico

Cuanto mayor sea la relación de compresión y/o la relación de calores específicos, mayor será el rendimiento termodinámico teórico del motor. El límite de relación de compresión de un motor se basa en la resistencia del combustible a sufrir detonación. *Una mezcla pobre de hidrógeno* es menos susceptible a producir detonación que la gasolina convencional, con lo que puede aguantar mayores relaciones de compresión.

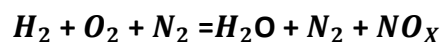
La relación de calores específicos se relaciona con la estructura molecular del combustible. Cuanto menos compleja sea la estructura molecular, mayor será la relación de calores específicos. El hidrógeno ($\gamma = 1,4$) tiene una estructura molecular mucho más simple que la gasolina y por lo tanto su relación de calores específicos será mayor que en el caso de la gasolina convencional ($\gamma = 1,1$).

- **Emisiones**

La combustión del hidrógeno con oxígeno únicamente produce agua como producto resultante:



Sin embargo, la combustión del hidrógeno con el aire también puede producir óxidos de nitrógeno (NO_x):



Los óxidos de nitrógeno se crean debido a las altas temperaturas generadas dentro de la cámara de combustión durante la misma. Estas altas temperaturas provocan que una parte del nitrógeno del aire se combine con el oxígeno. La cantidad NO_x de generado depende de:

- La relación aire/combustible.
- La relación de compresión del motor.
- Velocidad del motor.
- Regulación del encendido.
- Disolución térmica utilizada.

Además de los óxidos de nitrógeno, puede haber restos de monóxido de carbono en los gases de escape, debido al filtrado de aceite dentro de la cámara de combustión.

Dependiendo de la condición del motor (quemado de aceite) y de la operación estratégica utilizada (una mezcla aire/combustible rica frente a una pobre), un motor de hidrógeno puede pasar de producir emisiones casi cero, a llegar a producir emisiones significativas de NO_x y monóxido de carbono.

- **Potencia obtenida**

La potencia obtenida en un motor de hidrógeno dependerá de la relación aire/combustible y del sistema de inyección de combustible utilizado.

Tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, la relación estequiométrica aire/combustible para el hidrógeno es 34:1. Con esta relación aire/combustible, el hidrógeno desplazará el 29% del volumen de la cámara de combustión, dejando el 71% restante para el aire. Como resultado, el contenido en energía de esta mezcla será menor que si el combustible fuese gasolina (puesto que la gasolina es un líquido, ocupará un volumen mucho menor en la cámara de combustión, permitiendo que entre mayor cantidad de aire).

Puesto que tanto el método de carburación como la inyección indirecta en el conducto de admisión mezclan el aire y el combustible antes de que entren en la cámara de combustión, estos sistemas limitaran la potencia teórica máxima obtenible a aproximadamente un 85% de la obtenida en los motores de gasolina. Para los sistemas de inyección directa, que mezclan el combustible con el aire después de que la válvula de admisión se haya cerrado (disponiendo de esta manera la cámara de combustión del 100% de aire), la potencia máxima a la salida del motor puede ser aproximadamente un 15% mayor que la de los motores de gasolina.

Por lo tanto, dependiendo de la manera en que hayamos introducido el combustible en la cámara de combustión, la potencia máxima a la salida de un motor de hidrógeno podrá ser un 15% mayor o menor que en el caso de un motor de gasolina con una

relación aire/combustible estequiométrica. Sin embargo, con una relación aire/combustible estequiométrica, la temperatura de la combustión será muy elevada, dando como resultado la formación de óxidos de nitrógeno, que es un agente contaminante como ya hemos visto anteriormente.

Puesto que una de las razones de utilizar motores de hidrógeno es la de no emitir agentes contaminantes a la atmósfera, éstos estarán diseñados para funcionar con mezclas de aire/combustible pobres, y no con una relación estequiométrica.

Los motores de hidrógeno se diseñan para funcionar con dos veces más aire del teóricamente requerido para producir una combustión completa. Con esta relación aire/combustible, la formación de óxidos de nitrógeno se reduce casi a cero.

Desafortunadamente, este hecho reducirá también la potencia máxima a la salida hasta más o menos la mitad de la que se conseguiría con un motor de gasolina de las mismas características. Para compensar la pérdida, los motores de hidrógeno son generalmente más grandes que los motores de gasolina y/o se equipan con turbocompresores o sobrealimentadores.

1.2.11. Resumen cambios más importantes a realizar en el motor

- El primer cambio es referente a las *bujías*. Deberán ser de *tipo frías* y no deberán disponer de punta de platino. Las bujías con punta de alambre fino de iridio son las que mejor actuarían en los motores de combustión interna de hidrógeno.
- El segundo cambio se refiere al tipo de aceite lubricante utilizado. Deberá utilizarse aceite sintético con el fin de evitar la pirolisis causada por pequeñas zonas calientes de la cámara de combustión, que llegarían a provocar la preignición del combustible.
- Deberán instalarse sistemas de ventilación del cárter y separadores de aceite.
- Si se hace uso de un turbocompresor, deberemos tener en cuenta que, aparte de introducir mayor cantidad de aire en el interior del cilindro, lo estaremos metiendo también a mayor temperatura, hecho que deberemos contrarrestar. Para ello deberá utilizarse un intercooler.
- El hecho de incorporar un turbocompresor añade el problema del incremento de la temperatura del aceite del motor, ya que será este quien refrigere el turbocompresor. Deberemos tener esto en consideración y solucionarlo, por ejemplo, mediante la instalación de un radiador de aceite.

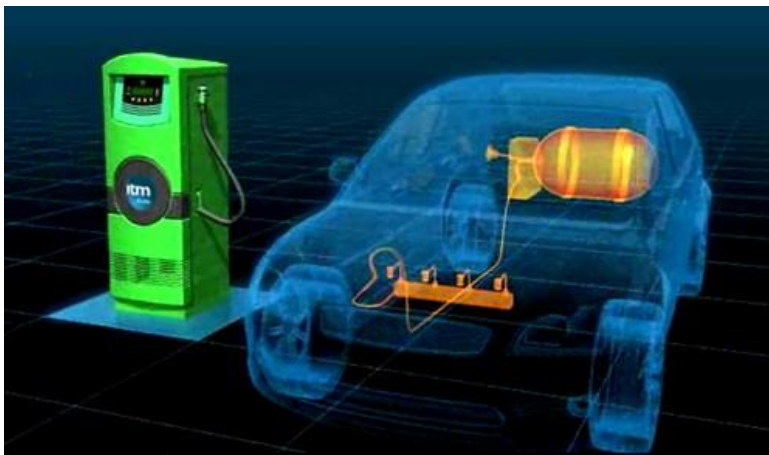
- El principal problema que ha surgido con el desarrollo de los motores que operan con hidrógeno es la ignición prematura del mismo. Un sistema que se ha ideado para evitar los problemas del pre-encendido es utilizando técnicas de disolución térmica, tales como la recirculación de gases de escape (*EGR*) o la *inyección de agua*.
- Incrementar el flujo de refrigerante en las proximidades de la bujía y de las válvulas de escape (para evitar que provoquen el pre-encendido del combustible). Debemos prestar especial atención a la temperatura de las válvulas de escape. Puede usarse sodio en su interior.

1.3. ALMACENAMIENTO DEL HIDRÓGENO

Me parece adecuado explicar en la introducción las distintas formas que tenemos de almacenar el hidrógeno con sus respectivas características, ventajas y desventajas, debido a que prácticamente el resto de la instalación del sistema de hidrógeno depende de cómo almacenamos éste (de la presión de almacenamiento, de si los almacenamos de forma criogénica o de forma gaseosa...), por lo tanto para entender el siguiente punto en el cual hablamos del resto de sistemas y componentes nos vendrá bien explicar las distintas formas que existen de almacenar este gas y cuál de ellas consideramos la más adecuada para nuestro proyecto.

Se podría decir que el almacenamiento de hidrógeno es prácticamente el principal problema a la hora de la utilización del hidrógeno en motores de combustión interna. Es uno de los principales retos a la hora de mejorar esta tecnología, a continuación veremos porqué [3].

El hidrógeno tiene la menor densidad de gas y el segundo punto de ebullición más bajo, con lo que supone un reto a la hora de almacenarlo tanto en formato gaseoso como líquido. Un volumen dado de hidrógeno contiene menos energía que el mismo volumen de otros combustibles. Esto aumentará también el tamaño relativo del tanque de almacenaje, pues se requerirá mayor cantidad de hidrógeno para resolver los requisitos de cualquier vehículo.



“Figura 4.”

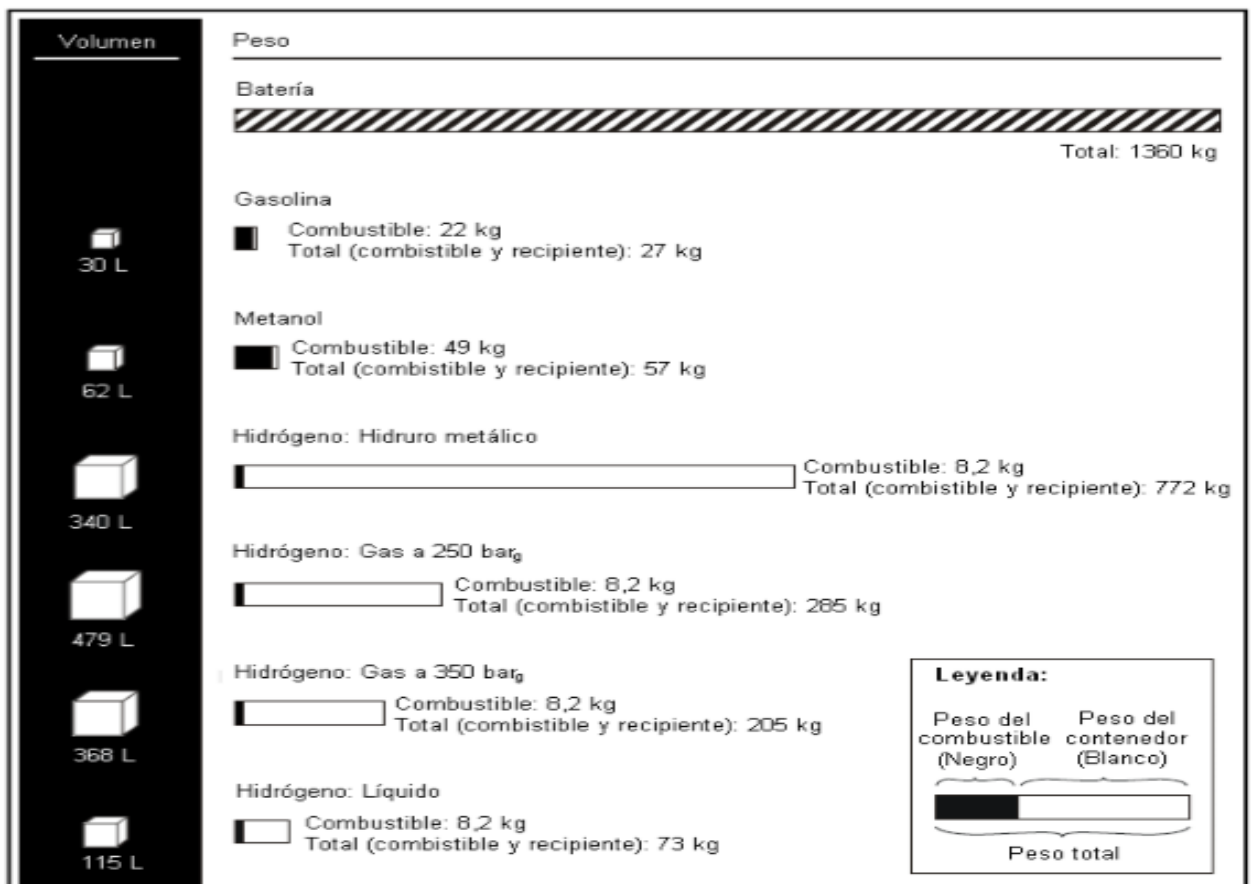
El hidrógeno a su vez dispone de la relación energía/peso más elevado que cualquier otro combustible. Desafortunadamente, esta ventaja del peso es eclipsada en la mayoría de los casos por el elevado peso de los tanques de almacenaje en los que se contiene el hidrógeno. De este modo, la mayoría de sistemas de almacenaje de hidrógeno son considerablemente más aparatosos y/o más pesados que los usados en caso de la gasolina o combustibles diésel.

Pongamos un ejemplo: supongamos un coche que dispone de un depósito de gasolina de 50 litros, es decir, unos 42 kg en peso y 1580 MJ de energía almacenada. Pues bien, para almacenar la misma cantidad de energía, harían falta 13,2 kg de hidrógeno, que a 15°C y 1 bar de presión ocuparían 158 m3. Naturalmente, este volumen no es viable para ser transportado a bordo de un coche, por lo que hay que aumentar la densidad del gas.

Para ello existen dos alternativas: el almacenamiento como *gas a alta presión* o el almacenamiento como *líquido a temperaturas criogénicas*. Existen programas de investigación sobre otros sistemas de almacenaje, como los hidruros metálicos o las nano-estructuras de carbono, pero estos sistemas actualmente están aún en una fase inicial de desarrollo.

El volumen y peso de cada uno de estos sistemas se compara con los sistemas de almacenaje de gasolina, metano y una batería (cada uno de ellos contiene 1044500 kJ de energía almacenada) en la tabla 1.

A continuación mostramos una tabla en la cual vemos la relación existente entre el volumen de combustibles diferentes y el peso de éstos junto con sus respectivos depósitos, todos ellos poseen la misma energía.



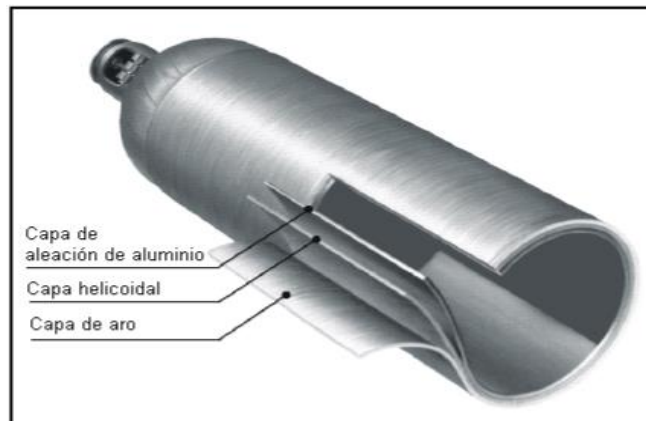
“Tabla 1.”

1.3.1. Métodos más habituales para el almacenamiento del H_2

A continuación vamos a describir en qué consisten los dos métodos más habituales de almacenamiento de hidrógeno [3]:

- **Gas a alta presión**

Los métodos de almacenaje de hidrógeno a alta presión son los sistemas más comunes y desarrollados actualmente. Como cualquier otro gas, el hidrógeno se puede comprimir para reducir su volumen específico.



Cilindro de tipo constructivo III

“Figura 5.”

El almacenamiento como gas comprimido es el más sencillo, aunque las densidades energéticas conseguidas son las menores a menos que se emplee alta presión, ya que la densidad energética depende linealmente de la presión si se asume un comportamiento como gas ideal. Las presiones de trabajo actuales son de 200 bares, llegando a 700 bares en los equipos más avanzados.

El transporte y suministro convencional de hidrógeno se efectúa en botellas de acero, similares a las que se usan para almacenar gas natural, a una presión de 200 bares para ser utilizado en procesos de soldadura y para inertizar atmósferas, entre otras aplicaciones. En los proyectos de demostración de vehículos movidos con hidrógeno se han empleado presiones superiores: los autobuses de Madrid y Barcelona (proyecto CUTE, año 2003) almacenan el hidrógeno a 350 bares, mientras que los proyectos más recientes (por ejemplo el Nissan X-Trail SUV) han llegado hasta los 700 bares.

No obstante, la tecnología empleada en la fabricación de las botellas o cilindros es muy diferente en cada caso. Todos ellos deberán construirse con paredes gruesas y con materiales de alta resistencia y muy duraderos. En el siguiente apartado se exponen las características de las distintas tecnologías.

Los cilindros para almacenamiento de gases a alta presión se dividen en cuatro categorías, estas categorías son mostradas en la tabla 2.

Designación	Descripción
Tipo I	Son las botellas tradicionales, hechas completamente de metal, generalmente acero. Debido a su elevado peso, su uso para almacenar hidrógeno como combustible resulta inviable en el caso de los vehículos.
Tipo II	Son cilindros de metal, generalmente aluminio, reforzado en su parte recta con materiales compuestos (fibras de vidrio o carbono), que ofrecen la ventaja de una reducción en peso frente a los de tipo I y que son los que normalmente se emplean en vehículos cuyo combustible es el gas natural.
Tipo III	Estos cilindros están formados por una delgada capa metálica llamada liner, recubierta de materiales compuestos. Los materiales compuestos son los que soportan los esfuerzos mecánicos mientras que el liner evita el paso del hidrógeno. Estos cilindros soportan presiones superiores que los de tipo I y II, con lo que se reducen significativamente las necesidades de espacio al no tener que hacerse las paredes del cilindro tan gruesas.
Tipo IV	Son cilindros como los de tipo III, pero en este caso el liner es un polímero en lugar de un metal. Trabajan con las mismas presiones y tienen un peso algo menor, sin embargo, la difusividad del hidrógeno a través del liner es mayor, lo que puede resultar un problema de seguridad, y por otro lado, soportan un número menor de ciclos de carga y descarga.

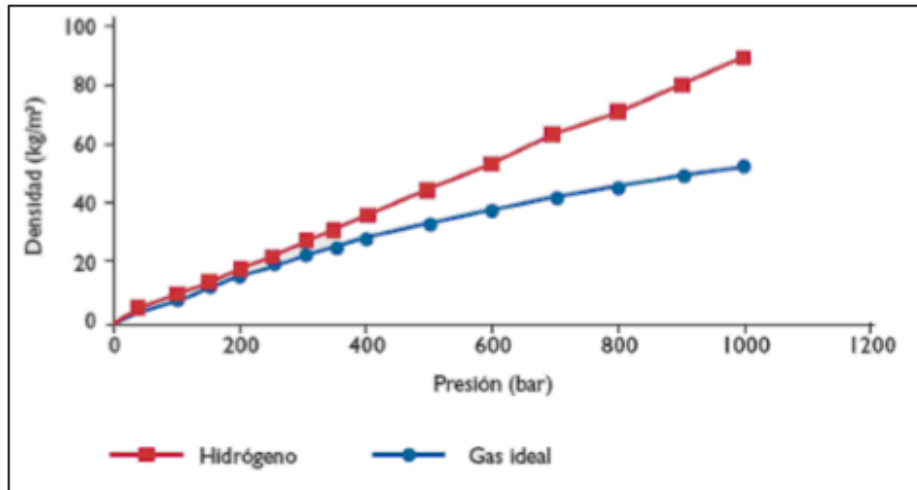
“Tabla 2.”

Los cilindros de tipo I y tipo II llegan a presiones de trabajo de unos 300 bar, mientras que los tipos III y IV tienen presiones de diseño de hasta 700 bar cuando están destinados a ir a bordo de un vehículo, y de hasta 800 bar cuando van destinados a aplicaciones estacionarias. Es importante destacar el elevado coste de los materiales compuestos. Así, un cilindro de tipo I para presiones de 200 bares puede costar del orden de 250 €/kg de H₂ de capacidad, mientras que uno de tipo III puede costar 1000 €/kg si es para 350 bares y hasta 1700 €/kg si es para 700 bares (estos valores son orientativos, se refieren a botellas relativamente grandes, tamaños estándar y volúmenes apreciables de producción. El precio de las botellas más pequeñas, construidas a medida y para altas presiones es sensiblemente más elevado).

Podemos llegar a la conclusión a raíz de la siguiente imagen que a partir de unos 700 bares de presión no “tiene sentido” almacenar hidrógeno ya que su densidad aumenta muy poco a partir de esa presión, y teniendo en cuenta que necesitamos energía para comprimirlo y tanques lo suficientemente resistentes como para almacenarlo no tiene sentido meternos en presiones superiores.

A pesar del peligro potencial, los cilindros de alta presión disponen de un excelente expediente de seguridad. El diseño de un cilindro debe someterse a rigurosas pruebas y pasar satisfactoriamente las pruebas de certificación. Los cilindros se certifican siempre para cada gas específico que deban contener, y deben superar rigurosas pruebas de fiabilidad antes de ser puestos en servicio.

En la figura 6 se muestra la densidad del hidrógeno en función de la presión a una temperatura de 0°C. En él podemos observar que con aumentos progresivos de presión se consiguen cada vez menores aumentos de densidad (Están al revés los colores).



“Figura 6.”

