



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR  
“CENTRAL TÉCNICO”**

**NIVEL SUPERIOR**

**ESCUELA DE MECANICA AUTOMOTRIZ**

**PROYECTO DE GRADO**

Análisis teórico–descriptivo del funcionamiento del motor impulsado por hidrogeno, con sus aplicaciones en los vehículos: BMW Hydrogen 7, MAZDA RX 8 RE, HONDA FCX Clarity. El almacenamiento del hidrogeno y el estado que se utiliza para cada aplicación.

Previo a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica Automotriz

**ELABORADO POR:**

**CARLOS MIGUEL ESTACIO AVILA**

**TUTOR:**

**ING. LUIS MARTINEZ**

**QUITO, JUNIO 2009**

## EXTRACTO

Debido al aumento acelerado de gases contaminantes en la atmosfera producto de las emisiones emitidas por los motores de combustión, ya sean estos a gasolina o a diesel, a nivel mundial se está investigando otras posibilidades de movilidad usando combustibles alternativos que reduzcan las emisiones contaminantes pero que al mismo tiempo satisfagan la demanda energética mundial.

En esta línea está visiblemente desarrollada la tecnología del hidrogeno como combustible para la movilidad de los vehículos, el hidrogeno es denominado como combustible secundario, ya que si bien es cierto que es un elemento abundante e inagotable en el planeta se necesita de un combustible o energía primaria para obtenerlo, esto y el inconveniente del almacenamiento genera varios impedimentos tecnológicos para la puesta en marcha a nivel mundial de este combustible limpio.

El hidrogeno se utiliza como combustible en los vehículos de diferentes formas, ya sea quemándolo dentro de una cámara de combustión o haciéndolo reaccionar químicamente con el oxigeno para obtener directamente electricidad y con esto impulsar a los vehículos, con la utilización del hidrogeno se reduciría drásticamente la contaminación ya que el producto final de la combustión del hidrogeno es vapor de agua y una cantidad reducida de óxidos de nitrógeno, y el producto final de la reacción química del hidrogeno es solamente vapor de agua.

## EXTRACT

Due to the quick increase of polluting gases in the atmosphere product of the emissions emitted by the combustion motors, be already these to gasoline or diesel, in the world are investigating other possibilities of mobility using alternative fuels that reduce the polluting emissions but that at the same time they satisfy the world energy demand.

In this line it is visibly developed the technology of the hydrogen as fuel for the mobility of the vehicles, it hydrogen is denominated as secondary fuel, since although it is certain that it is an abundant and inexhaustible element in the planet and it is needed of a fuel or primary energy to obtain it, this and the inconvenience of the storage generates several technological impediments for the setting in march at world level of this clean fuel.

The hydrogen it is used as fuel in the vehicles in different ways, either burning it inside a combustion camera or making it react chemically with the oxygen to obtain electricity directly and with this to impel to the vehicles, with the use of the hydrogen would decrease drastically the contamination the final product of the combustion of the hydrogen it is vapor of water and a reduced quantity of nitrogen oxides, and the final product of the chemical reaction of the hydrogen it is only water vapor.

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.  
CARLOS MIGUEL ESTACIO ÁVILA como requerimiento parcial a la  
obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

---

04 Abril del 2009

REVISADO POR

---

Ing. Luis Martínez

Asesor de Proyecto

---

Ing. Luis Martínez

Director de Escuela

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico en especial a mis padres por apoyarme siempre,  
por los sabios consejos que me supieron dar en todo momento.

A mi familia por su comprensión y paciencia

**Carlos Miguel Estacio Avila**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis distinguidos maestros que han sabido entregar con paciencia sus vastos conocimientos.

A esta prestigiosa institución como es el Instituto Tecnológico Superior “Central Técnico” por las enseñanzas en él recibidas.

A mi familia, mis padres, hermanos que supieron apoyarme.

**Carlos Miguel Estacio Avila**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CAPITULO I

#### QUE ES EL HIDRÓGENO, EN QUE ESTADO SE ENCUENTRA EN LA NATURALEZA Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

1.1 El Hidrógeno.....	1
1.2 Nomenclatura.....	2
1.3 Historia.....	2
1.4 Abundancia.....	3
1.5 Aplicaciones.....	4
1.6 El hidrógeno como combustible.....	5
1.7 Obtención y producción.....	9
1.8 Peligros al manipular el hidrógeno.....	12

### CAPITULO II

#### LA NECESIDAD DE UTILIZAR EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

2.1 Disponibilidad del petróleo.....	15
2.2 Efectos en la salud causados por los gases contaminantes.....	15
2.3 Efectos en plantas y animales.....	18
2.4 Efectos en materiales y servicios.....	18
2.5 Fuentes contaminantes del aire.....	19
2.6 Contaminantes Primarios.....	20
2.7 Contaminantes Secundarios.....	21
2.8 Fuentes contaminantes relacionadas con el transporte.....	21
2.9 Datos referenciales de la contaminación producida por los motores.....	21
2.10 El primer motor de hidrógeno en el mundo.....	21

**CAPITULO III**  
**APLICACIONES DEL HIDRÓGENO EN LOS VEHÍCULOS Y SU**  
**FUNCIONAMIENTO**

3.1 Aplicaciones de hidrógeno como combustible en los vehículos...	31
3.1.1 Aplicación en los motores de combustión interna.....	31
3.1.1.1 Aplicación en el motor Wankel.....	31
3.1.1.2 Aplicación en el motor Otto.....	35
3.1.2 Aplicación en células de combustible.....	37

**CAPITULO IV**  
**APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN EL “BMW HYDROGEN 7”**

4.1 Bmw Hydrogen serie 7.....	43
-------------------------------	----

**CAPITULO V**  
**APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN EL MAZDA RX8 – RE**

5.1 Mazda RX8 – RE.....	63
5.1.1 El motor Renesis.....	70

**CAPITULO VI**  
**APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN EL HONDA FCX CLARITY**

6.1 Honda FCX Clarity.....	79
----------------------------	----

**CAPITULO VII**  
**VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL USO DEL HIDRÓGENO**

7.1 Opinión personal del autor.....	91
7.2 Ventajas de estos vehículos.....	93
7.3 Desventajas de estos vehículos.....	96

**CAPITULO VIII**  
**ENCUESTAS**



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Las principales fuentes de contaminación.....	19
Tabla 2: Comparación de las emisiones de los motores a gasolina y diesel.....	22

NO COPIAR

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Fig.1: Diferencia de las llamas entre los impulsores y los motores principales de las lanzaderas espaciales.....	8
Fig. 2: La catástrofe del <i>Hindenburg</i> .....	25
Fig. 3: Ciclo de la energía obtenida del agua.....	27
Fig. Nº 4: Generador de energía eólica.....	28
Fig. Nº 5: Vista de un motor tipo Wankel.....	32
Fig. Nº 6: Vista del motor de BMW serie 7 a gasolina.....	35
Fig. Nº 7: Esquema de la primera celda de hidrogeno.....	38
Fig. Nº 8: Esquema de la celda de hidrogeno.....	40
Fig. Nº 9: Vista de uno de los primeros buses a hidrogeno.....	41
Fig. Nº 10: Vista de la ubicación del motor de hidrogeno y el depósito de combustible.....	42
Fig. Nº 11: Vista del BMW serie 7 a hidrógeno.....	43
Fig. Nº 12: Vista de del funcionamiento del robot automático de repostaje.....	45
Fig. Nº 13: Vista de la tapa del depósito de combustible (hidrogeno)...	46
Fig. Nº 14: Vista esquemática del motor de BMW serie 7 a hidrogeno y su depósito de combustible.....	46
Fig. Nº 15: Vista del motor de BMW serie 7 a hidrogeno y su depósito de combustible presentada en el Museo Alemán.....	47
Fig. Nº 16: Vista del comando de cambio de combustible en el panel de control del vehículo.....	48
Fig. Nº 17: Vista del inyector de hidrogeno (azul) y del conducto de entrada de aire.....	54
Fig. Nº 18: Vista del ingreso del hidrogeno (azul) hacia el cilindro.....	55
Fig. Nº19: Vista de la ubicación del tanque criogénico en el BMW Hydrogen7.....	56
Fig. Nº 20: Vista de la ubicación del tanque criogénico.....	57
Fig. Nº 21: Vista del repostaje en el BMW Hydrogen 7.....	58
Fig. Nº 22: Vista del medidor de velocidad y el indicador del nivel de	

combustible.....	59
Fig. Nº 23: Vista del sistema de equilibrio Adaptive Drive.....	60
Fig. Nº 24: Vista de la ubicación de la célula de combustible en la parte posterior del vehículo.....	61
Fig. Nº 25: Vista de la estación de hidrogeno más grande del mundo.	62
Fig. Nº 26: Mazda RX-8 RE.....	63
Fig. Nº 27: Estación de repostaje para el Mazda RX-8 RE.....	65
Fig. Nº 28: Vista de la ubicación de los depósitos de combustible (hidrogeno y gasolina).....	67
Fig. Nº 29: Vista de la ubicación de la boquilla para el repostaje.....	68
Fig. Nº 30: Vista del indicador del modo hidrogeno en el tablero.....	69
Fig. Nº 31: Esquema de funcionamiento del RENESIS.....	70
Fig. Nº 32: Vista lateral del motor RENESIS.....	70
Fig. Nº 33: Vista en sección del Motor Rotativo Wankel.....	71
Fig. Nº 34: Vista del colector de admisión de aire y de los inyectores de gasolina.....	72
Fig. Nº 35: Vista del sistema Dual de alimentación.....	73
Fig. Nº 36: Vista del indicador de nivel de combustible (derecha).....	73
Fig. Nº 37: Vista de la ubicación del tanque de H2 y de las válvulas de repostaje.....	74
Fig. Nº 38: Vista del Mazda como el motor RENESIS.....	76
Fig. Nº 39: Vista del prototipo de estación de hidrogeno.....	77
Fig. Nº 40: Una sociedad basada en el hidrogeno.....	77
Fig. Nº 41: Vista del Honda FCX Clarity.....	79
Fig. Nº 42: Vista de la Célula o Celda de Combustible.....	81
Fig. Nº 43: Vista de la válvula de entrada de combustible al depósito	82
Fig. Nº 44: Comparación de vehículos con el FCX Clarity.....	83
Fig. Nº45: Vista de la disposición de los elementos principales del sistema.....	85
Fig. Nº 46: Vista del tanque de almacenamiento de hidrógeno.....	86
Fig. Nº 47: Vista de la célula de combustible.....	86
Fig. Nº 48: Vista de la batería de iones de litio.....	88

Fig. N° 49: Vista de la unidad de propulsión de energía.....	88
Fig. N° 50: Vista del motor eléctrico axial.....	89
Fig. N° 51: Vista de la perspectiva de Honda para generar hidrógeno en el hogar.....	90

NO COPIAR

## GLOSARIO TÉCNICO

**La combustión:** es una reacción química en la que un elemento combustible se combina con otro comburente (generalmente oxígeno en forma de  $O_2$  gaseoso), desprendiendo calor y produciendo un óxido; la combustión es una reacción exotérmica que produce:

- calor al quemar.
- luz al arder.

Es la combinación rápida de un material con el oxígeno, acompañada de un gran desprendimiento de energía térmica y energía luminosa.

Aun quemándose, la materia no cambia su composición química.

Los tipos más frecuentes de combustible son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. El producto de esas reacciones puede incluir monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), agua ( $H_2O$ ) y cenizas.

**El esmog:** es una niebla densa y oscura, que se produce por reacciones químicas, en las que intervienen los humos de los escapes de los automóviles y el aire atmosférico, en reacción con la luz solar. Al esmog producido mediante la intervención de la luz solar se le llama esmog fotoquímico, que poco a poco va enturbiando el firmamento y contribuye a la formación de ácidos que daña la flora de los montes.

**Formación de la OPEP:** Dos grupos de acontecimientos simultáneos transformaron ese suministro seguro de petróleo barato en un suministro inseguro de petróleo caro. En 1960, indignados por los recortes de precios unilaterales llevados a cabo por las siete grandes compañías petroleras, los gobiernos de los principales países exportadores de

petróleo —Venezuela y cuatro países del golfo Pérsico— formaron la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) para intentar evitar mayores recortes en el precio que recibían por su petróleo. Lo consiguieron, pero durante una década no lograron subir los precios. Entretanto, el aumento del consumo de petróleo, sobre todo en Europa y Japón, donde el petróleo desplazó al carbón como fuente primaria de energía, provocó una enorme expansión de la demanda de productos del petróleo.

**Dirigible:** aparato más ligero que el aire con una carena llena de un gas capaz de elevarlo, un dispositivo de propulsión, medios para ajustar la fuerza ascensional y una o más góndolas para la tripulación, los pasajeros y las unidades de alimentación. La carena contiene siempre helio, aunque antes se utilizaba hidrógeno, y es alargada o fusiforme para reducir la resistencia al aire. El dispositivo de propulsión suele tener uno o varios motores y hélices. Se puede soltar lastre, que suele ser arena o agua, para aumentar la fuerza ascensional y liberar gas para reducirla. Otra posibilidad es inflar o desinflar las cámaras de aire, llamadas *balonets*, que hay dentro de la carena de gas principal: de esta forma se altera la densidad global del dirigible. Para dirigir el aparato, el piloto usa uno o varios timones de dirección articulados en vertical; para subir o descender, utiliza uno o varios timones de altura o profundidad articulados en horizontal.

**Electrolisis:** El método de separación electrolítica tiene un interés histórico, pues fue el primer método utilizado para separar deuterio prácticamente puro. Cuando el agua sufre una electrólisis, el isótopo más ligero del hidrógeno tiende a salir antes, dejando atrás un residuo de agua enriquecida con el isótopo más pesado.

**Pila o célula de combustible:** Mecanismo electroquímico en el cual la energía de una reacción química se convierte directamente en

electricidad. A diferencia de la pila eléctrica o batería, una pila de combustible no se acaba ni necesita ser recargada; funciona mientras el combustible y el oxidante le sean suministrados desde fuera de la pila.

**Hidrocracking:** Craqueo o *Cracking*, proceso químico por el cual un compuesto químico, normalmente orgánico, se descompone o fracciona en compuestos más simples. El craqueo se realiza ya sea por la aplicación de calor y alta presión, mediante el proceso conocido como craqueo térmico, o bien por el craqueo catalítico, que es la combinación de calor y una catálisis.

**Motor Wankel:** Felix Wankel (1902-1988), ingeniero alemán conocido por haber inventado el motor Wankel. También llamado motor rotativo o rotatorio Wankel, utiliza, para producir energía, un rotor giratorio dentro de una cámara, en lugar de pistones. Es más potente y más sencillo que un motor tradicional de combustión interna del mismo tamaño. Sería posible extender el uso de este tipo de motor si pudieran resolverse los problemas de elevado consumo de combustible y alta emisión de gases.

**Criogenia:** estudio y utilización de materiales a temperaturas muy bajas. No se ha acordado un límite superior para las temperaturas criogénicas, pero el Instituto Nacional de Modelos y Tecnología de Estados Unidos ha sugerido que se aplique el término 'criogenia' para todas las temperaturas inferiores a  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  (123 K). Algunos científicos consideran el punto de ebullición normal del oxígeno ( $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) como límite superior (véase Cero absoluto). Las temperaturas criogénicas se obtienen por la evaporación rápida de líquidos volátiles o por la expansión de gases confinados a presiones de entre 150 a 200 atmósferas. La expansión puede ser simple, es decir, a través de una válvula que comunica con una región de menor presión, o tener lugar en el cilindro de un motor alternativo, donde el gas impulsa el pistón del motor. El segundo método es más eficiente, pero también es más difícil de aplicar. Véase Calor.

**Poliestireno / Polystyrene:** embalaje sintético o el material aislante, un polímero sintético de styrene que es estable en varias formas físicas. Como una espuma rígida blanca los polystyrene se extienden.

NO COPIAR



## INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento público que la principal fuente de energía actual, es decir, el petróleo y sus derivados, no disponen de una vida ilimitada. Más bien al contrario, en unos 40 ó 50 años las reservas quedarán parcialmente agotadas.

Otro problema primordial derivado de la actual política energética es el de la contaminación, ya que el gran aumento de vehículos a nivel mundial a generado también un aumento acelerado de emisiones contaminantes por el funcionamiento diario de estos vehículos ya sean estos a gasolina o a diesel.

Es por esto que se ha desarrollado este informe de una nueva fuente de energía para la movilidad de los vehículos como lo es el hidrogeno en donde se explica el funcionamiento del motor de hidrogeno, los tipos de aplicaciones del hidrogeno en los vehículos y que se necesita para este funcionamiento.

El Hidrogeno es el elemento más abundante del Universo y uno de los más abundantes de la Naturaleza, es un combustible inagotable que no produce emisiones contaminantes ni de efecto invernadero, ya sea quemándolo o haciéndolo reaccionar químicamente para producir electricidad, es la única alternativa sostenible frente a los combustibles fósiles, si el hidrogeno es producido a partir de la electrolisis del agua mediante energía eléctrica de origen renovable como por ejemplo con plantas hidroeléctricas o plantas eólicas, cierra un ciclo natural y limpio, este combustible tiene un gran potencial para ser utilizado y está llamado a ser uno de los protagonistas del inminente futuro del modelo energético a nivel mundial.

El único inconveniente hasta el momento es que no existen lugares de repostaje para los nuevos vehículos con hidrogeno y que por ser una nueva tecnología los costos son todavía muy altos.

NO COPIAR

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Un grupo de alumnos del Nivel Tecnológico del I. T. S. “ Central Técnico”, específicamente del sexto nivel de la Escuela de Mecánica Automotriz hemos visto la necesidad de Implementar una Biblioteca Virtual para uso de los estudiantes de dicha escuela, ya que en la actualidad nos encontramos con que la información se distribuye y almacena en forma digital y no disponemos de una infraestructura idónea para aprovechar la información generada, al no tener acceso a la información digital que se encuentra disponible en la biblioteca de la escuela mencionada y por no contar con los equipos y espacios suficientes para la utilización de la misma implementamos la Biblioteca Virtual para la Escuela de Mecánica Automotriz.

Para enriquecer de información reciente y actualizada se ha desarrollado esta investigación de cómo funcionan los motores de hidrogeno de los vehículos: BMW Hydrogen 7, MAZDA RX 8 RE, HONDA FCX Clarity, cuales son los tipos de aplicaciones del hidrogeno en estos vehículos, cual es tipo de almacenamiento que tiene cada uno de estos vehículos, en qué estado se encuentra el hidrogeno que se utiliza para cada aplicación, información que será puesta a disposición del alumnado de la Escuela de Mecánica Automotriz por medio de la Biblioteca Virtual.

En esta Biblioteca Virtual se podrá utilizar conectividad inalámbrica de Internet, dictar cursos de capacitación, utilizar información multimedia para un mejor entendimiento de la materia, ya que nuestra especialidad automotriz requiere de variados y complejos métodos de enseñanza.

Ante la falta de sostenibilidad del modelo de transporte actual, debida a los recursos energéticos limitados, el impacto ambiental y la falta de

equidad en el acceso a estos recursos, se hace necesario realizar una investigación capaz de dar bases de desarrollo de nuevas energías renovables en los vehículos.

La alternativa del hidrogeno como combustible tiene un gran potencial para este propósito, la motivación de esta alternativa ha sido alimentada principalmente por tres hechos importantes:

- Usa serie de avances tecnológicos en las pilas de hidrogeno
- Una creciente preocupación sobre los problemas ambientales hacia los que nos estamos dirigiendo inevitablemente
- Y por último el hecho de que se han desarrollado innovaciones tecnológicas en cuanto a producción de hidrogeno libre de emisiones de efecto invernadero.

Este proyecto analiza tres tipos de vehículos que usan en la actualidad hidrogeno como combustible para sus motores, para reducir las emisiones contaminantes.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA CIENTÍFICO**

¿Cómo funciona el motor impulsado por hidrogeno, con sus aplicaciones en los vehículos: BMW Hydrogen 7, MAZDA RX 8 RE, HONDA FCX Clarity, cual es tipo de almacenamiento del hidrogeno que tiene cada uno de estos vehículos?

Investigación realizada en la ciudad de Quito en el periodo 2008 - 2009

## **PREGUNTAS QUE SE DERIVAN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

¿Qué es el hidrogeno?

¿Cuál es la razón por la cual necesitamos el hidrogeno como combustible?

¿Cuáles son las aplicaciones del hidrogeno en los vehículos y su funcionamiento?

¿Cómo funciona la aplicación del hidrogeno en el BMW Hydrogen 7?

¿Cómo funciona la aplicación del hidrogeno en el MAZDA RX\_8 RE?

¿Cómo funciona la aplicación del hidrogeno en el HONDA FCX Clarity?

¿Cuáles son las ventajas e inconvenientes del hidrogeno?

## **OBJETIVO GENERAL**

Describir el funcionamiento del motor impulsado por hidrogeno, con sus aplicaciones en los vehículos: BMW Hydrogen 7, MAZDA RX 8 RE, HONDA FCX Clarity con el tipo de almacenamiento que tiene cada uno de estos vehículos y en qué estado se encuentra el hidrogeno que se utiliza para cada aplicación.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar que es el hidrogeno, en qué estado se encuentra en la naturaleza y sus características principales.
- Especificar la necesidad de utilizar el hidrogeno como combustible
- Establecer las aplicaciones de hidrogeno en los vehículos y su funcionamiento.

- Describir el funcionamiento de la aplicación del hidrogeno en el BMW Hydrogen 7.
- Describir el funcionamiento de la aplicación del hidrogeno en el MAZDA RX 8 RE.
- Describir el funcionamiento de la aplicación del hidrogeno en el Honda FCX Clarity.
- Analizar las ventajas e inconvenientes del hidrogeno como combustible para vehículos.

## JUSTIFICACIÓN

La importancia de esta investigación radica en que en el planeta existen excesivas emisiones tóxicas producidas por los motores de combustión interna tanto a gasolina como a diesel, estas emisiones son motivadas por que a nivel mundial el recurso más utilizado para impulsar los vehículos son los derivados del petróleo, pero esta fuente de energía no es ilimitada ni renovable, al contrario en unos 40 ó 50 años las reservas quedarán agotadas.

Otro problema primordial derivado de la actual política energética es el de la contaminación, los contaminantes del aire son sustancias que, están presentes en la atmósfera, afectan de manera adversa a la salud de humanos, animales, plantas o vida microbiana; dañan materiales o interfieren con el disfrute de la vida y el uso de propiedades.

En ciertos casos, no se realiza un control apropiado de las emisiones, debiendo depender entonces de su dispersión y de los procesos naturales de limpieza de la atmósfera para evitar concentraciones excesivas de contaminantes, las cuales causarían efectos indeseables ya que el control de la contaminación del aire no siempre es fácil, porque no es práctico eliminar todas las emisiones de un contaminante específico.

