



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

ESTÁNDARES PARA EL MANEJO SEGURO DEL
HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A N :

SÁNCHEZ SÁNCHEZ BEATRIZ

TRINIDAD SÁNCHEZ ARACELI

ASESOR: I.Q. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO

MÉXICO, D. F. NOVIEMBRE DE 2004





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Damos:

Infinitamente gracias por la

Oportunidad que nos has dado,

Señor para lograr una meta más en nuestras vidas.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Nunca olvidaremos el compromiso que tenemos contigo,

Agradecemos todo el apoyo y facilidades otorgadas para lograr y

Mejorar nuestro desarrollo profesional.

También aprovechamos para agradecer la

Oportunidad brindada por nuestro

Director de Tesis y a cada uno de los Sinodales por su valiosa

Orientación y confianza. Así como a todos nuestros Familiares, Amigos y Compañeros que en

Su momento contribuyeron de alguna forma directa o indirecta a nuestro desarrollo profesional.



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/079/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: SÁNCHEZ SÁNCHEZ BEATRIZ

P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	M. en I. Alejandro Rogel Ramírez
Vocal:	I.Q. Rafael Sánchez Dirzo
Secretario:	Q.F.I. Ma. del Carmen Niño de Rivera O.
Suplente:	Quím. Martha Ortiz Rojas
Suplente:	Biol. Juana María de la Paz López

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

México, D. F., 19 de Septiembre de 2003

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA

✦



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/078/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: TRINIDAD SÁNCHEZ ARACELI

P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	M. en I. Alejandro Rogel Ramírez
Vocal:	I.Q. Rafael Sánchez Dirzo
Secretario:	Q.F.I. Ma. del Carmen Niño de Rivera O.
Suplente:	Quím. Martha Ortiz Rojas
Suplente:	Biol. Juana María de la Paz López

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D. F., 19 de Septiembre de 2003

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA

♣

ÍNDICE.

	Página
Presentación.	1
Resumen.	2
Introducción.	4
Capítulo 1. El hidrógeno como Combustible.	
Introducción al Capítulo 1.	6
1.1. Características generales.	8
1.2. Propiedades físicas del hidrógeno.	10
1.3. Obtención, almacenamiento y usos del hidrógeno.	
1.3.1. Procesos de obtención.	12
1.3.2. Almacenamiento de hidrógeno	14
1.3.3. Principales usos del hidrógeno.	16
1.3.4. El hidrógeno como combustible del futuro.	18
1.4. Medidas de seguridad que se deben tener con el hidrógeno.	
1.4.1. Riesgos del gas.	23
1.4.2. Seguridad de los cilindros.	23
Conclusiones al Capítulo 1.	28
Capítulo 2. Estándares para el Manejo seguro del Hidrógeno Como Combustible.	
Introducción al capítulo 2.	30
2.1. Generalidades	32
2.2. Definición de: Estándares, Códigos Y Regulaciones	33
2.3. Estándares y Códigos para el uso del Hidrógeno.	35
2.4. Estándares y Regulaciones para el Uso de Hidrógeno Comercial, Industrial y de no-propulsión	40
2.5. Regulaciones para la Transportación de Hidrógeno.	47

	Página
Conclusiones al Capitulo 2.	53
Conclusiones Generales.	54
Anexo A.	56
Anexo B.	69
Anexo C.	72
Bibliografía.	79

Lista de principales abreviaturas.

ASME	American Society of Mechanical Engineering
ANSI	American National Standards Institute
NFPA	National Fire Protection Association
ICC	International Code Council, Inc.
SAE	Society of Automotive Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standards
CGA	Compressed Gas Association
API	American Petroleum Institute
NECAR	New Electric Car
NEBUS	New Electric Bus
OHSA	Occupational Health and Safety Administration
NEC	National Code Electric
TLV	Valor limite de exposición

PRESENTACIÓN.

La presente investigación se desarrolló bajo un marco teórico y bibliográfico contemporáneo que permite mostrar que el hidrógeno es susceptible de producirse, transportarse, almacenarse y usarse bajo los estándares más rigurosos.