- **Almacenamiento en forma de hidrógeno líquido (hidrógeno criogénico)**

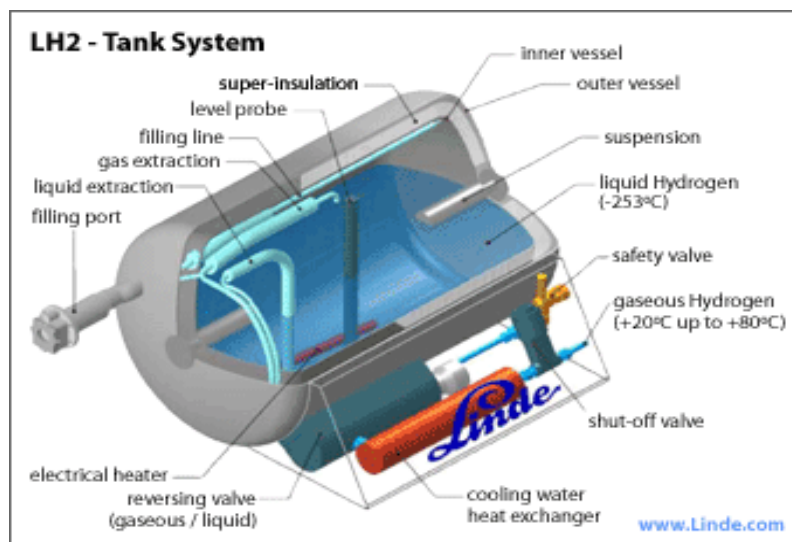
Los sistemas de almacenaje de hidrógeno en estado líquido solventan muchos de los problemas relacionados con el peso y el tamaño que tenían los sistemas de almacenaje de gas a alta presión, no obstante, a temperaturas criogénicas. Además, enfriando el hidrógeno hasta que su estado se vuelva líquido, aumentaremos su densidad, con lo que haremos más fácil su transporte.

El hidrógeno líquido puede almacenarse sólo por debajo de su punto normal de ebullición, a -253°C , o cerca de la presión ambiental en un tanque súper-aislante de doble pared (o tanque Dewar). Éste aislamiento es la parte fundamental de la tecnología de estos tanques y está formado por varias capas de vacío separadas por capas de fibras. Además, este aislamiento permite que el hidrógeno permanezca en estado líquido dentro del tanque hasta 10 días antes de que sea necesario expulsar parte del hidrógeno al exterior y, una vez que se empiezan a producir expulsiones, el ritmo de pérdida diaria es del 1% al 2% de su capacidad total.

Los tanques que se emplean a bordo de los vehículos contienen una mezcla bifásica de hidrógeno que se mantiene a una presión de entre 3 y 10 bares aproximadamente. Si la presión es demasiado baja, parte del hidrógeno se vaporiza por medio de una resistencia eléctrica o permitiendo el intercambio de calor con el exterior, y si, por el contrario, la presión es demasiado elevada, se expulsa parte del hidrógeno gaseoso.

El proceso de licuefacción de hidrógeno requiere mucha energía (entre el 30% y el 40% del contenido energético del hidrógeno licuado) y resulta tecnológicamente complejo. De hecho, sólo existen veinte plantas de este tipo en todo el mundo, de las cuales cuatro se encuentran en Europa: dos en Alemania, una en Holanda y otra en Francia.

El hidrógeno no se puede almacenar en estado líquido indefinidamente. Todos los tanques, no importa lo bueno que sea su aislamiento, permiten que una cierta cantidad de calor del ambiente de los alrededores se transfiera al interior del tanque. Este calor hará que el hidrógeno que hay en el interior del tanque se evapore, y por tanto, la presión del mismo aumentará. Los tanques de almacenaje de hidrógeno líquido estacionarios (inmóviles), normalmente son de forma esférica, dado que esta forma geométrica ofrece la menor área superficial para un volumen dado, con lo que tendrá el área más pequeña de transferencia térmica.



“Figura 7.”

Los tanques para vehículos se fabrican con formas cilíndricas, no tanto por la presión interior sino para maximizar el volumen interno frente a la superficie de intercambio de calor con el exterior. Por ello, se intentará que la longitud y el diámetro sean lo más parecidos posible, aunque las necesidades de cada proyecto en concreto pueden forzar a utilizar otras geometrías con peores prestaciones.

El uso de unas temperaturas tan reducidas no solo presenta el problema del aislamiento antes comentado, sino también otros problemas como la contracción y fragilización de los materiales, la posibilidad de congelación del oxígeno del aire circundante, el posible derrame en caso de accidente y su rápida expansión en contacto con el aire.

- **Comparación ambos sistemas**

A continuación hacemos una comparativa entre ambos sistemas nombrados anteriormente:

- El almacenamiento gaseoso requiere utilizar muy altas presiones. Se han construido sistemas a 700 bares, requiriendo 6,5 veces más en volumen y 5,5 veces más en peso que un sistema de gasolina y el empleo de presiones mayores no aportará mejoras significativas.
- El almacenamiento líquido supone temperaturas criogénicas y un gran coste energético en el proceso de licuefacción. El sistema de almacenamiento requiere 3,7 veces más en peso y 3,8 veces más en volumen que uno de gasolina.
- El coste de los sistemas de almacenamiento de hidrógeno es muy elevado, sobre todo gaseoso, por la necesidad de utilizar materiales como fibras de vidrio o de carbono.
- Por sus propiedades físicas, el hidrógeno como combustible de vehículos, almacenado como gas o como líquido, no podrá ofrecer las mismas prestaciones que la gasolina en cuanto a volumen.
- En cuanto al peso, el problema se debe a los tanques de almacenamiento y no al propio hidrógeno. Es posible que estos sistemas mejoren en el futuro, pero no es probable que lleguen a ofrecer las mismas prestaciones que un depósito de gasolina.
- Por ello, el almacenamiento condicionará fuertemente el diseño de los vehículos propulsados a hidrógeno o éstos sólo podrán ofrecer autonomías sensiblemente inferiores a los actuales.
- Otras tecnologías de almacenamiento podrían ofrecer mejores prestaciones. No obstante, hoy en día no están disponibles comercialmente.

En conclusión, para nuestro vehículo nos vamos a decantar por un sistema que almacene el hidrógeno en forma de gas comprimido debido a varios motivos, entre otros, el precio de la instalación y su sencillez, ya que el almacenamiento de hidrógeno en forma líquida es una tecnología más complicada y más cara.

1.3.2. Otros métodos para el almacenamiento del H_2

A continuación vamos a mostrar otros procedimientos de almacenamiento de hidrógeno, varios de ellos aún se encuentran en investigación y desarrollo, pero quizás en un futuro evolucionen y se conviertan en realidad.

➤ **Hidruros metálicos**

Representa la forma más segura de almacenar el hidrógeno, es fiable pero puede ser muy cara, hoy en día se encuentra aún en estudio, por lo tanto habrá que esperar un tiempo hasta ver si realmente sale rentable su utilización.

La base del método consiste en que ciertos metales y aleaciones metálicas tienen la propiedad de formar enlaces covalentes reversibles cuando reaccionan con el hidrógeno, formando lo que se conoce como hidruros metálicos, que se descomponen cuando se calientan liberando el hidrógeno. El hidruro se forma sometiendo un determinado metal a una presión elevada de hidrógeno, lo que ocasiona que el metal, como si fuera una esponja, atrape átomos de hidrógeno en su estructura cristalina. Basta luego disminuir la presión exterior para que el metal libere el hidrógeno. Los hidruros tienen la importante propiedad de que pueden utilizarse para almacenar hidrógeno durante muchos ciclos de asociación-disociación, sin que disminuya su capacidad de almacenamiento. Los tanques de metal-hidruro, por tanto tienen en su interior una aleación capaz de absorber hidrógeno, el cual más tarde se recupera aportando calor. Los hidruros metálicos llevan una proporción del 1-7% en peso de hidrógeno. En metales como el titanio, la concentración de hidrógeno por unidad de volumen es más alta que en el hidrógeno líquido.

El uso de este seguro y eficiente sistema de almacenamiento depende de identificar un metal con suficiente capacidad de absorción operando en el rango apropiado de temperatura. Más de 200 aleaciones diferentes se han estudiado siendo las más adecuadas las del grupo V de los metales de transición, tanto por su capacidad de almacenamiento como por su precio, su no decrepitación y la baja temperatura que se necesita para disociar el hidruro. Otros compuestos orgánicos que pueden liberar hidrógeno por reacciones de reformado pueden ser considerados también como hidruros, tal es el caso del metano, el metanol y el metilciclohexano.

➤ **Almacenamiento por adsorción de carbón**

En esta técnica se almacena hidrógeno bajo presión en una superficie de grafito superactivado altamente poroso. Unas variedades son enfriadas, mientras que otras trabajan a temperatura ambiente. Es muy similar al almacenamiento del gas comprimido, excepto que el tanque presurizado está lleno con grafito, si bien añade peso permite que se almacene más hidrógeno a la misma presión y tamaño del tanque. La absorción de moléculas de hidrógeno en carbón activado ha sido estudiada extensamente en el pasado, la alta capacidad de adsorción pueden entenderse desde un punto de vista de la interacción microscópica entre las moléculas de hidrógeno y la superficie de carbón.

Aunque la cantidad de hidrógeno almacenado puede aproximarse a la densidad de almacenamiento de hidrógeno líquido, estos sistemas en general requieren baja temperatura. El hidrógeno gaseoso a bajas temperaturas (150-60°K) físicamente puede ser absorbido por materiales porosos, sobre todo por el carbón activo. Las densidades de almacenaje realizables se sitúan entre los sistemas de almacenamiento de LH2 y los sistemas a alta presión. A 3.5 MPa unos 25 g/l de H2 pueden almacenarse a 77°K, de los cuales alrededor de un 30% es la densidad de LH2 o el equivalente al almacenaje presurizado a 30 MPa. A la misma presión pero a unos 175°K unos 8 g de H2 por litro pueden almacenarse lo cual es equivalente a 10 MPa de almacenamiento a presión.

➤ **Nanotubos de carbono**

Los adsorbentes mejores para almacenar hidrógeno son los nanocarbonos, incluyendo los nanotubos, nanofibras y carbones superactivados o fibras de carbones superactivados. Las nanofibras de carbono podrían proporcionar la tecnología necesaria, puesto que pueden almacenar de forma segura altos volúmenes de hidrógeno y liberarlo cuando exista demanda. Sobre los nanotubos de carbono ya se han escrito e investigado bastante. El sistema consiste en introducir en una cámara a presión nanotubos de carbono donde posteriormente se introduce hidrógeno, cuando se deja salir el hidrógeno se aprecia una disminución del mismo de la que se deduce que la diferencia es la cantidad que ha quedado en los nanotubos.

Los cilindros con fibra de carbono aumentan las densidades a valores de 15Kg/m³ para la DV (densidad volumétrica) y 5% para la DG (densidad gravimétrica), pero están significativamente por debajo de los valores que se requieren para el hidrógeno en el sector transporte que son para DV 62Kg/m³ y para DG 6.5%. Se han diseñado y fabricado buques en los que se espera que este sistema de tanques aumente la DG al 12% en el hidrógeno almacenado (a 33.8 MPa) cuando se desarrolle totalmente la tecnología.

➤ **Almacenamiento en microesferas de vidrio y zeolitas**

Es posible almacenar hidrógeno a alta presión en esferas de vidrio huecas con un diámetro que oscila entre 25 a 500 micrones, conocidas como microesferas. Las microesferas se llenan con hidrógeno a temperaturas entre 200 a 400°C, la alta temperatura hace permeables las paredes y el gas llena las esferas. Al ser enfriadas hasta temperatura ambiente, el hidrógeno es atrapado y puede ser liberado cuando se necesite al calentar las esferas, éstas también pueden ser aplastadas para liberar el hidrógeno, sin embargo esta opción imposibilita su reciclado. Para aplicaciones de automoción es una tecnología que ofrece potencial si se reduce el coste de los materiales. Sin embargo, tiene ciertos problemas que deben ser subsanados antes de implementarla a gran escala, fundamentalmente sufre las mismas limitaciones referidas a la pobre densidad de almacenamiento volumétrico del hidrógeno gaseoso.

➤ **Almacenamiento en hidruros líquidos**

Los hidruros líquidos son compuestos, que químicamente tienen la capacidad de unir hidrógeno, tales como los metales ciclohexano, el amoníaco, el metanol, etc. La ventaja de este método de almacenamiento de hidrógeno es su almacenamiento durante largos períodos en condiciones más o menos estables. Sin embargo, podría ser posible almacenar hidrógeno en forma estacional, por ejemplo, a partir del verano al invierno, en volúmenes comparativamente pequeños y sólo con hidrogenación o deshidrogenación pero sin pérdidas de almacenaje. La desventaja en aplicaciones de automóviles es la necesidad de deshidrogenación a bordo que requeriría una unidad de deshidrogenación a bordo del vehículo causando un peso muerto adicional. También la sustancia del portador del hidrógeno (tolueno en el caso del metil-ciclohexano) tiene que ser recogida y reciclada para la hidrogenación, representando más peso adicional.

➤ **Almacenamiento en esponja de hierro**

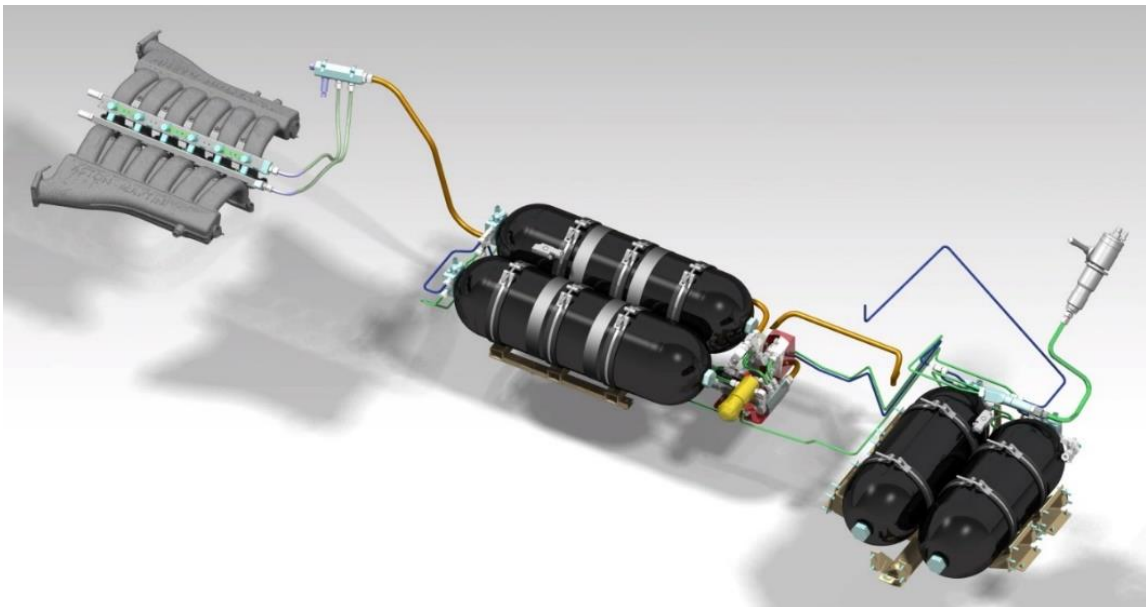
En esta forma de almacenamiento durante el proceso de carga se produce la reducción de Fe_3O_4 por hidrógeno o monóxido de carbono, liberando vapor de agua o dióxido de carbono y dando Fe como producto. Cuando ocurre la descarga del almacenamiento, el vapor de agua se introduce y limpia el gas hidrógeno húmedo obtenido de la reacción de oxidación. La ventaja de este proceso es que los gases ricos en hidrógeno obtenidos de hidrocarburos y usados para almacenar no necesitan una reacción de rotación (cambio) u oxidación selectiva. Otra ventaja es su bajo coste que es al menos un orden de magnitud más barato que sus competidores y su todavía aceptable peso (mitad que el de hidruros, doble que el del H₂ almacenado presurizado) a los niveles de operación de presión atmosférica.

2. ELEMENTOS Y ESQUEMA DE NUESTRO SISTEMA DE HIDRÓGENO

A continuación vamos a explicar todos y cada uno de los elementos que deberemos añadir a nuestro automóvil para poder hacerlo funcionar de manera bivalente tanto con hidrógeno como con gasolina, mostrando también esquemas ilustrativos para saber cómo colocar y dónde colocar éstos elementos. Para ello deberemos adquirir todos aquellos componentes que van a conformar el sistema de hidrógeno, desde aquellos que almacenan el hidrógeno como combustible (depósitos) hasta aquellos que son capaces de introducir el hidrógeno en el motor (inyectores de hidrógeno).

2.1. ESQUEMA Y DIBUJOS DEL SISTEMA DE HIDRÓGENO

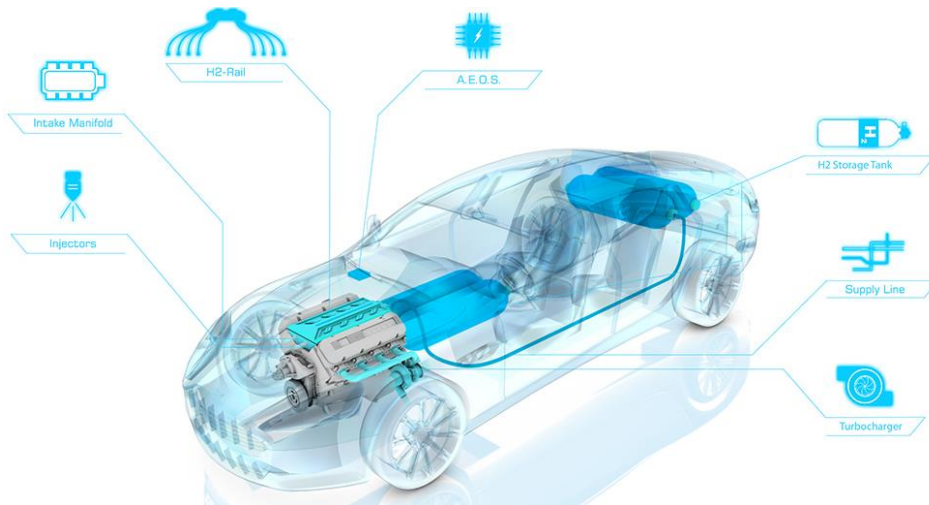
En la figura 8 podemos ver más o menos todos los elementos necesarios para la conformación del sistema de hidrógeno.



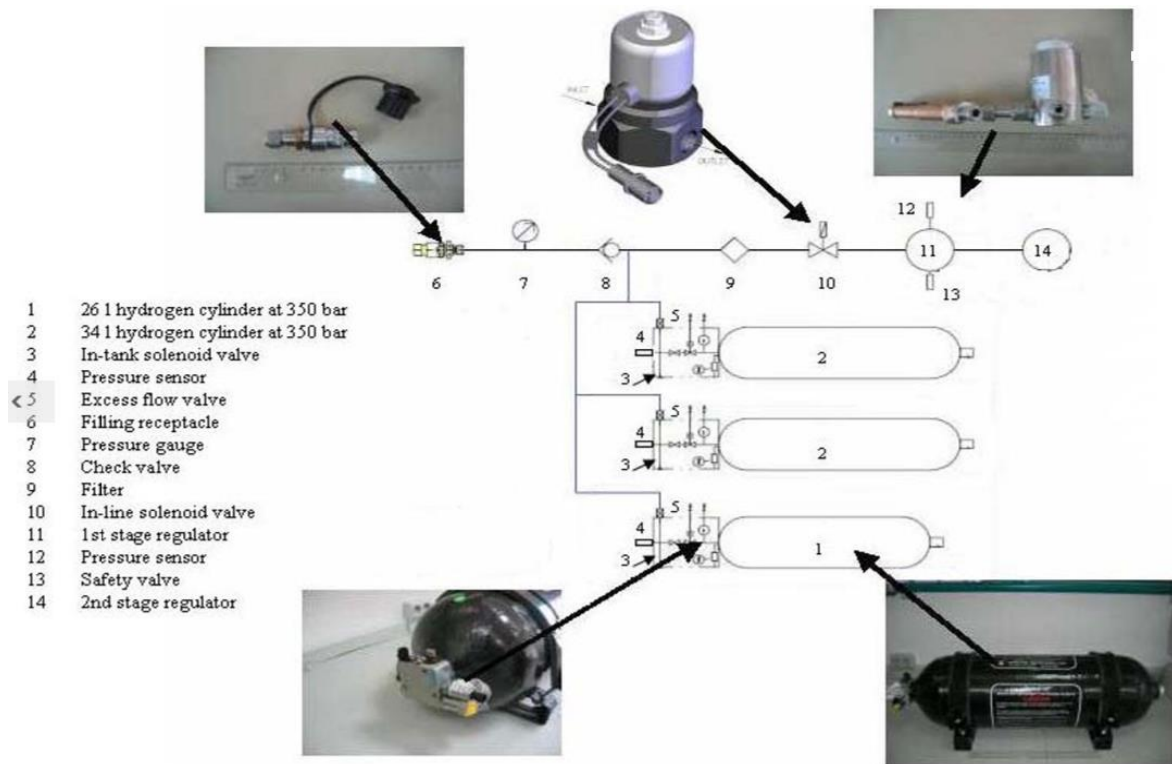
“Figura 8.”