Durante siglos, la costumbre de arrojar los humos de la combustión y otros a la atmósfera fue la manera natural de evitar sus efectos nocivos evidentes. Con el incremento de la actividad industrial y el tránsito vehicular se ha formado en la atmósfera el smog.

Estos contaminantes no sólo afectan directamente al ser humano, sino que también lo están haciendo de forma indirecta gracias al temido efecto invernadero, el cual puede llegar a provocar un fuerte cambio en el clima

global de forma que se incrementarán los fenómenos climáticos extremos como huracanes, tifones, sequías, inundaciones, etc.

Otro problema de los combustibles derivados del petróleo es el de la diversidad geográfica, ya que el petróleo se encuentra concentrado en un pequeño número de naciones agrupadas en la O. P. E. P., organización que ya dio un toque de atención a la comunidad internacional con la crisis del petróleo de los años 70.

Desde un punto de vista económico este es un gran inconveniente que se debería solucionar con la diversificación de las fuentes de energía, algo que el combustible que trataremos en este informe ayudará a conseguir.

El problema más grave y que alzarán a un puesto de privilegio a las energías renovables y a los combustibles ecológicos será la elevación del precio del petróleo a medida que se vaya agotando. Será entonces, y sólo entonces, cuando existirá un consenso global para la transición de un sistema energético a otro que sea sostenible.

Son bastantes los años que se lleva investigando arduamente en el campo de las energías renovables con el fin de encontrar la solución a estos graves problemas. No obstante, las opciones más conocidas, como pueden ser la energía solar, eólica, nuclear, etc., no logran satisfacer la elevada demanda energética de los países desarrollados, y mucho menos lograrán suplir de energía a las naciones en desarrollo, al menos a corto plazo.

La cuestión es que estas fuentes de energía sufren una serie de problemas, principalmente tecnológicos, que las convierten en inviables a la hora de satisfacer la demanda energética mundial de forma sostenible en la actualidad. Es de esperar que las investigaciones en estos campos



avancen de forma que se consiga una producción energética suficiente y sostenible.

En este informe se tratará las aplicaciones del hidrógeno como combustible en motores de combustión interna tanto como en motores de pila de combustible. El hidrógeno es considerado como la opción de futuro para sustituir al petróleo como fuente principal de energía, tanto en el campo de la automoción como en cualquier otro.

Es un hecho que la mayor parte del combustible de origen fósil se emplea en el campo de la automoción y transporte, con lo que una gran parte de la contaminación será generada por vehículos. Es por esto que con esta investigación se quiere promover el empleo de hidrógeno como combustible en los vehículos para que las emisiones de CO<sub>2</sub> se reduzcan considerablemente.

Aire Puro, es el aire que deseamos respirar, sin embargo en los últimos años ha sufrido un serio deterioro a causa de las acciones del hombre.

## CAPITULO I

### QUE ES EL HIDRÓGENO, EN QUE ESTADO SE ENCUENTRA EN LA NATURALEZA Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

#### 1.1 EL HIDRÓGENO

El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo H y con un número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico ( $H_2$ ) incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable, el hidrógeno es el elemento químico más ligero y es, también, el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia del universo.<sup>1</sup>

El hidrógeno elemental es muy escaso en la Tierra y es producido industrialmente a partir de hidrocarburos como, por ejemplo, el metano. La mayor parte del hidrógeno elemental se obtiene "in situ"<sup>2</sup>, es decir, en el lugar y en el momento en el que se necesita.

El hidrógeno puede obtenerse a partir del agua por un proceso de electrólisis, pero resulta un método mucho más caro que la obtención a partir del gas natural.

El hidrógeno puede formar compuestos con la mayoría de los elementos y está presente en el agua y en la mayoría de los compuestos orgánicos.

Desempeña un papel particularmente importante en la química ácido - base, en la que muchas reacciones conllevan el intercambio de protones entre moléculas solubles.

---

(1) y (2) Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeno>

Sus principales aplicaciones industriales son el refinado de combustibles fósiles (por ejemplo, el hidrocracking)<sup>3</sup> y la producción de amoníaco (usado principalmente para fertilizantes).

## 1.2 NOMENCLATURA

Hidrógeno, del latín "*hydrogenium*", y éste del griego antiguo ὕδωρ (*hydor*): "agua" y γένος-ου(*genos*): "generador".<sup>4</sup>

La palabra hidrógeno puede referirse tanto al elemento atómico como a la molécula diatómica (H<sub>2</sub>) que se encuentra en trazas en la atmósfera terrestre. Los químicos tienden a referirse a esta molécula como dihidrógeno, molécula de hidrógeno, o hidrógeno diatómico, para distinguirla del elemento.

## 1.3 HISTORIA

Descubrimiento del hidrógeno

El hidrógeno diatómico gaseoso, H<sub>2</sub>, fue formalmente descrito por primera vez por T. Von Hohenheim (más conocido como Paracelso, 1493 - 1541) que lo obtuvo artificialmente mezclando metales con ácidos fuertes.

Paracelso no era consciente de que el gas inflamable generado en estas reacciones químicas estaba compuesto por un nuevo elemento químico.

En 1671, Robert Boyle redescubrió y describió la reacción que se producía entre limaduras de hierro y ácidos diluidos, y que generaba hidrógeno gaseoso.<sup>5</sup>

---

(3) Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Craqueo>

(4) Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeno#Nomenclatura>

(5) Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeno#Descubrimiento\\_del\\_hidr.C3.B3geno](http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeno#Descubrimiento_del_hidr.C3.B3geno)

En 1766, Henry Cavendish fue el primero en reconocer el hidrógeno gaseoso como una sustancia discreta, identificando el gas producido en la reacción metal - ácido como "aire inflamable" y descubriendo que la combustión del gas generaba agua. Cavendish tropezó con el hidrógeno cuando experimentaba con ácidos y mercurio.

Aunque asumió erróneamente que el hidrógeno era un componente liberado por el mercurio y no por el ácido, fue capaz de describir con precisión varias propiedades fundamentales del hidrógeno.

Tradicionalmente, se considera a Cavendish el descubridor de este elemento.

En 1783, Antoine Lavoisier dio al elemento el nombre de hidrógeno, cuando comprobó (junto a Laplace) el descubrimiento de Cavendish de que la combustión del gas generaba agua.

#### **1.4 ABUNDANCIA**

El hidrógeno es el elemento más abundante del universo, suponiendo más del 75% en masa y más del 90% en número de átomos. Este elemento se encuentra en abundancia en las estrellas y los planetas gaseosos gigantes. Las nubes moleculares de  $H_2$  están asociadas a la formación de las estrellas. El hidrógeno también juega un papel fundamental como combustible de las estrellas por medio de las reacciones de fusión nuclear entre protones.<sup>6</sup>

Bajo condiciones ordinarias en la Tierra, el hidrógeno existe como gas diatómico,  $H_2$ . Sin embargo, el hidrógeno gaseoso no es abundante en la atmósfera de la Tierra.

---

(6) Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeno#Descubrimiento\\_del\\_hidr.C3.B3geno](http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeno#Descubrimiento_del_hidr.C3.B3geno)

Aunque los átomos de hidrógeno y las moléculas diatómicas de hidrógeno abundan en el espacio interestelar, son difíciles de generar, concentrar y purificar en la Tierra.

El hidrógeno es el decimoquinto elemento más abundante en la superficie terrestre. La mayor parte del hidrógeno terrestre se encuentra formando parte de compuestos químicos tales como los hidrocarburos o el agua.

El hidrógeno gaseoso es producido por algunas bacterias y algas, y es un componente natural de las flatulencias. El metano es una fuente de enorme importancia para la obtención del hidrógeno.

Se sabe que el hidrógeno tiene tres isótopos. El núcleo de cada átomo de hidrógeno ordinario está compuesto de un protón. El deuterio, que está presente en la naturaleza en una proporción de 0,02%, contiene un protón y un neutrón en el núcleo de cada átomo y tiene una masa atómica de dos.

El tritio, un isótopo radiactivo e inestable, contiene un protón y dos neutrones en el núcleo de cada átomo y tiene una masa atómica de tres.

## **1.5 APLICACIONES GENERALES**

El **dihidrógeno**, un compuesto químico formado por dos átomos de hidrógeno, a temperatura ambiente es un gas inflamable, incoloro e inodoro.

En laboratorio se obtiene mediante la reacción de ácidos con metales como el zinc e industrialmente mediante la electrólisis del agua, aunque se están investigando otros métodos en los que intervienen las algas verdes. El hidrógeno se emplea en la producción de amoníaco, como combustible alternativo y recientemente para el suministro de energía en las pilas de combustible.

Tiene un punto de ebullición de tan sólo 20,27 K (-252,88 °C) y un punto de fusión de 14,02 K (-259,13 °C).<sup>7</sup> A muy alta presión tal como la que se produce en el núcleo de las estrellas gigantes de gas, las moléculas mudan su naturaleza y el hidrógeno se convierte en un líquido metálico.

A muy baja presión como la del espacio, el hidrógeno tiende a existir en átomos individuales, simplemente porque es muy baja la probabilidad de que se combinen.

Se aplica principalmente en

- Producción de ácido clorhídrico, combustible para cohetes, y reducción de minerales metálicos.
- El hidrógeno líquido se emplea en aplicaciones criogénicas
- Empleado antaño por su ligereza como gas de relleno en globos y dirigibles, tras el desastre del Hindenburg se abandonó su uso por su gran inflamabilidad.
- El H<sub>2</sub> se emplea como refrigerante en generadores eléctricos en las estaciones eléctricas, ya que es el gas con mayor conductividad térmica.

## **1.6 HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE**

Se ha hablado mucho del hidrógeno molecular como posible portador de energía. El uso del H<sub>2</sub> tendría la ventaja de que las fuentes fósiles podrían usarse directamente para la obtención del gas (a partir de metano, por ejemplo). El H<sub>2</sub> usado en los medios de transporte produciría una combustión limpia en la que el único producto sería el agua, eliminando por completo las emisiones de CO<sub>2</sub>.

---

(7) Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Dihidr%C3%B3geno>

Sin embargo, los costes para la infraestructura necesaria para llevar a cabo una conversión completa a una economía del hidrógeno serían sustanciales. Además, la densidad energética del hidrógeno líquido o gaseoso (dentro de unas presiones prácticas) es significativamente menor que los combustibles tradicionales.

Por ejemplo, puede emplearse en motores de combustión interna. Una flota de automóviles con motores de este tipo es mantenida en la actualidad por Chrysler-BMW. Además, las pilas de combustible en desarrollo parece que serán capaces de ofrecer una alternativa limpia y económica a los motores de combustión interna.

Debido a que el hidrógeno es escaso en forma libre y la mayor parte de él se encuentra combinado con otros elementos, no es una fuente de energía primaria, como sí lo son el gas natural, el petróleo y el carbón. En realidad el hidrógeno es un portador de energía que se debe producir a partir de fuentes primarias. Aun así el hidrógeno como combustible presenta diversas ventajas.

El hidrógeno se quema en el aire libre cuando hay concentraciones entre el 4 y 75% de su volumen, en cambio el gas natural lo hace entre 5,4 y 15%. La temperatura por combustión espontánea es de 585 °C, mientras que para el gas natural es de 540 °C.

El gas natural explota en concentraciones de 6.3 a 14%, mientras que el hidrógeno requiere concentraciones entre el 13 y el 64%, por lo que el gas natural es más explosivo que el hidrógeno.

En la actualidad existen cuatro formas de utilizar el hidrógeno para producir energía:

- Uniendo sus núcleos dentro de un reactor, durante el proceso conocido como fusión nuclear.

- Combinándolo electroquímicamente con el oxígeno sin generar flama para producir directamente electricidad dentro de un reactor conocido como celda de combustible.
- Combinándolo químicamente con el oxígeno del aire a través de quemadores convencionales y a través de procesos catalíticos, teniendo este método una amplia aplicación doméstica.
- Combinándolo químicamente con el oxígeno en medio acuoso dentro de una caldera no convencional para producir vapor motriz

Uno de los principales problemas que se tienen con el hidrógeno es su almacenamiento y transporte. Si se confina en forma gaseosa, el contenedor tendría que soportar presiones de hasta 700 bares.

Si se desea almacenar en forma líquida, se tiene que enfriar a  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  y posteriormente guardarse en un depósito perfectamente aislado. Otra forma de almacenamiento se puede llevar a cabo mediante una reacción química reversible con diversas sustancias formando hidruros metálicos.

Cuando el hidrógeno se mezcla con oxígeno en un amplio rango de proporciones el hidrógeno explota. En el aire, el hidrógeno arde violentamente. Las llamas de oxígeno e hidrógeno puro son casi invisibles al ojo humano, como se constata al ver lo tenues que son las llamas de los motores principales de las lanzaderas espaciales (en contraposición a lo fácilmente visibles que son las llamas de los cohetes impulsores de las lanzaderas) ver fig.1:

Por este motivo, es difícil detectar visualmente si un escape de hidrógeno está ardiendo. Las llamas que se aprecian en las fotos del dirigible Hindenburg son llamas de hidrógeno coloreadas por el material de la cubierta de la aeronave, que contenía carbono y polvo de aluminio pirofórico, así como otros materiales combustibles. (Independientemente de la causa de este incendio, es claro que se produjo la ignición del



hidrógeno, ya que en ausencia de este gas la cubierta del dirigible habría tardado horas en quemarse).

Otra característica de los fuegos alimentados por hidrógeno es que las llamas tienden a ascender rápidamente con el gas a través del aire (algo que también se puede apreciar en las fotografías del accidente del Hindenburg), causando menos daños que los fuegos alimentados por hidrocarburos.

Por ejemplo, dos tercios de los pasajeros del dirigible sobrevivieron al incendio, y muchas de las muertes que se produjeron fueron por caídas al vacío y por la combustión de gasolina.



Fig.1: Diferencia de las llamas entre los impulsores y los motores principales de las lanzaderas espaciales.

En la imagen se aprecia la diferencia entre la llama de hidrógeno (en los motores de lanzadera, casi invisible), y las llamas de otros combustibles (En los cohetes propulsores laterales).

## 1.7 OBTENCIÓN Y PRODUCCIÓN

La electrolisis del agua es un método simple de producir hidrógeno, aunque el gas resultante posee necesariamente menos energía de la requerida para producirlo. Una corriente de bajo voltaje atraviesa el agua, formándose oxígeno gaseoso en el ánodo e hidrógeno gaseoso en el cátodo, esta corriente eléctrica descompone químicamente el agua liberando así el hidrogeno y el oxigeno

Generalmente, cuando se produce hidrógeno que va a ser almacenado se emplea un cátodo de platino o de algún otro metal inerte. Por el contrario, si el hidrógeno va a ser consumido in situ, es necesaria la presencia de oxígeno para que se produzca la combustión y se procura que ambos electrodos (tanto ánodo como cátodo) sean de metal inerte (si se empleara un metal no inerte, por ejemplo el hierro, éste se oxidaría y disminuiría la cantidad de oxígeno que se desprende).

La máxima eficiencia teórica (electricidad empleada frente al valor energético del hidrógeno generado) es de entre un 80% y un 94%.



En el año 2007 se descubrió que una aleación de aluminio y galio en forma de pastilla añadida al agua puede emplearse para obtener hidrógeno. El proceso también produce óxido de aluminio, pero el galio (que posee un elevado precio), que previene la formación de una capa de óxido en la superficie de la pastilla, puede reutilizarse.

Este descubrimiento tiene importantes implicaciones en la economía del hidrógeno, ya que éste puede sintetizarse in situ fácilmente y no necesita ser transportado.

---

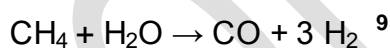
(8) Fuente: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Hidr%C3%B3geno>

Pero tiene una gran desventaja en cuanto a la disponibilidad del aluminio ya que si se llevara a la industria automotriz generaría una aguda escasez de aluminio a nivel mundial encareciéndolo y agotándolo para otras aplicaciones.

El hidrógeno puede obtenerse de distintas maneras, pero las más económicas implican su extracción a partir de hidrocarburos. El hidrógeno comercial se produce generalmente mediante el reformado con vapor del gas natural.

Este proceso consiste en la reacción de una corriente de vapor de agua con metano para originar monóxido de carbono e

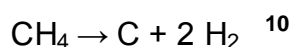
Hidrógeno, a una temperatura de entre 700 °C y 1100 °C.



Esta reacción está favorecida a bajas presiones, sin embargo, se lleva a cabo a altas presiones (20 atm) ya que el H<sub>2</sub> de alta presión es el producto más comercializable.

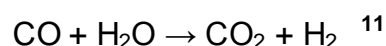
La mezcla producto se conoce como "gas de síntesis" porque a menudo se usa directamente para la producción de metanol y otros compuestos relacionados.

A parte del metano, pueden usarse otros hidrocarburos para generar el gas de síntesis con distintas proporciones de los componentes productos. Una de las complicaciones que se presenta en esta tecnología altamente optimizada es la formación de coque o carbón:



Para evitarlo, el reformado con vapor suele emplear un exceso de H<sub>2</sub>O. Puede recuperarse hidrógeno adicional en este proceso a partir del monóxido de carbono, mediante una reacción de desplazamiento del agua gaseosa, especialmente con un catalizador de óxido de hierro.

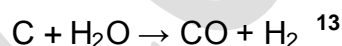
Esta reacción también se emplea industrialmente como fuente de dióxido de carbono:



Otros métodos importantes para la producción de H<sub>2</sub> incluyen la oxidación parcial de hidrocarburos:



Y la reacción del carbón, que puede servir como preludio a la reacción de desplazamiento mencionada anteriormente:



Muchas veces el hidrógeno es producido y consumido en el mismo proceso industrial, sin necesidad de ser separado.

En el proceso Haber - Bosch para la síntesis de amoníaco (el quinto compuesto más producido industrialmente en el mundo), el hidrógeno se obtiene a partir del gas natural.

El hidrógeno también se produce en cantidades significativas como un subproducto en la mayoría de los procesos petroquímicos de cracking con vapor y reformado.

El hidrógeno es un gas extremadamente inflamable. Reacciona violentamente con el flúor y el cloro, especialmente con el primero, con el que la reacción es tan rápida e imprevisible que no se puede controlar.

También es peligrosa su despresurización rápida, ya que a diferencia del resto de gases, al expandirse por encima de  $-40^{\circ}\text{C}$  se calienta, pudiendo inflamarse.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HIDRÓGENO

- Punto de ebullición:  $-252,8^{\circ}\text{C}$
- Muy poco miscible en agua
- Temperatura de autoignición  $580^{\circ}\text{C}$
- Punto de congelación:  $-252,9^{\circ}\text{C}$
- Temperatura crítica:  $-240,9^{\circ}\text{C}$

## 1.8 PELIGROS A TOMAR EN CUENTA AL MANIPULAR HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

**Físicos:** El gas es más ligero que el aire. El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.

**Químicos:** El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con aire, oxígeno, cloro, flúor y oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión. Los metales catalizadores tales como el platino o el níquel aumentan este tipo de reacciones.

**Incendios:** Evitar las llamas, no producir chispas y no fumar. Extremadamente inflamable. Su rango de inflamabilidad es muy grande. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.

Si es posible, cortar el suministro. Si se puede y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el fuego se extinga por sí mismo. Apagar con agua pulverizada, polvo. El hidrógeno cuando se produce fuego o explosión se quema con una llama casi invisible.

**Explosión:** Las mezclas gas/aire son explosivas. Como prevención se debe tener la ventilación adecuada. Las herramientas manuales no deben generar chispas. Los equipos eléctricos y de alumbrado deben estar preparados a prueba de explosión. El incendio debe de combatirse desde un lugar protegido.

**Derrames y fugas:** Para comprobar si existen escapes, utilizar agua y jabón. Evacuar la zona de peligro. Ventilar las áreas cerradas para prevenir la formación de atmósferas inflamables o deficientes de oxígeno.

La ventilación puede ser manual o mecánica. Eliminar todas las fuentes potenciales de ignición. Para ayuda adicional, consultar a un experto. Llevar equipo autónomo de respiración.

**Exposición:** El hidrógeno no es tóxico y está clasificado como un simple asfixiante. La cantidad necesaria para reducir las concentraciones del oxígeno en un nivel inferior al requerido para soportar la vida causaría mezclas dentro de los rangos de inflamabilidad.

Por tanto, se prohíbe la entrada en áreas que contengan mezclas inflamables debido al peligro inmediato de incendio o explosión. El hidrógeno se puede absorber por inhalación y a través de la piel.

Al ocasionarse pérdidas en zonas confinadas, este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total del aire, pudiendo producir asfixia, dificultad respiratoria, y pérdida de conocimiento.

Como prevención se debe tener la ventilación adecuada introduciendo aire limpio.

En contacto con líquido se produce la congelación. Como prevención se debe de utilizar guantes aislantes del frío y traje de protección.

NO COPIAR

## **CAPITULO II**

### **LA NECESIDAD DE UTILIZAR EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE**

#### **2.1 DISPONIBILIDAD DEL PETRÓLEO**

De todos es sabido que la principal fuente de energía actual, es decir, el petróleo y sus derivados, no disponen de una vida ilimitada. Al contrario, las reservas quedarán agotadas.

Otro problema primordial derivado de la actual política energética es el de la contaminación. Según recientes estudios médicos, algunos de los contaminantes generados en la combustión de los hidrocarburos son responsables de numerosas enfermedades pulmonares, mientras que otros, como el monóxido de carbono en altas concentraciones, aumenta la probabilidad de sufrir un infarto.

Estos contaminantes no sólo afectan directamente al ser humano, sino que también lo están haciendo de forma indirecta gracias al temido efecto invernadero, el cual puede llegar a provocar un fuerte cambio en el clima global de forma que se incrementarán los fenómenos climáticos extremos como huracanes, tifones, sequías, inundaciones, etc. <sup>14</sup>

#### **2.2 EFECTOS EN LA SALUD DE LOS SERES HUMANOS A CAUSA DE LOS GASES CONTAMINANTES**

Los efectos en la salud eran la consideración dominante en los primeros episodios de la contaminación por razones obvias. Aunque con frecuencia no se podía identificar el contaminante (o grupo de ellos) específico que generaba los efectos observados, se disponía de información suficiente para implicar a ciertos contaminantes como contribuyentes significativos.

---

(14) Fuente: Estudio del medio ambiente / Politécnica Nacional (PDF) s/f



Tanto las partículas como los gases que entran al cuerpo por el sistema respiratorio pueden afectar al sistema gastrointestinal. Ciertas sustancias químicas, como el plomo, entran en el torrente sanguíneo ya sea desde el sistema digestivo (por ingestión) o atravesando las membranas pulmonares (el sistema respiratorio), y el tiritito que transporta el aire, los plaguicidas o herbicidas sistemáticos, y algunas otras sustancias químicas pueden entrar al torrente sanguíneo por la piel.