La necesidad de poder contribuir al desarrollo tecnológico de nuestro país, es lo que motivó que presentáramos en esta investigación y más sabiendo la necesidad que se tiene actualmente por reducir el nivel de contaminantes presentes en la atmósfera ya que éstos son los principales causantes de problemas como el efecto invernadero y la variación de los regímenes climatológicos que están afectando seriamente a la humanidad; surge entonces la necesidad de buscar nuevas soluciones que contribuyan a resolver estos problemas sin recurrir a grandes limitaciones en la producción de energía, ya que esto implicará un retraso tanto en el desarrollo económico, cultural, tecnológico como en el de investigación de nuestro país.

Teniendo en cuenta que los beneficios e intereses de la energía alternativa como solución energética van más allá de la reducción de costos únicamente, se presenta además el uso que este brinda, es la oportunidad de reducir la dependencia con los combustibles fósiles así como de disminuir la contaminación ambiental, debido a que causa un efecto notablemente menor sobre el medio ambiente.

De lo expuesto anteriormente se llega a la conclusión de que una buena solución se encuentra en cambiar de base energética, utilizando un combustible con el cual se puedan eliminar o reducir notablemente las emisiones contaminantes a la atmósfera y esto es precisamente lo que se lograría con el uso del hidrógeno.

RESUMEN.

En este trabajo se realiza una descripción general del hidrógeno así como de los estándares, códigos y normas existentes para el manejo seguro del hidrógeno como combustible para lo cual se realizó una investigación bibliográfica en su totalidad y donde se destacan los puntos más relevantes e importantes.

El hidrógeno es considerado como el elemento más ligero y abundante del Universo ya que se encuentra en el Sol, en la mayoría de las estrellas y en la corteza terrestre, haciendo de esto que el hidrógeno se perfila como una nueva fuente de combustibles renovables esto debido a que tiene una elevada eficiencia energética y que en su producción y uso no emiten contaminantes a la atmósfera, aunque también por su alto nivel de ignición, es decir que reacciona con más facilidad en contacto con el aire por lo que requiere de medidas de seguridad necesarias para su uso y manipulación

Debido a que se le considera como un elemento abundante sus procesos de producción son diversos entre los que se encuentra el de reducción de vapor de agua con carbono caliente, metano, Descomposición de hidrocarburos con calor, electrólisis de agua entre otros.

Por sus características que presenta el hidrógeno requiere formas seguras y económicas de almacenamiento por lo que este puede ir en estado gaseoso, líquido o absorbido en forma de hidruros metálicos, dependiendo del tipo de aplicación que se trate o para el tipo de industria en el cual será usado siendo estas principalmente Química, Metalúrgica, Grasas y aceites, Vidrio y entre otras más. Y actualmente en celdas de combustible para motores de automóviles.

Por lo que el aumento en el uso del hidrógeno en nuestro país así como en el resto del mundo en los próximos años, conducirá a un aumento en el número de sitios de producción, de almacenamiento y de utilización en diferentes áreas

distintas a las tradicionales, por lo que será necesario adoptar mejores medidas de seguridad en su manejo y utilización, para brindar un ambiente de seguridad a la sociedad en su conjunto.

Por lo que la parte fundamental de este trabajo es el de dar a conocer el resultado, de un esfuerzo muy activo con códigos y estándares para dirigirse a la seguridad de equipo de hidrógeno y almacenamiento. Entre los que se encuentran códigos de organizaciones como ICC y NFPA, ASME entre otros que están trabajando en poner al día códigos actuales o escribiendo nuevos para ser encaminados eficazmente a preocupaciones con respecto a seguridad en el manejo del hidrógeno.

INTRODUCCIÓN.

La situación por la que atraviesa actualmente el país, experimenta cada día cambios tan drásticos entre los que se destacan situaciones de ámbito cultural, económico-social y ecológico.

Específicamente nos referimos a los siniestros, propiciados por errores humanos provocando por consiguiente grandes daños a la sociedad en general.

Pero al respecto ¿qué es lo que se está haciendo para tratar de solucionar este tipo de problemática?

Desde hace años se están llevando a cabo varias investigaciones alrededor del mundo principalmente en países desarrollados como son Alemania, Inglaterra, Portugal, Suecia, Islandia entre otros, sobre la generación alterna de energía, para disminuir la problemática de la contaminación en el mundo.