Varios elementos variarán entre nuestro sistema y el mostrado en la figura, ya que por ejemplo en nuestro caso con dos bombonas para almacenar el hidrógeno nos valdría, ya que éste prototipo de carreras lleva cuatro por ser un vehículo de competición. Vemos en la figura todos los elementos que componen el sistema, desde la entrada de hidrógeno desde el exterior para poder llenar el depósito hasta los inyectores que nos introducen el hidrógeno en el motor.

A continuación en la figura 9 podemos ver el Aston Martin de carreras diseñado por Alset Global y una segunda imagen que explicamos a continuación:



“Figura 9.”



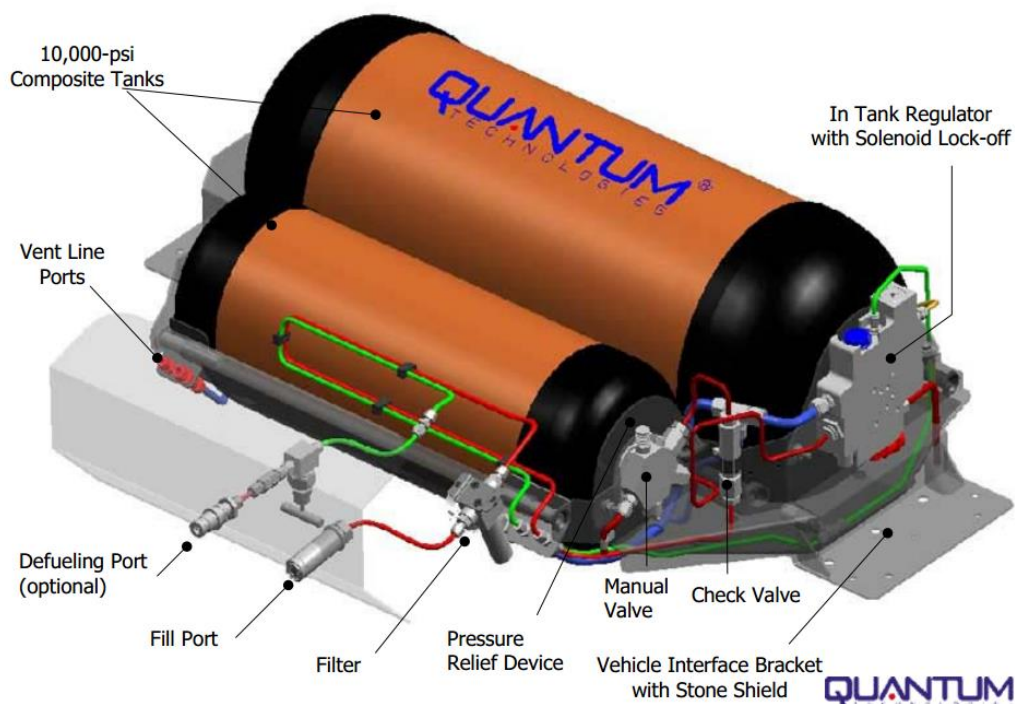
“Figura 10.”

En esta última imagen podemos ver el sistema de almacenamiento de hidrógeno al completo. Hay que decir que este sistema es de un vehículo de pila de combustible, sin embargo toda la parte mostrada en la imagen es similar a la de nuestro vehículo, ya que todo lo que tiene que ver con el sistema de almacenamiento tanto en vehículos de pila de combustible como en vehículos que queman el hidrógeno en un motor de combustión interna son prácticamente idénticos.

En la figura 10 se observan los siguientes componentes:

- Los puntos 1 y 2 hacen referencia a los *depósitos de gas comprimido* hidrógeno a una presión de 350 bares.
- El punto 3 y el punto 10 hacen referencia a *válvulas automáticas*.
- El punto 4 y el 12 son *sensores de presión*.
- El punto 5 es una *válvula de exceso de flujo*.
- Los puntos 6, 7 y 8 hacen referencia al sistema de llenado, donde se encuentra el *receptáculo de llenado*, una *válvula anti-retorno* y un *manómetro*.
- El punto número 9 es un *filtro* usado para depurar el hidrógeno, en nuestro caso al quemar el hidrógeno en el motor no es estrictamente necesario colocarlo.
- El punto 11 y el 14 son *reguladores de presión*.
- El punto 13 es una *válvula de seguridad*.

En la figura 11 vemos la imagen ilustrativa de un sistema de almacenamiento de hidrógeno:



“Figura 11.”

Vemos en ésta última imagen como el sistema de almacenamiento de QUANTUM el cual almacena el hidrógeno en forma de gas comprimido a 700 bares posee dos *depósitos de gas comprimido*, una *válvula de solenoide*, una *válvula anti-retorno*, una *válvula manual*, un *dispositivo de descarga de presión*, un *filtro de hidrógeno*, un *puerto de llenado*, un *puerto de vaciado...*

Lo idóneo sería que, a la hora de adquirir los depósitos de hidrógeno, nos viniera incorporado todo el resto del sistema como podemos observar en la imagen. Todo él completamente homologado, para que una vez lo adquiramos, podamos instalarlo todo como si fuera una sola pieza. A raíz de ahí instalaríamos nosotros (en realidad será un taller oficial el cual nos instale todos los elementos, ya que como veremos a continuación en otro apartado para que las reformas sean válidas tendrá que ser un taller el que nos realice la instalación) los reguladores de presión, el acumulador, las tuberías... pero gran parte del trabajo lo tendríamos resuelto.

2.2. INFORMACIÓN DE SISTEMAS Y COMPONENTES RELACIONADOS CON LA NORMATIVA

Según la norma [2] un *sistema de hidrógeno* es: “ El conjunto de componentes de hidrógeno y de conectores equipados en los vehículos impulsados por hidrógeno a excepción de los sistemas de propulsión y las unidades de potencia auxiliares.”

A continuación acudiremos a la *normativa* la cual nos especifica que normas deben cumplir estos componentes para su respectiva homologación y qué componentes son éstos.

Lo primero que nos muestra es la diferenciación de estos componentes según la manera que tengamos de almacenar el hidrógeno, ya sea como *gas comprimido* o como *hidrógeno criogénico*. Como mostraremos más adelante a la hora de hablar de los depósitos de hidrogeno la manera menos complicada y más barata de modificar nuestro automóvil es almacenando el hidrógeno en forma de gas comprimido, ya que hacerlo de forma criogénica nos complicaría mucho las cosas ya que es una tecnología más cara y más difícil de conseguir.

Parte de las referencias a los elementos necesarios en un sistema de hidrógeno es respecto a qué procesos y ensayos se tienen que ver sometidos éstos elementos para que cumplan su respectiva homologación. Ello realmente a nosotros no nos incumbe, lo único y realmente importante es que, a la hora de comprar o adquirir uno de éstos elementos, nos tendremos que asegurar que cumple todas las leyes de homologación de la comisión europea, por lo tanto, asegurarnos de que es un elemento homologado, ya que si no, no lo instalaremos en nuestro automóvil.

A continuación mostraremos una lista de los elementos que deben ser homologados si el vehículo dispone de ellos, en concreto son componentes diseñados para utilizar hidrógeno comprimido (en estado gaseoso) con una presión de trabajo nominal superior a los 3MPa.

Componentes del sistema de hidrógeno [2]:

- Válvula de cierre automática.
- Conjunto de piezas del depósito.
- Válvula de control o válvula anti-retorno.
- Depósito o conjunto de depósitos.
- Accesorios.
- Conducto de combustible flexible.
- Intercambiador térmico.
- Filtro de hidrógeno.
- Sensores de detección de fugas de hidrógeno.
- Válvula manual o automática.

- Sensores de presión, temperatura, hidrógeno o caudal (si se utilizan como dispositivos de seguridad).
- Regulador de presión.
- Dispositivo de descarga de presión.
- Válvula de descarga de presión.
- Conexión o receptáculo para el reabastecimiento de combustible.
- Conector extraíble del sistema de almacenamiento.

No vamos a añadir realmente todos los elementos que ahí nos muestra, por ejemplo el conector del sistema de almacenamiento extraíble nos sobra ya que nuestro sistema va a ser fijo, es decir, las bombonas en las cuales se va a almacenar el hidrógeno no se pueden extraer, son fijas.

Por otro lado como mostraremos a continuación a la hora de ver los requisitos de nuestros componentes la norma los separa en dos, por un lado están los depósitos y por otro lado el resto de componentes.

Artículo 8: Requisitos de los *depósitos de hidrógeno* diseñados para el uso de hidrógeno comprimido (en estado gaseoso) [2]:

- Los depósitos de hidrógeno diseñados para el uso de hidrógeno comprimido se clasificarán con arreglo al punto 1 del anexo IV:

Procedimientos de ensayo aplicables a los depósitos de hidrógeno diseñados para el uso de hidrógeno comprimido (en estado gaseoso)

Tipo de ensayo	Aplicable a un tipo de depósito			
	1	2	3	4
Ensayo de rotura	✓	✓	✓	✓
Ensayo de ciclos de presión a temperatura ambiente	✓	✓	✓	✓
Ensayo de aparición de fugas antes de la rotura (<i>Leak-Before-Break</i>)	✓	✓	✓	✓
Ensayo de inflamación	✓	✓	✓	✓
Ensayo de penetración	✓	✓	✓	✓
Ensayo de exposición química		✓	✓	✓
Ensayo de tolerancia a la grietas de materiales compuestos		✓	✓	✓
Ensayo de rotura acelerada por esfuerzos		✓	✓	✓
Ensayo de ciclos de presión a temperatura extrema		✓	✓	✓
Ensayo de daños por impacto			✓	✓
Ensayo de fugas				✓
Ensayo de permeabilidad				✓
Ensayo de torsión				✓
Ensayo de ciclos de gas hidrógeno				✓

“Tabla 3.”

Clasificación de los depósitos de hidrógeno diseñados para el uso de hidrógeno comprimido [2]:

- Tipo 1: Depósito metálico sin soldaduras
- Tipo 2: Depósito cubierto por un forro metálico sin soldaduras
- Tipo 3: Depósito completamente cubierto por un forro metálico con o sin soldaduras
- Tipo 4: Depósito completamente cubierto por un forro no metálico

Los depósitos contemplados en el apartado 1 se someterán a ensayo de conformidad con los procedimientos establecidos en el anexo IV en función de su tipo.

Se facilitará una descripción detallada de todas las principales propiedades de los materiales y tolerancias usadas en el diseño de los depósitos que incluya los resultados de los ensayos a que se haya sometido el material.

Los procedimientos de ensayo que han de aplicarse a la homologación de los depósitos de hidrógeno diseñados para el uso de hidrógeno comprimido (en estado gaseoso) deberán incluir los siguientes [2]:

- a) Ensayo de rotura: El ensayo debe proporcionar el valor de la presión a la que se fracturará el depósito. A tal efecto, se someterá el depósito a una presión determinada que debe ser superior a su presión de trabajo nominal. La presión de rotura del depósito deberá exceder de una presión determinada. El fabricante deberá registrar esta presión de rotura y la conservará mientras siga comercializando ese modelo de depósito.
- b) Ensayos de ciclos de presión a temperatura ambiente: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno resiste variaciones extremas de presión. A este efecto, se someterá el depósito a ciclos de presión hasta que se registre un fallo o se alcance un número determinado de ciclos aumentando y disminuyendo la presión respecto a valores especificados. Los depósitos deberán resistir sin defecto alguno un número determinado de ciclos. Se dejará constancia del número de ciclos que ha resistido el depósito hasta producirse el fallo, del lugar en que se ha producido y de la descripción del fallo. El fabricante deberá registrar los resultados y los conservará mientras siga comercializando ese modelo de depósito.

- c) Ensayo de aparición de fugas antes de la rotura (LBB): el ensayo debe demostrar que en el depósito de hidrógeno se producen fugas antes de su rotura. A este efecto, se someterá el depósito a ciclos de presión aumentando y disminuyendo la presión respecto a valores especificados. Los depósitos sometidos a ensayo fallarán en un momento dado por la aparición de fugas o lograrán superar un número determinado de ciclos sin defecto alguno. Se dejará constancia del número de ciclos que ha resistido el depósito hasta producirse el fallo, del lugar en que se ha producido y la descripción del fallo.

- d) Ensayo de inflamación: El ensayo debe demostrar que el depósito, equipado con un sistema antifuego, no se fractura cuando es sometido a ensayo con arreglo a las condiciones de incendio especificadas. El depósito deberá resistir sin romperse una presión de trabajo determinada a la que será sometido y que sólo podrá rebajar a través del dispositivo de descarga de presión.

- e) Ensayo de penetración: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno no se rompe por la penetración de un proyectil. A este efecto, se disparará un proyectil a un depósito completo con su revestimiento protector y sometido a presión. El depósito no deberá fracturarse.

- f) Ensayo de exposición química: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno resiste un grado de exposición determinado a ciertas sustancias químicas. A este efecto, deberá exponerse el depósito a varias disoluciones químicas. Se aumentará la presión del depósito hasta un valor determinado y se llevará a cabo un ensayo de rotura de conformidad con la letra a). El depósito deberá lograr una presión de rotura determinada que será registrada.

- g) Ensayos de tolerancias a las grietas de materiales compuestos: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno resiste la exposición a altas presiones. A este efecto, se efectuarán incisiones de formas geométricas determinadas en las paredes laterales del depósito y se someterá este a un cierto número de ciclos de presión. El depósito no deberá presentar fugas ni fracturas hasta un número determinado de ciclos a partir del cual podrán registrarse fugas. Se dejará constancia del número de ciclos que ha resistido el depósito hasta producirse el fallo, del lugar en que se ha producido y de la descripción del fallo.

- h) Ensayo de rotura acelerada por esfuerzos: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno resiste la exposición prolongada a altas presiones y altas temperaturas en el límite de la franja de funcionamiento admisible. A este efecto, el depósito será expuesto durante un periodo preciso a determinadas condiciones de presión y temperatura para ser sometido posteriormente al ensayo de rotura contemplado en la letra a). El depósito deberá alcanzar una presión de rotura determinada.
- i) Ensayo de ciclos de presión a temperatura extrema: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno resiste variaciones de presión a diversas temperaturas. A este efecto, se someterá el depósito sin ningún revestimiento protector a un ensayo de ciclos a presión hidrostática en condiciones ambientales extremas y posteriormente se realizarán los ensayos de rotura y de fugas contemplados en las letras a) y k). Los depósitos deberán superar el ensayo de ciclos sin presentar signos de fractura, fugas o fibras deshilachadas y no romperse a una presión determinada.
- j) Ensayo de daños por impacto: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno sigue funcionando después de haber sufrido determinados impactos mecánicos. A este efecto, se llevará a cabo un ensayo de caída junto con un cierto número de ciclos de presión. El depósito no deberá presentar fugas ni fracturas hasta un número determinado de ciclos a partir del cual podrán registrarse fugas.
- k) Ensayo de fugas: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno no presenta fugas en las condiciones especificadas. A tal efecto, se someterá este componente a su presión de trabajo nominal. Tras el ensayo, el depósito no deberá presentar fugas detectadas mediante grietas, poros u otros defectos similares.
- l) Ensayo de permeabilidad: El ensayo debe demostrar que el depósito de hidrógeno no presenta una permeabilidad superior a un valor determinado. A este efecto, se someterá el depósito a la presión de trabajo nominal con gas hidrógeno y se controlará su permeabilidad en una cámara cerrada durante un periodo específico y con ciertas condiciones de temperatura.

Artículo 9: Requisitos de los componentes de hidrógeno, distintos de los depósitos, diseñados para el uso de hidrógeno comprimido (en estado gaseoso) [2]:

Procedimientos de ensayo aplicables a los componentes de hidrógeno, distintos de los depósitos, diseñados para el uso de hidrógeno comprimido (en estado gaseoso)

COMPONENTE DE HIDRÓGENO	TIPO DE ENSAYO					
	Ensayos de material	Ensayo de resistencia a la corrosión	Ensayo de resistencia	Ensayo de ciclos de presión	Ensayo de fugas internas	Ensayo de fugas externas
Dispositivos de descarga de presión	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Válvulas automáticas	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Válvulas manuales	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Válvulas antirretorno	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Válvulas de descarga de presión	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Intercambiadores térmicos	✓	✓		✓		✓
Conexiones o receptáculos para el reabastecimiento de combustible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reguladores de presión	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sensores para los sistemas de hidrógeno	✓	✓	✓	✓		✓
Conductos de combustible flexibles	✓	✓	✓	✓		✓
Accesorios	✓	✓	✓	✓		✓
Filtros de hidrógeno	✓	✓		✓		✓
Conector extraíble del sistema de almacenamiento	✓	✓	✓	✓		✓

“Tabla 4.”

En función de los requisitos específicos de cada componente de hidrógeno, los procedimientos de ensayo que han de aplicarse a la homologación de componentes de hidrógeno, distintos de los depósitos, diseñados para el uso de hidrógeno comprimido (en estado gaseoso). Deberán incluir los siguientes [2]:

1. Ensayos de material:

1.1. El ensayo de compatibilidad del hidrógeno contemplado en la letra j) del anexo III.

- 1.2. Ensayo de envejecimiento: El ensayo debe verificar si el material elastómero de los componentes de hidrógeno resisten en envejecimiento. Las muestras no deberán presentar ningún agrietamiento.
- 1.3. Ensayo de compatibilidad con el ozono: El ensayo debe verificar si el material elastómero de los componentes de hidrógeno es compatible con la exposición al ozono. Las muestras no deberán presentar ningún agrietamiento.
2. El ensayo de resistencia a la corrosión contemplado en la letra e) del anexo III.
3. El ensayo de resistencia contemplado en la letra c) del anexo III.
4. El ensayo de ciclos de presión contemplado en la letra i) del anexo III. Los componentes de hidrógeno no deberán presentar signos visibles de deformación o extrusión y deberán cumplir los requisitos de los ensayos de fugas internas y externas.
5. Ensayo de fugas internas: Este ensayo debe demostrar que los componentes técnicos del hidrógeno especificados no presentan fugas internas. A este efecto, se someterá los componentes a presión en distintas condiciones de temperatura y se prestará atención a la presencia de fugas. Los componentes de hidrógeno en cuestión no deberán presentar burbujas ni fugas internas a partir de un valor determinado.
6. El ensayo de fugas externas contemplado en la letra b) del anexo III.

Artículo 10: Requisitos generales para la instalación de los componentes y sistemas de hidrógeno [2]:

- 1) El sistema de hidrógeno se deberá instalar de manera que esté protegido contra posibles daños. Deberá estar aislado de las fuentes de calor del vehículo.
- 2) El depósito de hidrógeno solo podrá retirarse para ser sustituido por otro depósito de hidrógeno a efectos de reabastecimiento de combustible o mantenimiento. En el caso de los motores de combustión interna, el depósito no se instalará en el compartimento del motor del vehículo. Asimismo, deberá protegerse adecuadamente contra todo tipo de corrosión.

- 3) Deberá adoptarse medidas para impedir el uso de combustible inadecuado para el vehículo y las fugas de hidrógeno durante el llenado y garantizar la retirada segura de un sistema de almacenamiento de hidrógeno extraíble.
- 4) La conexión o el receptáculo para el reabastecimiento de combustible deberán estar protegidos contra la suciedad, el agua o un ajuste erróneo. La conexión o el receptáculo para el reabastecimiento de combustible deberán estar dotados de una válvula anti-retorno o una válvula con idéntica función. Si la conexión para el reabastecimiento de combustible no fuera montada directamente sobre el depósito, el conducto de reabastecimiento de combustible deberá ir asegurado con una válvula anti-retorno o una válvula con idéntica función, que irá montada directamente sobre el depósito o estará integrada en este.
- 5) El depósito de hidrógeno se deberá montar y fijar de manera que las aceleraciones especificadas puedan absorberse sin daños para las piezas de seguridad cuando esté lleno.
- 6) Los conductos de hidrógeno flexibles deberán estar asegurados con una válvula de cierre automática montada directamente sobre el depósito o integrada en este. Las válvulas deberán cerrarse en caso de que lo requiera una disfunción del sistema de hidrógeno o cualquier otro suceso que derive en una fuga de hidrógeno. Cuando el sistema de propulsión esté apagado, el suministro de combustible del depósito al sistema de propulsión deberá estar también apagado y permanecer cerrado hasta que el sistema deba ponerse en funcionamiento.
- 7) En caso de accidente, se interrumpirá el caudal de gas procedente del depósito mediante una válvula de cierre automática montada directamente sobre el depósito o integrada en éste.
- 8) Ningún componente de hidrógeno, incluidos los materiales protectores que puedan formar parte de tales componentes, deberá sobresalir del contorno del vehículo o de la estructura de protección. Esta disposición no se aplicará en caso de que los componentes de hidrógeno estén debidamente protegidos y ninguna de sus partes de sitúe fuera de la estructura de protección.
- 9) El sistema de hidrógeno se deberá instalar de tal manera que tenga la mejor protección posible contra eventuales daños, en la medida en que sea razonablemente viable, como los debidos a los componentes móviles del vehículo, las colisiones y los impactos de gravilla, así como los debidos a la carga y descarga del vehículo o al desplazamiento de la carga transportada.

