

ENERGÍAS ALTERNATIVAS

LEÓN DARÍO FERNÁNDEZ BETANCUR¹

Resumen

Los combustibles los ha utilizado el hombre desde que encontró la manera de controlar, producir y utilizar el fuego. Desde esas remotas épocas, ha encontrado otros elementos, siempre buscando más eficiencia en los procesos que requieren del calor y la potencia que se pueden obtener por medio de la combustión. En este proceso de mejoramiento, ha empleado una gran cantidad de combustibles fósiles, pasando por la madera, el carbón, el petróleo, todos ellos perjudiciales para el medio ambiente y la salud de los seres vivos. La sociedad, al ver amenazada su integridad, a mediados del siglo pasado (siglo XX) empieza a oponerse al consumo desenfrenado de estos combustibles, obligando a los científicos a investigar en busca de opciones menos perjudiciales. Como consecuencia, en la actualidad se trabaja en la implementación de soluciones como las celdas de combustión, cuyo residuo es agua pura.

Palabras clave

Combustible, Biodiesel, Celdas de combustión.

Abstract

The fuels have been used for the man since it found the way to control, to produce and to use the fire. From those remote times, it has found other elements, always looking for more efficiency in

1 Ingeniero Mecánico, especialista en Docencia Universitaria y en Gestión Energética Industrial, 2º año de doctorado en la Universidad del País Vasco en Estudios sobre Ciencia y Tecnología. Profesor de tiempo completo del ITM.

the processes that they require of the heat and the power that can be obtained by means of the combustion. In this process of improvement, it has used a great amount of fossil fuels, happening through the wood, the coal, petroleum, all it detrimental for the environment and the health of the alive beings. The society, when seeing threatened its integrity, begins to be against to the wild consumption of these fuels, forcing the scientists to investigate in search of less detrimental options. Like consequence, at the present time one works in the implementation of solutions like the cells of combustion, whose remainder is pure water.

Key words

Fuel, Biodiesel, Cells of combustion.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo se ubica en el marco del proyecto de investigación denominado Bioproductos y sus Derivados que ha liderado la doctora Veselina Pashova² como parte importante dentro de dicha investigación. Conocer el desarrollo que han tenido los combustibles en las diferentes épocas históricas, el estado actual y las tendencias, direcciona en buena medida las actividades de la búsqueda de los objetivos propuestos. Con este propósito en mente, se ha escrito este artículo, que presenta aspectos importantes de la influencia de la ciencia y la tecnología en el campo de los combustibles. Se hace énfasis en las celdas de combustión como principal opción energética actual para reemplazar los combustibles fósiles que tanto afectan el bienestar de la humanidad, la calidad de vida y su misma permanencia en el planeta, planteando también las posibilidades y tropiezos que tienen los biocombustibles para competir con las mencionadas celdas de combustión como alternativas limpias y eficientes como fuentes energéticas.

Desarrollo de los combustibles

Desde que el hombre aprendió a dominar el fuego, necesitó de combustible para generarlo y mantenerlo vivo. El material de que disponía en el momento para el efecto, eran las ramas y los troncos de los árboles, que utilizaba como leña. Más adelante, descubrió que la madera se podía convertir en un combustible más eficiente por medio del mismo fuego: el carbón de leña, con el cual pudo trabajar el hierro en sus inicios, unos 1500 años a. C.

2 Doctorado en Ingeniería Química (2002) Universidad Rovira i Virgili, URV, España.
Especialización en Gestión Industrial (1996), Universidad de Ingeniería Química y Metalurgia, HTMU, Bulgaria.
Pregrado/Universitario en Ciencia de Los Materiales (1996), Universidad de Ingeniería Química y Metalurgia, HTMU, Bulgaria.

Con muy pocos adelantos en materia de combustibles, transcurrieron miles de años. Además de la leña, se utilizaba, ocasionalmente, petróleo que brotaba de algunos yacimientos.

Durante la Edad Media, época que marca el inicio del desarrollo técnico, se empezaron a utilizar fuentes de energía diferentes al fuego. En este sentido, Aquiles Gay (1997) nos trae el siguiente apunte:

La Edad Media se caracteriza por ser el período de gestación de las grandes transformaciones que condujeron al mundo tecnológico de hoy [...] en esa época se inicia el uso sistemático de fuentes de energía alternativas para reemplazar la humana y la de los animales³.

Como consecuencia de la reducción de la esclavitud, la mano de obra utilizada como fuerza motriz estaba escaseando. Aparecen entonces los molinos de agua y de viento como fuentes energéticas en su reemplazo.