En la actualidad el hidrógeno desempeña un importante papel como combustible en el programa espacial de los Estados Unidos, y más de la mitad de todo el hidrógeno que se produce se utiliza para fabricar amoniaco(NH_3). Un campo actual de interés para la investigación es el uso del hidrógeno como combustible en los automóviles

En lo que se refiere a los países Europeos han puesto a trabajar a un grupo de expertos de alto nivel para centrar los objetivos futuros en el uso del hidrógeno como fuente de energía. Evaluar las potencialidades del hidrógeno y pilas de combustible en los transportes y la producción de la misma para consagrar una acción comunitaria en este sector energético.

Estas investigaciones y aplicaciones han arrojado resultados satisfactorios en estos ámbitos que comprueban que el hidrógeno es una fuente de energía que puede ser almacenada, transportada y utilizada para las necesidades energéticas del presente y el futuro.

Pero ¿Cómo usar y manipular el hidrógeno? Respondiendo nuestra tesis queda estructurada de la siguiente manera.

El Capitulo 1. El Hidrógeno como Combustible.

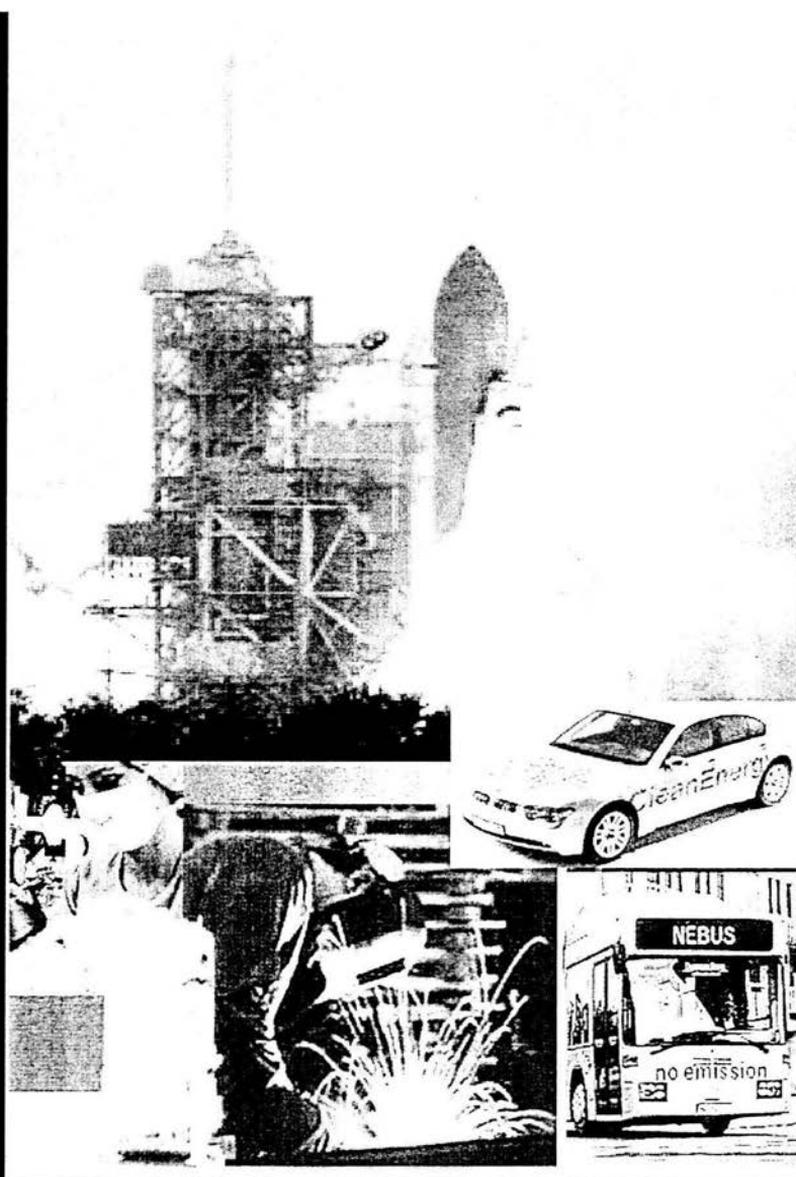
Se dan a conocer las características y principales propiedades del hidrógeno así como sus principales fuentes de obtención, usos en los diferentes sectores de la industria y principalmente su uso como combustible y las medidas de seguridad que se deben de tener al manejar el hidrógeno.

El Capitulo 2. Estándares para el Manejo Seguro del Hidrógeno como combustible.