- 10) Ningún componente de hidrógeno deberá situarse cerca del sistema de escape de un motor de combustión interna o de otra fuente de calor si no está debidamente protegido contra el calor.
- 11) La ventilación o el sistema de calefacción para el compartimento de pasajeros y los lugares en que sean posibles las fugas o la acumulación de hidrógeno deberán proyectarse de manera que este no pueda penetrar en el vehículo.
- 12) En caso de accidente, se velará, en la medida en que sea razonablemente viable, porque el depósito de descarga de presión y el sistema de ventilación asociado no pierdan su capacidad de funcionamiento. El sistema de ventilación y el dispositivo de descarga de presión se protegerán debidamente contra la suciedad y el agua.
- 13) El comportamiento de pasajeros del vehículo deberá estar separado del sistema de hidrógeno para evitar la acumulación de hidrógeno. Debe garantizarse que ninguna fuga de combustible del depósito o sus accesorios penetre en el compartimento de pasajeros del vehículo.
- 14) Los componentes de hidrógeno que puedan producir una fuga de hidrógeno a los compartimentos de pasajeros o del equipaje o a otro compartimento sin ventilación deberán ir en un *compartimento estanco para el gas* o en un dispositivo equivalente establecido en las medidas de ejecución.
- 15) Los dispositivos eléctricos que contengan hidrógeno deberán aislarse de modo que no pueda circular la corriente a través de las partes con hidrógeno para prevenir las chispas eléctricas en caso de fractura. Los componentes metálicos del sistema de hidrógeno deberán presentar una continuidad eléctrica con la toma de tierra de los vehículos.
- 16) Deberán utilizarse etiquetas u otros medios de identificación para advertir a los servicios de salvamento de que se trata de un vehículo impulsado por hidrógeno y de que utiliza hidrógeno líquido o comprimido (en estado gaseoso).

Vemos como los artículos 8 y 9 mostrados anteriormente nos muestran todos los ensayos a los que deben ser sometidos tanto los depósitos de hidrógeno comprimido como el resto de componentes para su homologación, a la hora de adquirir éstos elementos nuestro objetivo será asegurarnos que están homologados y tienen el certificado de la comunidad europea (CE). No es algo a lo que debemos darle demasiada importancia debido a que nosotros nos vamos a limitar a asegurarnos que a la hora de instalar cualquier sistema o elemento en nuestro automóvil cumpla los requisitos necesarios para poder legalizar la instalación en sí.

El artículo 10 nos muestra los requisitos a cumplir a la hora de realizar la instalación de los componentes, habrá que tenerlos en cuenta (el taller que se encargue de la instalación del sistema deberá tenerlos en cuenta), es importante cumplir todos y cada uno de ellos.

2.3. EXPLICACIÓN AL DETALLE DE SISTEMAS Y COMPONENTES DE HIDRÓGENO A INSTALAR TENIENDO EN CUENTA LA NORMATIVA

Para tener un conocimiento más profundo acerca de cómo va a ser nuestra instalación (es decir, de qué elemento va a estar formada y que función tiene cada uno de los elementos) realizaremos una explicación concreta de cada uno de los elementos, siempre por supuesto teniendo en cuenta la información que nos muestra la normativa relacionada con la homologación de vehículos a motor impulsados por hidrógeno.

Para empezar mostraremos una serie de requisitos generales mostrados en la normativa [4]:

REQUISITOS GENERALES PARA LA INSTALACIÓN DE COMPONENTES Y SISTEMAS DE HIDRÓGENO DISEÑADOS PARA EL USO DE HIDRÓGENO COMPRIMIDO (EN ESTADO GASEOSO) EN VEHÍCULOS IMPULSADOS POR HIDRÓGENO:

1. Se tomarán precauciones razonables para evitar fallos de otros circuitos que afecten al sistema de hidrógeno.
2. El sistema de hidrógeno se presurizará hasta la presión de trabajo nominal utilizando un 100% de hidrógeno y se someterá a un ensayo de fugas, salvo el depósito, con un agente tensioactivo, sin que se formen burbujas durante 3 minutos, o con otro método cuya equivalencia haya quedado demostrada.
3. En caso de fuga o evacuación de hidrógeno, no se dejará que este se acumule en espacios cerrados o semicerrados.
4. Los componentes de hidrógeno que puedan tener fugas de hidrógeno y que vayan montados en el habitáculo o el maletero o en cualquier otro compartimento no ventilado deberán ir dentro de una caja estanca al gas, o se aplicará otra solución equivalente.
5. Se mantendrá una presión mínima de 0,2 MPa en el depósito o conjunto de depósitos a temperatura ambiente.
6. Todos los dispositivos de descarga de presión, los demás componentes de seguridad y los conductos de evacuación estarán protegidos, en la medida de lo razonable, contra las intervenciones no autorizadas.
7. Si falla la activación de la válvula automática, esta pasará al modo de funcionamiento más seguro para la aplicación en cuestión.

8. El sistema de hidrógeno situado después de un regulador de presión deberá estar protegido contra la sobrepresión, la presión establecida de dicho dispositivo será inferior o igual a la presión máxima de trabajo admisible para la sección correspondiente del sistema de hidrógeno.
9. Deberá disponerse de un sistema que detecte los fallos en ambos circuitos de un intercambiador de calor y que evite que el hidrógeno penetre en el otro circuito si la interconexión no puede soportar la pérdida de presión en uno de los dos circuitos.

2.3.1. Depósito de H_2

Como hemos explicado anteriormente es uno de los elementos más importantes en nuestra instalación, ya que dependiendo del tipo de depósito que coloquemos dependerá la composición del resto de la instalación.

La definición de depósito a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- *Depósito*: Cualquier sistema utilizado para el almacenamiento de hidrógeno criogénico o de hidrógeno comprimido en estado gaseoso, que excluya cualquier otro componente del hidrógeno que pudiera estar dentro del depósito.

La normativa nos habla sobre la instalación de un depósito a bordo de un vehículo y nos dice lo siguiente [4]:

INSTALACIÓN DE UN DEPÓSITO A BORDO DE UN VEHÍCULO:

1. Un depósito o conjunto de depósitos puede cumplir funciones integradas del vehículo. Estará diseñado para cumplir los requisitos de las funciones integradas y los requisitos de los depósitos establecidos en la parte 2.
2. Un depósito o conjunto de depósitos que incluya dispositivos de seguridad deberá montarse y fijarse de tal manera que puedan absorberse las aceleraciones siguientes sin que se rompa la fijación o se aflojen los depósitos (se demostrará por ensayo o cálculo). La masa utilizada será representativa de un depósito o conjunto de depósitos totalmente equipado y lleno.

Vehículos de las categorías M1 y N1:

- a) +/- 20 g en el sentido de la marcha
- b) +/- 8 g en el sentido perpendicular horizontalmente al sentido de la marcha.

Vehículos de las categorías M2 y N2:

- c) +/- 10 g en el sentido de la marcha
- d) +/- 5 g en el sentido perpendicular horizontalmente al sentido de la marcha.

Vehículos de las categorías M3 y N3:

- e) +/- 6.6 g en el sentido de la marcha
- f) +/- 5 g en el sentido perpendicular horizontalmente al sentido de la marcha.

3. Las disposiciones del punto 2.2 no se aplicarán si el vehículo es homologado de acuerdo con las directivas 96/27/CE Y 96/79/CE.
4. Los dispositivos de descarga de presión, de acuerdo con el punto 5, constituirán el sistema de protección contra el fuego de un depósito o conjunto de depósitos para evitar su rotura. El aislamiento térmico u otras medidas protectoras no influirán en la respuesta y el funcionamiento de los dispositivos de descarga de presión.
5. No se instalará un depósito o conjunto de depósitos sin camisa metálica en el habitáculo, el maletero u otros lugares en los que la ventilación sea insuficiente, salvo que vaya integrado en un sistema que garantice la evacuación de hidrógeno permeado fuera del vehículo, por ejemplo, instalándolo en una caja estanca al gas.

En nuestro caso seguramente nos decantemos por colocar dos bombonas las cuales se encargan de almacenar el hidrógeno en forma de gas comprimido. Nuestro objetivo es que almacenen el hidrógeno a una presión de 350 bares. Lo más común en el caso de los depósitos es colocarlos en el maletero del vehículo, pero no sin antes aislarlo completamente del resto del habitáculo de pasajeros, ya que si observamos la norma, todos aquellos elementos por los que circula o se almacena hidrógeno deben estar completamente aislados del habitáculo de los pasajeros para así evitar el peligro que pudiera provocar una fuga de H_2 .

Así pues, una vez aislado el maletero del habitáculo de los pasajeros podemos proceder a la instalación de las bombonas de H_2 teniendo en cuenta las normas de instalación mostradas anteriormente. En cuanto a la adquisición de dichas bombonas se puede hacer de dos maneras diferentes, una de las maneras y la más común es adquirir única y exclusivamente las bombonas como tal, digo que es la más común ya que a la hora de visitar páginas web de diferentes compañías en las cuales podemos adquirir éste tipo de elementos nos suelen mostrar a la venta únicamente las bombonas. La otra manera de adquirirlas es junto con todos los componentes necesarios que acompañan a la bombona, es decir, válvulas, reguladores de presión, conducto de llenado... Si adquirimos todo el sistema al completo nos ahorramos la búsqueda del resto de componentes, simplificaríamos las cosas pero nos saldría casi seguro más caro. En nuestro caso compraremos únicamente las bombonas para mostrar y explicar el resto de elementos.

Podemos acudir a varias empresas a la hora de comprar nuestro depósito de hidrógeno en forma de gas comprimido, las mostramos a continuación:

- QUANTUM technologies
- Luxfer Gas Cylinders Dynecell

Éstas son dos de las más famosas compañías que se dedican a la venta de éstos productos, puedes encontrarte con muchas variantes a la hora de comprar los depósitos, pero nosotros nos vamos a centrar en los cilindros tipo 3 (Type 3) con capacidad para almacenar gas a 350 bares de presión (5076 psi).

2.3.2. Reguladores de presión

La definición de regulador de presión a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- *Regulador de presión*: Un dispositivo utilizado para controlar la presión de suministro del combustible en estado gaseoso que llega al sistema de conversión de hidrógeno.
- *Primer regulador de presión*: El regulador de presión que tiene la presión del depósito como presión de entrada.

En la figura 12 vemos cómo son estos reguladores de presión.



“Figura 12.”

Buscando información hemos encontrado las siguientes explicaciones acerca de la función de un regulador de presión:

Los reguladores reductores de presión controlan la presión de salida equilibrando la fuerza de un muelle ajustable con las fuerzas causadas por las presiones de entrada y salida. La fuerza del muelle se ajusta girando el vástago/mando, lo que fija la presión de salida deseada. A medida que la presión de entrada disminuye, el equilibrio de fuerzas cambia. Para compensarlo, se incrementará la presión de salida. Esta variación en la presión de salida (SPE, Supply Pressure Effect según sus siglas en inglés), es función del diseño y tipo del regulador. Si un regulador está sujeto a variaciones en la presión de entrada, y se necesita que la presión de salida sea constante, hay disponible un regulador de dos etapas [5].

En nuestro caso uno de los reguladores será de dos etapas, concretamente el primer regulador (cuya presión de entrada será la presión a la que se encuentre el depósito), ya que conforme en el depósito vaya disminuyendo el nivel de hidrógeno la presión disminuirá.

Por lo tanto necesitaremos dos reguladores de presión distintos, uno de los cuales se encontrará al principio de la instalación, el cual se encargará de disminuir la presión de trabajo de 350 bares (que será la presión a la cual se encuentre el hidrógeno en el depósito cuando éste se encuentre completamente lleno) a 10 bares de presión (que será la presión de trabajo desde el primer regulador de presión hasta el siguiente). El segundo regulador se encargará de disminuir la presión desde 10 bares a 3 bares. El acumulador de hidrógeno se encontrará a 3 bares, éste dispositivo irá colocado a continuación del segundo regulador y su función es mantener en esa zona el hidrógeno a ésta presión para que los inyectores funcionen correctamente, más adelante explicaremos la función de ambos dispositivos.

Para la posible adquisición de los reguladores de presión específicos para el hidrógeno hemos encontrado buscando en internet las siguientes empresas (tenemos muchísimas más empresas en la cuales podemos encontrar reguladores):

- “BOC industrial gases”
- “Swagelok”

En ambas podemos encontrar a la venta reguladores de presión, siempre tendremos en cuenta las presiones con las que vamos a tratar para poder elegir correctamente los reguladores

2.3.3. Válvulas automáticas y válvulas anti-retorno

La definición de válvulas automáticas y válvulas anti-retorno a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- *Válvula automática*: Una válvula que no funciona manualmente, sino por un accionador, a excepción de las válvulas anti-retorno.
- *Válvula anti-retorno*: Una válvula que solo deja pasar el flujo de hidrógeno en una dirección.

Está claro que la instalación de este tipo de válvulas es por motivos de seguridad, nos sirven para aislar un depósito o conjunto de depósitos o un sistema de propulsión. La normativa acerca de vehículos impulsados por hidrógeno nombra éste tipo de válvulas como a continuación mostramos.

VÁLVULAS AUTOMÁTICAS O VÁLVULAS ANTI-RETORNO PARA AISLAR UN DEPÓSITO O CONJUNTO DE DEPÓSITOS O UN SISTEMA DE PROPULSIÓN [4]:

1. Se utilizarán válvulas de cierre automático, de conformidad con el anexo VI, punto 6, del Reglamento (CE) nº 79/2009, y estas estarán cerradas en vacío. Si se utiliza un conjunto de depósitos, la válvula se montará directamente sobre un depósito o dentro de él.
2. Las conexiones o los receptáculos de repostaje se utilizarán de conformidad con el anexo VI, punto 4, del reglamento (CE) nº 79/2009. Si se utiliza un conjunto de depósitos, la válvula se montará directamente sobre un depósito o dentro de él.
3. Si en el depósito o conjunto de depósitos se utiliza un solo conducto para el llenado y la alimentación de combustible, la bifurcación entre el conducto de llenado y el de alimentación deberá fijarse de la manera indicada en el punto 4.2 sobre el conducto de llenado.

4. En caso de rotura de los conductos de llenado o alimentación de combustible, las válvulas de aislamiento mencionado en los puntos 4.1 y 4.2 no se separarán del depósito o conjunto de depósitos.
5. La(s) válvula(s) automática(s) que aísla(n) cada depósito o conjunto de depósitos se cerrará(n) en caso de un funcionamiento defectuoso del sistema de hidrógeno que dé lugar a un escape de hidrógeno o a una fuga grave entre el depósito o conjunto de depósitos y el (los) sistema(s) de conversión de hidrógeno.
6. Una válvula automática garantizará la seguridad del flujo de combustible hacia el sistema de propulsión. Esta válvula interrumpirá el suministro de hidrógeno al sistema de propulsión cuando este se apague, independientemente de la posición de mando de activación, y no lo restablecerá hasta que se haga funcionar dicho sistema.
7. Una válvula automática garantizará la seguridad del flujo de combustible hacia el otro(s) sistema(s) de conversión de hidrógeno. Esta válvula interrumpirá el suministro de hidrógeno cuando se apague el sistema de conversión de hidrógeno respectivo, independientemente de la posición del mando de activación, y no lo restablecerá hasta que se haga funcionar dicho sistema.



“Figura 13.”

Podemos observar que la norma nos informa de *dónde* deberemos colocar las válvulas anti-retorno y las válvulas de automáticas por motivos de seguridad.

- Para empezar, deberemos colocar una *válvula de cierre automática* por motivos de seguridad (por posibles fugas de gas) directamente sobre el depósito o integrada en este, por lo tanto una por cada depósito, con el objetivo de asegurar los conductos de hidrógeno flexibles, es decir, cortar el suministro de hidrógeno del depósito al sistema de propulsión.
- Deberemos colocar una *válvula anti-retorno* o una válvula de idéntica función en la conexión o el receptáculo para el reabastecimiento de combustible, o sino montarla directamente en el depósito por motivos de seguridad.
- *Otra válvula de cierre automática* a tener en cuenta es la que garantizará el flujo de hidrógeno hacia el sistema de propulsión e interrumpirá el flujo cuando se apague el sistema de propulsión y no la restablecerá hasta que se active dicho sistema.
- Deberemos instalar otra *válvula de cierre automática* con el objetivo de interrumpir el flujo de hidrógeno cuando se apague el sistema de conversión correspondiente, es decir, deberemos colocar dicha válvula antes del motor de combustión interna.

Para poder adquirir este tipo de válvulas nombradas anteriormente y colocarlas en la instalación de nuestro automóvil podemos comprarlas en la *empresa WITT*. Witt gas es una empresa fundada en 1945, la cual se encarga entre otras cosas de fabricar válvulas de todo tipo, entre ellas válvulas anti-retorno y válvulas automáticas. Tendremos que tener en cuenta a la hora de comprarlas que trabajarán con gas hidrógeno.

2.3.4. Dispositivos de descarga de presión

La definición de *dispositivos de descarga de presión* a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- *Dispositivo de descarga de presión:* Un dispositivo que no vuelve a cerrarse y que, una vez activado en las condiciones especificadas, se utiliza para liberar el líquido procedente de un sistema de hidrógeno a presión.”

Podemos deducir que al igual que las válvulas anti-retorno y las válvulas automáticas mostradas anteriormente la utilización de los dispositivos de descarga de presión es por motivos de seguridad.

Haciendo referencia a la normativa vemos como nos explica perfectamente que tipo de dispositivos son éstos, para qué sirven y donde deben ir colocados:

DISPOSITIVOS DE DESCARGA DE PRESIÓN [4]:

1. A efectos de los depósitos diseñados para hidrógeno comprimido (en estado gaseoso), el dispositivo de descarga de presión es un dispositivo de activación térmica sin vuelta a la posición cerrada que evita que el depósito se rompa por el efecto del fuego.
2. Se instalará directamente un dispositivo de descarga de presión en la entrada del depósito, o de al menos uno de ellos en el caso de un conjunto de depósitos, o en la apertura de una válvula instalada en un depósito, de manera que descargue el hidrógeno en una salida atmosférica que lo evacue hacia el exterior del vehículo.
3. El funcionamiento normal o el fallo de otro componente no podrán aislar el dispositivo de descarga de presión del depósito que protege.
4. La descarga de gas hidrógeno a través del dispositivo de descarga de presión no se hará:
 - a) Hacia terminales eléctricos sin proteger, interruptores eléctricos sin proteger u otras fuentes de ignición.
 - b) Dentro del habitáculo o del maletero o hacia ellos.
 - c) Dentro de hueco de la rueda de repuesto o hacia él.
 - d) Hacia ningún componente de clase 0.
 - e) Por delante del vehículo, ni horizontalmente a partir de las partes traseras o laterales del vehículo.
5. Las dimensiones internas del paso de evacuación no impedirán el funcionamiento del dispositivo de descarga de presión.
6. En la medida de lo razonable, el paso de evacuación del dispositivo de descarga de presión deberá estar protegido para que no obstruya, por ejemplo con suciedad o hielo, y para que no entre agua.

7. La salida del dispositivo de descarga de presión estará orientada de manera que, si el paso de evacuación se separa del dispositivo, el flujo de gas no afecte directamente a otros depósitos o conjuntos de depósitos, salvo si están protegidos.

Ya sabemos la normativa que debe cumplir nuestro dispositivo de descarga de presión. En nuestro caso dicho dispositivo será concretamente una *válvula de descarga de presión*, que es un tipo de dispositivo de descarga de presión.

La definición de *válvula de descarga de presión* a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- *Válvula de descarga de presión*: Un dispositivo de presión que vuelve a cerrarse y que, una vez activado en las condiciones especificadas, se utiliza para liberar el líquido procedente de un sistema de hidrógeno a presión.

Haciendo referencia a la normativa vemos como nos explica perfectamente que tipo de dispositivos son éstos, para qué sirven y donde deben ir colocados.