Cada contaminante afecta el cuerpo humano de forma diferente, a continuación se describe los efectos en la salud por la exposición a los principales contaminantes: <sup>15</sup>

**1. Materia Particulada.** Se trata de una mezcla compleja de partículas sólidas y aerosoles (partículas líquidas) suspendidas en el aire, los vemos como polvo, humo y niebla. Los efectos principales en la salud que son causa de preocupación incluyen los efectos en la respiración y el sistema respiratorio, el agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya existentes, la alteración de los sistemas de defensa del organismo contra materiales extraños, daños al tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura. Las personas con afecciones pulmonares o cardiovasculares crónicas obstructivas, influenza o asma, los ancianos y los niños son los más sensibles.

**2. Dióxido de Azufre (gas incoloro) SO<sub>2</sub>.** Los efectos principales en la salud incluyen efectos en la respiración, afecciones respiratorias, debilitamiento de las defensas pulmonares, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares ya existentes, y muerte. Entre las personas sensibles están los asmáticos y quienes padecen enfermedades pulmonares crónicas o afecciones cardiovasculares. Los ancianos y los niños son los más afectados.

---

(15) Fuente: ESTUDIO DE CONTROL DE EMISIONES VEHICULARES EN EL D.M.Q. s/f

**3. Monóxido de Carbono (gas incoloro, insípido e inodoro a concentraciones atmosféricas) CO.** La amenaza para la salud que representa el monóxido de carbono es mayor para quienes padecen afecciones cardiovasculares porque reduce el aporte de oxígeno a órganos y tejidos.

A concentraciones altas el monóxido de carbono menoscaba la percepción visual, la destreza manual y la capacidad mental.

**4. Óxidos de Nitrógeno (NOx).** El NO es un gas altamente reactivo de color pardo rojizo que desempeña un papel importante en la formación de ozono en la troposfera. El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) irrita los pulmones, causa bronquitis y neumonía, reduce la resistencia a las infecciones respiratorias y desempeña un papel importante en la formación de ozono en la troposfera.

**5. Ozono.** Este gas incoloro afecta a niños y adultos sanos, además de las personas con problemas en el sistema respiratorio. El ozono reduce la función pulmonar, por lo común en asociación con tos, estornudos, dolor en el pecho y congestión pulmonar. Las concentraciones altas de ozono se asocian a menudo con irritación ocular.

**6. Plomo.** La incorporación de plomo por inhalación o ingestión puede proceder de alimentos, agua, suelos o polvo. La exposición a concentraciones altas puede causar ataques, retardo mental y trastornos de comportamiento.

Los fetos, bebés y los niños son especialmente susceptibles a las dosis bajas, las cuales causan trastornos del sistema nervioso central. La incorporación de plomo puede contribuir a los problemas de hipertensión arterial y afecciones cardíacas.

## **2.3 EFECTOS EN PLANTAS Y ANIMALES**

Los efectos perjudiciales de la contaminación del aire no se limitan a los que tienen que ver con la salud humana. Las plantas y los animales también son susceptibles.

El daño a los vegetales suele observarse en el fruto o las flores, y en ambos casos reduce de manera significativa el valor del cultivo. El flúor afecta las plantas a concentraciones que tienen órdenes de magnitud bastante inferiores a las que afectan la salud humana.

Las concentraciones de gases contaminantes cuando se incorporan en arbustos, árboles o hierbas que después sirven de alimento al ganado u otros animales. Los animales actúan como concentradores del flúor, lo cual perjudica a la salud del animal y reduce el valor del mismo o su capacidad de supervivencia.<sup>16</sup>

## **2.4 EFECTOS EN MATERIALES Y SERVICIOS**

Los óxidos de azufre y de nitrógeno reaccionan en la atmósfera para formar compuestos ácidos que atacan las superficies metálicas, un problema que se ha agudizado en especial para las industrias de comunicaciones, dispositivos de control y computadoras. El flúor es particularmente reactivo, y a concentraciones atmosféricas altas se ha observado corrosión en vidrios.

El ácido sulfhídrico presente en la atmósfera reacciona con el óxido de plomo de la pintura blanca para formar sulfuro de plomo, por lo cual se han observado casas pintadas de blanco que adquieren un tinte pardo de un día para otro. Se produce también un envejecimiento acelerado de los materiales sintéticos y el caucho por exposición a los oxidantes atmosféricos.

---

(16) Fuente: CONTROL DE EMISIONES VEHICULARES EN EL D.M.Q. /FUNDACIÓN NATURA, MUNICIPIO METROPOLITANO DE QUITO /AUSPICIO: COSUDE s/f

Es muy difícil estimar el valor monetario del deterioro acelerado de los materiales y los objetos estéticos como edificios, estatuas o el costo de las pérdidas de materiales o servicios.

## 2.5 FUENTES CONTAMINANTES DEL AIRE

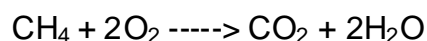
En buena medida, los contaminantes del aire son subproductos directos e indirectos de quemar carbón, gasolina, diesel y otros combustibles, así como los desechos (papeles, cartón, trapos, aserrín, etc.).

### Principales fuentes de contaminación

Tabla 1: Las principales fuentes de contaminación

• MOTORES A GASOLINA	60%
• PROCESOS INDUSTRIALES	16%
• PLANTAS DE POTENCIA	14%
• HORNOS	57%
• PLANTAS INCINERADORAS	3.6%
• AUTOMÓVILES A DIESEL	0.9%

Estos materiales son compuestos orgánicos, cuando se queman por completo, los subproductos son dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O), como se ve en la siguiente fórmula de la combustión del metano:



Ahora bien, la oxidación rara vez es completa y participan sustancias mucho más complejas que el metano.

## 2.6 CONTAMINANTES PRIMARIOS

Las partículas, los compuestos orgánicos volátiles (COV), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y el plomo se denominan contaminantes primarios porque son los productos directos de la combustión o la evaporación.

Al quemarse, los combustibles y desechos vierten en la atmósfera partículas consistentes sobre todo en carbono y que son las que vemos como hollín y humo. Además, algunos fragmentos de las moléculas de los combustibles quedan sin quemar: se trata de emisiones de compuestos orgánicos volátiles. El resultado de la oxidación incompleta del carbono es el monóxido de carbono (CO), mientras que el de la completa es el dióxido ( $\text{CO}_2$ ).

La combustión que ocurre en el aire, es 78 por ciento nitrógeno y 21 por ciento oxígeno. A temperaturas de combustión elevadas, algo del nitrógeno se oxida y forma óxido nítrico (NO).<sup>17</sup>

En el aire, este gas reacciona de inmediato con más oxígeno y se convierte en dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y tetróxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ), compuestos que se llaman en conjunto óxidos de nitrógeno. El dióxido de nitrógeno absorbe la luz y causa en gran parte el color pardo del smog fotoquímico.

Además de materiales orgánicos, combustibles y desechos contienen impurezas y aditivos que también pasan al aire durante la combustión. Tal es el caso del azufre que al quemarlo, se oxida y produce dióxido de azufre.

---

(17) Fuente:

[http://books.google.com.ec/books?id=y0dCa8xC5MC&pg=PA382&lpg=PA382&dq=La+combusti%C3%B3n+que+ocurre+en+el+aire,+es+78+por+ciento+nitr%C3%B3geno+y+21+por+ciento+ox%C3%ADgeno&source=bl&ots=5K6W5gqGDH&sig=6-diHrcfIz3CO9cu8p9Pgohmqsl&hl=es&ei=DD-8SYCnEY-MtgfUhn3Cw&sa=X&oi=book\\_result&resnum=1&ct=result#PPA382,M1](http://books.google.com.ec/books?id=y0dCa8xC5MC&pg=PA382&lpg=PA382&dq=La+combusti%C3%B3n+que+ocurre+en+el+aire,+es+78+por+ciento+nitr%C3%B3geno+y+21+por+ciento+ox%C3%ADgeno&source=bl&ots=5K6W5gqGDH&sig=6-diHrcfIz3CO9cu8p9Pgohmqsl&hl=es&ei=DD-8SYCnEY-MtgfUhn3Cw&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPA382,M1)

## **2.7 CONTAMINANTES SECUNDARIOS**

Algunos de los contaminantes primarios siguen reaccionando en la atmósfera y producen otros compuestos no deseables, los llamados contaminantes secundarios.

El ozono y numerosos compuestos orgánicos reactivos se forman como resultado de reacciones térmicas entre óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, la energía necesaria procede de la luz solar.

En cierto sentido, los ácidos sulfúrico y nítrico también se consideran contaminantes secundarios, puesto que son producto de la reacción del dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno con la humedad del aire

## **2.8 FUENTES CONTAMINANTES RELACIONADAS CON EL TRANSPORTE**

Las fuentes relacionadas con el transporte generan emisiones tales como, compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno, plomo y monóxido de carbono (CO). El CO y COV (casi todos como hidrocarburos) son productos de una combustión ineficiente, los cuales se eliminarían quemando el combustible hasta CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en el motor del vehículo para producir potencia, si es posible.

La mayor parte de las emisiones de COV proceden del tubo de escape.

## **2.9 DATOS REFERENCIALES DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR LOS MOTORES A GASOLINA Y DIESEL.**

De las sustancias gaseosas *contenidas en los gases de escape*, se consideran nocivas: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> y aldehidos.

Tabla 2: Comparación de las emisiones de los motores a gasolina y diesel.

	MOTOR A GASOLINA	MOTOR A DIESEL
<b>CO</b>	Aprox. 3%	Menor que 0.2%
<b>CO<sub>2</sub></b>	Aprox. 14%	Hasta el 12%
<b>C<sub>x</sub>H<sub>y</sub></b>	Hasta 0.05%	Menor que 0.01%
<b>ALDEHIDOS</b>	Hasta 0.03%	Aprox. 0.002%
<b>NO<sub>x</sub></b>	Hasta 0.5%	Hasta 0.25%
<b>SO<sub>x</sub></b>	Hasta 0.008%	Hasta 0.03%
<b>HOLLÍN</b>	Hasta 0.05 g/m <sup>3</sup>	Hasta 0.25 g/m <sup>3</sup>

Otro problema de los combustibles derivados del petróleo es el de la diversidad geográfica, ya que el petróleo se encuentra concentrado en un pequeño número de naciones agrupadas en la O. P. E. P., organización que ya dio un toque de atención a la comunidad internacional con la crisis del petróleo de los años 70. Desde un punto de vista económico este es un gran inconveniente que se debería solucionar con la diversificación de las fuentes de energía.

Pero el problema más grave y que alzaría a un puesto de privilegio a las energías renovables y a los combustibles ecológicos será la elevación del precio del petróleo a medida que se vaya agotando. Será entonces, y sólo entonces, cuando existirá un consenso global para la transición de un sistema energético a otro que sea sostenible. Afortunadamente, ya existen iniciativas en este sentido desde hace varios años, pero han chocado frontalmente con los intereses creados en torno a la industria del petróleo.

Son bastantes los años que se lleva investigando arduamente en el campo de las energías renovables con el fin de encontrar la solución a estos graves problemas. No obstante, las opciones más conocidas, como pueden ser la energía solar, eólica, nuclear, etc., no logran satisfacer la

elevada demanda energética de los países desarrollados, y mucho menos lograrán suplir de energía a las naciones en desarrollo, al menos a corto plazo.

La cuestión es que estas fuentes de energía sufren una serie de problemas, principalmente tecnológicos, que las convierten en inviables a la hora de satisfacer la demanda energética mundial de forma sostenible en la actualidad. Es de esperar que las investigaciones en estos campos avancen de forma que se consiga una producción energética suficiente y sostenible.

## **2.10 EL PRIMER MOTOR DE HIDRÓGENO EN EL MUNDO**

El interés por el hidrógeno no es tan reciente como se puede creer, ya a finales del siglo XIX un sacerdote escocés Robert Stirling concibió un motor de cuatro tiempos que empleaba esta sustancia como combustible.

El Motor Stirling es un tipo de motor que obtiene potencia mecánica de la expansión de un gas encerrado a alta temperatura. El motor fue patentado por el sacerdote escocés Robert Stirling y se usó como una pequeña fuente de potencia en muchas industrias durante el siglo XIX y los comienzos del XX.

La necesidad de motores de automóvil con emisiones bajas de gases tóxicos hizo recuperar el interés por el motor Stirling, cuyos prototipos se habían fabricado con hasta 500 CV y con un rendimiento de un 30 a un 45%. Los motores de combustión interna tienen un rendimiento que va del 20 al 25%.

Como es de esperar este proyecto no produjo resultados totalmente satisfactorios, pues, en caso contrario, no estaríamos tratando este tema como novedad, sino que estaríamos acostumbrados a ver automóviles emisores de agua.



Dadas las especiales condiciones de combustión del hidrógeno, el motor no presentaba un buen comportamiento debido a problemas de autoencendido. De todos modos, el principal problema consistía en el almacenamiento, generación y manejo del, por aquel entonces, elemento recién descubierto.

Varios años más tarde, cuando se comenzaron a construir los dirigibles, que eran básicamente globos de hidrógeno, un ingeniero alemán, Rudolph Erren, trabajó en un motor para estos aparatos cuyo combustible fuera el hidrógeno.

Llegó a resolver los problemas de autoencendido en el carburador mediante la inyección directa y, de no ser por ciertos acontecimientos históricos y por el descubrimiento de grandes y accesibles yacimientos de petróleo, podría haber sido posible la construcción de dirigibles a hidrógeno.<sup>18</sup>

Por último, desde los años 70 se viene investigando con grandes dotaciones económicas el uso del hidrógeno como combustible. Por ejemplo, gracias a la carrera espacial entre la URSS y los Estados Unidos se produjo un gran avance en el manejo del hidrógeno por sus ventajas en lo que a peso se refiere.

El hidrógeno es el combustible menos denso que existe (0,089 g/l) lo que lo hace ideal para los viajes espaciales. Es un hecho que los motores de los cohetes funcionan a base de hidrógeno y oxígeno y que, además, este hidrógeno se ha empleado también en la alimentación eléctrica de las misiones a la luna por medio de las células de combustible.

---

(18) Fuente:

<http://www.google.com.ec/search?hl=es&q=Rudolph+Erren%2C+trabaj%C3%B3+en+un+motor+para+estos+aparatos+cuyo+combustible+fuera+el+hidr%C3%B3geno&meta=>

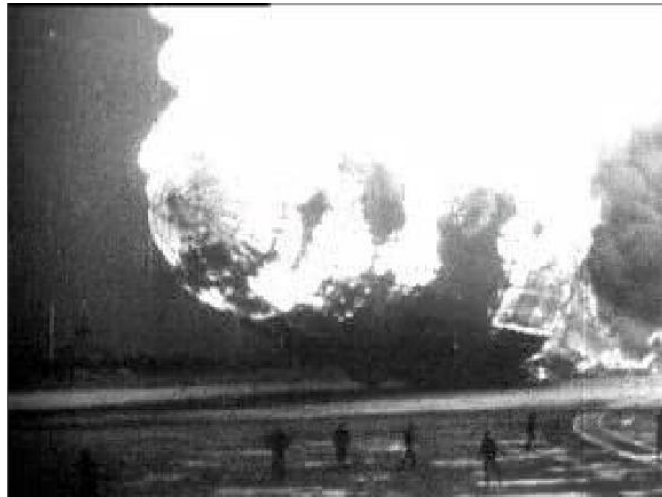


Fig. 2: La catástrofe del *Hindenburg*

El hidrógeno también puede emplearse para almacenar electricidad, ya que los procesos implicados en la conversión del hidrógeno en energía eléctrica y viceversa gozan de buenos rendimientos.

Consideremos el gran problema que plantean los valles de consumo eléctrico a las compañías del sector. En vez de reducir la producción, se podría aprovechar la energía sobrante en procesos de generación de hidrógeno por electrólisis.

Por otro lado, la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno puede llevarse a cabo electrolíticamente, es decir, gracias a la reacción puede obtenerse energía eléctrica. De aquí que la aplicación de las células de combustible en automoción, las cuales se basan en esto último, sea un tema que está siendo muy investigado en los últimos años.

Estos dispositivos también son considerados Z. E. V. (vehículos de emisión cero) ya que la reacción consiste en la combinación de hidrógeno y oxígeno para dar agua de forma electrolítica y no existen productos de reacción secundarios, como los NOx, al no darse combustión alguna.

Ahora bien, el principal problema que presentan las células de combustible se encuentra en su alto coste de producción, además de de otros problemas menores como la alta sensibilidad ante impurezas, el problema del repostaje, etc.

A pesar de conseguir unos muy altos rendimientos, las células de combustible se presentan como la fuente de energía más común a largo o muy largo plazo, tan pronto se desarrolle la tecnología involucrada y, con ello, se reduzcan los precios.

Aparte de todas las ventajas expuestas, la indudable ventaja con que cuenta el hidrógeno radica en que es prácticamente ilimitado, pues la materia prima de la que se extraería es el agua o de algunos hidrocarburos como el metanol o las gasolinas.

Además, suponiendo que el método de producción del hidrógeno involucre energías renovables, síntesis electrolítica partiendo de energía solar por ejemplo, podemos conseguir un ciclo energético totalmente libre de emisiones pues el resultado de la combustión no es más que agua que volverá a ser empleada en la producción de más hidrógeno o bien en determinados procesos industriales que requieran el concurso del agua.

De todos modos, tal y como señalamos un poco más arriba, las energías renovables no se encuentran todo lo desarrolladas que sería de esperar con lo que la generación del hidrógeno se llevaría a cabo mediante otros procesos más sucios como la generación a partir de los hidrocarburos mencionados.

Para comprender mejor veamos la siguiente figura.

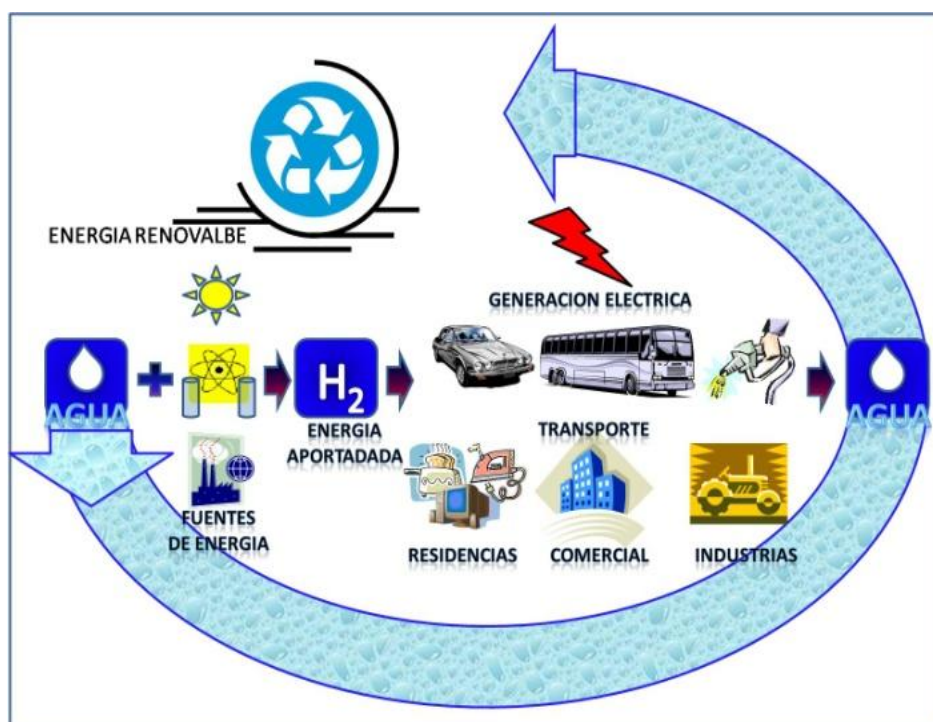


Fig. 3: Ciclo de la energía obtenida del agua

De aquí se desprende el interés de utilizar el hidrógeno como combustible para la movilidad de los vehículos ya sea aprovechando su gran volatilidad o aprovechando su facilidad para producir electricidad en una celda de combustible.

Desarrollar tecnologías con el hidrógeno permitirá que los recursos renovables y los tradicionales se utilicen para lograr una mayor reducción de las emisiones totales a la atmósfera.

Las tecnologías del hidrógeno permitirán tener varias fuentes de electricidad renovables, como la energía eólica independiente de la red Nacional eléctrica que se requiere para proveer suministros. Esto es gracias a que el hidrógeno obtenido por la electrolización del agua puede almacenarse y tiene un valor agregado como combustible para vehículos.



Fig. N° 4: Generador de energía eólica

### Hidrógeno el combustible del futuro

Usar hidrógeno entubado como gas o mediante grandes barcas con tanques para su almacenamiento líquido, facilitarían la transferencia a gran escala de energía, desde áreas de bajo costo hidroeléctrico y otros métodos libres de CO<sub>2</sub> para la generación de electricidad alrededor del mundo, como pueden ser las instalaciones fotovoltaicas en el Sur de Europa o Norte de África.

La tecnología del hidrógeno es la clave para el desarrollo de celdas de combustible que funcionan con gas natural para la combinación de los sistemas de calor doméstico y los sistemas de energía y para la generación de la distribución de electricidad. Las técnicas del hidrógeno pueden reemplazar las ineficientes técnicas tradicionales de combustión que desperdician hasta las 2 / 3 partes del combustible utilizado.

El hidrógeno podría hacer viables las plantas de energía nuclear en áreas remotas y seguras.

La energía nuclear tiene una demanda constante las 24 horas del día, de modo que la producción de hidrógeno sería una aplicación natural para la energía nuclear.

En suma, la tecnología del hidrógeno haría posible lo siguiente:

- 1) El suministro de energía renovable tendría acceso al mercado del combustible para vehículos y además sería menos dependiente de la Red Nacional eléctrica.
- 2) Podrían moverse alrededor del mundo grandes cantidades de energía de manera económica y eficiente.
- 3) La recuperación de la energía a partir del gas natural podría mejorarse hasta en un 50%.
- 4) El calor y la energía domésticos a pequeña escala y la generación de electricidad distribuida estarían disponibles.
- 5) Las provisiones de energía mundial podrían ser liberadas de la dependencia del monopolio de los combustibles fósiles.
- 6) Los sistemas de suministro de energía podrían reducirse a escala de poder cubrir las necesidades locales.
- 7) No habría limitaciones ambientales sobre la cantidad de energía que podría utilizarse y esto sería muy importante para justificar la cantidad de energía necesaria para el intenso reciclado de materiales.

Solamente aumentando la eficiencia del uso de la energía y cambiando a combustibles no procedentes del carbón se podrán alcanzar reducciones significativas en las emisiones del CO<sub>2</sub>.

El Hidrógeno y las energías renovables deben desarrollarse conjuntamente. Si retrasamos el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno entonces también estaremos retrasando las tecnologías de la energía renovable que se requieren para suprimir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las dos áreas de tecnología se complementan y se apoyan mutuamente.