Viene después el carbón de piedra, inicialmente en Inglaterra, en el siglo XVII, el cual entra a sustituir en parte a la leña como combustible principal. Ya en el siglo XVIII, la fuerza motriz empleada hasta el momento: hidráulica, eólica, animal y humana, se ve desplazada por la máquina de vapor. Esta máquina incursiona, no solamente en la industria fabril en general, sino también en la navegación fluvial. Esto trajo consigo la necesidad de consumir mucho combustible para poder generar el vapor requerido, puesto que se necesitaba gran cantidad de vapor, el cual se conseguía por medio de la evaporación del agua a través del calor suministrado a una caldera, por lo tanto, la demanda de combustible era cada vez más alta, para lo cual se disponía de la madera y del carbón, proceso que, en su momento, nadie era consciente de los problemas que podía acarrear.

3 Gay, Aquiles. La educación tecnológica No. 6. Capítulo 8. Instituto Nacional de Educación Tecnológica INET. Argentina, 1997.

En medio del auge de la Revolución industrial iniciada con la aparición de la máquina de vapor⁴, se presenta la necesidad de buscar combustibles diferentes, no porque se tenga conciencia del daño que se está causando al medio ambiente ni a las personas que están en contacto directo con el carbón, sino porque se requiere de un combustible con mejores propiedades calóricas, más eficiente, posiblemente menos costoso, puesto que las minas de carbón se van profundizando y haciendo cada vez más costosa su explotación.

A mediados del siglo XIX se inició la explotación de los primeros yacimientos de petróleo en Pennsylvania, EE.UU⁵. Con el advenimiento de este nuevo combustible, la industria se vigorizó aún más, principalmente con la llegada de la industria automotriz, cuyos inicios se dieron en la década de 1880-1889 con el primer vehículo movido por un motor de combustión interna, construido por el señor Benz, la cual se convirtió en una de las mayores demandantes de este tipo de combustible, procesado en forma de gasolina.

El ingeniero alemán Rudolf Diesel, analizó el funcionamiento del motor a vapor utilizado para mover locomotoras a finales del siglo XIX. Observó que la gran mayoría de la capacidad calórica se desperdiciaba:

Diesel llegó al motor que lleva su nombre tras un largo período de estudio de la máquina de vapor, apreciando que gran parte de su energía no se transformaba en trabajo útil; fue entonces cuando concibió un motor que quemaba el combustible en el interior del cilindro, inflamándolo por medio del calor producido por la compresión del aire. El primer motor construido por Diesel con resultados positivos fue en 1897⁶.

-
- 4 Poveda Ramos, Gabriel. La tecnología mecánica y su acceso a Colombia. Revista Tecno Lógicas No. 6. ITM, julio de 2001.
 - 5 El origen y la historia del petróleo. Colegio Carmen Arriola de Marín - 2002© tq.educ.ar/tq03028/html/hp.htm - 19k.
 - 6 Rafael Estrada Gómez como proyecto final de carrera, bajo la dirección de Emilio Larrodé Pellicer, profesor del Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, del Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza.

La ciencia de la termodinámica estaba cobrando fuerza por esta época. Ya no se miraba la máquina de vapor como la gran solución que fue en el momento de su aparición a finales del siglo XVIII, sino que ya se cuestionaba su eficiencia, en cuanto a que mucho de su potencial se desperdiciaba. En este sentido, el ingeniero alemán Nicolaus August Otto⁷ desarrolla inicialmente un motor basado en el ciclo termodinámico conocido como *ciclo Carnot* en honor a su descubridor, el francés Nicolas Léonard Sadi Carnot⁸. Pero pocos años más tarde, el alemán Rudolf Diesel, al analizar más detenidamente la máquina de vapor, encuentra que puede conseguir una mayor eficiencia con un motor que trabaje con petróleo crudo. Siguiendo el modelo del señor Carnot, inventa un motor parecido al de Otto, pero más robusto, que aprovecha mejor el calentamiento debido a la presión interna del aire para quemar el combustible, logrando una eficiencia aproximada del 22%, lo cual significó un fracaso para su inventor, que esperaba alcanzar un 75%.

En 1903, el señor Henry Ford instala la planta de producción de vehículos en cadena, lo cual representa una disminución bastante importante en los costos de producción, lo que trae como consecuencia la popularización de los vehículos automotores, con la consecuencia lógica de un mayor consumo de combustible derivado del petróleo.

Toda esta desenfadada carrera de desarrollo tecnológico cuya base principal son los combustibles, se ve amenazada por la aparición de los grupos ecologistas en el siglo XX. ¿La razón? Todos los combustibles empleados hasta ese momento estaban afectando de una u otra manera al medio ambiente. La leña implica la

7 Nicolaus August Otto the inventor of the four-stroke cycle was born on 14th June 1831 in Holzhausen (Germany). In 1862 he began first experiments with four-strokes engines. Together with Eugen Langen he founded the first engine company - «N.A.Otto & Cie». He died on 26th January 1891 in Cologne.