VÁLVULAS DE DESCARGA DE PRESIÓN [4]:

1. Si se utiliza una válvula de descarga de presión, se instalará de manera que descargue el hidrógeno en una salida atmosférica que lo evacue hacia el exterior del vehículo.
2. El funcionamiento normal o el fallo de otro componente no podrán aislar el dispositivo de descarga de presión de los componentes de hidrógeno o de la sección del sistema de hidrógeno que protege.
3. La descarga de gas de hidrógeno a través de las válvulas de descarga de presión no se hará:
 - a) Hacia terminales eléctricos sin proteger, interruptores eléctricos sin proteger u otras fuentes de ignición.
 - b) Dentro del habitáculo o del maletero o hacia ellos.
 - c) Dentro de hueco de la rueda de repuesto o hacia él.
 - d) Hacia ningún componente de clase 0.

4. En la medida de lo razonable, la válvula de descarga de presión deberá estar protegida para que no se obstruya, por ejemplo, con suciedad o hielo, y para que no entre agua.



“Figura 14.”

Como podemos ver en la norma, las válvulas de descarga de presión son dispositivos que se activan al detectar una temperatura lo suficientemente peligrosa y funcionan protegiendo el depósito evitando que este se rompa por efecto del fuego. Colocaremos *una válvula de descarga de presión a la entrada del depósito* o al menos uno en cada uno de ellos en el caso de varios depósitos o en la apertura de una válvula instalada.

El objetivo es que se descargue el hidrógeno hacia el exterior sin generar ningún peligro cuando detecte una temperatura o presión determinadas.

A la hora de adquirir válvulas de descarga de presión para nuestra instalación podemos acudir a WITT gas, compañía ya nombrada anteriormente que se dedica a la fabricación entre otras cosas de válvulas para sistemas de gas.

2.3.5. Conductos de combustibles rígidos y flexibles

La definición de *conducto de combustible rígido y flexible* a la que hace referencia la normativa son las siguientes [4]:

- *Conducto de combustible rígido*: Una serie de tubos diseñados para no doblarse en condiciones normales de funcionamiento y a través de los cuales pasa el hidrógeno.
- *Conducto de combustible flexible*: Tubería o manguera flexible a través de la cual fluye el hidrógeno.

Por lo tanto éstos son los conductos por los cuales circula el hidrógeno desde su salida en el depósito hasta su entrada al acumulador de hidrógeno. Estos tubos se encargarán de transportar el hidrógeno de un punto a otro y por ello deberán cumplir unas normas. Como podemos observar a continuación la norma hace referencia a éstos elementos.

Tanto tuberías como conexiones del circuito de hidrógeno deben ser compatibles y estar diseñados para usar hidrógeno. Los conductos de combustible flexibles están diseñados debido a que tanto a la salida del hidrógeno del depósito como a su entrada en el acumulador es prácticamente imposible dirigirlo mediante tubos rígidos debido a la geometría y al poco espacio, por ellos circulará hidrógeno a baja presión.

Si la presión en el circuito de hidrógeno es superior a 1.5 bar absoluto (que equivale a 0.5 bar a la presión atmosférica), las tuberías y conectores deben ser de acero; además los conectores deben ser de tipo tornillo. Si la presión en el circuito de hidrógeno es inferior a 1.5 bar absolutos (que equivale a 0.5 bar a la presión atmosférica), se aceptan tuberías flexibles y conectores que no sean de forma tornillo. Una tubería de purga es obligatoria y el extremo del tubo debe estar fuera del vehículo [6].

La normativa nos habla acerca de este componente de la siguiente manera:

CONDUCTO DE COMBUSTIBLE RÍGIDOS Y FLEXIBLES [4]:

1. Los conductos de combustible rígidos se fijarán de tal manera que no estén sometidos a vibraciones críticas u otros esfuerzos.
2. Los conductos de combustible flexibles se fijarán de tal manera que no estén sometidos a tensiones de torsión ni a abrasiones.
3. Los conductos de combustible rígidos y flexibles estarán diseñados de tal manera que se minimicen, en la medida de lo razonable, las tensiones que sufren cuando se montan o se desmontan los componentes de hidrógeno contiguos a ellos.
4. Los conductos de combustible rígidos y flexibles de dispondrán de manera que se evite la corrosión galvánica e intersticial en los puntos de fijación.
5. Los conductos de combustible rígidos y flexibles se montarán de manera que se minimice el riesgo de que se dañen accidentalmente, ya sea dentro del vehículo, por ejemplo, al colocar o mover el equipaje u otros bultos, o fuera del vehículo, por ejemplo, al circular por terreno accidentado, utilizar el gato, etc.

6. En los pasos a través de la carrocería o de otros componentes de hidrógeno, los conductos de combustible estarán protegidos por arandelas u otros sistemas de protección.
7. Si se instalan accesorios en el habitáculo o un maletero cerrado, los conductos de combustible y los accesorios deberán ir dentro de una manga que cumpla los requisitos especificados en el punto 10 para la caja estanca al gas.

También los nombra dentro del apartado de “requisitos de los componentes de hidrógeno distintos a los depósitos diseñados para el uso de hidrógeno comprimido (en estado gaseoso)” [4]:

1. La homologación de un conducto de combustible flexible se concederá para cualquier longitud, con un radio de curvatura mínimo especificado por el fabricante, y se ensamblará con un tipo de accesorio específico.
2. Toda capa de refuerzo intermedia de un conducto de combustible flexible deberá estar protegida contra la corrosión, bien recubriéndola o bien utilizando capas de refuerzo de material resistente a la corrosión, como acero inoxidable. Si se utiliza un recubrimiento, se evitará la formación de burbujas entre las capas.
3. Los conductos de combustible flexibles tendrán una resistencia eléctrica inferior a 1 megaohmio por metro.

La adquisición de éstos conductos no nos será complicada. Simplemente tenemos que tener en cuenta las medidas de los tubos para que a la hora de instalarlos se adapten perfectamente al vehículo, dependiendo que vehículo sea tendrán unas medidas u otras.

2.3.6. Accesorios de los componentes de hidrógeno

La definición de *accesorio* a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- *Accesorio*: Cualquier conector utilizado en un sistema de tubos rígidos o flexibles.

La normativa nos habla acerca de este componente de la siguiente manera:

ACCESORIOS ENTRE LOS COMPONENTES DE HIDRÓGENO [4]:

1. El fabricante del vehículo se asegurará de que en los accesorios se utilicen materiales resistentes a la corrosión galvánica e intersticial.
2. El número de juntas se limitará al mínimo.

3. A efectos de inspección, el fabricante prescribirá los medios de ensayo de fugas de las juntas. Si se prescriben ensayos de fugas con un agente tensioactivo, las juntas deberán estar en lugares accesibles.

Como vemos lo principal en estos casos es que las juntas sean resistentes a la corrosión galvánica e intersticial y limitar al mínimo el número de dichas juntas para así minimizar el número de fugas posibles.

2.3.7. Filtro de hidrógeno

La definición de *filtro de hidrógeno* a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- *Filtro de hidrógeno*: Filtro que se utiliza para separar del hidrógeno el aceite, el agua y la suciedad.

En nuestro sistema también deberemos colocar un filtro con ese objetivo, ya que el hidrógeno que introducimos al motor debe estar completamente limpio para evitar taponamientos, averías...

El filtro lo colocaremos entre el depósito y el motor y lo cambiaremos regularmente para evitar taponamientos debido a la suciedad. También es posible la colocación de un filtro de hidrógeno en el sistema de reabastecimiento de combustible, para que así de esta manera nos aseguremos la entrada del hidrógeno al depósito de forma segura y limpia.

2.3.8. Caja estanca al gas

Como vemos en el apartado 4 de los requisitos generales nombrados anteriormente [4]:

“Los componentes de hidrógeno que puedan tener fugas de hidrógeno y que vayan montados en el habitáculo o el maletero o en cualquier otro compartimento no ventilado deberán ir dentro de una caja estanca al gas, de conformidad con el punto 10, o se aplicará otra solución equivalente.”

Por ello vemos que la caja estanca al gas es una medida de seguridad que nos protege ante posibles fugas de hidrógeno producidas en habitáculos cerrados o en el maletero, recordemos que en el maletero se encuentran los depósitos de hidrógeno junto con los componentes que éstos necesitan (electroválvulas, válvulas anti-retorno...).

REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR LA CAJA ESTANCA AL GAS [4]:

1. La caja estanca al gas se evacuará hacia el exterior
2. En la medida de lo razonable, la apertura de ventilación de la caja estanca al gas estará situada en el punto más elevado de esta última una vez en el vehículo. La evacuación no se hará en un guardabarros ni estará orientada a una fuente de calor, como el tubo de escape. Asimismo, la evacuación se hará de manera que el hidrógeno no pueda penetrar en el vehículo.
3. Las conexiones eléctricas y los componentes situados en la caja estanca al gas se diseñarán de forma que no se produzcan chispas.
4. Durante el ensayo, el conducto de evacuación estará cerrado herméticamente y la caja estanca al gas deberá cumplir los requisitos sobre fugas del punto 1.2 a una presión de 0,01 MPa sin que se produzcan deformaciones permanentes.
5. Todo sistema de conexión se fijará mediante abrazaderas, u otros medios, a la caja estanca al gas y al pasapanel para asegurarse de que las juntas cumplen los requisitos sobre fugas del punto 10.4.

2.3.9. Instalación eléctrica

La norma nos habla acerca de la instalación eléctrica, nombrándonos los siguientes dos puntos en concreto [4]:

1. Los componentes eléctricos de hidrógeno estarán protegidos contra las sobrecargas.
2. Las conexiones de suministro de corriente estarán aisladas contra la entrada de hidrógeno cuando haya presencia de componentes de hidrógeno o exista riesgo de fugas de hidrógeno.

2.3.10. Conexión o receptáculo para el repostaje

La definición de *conexión o receptáculo para el repostaje* a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- Conexión o receptáculo para el repostaje: Un dispositivo utilizado para llenar el depósito en la estación de servicio.



“Figura 15.”

La normativa nos habla acerca de este componente de la siguiente manera:

SISTEMA DE LLENADO [4]:

1. El receptáculo estará garantizado contra acoplamientos incorrectos y rotaciones. Asimismo, estará protegido contra las intervenciones no autorizadas y la entrada en la medida de lo razonable, de suciedad y agua, por ejemplo, mediante una tapa con cerrojo. Estará protegido también contra errores de manipulación razonablemente previsibles.
2. El receptáculo estará instalado de manera que el acceso para el llenado no esté en el habitáculo, el maletero o cualquier otro compartimento sin ventilación.
3. El receptáculo no se montará en ningún elemento externo de absorción de energía, por ejemplo, los parachoques.
4. La presión de trabajo nominal del receptáculo será igual a la presión de trabajo nominal de los componentes de hidrógeno de clase 0 que estén situados antes del primer regulador de presión, incluido este último.
5. Durante el llenado no estarán funcionando el sistema de propulsión ni el (los) sistema(s) de conversión de hidrógeno, salvo los dispositivos de seguridad, y el vehículo estará inmovilizado.

6. Se colocarán etiquetas cerca del receptáculo, por ejemplo en el interior de la tapa de llenado, que indiquen la información siguiente:

H_2 gas

“XX” MPa

Donde XX es la presión de trabajo nominal del (de los) depósito(s).

Vemos como nombra en el punto 4 los componentes de clase 0, según la normativa tienen la siguiente definición [4]:

- Componente de clase 0: Cualquier componente de hidrógeno de alta presión, incluidos los conductos de combustible y los accesorios que contengan hidrógeno a una presión de trabajo nominal superior a 3,0 MPa.

2.3.11 Sensores de detección de fugas

La definición de *sensor de detección de fugas* a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

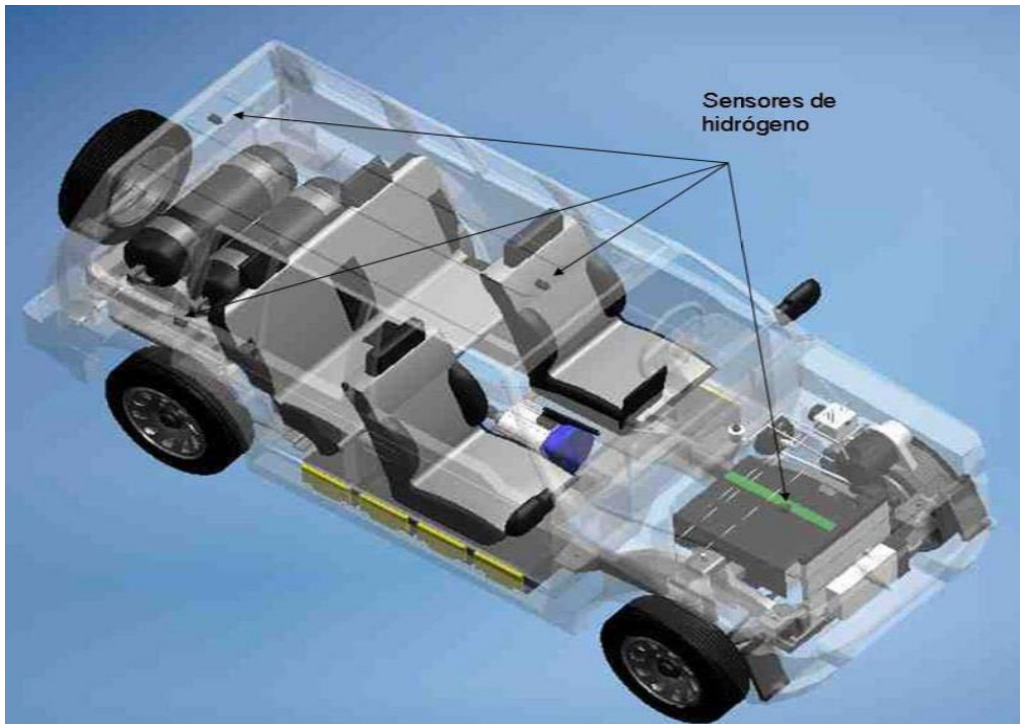
- Sensor de detección de fugas: Es cualquier sensor utilizado para detectar hidrógeno en el aire.

Nuestro vehículo deberá llevar sensores de hidrógeno por motivos de seguridad para detectar posibles fugas. El reglamento no nos dice específicamente dónde deberemos colocar éstos elementos.

Si echamos un vistazo a la documentación adquirida del proyecto hércules observamos cómo nos muestra la imagen de un vehículo eléctrico de pila de combustible en el cual podemos ver dónde colocan los sensores de hidrógeno.

En el siguiente ejemplo vemos la existencia de 4 sensores de hidrógeno dentro del vehículo:

- Dos de ellos en el habitáculo del maletero (uno en el techo y otro en la parte de abajo).
- Otro sensor en el habitáculo de las personas (en el techo).
- El último en la parte delantera del vehículo (debajo del capó en la parte de la pila de combustible).



“Figura 16.”

En nuestro vehículo podríamos colocarlos de la misma manera que en la figura 16, podríamos incluso omitir el sensor que se encuentra en la parte delantera, ya que recordemos que el proyecto hércules es un vehículo eléctrico de pila de combustible, sin embargo el nuestro es un vehículo de combustión interna alternativo (es dudoso que pueda haber fugas en esa parte). Aunque no estaría mal colocar también un sensor en esa en ese lugar.

2.3.12 Intercambiador térmico

La definición de *intercambiador térmico* a la que hace referencia la normativa es la siguiente [4]:

- Intercambiador térmico: Es un dispositivo para calentar el hidrógeno.

En cuanto a este elemento la verdad es que en ninguna parte del reglamento hemos encontrado nada en concreto, simplemente la definición que arriba mostramos. En principio debería ser un elemento de obligada colocación, ya que como podemos leer se encarga de calentar el hidrógeno antes de su introducción al motor, y por supuesto en países de climas fríos su función nos resultaría muy útil.

2.3.13 Inyección de combustible

Llegamos a nuestro último apartado en el cual vamos a explicar brevemente los elementos que se encargan de regular la entrada del combustible hidrógeno al motor de nuestro automóvil. Para ellos hablaremos de tres elementos fundamentales, los inyectores, la centralita y el acumulador de hidrógeno. Tanto el acumulador como los inyectores irán situados a continuación del sistema de hidrógeno explicado anteriormente, la centralita se encargará de regular la apertura y cierre de los inyectores (entre otras cosas) para decidir qué cantidad de combustible es la más adecuada en cada momento para obtener el mejor rendimiento.

2.3.13.1 Tipo de inyección

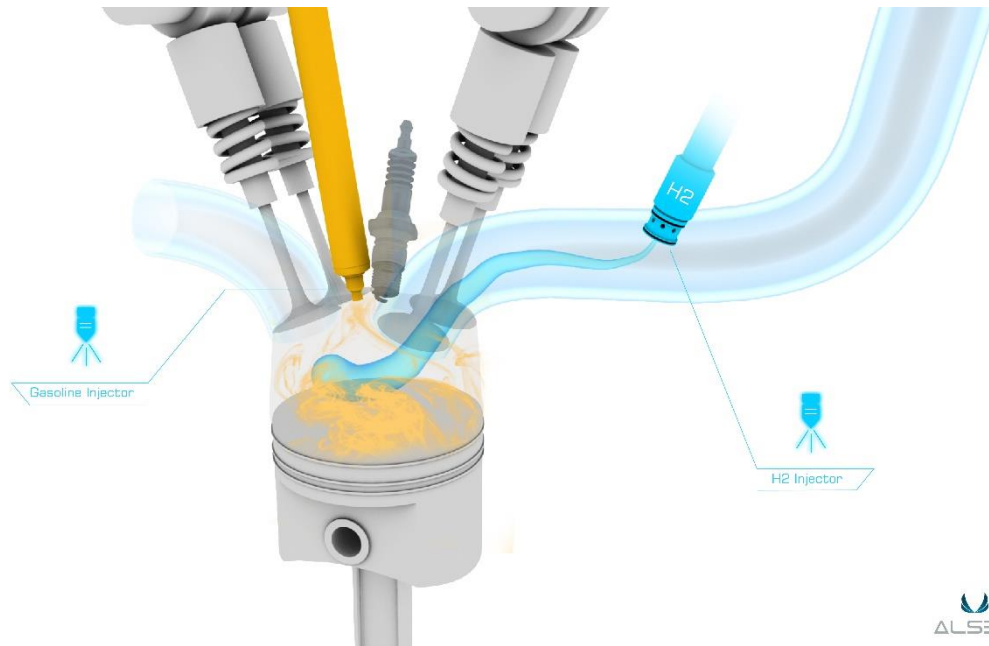
Como veremos a continuación hay dos maneras diferentes de realizar la inyección de combustible en un motor, una de ellas es de manera indirecta y la otra de manera directa [3]:

- Inyección indirecta de combustible (Port injection):

Lo que hacemos en este caso es inyectar el combustible directamente dentro del *conducto de admisión* (antes de la válvula de admisión). Normalmente, el combustible se inyecta en el conducto después del inicio de la carrera de admisión. De esta manera se reducen las posibilidades de que se produzca el pre-encendido del hidrógeno, ya que el aire que haya entrado en la cámara de combustión habrá enfriado algo el recinto y por consiguiente todos aquellos puntos o zonas calientes que pudieran comportarse como fuente de ignición.

Éste tipo de inyección de combustible es el elegido para nuestro automóvil debido a una razón principal, y es que la tecnología de inyección directa de combustible es mucho más cara y compleja que la indirecta, principalmente debido a los inyectores, que son los que se encargan de introducir el combustible al motor, también hay otras razones que mostraremos a continuación.

En la figura 17 podemos ver de una forma más gráfica en que consiste la inyección indirecta de hidrógeno en un motor de combustión interna. Podemos observar la posición de la bujía, los inyectores tanto de gasolina como de hidrógeno, las válvulas, el pistón...



“Figura 17.”

- Inyección directa de combustible (Direct cylinder injection):

Los motores más sofisticados de combustión interna de hidrógeno utilizan sistemas de inyección directa en el cilindro durante la carrera de compresión. En la inyección directa, la válvula de admisión se encuentra cerrada cuando se inyecta el combustible, evitando así por completo el problema del pre encendido durante la carrera de admisión. Consecuentemente, no se producirá retroceso de llama hacia el conducto de admisión, este es nuestro objetivo principal en los motores de combustión interna de hidrógeno, evitar el retroceso de llama. Además la potencia obtenida usando un sistema de inyección directa en un motor de hidrógeno es un 20% mayor que en un motor de gasolina, y un 42% mayor que en el caso de usar carburador en un motor de hidrógeno.