Es la parte central donde se da a conocer las condiciones a las cuales puede ser transportado y manipulado con la finalidad de prevenir accidentes, haciendo del uso del hidrógeno una manipulación segura y eficiente.

En este capitulo se dan a conocer los principales estándares, códigos y especificaciones a nivel nacional como Internacional para el manejo seguro del hidrógeno.

CAPITULO 1



**EL HIDRÓGENO COMO
COMBUSTIBLE**

INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 1.

El hidrógeno es un elemento de combustión más liviano y más limpio que cualquier otro; puede ser convertido eficientemente en otras formas de energías y es, además, el elemento más abundante de la naturaleza. En la actualidad este gas es muy usado en la industria química, se usa también como materia prima para fabricar sustancias orgánicas para el sector de alimentación; asimismo como agente reductor en metalurgia y en petroquímica como aislante térmico en generadores.

El hidrógeno es almacenable y puede usarse directamente como combustible, en reemplazo del gas natural, en procesos industriales que precisan calor, así como la calefacción, el agua caliente o la cocina, con las debidas precauciones que exige este gas. La combustión del hidrógeno produce vapor de agua, el cuál puede usarse en industrias como la del papel y la química pero también en la industria del acero, en lugar del carbón, sin los efectos contaminantes de éste.

El hidrógeno será generado a partir de nuevas fuentes de energía no convencionales y podrá usarse en reemplazo de los combustibles fósiles. No sería ya una fuente primaria de energía, sino intermediario, o una forma secundaria o un portador de energía.

El hidrógeno presenta propiedades que hacen delicada su utilización por lo que será necesario adoptar medidas de seguridad en su manejo y utilización, para brindar un ambiente de seguridad por lo que la sociedad en su conjunto necesita establecer normas de seguridad en todas y cada una de las etapas de la cadena de producción hasta su utilización por lo que en el capítulo siguiente se dará una explicación de los principales estándares, códigos regulaciones para el manejo seguro del hidrógeno.

EL HIDRÓGENO.

Descubierto en Londres en 1766 por Henry Cavendish.

El hidrógeno se preparaba muchos años antes de que Cavendish lo reconociera como sustancia en 1776. El nombre se lo dió Lavoisier. Es el elemento más ligero y abundante del Universo (más del 90% de los átomos y 3/4 partes de la masa total). Se formó pocos segundos después del "Big Bang" que se cree que fue el comienzo del universo. Se encuentra en el Sol, en la mayoría de las estrellas y juega un importante papel en la reacción protón-protón en el ciclo del carbono-nitrógeno que aporta la energía del Sol y las estrellas formando (junto con el helio) elementos más pesados. En la corteza terrestre existe en una proporción del 0,14% en peso. En 1973, científicos rusos obtuvieron hidrógeno metálico a 2,8 Mbar y 20 °K. En el punto de transición, la densidad cambia de 1,08 a 1,3 g/cm³. En 1972, un grupo americano (Livermore, California) informó de un experimento similar en el que se lograba la transición a 2 Mbar. Este hidrógeno metálico puede ser metaestable. En la tierra se encuentra en forma de agua. También se encuentra en el petróleo, carbón, gas natural. En la atmósfera hay menos de 1 ppm (en volumen), ya que la molécula H₂ es tan ligera que escapa al espacio exterior^[17].

Fernández A. Hidrógeno.

[17] Panoramaenergetico

1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Es un gas incoloro, inodoro e insípido altamente flamable y no es tóxico, está incluido entre los gases asfixiantes cuando sustituye al Oxígeno en un ambiente cerrado. Poco soluble en agua (2.5 volúmenes/%): la molécula de hidrógeno es muy apolar. Se adsorbe muy bien por los metales: el paladio adsorbe hasta 850 veces su volumen de hidrógeno. El hidrógeno gas se difunde fácilmente a través de los metales y del cuarzo. Es relativamente inerte, pero con un ligero aporte energético se disocia y el hidrógeno monoatómico resultante es muy reactivo: con el oxígeno lo hace de forma explosiva y llama azul pálida. Reacciona con otros muchos elementos: metales alcalinos, alcalinotérreos (excepto berilio), algunos metales del nivel d para formar hidruros metálicos; con los del grupo del nitrógeno forma amoníaco, fosfina, con los halógenos forma los halogenuros de hidrógeno.