8 Se define ciclo de Carnot como un proceso cíclico reversible que utiliza un gas perfecto, y que consta de dos transformaciones isotérmicas y dos adiabáticas (www.biografiasyvidas.com/biografia/c/carnot.htm - 11k)

tala de árboles, con consecuencias negativas como la erosión de los terrenos, la desaparición de fuentes naturales de agua y quebradas. El carbón, con la tecnificación de su explotación, estaba generando la desaparición de zonas cultivables, es decir, desertizando grandes áreas. Por otro lado, el polvo que suelta el carbón es nocivo para el ser humano, tanto como los residuos volátiles producto de la combustión; así mismo, su almacenamiento requiere de condiciones especiales, debido a que su temperatura de ignición puede ser alcanzada bajo ciertas condiciones de presión, por lo tanto, permanece latente la amenaza de un incendio. El petróleo es uno de los combustibles más perjudiciales. Las zonas donde existen los yacimientos, generalmente son pobres en vegetación, debido principalmente al desmonte realizado para la instalación de la maquinaria; la vida subacuática en las lagunas y quebradas cercanas, desaparece como consecuencia de la capa aceitosa que se forma en su superficie, que impide la oxigenación del agua; adicionalmente, el transporte fluvial del petróleo es un riesgo ecológico, que en muchos casos se ha materializado en derrames de grandes cantidades del crudo o sus derivados, provocando tal contaminación, que se elimina la vida acuática en grandes extensiones marinas o de los grandes ríos, es decir, se desestabiliza el sistema ecológico, trayendo hambre y necesidades a quienes derivan su sustento de la pesca y otras actividades acuáticas. Igual situación ocurre cuando, por alguna razón, se rompe un oleoducto, causando derrames sobre zonas cultivables, la mayoría de las veces con incendio incluido. Además, el consumo de los derivados como la gasolina, utilizada como combustible para los automotores, genera residuos que contaminan la atmósfera, como los denominados gases de invernadero, tales como: el monóxido de carbono (CO), cloro-fluoro-carbono (CFC), elementos causantes del fenómeno conocido como el agujero en la capa de ozono.

En medio del apogeo de la revolución industrial, sólo se pensaba en producir cada vez más rápido y con mejor calidad, sin pensar en los efectos colaterales que este desmedido propósito industrial y mercantil estaba ocasionando. Pero quienes estaban su-

friendo estas consecuencias, entre quienes se encontraban profesionales de todas las áreas incluyendo filósofos, sociólogos, ingenieros, etc., fueron tomando conciencia del problema y crearon, a mediados del siglo XX, más concretamente en las décadas de los años 60s y 70s, los grupos denominados ecologistas⁹, que empezaron a mostrar al mundo los problemas que se estaban ocasionando con el uso de todos los combustibles fósiles y nucleares. López Cerezo nos dice al respecto: *Por tal motivo, se empezó a buscar fuentes alternativas de energía, combustibles que proporcionasen efectos similares o mejores, sin dañar el medio ambiente.*

Aparecen entonces combustibles como el gas, que, aunque es un combustible fósil pues se encuentra acompañando al petróleo en los yacimientos, los estudios científicos realizados demuestran que no es tan nocivo como la gasolina. Con el propósito de proteger el medio ambiente, los científicos probaron la producción de alcohol para utilizarlo como combustible, menos contaminante¹⁰, a la vez que se aprovechan ciertos desperdicios orgánicos, ya que se extrae por procedimientos físicoquímicos efectuados a la bioma; su uso se ha limitado a servir de complemento a la gasolina, debido a ciertos problemas técnicos aún sin resolver, como su bajo poder calórico. Sin embargo, en algunos países se utiliza como combustible base.

La población mundial crece y con ella se incrementan la demanda y el consumo de combustibles; aumentan los riesgos de contaminación, razón por la cual los científicos y tecnólogos incursionan en otros campos, en busca de opciones para reemplazar, parcial o totalmente, estos combustibles. Las hidroeléctricas comienzan a ser protagonistas en el campo energético y se van posicionando, sobre todo en aquellos países que, como el nuestro, gozan de un buen recurso hídrico. Precisamente en Colombia, este

9 El 29 de octubre de 1976, un grupo heterogéneo de personas procedentes de los más diversos sitios, pero unidos por el objetivo común de la protección ambiental, se juntaron para dar origen a lo que inicialmente se llamó AEDEN (Asociación de Estudio y Defensa de la Naturaleza).