NO COPIAR

## **CAPITULO III**

### **APLICACIONES DEL HIDROGENO EN LOS VEHÍCULOS Y SU FUNCIONAMIENTO.**

#### **3.1 APLICACIONES DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE EN LOS VEHÍCULOS.**

La energía almacenada en el hidrógeno puede utilizarse para propulsar el vehículo de dos maneras: ya sea en un motor de combustión o en una célula de combustible para generar electricidad para un motor eléctrico.

Una ventaja fundamental del motor de combustión es la bivalencia. Permite que se pueda usar tanto hidrógeno como nafta, creando así las condiciones ideales para la transición de energías de propulsión no regenerativas a regenerativas.

##### **3.1.1 APLICACIÓN EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.**

De acuerdo a la investigación, <sup>19</sup> existen dos tipos básicos de motor de combustión que emplean hidrógeno como combustible. El primero y más importante es el motor de combustión de hidrógeno de cuatro tiempos, que es en esencia un motor típico de combustión interna, y el segundo se trata del motor rotativo Wankel.

###### **3.1.1.1 APLICACIÓN EN EL MOTOR WANKEL**

Motor Wankel también llamado motor rotativo o rotatorio Wankel, utiliza, para producir energía, un rotor giratorio dentro de una cámara, en lugar de pistones.

Es más potente y más sencillo que un motor tradicional de combustión interna del mismo tamaño.

---

(19) Fuente: <http://www.motordehidrogeno.net/que-es-el-motor-de-hidrogeno>





Fig. Nº 5: Vista de un motor tipo Wankel

Las partes principales del motor Wankel son una cámara casi cilíndrica y un rotor triangular con bordes redondeados. El corte transversal de la cámara es en realidad una elipse o círculo alargado en lugar de un círculo perfecto.

La cámara tiene dos aperturas en uno de los lados largos de la elipse. Uno permite que el combustible fluya hasta la cámara y el otro permite que los gases de escape salgan. Una bujía, pieza que utiliza una fuerte corriente eléctrica para producir una chispa entre dos electrodos, está situada en el centro del otro lado largo de la cámara. Los bordes del rotor se ajustan perfectamente a los lados de la cámara, dividiéndola en tres partes.

Cuando el rotor gira, introduce combustible en la cámara; a continuación lo comprime hasta que la bujía lo enciende y se quema en la segunda cámara; por último, los subproductos de la combustión salen de la tercera cámara.

Cuando el combustible se quema expande gases que fuerzan al rotor a girar. El rotor suele estar conectado directamente al árbol del motor. La sencillez de su diseño lo hace más ligero y potente que un tradicional motor cíclico Otto; sin embargo, consume más combustible y libera más gases.

Grandes compañías de varios países desarrollaron comercialmente el motor Wankel. La fábrica alemana NSU lo utilizó en barcos y varios modelos de coches y el fabricante japonés de automóviles, Mazda en coches deportivos.

También se ha empleado en motocicletas de grandes prestaciones. Sería posible extender el uso de este tipo de motor si pudieran resolverse los problemas de elevado consumo de combustible y alta emisión de gases.

Pero este tipo de motor rotativo parece dar buenos resultados al emplear hidrógeno como combustible. Estos buenos resultados se deben a la configuración de este motor, el cual minimiza las dificultades de combustión que se dan en otros tipos de motores.

El motor rotativo no suele dar problemas de autoencendido pues, tal y como se puede apreciar en la figura del motor, la cámara de combustión presenta una geometría adecuada para la combustión del hidrógeno, o sea, presenta una relación volumen/superficie muy elevada. De todos modos, suponiendo que los gases de escape fueran responsables del autoencendido, tampoco plantearían problemas en el motor Wankel ya que, cuando los gases frescos entran, la cámara ya se encuentra vacía y los gases de escape se encuentran lejos.

En el motor Wankel es posible el aprovechamiento de la alta temperatura de ignición del hidrógeno. Se está investigando la posibilidad de incluir agua pulverizada en la mezcla de entrada, la cual se evapora al quemarse

el hidrógeno llegando a ejercer presiones muy altas de forma elástica, a diferencia de lo que ocurre en el pistón, en el cual se da una detonación. Actualmente se está tratando de conseguir que la mayor parte de la potencia se deba a la acción del vapor de agua y no al hidrógeno. <sup>(20)</sup>

Otra ventaja más de este motor radica en su relación potencia/peso, este motor desarrolla una alta potencia en comparación con su tamaño lo que permite tener un sistema motriz de alta potencia sin emisiones y de reducido tamaño. La compañía Reg. Technologies <sup>(21)</sup> ha conseguido una relación potencia/peso cerca de los 0,34 kg por caballo 9 de potencia, una cantidad ínfima comparada con los 2,72 kg/CV que presenta el motor de émbolo.

No obstante, el motor Wankel no está libre de defectos pues presenta un problema en lo que a lubricación se refiere. El aceite empleado en la lubricación de los sellos se encuentra en contacto con la mezcla de combustible y aire, con lo que, al producirse la combustión, no sólo se quemará el hidrógeno sino que además lo hará el aceite.

En realidad este hecho constituye dos problemas, el primero es la desaparición del lubricante con lo que el consumo del mismo aumentará, mientras que el segundo afectará a las emisiones del motor. El aceite, al ser quemado, producirá CO<sub>2</sub> además de otros contaminantes como pueden ser los sulfuros, NO<sub>x</sub>, etc.

Lo cual ha provocado que los automóviles con motor rotativo no lleguen a ser considerados Z. E. V., es decir, de emisión cero. Además esta clase de motor no posee la característica de los motores de pistón de actuar como freno, comúnmente llamado freno motor.

---

(20) Fuente: <http://www.automundo.com/autos-clasicos/los-40-anos-del-motor-rotativo-.html#>

(21) Fuente: <http://topics.nytimes.com/top/news/business/companies/reg-technologies-inc/index.html>

Otro problema, que aún hoy no ha sido resuelto del todo, es el denominado dieseling. El dieseling se produce a causa de la precisión del punto de combustión pues, en caso de retrasarse un poco, puede ocurrir que la combustión comience antes de que el rotor gire por sí mismo. En este caso, que se suele dar cuando la velocidad es baja, la explosión empuja al rotor en sentido contrario al ciclo de rotación y cabe esperar daños en el motor.

A pesar de todo, la compañía Mazda ha desarrollado varios modelos de coche que cuentan con este tipo de motor desde los años 70 y que, según la propia compañía, ofrecen unas prestaciones casi iguales que la de los motores de cuatro tiempos convencionales. No obstante, en la década de los 70 la tecnología no estaba lo suficientemente desarrollada como para que los motores Wankel fuesen equiparables a los de pistón. Durante estos años la compañía japonesa ha adaptado algunos modelos de forma que empleen hidrógeno como combustible. Dichos modelos son el HR-X1, HR-X2, y el MX-5.

### **3.1.1.2 APLICACIÓN EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (OTTO)**

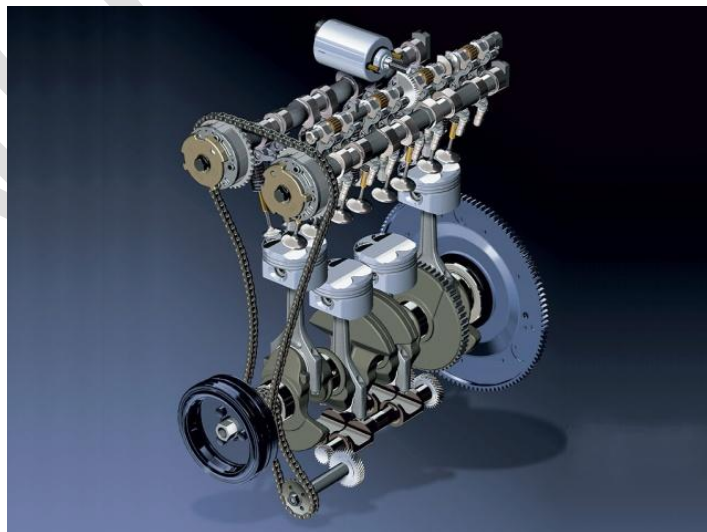


Fig. Nº 6: Vista del motor de BMW serie 7 a gasolina

Un motor de combustión interna es cualquier tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión (la parte principal de un motor).

Se utilizan motores de combustión interna de cuatro tipos: el motor cíclico Otto, el motor diesel, el motor rotatorio y la turbina de combustión.

El motor cíclico Otto, cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo inventó, Nikolaus August Otto, es el motor convencional de gasolina (explosión) que se emplea en automoción y aeronáutica.

El motor diesel, llamado así en honor del ingeniero alemán Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente (combustión) y suele consumir gasóleo. Se emplea en instalaciones generadoras de electricidad, en sistemas de propulsión naval, en camiones, autobuses y algunos automóviles. Tanto los motores Otto como los diesel se fabrican en modelos de dos y cuatro tiempos.

Los motores Otto y los diesel tienen los mismos elementos principales. La cámara de combustión es un cilindro, por lo general fijo, cerrado en un extremo y dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al interior. La posición hacia dentro y hacia fuera del pistón modifica el volumen que existe entre la cara interior del pistón y las paredes de la cámara. La cara exterior del pistón está unida por un eje al cigüeñal, que convierte en movimiento rotatorio el movimiento lineal del pistón. Los cigüeñales cuentan con pesados volantes y contrapesos cuya inercia reduce la irregularidad del movimiento del eje.

El diseño del motor con hidrógeno es básicamente el mismo que el de un motor a gasolina, es decir, un motor que sigue el ciclo Otto, con sus pistones, válvulas y demás sistemas. Esta clase de motores permiten

aprovechar las especiales características que presenta el hidrógeno como combustible:

- Alta velocidad de llama en flujo laminar.
- Alto número de octanos efectivo
- Ninguna toxicidad y no llega a formar ozono

Por esto, con un adecuado diseño podemos conseguir un motor con un rendimiento energético mayor que el equivalente en gasolina y totalmente ecológico. El alto número de octanos permite elevar la relación de compresión que redundará en un aumento del rendimiento energético, mientras que la alta velocidad de llama en flujo laminar contribuye a la reducción de las emisiones de NOx, gracias a esta posibilidad se puede aumentar también el rendimiento. Con todo esto se han conseguido aumentos del rendimiento del 25-30% con respecto a los motores equivalentes en gasolina.

El motor de hidrógeno se ha convertido en una de las alternativas más comentadas para los nuevos vehículos no contaminantes. El hidrógeno posee más potencia en relación energía/ peso que cualquier otro combustible, y además produce poca o ninguna contaminación, ya que sólo libera vapor de agua en su combustión.

Casi todos los grandes fabricantes están trabajando en nuevos modelos que incluyen motor de hidrógeno

### **3.1.2 APLICACIÓN EN CÉLULAS DE COMBUSTIBLE.**

Motor de pila de combustible o motor de hidrógeno.

Es una tecnología con futuro que se encuentra en periodo de pruebas, la tecnología que sustenta los motores de pila combustible o de hidrógeno es puntera y, según los expertos, tiene un buen futuro. No obstante, aún se encuentra en periodo de investigación.

En la actualidad hay prototipos de vehículos funcionando, si bien, todavía se necesitarán algunos años para llegar a producir motores con viabilidad económica.<sup>22</sup>

La pila de combustible produce energía a partir de la reacción del hidrógeno y el oxígeno. Para conseguir la reacción química que libera energía se puede utilizar hidrógeno puro o un combustible que contenga hidrógeno. Las emisiones a la atmósfera son mínimas y si se utiliza hidrógeno puro solamente se libera vapor de agua.

La pila de hidrógeno es similar a una batería que no necesita ser recargada y que tampoco se agota; funciona mientras el hidrógeno y el oxígeno le sean suministrados desde fuera de la pila.

Sir William Robert Grove (1811 – 1896), abogado londinense con aficiones ingenieriles desarrolló los primeros prototipos de laboratorio de lo que él llamaba "batería de gas" y hoy conocemos como "pila de combustible" (en 1839 realizó sus primeros experimentos y en 1845 la demostración definitiva de su sistema). Sin embargo, los principios básicos de funcionamiento de la pila de combustible los descubrió algo antes (en 1938) el profesor suizo Christian Friedrich Schoenbein (1799 – 1868).

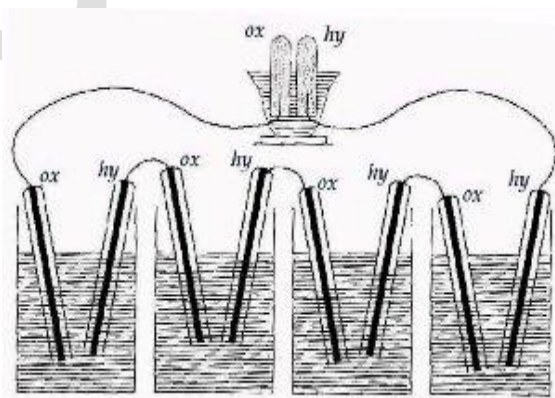


Fig. Nº 7: Esquema de la primera celda de hidrógeno

---

Fuente: Imagen 7: <http://www.mailxmail.com/curso/vida/agua-energia-sinergia-3/capitulo9.htm>

(22) Fuente: <http://elhuyar-blogak.org/teknoskopioa/r2d2/motores-de-hidrogeno/>

Grove usó cuatro celdas grandes, con  $H_2$  y  $O_2$  para producir energía eléctrica que a su vez se podía usar para generar hidrógeno y oxígeno (en la celda superior, más pequeña).

Fácilmente se puede imaginar los sarcásticos comentarios de los pragmáticos escépticos de la época. *¡Valiente negocio!, emplear cuatro volúmenes de gases para generar electricidad que genera un solo volumen. ¡Menuda pérdida de tiempo!*, Sin embargo el experimento de Grove mostraba la esencia y el camino. La esencia, la interconvertibilidad entre la energía química de un combustible y la energía eléctrica; el camino, la posibilidad de convertir esa energía directamente en electricidad sin pasar por un proceso intermedio de combustión.

Y es que la manera tradicional de aprovechar la energía potencial de los combustibles quemándolos para que la energía térmica producida se convierta a su vez en energía mecánica es muy poco eficiente. Ése es precisamente el proceso que siguen nuestros motores de combustión interna y también nuestras grandes centrales térmicas. El paso intermedio a través de la energía térmica limita drásticamente la eficiencia, y la limita de forma inherente, debido a las leyes de la termodinámica, sin que ningún proceso de optimización lo pueda corregir.

En una pila de combustible, la energía química del "combustible" se convierte directamente en energía eléctrica a través de una reacción electroquímica, sin mediar proceso alguno de "combustión", y la eficiencia llega a alcanzar valores de hasta un 70%. El dispositivo es conceptualmente muy simple; una celda de combustible individual está formada por dos electrodos separados por un electrolito que permite el paso de iones pero no de electrones. En el electrodo negativo tiene lugar la oxidación del combustible (normalmente  $H_2$  aunque puede ser también metanol u otros) y en el positivo la reducción del oxígeno del aire. Las reacciones que tienen lugar son las que se indican a continuación.



Los iones ( $H^+$  en este caso) migran a través del electrolito mientras que los electrones ( $e^-$ ) circulan a través del circuito externo (el motor eléctrico de nuestro coche). Una de estas celdas individuales genera un voltaje cercano a un voltio; para las aplicaciones que requieren mayor voltaje y alta potencia se apilan en serie el número necesario de estas celdas que forman la pila de combustible propiamente dicha.

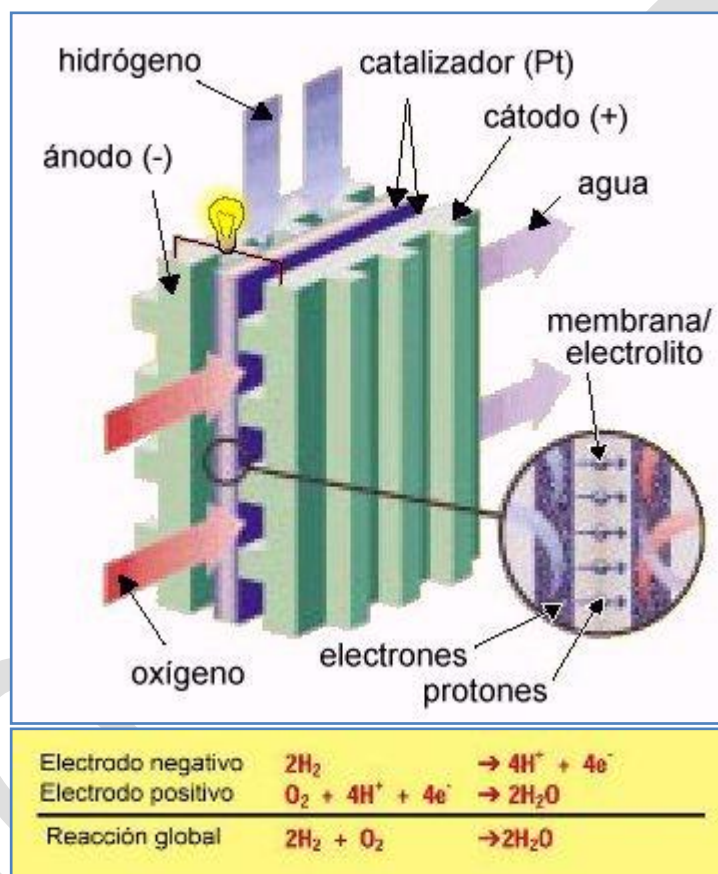


Fig. Nº 8: Esquema de la celda de hidrogeno

Esquema de la estructura y funcionamiento de una pila de combustible. El hidrógeno fluye hacia el ánodo donde un catalizador como el platino facilita su conversión en electrones y protones ( $H^+$ ). Estos atraviesan la membrana electrolítica para combinarse con el oxígeno y los electrones en el lado del cátodo (una reacción catalizada también por el platino).

Los electrones, que no pueden atravesar la membrana de electrolito, fluyen del ánodo al cátodo a través de un circuito externo y alimentan nuestros dispositivos eléctricos. La figura muestra una sola celda electroquímica que produce aproximadamente 1 Voltio. Para aplicaciones de potencia se apilan muchas de estas celdas para formar la pila de combustible, cuyo voltaje aumenta en proporción al número de celdas apiladas.<sup>23</sup>

Las pilas de combustible alimentadas por hidrógeno son silenciosas y, además de electricidad y calor, sólo producen agua como residuo. El cambio paulatino de coches con motores de combustión interna por coches de motor eléctrico alimentados por pilas de combustible hará por tanto de nuestras ciudades lugares más saludables y silenciosos. Aunque estos vehículos eléctricos todavía no son rentables, en todos los países industrializados se están llevando a cabo esfuerzos de financiación de proyectos de demostración como por ejemplo en autobuses no contaminantes.



Fig. Nº 9: Vista de uno de los primeros buses a hidrogeno

---

(23) Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso/vida/agua-energia-sinergia-3/capitulo10.htm>

Fuente: Imagen 9: <http://www.mailxmail.com/curso/vida/agua-energia-sinergia-3/capitulo11.htm>

En la actualidad el principal problema es cómo almacenar el hidrógeno, ya que hay que tener en cuenta que este elemento puede producir fácilmente reacción con otros. De momento, y mientras la tecnología se desarrolla lo suficiente para que la utilización del hidrógeno puro sea rentable, se utilizan diferentes combustibles; todos ellos tienen sus pros y sus contras.

Otro problema radica en que sería necesario construir una red de repostaje y una cadena de producción operativa.

La tecnología del hidrógeno es la clave para el desarrollo de celdas de combustible que funcionan con gas natural para la combinación de los sistemas de calor doméstico y los sistemas de energía y para la generación de la distribución de electricidad. Las técnicas del hidrógeno pueden reemplazar las ineficientes técnicas tradicionales de combustión que desperdician hasta las 2 / 3 partes del combustible utilizado. <sup>24</sup>

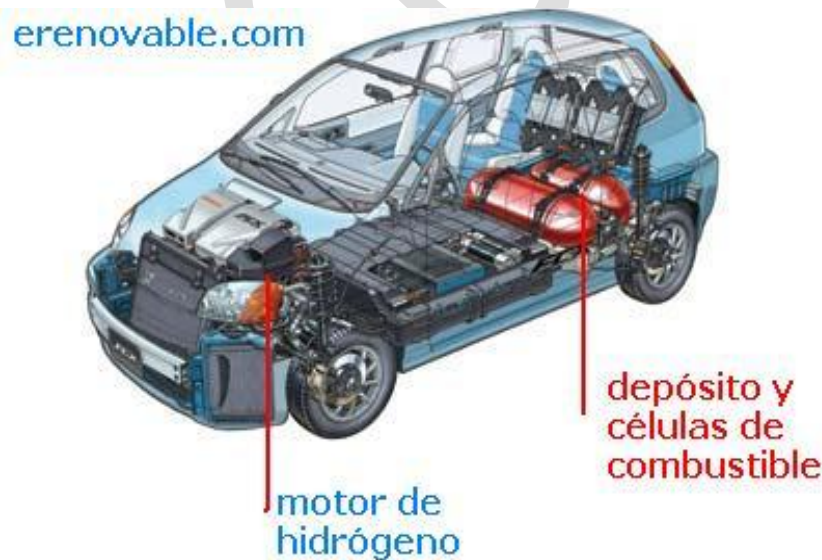


Fig. N° 10: Vista de la ubicación del motor de hidrogeno y el depósito de combustible

---

(24) Fuente: <http://www.cambio-climatico.com/hidrogeno-el-combustible-del-futuro>

Fuente imagen 10: <http://erenovable.com/2006/05/09/el-motor-de-hidrogeno/>

## CAPITULO IV

### APLICACIÓN DEL HIDRÓGENO EN EL BMW Hidrógeno 7

#### 4.1 BMW Hidrógeno serie 7



Fig. Nº 11: Vista del BMW serie 7 a hidrógeno.

El BMW Hydrogen 7 es el resultado de un desarrollo revolucionario de la serie 7 de BMW. El motor, el chasis y la carrocería del nuevo concepto automovilístico se basan en las berlinas BMW 750i y BMW 750iL.

El BMW Hydrogen 7 es el primer automóvil de hidrógeno del mundo que prácticamente no tiene emisiones contaminantes y es apropiado para el uso diario. Este modelo marca un hito en el inicio de la era de la movilidad sostenible. La berlina de lujo BMW Hydrogen 7 tiene un motor de combustión de hidrógeno. El automóvil ya ha atravesado todo el proceso para su fabricación en serie y es el resultado de una estrategia consecuente con la que el BMW Group hace posible ahora el uso del hidrógeno como agente energético útil en el tráfico cotidiano.