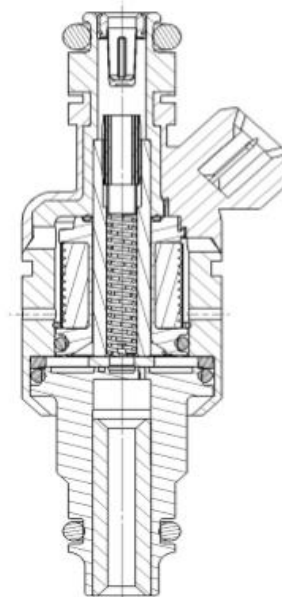
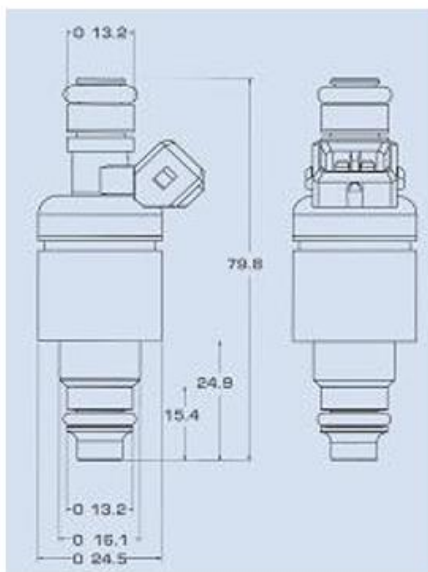
Sin embargo este sistema también tiene varias desventajas. Aunque la inyección directa solventa el problema del pre-encendido en el conducto de admisión, no necesariamente previene el efecto del pre-encendido en la cámara de combustión. Además, debido al reducido tiempo de mezcla del aire y del combustible en un motor de inyección directa, la mezcla aire/combustible puede no ser del todo homogénea. También hay estudios que aseguran que este tipo de sistema de inyección produce muchas más emisiones de gases NO_x que los sistemas de inyección indirecta.

2.3.13.2 Inyectores

A continuación vamos a hablar sobre los *inyectores*, que es un elemento que compone el sistema de inyección de combustible cuya función es introducir una determinada cantidad de combustible en la cámara de combustión en forma pulverizada, distribuyéndolo lo más homogéneamente posible dentro del aire contenido en la cámara. Es uno de los elementos más importantes de nuestro vehículo y como sabemos tendremos que adquirir inyectores que sean específicos para el uso de hidrógeno. Hay varias empresas que se dedican a la fabricación de este tipo de tecnología. Una de esas empresas es *Quantum Fuel Systems Technologies Worldwide* empresa norteamericana cuya sede está en Lake Forest, California.

A continuación en la figura 18 mostramos una tabla e imágenes correspondientes a un tipo de inyector de hidrógeno (inyección indirecta de combustible) de la empresa *Quantum Fuel Systems Technologies*.

Description	Specifications
Length	80 mm
Diameter (max)	24.5mm (excl. connector)
Flow capacity (Static)	3.2g/s @ 345kPa (50psi) tested with air
Dynamic Flow Rate	8.5 mg/pulse @ 3.5 ms pulse width (air)
Working Pressure	345kPa (50psi)
Durability Hydrogen	150 million cycles
Durability CNG	500 million cycles
Pulse period (Frequency)	10 ms (100Hz)
Peak/Hold current levels	4/1 amps
Internal (Tip) Leakage	Max 0.50 SCCM Nitrogen @ 345 kPa
External Leakage	Max 0.05 SCCM Nitrogen @ 345 kPa



“Figura 18.”

Otra de las empresas que también se dedica a la fabricación de este tipo de inyectores es *HOERBIGER ValveTec GmbH*. “HOERBIGER ValveTec GmbH ha diseñado inyectores de alta presión para la inyección directa de hidrógeno en la combustión de cámara con presiones de hasta 300 bar, casi 4.500 psi” [7], en concreto estos inyectores han sido diseñados para el BMW Hydrogen 7.

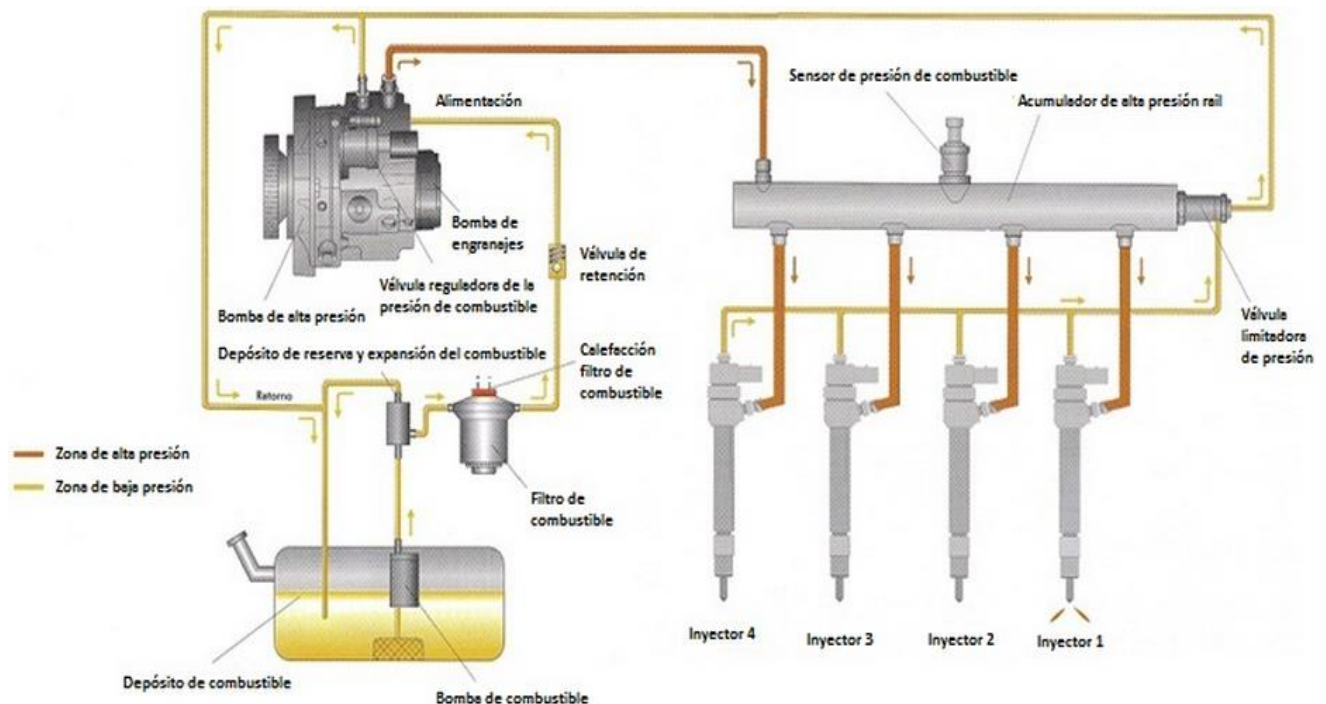
Alset Global fue formada en 2005, es una empresa dedicada a dar soluciones de movilidad limpia basadas en el hidrógeno. Alset Global ha desarrollado un sistema único y patentado híbrido de hidrógeno para su utilización en vehículos, para funcionar con gasolina pura o hidrógeno puro o una mezcla de ambos. Por lo tanto esta empresa se encarga de fabricar los componentes más importantes del sistema de hidrógeno del automóvil (depósito, centralita, inyectores...) [8].

2.3.13.3 Sistema electrónico y acumulador

Por último hablaremos tanto del sistema electrónico como del acumulador. No es algo en lo que vayamos a profundizar debido a que la normativa prácticamente no hace referencia ni a uno ni a otro.

- ACUMULADOR

Para saber qué es un acumulador y cómo funciona hemos decidido mostrar una imagen de un sistema common rail de un motor diésel.



“Figura 19.”

Este sistema mostrado en la anterior imagen no tiene nada que ver con nuestro sistema de hidrógeno, sin embargo la función de la parte del acumulador es similar.

En nuestro sistema de hidrógeno el acumulador se encargará de almacenar el gas hidrógeno a una presión de unos 3 bares (nada que ver con un sistema de alta presión common rail, que almacena el diésel a una presión muy superior) con el objetivo de que a los inyectores llegue el gas con una presión suficiente para poder introducir el hidrógeno en el colector de admisión de manera correcta. El acumulador de nuestro sistema irá colocado después del segundo regulador de presión (el cual se encarga de disminuir la presión de 10 a 3 bares). A continuación irán colocados los 4 inyectores como vemos en la imagen anterior.

- SISTEMA ELECTRÓNICO

Esta parte quizás sea la más complicada de explicar debido a la cantidad de electrónica que los automóviles poseen hoy en día, por ello lo vamos a intentar resumir de la mejor forma posible.

Al añadir un combustible nuevo para utilizar como fuente de energía en nuestro motor habrá muchos parámetros que tendrán que variar en el funcionamiento de éste según estemos utilizando gasolina o hidrógeno. A su vez todas las electroválvulas, sensores, válvulas anti-retorno... que hemos añadido al automóvil funcionan o responden a señales eléctricas, por lo tanto de algún lado habrá que mandarles las señales correspondientes para que actúen de manera correcta.

Para ello deberemos colocar unidades de control electrónico en nuestro automóvil. Su función es la siguiente [9]:

Una centralita electrónica, también conocida como unidad de control electrónico o ECU (del inglés electronic control unit), es un dispositivo electrónico normalmente conectado a una serie de sensores que le proporcionan información y actuadores que ejecutan sus comandos. Una centralita electrónica cuenta con software cuya lógica le permite tomar decisiones (operar los actuadores) según la información del entorno proporcionada por los sensores. Principalmente la centralita que coloquemos se encargará de crear los mapas de adelanto al encendido (AE) y de tiempo de inyección.

Por lo tanto necesitaremos que una E.C.U. regule tanto el funcionamiento del motor como el funcionamiento del sistema de hidrógeno (apertura y cierre de electroválvulas). En el mercado podemos encontrar diferentes unidades electrónicas, una de las más comunes es la mostrada en la figura 20:



“Figura 20.”

3. LEGALIZACIÓN DE LAS REFORMAS DE NUESTRO VEHÍCULO

Ésta es la última parte de nuestro trabajo de fin de grado. Después de estudiar todos los cambios y modificaciones que tendríamos que realizar en nuestro vehículo llega la hora de certificar su legalidad. Para ello deberemos seguir una serie de pasos que mostramos y explicamos a continuación.

3.1. INTRODUCCIÓN

El 15 de enero del 2011 entró en vigor el nuevo Real Decreto que regula la tramitación de las reformas de vehículos y deroga al Real Decreto 736/1988 por el que se regulaban la tramitación de las reformas de importancia de vehículos de carretera y se modificaba el artículo 252 del Código de la Circulación que se venía aplicando hasta el momento. Este nuevo reglamento supone un cambio drástico en la tramitación de todo el procedimiento.

En particular, el citado Real Decreto 736/1988 permitía las reformas en los vehículos antes de su matriculación, mientras que la Directiva 2007/46/CE, de 5 de septiembre, no lo permite, ofreciendo, para estos casos, un procedimiento alternativo como es la homologación individual de vehículos. Además la evolución de la técnica y la experiencia resultante de la aplicación del Real Decreto 736/1988, de 8 de julio, en el largo tiempo transcurrido desde su entrada en vigor, hicieron conveniente dar una nueva regulación a la tramitación de las reformas de vehículos.

Una vez publicada y transpuesta la Directiva marco 2007/46/CE, y con la prohibición expresa que se hace en esta Directiva de la posibilidad de realizar reformas a vehículos sin matricular, fue necesaria la publicación del Real Decreto 866/2010, que además cambia y actualiza la forma de llamar a esas transformaciones de los vehículos eliminando la palabra de importancia, y denominándola Reformas en Vehículos y contemplando todas y cada una de las categorías de los mismos para hacer cumplir los actos reglamentarios de cada uno de ellos y poder legalizar la transformación.

Por tanto a partir de ahora se debe diferenciar los trabajos realizados para completar un vehículo, antes y después de su matriculación. Desde la entrada en vigor de este nuevo Real Decreto, sólo se considerará reforma, a los trabajos realizados en el vehículo una vez matriculado, y es por ello, que en estos casos se tengan que aplicar las disposiciones recogidas en el Real Decreto 866/2010. En cambio, aquellos trabajos que se realicen en el vehículo no matriculado, estarán dentro del marco de las homologaciones [10].

3.2. ¿QUÉ ES UNA REFORMA?

Debido a que estamos continuamente hablando sobre las reformas vamos a mostrar su definición a continuación, de hecho vamos a comparar la definición de reforma según el antiguo real decreto (REAL DECRETO 736/1988) y el nuevo real decreto (REAL DECRETO 866/2010):

Según el **Real Decreto 736/1988** tenemos la siguiente definición (obviamente ésta ya no se encuentra en vigor debido a la derogación del Real Decreto):

- *Reforma de importancia individualizada*: Es toda modificación o sustitución efectuada en un vehículo, *previa o no a su matriculación*, y que, no estando incluida en su homologación de tipo, o bien cambia alguna de las características indicadas en la tarjeta I.T.V. del mismo, o es susceptible de alterar las características fundamentales y/o las condiciones de seguridad reglamentariamente definidas [10].

Según el **Real Decreto 866/2010** tenemos la siguiente definición, la cual se encuentra en vigor hoy en día:

- *Reforma de vehículo*: toda modificación, sustitución, actuación, incorporación o supresión efectuada en un vehículo *después de su matriculación* y en remolques ligeros después de ser autorizados para circular, que modifiquen alguna de las características del mismo o alguno de los requisitos reglamentarios de aplicación. También se considera reforma de vehículo aquellas modificaciones que impliquen cambiar la ficha de ITV del vehículo [10].

Desde la entrada en vigor del nuevo Real Decreto, se debe considerar que cualquier trabajo realizado en el vehículo una vez haya sido matriculado, se tramitará como una reforma en el mismo y deberá aplicarse los procedimientos recogidos en dicho real decreto.

Además del cambio primordial del antes después matriculación en vehículo y puesta en circulación en remolques ligeros (vehículos que no se matriculan), se incorporan muchas más acciones en la propia definición que determinan las reformas.

Aquí vemos por lo tanto una de las modificaciones que nos realiza el nuevo Real Decreto en vigor respecto al antiguo y es la propia definición de reforma. Por lo tanto cuando hablamos de homologaciones nos referimos a los cambios realizados en el vehículo antes de su matriculación, y nos referimos a reforma cuando hablamos de cambios realizados en el vehículo después de su matriculación.

3.3. CÓMO REALIZAR LAS REFORMAS DE NUESTRO VEHÍCULO (MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS)

Las reformas realizadas en el vehículo pueden ser una o varias y cada una necesita de su documentación específica. Sin embargo, bien sea una reforma o varias, solo es necesario presentar una vez la documentación donde se recojan todas las reformas. Con esto se logran abaratar costes. Cada reforma se registra individualmente, por lo que aquellas reformas que no se soliciten, no figurarán en la ficha técnica y a todos los efectos no existen. Una vez registrada la reforma, el vehículo está listo para circular y no tendrá nunca más que acudir a ITV por esa reforma. Si por las revisiones periódicas [11].

El Real Decreto 866/2010, tal y como se ha mencionado, establece las bases generales para la tramitación de las reformas de vehículos. Pero para determinar de una manera más concreta e indicar los requisitos técnicos a cumplir, se crea el *Manual de Reformas de Vehículos* y como parte inseparable de él. El Manual establece los criterios, los procedimientos y los requisitos necesarios para que un vehículo cumpla correctamente con la tramitación de las reformas que se deseen realizar, teniendo en cuenta siempre las bases establecidas en el Real Decreto [10].

A continuación la definición recogida en el Real Decreto 866/2010 de Manual de Reformas de vehículos:

- *Manual de Reformas de vehículos*: “Documento elaborado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en colaboración con los órganos competentes en materia de ITV de las Comunidades Autónomas, que establece las descripciones de las reformas tipificadas, su codificación y la documentación precisa para su tramitación. Este Manual estará disponible para consulta de los solicitantes de una reforma en todas las Estaciones de ITV. El Manual será actualizado cuando se modifique la tipificación de las reformas o los criterios reglamentarios en materia de vehículos [10].

Por tanto, este manual se debe seguir estrictamente a la hora de legalizar una reforma de vehículo ya que determina todos los requisitos y la documentación necesaria en cada caso.

El Manual fue elaborado por el Ministerio de Industria, actualmente el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, y es un documento sometido a constantes cambios y actualizaciones, estando previsto realizar distintas revisiones a lo largo del tiempo.

Actualmente el Manual se encuentra en su Revisión 1ª de marzo de 2012, y ya se encuentra elaborándose una nueva actualización que verá la luz en el año 2014 [10].

3.3.1. Estructura del manual de reformas

El Manual está dividido en cuatro secciones por la categoría al que pertenece el vehículo al que se le va a aplicar la reforma [10]:

- Sección I. Vehículos de las categorías M, N y O.
- Sección II. Vehículos de las categorías L, Quads y UTV.
- Sección III. Vehículos agrícolas.
- Sección IV. Vehículos de obras y/o servicios.

En nuestro caso el vehículo en cuestión es de la categoría M, por lo tanto deberemos fijarnos en la sección 1 del manual.

Cada una de estas cuatro secciones está dividida en once grupos según la parte del vehículo implicada en la reforma. A continuación en la tabla 5 se detallan cada uno de estos grupos:

SECCIÓN I: VEHÍCULOS DE LAS CATEGORÍAS M, N Y O	
Grupos	Modificaciones que afectan a:
1	Identificación del vehículo
2	Configuración de la Unidad Motriz
3	Sistema de Transmisión
4	Configuración de ejes y ruedas
5	Sistema de Suspensión del vehículo
6	Sistemas de Dirección del vehículo
7	Sistema de frenado del vehículo
8	Carrocería: acondicionamiento interior, exterior y otras especificaciones.
9	Dispositivos de alumbrado y señalización
10	Los dispositivos de acoplamiento en, tractores y remolques o semiremolques
11	Modificaciones de los datos que aparecen en la tarjeta de ITV

“Tabla 5.”

En nuestro caso las modificaciones que vamos a realizar en nuestro vehículo de la categoría M afectarían a los puntos 2, 8, 11.

Cada uno de estos grupos están a su vez divididos en Códigos de Reforma (CR), los cuales identifican de manera detallada las modificaciones viables a realizar sobre el vehículo, tal y como se detalla a continuación en la tabla 6:

SECCIÓN I: VEHÍCULOS CATEGORÍAS M, N y O	
GRUPO 1. IDENTIFICACIÓN: Modificaciones que afecten a la identificación del vehículo	
1.1	Sustitución total o parcial del bastidor o de la estructura autoportante, cuando la parte sustituida sea la que lleva grabado el número de identificación del vehículo.
1.2	Retroquelado por ausencia, deterioro, desaparición o modificación.
1.3	Cambio de emplazamiento de la placa de matrícula.
GRUPO 5. SUSPENSIÓN: Modificaciones que afecten a la suspensión del vehículos	
5.1	Modificación de las características del sistema de suspensión o de algunos de sus componentes elásticos

“Tabla 6.”

Si nos fijamos a modo de ejemplo, podemos ver que para el grupo 1, clasificado como identificación del vehículo existen 3 tipos de reformas posibles, codificadas con el nº de reforma: 1.1, 1.2 y 1.3. (Código de reforma)

El Manual establece para cada uno de estos grupos un nº determinado de reformas que deben tramitarse según se establece en el mismo.

Para cada uno de los códigos de reforma (CR) el Manual tiene planteado, a través de una serie de fichas descriptivas, el conjunto de requisitos así como la documentación necesaria para poder autorizar de una forma correcta la reforma planteada.

Por lo tanto como podemos observar la documentación necesaria a entregar dependerá del código de reforma correspondiente, ya que no todos los códigos de reforma nos exigen entregar la misma documentación. Para nuestro caso en concreto y para cualquier otro caso deberemos estudiar qué códigos de reforma van a afectar a nuestro automóvil y a partir de ahí estudiar la ficha de cada uno de ellos.

A continuación en la figura 21 mostramos una ficha descriptiva como ejemplo para ver cómo están constituidas:

MANUAL DE REFORMAS EN VEHÍCULOS III.- VEHÍCULOS AGRICOLAS Grupo N° 1. Identificación (1.2)														
DESCRIPCIÓN: Modificaciones que afecten a la identificación del vehículo														
1.2.- Retroquelado por ausencia, deterioro, desaparición o modificación														
CAMPO DE APLICACIÓN														
Categorías														
T1	T2	T3	T4	T5.1	T5.2	MTC	MAA	MA2	MA3	TCA	RA	MAR		
SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
ACTOS REGLAMENTARIOS														
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a												
		T1	T2	T3	T4	T5.1	T5.2	MTC	MAA	MA2	MA3	TCA	RA	MAR
Placas reglamentarias	89/173/CEE (V)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	(2)	(2)	(2)
Placas reglamentarias	76/114/CEE	-	-	-	-	-	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Ver Apartado 4 del preámbulo.														
DOCUMENTACIÓN NECESARIA														
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad		Certificado del Taller		Documentación adicional								
NO	NO	NO		SI		SI								

Ficha que recoge los requisitos para la reforma CR-1.2 de la sección III: VEHÍCULOS AGRICOLAS

“Figura 21.”