10 www.km77.com/tecnica/alternativas/alcohol/texto.asp

tipo de generación energética representa actualmente un 27% del total de la energía consumida en el país, mientras que las termo eléctricas ocupan aún un primer lugar con aproximadamente el 60%. Es una manera muy limpia de producir energía eléctrica, aprovechando la energía potencial y cinética del agua. Sin embargo, la construcción de las grandes presas requeridas para el proceso, además de los altos costos económicos, obligan a cambios medio ambientales y paisajistas, que en muchos casos perjudica a poblaciones enteras.

El municipio de Guatapé fue fundado en 1811 por Francisco Giraldo y Jiménez; era conocido como La Ceja de Guatapé; la base de su economía radica en los cultivos de frijol, tomate, maíz y café, base que tuvo notables cambios por la ejecución del megaproyecto hidroeléctrico para la construcción del embalse Peñol - Guatapé, donde se inundaron las tierras más aptas para las diferentes actividades agrícolas; se inundó el 50% del territorio del municipio y se presentaron variaciones climáticas.¹¹

La fisión nuclear, estudio científico del átomo que dio lugar a la fabricación de la bomba atómica activada sobre Hiroshima y Nagasaki en el marco de la segunda guerra mundial, también se utilizó para generar energía útil en los hogares y en la industria en general; en 1956 se instaló, en EE.UU., la primera planta nuclear con este propósito, con muy buenos resultados, pero su uso ha sido restringido por la amenaza que representa la radiación.

En los últimos tiempos se ha retomado una opción que en la Edad Media fuera solución para reemplazar la fuerza humana como fuente energética. Se trata de la energía eólica que, en su momento, se utilizó básicamente para mover molinos que servían para extraer agua de los pozos o para moler el trigo, razón por la cual se les conoce como molinos de viento. Con la tecnología actual, estos elementos ofrecen mejores rendimientos, pero depen-

11 Página Oficial del Municipio de Guatapé - ANTIOQUIA-CO. JCGG Todos los derechos reservados.

den de la continuidad de los vientos para su buen funcionamiento, y éste se deriva de fenómenos naturales difíciles de controlar. Por tal motivo, se utilizan para llevar energía eléctrica a pequeños poblados donde la demanda no es muy alta, y el viento sopla de una manera relativamente constante.

En la actualidad se exploran otras fuentes como la energía solar, que brinda buenos resultados, pero el montaje es bastante costoso, con lo cual pierde competitividad; la energía cinética de las olas del mar, también se ha probado en este sentido, pero los estudios no han sido lo suficientemente profundos, por lo tanto, poco se ha aprovechado es este recurso.

El biodiesel

Uno de los campos explorados en este afán por encontrar fuentes energéticas alternativas, es el de los biocombustibles. La ciencia de la biología proporciona información acerca de plantas con sustancias que se pueden aprovechar para extraer combustible. Plantas oleaginosas como el cacahuete, la higuera, la soya, semillas de algodón, semillas de girasol, colza, coco, granos de palma, linaza, maíz y olivas, etc., proporcionan aceite que más tarde es procesado químicamente para obtener un combustible que reemplaza al ACPM. Aunque no es la solución última, sí representa una buena opción para contrarrestar un poco los efectos del consumo de combustibles fósiles.

Las semillas oleaginosas ya mencionadas se han utilizado para extraer aceite cuyos usos han sido muy diversos: se emplea en medicina, en cosmetología, para generar luz a través de lámparas etc. En los últimos tiempos, y debido a la degradación del medio ambiente generada en buena parte por los residuos de los combustibles fósiles, se han investigado estos aceites con el fin de aprovecharlos para la combustión en la industria y el transporte. En realidad, el biodiesel se conoce desde principios del siglo XX. Veamos lo que dice el Programa de Energía de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México PEUACMcr::

El uso por primera vez de aceites vegetales como combustibles, se remontan al año de 1900, siendo Rudolph Diesel, quien lo utilizara por primera vez en su motor de ignición - compresión y quien predijera el uso futuro de biocombustibles.

Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diesel de origen vegetal, pero fue hasta el año de 1970, que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en el momento, y al elevado costo del petróleo.

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero sólo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de RME (Rapeseed Methyl Ester - metil éster aceite de semilla de colza).

Como puede verse, el uso del biodiesel se ha generalizado en los últimos años. Es por tanto, una tecnología reciente e inacabada, cuyos estudios se llevan a cabo en diferentes partes del mundo.

Celdas de combustión

Por otro lado, y con el mismo propósito de encontrar combustibles denominados limpios, se ha investigado acerca de las celdas de combustión. Se considera la manera más limpia de obtener energía, pues, mientras los residuos de los combustibles fósiles son perjudiciales para el medio ambiente, y las hidroeléctricas requieren de la inundación de grandes zonas forestales, los residuos que generan las celdas de combustión son agua pura.