---

Fuente imagen 11:

[http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/cleanenergy/phase\\_2/cleanenergy.html?prm\\_action=section](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/cleanenergy/phase_2/cleanenergy.html?prm_action=section)

A largo plazo, el hidrógeno reemplazará a la gasolina, esta es la idea de Clean Energy BMW. Pero por el momento no hay muchas estaciones de repostaje de hidrógeno. Por esta razón los vehículos Clean Energy BMW cuentan con un tanque de nafta y un tanque de hidrógeno. Si uno de los tanques está vacío la unidad del motor BMW bivalente cambia automáticamente al otro sistema de combustible.<sup>25</sup>

La alternativa del hidrógeno en BMW, a diferencia del carbón y el petróleo, se puede producir hidrógeno en cantidades ilimitadas. Y su combustión no libera carbono. En la actualidad, el hidrógeno se obtiene principalmente del gas natural en donde se separa el carbono y se lo libera a la atmósfera como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En el futuro, sin embargo se tendrá que producir hidrógeno a partir de fuentes renovables de electricidad y agua.

Luz y agua son el equipo soñado, la cantidad de energía que el sol envía a la tierra en una hora equivale a lo que consume la humanidad en un año. Esta energía puede utilizarse para producir energía eléctrica en plantas de energía solar, por ejemplo: La electricidad puede entonces usarse para separar el agua por electrolisis en hidrógeno y oxígeno.

Durante este proceso de separación, la energía ganada se transfiere al hidrógeno. El hidrógeno es por lo tanto un simple transportador de energía y no una fuente de energía como lo es el petróleo, en consecuencia, el hidrógeno no se consume de hecho en el verdadero sentido de la palabra.

En el repostaje se podrá llenar el tanque de hidrógeno manualmente de la forma habitual, pero es mejor usar los robots cargadores especialmente diseñados. La estación de servicio en el aeropuerto de Múnich anticipa este futuro de alta tecnología.

---

(25) Fuente: <http://www.topspeed.es/auto/bmw/7-series/bmw-hydrogen-7-ar15913.html>



El robot ubica y abre la tapa del tanque y lo llena en aproximadamente tres minutos. Luego vuelve a cerrar todo y debita el gasto, con este sistema no es necesario ni siquiera salir del vehículo.



Fig. Nº 12: Vista de del funcionamiento del robot automático de repostaje

Uno de los detalles que distinguen al BMW Hydrogen 7 de los demás modelos de la serie 7 es la tapa del depósito de combustible, que es transparente y tiene un marco de cromo y la identificación LH2.

En principio, al repostar no se diferencia de la utilización del depósito convencional de gasolina, pues tan solo hay que asegurarse de un acoplamiento hermético, que evita pérdidas de presión y de frío.

Este acoplamiento es similar al del pico del surtidor de gasolina, lo que significa que el usuario lo introduce en la boca del depósito aplicando una ligera presión.

El bloqueo del acoplamiento y el rellenado del hidrógeno se realizan de modo automático. Para abrir y cerrar la tapa del depósito, el conductor no tiene más que pulsar una tecla que se encuentra en el tablero de instrumentos. El proceso de repostar concluye en menos de 8 minutos <sup>26</sup>



Fig. Nº 13: Vista de la tapa del depósito de combustible (hidrogeno)



Fig. Nº 14: Vista esquemática del motor de BMW serie 7 a hidrogeno y su depósito de combustible

---

Fuente imagen 13 y 14: [www.bmw.com.ar](http://www.bmw.com.ar)

(26) Fuente:

[http://www.automotriz.net/modelos/content/ticker2k5\\_show.php?action=showold&file=ft2k5noti-7.noti](http://www.automotriz.net/modelos/content/ticker2k5_show.php?action=showold&file=ft2k5noti-7.noti)

En BMW se fabrica una versión de la serie 7 llamado Hydrogen 7, que se alimenta de hidrógeno. Siempre se ha hablado de él como un coche de hidrógeno, pero realmente se trata de un híbrido gasóleo/hidrógeno. Pero BMW ha dado un paso más con este modelo y ha creado un coche de demostración (no prototipo) alimentado única y exclusivamente de hidrógeno consiguiendo así un modelo con cero emisiones de CO<sub>2</sub>.

Está equipado con un motor de combustión interna (Otto) de 6 litros V12. El hidrógeno está almacenado en un tanque criogénico con 8 kilogramos (unos 170 litros) de hidrógeno líquido, mientras que el depósito convencional de gasolina tiene capacidad para 74 litros.

Esta nueva versión del Hydrogen 7 tiene más potencia y más autonomía. El modelo anterior podía recorrer 200 kilómetros y el nuevo llega a los 225, al tratarse de un motor de combustión interna el Hydrogen 7 aún emite un pequeño residuo al quemar el hidrógeno, una pequeña parte de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Sólo ocurre cuando el motor alcanza altas temperaturas. En cualquier caso no es comparable a las emisiones de un motor híbrido.



Fig. Nº 15: Vista del motor de BMW serie 7 a hidrogeno y su depósito de combustible presentada en el Museo Alemán



En el habitáculo los cambios se ven en el tablero de instrumentos donde se encuentran indicadores nuevos relacionados con la utilización de hidrógeno, como el símbolo «H<sub>2</sub>», que se enciende cuando el motor está funcionando con hidrógeno, además hay un indicador en kilogramos del nivel del depósito de H<sub>2</sub> junto al indicador de gasolina. Además, la autonomía total y la reserva disponible se indican por separado para el hidrógeno y la gasolina.



Fig. Nº 16: Vista del comando de cambio de combustible en el panel de control del vehículo

La tecnología del futuro disponible hoy

Para comenzar, nosotros seremos capaces de generar energía a partir del hidrogeno y conducir libres de emisiones. Y con el BMW Hydrogen 7, el futuro comienza ahora.

Esto es porque esta es la primera producción de vehículos impulsados por hidrógeno. El motor de combustión entrega un alto rendimiento y casi nada de emisiones, para ser de este un verdadero pionero del futuro de la movilidad.

Recuperado de biomasa o con ayuda de energía solar, eólica y mareomotriz, el suministro de hidrógeno está disponible en cantidades prácticamente infinitas. Si es necesario, también puede generarse con ayuda de gas natural, biogás u otras fuentes de energía primaria.

En consecuencia, la forma de recuperación del hidrógeno y su producción son susceptibles de ajustarse con flexibilidad a las circunstancias y las exigencias del momento, garantizando así la máxima diversificación y facilitando la sustitución gradual de los combustibles fósiles, paso a paso y con el tiempo. <sup>27</sup>

La fórmula para el éxito es muy simple, H<sub>2</sub>O y no CO<sub>2</sub> el curso está fijado por el hidrógeno como el combustible del futuro. La única producción de la combustión del hidrógeno es vapor de agua, el hidrógeno promete una significativa reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> y libertad de dependencia en combustibles fósiles. Un hito en la movilidad personal sustentable para el futuro

El BMW de la serie 7 ofrece una nueva opción con el futuro incluido, provee el tradicional confort, dinamismo y seguridad que los caracteriza y todo eso puede mantenerse cuando se cambia a la tecnología de hidrógeno.

La meta del desarrollo del BMW Hydrogen 7 fue la de ser capaz de entregar a sus usuarios un vehículo de calidad superior que produce cero emisiones.

Esto representa un revolucionario avance de BMW, con todas estas características BMW reúne las cualidades de dinamismo, estética, confort, lujo, seguridad.

---

(27)Fuente: <http://www.eleconomista.es/mercados-cotizaciones/noticias/67985/09/06/COMUNICADO-BMW-Hydrogen-7--La-nueva-era-de-la-movilidad.html>

El modelo desarrollado tiene un motor V12 de 6 litros con Valvetronic y doble Vanos para un desempeño típico de un BMW, con ambos sistemas: inyección directa de gasolina e inyección multipunto de hidrógeno.

La berlina de la serie 7 tiene un propulsor de doce cilindros de 191 Kw/260 CV y es capaz de acelerar en 9,5 segundos de 0 a 100 km/h y de alcanzar una velocidad punta de 230 km/h con corte electrónico.<sup>28</sup>

Este motor es el primer 12 cilindros con inyección directa de gasolina e inyección multipunto de hidrógeno puro. Es un 12 cilindros en V a 60°<sup>29</sup>, El propulsor de 6.000 c/c tiene una potencia de 191 Kw/260 CV y un par motor máximo de 390 Nm a 4.300 r.p.m., todo el motor está hecho de aluminio, carrera corta y culatas de cuatro válvulas por cilindro con sistema de distribución variable Valvetronic.

Estos datos son válidos independientemente del funcionamiento con gasolina o hidrógeno. Ello significa que el automóvil con el nuevo combustible alternativo, fabricado de serie, desde un principio se pone en un mismo nivel con los automóviles que llevan los motores convencionales de gasolina, de probada eficiencia desde hace más de un siglo.

Las conclusiones son evidentes: también el automóvil de hidrógeno permite disfrutar al máximo de la conducción, gracias a la entrega de la potencia, al dinamismo y a la sedosidad de funcionamiento que distinguen a los productos de BMW. Tiene un sistema de inyección de alta presión (entre 30 y 100 bares). Los inyectores están colocados oblicuamente, en el lado de la admisión y entre las dos válvulas. Las culatas no son iguales, la una no es la imagen especular de la otra, tienen un peso distinto. Los árboles de levas se mueven por cadena y ajuste variable continuo, el colector de admisión es de magnesio y de longitud fija.

---

(28) Fuente: [http://www.sobrecoches.com/coches/bmw/serie\\_7/novedad\\_hydrogen\\_7/texto](http://www.sobrecoches.com/coches/bmw/serie_7/novedad_hydrogen_7/texto)

(29) Fuente: <http://www.velocidadmaxima.com/forum/archive/index.php/t-14846.html>

El control electrónico es de Bosch, como todos los motores V12 de BMW, el encendido es de tipo directo, con una bobina sobre cada bujía, hay seis detectores de detonación en el bloque.

No funciona en ningún caso con mezcla pobre, ni está preparado para ello. Por tanto, los pistones tienen una forma normal, sin nada que concentre el chorro de gasolina en torno a la bujía, porque la mezcla siempre es homogénea

El motor de combustión de hidrógeno se basa en el motor de gasolina del BMW 750i e incluye sistemas de tecnología muy avanzada, entre ellas el sistema de regulación plenamente variable de las válvulas VALVETRONIC y el sistema de regulación, también plenamente variable, de los árboles de levas doble VANOS.

Las modificaciones necesarias para el funcionamiento bivalente, son una prueba más de la calidad de los expertos de la marca, encargados del desarrollo de motores. Funcionando con gasolina, la alimentación del combustible se realiza por inyección directa. Adicionalmente, el motor lleva un conducto de alimentación de hidrógeno.

El secreto de la nueva tecnología está en las válvulas de inyección necesarias para la preparación de la mezcla, capaces de agregar al aire aspirado la cantidad exactamente necesaria de hidrógeno en fracciones de segundo.

Funcionando con gasolina, el motor es de inyección directa. Funcionando con hidrógeno, la mezcla se obtiene en el colector de admisión. Para conseguirlo se desarrollaron unos inyectores, cuya construcción e integración significaron un importante reto para los expertos en desarrollo de motores. Los inyectores de hidrógeno gaseoso no solamente son más grandes que los inyectores de gasolina convencionales, sino que también funcionan dentro de un margen de caudal bastante mayor.

Esto significa que funcionan con diversas presiones del sistema y, al mismo tiempo, varían la duración de la inyección del gas de hidrógeno. En centésimas de segundo, siempre proporcionan la cantidad exacta y apropiada para mezclarla con el aire aspirado.

En comparación con los combustibles convencionales, el hidrógeno tiene una velocidad de combustión hasta diez veces superior. Por ello, el grado de eficiencia es mayor. Para aprovechar este potencial, el propulsor V12 del BMW Hydrogen 7 lleva una unidad de control especialmente versátil.

Ello es posible, precisamente gracias a la tecnología VALVETRONIC y doble VANOS. Los cambios de sollicitación con el acelerador y las secuencias de inyección pueden adaptarse específicamente a la mezcla de hidrógeno y aire.

Los ingenieros recurrieron al sistema VALVETRONIC de regulación continua y plenamente variable de las válvulas, un sistema desarrollado en exclusiva por BMW, y al sistema de regulación de los árboles de levas doble-VANOS, para optimizar la operación de combustión del hidrógeno. Con ellos, el cambio de carga y los ciclos de inyección pudieron adaptarse específicamente a las características de la mezcla de hidrógeno y aire.<sup>30</sup>

BMW ha renunciado a la mezcla pobre porque el problema de emisiones de óxidos de nitrógeno en motores con mezcla pobre no tiene una solución satisfactoria actualmente. Los catalizadores apropiados para eliminar los óxidos de nitrógeno requieren una gasolina sin azufre, que no existe en la mayoría de mercados.

La ventaja que BMW saca al hecho de llevar mezcla pobre es que, al evaporarse la gasolina dentro del cilindro, provoca una cierta refrigeración que limita el riesgo de detonación. Como ese riesgo es menor, la relación de compresión puede ser algo más alta de lo normal: 11,3 a 1.

---

(30) Fuente: <http://www.topspeed.es/auto/bmw/7-series/bmw-hydrogen-7-ar15913.html>

A plena solicitud, el motor del BMW Hydrogen 7 funciona en modalidad estequiométrica. Ello significa que la relación de la mezcla y de oxígeno e hidrógeno está equilibrada ( $\lambda = 1$ ). Con esta relación, se obtiene la máxima potencia y la menor cantidad de emisiones, también cuando el motor está funcionando con hidrógeno.

Considerando que el hidrógeno no contiene carbono, a diferencia de los agentes energéticos fósiles, al producirse la combustión no se obtienen hidrocarburos (HC) y tampoco monóxido de carbono (CO). Las mínimas huellas de emisión de HC, CO y CO<sub>2</sub> se obtienen, si acaso, a raíz de la combustión de aceite lubricante o debido a enjuagues del filtro de carbón activo durante el funcionamiento del motor con hidrógeno.

Por ello, únicamente es relevante la emisión de óxidos de nitrógeno (NOX). Estas emisiones se producen especialmente a temperaturas muy altas durante el proceso de combustión. La gran versatilidad del sistema de control del proceso de combustión logra que el motor funcione a temperaturas que permiten controlar la formación de NOX.

Concretamente, el motor funciona con un alto porcentaje de oxígeno (valor  $\lambda > 2$ ) a mediana solicitud. En esas condiciones, el proceso de combustión se lleva a cabo a temperaturas relativamente bajas, con lo que las emisiones de NOX son mínimas. Este funcionamiento con mezcla de elevado porcentaje de oxígeno, se mantiene en un amplio margen del mapa característico.

Dado que el hidrógeno tiene un margen muy amplio de encendido y, además, considerando que la combustión se produce muy rápidamente, es suficiente que el porcentaje de combustible en la mezcla sea muy pobre para conseguir, aun así, un elevado grado de eficiencia.

Para aumentar la potencia, se aumenta el porcentaje de combustible en la mezcla, también en el caso del funcionamiento con hidrógeno. Al aumentar la solicitud, también aumenta la temperatura de combustión.

El margen de la mezcla que genera la mayor cantidad de óxidos de nitrógeno está comprendido entre  $\lambda = 1$  y  $\lambda = 2$ . Este margen de funcionamiento, desventajoso en términos de gases de escape, se elimina mediante la unidad de control del motor del BMW Hydrogen 7, sin que ello incida en el par motor.

A plena solicitud ( $\lambda = 1$ ), las emisiones de NOX son casi nulas. Para la conversión de las cantidades mínimas de NOX que se producen en estas condiciones de solicitud, es suficiente montar un catalizador de tres vías sencillo. La composición específica de los gases de escape de un motor de combustión de hidrógeno en funcionamiento estequiométrico ( $\lambda = 1$ ) facilita la conversión de los óxidos de nitrógeno en el catalizador de 3 vías que pueden encontrarse en los gases de escape. De esta manera, el propulsor del BMW Hydrogen 7, funcionando con hidrógeno, tiene el mismo dinamismo que un motor de gasolina, pero por el escape casi sólo sale vapor de agua. El Cambio de hidrogeno a gasolina y viceversa es instantáneo y sin cambio o pérdida de fuerza.



Fig. Nº 17: Vista del inyector de hidrogeno (azul) y del conducto de entrada de aire

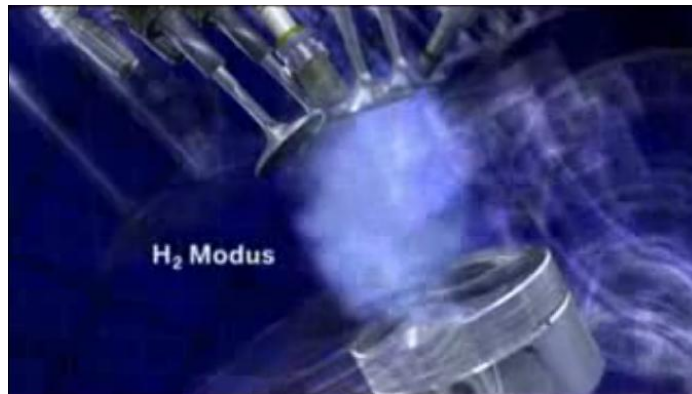


Fig. Nº 18: Vista del ingreso del hidrogeno (azul) hacia el cilindro

Las estadísticas hablan por sí mismo:

- 191 KW / 260HP
- 390 Nm / 290 lb-ft a 4300 rpm
- De 0 a 100 kmh / 0 a 60 mph en 9.2 segundos
- Velocidad máxima 143 mph
- Rango total de movilidad 696 Km (200 Km en modo hidrogeno, por encima de 480 Km en modo gasolina) <sup>31</sup>

El BMW Group ha favorecido la utilización de hidrógeno líquido en calidad de agente energético para automóviles. Esta decisión se explica porque este combustible líquido y a muy baja temperatura tiene una mayor concentración energética que el hidrógeno gaseoso.

Si se compara la capacidad energética de hidrógeno a muy baja temperatura, contenido en un depósito de volumen definido, con la capacidad energética de hidrógeno comprimido a 700 bar, el hidrógeno líquido a muy baja temperatura contiene un potencial energético un 75 por ciento mayor. Esto significa que la autonomía de un vehículo de hidrógeno líquido a muy baja temperatura es superior en la misma proporción.

---

Fuente imagen 18: [www.p2news.com](http://www.p2news.com)

(31)Fuente: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/cleanenergy/phase\\_2/cleanenergy.html?pr\\_m\\_action=section\\_1](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/cleanenergy/phase_2/cleanenergy.html?pr_m_action=section_1)



Mientras que la infraestructura de abastecimiento de hidrógeno aún esté creándose, la autonomía acumulada se transforma en el criterio decisivo para la utilidad diaria del coche de hidrógeno. La gran autonomía del BMW Hydrogen 7 se explica por el uso de hidrógeno y por el carácter bivalente del motor de combustión. Funcionando con hidrógeno, el BMW Hydrogen 7 tiene una autonomía superior a los 200 kilómetros y permite circular otros 500 kilómetros consumiendo gasolina convencional.

El BMW H7 alcanza una alta innovación tecnológica, separando en dos partes el depósito de combustible, la una con hidrógeno líquido y la otra con vacío, estas dos partes están muy bien aisladas en donde el hidrogeno es guardado a aproximadamente menos de 250 grados Celsius (-418 grados Fahrenheit, para ilustrar los beneficios, el efecto del aislamiento del tanque es 17 metros de poliestireno aproximadamente).



Fig. N°19: Vista del la ubicación del tanque criogénico en el BMW Hydrogen7

A pesar de la eficiencia de este aislamiento extremo mediante vacío, es físicamente imposible evitar un ligero calentamiento en el interior del depósito. Esto significa que una pequeña parte del hidrógeno líquido se evapora con el tiempo (en inglés: «boil-off»).<sup>32</sup>

---

Fuente imagen 19: [www.modelos.com](http://www.modelos.com)

(32) Fuente: [http://www.proz.com/kudoz/english\\_to\\_spanish/mechanics\\_mech\\_engineering/1139936-boil\\_off\\_gas.html](http://www.proz.com/kudoz/english_to_spanish/mechanics_mech_engineering/1139936-boil_off_gas.html)

Estas pequeñas cantidades de vapor de hidrógeno empiezan a producirse después de tener aparcado el coche más de 17 horas. Por este motivo aumenta la presión dentro del depósito, de tal manera que el combustible gasificado debe someterse a un así llamado proceso de «boil-off».

El sistema de gestión del hidrógeno gaseoso limita la presión dentro del depósito y, al superarse un valor límite definido, se produce la extracción controlada y el procesamiento del hidrógeno gaseoso.

Este gas se mezcla con aire en una tobera Venturi y se transforma en agua por un proceso de oxidación dentro de un catalizador. La fase denominada fase de inmovilización, que dura hasta que se produce el vaciado controlado de un depósito medio lleno, es de aproximadamente 9 días.

Una vez concluido ese proceso, el depósito todavía contiene hidrógeno suficiente para circular unos 20 kilómetros en modalidad de combustión de hidrógeno. Si en ese tiempo, el BMW Hydrogen 7 funciona con combustión de hidrógeno, vuelve a disminuir la presión dentro del depósito debido al consumo de hidrógeno. Al aparcar el coche, vuelve a empezar el plazo de 17 horas de aparcamiento sin pérdida de energía.



Fig. Nº 20: Vista del la ubicación del tanque criogénico

Este vehículo se ha desarrollado para cumplir con los estándares más altos aplicados por BMW

El estado avanzado de los sistemas de seguridad incluyen los múltiples sensores conocidos. El repostaje es limpio, fácil y seguro. Un conector especial al tanque fue desarrollado, se pone como una boquilla de una bomba convencional en el cuello del tanque de hidrógeno líquido. Es totalmente automático, la forma del conector especial es juntado y el llenado comienza, cuando el repostaje está finalizado el conector es simplemente removido.



Fig. Nº 21: Vista del repostaje en el BMW Hydrogen 7

El BMW Hydrogen 7 demuestra que el cambio para una alternativa hacia el futuro de la energía limpia puede ser sin sacrificio de confort y rendimiento y sobre todo las preocupaciones de seguridad. En comparación con el BMW 750Li, la berlina de hidrógeno también tiene algunas modificaciones en el interior.

En el tablero de instrumentos hay indicadores nuevos, relacionados con la utilización de hidrógeno.

Concretamente, en el mismo tablero que tienen los demás modelos de la serie 7 de BMW, el display incluye diversos testigos nuevos y se agregó el símbolo «H<sub>2</sub>», que se enciende cuando el motor está funcionando con hidrógeno.