Cada una de las fichas está dividida y estructurada en una serie de APARTADOS que se describen a continuación [10]:

1. **Grupo:** Determina el tipo de reforma del vehículo según la materia afectada (Recordar: Grupo 1. Identificación; Grupo 2. Unidad Motriz, Grupo 3. Transmisión, etc.) y se encuentran enumerados mediante CR.

MANUAL DE REFORMAS EN VEHÍCULOS I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O Grupo N° 1. Identificación (1.2)

“Figura 22.”

2. **Descripción:** se detallan y concretan las transformaciones que se realizan en el vehículo (deben coincidir con el grupo afectado). Se identificaran con CR.

DESCRIPCIÓN: Modificaciones sobre la configuración de la unidad motriz del vehículo
2.2.- Modificación de las características o sustitución de los elementos del sistema de admisión de combustible

“Figura 23.”

3. **Campo de aplicación:** Se indica por categoría de vehículos en la que puede o no realizarse dicha reforma (SI/NO). En el ejemplo siguiente se ve que la reforma se puede aplicar a todas las categorías vehículos definidas.

CAMPO DE APLICACIÓN												
Categorías												
T1	T2	T3	T4	T5.1	T5.2	MTC	MAA	MA2	MA3	TCA	RA	MAR
SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

“Figura 24.”

4. **Actos reglamentarios (AR):** Es una tabla de la reglamentación aplicable (acto reglamentario: AR: Directivas Europeas) para cada una de las reformas CR previstas, teniendo en cuenta su campo de aplicación y la categoría del vehículo. En la imagen se muestran los actos reglamentarios a justificar para la reforma 1.3 cambio de emplazamiento de matrícula.

ACTOS REGLAMENTARIOS											
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a:									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Emplazamiento de la placa de matrícula posterior	70/222/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Salientes exteriores	74/483/CEE	(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	76/756/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Salientes exteriores de las cabinas	92/114/CEE	-	-	-	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-
Ver Apartado 4 del preámbulo.											

“Figura 25.”

La reglamentación aplicable para cada uno de los casos se recoge en la columna 3 o requisitos alternativos de la columna 4 del Anexo I del Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio. Para poder entender esta tabla es importante tener en cuenta los siguientes criterios de aplicación:

(1)	Solo aplica en la última actualización de la normativa en vigor en ese momento. La fecha a tener en cuenta es la fecha de tramitación de la reforma.
(2)	Se aplica en la actualización en vigor en la fecha de la primera matriculación del vehículo, si la homologación del mismo exige el AR incluido en la tabla. En caso que el AR no fuera exigido para la homologación del vehículo en la fecha de su primera matriculación, se deberá aplicar al menos el AR en la primera versión incluida en el Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio, como obligatoria (A).
(-)	La reglamentación específica no es aplicable.
(X)	Indica que no se puede realizar la reforma para esta categoría de vehículo

“Figura 26.”

5. **Documentación exigible:** En este apartado se relaciona la documentación necesaria para la tramitación de la reforma:

Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	sí	sí	NO

“Figura 27.”

Presentar toda la documentación definida en la ficha correspondiente a esa reforma es un requisito imprescindible para el inicio de la tramitación de la reforma. En caso de presentar toda la documentación requerida dicho expediente quedará formalmente en fase de solicitud de autorización, por el contrario si en dicha solicitud no se completa toda la documentación dicho expediente quedará paralizado hasta la que no se complete y no se podrá solicitar la legalización de la reforma en ninguna otra estación ITV.

Como podemos ver la documentación completa a entregar es la siguiente (Como sabemos dependerá del CR, pero vamos a explicar cada una de ellas):

- *Proyecto técnico*: Conjunto de documentos, redactado por técnico competente, que tiene por objeto la definición y la valoración de las características de un producto, obra o instalación, que se requieren en función de su fin o destino [12].
- *Certificación final de obra*: El acto por el que en forma de documento se da la conformidad por parte de un técnico de las obras y/o instalaciones realizadas según proyecto [12].
- *Informe de conformidad*: Básicamente este documento nos dice si nuestro vehículo es apto para ser sometido a ciertas reformas. Este informe lo emite un laboratorio de automoción que realiza ensayos sobre la pieza para demostrar que es segura, funciona correctamente y está bien instalada. Habitualmente estos ensayos se guardan en una base de datos y no hace falta repetirlos en todos los coches. Sin embargo el laboratorio justifica que dicha reforma ha sido probada en las circunstancias pertinentes. La ITV no requiere estos documentos en todas las reformas. Hay reformas que solo requieren Certificado de instalación e Informe de conformidad. Si la transformación de un vehículo implica distintas reformas, el emisor del informe deberá identificarlas mediante los códigos de reformas asignados en este Manual. [13].
- *Certificado del taller*: El documento que acredita la ejecución de una determinada actuación de un taller sobre un vehículo determinado. Debe especificar en el apartado de Observaciones la identificación de los equipos o sistemas modificados, garantizando que se cumple lo previsto en el artículo 6 del Reglamento General de vehículos y, en su caso, en el artículo 5 del Real Decreto 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regula la actividad industrial en talleres de vehículos automóviles, de equipos y sus componentes, modificado por 455/2010, de 16 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regulan la actividad industrial y la prestación de servicios en los talleres de reparación de vehículos automóviles, de sus equipos y componentes. Cualquier equipo o sistema modificado, sustituido o incorporado, debe ser identificado en el informe de conformidad, en el proyecto técnico y en el certificado del taller. [12].
- *Documentación adicional*: Indica la documentación necesaria para completar la información sobre la reforma realizada en el vehículo.

6. Conjunto funcional:

CONJUNTO FUNCIONAL
El titular del vehículo o la persona por él autorizada aportará: - Copia de la Resolución de la Autoridad de homologación. - Informe según Anexo II.

“Figura 28.”

7. **Inspección específica. Puntos verificar***: Este apartado hace mención a los puntos que la estación ITV debe verificar durante la inspección del vehículo. Se indica también la correspondencia con los capítulos del Manual de Procedimientos de Inspección de las Estaciones ITV.

INSPECCIÓN ESPECÍFICA. PUNTOS A VERIFICAR SEGÚN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES ITV (SECCIÓN I)
Capítulo 5. - Emisiones Capítulo 9. - Motor y Transmisión

“Figura 29.”

* Independientemente de si se indica o no en TODOS los casos será obligatorio la identificación del vehículo según capítulo 1 de dicho Manual. Asimismo será necesario medir y/o pesar cuando la transformación afecte a la tara o dimensiones máximas del vehículo. Será responsabilidad del titular presentar el vehículo a inspección en las condiciones que permitan el correcto tarado del mismo.

8. **Normalización de la anotación de la Reforma de la Tarjeta ITV**: Este apartado se completa con la anotación tipo para cumplimentar las tarjetas ITV tras la legalización de la reforma.

NORMALIZACIÓN DE LA ANOTACIÓN DE LA REFORMA EN LA TARJETA ITV
___/___/___ Incorpora/modifica sistema de alimentación del combustible
(Firma y sello)
ITV Nº NNNN

“Figura 30.”

9. **Información adicional:** Coincide con el cierre de la ficha, y es el lugar donde se determinan aquellas aclaraciones o requisitos adicionales en cada una de las reformas establecidas, o incluso un listado no exhaustivo de los vehículos y las transformaciones objetos del CR específico.

INFORMACIÓN ADICIONAL
<p>El campo de aplicación de diesel ligeros o pesados será el establecido en la homologación de tipo del vehículo.</p> <p>La Directiva 70/221/CEE será aplicable únicamente en las sustituciones de/los depósito/s de carburante líquido y/o adición de depósito/s auxiliar/es. También exigible a los depósitos de combustibles de los remolques.</p> <p>La Directiva de compatibilidad electromagnética no se aplicará en caso de que sólo se efectúe la reprogramación de la centralita.</p> <p>Si esta reforma supone modificación de la potencia máxima, se tramitará además la reforma 2.9.</p>

“Figura 31.”

3.4. CÓDIGOS DE REFORMA QUE AFECTAN A NUESTRO VEHÍCULO

Después de todas las explicaciones dadas anteriormente vamos a intentar mostrar los códigos de reforma que afectarán a nuestro automóvil después de realizar las reformas.

Como hemos dicho anteriormente de los 11 grupos en los cuales se pueden dividir las reformas solo deberemos tener en cuenta 3 de ellos. Estos tres grupos son la unidad motriz, la carrocería y la modificación de los datos que aparecen en la tarjeta ITV.

3.4.1 Unidad motriz

A continuación mostramos todas las modificaciones posibles a realizar en la unidad motriz de nuestro vehículo.

Modificaciones sobre la configuración de la unidad motriz del vehículo:

- 2.1 Modificación de las características o sustitución de los elementos del sistema de admisión de comburente.
 - 2.2 Modificación de las características o sustitución de los elementos del sistema de admisión de combustible.
 - 2.3 Modificación o sustitución de la unidad motriz por otra de distintas características.
 - 2.4 Adición o desinstalación de una/s unidad/es motriz/ces para la tracción del vehículo.
 - 2.5 Cambio de emplazamiento de la unidad motriz.
 - 2.6 Modificación o sustitución de las características del sistema de escape: disposición, volumen total, silenciadores, catalizador, tramo de salida.
 - 2.7 Modificación de la ubicación, sustitución, adición o reducción del número de depósitos de combustible.
 - 2.8 Modificación del sistema de accionamiento del mando para la aceleración, así como de la ubicación, sustitución, adición o desinstalación del mismo.
 - 2.9 Modificación de sistemas o de la programación de los mismos que puedan variar la potencia máxima.
 - 2.10 Modificación del sistema de accionamiento para el arranque de la unidad motriz.
- En nuestro caso los códigos de reforma afectados son el 2.2, 2.3 y 2.7.

Ficha técnica del código de reforma 2.2:

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo N° 2. Unidad Motriz
(2.2)

DESCRIPCIÓN: Modificaciones sobre la configuración de la unidad motriz del vehículo

2.2.- Modificación de las características o sustitución de los elementos del sistema de alimentación de combustible

CAMPO DE APLICACIÓN

Categorías :

M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO

ACTOS REGLAMENTARIOS

Sistema afectado	Referencia Acto Reglamentario	Aplicable a:									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Nivel sonoro admisible	70/167/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emisiones	70/220/CEE	(2)	(2)	-	(2)	(2)	-	x	x	x	x
Emisiones (Euro 5 y 6), vehículos ligeros/acceso a la información	Reglamento (CE) N° 715/2007	(2)	(2)	-	(2)	(2)	-	x	x	x	x
Depósitos de combustible	70/221/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	x	x	x	x
Frenado	71/320/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/246/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emisiones diesel	88/77/CEE	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emisiones (Euro 4 y 5) vehículos pesados	Reglamento (CE) N° 595/2009E	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Masas y dimensiones (automóviles)	80/21/CEE	(1)	-	-	-	-	-	x	x	x	x
Masas y dimensiones (resto vehículos)	87/27/CE	-	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	x	x	x	x
Vehículos eléctricos a batería	Reglamento CEPE/ONU 100R	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	x	x	x	x
Equipos especiales para GLP	Reglamento CEPE/ONU 67R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Equipos especiales para GNC	Reglamento CEPE/ONU 110R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Sistemas especiales de adaptación al GLP o GNC	Reglamento CEPE/ONU 116R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x

Ver Apartado 4 del preámbulo.



MINISTERIO DE INDUSTRIA,
ENERGIA Y TURISMO

REVISIÓN: – (Corrección 1)

Fecha: Abril 2011

SECCIÓN: I
GRUPO: 2 (2.2)
Unidad Motriz
Página 1 de 3

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo N° 2. Unidad Motriz
(2.2)

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	SÍ	SÍ	NO

- Informe de conformidad
- Certificado del Taller

CONJUNTO FUNCIONAL
<p>El titular del vehículo o la persona por él autorizada aportará:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Copia de la Resolución de la Autoridad de homologación. - Informe según Anexo II. - Certificado del taller según Anexo III.

INSPECCIÓN ESPECÍFICA.
PUNTOS A VERIFICAR SEGÚN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES ITV (SECCIÓN I)
<p>Capítulo 5. - Emisiones Capítulo 9. - Motor y Transmisión</p>

NORMALIZACIÓN DE LA ANOTACIÓN DE LA REFORMA EN LA TARJETA ITV
<p>___/___/___ Incorpora/modifica sistema de alimentación del combustible</p> <p align="center">(Firma y sello)</p> <p align="center">ITV N° NNNN</p>

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo N° 2. Unidad Motriz
(2.2)

INFORMACIÓN ADICIONAL
<p>El campo de aplicación de diesel ligeros o pesados será el establecido en la homologación de tipo del vehículo.</p> <p>La Directiva de compatibilidad electromagnética no se aplicará en caso de que sólo se efectúe la reprogramación de la centralita.</p> <p>Si esta reforma supone modificación de la potencia máxima, se tramitará además la reforma 2.9.</p> <p>Los componentes instalados que se encuentren homologados por el Reglamento 67 ó 110, deberán cumplir con la Directiva de compatibilidad electromagnética al nivel indicado en dicho Reglamento, no el que marca el Real Decreto 2028/1986.</p>

“Figura 32.”

Ficha técnica del código de reforma 2.3:

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo N° 2. Unidad Motriz
(2.3)

DESCRIPCIÓN: Modificaciones sobre la configuración de la unidad motriz del vehículo

2.3.- Modificación o sustitución de la unidad motriz por otra de distintas características

CAMPO DE APLICACIÓN

Categorías :

M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO

ACTOS REGLAMENTARIOS

Sistema afectado	Referencia Acto Reglamentario	Aplicable a:									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Nivel sonoro admisible	70/167/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emissiones	70/220/CEE	(2)	(2)	-	(2)	(2)	-	x	x	x	x
Emissiones (Euro 5 y 6), vehículos ligeros/acceso a la información	Reglamento (CE) N° 716/2007	(2)	(2)	-	(2)	(2)	-	x	x	x	x
Depósitos de combustible	70/221/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	x	x	x	x
Frenado	71/320/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/246/CEE	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emissiones (diesel)	88/77/CEE	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Emissiones (Euro 6) vehículos pesados	Reglamento (CE) N° 585/2009	-	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE	(1)	-	-	-	-	-	x	x	x	x
Masas y dimensiones (resto vehículos)	87/27/CE	-	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	x	x	x	x
Vehículos eléctricos a batería	Reglamento CEPE/ONU 100R	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	x	x	x	x
Equipos especiales para GLP	Reglamento CEPE/ONU 67R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Equipos especiales para GNC	Reglamento CEPE/ONU 110R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x
Sistemas especiales de adaptación al GLP o GNC	Reglamento CEPE/ONU 116R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	x	x	x	x

Ver Apartado 4 del preámbulo.



MINISTERIO DE INDUSTRIA,
ENERGIA Y TURISMO

REVISIÓN: 1ª

Fecha: Marzo 2012

SECCIÓN: I
GRUPO: 2 (2.3)
Unidad Motriz
Página 1 de 3

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo Nº 2. Unidad Motriz
(2.3)

DOCUMENTACIÓN NECESARIA

Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	SÍ	SÍ	NO

- Informe de conformidad
- Certificado del Taller

CONJUNTO FUNCIONAL

El titular del vehículo o la persona por él autorizada aportará:

- Copia de la Resolución de la Autoridad de homologación.
- Informe según Anexo II.
- Certificado del taller según Anexo III.

INSPECCIÓN ESPECÍFICA.

PUNTOS A VERIFICAR SEGÚN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES ITV (SECCIÓN I)

Capítulo 5. - Emisiones
 Capítulo 6. - Frenos
 Capítulo 9. - Motor y Transmisión

NORMALIZACIÓN DE LA ANOTACIÓN DE LA REFORMA EN LA TARJETA ITV

___/___/___ Cambio o modificación de la unidad motriz:
 Marca: _____
 Tipo: _____
 Nº de cilindros/Cilindrada (cm³): _____
 Potencia fiscal/real (CVF/kW): _____
 Nueva tara (ESC): _____

(Firma y sello)

ITV Nº NNNN

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo Nº 2. Unidad Motriz
(2.3)

INFORMACIÓN ADICIONAL

El campo de aplicación de diesel ligeros o pesados será el establecido en la homologación de tipo del vehículo.
 La Directiva de compatibilidad electromagnética no se aplicará en caso de que sólo se efectúe la reprogramación de la centralita.
 Si esta reforma supone modificación de la potencia máxima, se tramitará además la reforma 2.9.
 Los componentes instalados que se encuentren homologados por el Reglamento 67 ó 110, deberán cumplir con la Directiva de compatibilidad electromagnética al nivel indicado en dicho Reglamento, no el que marca el Real Decreto 2028/1986.

“Figura 33.”

Ficha técnica del código de reforma 2.7:

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo Nº 2. Unidad Motriz
(2.7)

DESCRIPCIÓN: Modificaciones sobre la configuración de la unidad motriz del vehículo

2.7.- Modificación de la ubicación, sustitución, adición o reducción del número de depósitos de combustible

CAMPO DE APLICACIÓN

Categorías

M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ACTOS REGLAMENTARIOS

Sistema afectado	Referencia	Aplicable a									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Depósito de combustible	70/221/CEE	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Masas y dimensiones	82/21/CEE	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Masas y dimensiones (resto vehículos)	87/27/CE	-	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Equipos especiales para GNC	Reglamento CEPE/ONU 110R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-
Equipos especiales para GLP	Reglamento CEPE/ONU 87R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-
Sistemas especiales de adaptación al GLP o GNC	Reglamento CEPE/ONU 116R	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	-	-	-	-
Protecciones laterales	88/287 CEE	-	-	-	-	(2)	(2)	-	-	(2)	(2)

Ver Apartado 4 del preámbulo.

DOCUMENTACIÓN NECESARIA

Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	SI	SI	NO

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo N° 2. Unidad Motriz
(2.7)

- Informe de conformidad
- Certificado del Taller

CONJUNTO FUNCIONAL

El titular del vehículo o la persona por él autorizada aportará:

- Copia de la Resolución de la Autoridad de homologación.
- Informe según Anexo II.
- Certificado del taller según Anexo III.

INSPECCIÓN ESPECÍFICA.

PUNTOS A VERIFICAR SEGÚN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES ITV (SECCIÓN I)

Capítulo 2. - Acondicionamiento exterior, carrocería y chasis
 Capítulo 9. - Motor y Transmisión

NORMALIZACIÓN DE LA ANOTACIÓN DE LA REFORMA EN LA TARJETA ITV

$\frac{/}{/}$ Modificación configuración depósitos combustible
 1 x _____ litros en _____ + 1 x _____ litros en _____ + _____ ...

(Firma y sello)

ITV N° NNNN

INFORMACIÓN ADICIONAL

En esta reforma se considerarán los casos en los que se altera la configuración inicial de los depósitos de combustible, por cambio de emplazamiento, sustitución por otro diferente, añadir o eliminar depósitos, adición de depósito(s) auxiliar(es), modificar los perifericos, conexiones o fijaciones al vehículo.

La Directiva 70/221/CEE será aplicable únicamente en las sustituciones de los depósito/s de carburante líquido y/o adición de depósito/s auxiliares.

Si esta reforma supone modificación de la potencia máxima, se tramitará además la reforma 2.9.

Los componentes instalados que se encuentren homologados por el Reglamento 67 ó 110, deberán cumplir con la Directiva de compatibilidad electromagnética al nivel indicado en dicho Reglamento, no el que marca el Real Decreto 2028/1986.

“Figura 34.”

Estas serían las tres fichas técnicas que acompañan a los tres códigos de reforma que afectan a nuestro vehículo después de realizar las reformas, en cada una de las fichas nos explica todos los aspectos relacionados con la documentación a entregar.

3.4.2. Carrocería

A continuación mostraremos las posibles reformas a realizar sobre el acondicionamiento interior teniendo en cuenta las características de nuestro vehículo.

Reformas que afecten al acondicionamiento interior de los vehículos.

Número de plazas o tipo de las mismas:

8.1 Reducción de plazas de asiento.

8.2 Aumento de plazas de asiento.

8.3 Sustitución de plazas de asiento por plazas de pie o modificación del número de plazas de pie.

8.4 Acondicionamiento de espacio para la instalación de sillas de ruedas.

Asientos, cinturones y sus anclajes.

8.10 Sustitución de asiento por otro distinto.

8.11 Cambio de algún cinturón de seguridad por otro de distinto tipo.

8.12 Instalación de cinturones de seguridad.

Acondicionamiento del espacio destinado a pasajeros y equipaje en vehículos M:

8.20 Instalación o desinstalación de elementos permanentes en la zona frontal del interior del habitáculo del vehículo.

8.21 Instalación o desinstalación de mamparas de separación entre asientos.

8.22 Modificación, instalación o desinstalación de elementos en la zona de equipaje, o en el espacio destinado a los pasajeros distinto a la zona frontal del habitáculo del vehículo.