Esta produce energía a base de hidrógeno y oxígeno, de tal manera que transforma la energía química en energía eléctrica», sostuvo Evers, quien desde 1995 se dedica a hacer publicidad de la llamada «fuente de energía limpia».

«En ese procedimiento surgen agua y calor, que son por así decirlo, desechos. Estos se pueden volver a utilizar fácilmente porque no producen emisiones contaminantes y los mecanismos con que se procesan no emiten demasiado ruido»¹²

12 www.terra.com.mx/noticias/articulo/063808/

Realicemos ahora un análisis de la materia prima utilizada en las celdas de combustible de hidrógeno, el que parece ser el elemento más abundante en el universo y el segundo en nuestro planeta.

El estudio realizado de los cuerpos celestes nos indica que la luz emitida por las estrellas, manifiesta que la mayoría están preponderantemente formadas por hidrógeno; la vida de nuestro planeta requiere de energía, ésta es proporcionada por la fusión del hidrógeno del sol, formando helio.

Como el segundo elemento de nuestro planeta, encontrar el hidrógeno libre es extraño; se presentan indicios de su existencia en las capas superiores de la atmósfera (según análisis de las auroras boreales), y en los gases que expiden los volcanes. El hidrógeno combinado con otros elementos ya es más común; en el agua, por ejemplo, está combinado con el oxígeno y constituye 11.2% de la masa total; algunos minerales y arcillas poseen cantidades apreciables de este elemento; combinado con el oxígeno en el carbón y en el petróleo, el hidrógeno se encuentra en forma de hidrocarburos; y además, en toda la materia animal y vegetal, puesto que está formada por compuestos químicos de hidrógeno con otros elementos (oxígeno, carbono, nitrógeno, azufre, etc.).

Debido a su gran abundancia en nuestro planeta, se considera como una solución energética inagotable y no contaminante; es posible producirlo al descomponer el agua utilizando la energía solar. Los residuos de la combustión y producción de electricidad a partir del hidrógeno, son agua, lo que cierra un ciclo en concordancia con los principios de la naturaleza. El hidrógeno puede ser utilizado para producir calor y electricidad con altas eficiencias; puede ser utilizado para la cocción de alimentos y el transporte; en general, para todas las necesidades energéticas de la sociedad. Sin lugar a dudas hay que mirar el hidrógeno como el almacenamiento del Sol y sus derivados en otras fuentes energéticas renovables, no en forma de luz, de viento, de biomasa, etc., sino en forma de energía química, producto de la transformación industrial de las fuentes primarias.

Descripción del hidrógeno

Símbolo químico: H

Clasificación: No-metal, grupo 1

Fecha y lugar de descubrimiento: Londres, 1766

Descubierto por: Henry Cavendish

Fuentes de presencia: agua (electrólisis), petróleo, gas natural, coque.

Usos conocidos: Procesado de alimentos (hidrogenación de aceites), industria (reductor, síntesis de amoníaco (Proceso Haber), metanol, ácido clorhídrico y combinaciones orgánicas), combustible de cohetes. Soldadura autógena. Refrigerante en estado líquido. Células combustibles.

Número atómico: 1

Masa atómica: 1,00794

Número de protones/electrones: 1

Número de neutrones: 0

Isótopos: protio, deuterio y tritio

Estructura electrónica: $1s^1$

Electrones en los niveles de energía: 1

Números de oxidación: -1, +1

Electronegatividad: 2,20

Energía de ionización ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$): 1310

Afinidad electrónica ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$): 73

Radio atómico (pm): 78

Radio iónico (pm) (carga del Ion): 154 (-1), 0,00066 (+1)

Entalpía de fusión ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$): 0,06

Entalpía de vaporización ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$): 0,23

Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$): -259,34

Punto de ebullición ($^{\circ}\text{C}$): -252,87

Densidad (kg/m^3): 0,08988; (0 $^{\circ}\text{C}$)

Volumen atómico (cm^3/mol): 14,24

Estructura cristalina: hexagonal

Color: incoloro

Producción de hidrógeno

Existen dos maneras de producir hidrógeno en la industria: por reacciones químicas y por la separación de compuestos químicos mediante corrientes eléctricas.

La obtención del hidrógeno a partir de la energía corriente es extensamente utilizada en el medio industrial, pero es evidente el alto precio ecológico que ello trae consigo debido a la emisión intensiva de gases de la combustión que, además de ser nocivos para los seres vivos, influyen en el calentamiento global de la biosfera como consecuencia del efecto invernadero artificial y lluvias ácidas.