Además, el BMW Hydrogen 7 tiene un indicador del contenido del depósito de H<sub>2</sub> junto al indicador correspondiente al depósito de gasolina. El contenido de H<sub>2</sub> se indica en kilogramos. La autonomía restante aparece en forma de barra horizontal y con números. Además cuenta con dos indicadores separados: uno para la reserva de hidrógeno (aproximadamente 1,5 kilogramos útiles, para más o menos 50 kilómetros) y otro para la reserva de gasolina (aproximadamente 15 litros de cantidad restante útil para, como mínimo, 100 kilómetros).



Fig. Nº 22: Vista del medidor de velocidad y el indicador del nivel de combustible

El BMW Hydrogen 7 se reconoce principalmente por el capó especial, de nervios más pronunciados, que se explica por el mayor espacio que ocupan los inyectores de H<sub>2</sub> de la berlina de hidrógeno. El musculoso perfil del capó indica con toda claridad que se trata de un vehículo que lleva una fuente energética excepcional.

El chasis del BMW Hydrogen 7 se basa en el que llevan de serie los demás modelos de la serie 7 de BMW y que les confiere el dinamismo típico de la marca. El eje delantero es de doble articulación, mientras que el eje posterior Integral IV de brazos múltiples se ocupa de compensar el cabeceo del coche al frenar o arrancar.

El aumento del peso a raíz de los componentes del sistema de hidrógeno hizo necesario realizar algunas modificaciones en el reglaje del chasis. Además, el eje posterior del BMW Hydrogen 7 lleva refuerzos de aluminio y acero, similares a los que se montan en la berlina blindada de la serie 7 de BMW.

Además, la berlina de hidrógeno lleva de serie un chasis con sistema AdaptiveDrive, que logra reducir el balanceo del coche mediante una regulación variable de la amortiguación. Con el sistema AdaptiveDrive, el BMW Hydrogen 7 resulta sumamente ágil y permite maniobrar con seguridad, también al trazar rápidamente curvas muy cerradas.



Fig. Nº 23: Vista del sistema de equilibrio Adaptive Drive

---

Fuente imagen 23:

[http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/x6/x6/2007/allfacts/engine/adaptive\\_drive.html](http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/x6/x6/2007/allfacts/engine/adaptive_drive.html)

Las células de combustible generan electricidad a partir del hidrógeno y oxígeno, los vehículos Hydrogen 7 tendrán una célula de combustible a bordo en lugar de una batería convencional, esta célula de combustible produce electricidad incluso cuando el vehículo no está en uso, esto es ideal para el medio ambiente sino también para muchas otras funciones que requieren de electricidad, la célula de combustible se aloja en el compartimiento del equipaje.

Este es el futuro del suministro de energía a bordo. Con esta tecnología las células de combustible pueden proporcionar energía suficiente a los motores eléctricos. Sin embargo BMW está optando por la dinámica y potencial que proporciona el motor de combustión interna.



Fig. N° 24: Vista de la ubicación de la célula de combustible en la parte posterior del vehículo

Junto con otros socios, BMW abrió la primera estación de servicio de hidrógeno totalmente automática y pública en el aeropuerto de Múnich en 1999. En el 2004 la estación de servicio de hidrógeno más grande del mundo empezó a funcionar en Berlín a través de la Clean Energy Partnership. En esta estación se está obteniendo importante experiencia en cuanto a la producción, entrega, almacenamiento y carga durante las operaciones diarias.





Fig. Nº 25: Vista de la estación de hidrogeno más grande del mundo

Por lo general se cree que el cambio en favor del uso de una fuente energética de alternativa implica necesariamente renunciar a dinamismo y confort. El BMW Hydrogen 7 demuestra lo contrario. Ni su exterior ni su comportamiento dinámico se asemejan a los vehículos con sistemas de propulsión alternativos presentados hasta ahora.

Ello significa que al renunciar a agentes energéticos fósiles no hay porqué renunciar al dinamismo y la potencia que distingue a los coches de la marca BMW. La movilidad del futuro y las vivencias que la conducción automovilística ofrece hoy, son plenamente compatibles. El concepto de propulsión del BMW Hydrogen 7 puede aplicarse perfectamente a otros modelos futuros. La conducción no perderá nada de su emotividad, pero será más limpia que nunca. <sup>33</sup>

## CAPITULO V

### APLICACIÓN DEL HIDROGENO EN EL MAZDA RX-8 RE

#### 5.1 MAZDA RX8 - RE



Fig. Nº 26: Mazda RX-8 RE

El Mazda RX-8 RE es un vehículo con motor rotativo (Wankel) de hidrógeno.

El Mazda RX-8 desde que salió al mercado, siempre tuvo algo diferente respecto a otros deportivos, ya que además de usar el motor rotativo Wankel, este introdujo una motorización a base de hidrógeno, en donde el mismo funciona quemando el hidrógeno, el RX-8 Wankel sigue estando a la vanguardia de la tecnología. Funciona tanto con gasolina normal como con hidrógeno, su cilindrada es de 1.308 C/C y es capaz de entregar 192 o 231 CV.<sup>34</sup>

---

Fuente imagen 26: [www.motorfull.com](http://www.motorfull.com)

(34) Fuente: <http://www.motorpasion.com/deportivos/el-mazda-rx-8-de-hidrogeno-llega-a-noruega>



Los automóviles afectan el ambiente de varias maneras, teniendo en cuenta varios factores como el área geográfica, características del vehículo y tipo de combustible.

Por esta razón, Mazda consideró necesario desarrollar un acercamiento que usa soluciones múltiples.

Dentro de este acercamiento, Mazda está llevando adelante una investigación en los campos como: el desarrollo de un motor limpio y muy eficaz, las tecnologías híbridas, el uso de biomasa y combustibles de hidrógeno.

A través de estos esfuerzos Mazda es el único productor en el mundo de vehículos equipados con motores rotativos y estos esfuerzos hoy en día están orientados a utilizar las características del motor rotativo para llevar nuevas iniciativas en el desarrollo de del motor rotativo de hidrogeno.<sup>35</sup>

La construcción del motor rotativo es muy satisfactoria con hidrogeno como combustible y comparado con motores similares este enciende rápidamente y elimina la combustión anormal.

Mazda presentó el primer motor rotativo de hidrogeno en el mundo en febrero del 2006, cuando empezó a comercializarse en el RX-8 Hidrógeno RE. Al usar hidrógeno como su combustible, el RX-8 Hidrógeno RE logra casi cero emisiones de CO2.

El RX-8 Hidrógeno RE, usa un sistema de dual-combustible, también puede movilizarse con gasolina y es por consiguiente muy práctico aunque hay actualmente sólo 10 estaciones de repostaje de hidrógeno en Japón.

Sin embargo en Mazda también se está investigando la tecnología de las células de combustible como tecnología del futuro.

---

(35) Fuente: <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2006/09/22/coches/1158915403.html>

Mazda ha querido acortar distancias entre el automóvil actual y el hidrógeno poniendo a punto una versión de su motor rotativo Renesis para que pueda funcionar indistintamente con hidrógeno y con gasolina normal.<sup>36</sup>



Fig. Nº 27: Estación de repostaje para el Mazda RX-8 RE.

Mazda se está enfocando en el desarrollo del RENESIS, el motor rotativo de hidrógeno como el camino hacia la realización de una sociedad más amistosa y sustentable mientras se mejora los vehículos, manteniendo el interés de las personas por los automóviles.

La puesta a punto del motor Renesis para que también pudiera funcionar con hidrógeno se concluyó en 2004 y en febrero del 2006, tras ser debidamente homologado, se entregaron las cuatro primeras unidades del RX8, que es el único modelo de Mazda que actualmente utiliza el motor rotativo, equipado con esta variante mecánica.

---

(36) Fuente: <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2006/09/22/coches/1158915403.html>

Fuente imagen 27: [www.motorfull.com](http://www.motorfull.com)

Mazda puede presumir de 15 años de experiencia en motores que funcionen con hidrógeno. Su primer proyecto en esta área fue hacer que el motor rotativo funcionara con hidrógeno, cosa que logró por primera vez en 1991, año en que presentó el prototipo HR-2.<sup>37</sup>

Después, aunque también ha experimentado con vehículos equipados de pila de combustible, sistemáticamente ha ido mejorando la versión de hidrógeno de los motores rotativos, emblemáticos para esta marca que, aunque no los desarrolló, logró hacerlos fiables. Por eso, cuando sacó el Renesis, su última evolución, tardó en prepararla para hacerla funcionar con hidrógeno, además de con gasolina.

Los motores de tipo rotativo se adaptan al empleo de carburantes alternativos como el hidrógeno mejor que los tradicionales de pistones alternativos por el hecho de que cada una de las cuatro fases de su funcionamiento admisión, compresión, explosión y escape tiene lugar en cámaras diferentes, a las que el rotor va empujando la mezcla combustible.

Esto hace que las temperaturas sean menores, eliminando el riesgo de la autodetonación que en caso del hidrógeno resulta fácil que se produzca dado su alto poder de ignición.

El hidrógeno llega en estado gaseoso a cada uno de los dos rotores de que se compone el motor Renesis, a través de dos inyectores electrónicamente controlados. El que sean dos los inyectores por rotor se debe a la necesidad de asegurar un suficiente llenado del motor pese a la baja densidad del hidrógeno.

Pese a ello, la potencia del motor cuando funciona con hidrógeno se ve drásticamente mermada. De 207 caballos que desarrolla con gasolina, desciende a 109.

---

(37) Fuente: <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2006/09/22/coches/1158915403.html>

Las modificaciones no son muchas. La principal es la instalación en el compartimiento de equipajes, que por tanto queda anulado, de una bombona con capacidad para 110 litros de hidrógeno comprimido.<sup>38</sup>

De momento, la presión a que se mantiene el hidrógeno comprimido es de 350 bares por ser ésta la presión a que se suministra en las estaciones de repostaje en Japón. Pero el subirla, dado que en Europa se comienza a ofrecer también a 700 bares, no les supondría ningún problema. No obstante, el compartimiento de equipajes queda separado por una mampara de seguridad.

Con la capacidad de este depósito de hidrógeno y la presión de 350 bares el coche tiene una autonomía de unos 100 kilómetros, a los que hay que añadir los 550 kilómetros que proporcionan los 61 litros del depósito de gasolina, inalterado respecto a la versión normal del RX8.

A lo largo de los 100 kilómetros que se recorren con hidrógeno, el coche no emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y sólo un mínimo óxido nítrico (NO<sub>x</sub>) aparentemente fácil de eliminar y de monóxido de carbono (CO).

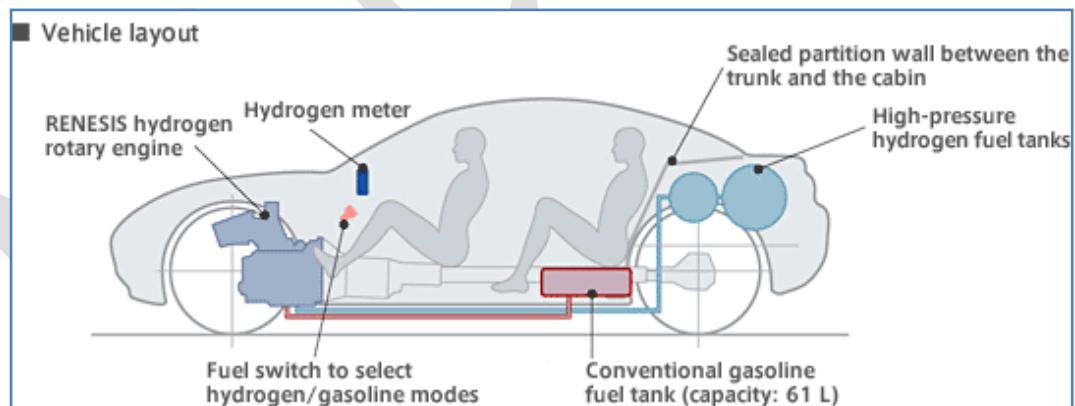


Fig. Nº 28: Vista de la ubicación de los depósitos de combustible (hidrógeno y gasolina).

---

(38) *Ibíd*em (37) pág. 67

Fuente imagen 28: [http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8\\_hre2.html](http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8_hre2.html)

Para no incrementar el precio del vehículo se ha renunciado a materiales de origen orgánico para los interiores, pese a que se habían utilizado en el primer prototipo. Lo único que sí se ha hecho ha sido montar neumáticos ecológicos, de baja resistencia a la rodadura

Otra modificación es la toma para llenar la bombona de hidrógeno comprimido que lleva el coche en el lado derecho, operación que resulta más lenta que la de repostar gasolina (cinco minutos). Todo esto supone un incremento de peso de 130 kilos.



Fig. Nº 29: Vista de la ubicación de la boquilla para el repostaje.

Otra modificación es el pulsador, a la derecha del conductor (el coche probado era japonés y por tanto tenía el volante a la derecha), justo debajo del reóstato de intensidad de iluminación de los instrumentos y el regulador de altura de las luces, que permite pasar del hidrógeno a la gasolina o viceversa.

El botón modo de selección del combustible se localiza al derecho del fondo del tablero de lado del chófer, y se ilumina en azul cuando está en modo de hidrógeno. <sup>39</sup>

---

(39) Fuente: [http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8\\_hre2.html](http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8_hre2.html)

Fuente imagen 29: <http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/hre2.html>



Fig. N° 30: Vista del indicador del modo hidrogeno en el tablero.

EL RENESIS que incorpora el deportivo Mazda RX-8 RE Hydrogen, utiliza un motor rotativo de última generación que posee una nueva cámara trocoidal (con mayor radio, mayor excentricidad y un alojamiento del rotor más estrecho) que mejora la eficiencia térmica, aumenta el par en todo el rango de revoluciones del motor e incrementa la cilindrada de cada rotor.

El nuevo propulsor también será el primer motor rotativo en utilizar la inyección directa, que hace que el calor latente de vaporización del combustible reduzca la temperatura de la mezcla de aire y combustible e incremente la eficiencia de carga.

La inyección directa reduce asimismo la adherencia del combustible a las paredes de la cámara, lo que mejora la eficiencia térmica del motor rotativo e incrementa el par. Además, el motor de nueva generación incorpora un alojamiento lateral de aluminio para reducir su peso total.

El RENESIS emplea inyección directa con control electrónico e inyectores de hidrogeno, este sistema es provisto de aire de un puerto lateral e inyecta hidrógeno directamente en la cámara de la admisión con un inyector de gas de hidrógeno electrónicamente controlado, instalado en la cima de la carcasa del rotor. Esta tecnología se ilustra en la siguiente figura logrando la combustión de hidrógeno.

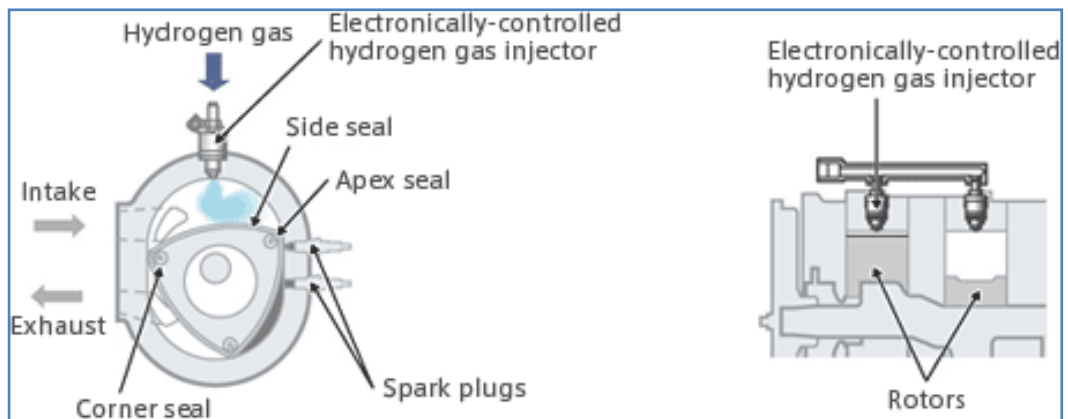


Fig. Nº 31: Esquema de funcionamiento del RENESIS.

### 5.1.1 – EL RENESIS SATISFACE LA COMBUSTIÓN DEL HIDROGENO

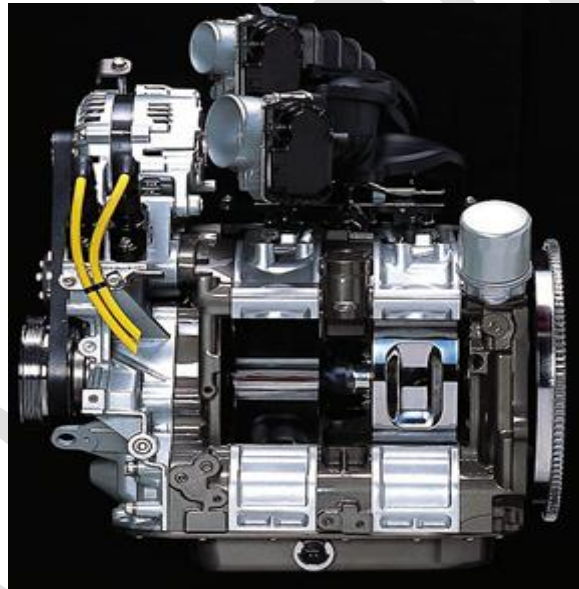


Fig. Nº32: Vista lateral del motor RENESIS

En la aplicación práctica de los motores de combustión de hidrógeno, la anulación de la ignición prematura es un gran problema. Esta ignición prematura es causada por que el combustible tiene contacto con las partes calientes del motor durante el proceso de admisión.

---

Fuente imagen 31: [http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8\\_hre2.html](http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8_hre2.html)

Fuente imagen 32: [www.mazda.com](http://www.mazda.com)



En los motores similares los procesos de admisión, compresión, combustión y escape tienen lugar en la misma localización esto quiere decir en el interior de los cilindros, como resultado la ignición las válvulas y demás elementos alcanzan una temperatura elevada debido al calor de la combustión y el proceso de admisión se ve complicado y existe el autoencendido. En contraste la estructura del RE no tiene válvulas de admisión y escape, y la temperatura de la cámara de admisión es baja y esta está separada de la cámara de combustión en donde si hay una temperatura alta, esto permite una buena combustión y ayuda a reducir el autoencendido.

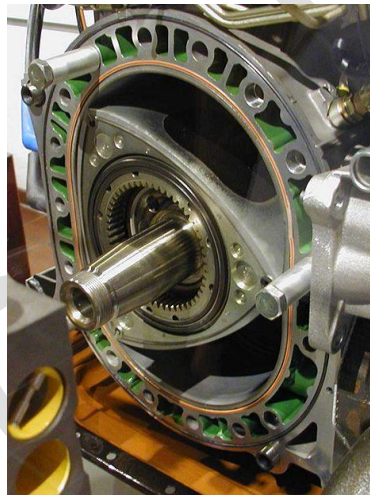


Fig. Nº 33: Vista en sección del Motor Rotativo Wankel

El RENESIS consigue una mejor mezcla de hidrógeno y aire, la duración del proceso de la succión es más largo que en artefactos similares. El RENESIS combina la inyección directa y la mezcla aire-combustible, usando un inyector que va instalado en la cañería de succión que habilita el uso combinado de inyección directa y la premezcla, dependiendo de las condiciones.

---

Fuente imagen 33

[:http://images.google.com/ec/imgres?imgurl=http://knowledgerush.com/wiki\\_image/3/35/Wankel-1.jpeg&imgrefurl=http://knowledgerush.com/kr/encyclopedia/Wankel\\_engine/&usq= thTi5bXIkWF12vomAyO2xnYQ6ko=&h=1110&w=868&sz=99&hl=es&start=1&um=1&tbnid=lpSh4vBaf2ENTM:&tbnh=150&tbnw=117&prev=/images%3Fq%3Dmotor%2Bwankel%26ndsp%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1](http://images.google.com/ec/imgres?imgurl=http://knowledgerush.com/wiki_image/3/35/Wankel-1.jpeg&imgrefurl=http://knowledgerush.com/kr/encyclopedia/Wankel_engine/&usq= thTi5bXIkWF12vomAyO2xnYQ6ko=&h=1110&w=868&sz=99&hl=es&start=1&um=1&tbnid=lpSh4vBaf2ENTM:&tbnh=150&tbnw=117&prev=/images%3Fq%3Dmotor%2Bwankel%26ndsp%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1)





Fig. N° 34: Vista del colector de admisión de aire y de los inyectores de gasolina.

Para reducir los óxidos de nitrógeno se adopta la quema de menos combustible y la recirculación de los gases de escape EGR, los NOx son principalmente reducidos por la combustión a bajas velocidades del motor, por la EGR y un catalizador de tres vías a velocidades altas del motor. El catalizador usado es el mismo que en los motores a gasolina.

El uso óptimo y apropiado de la combustión y la EGR satisface ambas metas de rendimiento alto y las emisiones bajas.

En este motor se utiliza un sistema de combustible dual, cuando el sistema corre sin el hidrógeno como combustible este automáticamente cambia al modo de gasolina como combustible. Para incrementar la conveniencia, el conductor puede también cambiar el modo de combustible de hidrógeno a gasolina solo con presionar un botón.<sup>40</sup>

---

Fuente imagen 34: <http://www.km77.com/00/mazda/rx-8/gra/206.asp>

(40) Fuente: <http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/hre2.html>

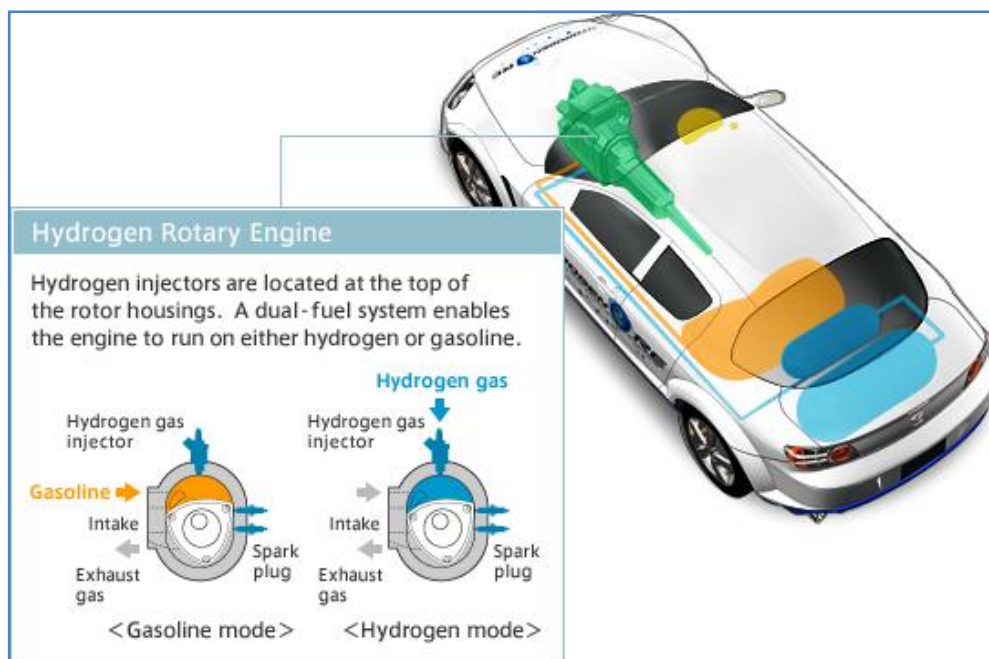


Fig. Nº 35: Vista del sistema Dual de alimentación

Un medidor del nivel de combustible (hidrógeno) es usado para indicar la precaución de falta de combustible, este va integrado dentro del panel de instrumentos en la línea de visión del conductor.