No hemos mostrado todas las reformas de carrocería ya que la gran mayoría de ellas no vamos a aplicarlas sobre nuestro vehículo.

En nuestro caso el único código de reforma afectado es el 8.22, a continuación mostraremos su respectiva ficha técnica.

Ficha técnica del código de reforma 8.22:

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O Grupo N° 8. Carrocería (8.22)


DESCRIPCIÓN: Reformas que afecten al acondicionamiento interior de los vehículos
ACONDICIONAMIENTO INTERIOR Acondicionamiento del espacio destinado a pasajeros y equipaje en vehículos M 8.22.- Modificación, instalación o desinstalación de elementos en la zona de equipaje, o en el espacio destinado a los pasajeros distinto a la zona frontal del habitáculo del vehículo

CAMPO DE APLICACIÓN									
Categorías									
M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

ACTOS REGLAMENTARIOS											
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a									
		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/246/CEE	(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Acondicionamiento interior	74/80/CEE	(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Resistencia de los asientos	74/408/CEE	(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Anclajes de los cinturones de seguridad	78/116/CEE	(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cinturones de seguridad y sistemas de retención	77/641/CEE	(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Apoyacabezas	78/832/CEE	(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Masas y dimensiones (automóviles)	82/21/CEE	(2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ver Apartado 4 del preámbulo.											

DOCUMENTACIÓN NECESARIA				
Proyecto Técnico	Certificación final de obra	Informe de Conformidad	Certificado del Taller	Documentación adicional
NO	NO	SI	SI	NO

- Informe de conformidad
- Certificado del Taller

 MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO	REVISIÓN: 1* Fecha: Marzo 2012	SECCIÓN: I GRUPO: 8 (8.22) Carrocería Página 1 de 2
---	---	---

MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS
I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O
Grupo N° 8. Carrocería
(8.22)

CONJUNTO FUNCIONAL

El titular del vehículo o la persona por él autorizada aportará:

- Copia de la Resolución de la Autoridad de homologación.
- Informe según Anexo II.
- Certificado del taller según Anexo III.

INSPECCIÓN ESPECÍFICA.
PUNTOS A VERIFICAR SEGÚN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES ITV (SECCIÓN I)

Capítulo 2.- Acondicionamiento exterior, carrocería y chapa
 Capítulo 3.- Acondicionamiento interior

NORMALIZACIÓN DE LA ANOTACIÓN DE LA REFORMA EN LA TARJETA ITV

___/___/___ Instalación de _____ marca: _____ en la zona _____ del interior del vehículo
 (Firma y sello)
 ITV N° NNNN

INFORMACIÓN ADICIONAL

La reforma consistente en modificación o instalación de elementos en la zona de equipaje se aplicará cuando se sobrepase la altura de los respaldos de los asientos traseros.

Si la transformación afecta al campo de visión del retrovisor interior debe ser instalado el retrovisor exterior derecho.

Debe garantizarse el normal funcionamiento de los sistemas de airbag y pretensores del vehículo después de la transformación, o la modificación del mismo, indicándolo expresamente en el informe de conformidad. De esta exigencia se excluyen a los vehículos para uso por el ejército, protección civil, servicio de bomberos y para responsables del mantenimiento del orden público.

Esta reforma se aplica a transformaciones tales como: instalación de equipos o pantallas DVD en el techo o cabezales de los asientos del vehículo, equipos de sonido en maletero que superen la altura del respaldo de los asientos, entre otras.

 <p>MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGIA Y TURISMO</p>	<p>REVISIÓN: 1ª Fecha: Marzo 2012</p>	<p>SECCIÓN: I GRUPO: 8 (8.22) Carrocería Página 2 de 2</p>
--	--	--

“Figura 35.”

Por lo tanto, por lo visto hasta ahora vemos que la entidad encargada de legalizar todas las reformas aplicadas sobre nuestro vehículo es la ITV. Si acudimos a esta entidad con todos los documentos necesarios ellos simplemente nos revisarán tanto el vehículo como dichos documentos, y si nos dan el visto bueno se encargarán de modificar nuestra tarjeta de ITV añadiendo todas las reformas que hemos realizado sobre nuestro vehículo y certificando su legalidad. Por tanto lo más importante en estos casos es asegurarse de que todos los documentos están en regla antes de acudir a la ITV para no llevarnos ninguna sorpresa.

4. CONCLUSIONES

Para esta última sección vamos a intentar sacar nuestras propias conclusiones acerca del trabajo realizado.

A continuación vamos a hacer referencia a un artículo encontrado en internet el cual habla sobre el hidrógeno como vector energético [15]:

4.1 ENERGÍA PRIMARIA Y VECTORES ENERGÉTICOS

La energía primaria es toda aquella que se encuentra disponible en la Tierra sin necesidad de ser transformada. Los casos más habituales son el petróleo, el gas, el carbón y de manera general las energías renovables. En algunos casos para que esta energía pueda ser útil, debe ser transformada, por ejemplo el petróleo en gasolina, y las renovables en electricidad. El resultado de esta transformación es otra fuente energética que llamamos vector energético. Para obtener la energía primaria es necesario gastar una energía. Por ejemplo, para extraer petróleo, necesitamos energía. Pero esta energía que consumimos siempre debe ser inferior a la que obtenemos. Sino no estamos ante una energía primaria, sino ante un vector energético. Es por este motivo por el que el hidrógeno, a pesar de estar disponible en la naturaleza, no podemos considerarlo como una fuente de energía primaria. Necesitamos más energía para obtener 1kg de hidrógeno, de la que obtenemos de él, por tanto no representa una entrada de energía en el sistema.

Por tanto una posible solución es la utilización de las energías renovables para la obtención del H_2 . Imaginemos que, mediante aerogeneradores obtenemos la energía eléctrica necesaria para realizar la electrólisis y de esta manera obtener H_2 . Sería un proceso en el cual obviamente si el H_2 un vector energético estaríamos perdiendo energía (ya que la energía obtenida es inferior a la invertida), pero esa energía a su vez es obtenida del viento, y el viento como sabemos no se acaba (por lo menos de momento). Al igual se podría realizar el mismo proceso obteniendo la energía eléctrica mediante otros métodos renovables.

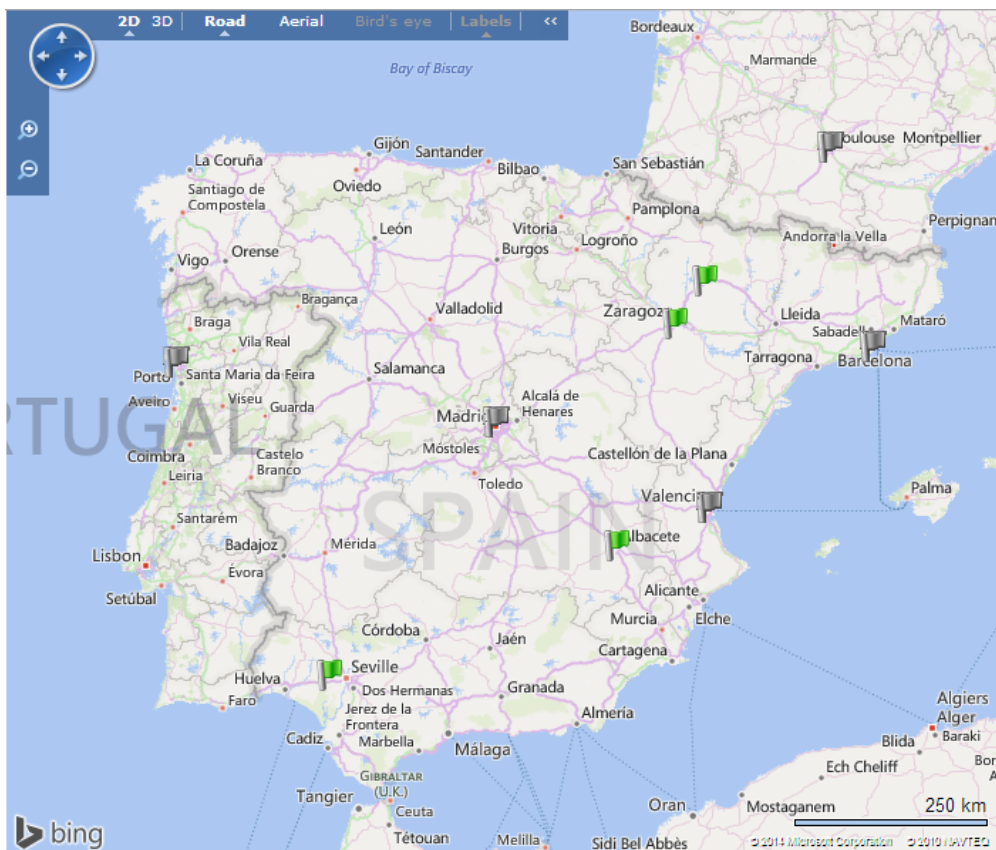
Por tanto todo depende de la orientación de las inversiones futuras tanto en el campo del uso del H_2 como combustible como en el uso de las energías renovables para su obtención.

4.2 MODIFICACIÓN DE UN VEHÍCULO PARA SU FUNCIONAMIENTO CON H_2

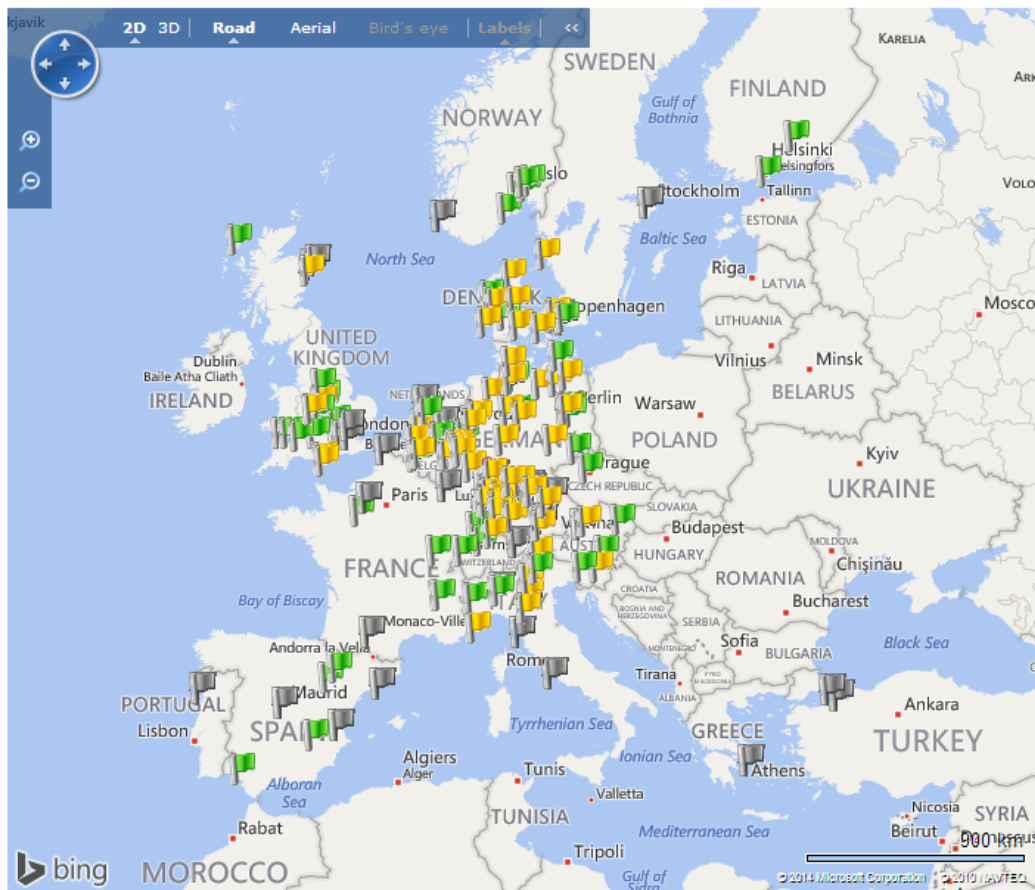
Para finalizar podría ser interesante sacar conclusiones acerca de si es o no factible realizarle todas las modificaciones explicadas anteriormente a un vehículo para su funcionamiento de manera bivalente mediante gasolina-hidrógeno en un motor de combustión interna.

Mi opinión respecto a esa cuestión es que no es factible hoy por hoy realizarle todas esas modificaciones a un vehículo por varios motivos:

- El primer motivo tiene que ver con el precio de las reformas. No nos sale para nada rentable realizarle todas esas reformas a un vehículo para su uso diario, ya solo comprando todos los elementos necesarios para instalarlos en el automóvil, precios de talleres que nos realizarían las reformas... Los precios se nos van de las manos.
- Otro motivo del que no hemos hablado en ningún momento y es interesante hacerlo son las hidrogeneras, aquellos lugares a los cuales deberíamos asistir para rellenar nuestro depósito de hidrógeno. A continuación mostramos dos mapas, uno Europeo y otro del territorio Español en el que se muestran las hidrogeneras existentes:



“Figura 35.”



Km Miles in operation planned out of operation © Copyright Ludwig-Bölkow-Systemtechnik

“Figura 36.”

Como podemos ver en los mapas, en España solo hay en funcionamiento 4 hidrogeneras. Por lo tanto, dependiendo en que zona vivamos no nos saldría rentable el hecho de rellenar nuestro depósito de hidrógeno.

Sin embargo en el centro de Europa en países como Alemania, Países Bajos, Dinamarca... vemos como existe un interés en la instalación de nuevas hidrogeneras, ello nos demuestra que sí que puede haber un futuro para ésta tecnología y que por lo menos, estas instalaciones van en aumento. Pienso que, en gran medida el hecho de que en un futuro se use o no el hidrógeno como combustible dependerá en gran medida de la manera que tengamos de obtener el combustible como tal.

5. REFERENCIAS

5.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [2]. "Reglamento (CE) Nº 79/2009 del parlamento europeo y del consejo de 14 de Enero de 2009 relativo a la homologación de vehículos impulsados por hidrógeno."
- [3]. "Hidrógeno, aplicaciones en motores de combustión interna", trabajo realizado por Marc Fabrega Ramos.
- [4]. "Reglamento (UE) Nº 406/2010 de la comisión de 26 de abril de 2010 por el que se aplica el Reglamento (CE) nº 79/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la homologación de los vehículos de motor impulsados por hidrógeno."
- [9]. "Wikipedia, centralita electrónica."
- [10]. "Art. 3 Real Decreto 866/2010 de tramitación de reformas de vehículos."
- [12]. "Curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos, aplicación práctica del manual de reformas de vehículos."
- [14]. "Información obtenida directamente del Manual de Reformas."

5.2 REFERENCIAS LINKOGRÁFICAS

- [1]. "<http://www.aficionadosalamecanica.net/motores-hidrogeno.htm>".
- [5]. "<http://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/ES/MS-02-230.pdf>. Características de los reguladores Swagelok®, información buscada en internet."
- [6]. "Normativa, pilas de combustible-hidrógeno, información encontrada en www.madridecocity.es."
- [7]. "<http://www.automotriz.net/cms/tecnica/motor-a-hidrogeno-de-bmw-mas-eficiente/>."

- [8]. “Información obtenida de Alset GmbH/Hydrogen mobility.”
- [11]. “Información obtenida en www.interfurgo.com.”
- [13]. “Información obtenida en www.itvhomologacion.com .”
- [15]. “ Información obtenida de <http://heliosyeolos.blogspot.com.es/>.”

5.3 BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- “Motores de combustión interna alternativos, José Carlos Urroz.” Libro de la asignatura Máquinas térmicas, 4º curso de grado de Ingeniería Mecánica (UPNA).
- “Electronic fuel injection techniques for hydrogen powered i.c. engines, C. A. MACCARLEY* and W. D. VANVORST.”
- “Sistemas de inyección electrónica, manual de BOSCH.”
- “Hydrogen use in internal combustion engines, college of the Desert, December 2001.”
- “High Pressure Hydrogen Tank Manufacturing Mark Leavitt Quantum Fuel Systems Technologies Worldwide, Inc., August 11, 2011 QUANTUM.”
- “Inyección de hidrógeno como potencial mejora de los motores actuales, Crístian Familiar Xaudaró.”
- “Adaptación de un motor de combustión interna para usar hidrógeno como combustible, Daniel Barilá, Matías Llansa, Maximiliano Bossolasco, William Hughes, Germán Soria, Pedro Kolodka, Alejandro Münnemann.”
- “Hydrogen Storage Cost Analysis, Preliminary Results, Brian D. James Strategic Analysis, Inc. 15 May 2012.”

5.4 LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. "Motor ideado por el reverendo W. Cecil, imagen obtenida del trabajo de Marc Fabregas Ramos acerca del hidrógeno y su aplicación en motores de combustión interna."
- Figura 2. " El esqueleto del Hindenburg tras el accidente, imagen obtenida del diario ABC."
- Figura 3."Comparación volúmenes cámara combustión y su contenido en energía para motores de gasolina e hidrógeno, imagen obtenida del trabajo de Marc Fabregas Ramos acerca del hidrógeno y su aplicación en motores de combustión interna."
- Figura 4."Imagen obtenida de la revista ciencia y tecnología."
- Figura 5."Cilindro de almacenamiento de hidrógeno tipo III, imagen obtenida del trabajo de Marc Fabregas Ramos acerca del hidrógeno y su aplicación en motores de combustión interna."
- Figura 6."Gráfica densidad/presión del gas hidrógeno, imagen obtenida del trabajo de Marc Fabregas Ramos acerca del hidrógeno y su aplicación en motores de combustión interna."
- Figura 7."Tanque de almacenamiento de hidrógeno en forma líquida, imagen obtenida de www.linde.com."
- Figura 8. "Sistema de hidrógeno de un Aston Martin de carreras diseñado por Alset Global, imagen obtenida de la página web de Alset GmbH."
- Figura 9. "Aston Martin de carreras de Alset Global, imagen obtenida de Alset GmbH."
- Figura 10. "Imagen obtenida del proyecto Hércules, parte correspondiente al sistema de almacenamiento de hidrógeno."
- Figura 11. "Sistema de almacenamiento de hidrógeno de QUANTUM, imagen obtenida en la página web de QUANTUM technologies."
- Figura 12."Imagen de un regulador de presión, obtenido de google images."

- Figura 13."Imagen de una válvula anti-retorno, obtenida de la página web de WITT gas."
- Figura 14."Imagen de una válvula de seguridad, obtenida de la página web de WITT gas."
- Figura 15."Conexión o receptáculo para el repostaje, imagen obtenida de Hydrogen Refuelling & Storage Infrastructure Information Resource for Highlands & Islands Enterprise."
- Figura 16."Imagen obtenida del proyecto hércules, parte correspondiente a la descripción de sistemas."
- Figura 17."Imagen obtenida de la página web Alset Global, nos muestra la inyección indirecta de hidrógeno en un motor de combustión interna."
- Figura 18."Imagen obtenida de la página web *Quantum Fuel Systems Technologies*, tipo de inyector y sus características."
- Figura 19."Imagen obtenida de la página web *www.tecnomovil.com*, imagen ilustrativa de un sistema common rail de un motor diésel de 4 cilindros."
- Figura 20. "Imagen obtenida de la página web *www.motec.com*, imagen de una ECU M400, una de las centralitas más comunes hoy en día."
- Figura 21."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 22."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 23."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 24."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).

- Figura 25."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 26."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 27."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 28."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 29."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 30."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 31."Imagen obtenida del curso sobre normativa y su aplicación para la reforma y completado de vehículos (R.D. 866/2010 Y MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS).
- Figura 32."Imagen obtenida del MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS."
- Figura 33."Imagen obtenida del MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS."
- Figura 34."Imagen obtenida del MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS."
- Figura 35."Imagen obtenida de *H₂stations.org*."
- Figura 36. "Imagen obtenida de *H₂stations.org*."

5.5 LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. "Tabla de comparación entre el almacenaje de energía del metano, el hidrógeno, la gasolina y una batería, imagen obtenida del trabajo de Marc Fabregas Ramos acerca del hidrógeno y su aplicación en motores de combustión interna."
- Tabla 2. "Tabla descriptiva de los diferentes tipos de botellas de almacenamiento de hidrógeno, imagen obtenida del trabajo de Marc Fabregas Ramos acerca del hidrógeno y su aplicación en motores de combustión interna."
- Tabla 3. "Tabla de procedimientos de ensayo aplicables a los depósitos de hidrógeno diseñados para el uso de hidrógeno comprimido, imagen obtenida del reglamento (CE) Nº 79/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO."
- Tabla 4. "Tabla acerca de los procedimientos de ensayo aplicables a los componentes de hidrógeno distintos de los depósitos, obtenida del reglamento (UE) Nº 79/2009 del parlamento europeo."
- Tabla 5. "Tabla acerca de las modificaciones que afectan a los vehículos de las categorías M, N y O."
- Tabla 6. "Tabla acerca de los tipos de reformas posibles para cada grupo a modo de ejemplo."