La descomposición electroquímica del agua o electrólisis se usa extensivamente para la producción industrial de grandes volúmenes de hidrógeno; consiste en hacer reaccionar sus iones en electrodos polarizados, utilizando corriente continua, obteniéndose como resultado en la zona catódica hidrógeno molecular en estado gaseoso y en la anódica, oxígeno en iguales condiciones. El principal problema de la obtención de hidrógeno a partir de la descomposición electroquímica del agua es el alto costo energético, por lo que se precisa contar con fuentes primarias asequibles, de bajo costo y preferiblemente no fósiles.

Por ser el hidrógeno un gas de muy poco peso específico, su almacenamiento constituye un problema con diversas soluciones, donde deben combinarse los métodos según la utilización final.

Los usos del hidrógeno son muy diversos y en el estado actual del conocimiento adquiere gran connotación por la posibilidad abierta de utilizarlo como combustible no contaminante.

La energía solar puede ser convertida y acumulada como energía química con la producción de hidrógeno, por varios métodos:

- Foto electrólisis: Los electrodos, sumergidos en una solución electrolítica, al recibir la incidencia de la radiación, generan una corriente capaz de descomponer el H_2O en H_2 y O_2 .
 - Procesos fotoquímicos: La energía de la radiación solar es absorbida por varios materiales en solución y, en conse-
-

cuencia, se propician reacciones químicas que producen hidrógeno.

- **Descomposición térmica directa:** A temperatura de $2\,500^{\circ}\text{C}$ ($4\,500^{\circ}\text{F}$) el agua se descompone en H_2 y O_2 . Para lograr tales temperaturas pueden utilizarse concentradores solares como fuente suministradora de calor. El problema aquí consiste en evitar la recombinación del hidrógeno y el oxígeno.
- **Ciclos termoquímicos:** A temperaturas más bajas que las de descomposición térmica directa (alrededor de $1\,000^{\circ}\text{C}$) se pueden efectuar reacciones químicas reversibles. Este método es prometedor, pero se encuentra en fase experimental en el presente.
- **Electrólisis fotovoltaica:** Una celda solar fotovoltaica (FV) convierte la energía luminosa en electricidad con niveles de tensión específicos. Cuando las celdas fotovoltaicas se acoplan a un electrolizador, la luz solar puede servir para producir hidrógeno. La intensidad luminosa del sol no es constante. Por esta razón, la acumulación es imprescindible para un sistema energético fotovoltaico, en la que el hidrógeno, como portador energético, puede jugar un papel importante.
- **Energía eólica:** La generación eólica de la electricidad es un método que constituye una fuente energética importante para las zonas geográficas a las que la Naturaleza ha dotado de este recurso. Un generador eólico puede entregar corriente alterna a la red eléctrica, pero, asimismo puede, con una técnica de acumulación adecuada, (entre otras el hidrógeno) convertirse en un sistema autónomo explotable en cualquier época del año. Aquí es importante tener en cuenta la intermitencia media del viento para diseñar el sistema de acumulación correspondiente.
- **La biomasa:** Los derivados de productos orgánicos constituyen una fuente directa e indirecta para la producción de hidrógeno. **Fuentes biológicas:** Los microorganismos pre-

sentos en el agua la descomponen, al absorber la luz, liberando hidrógeno en el proceso de su «alimentación». El uso de procesos similares está presente en tecnologías, tales como la síntesis de metanol, metano, etanol, etc. Combustión de la biomasa: La obtención de la electricidad en turbogeneradores constituye una práctica industrial esencial en procesos que generan grandes cantidades residuales de fibra vegetal, como en la industria azucarera.

La utilización de los excedentes de la energía eléctrica generada puede ser una fuente de obtención de hidrógeno con fines de uso en el transporte, cocción de alimentos y generación de electricidad en horas de alta demanda.

- Energía hidroeléctrica: Puede utilizarse de modo similar a como se explica en el párrafo anterior o para generar hidrógeno directamente con fines de acumulación y transporte.

Almacenamiento del hidrógeno

El almacenamiento del hidrógeno es un problema íntimamente relacionado con sus propiedades físicas y químicas. En forma gaseosa, a presión, requiere de grandes volúmenes de almacenamiento, con el consiguiente gasto de materiales para la construcción de recipientes.

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

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

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

No existe aún un método que resuelva completamente el problema del almacenamiento, por lo que cada uno de ellos se emplea, según las posibilidades y su utilización final. Sin embargo, existen ciertas normas internacionales tendientes principalmente, a obviar los peligros inherentes a este proceso:

Especificaciones para instalaciones de menos de 85 m³ en el interior de edificios, en zonas donde se lleven a cabo otras actividades¹³

En un área ventilada acorde con lo indicado más adelante.

- A más de 6 m de almacenamientos de materias inflamables o gases oxidantes.
- A más de 8 m de llamas abiertas, instalación eléctrica normal u otros focos de ignición.
- A más de 8 m de concentraciones de personas.
- A más de 15 m de la aspiración de aire acondicionado y compresores.
- A más de 15 m de almacenamientos de gases inflamables.
- A más de 15 m de otra unidad de almacenamiento de las mismas características.
- Separado de zonas de gran actividad y protegido contra golpes.