Fig. Nº 36: Vista del indicador de nivel de combustible (derecha)

Fuente imagen 35: [http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8\\_hre2.html](http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8_hre2.html)

Fuente imagen 36: <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2006/09/22/coches/1158915403.html>

Mientras el vehículo está en marcha un indicador siempre se ilumina indicando que combustible se está usando, existe un campaneó o alerta sonora que indica cuando el cambio de combustible se realiza.

Diseño, en el exterior es el mismo diseño basado en el Mazda RX-8, este puede ser fácilmente identificado como un vehículo elegante con motor rotativo de hidrógeno, Mazda apunta a dar una imagen limpia, el color básico del exterior es Mica de Perla Blanca con calcomanías azules. Ya que los tanques de hidrógeno se instalan en la parte posterior, la cabina es espaciosa como en el vehículo base y cómodamente entran cuatro ocupantes.

Dos tanques de hidrógeno son instalados en la parte posterior y están sometidos a una presión de 35 MPa, que es la norma nacional actual para las estaciones de repostaje de hidrógeno, la válvula para el repostaje de combustible (hidrógeno) está situada en el lado opuesto de la boquilla de repostaje de gasolina.

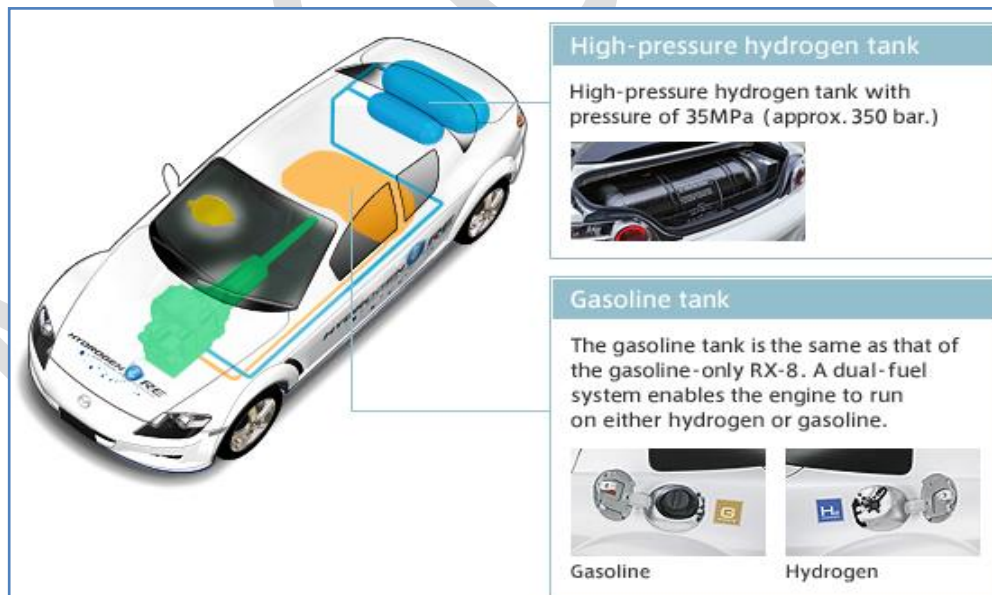


Fig. N° 37: Vista de la ubicación del tanque de H<sub>2</sub> y de las válvulas de repostaje.

El Mazda RX-8 RE de hidrógeno garantiza un alto grado de rendimiento:

- 80 KW / en modo hidrógeno y 154 KW en modo gasolina
- 140 Nm / en modo hidrógeno y 222 Nm en modo gasolina
- Velocidad máxima 143 mph
- Rango total de movilidad 640 Km (100 Km en modo hidrógeno, por encima de 540 km en modo gasolina) <sup>41</sup>

#### Mazda RX-8 Hydrogen RE en Europa

Mazda ya empezó a comercializar en Japón el RX-8 Hydrogen RE de motor rotativo, que puede usar tanto gasolina como hidrógeno. En primer momento sólo a compañías y entidades públicas japonesas. Pronto podrá verse ya en Europa en Stavanger (Noruega). Por esa razón, Mazda abrirá en esa ciudad una estación de suministro de hidrógeno.

Los fabricantes esperan a que el hidrógeno esté disponible, y los suministradores de combustible a que haya coches de hidrógeno. Así que Mazda ha preparado su propia estación, que formará parte de una red pública que ya prepara el Estado noruego. El primer objetivo es poder conducir el RX-8 de hidrógeno entre Stavanger y Oslo.

Un detalle que no hay que dejar pasar es el consumo de aceite en este tipo de motores Wankel, de todas formas no hay que confundirse y considerarlo un problema, en ciertos motores que no deberían consumir aceite (motores "normales") que consuman aceite indica un problema, en otros tipos de motores, incluso de pistones (Porsche) el consumo de un determinado nivel de aceite es normal, en estos motores Wankel es incluso más normal porque lubrica con pérdida, como una moto de dos tiempos.

---

(41) Fuente: [http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8\\_hre2.html](http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/rx8_hre2.html)

Si uno no considera problemático que un motor de dos tiempos lubrique con pérdida, tampoco debe considerarlo de un Wankel.



Fig. Nº 38: Vista del Mazda como el motor RENESIS.

Hoy en día existe una necesidad vital de responder al calentamiento global y otros problemas medioambientales que afectan al planeta. Con el gran crecimiento de la demanda de vehículos, los fabricantes como Mazda deben duplicar sus esfuerzos para lograr emisiones de gases de escape más limpios y reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> con una considerable reducción del consumo de combustible, a esto se suma que el mundo debe dejar su dependencia por los combustibles fósiles que sea dicho están en peligro de agotamiento.

El paso de lo sociedad C (carbón) a la sociedad H (hidrógeno)





Fig. Nº 39: Vista del prototipo de estación de hidrógeno.



Fig. Nº 40: Una sociedad basada en el hidrógeno.

El hidrógeno es una fuente limpia de energía que puede producirse de varios recursos, varios proyectos son apuntados de desarrollar una sociedad que usa hidrogeno como su fuente de energía alrededor del mundo.

- Extracción de energía reaccionando el hidrógeno con oxígeno esta reacción produce solo agua como subproducto.
- Extracción del hidrógeno purificando combustibles fósiles
- Producción por medio de energías renovables.

Con esto se puede crear una sociedad basada en el hidrógeno.

NO COPIAR

## CAPITULO VI

### APLICACIÓN DEL HIDROGENO EN EL HONDA FCX CLARITY

#### 6.1 HONDA FCX CLARITY



Fig. Nº 41: Vista del Honda FCX Clarity.

El Honda FCX Clarity no es el primer auto a hidrógeno, ni tampoco el primero que sale a la venta. Pero este si es el primer auto convencional, con 5 puertas y capacidad para 5 seres humanos, potenciado exclusivamente por hidrógeno, que saldrá a la venta de manera masiva.

El Clarity es una berlina de cuatro puertas de 4,84 metros de largo, pesa 1.625 kg y dispone de un motor eléctrico de 100 Kw (136 caballos). Lleva una pila de combustible situada entre los asientos delanteros, que pesa 67 kg y ocupa un volumen de 52 litros, y dos depósitos cilíndricos y presurizados entre los asientos traseros y el eje posterior en los que se almacenan 171 litros de hidrógeno, que equivalen a 5 kg de este gas. Con este combustible, el coche tiene una autonomía de 430 kilómetros.

El Clarity corre con hidrógeno puro, que lo combina con el oxígeno de la atmósfera para generar electricidad y mover las ruedas. Lo único que sale por su escape es agua pura. Obtiene un equivalente a 29 km/l con un tanque de hidrógeno de 5.000 psi lo que le da una autonomía de 430 kilómetros.

---

Fuente imagen 41: <http://automobiles.honda.com/spanish/fcx-clarity/>



Al desarrollar el FCX Clarity, Honda ha logrado el equilibrio perfecto entre la tecnología futurista y la pasión humana por un andar emocionante. El resultado se traduce en emisiones contaminantes nulas y una máxima experiencia de conducción.<sup>42</sup>

Incluso desde la parte trasera, este vehículo llama la atención. El capó, el baúl, las puertas y los guardafangos están fabricados con aluminio para alivianar el peso e incrementar la eficiencia.

Un porcentaje importante del material de los asientos del FCX Clarity se fabrica con productos derivados de plantas para expandir aún más su compromiso con la naturaleza. Los biomateriales revolucionarios de Honda brindan una reducción del 30% del CO2 en comparación con el poliéster convencional derivado de los productos del petróleo

Desde un comienzo, los ingenieros de Honda diseñaron este automóvil para que fuera muy divertido al conducir,

La aceleración en el FCX Clarity es suave y potente, para brindar una grandiosa experiencia de conducción en su totalidad.

La información recabada de múltiples generaciones de vehículos con célula de combustible de Honda rinde frutos hoy.

- Es 397 libras más liviano
- Tiene una relación potencia peso 120% menor.
- Tiene un rendimiento de combustible 20% superior
- Tiene un tren de potencia que es un 45% más compacto y un 10% más eficiente en el uso de la energía

---

(42) Fuente: <http://automobiles.honda.com/spanish/fcx-clarity/external.aspx>

No contaminante, primero lo fundamental, el vehículo con célula de combustible está impulsado por un motor eléctrico que funciona a electricidad generada por una pila de células de combustible propulsadas por hidrógeno.

El motor eléctrico E-Drive de Honda de mayor eficiencia permite conducir con la conciencia tranquila al saber que se está reduciendo la cantidad de CO<sub>2</sub> que se libera a la atmósfera. El motor eléctrico compacto es más silencioso y puede funcionar a más revoluciones por minuto, para una mayor eficiencia y velocidad.

La pila de células de combustible Vertical Flow (V-Flow) es una de las más grandes revoluciones de honda es esta área. Su nuevo diseño es más pequeño, lo que permite una mejor eficacia en el apilamiento. Con una pila más pequeña hay espacio para más personas. Este diseño ingenioso permite una mayor estabilidad de voltaje de células y reduce la cantidad de calor generado. La gravedad también ayuda a drenar el exceso de agua.



Fig. Nº 42: Vista de la Célula o Celda de Combustible.

El compacto y muy eficaz paquete de batería de iones de litio se usa como una fuente de energía complementaria que captura la energía que se pierde al desacelerar y frenar. La nueva batería de iones de litio brinda un rendimiento mejorado y una recuperación de energía en un paquete más compacto y liviano. La nueva batería es mucho más pequeña y liviana que el condensador de alta capacidad del FCX 2005, lo que permite ubicarlo debajo del asiento trasero. Brinda más espacio para los pasajeros y un baúl más grande.

En cuanto a la recarga de combustible, El FCX Clarity tiene una autonomía de hasta 280 millas sin tener que recargar combustible, cabe aclarar que la autonomía y el millaje varían de acuerdo al uso y al estado del vehículo.

Cuando realmente necesitas recargar combustible, es fácil y seguro hacerlo en alguna de las estaciones de recarga de combustible de hidrógeno. A diferencia de la gasolina que se mide en galones, el hidrógeno gaseoso como el que usa el FCX Clarity, se administra en kilogramos. Con el fin de hacer una comparación, un kilogramo equivale prácticamente a un galón de gasolina. La recarga toma apenas unos minutos.



Fig. N° 43: Vista de la válvula de entrada de combustible al depósito.

## La célula de combustible

La célula de combustible genera electricidad que puede utilizarse como una alternativa no contaminante a la gasolina. La pila de células de combustible del FCX Clarity convierte el hidrógeno y el oxígeno que están en el aire en electricidad.

Los vehículos que utilizan la tecnología de células de combustible de hidrógeno en lugar de gasolina son los más ecológicos porque sólo arrojan vapor de agua a la atmósfera. También pueden usar hidrógeno de fuentes de energía doméstica, lo cual nos permite ser menos dependientes del petróleo. Y utilizar vehículos de célula de combustible reduce considerablemente las emisiones de dióxido de carbono, y ayuda a retrasar el incremento de los gases que producen el efecto invernadero.

El FCX Clarity de Honda es más eficiente que los vehículos de gasolina convencionales para convertir la energía química en potencia. Este cuadro compara la eficiencia en energía global de un vehículo compacto de gasolina, un vehículo compacto eléctrico híbrido y el FCX Clarity.

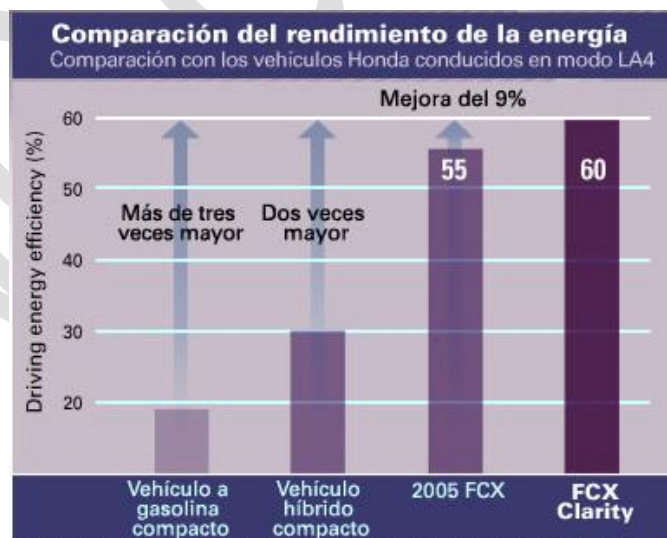


Fig. N° 44: Comparación de vehículos con el FCX Clarity.

En los vehículos impulsados por gasolina, el combustible (la gasolina) se utiliza para calentar el aire y hacer que se expanda, para que luego propulse los pistones del motor y el cigüeñal. Los vehículos de célula de combustible, por otro lado, son mucho más eficientes, porque la conversión de combustible (hidrógeno) en electricidad, utilizada para impulsar el motor de propulsión eléctrica, es un proceso electroquímico más directo. El agua es el producto derivado.<sup>43</sup>

Y dado que el FCX Clarity tiene muchos menos componentes en el sistema de tracción y no tiene pistones ni árbol de levas, se elimina la pérdida de energía de estos sistemas.

Honda ha sido pionero en sacar a la venta y poner a disposición de los clientes los primeros vehículos con célula de combustible de hidrógeno de plataforma exclusiva. La evolución del FCX Clarity es un verdadero testimonio del espíritu pionero de Honda; es una historia caracterizada por determinación, y por soluciones creativas y valientes para vencer obstáculos aparentemente insuperables. Y está todo impulsado por el sentido de responsabilidad de Honda de lograr fuentes de energía no contaminantes que permitan cielos más celestes para nuestros hijos.<sup>44</sup>

El FCX Clarity no es un vehículo experimental ni un prototipo, es un vehículo completo que se puede conducir con orgullo y seguridad. La seguridad era la prioridad de Honda cuando decidió lanzar el FCX Clarity a la carretera. Se había aprendido mucho con la exitosa presentación del Civic GX a gas natural, que tiene muchos atributos parecidos en el sistema de combustible. La investigación en temas de seguridad y los años de experiencia práctica en la carretera con el Civic GX han servido como un excelente terreno de prueba para lograr el conocimiento técnico especializado de Honda de los nuevos sistemas de célula de combustible.

---

(43) y (44) Fuente: <http://automobiles.honda.com/spanish/cx-clarity/fuel-cell-comparison.aspx>

Hay sensores en todo el vehículo para proporcionar advertencias en caso de una muy poco probable pérdida de hidrógeno. Si ocurre una pérdida, el sistema de ventilación se activa y un sistema automático cierra las válvulas principales de corte en el tanque de hidrógeno o las líneas de suministro, según sea necesario. Las líneas de alto voltaje están eléctricamente aisladas. En caso de una colisión, el controlador del sistema corta automáticamente el suministro de hidrógeno y la corriente eléctrica.

Honda ha tomado precauciones de seguridad con respecto a la seguridad de la recarga de combustible. Para evitar el flujo inverso del tanque, la entrada de carga de hidrógeno tiene una válvula de control integrada. El mecanismo de toma de combustible también está diseñado para evitar la contaminación por otros gases o la conexión de boquillas diseñadas para el hidrógeno almacenado en niveles de presión incompatibles.

Miremos los pasos numerados para conocer cada etapa del proceso.

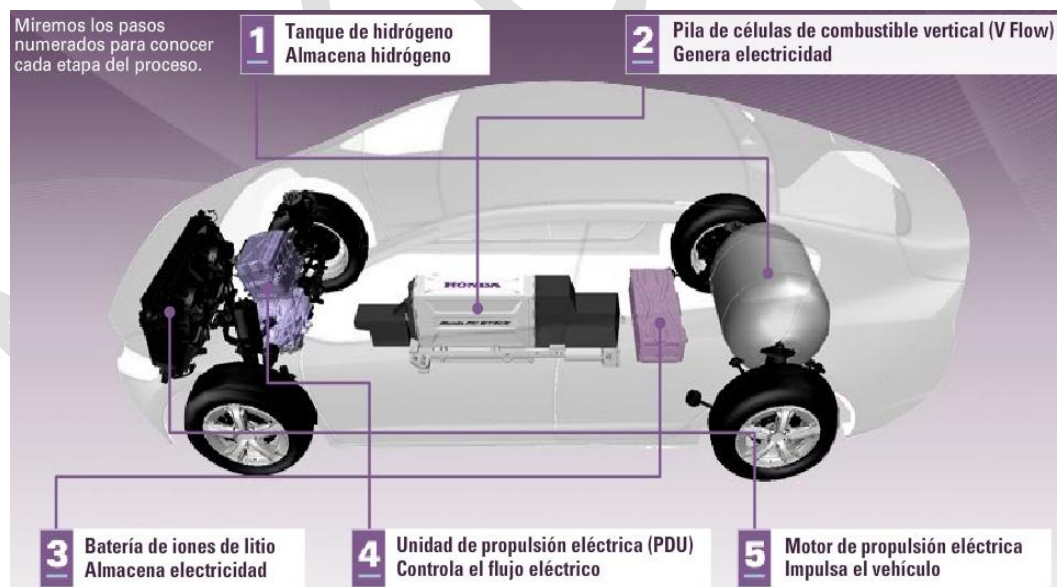


Fig. N°45: Vista de la disposición de los elementos principales del sistema.

## 1. Tanque de hidrógeno: almacena hidrogeno



Fig. Nº 46: Vista del tanque de almacenamiento de hidrógeno.

El FCX Clarity es tan limpio y silencioso porque funciona con electricidad en lugar de gasolina. Un tanque de hidrógeno comprimido almacena hidrógeno para generar electricidad. Gracias a los avances en el diseño, el FCX Clarity solo necesita un tanque de hidrógeno, lo que permite que la cabina sea más espaciosa.

## 2. Pila de células de combustible vertical (V-Flow). Genera electricidad



Fig. Nº 47: Vista de la célula de combustible.

La pila de células de combustible vertical genera electricidad para el funcionamiento del vehículo. Este nuevo diseño brinda avances sobresalientes en cuanto a peso, tamaño y rendimiento.



Los vehículos con célula de combustible de honda son líderes en la industria.

El diseño compacto permite una mejor distribución de los componentes del tren de potencia para una apariencia elegante de la cabina que no era posible en modelos anteriores.

### Cómo funciona

Una célula de combustible de hidrógeno produce electricidad para el vehículo. La célula de combustible combina el hidrógeno, que está almacenado en un tanque de combustible en el vehículo, con oxígeno del aire para generar electricidad. La electricidad luego impulsa el motor eléctrico, que a su vez mueve las ruedas delanteras. El calor y el vapor de agua son los únicos productos derivados.

La célula de combustible se compone de una delgada membrana sostenida por dos capas de electrodos entre dos separadores. Varios cientos de estas capas de células están conectadas en serie.

- a) El combustible de hidrógeno desemboca en el ánodo de la célula de combustible. Con la ayuda de un catalizador, las moléculas de hidrógeno se separan en electrones y protones.
- b) Los electrones son conducidos por un circuito para producir electricidad.
- c) Los protones pasan por la membrana polímera de electrolito.
- d) El oxígeno (del aire) entra en el cátodo y se combina con los electrodos y protones para formar agua.
- e) El vapor de agua y el calor son liberados como productos derivados de esta reacción.<sup>45</sup>

---

(45) Fuente: <http://automobiles.honda.com/spanish/fcx-clarity/how-fcx-works.aspx>



### 3. Batería de iones de litio: almacena electricidad.

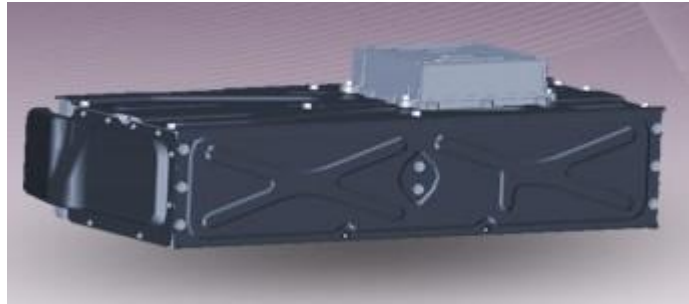


Fig. Nº 48: Vista de la batería de iones de litio.

La batería de iones de litio, compacta y de alto rendimiento, facilita el funcionamiento del vehículo por medio de la célula de combustible. Además, proporciona un suplemento poderoso para el rendimiento de la pila de células de combustible.

Aumenta la capacidad de energía, almacena con gran eficiencia la energía generada por el sistema de frenos regenerativo.

### 4. Unidad de propulsión de energía (PDU). Controla el flujo eléctrico



Fig. Nº 49: Vista de la unidad de propulsión de energía.

La unidad de propulsión eléctrica controla el flujo de electricidad, es compacta, de alto rendimiento, tiene una configuración unificada con caja de velocidades y el motor axial.

## 5. Motor de propulsión eléctrica: impulsa el vehículo



Fig. Nº 50: Vista del motor eléctrico axial.

El motor de propulsión eléctrica es potente y silencioso, este otorga al vehículo un andar eficiente y más suave. El principal beneficio del motor de próxima generación es su alta eficiencia con potencia de salida y un nivel de ruido bajo.

Honda también está trabajando hacia un futuro que permita recargar combustible directamente en el garaje domestico a través de una estación de energía en el hogar.

En Honda se está pensando en acoplar una estación generadora de hidrogeno en cada casa, el proyecto se denomina Home Energy Station.