Especificaciones para instalaciones en exteriores, en edificaciones aisladas o en cuartos aislados en el interior de edificios

Las condiciones de ubicación se ajustarán a lo indicado en la tabla, a excepción de los puntos 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 13 que no son exigibles cuando el almacenamiento está separado de la zona de riesgo por un muro cortafuegos con una resistencia al fuego como mínimo de 180 minutos.

13 Gaseous Hydrogen storage systems. Hidrogène Stockage. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España.
Redactor: José Luis Villanueva Muñoz. Ingeniero Industrial. www.mtas.es/insht/ntp/ntp_050.htm

DISTANCIA MÍNIMA EN METROS DESDE LA INSTALACIÓN DE HIDRÓGENO SEGÚN CAPACIDAD

TIPO DE EXPOSICIÓN	Capacidad de instalación en m ³		
	<85	85 : 425	>425
1. EDIFICIO			
Construcción combustible	3	8	15
Construcción ligera o normal	0	3	8
Construcción resistente al fuego RF ≥ 120 minutos	0	0	0
2. ABERTURAS EN PAREDES			
Debajo de cualquier parte del almacenamiento	3	3	3
Encima de cualquier parte del almacenamiento	8	8	8
3. DEPÓSITO AÉREO DE LÍQUIDO INFLAMABLE			
De 0 a 4000 litros	3	8	8
Más de 4000 litros	8	15	15
4. DEPÓSITO ENTERRADO LÍQUIDO INFLAMABLE			
De 0 a 4000 litros ... al tanque	3	3	3
... boca de carga o ventilación	8	8	8
Más de 4000 litros ... al tanque	6	6	6
... boca de carga o ventilación	8	8	8
5. ALMACENAMIENTO DE GASES INFLAMABLES			
De 0 a 425 m ³ a 21°C y 1 At.	3	8	8
Más de 425 m ³ a 21°C y 1 At.	8	15	15
6. ALMACENAMIENTO DE OXÍGENO			
De 0 a 340 m ³ a 21°C y 1 At.	6	6	6
Más de 340 m ³ a 21°C y 1 At.	8	8	15
7. SÓLIDOS DE COMBUSTIÓN RÁPIDA	15	15	15
8. SÓLIDOS DE COMBUSTIÓN LENTA	8	8	8
9. LLAMAS ABIERTAS Y FOCOS DE IGNICIÓN	8	8	8
10. ENTRADA AIRE ACONDICIONADO O COMPRESORES	15	15	15
11. CONCENTRACIÓN DE PERSONAS (Lugares de reunión pública, vestuarios, comedores)	8	15	15
12. ZONAS DE PASO PÚBLICO	5	5	5
13. LÍMITE DE LA PROPIEDAD	1,5	1,5	1,5

Especificaciones según la localidad

– En el exterior

Si se dota a la zona de algún tipo de protección (paredes, techos, etc.), éste debe estar construido en material incombustible y si es necesario con ventilación acorde con el punto siguiente.

– En edificios o recintos aislados

Construidos en materiales incombustibles.

Ventilados de forma que las entradas de aire se encuentren en las paredes exteriores y cerca del suelo, las salidas de aire se encuentren en el punto más alto y cada una de ellas tenga un área mínima de 1 m² cada 300 m³ de volumen del recinto. La descarga de aire al exterior debe estar localizada en una zona segura.

Se dotará a la zona de una protección antiexplosiva por medio de parámetros débiles en proporción de 1 m² cada 10 m³ de volumen del recinto.

Si se precisa calefacción ésta será vapor, aire caliente o medios indirectos.

– En el interior de edificios en cuarto aislado

- * Formarán sector de incendio con una resistencia al fuego mínima de 180 minutos.
- * Al menos una de las paredes será exterior.
- * Las ventanas y puertas de acceso se ubicarán en paredes exteriores.
- * No están permitidas aberturas que den a otras partes del edificio.
- * Se cumplirán las condiciones establecidas en el punto anterior.

Especificaciones generales

- * La instalación eléctrica en las zonas de instalaciones de hidrógeno y proximidades se ajustará a lo dispuesto en el REBT en su Instrucción Complementaria MIBT 026.

- Se señalará adecuadamente su localización, la prohibición de fumar y utilizar útiles de ignición en sus proximidades y que su manejo queda restringido a personal especializado; al efecto existirán en lugar visible instrucciones de operación y mantenimiento del sistema.
- Los elementos de la instalación de hidrógeno deberán protegerse contra choques y caídas de objetos.
- En caso de instalaciones exteriores es conveniente vallar la zona.

CONCLUSIONES

El afán por sobresalir en los campos económicos y militares, el deseo de poder en general, sumado esto a la tendencia inercial del ser humano hacia el facilismo, es decir, el buen vivir con el mínimo de esfuerzo, ha hecho que el hombre se olvide que hace parte de un sistema natural, al cual se debe y por el cual debe velar para asegurar su supervivencia. Como consecuencia de este olvido, se tiene una serie de deterioros en campos tan vitales como la capa de ozono, fruto del consumo incontrolado por mucho tiempo de combustibles que afectan directamente esta zona de la atmósfera, con lo cual se ha incrementado el calentamiento en el planeta, con sus consecuencias en la salud del hombre, la extinción de especies vegetales y animales, entre otras.

Sin embargo, en los últimos tiempos, el hombre ha tomado conciencia del problema y se ha propuesto minimizarlo, por lo menos en el campo de la producción energética. En este sentido, se está investigando en diversas partes del mundo acerca de la manera de reducir las emisiones de desechos que afectan la capa de ozono principalmente. Es un camino lento, que posiblemente se empezó a recorrer un poco tarde, pero que se pretende aprovechar para ganarle la carrera al implacable deterioro de dicha capa atmosférica, para lograr detener a tiempo los problemas que cada vez se agudizan más.

Son varios los ángulos desde los cuales se ataca el problema que nos ocupa, cada uno con su propia historia y su aporte propio a la solución. Pero cada uno de ellos presenta sus propios inconvenientes, a veces de tipo ambiental, otros de tipo tecnológico o técnico.

- La energía eólica y la hidráulica utilizada desde la Edad Media, fueron unas buenas soluciones en su momento para reemplazar la energía suministrada por los esclavos, pero las condiciones actuales de demanda la hacen ver ineficiente, posiblemente por problemas naturales difícilmente superables, o porque la ciencia y la tecnología no se han ocupado lo suficiente de ellas, pues existen otras opciones más fáciles de aprovechar y con mayores niveles de eficacia y de eficiencia.
- La energía térmica, una de las más utilizadas antiguamente en la historia de la humanidad, es la que mejores soluciones ha dado en el campo energético para el transporte y la industria, pero también ha sido una de las principales generadoras del problema medioambiental, puesto que los combustibles utilizados son los que emiten sustancias perjudiciales para la salud y el medio en general.

El problema principal se encuentra entonces en el regeneramiento del medio ambiente, y la solución debe ser preocupación de todos los seres humanos, puesto que, de una manera u otra, todos contribuimos al incremento del mismo.

El biodiesel y las celdas de combustión, son las opciones de mayor fuerza en este momento, aunque las investigaciones están aún incipientes en algunos aspectos, pero se tiene la convicción de que se logre, con el biodiesel, reemplazar un combustible tan contaminante como el oleodiesel; y con las celdas de combustión, rebajar al mínimo la utilización de combustibles fósiles para muchas aplicaciones.

REFERENCIAS

- _ http://www.ije.org.mx/mproquim/Hidrogeno/alm_index.htm
 - _ <http://www.panoramaenergetico.com/archivo%20vehiculos/almacenamiento%20del%20hidrogeno%20espanol.htm>
 - _ <http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/h.html>
 - _ <http://www.energia.gob.mx/sala/boletines/99/noviembre/hidro28nov.htm>
 - _ <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia01/HTML/articulo13.htm>
 - _ <http://bdcsic.csic.es:8080/DATRIE/BASIS/datr/datrwww/docu/SDW?M%3D1%26W%3DGRP%20%20%3D%20INTA>
 - _ <http://www.mestgo.cl/articulos/hidro.htm>
 - _ http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec_15.htm
 - _ <http://www.china.org.cn/xi-china/cien-diezexit.htm>
 - _ <http://www.utn.edu.ar/shtml/tu1805.shtml>
 - _ <http://www.jademountain.com/booksVideos/energias-renovables.html>
 - _ http://www.ambientenews.com.ar/a_news/43.htm
 - _ <http://www.km77.com/tecnica/alternativas/pila/texto.asp>
 - _ <http://www.angelfire.com/ok/eolica/>
 - _ <http://www.peacelink.it/users/buone/spagnolo/buenas08.htm>
 - _ <http://www.nizkor.org/features/techniques-of-denial/blue-01-sp.html>
 - _ <http://www.cyberambiental.com/suplementos/energia/shell.htm>
 - _ <http://www.ingeser.cl/newsletters/tg-042001.htm>
 - _ <http://www.ellimite.com/tecnologia/003.php>
 - em: http://www.spirig.net/products/microflaming/spirflame/pages/spirflame_12_spa.html
-