La Home Energy Station genera hidrógeno a partir de gas natural y está diseñada para proporcionar calefacción y electricidad de uso doméstico y para suministrar combustible a un vehículo de célula de combustible de hidrógeno.

Aumentar el número de estaciones que brinden recarga de combustible de hidrogeno es uno de los últimos obstáculos que aún quedan para generalizar el uso de vehículos con célula de combustible.

Honda trabaja conjuntamente con su socio tecnológico Plug Power, Inc. Para reducir el tamaño y aumentar la comodidad de la Home Energy Station en cada nueva generación.

Honda cree que en una sociedad futura que utilice hidrógeno como energía.



Fig. Nº 51: Vista de la perspectiva de Honda para generar hidrógeno en el hogar.

## **CAPITULO VII**

### **VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL USO DEL HIDRÓGENO**

#### **7.1 OPINIÓN PERSONAL DEL AUTOR**

El hidrógeno, como modelo energético, se presenta como uno de los candidatos ideales con múltiples aplicaciones: empleo en equipos de combustión para generación combinada de calor y electricidad, utilización en pilas de combustible para propulsión eléctrica en el transporte, generación de electricidad. Además constituye una esperanza hacia la consecución de una economía energética sostenida.

No debemos olvidar que ni el hidrógeno ni los otros combustibles mencionados crecen en los árboles (aunque, se podrían generar a partir de biomasa). El hidrógeno no es un combustible que exista como tal en la naturaleza.

No obstante, se puede obtener fácilmente a partir del agua, eso sí, con un aporte de energía externo (energía eléctrica o solar). El hidrógeno es por tanto un combustible de los que llamamos "secundarios", un vector energético, y como tal, será tan verde o ecológico como la energía que se haya empleado en generarlo.

En otras palabras, el hidrógeno generado con electricidad de una central térmica podría servir para reducir la contaminación local en áreas urbanas pero no para reducir la contaminación global. Tampoco se podría considerar como parte de un proceso energético eficaz.

La utilización de hidrógeno en el motor de combustión interna ya sea con el motor de cuatro cilindros o con el motor rotativo, es buena en lo referente al rendimiento, pero no es una energía totalmente limpia porque

si se quema el hidrógeno en una cámara de combustión, este reacciona principalmente con el aire y el aceite de las paredes del cilindro o carcasa, esto quiere decir que en esta combustión tendremos óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otros contaminantes.

Las pilas de combustible serán por tanto piezas clave pero integradas en un nuevo esquema energético que debe incluir además generación a partir de energías renovables en una sociedad que debe ir controlando, por su propio bien, su adicción al petróleo y otros combustibles fósiles.

Estas son necesidades que empiezan tímidamente a hacerse realidad a nivel mundial, aunque sea a nivel experimental. Así por ejemplo, está previsto que para el año 2012 circulen en las calles de Madrid y Barcelona tres o cuatro autobuses equipados con pilas de combustible poliméricas, que consumirán hidrógeno. El desarrollo de este proyecto, del que se beneficiarán también los pulmones y los oídos de los ciudadanos

Para desarrollar un vehículo con tecnología de hidrógeno se debe trabajar en formas para garantizar que los vehículos que se desarrollen para movilizarse con esta tecnología cumplan con los siguientes requerimientos:

- Seguro para las personas
- Operable en climas helados
- Capaz de tener una autonomía óptima antes de la recarga de combustible
- Fácil de recargar
- Deportivo y divertido al conducir
- Espacioso y confortable

## 7.2 VENTAJAS DE ESTOS VEHÍCULOS

- Su ahorro energético.
- Se trata de una energía renovable.
- Su consumo inferior a los motores convencionales.
- Producen menos ruido y vibraciones.
- Su eficiencia es superior.
- La tecnología posee fiabilidad y duración.

La utilización del hidrógeno como carburante presenta grandes ventajas: es una fuente abundante y tras su combustión solamente se produce calor, vapor de agua, algunos elementos residuales de la combustión del aceite, y algunos residuos de la combustión del nitrógeno.

Pero aún así estos residuos no se comparan con los elevados porcentajes que se presentan en un motor de combustión interna ya sea a gasolina o a diesel. Consecuentemente, estaríamos ante un sistema limpio y silencioso.

El hidrógeno es altamente volátil y esto ayuda a la combustión, este elemento es muy abundante en la naturaleza.

En relación a otros combustibles el hidrógeno presenta estas ventajas:

- Alta densidad energética en base másica. Bajo peso de combustible en los tanques de almacenamiento
- Alta disponibilidad. Se puede producir a partir de distintas materias primas
- Elemento estable y no corrosivo
- Combustible "limpio". La combustión del hidrógeno con oxígeno sólo produce agua (aunque con determinadas relaciones  $H_2$ /aire se producen óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ))

Las pilas de membrana polimérica (PEM) son las más adecuadas para cumplir estos requerimientos. Con una baja temperatura de funcionamiento, alrededor de 80 °C, las PEM pueden alcanzar rápidamente la temperatura operativa.

Estas pilas pueden ofrecer una eficacia superior al 60 % comparada con el 25 % que se consigue con los motores de combustión interna. Investigaciones efectuadas en el (Pembina Institute) indican que los vehículos que emplean metanol como combustible pueden alcanzar eficiencias de 1.76 veces las de vehículos impulsados por un motor de combustión de gasolina. Las pilas de combustible PEM tienen además la mayor densidad energética de entre todas las actuales pilas de combustible, un factor crucial a la hora de considerar el diseño de vehículos.

Además, el electrolito polimérico sólido ayuda para minimizar la corrosión y evitar problemas de gestión. Un posible inconveniente es la calidad del combustible. Para evitar el envenenamiento catalítico a esta baja temperatura de funcionamiento, las pilas PEM necesitan hidrógeno no contaminado como combustible.<sup>46</sup>

La mayoría de los fabricantes de automóviles ven las pilas PEM como sucesoras de los motores de combustión interna. General Motors, Ford, DaimlerChrysler, Toyota, Honda entre otros, disponen de prototipos con esta tecnología. Los ensayos en carretera han sido positivos empleando distintos vehículos y lugares.

Se han realizado con éxito ensayos en autobuses impulsados con pilas PEM en Vancouver y Chicago. Se están llevando a cabo experiencias similares en distintas ciudades de Alemania junto con otras diez ciudades europeas incluida Madrid.<sup>47</sup>

---

46 y 47 Fuente: <http://www.tecnociencia.es/especiales/hidrogeno/aplicaciones.htm>

Reducción del peligro medioambiental inherente de las industrias extractivas. Las pilas de combustible no producen el deterioro ambiental asociado a la extracción de combustibles fósiles de la Tierra cuando el hidrógeno es producido a partir de fuentes renovables. Si se produce un escape de hidrógeno, éste se evaporará de forma instantánea debido a que es más ligero que el aire.

Funcionamiento silencioso. Al carecer de partes móviles esta tecnología no produce tanto ruido como los motores de combustión interna (diesel). Es por ello que podrían usarse pilas de combustible en recintos urbanos.

Flexibilidad de emplazamiento (ubicación). Las celdas de combustible, con su operatividad sin ruidos, emisión cero y requerimientos mínimos, pueden ser instaladas en multitud de lugares, de interior o exterior, residenciales, industriales o comerciales.

Simplicidad del dispositivo. Las pilas de combustible carecen de partes móviles. La falta de movimiento permite un diseño más simple, una mayor fiabilidad y operatividad y un sistema que es menos propenso a estropearse.

Un sistema de celdas de combustible residencial, permite una independencia a sus habitantes respecto a la red de suministro eléctrico, la cual puede tener irregularidades. Una de éstas, serían los cortes de corriente que pueden causar daños importantes a sistemas informáticos, a equipamientos electrónicos y en general a la calidad de vida de las personas.

Las celdas de combustible ofrecen una reducción en el peso y en el tamaño para la misma cantidad de energía disponible respecto a las baterías tradicionales.



Para incrementar la energía en una pila de combustible, simplemente debe introducirse más cantidad de combustible en el dispositivo.

Para aumentar la energía de una batería, se deben adicionar más baterías viéndose incrementado el coste, el peso y la complejidad del sistema. Una pila de combustible nunca se agota, mientras haya combustible continúa produciendo electricidad.

Cuando una batería se agota debe experimentar un largo e inconveniente tiempo de recarga para reemplazar la electricidad gastada. Dependiendo de donde se genere la electricidad, la contaminación, los costes y los problemas en cuanto a la eficiencia se transfieren desde el emplazamiento de las baterías a la planta generadora central

El rápido consumo de los combustibles fósiles que la sociedad moderna requiere para el estado de vida actual está acabando con un recurso limitado. La utilización del hidrógeno, el elemento más abundante en el Universo, es ilimitada. La transición hacia una economía del hidrógeno es posible y evitaría los problemas asociados al agotamiento del petróleo.

Esta sería una solución para paliar el dramático legado que ha sido dejado en nuestro planeta debido a las perforaciones petrolíferas, el transporte, el refinado y los productos de desecho asociados.

### **7.3 DESVENTAJAS DE ESTOS VEHÍCULOS**

- El coste de la pila de combustible es muy elevado.
- También son muy pesadas y voluminosas.
- Elevado gasto energético para licuar el hidrógeno

En relación a otros combustibles el hidrógeno presenta estas desventajas:

- Baja densidad energética en base volumétrica. Se requieren tanques contenedores grandes y pesados
- Transporte y almacenamiento costosos y de implementación compleja
- Combustible secundario: se debe consumir energía para conseguirlo a partir de las distintas materias primas (agua, biomasa, combustibles fósiles) ya que no existe en estado elemental.

En contrapartida, es un gas altamente inflamable con lo cual supondría que para su utilización habría que rediseñar los vehículos; además sería costosa la realización de infraestructuras para su distribución.

Actualmente, el problema principal para impulsar esta tecnología en el sector del transporte reside en el elevado coste de fabricación, la calidad del combustible y el tamaño de la unidad. Recientemente han surgido opiniones contrarias a la utilización del hidrógeno. John Eiler y Tracey Tromp, expertos del Instituto Tecnológico de California, advirtieron en la revista Science acerca de las consecuencias que conllevaría la generalización de esta tecnología.

El empleo del hidrógeno en masa liberaría millones de toneladas de este gas, debido a los escapes que se producirían en contenedores, vehículos y canalizaciones. En la estratosfera se produciría vapor de agua extra, lo cual daría lugar a un descenso térmico. Este enfriamiento, podría acelerar la destrucción de la capa de ozono aproximadamente en un 10%.<sup>48</sup>

En los últimos años han surgido diversas iniciativas para el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno.

---

48 Fuente: <http://www.tecnociencia.es/especiales/hidrogeno/introduccion.htm>

Con este fin, el Departamento de Energía de los Estados Unidos ha destinado más de 1.700 millones de euros para los próximos cinco años y la Unión Europea, dentro del VI Programa Marco (2003-2006), unos 275 millones de euros. Los comisarios Busquin y Loyola de Palacio constituyeron en 2002 el Grupo de Alto Nivel sobre Hidrógeno y Pilas de Combustible, que se fija como principal objetivo alcanzar la cuota del cinco por ciento en combustibles de hidrógeno en el transporte para el año 2020.

## ENCUESTA PUBLICO GENERAL

1.- ¿Sabe usted que es el hidrógeno?

---

---

---

---

2.- ¿Cree usted que un vehículo pueda funcionar con hidrógeno como combustible y no con gasolina o diesel?

---

---

---

---

3.- ¿Cree usted que sea necesario buscar combustibles alternativos renovables para dejar de usar los derivados de petróleo?

---

---

---

---

4.- ¿Cree usted que exista un vehículo que expulse solo vapor de agua por el tubo de escape?

---

---

---

---

5.- Sabiendo que, hoy en día existen fabricas de vehículos que han invertido mucho dinero produciendo vehículos impulsados por hidrógeno como combustible, y que se está investigando nuevas formas de utilizar el hidrogeno como combustible. ¿Cree usted que se debe continuar con estas investigaciones y producir más vehículos que utilicen esta nueva tecnología y dejar de lado los derivados de petróleo?

---

---

---

---

## ENTREVISTA

1.- ¿Sabe usted que es el hidrógeno?

---

---

---

2.- ¿Cree usted que el hidrógeno sea capaz de impulsar a los vehículos en el futuro?

---

---

---

3.- ¿Qué cree que se necesite para tener en el Ecuador este tipo de vehículos?

---

---

---

4.- ¿Sabe usted que tipo de almacenamiento utilizan estos vehículos impulsados con hidrógeno como combustible?

---

---

---

5.- ¿Este vehículo presentaría problemas en su funcionamiento debido a nuestra geografía, refiriéndonos a la altura sobre el nivel del mar?

---

---

---

6.- ¿Qué futuro tiene este vehículo en el Ecuador?

---

---

---

## RECURSOS

### HUMANOS

- Estudiantes.
- Docentes
- Autoridades
- Asesores
- Especialistas

### ECONÓMICOS

Rubro/Item	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Implementación De la Biblioteca Virtual. Gasto Individual: <ul style="list-style-type: none"><li>• Muebles</li><li>• Instalación Eléctrica</li><li>• Implementación de red inalámbrica</li><li>• Mantenimiento de computadoras</li></ul>	1	\$ 400	\$ 400
Costo de la Investigación Gastos: <ul style="list-style-type: none"><li>• Hojas</li><li>• Impresiones</li><li>• Anillados</li><li>• Copias</li><li>• Scanner</li><li>• Internet</li></ul>	1	\$ 250	\$ 250
Total			\$ 600

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Control de emisiones vehiculares en el D.M.Q. /fundación natura, municipio metropolitano de quito /auspicio: cosude s/f
- Javier Hernández-Obregón, Almacenamiento del hidrogeno en materiales moleculares, s/f
- European Commission, European funded research on Hydrogen and Fuel Cells, 10 de Octubre del 2007
- European Commission, *HyWAYS* the European Hydrogen Roadmap, 2008
- European Commission, European Fuel Cell and Hydrogen Projects 2002-2006
- European Commission, *ENERGY FUTURES* The role of research and technological development , 2006
- European Commission, A vision for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants, 2006
- European Commission, Biofuels in the European Union, 2006
- Scientific Technical Committee, European perspective on Nuclear Fission, 2004
- [http://europa.eu/index\\_es.htm](http://europa.eu/index_es.htm)
- <http://www.appice.es/app.php>
- [http://ec.europa.eu/atoz\\_es.htm](http://ec.europa.eu/atoz_es.htm)
- <http://www.worldwatch.org/>
- <http://www.ieahia.org/>
- [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/hydro\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/hydro_es.pdf)
- [http://www.mrn.gouv.qc.ca/english/publications/energy/path\\_future.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/english/publications/energy/path_future.pdf)
- <http://www.h2euro.org/>
- <http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/A4-157.pdf>
- [http://www.nrel.gov/hydrogen/proj\\_fuelcells.html](http://www.nrel.gov/hydrogen/proj_fuelcells.html)
- <http://www.netinform.net/h2/Aktuelles.aspx>

- <http://www.ciemat.es/portal.do?IDM=7&NM=2>
- <http://revista.consumer.es/web/es/20030501/medioambiente/>
- <http://revista.consumer.es/web/es/20030501/pdf/medioambiente.pdf>
- <http://auto.howstuffworks.com/fuel-cell1.htm>
- [http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc\\_types.html](http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html)
- <http://www.fuelcelltoday.com/fuel-cell-info;jsessionid=A44C512E51B59D770E4CB05E99F1E5CD>
- <http://www.fuelcellstore.com/en/pc/viewCategories.asp?idCategory=137>
- [http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2003/18mar\\_fuelcell.htm](http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2003/18mar_fuelcell.htm)
- <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula\\_de\\_combustible](http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_de_combustible)
- <http://www.cienciateca.com/>
- <http://elhuyar-blogak.org/teknoskopioa/motor>
- <http://www.motordehidrogeno.net/>



## CONCLUSIONES

El hidrógeno es un elemento muy abundante en el universo, pero no está solo, generalmente se lo encuentra combinado con otros elementos por su característica amigable para formar compuestos químicos, este elemento es un componente esencial para la vida puesto que la unión de éste con el oxígeno forma el agua que es el líquido vital para la humanidad. Durante décadas el hidrógeno ha sido utilizado para el desarrollo de la humanidad por su variedad de ventajas y aplicaciones, ya sea formando parte de compuestos como el agua o los hidrocarburos principalmente. El hidrógeno como combustible es idóneo para el uso en los vehículos el problema está en la obtención limpia y el almacenamiento adecuado para estos vehículos, ya que en la industria el hidrógeno se almacena en tanques gruesos y protegidos contra el calor en cuartos especialmente diseñados para eso.

De acuerdo a la disponibilidad limitada del petróleo es necesario buscar alternativas de energías renovables y limpias, sobretodo en nuestra ciudad ya que la combustión de derivados de petróleo además de ser incompleta, es deficiente debido a la altura de Quito (2850 m. sobre el nivel del mar), a esto se agrega que los efectos en la salud de los seres vivos son mortales, es por esto que se hace urgente la utilización de energías limpias como el hidrógeno, ya que la combustión de hidrógeno no emite gases nocivos a la atmósfera. Es responsabilidad de los gobiernos de los diferentes países buscar la forma de sustituir la dependencia del petróleo ya que este recurso no es eterno y algún día se agotará.

Durante los años pasados marcas como BMW, Mazda, Honda, entre otros han investigado los posibles usos del hidrógeno como combustible, ya sea quemándolo en una cámara de combustión, como por ejemplo en un motor (Otto) de pistones o en un motor rotativo (Wankel). Otra forma de

aprovechar el hidrógeno es haciéndolo reaccionar químicamente con el oxígeno en una celda de combustible y así generar electricidad.

La marca alemana fabricante de vehículos BMW ha desarrollado un vehículo llamado Hydrogen 7, con un motor de combustión interna (Otto) de 12 cilindros dispuestos en V que funciona con hidrógeno en estado líquido y gasolina, electrónicamente el conductor decide con que combustible rodar, este vehículo ya está en circulación y para su repostaje se ha construido una estación de hidrógeno en Alemania. Este motor diseñado por BMW quema el hidrógeno en una cámara de combustión, en esta combustión intervienen el aire, el hidrógeno más una poderosa chispa eléctrica entregada por una bujía, esto quiere decir que el producto de la combustión es  $H_2O$  (agua) más los residuos de aceite que están en la pared del cilindro y los residuos del nitrógeno presente en el aire. Entonces este vehículo contamina mucho menos que un motor convencional de gasolina o diesel.

La marca japonesa constructora de vehículos Mazda ha desarrollado un vehículo llamado RX8-RE, que se moviliza impulsado con un motor rotativo (Wankel), que funciona con hidrógeno en estado gaseoso y gasolina, en este vehículo el conductor decide con que combustible rodar, este vehículo ya está en circulación y para esto Mazda ha construido una estación de repostaje de hidrógeno para sus vehículos. Este motor rotativo quema el hidrógeno en una cámara de combustión en donde intervienen para dicha combustión el aire, el hidrógeno y una poderosa chispa eléctrica proporcionada por una bujía, este tipo de motores por su construcción y diseño quema aceite es decir que este motor es de consumo de aceite, esto quiere decir que el producto de la combustión del hidrógeno no es totalmente limpia, pero en cualquier caso no se compara con las emisiones de los motores a gasolina.

La marca Japonesa Honda ha desarrollado un vehículo llamado FCX Clarity, que se moviliza usando un motor eléctrico que es alimentado con electricidad generada por una célula de combustible, este vehículo funciona únicamente con hidrógeno. Este vehículo tiene en su interior una célula de combustible que utiliza el hidrogeno en estado gaseoso para reaccione químicamente con el oxigeno y así genere electricidad, esta célula de combustible generará electricidad siempre que este alimentada con hidrogeno. Al no existir combustión no existen emisiones de gases residuales, esto quiere decir que el único residuo que emite este vehículo es vapor de agua, por lo tanto es la mejor opción en cuanto a reducción de gases nocivos para la humanidad.

El hidrogeno tiene un buen futuro en la industria automotriz ya que las ventajas que presenta este elemento como combustible son alentadoras pero existe el inconveniente de cómo obtener el hidrógeno sin utilizar derivados de petróleo como energía para la obtención puesto que el hidrógeno será tan limpio como la energía que se emplee para producirlo. Otro gran inconveniente es el tipo de almacenamiento del hidrógeno ya que este elemento necesita enfriarse a  $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$  para hacerse líquido o si no comprimirse a 700 bar de presión para que pueda ser almacenado, La infraestructura también es un inconveniente ya que para usar el hidrógeno como combustible es necesario cambiar totalmente el modelo energético conocido hasta ahora.

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda incentivar el conocimiento del hidrogeno ya que el hidrogeno es muy útil para el desarrollo de la humanidad, pero también se debe conocer acerca de los peligros que puede ocasionar la mala manipulación del hidrógeno.

Es recomendable que las personas inmersas en la industria realicen investigaciones profundas en nuestro país, para utilizar energías renovables, en el Ecuador existen varias formas de utilizar los recursos naturales para generar energía pura y renovable. Para frenar las emisiones contaminantes y así evitar el temido calentamiento global.

Se recomienda comprender el funcionamiento de los motores Otto, Wankel, eléctrico, para poder entender como trabajan estos motores con hidrógeno como combustible.

Es recomendable que las demás empresas constructoras de vehículos coloquen a los prototipos con hidrogeno como combustible que se han desarrollado en un nivel comercial, para que las empresas proveedoras de combustible se preocupen de desarrollar tecnologías más baratas para el repostaje de estos vehículos.

Es recomendable que la empresa constructora del Hydrogen serie 7, impulse la utilización de estos vehículos para que se puedan conocer los puntos débiles de estos vehículos y fortalecerlos.

Se recomienda que se realicen pruebas y se desarrolle un método para que el motor rotativo no consuma aceite en las proporciones en las que lo hace ahora, para que este tipo de vehículos puedan ser de gran utilidad funcionando con hidrogeno, ya que los vehículos que funcionan con motor rotativo Wankel son silenciosos y de altas revoluciones.

Se recomienda desarrollar la infraestructura necesaria para proveer de hidrógeno a los vehículos que se están produciendo hoy en día para impulsar a los vehículos.

Se recomienda realizar una investigación orientada al desarrollo de alternativas de producción de hidrogeno totalmente limpias ya que este

tipo de tecnología tiene una gran proyección a futuro por la abundancia de este elemento y porque después de ser utilizado ya sea en combustión como en reacción química se obtiene el mismo elemento y no combinaciones nocivas como el CO<sub>2</sub>

NO COPIAR

## **HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS**

**ELABORADO POR**

---

Carlos Miguel Estacio Ávila

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Luis Martínez

**SECRETARIO/A ACADÉMICO/A**

---

Lugar y fecha: Quito, Junio de 2009