Es un reductor poderoso, que se utiliza para la obtención de metales a partir de sus óxidos o sulfuros disueltos en ácido sulfúrico y haciendo burbujear el gas: extracción hidrometalúrgica que consume aproximadamente 1/3 del hidrógeno producido y que sirve para obtener cobre y otros metales.

El coste de producción de hidrógeno es superior al de los combustibles fósiles, pero en el futuro se podrían construir plantas productoras en las costas donde se trasladaría mediante "hidrógenoductos" a los lugares de consumo. Otras opciones para almacenamiento y transporte de hidrógeno es el empleo de hidruros salinos (compuestos de hidrógeno y un metal muy electropositivo, de los niveles "S" del Sistema Periódico menos berilio, que reducen el agua produciendo el hidrógeno) o hidruros metálicos (hidruros, intersticiales, conductores, de ciertos metales de la zona "d" del Sistema Periódico, que al ser calentados o tratados con un ácido liberan hidrógeno). La combustión del hidrógeno produce agua. Así se eliminarían los efectos contaminantes de las gasolinas, gas, etc., y, además, tiene la mayor entalpía específica de todos los combustibles conocidos.

El hidrógeno gas normal, en condiciones ordinarias, es una mezcla de dos clases de moléculas, orto (99.85%) y para-hidrógeno (0.015%), que se diferencian en los espines de sus electrones y núcleos: paralelos (orto) y opuestos (para). A temperatura ambiente el 25% del hidrógeno es la forma pura y al subir la temperatura esta forma aumenta su porcentaje. La forma orto no puede prepararse pura. Puesto que las dos formas se diferencian energéticamente, las propiedades físicas son algo diferentes: los puntos de fusión y ebullición del para-hidrógeno son, aproximadamente, 0.1°C menores que los del hidrógeno normal.

Es el único elemento cuyos isótopos reciben nombres diferentes: Protio (1-H), Deuterio (2-H) y Tritio (3-H). El protio es el isótopo normal. El tritio, fácilmente producido en los reactores nucleares, se usa en la bomba de hidrógeno. También se usa como agente radiactivo en la fabricación de pinturas luminosas y como trazador. El deuterio, como D₂O (agua pesada) es un moderador de neutrones lentos; hay 1 átomo de deuterio por cada 6000 átomos de protio. Deuterio y tritio se usan como combustibles en reactores de fusión^[1].

^[1] Ambientum 2003.

1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIDROGENO

1.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MOLÉCULA NORMAL DE HIDRÓGENO.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES U.S.	UNIDADES S.I.
FÓRMULA QUÍMICA	H ₂	H ₂
PESO MOLECULAR	2.016	2.016
DENSIDAD DEL GAS A 70°F (21.1°C) Y 1 atm	0.00521 Lb/ft ³	0.08342 kg/m ³
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS A 32°F (0°C) Y 1 ATM	0.06960	0.0690
VOLUMEN ESPECIFICO DEL GAS A 70°F (21.1°C) Y1 ATM	192.0 ft ³ / lb	11.99 m ³ / kg
PUNTO DE EBULLICIÓN A 1 ATM	-432.0 °F	-252.8 °C
PUNTO DE FUSIÓN A 1 ATM	-434.55 °F	-259.2 °C
TEMPERATURA CRÍTICA	-399.93 °F	-239.96 °C
PRESIÓN CRÍTICA	190.8 psia	1315 kPa abs
PUNTO TRIPLE	-434.55 °F a 1.045 psia	-259.2 °C a 7.205 kPa abs
CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN A PTO. DE EBULLICIÓN	191.7 Btu / lb	446.0 kJ / kg
CALOR LATENTE DE FUSIÓN EN EL PUNTO TRIPLE	24.97 Btu / lb	58.09 kJ / kg
CALOR ESPECIFICO DEL GAS A 70 °F (21.1°C) Y 1 ATM		
CP	3.425 Btu / (lb) (°F)	14.34 kJ / (kg) (°C)
CV	2.418 Btu / (lb) (°F)	10.12 kJ / (kg) (°C)
RELACIÓN DE CALORES ESPECIFICOS (Cp/Cv)	1.42	1.42
SOLIBILIDAD EN AGUA, VOL/VOL A 60°F (15.6 °C)	0.019	0.019
DENSIDAD DEL GAS A 1 ATM	0.083 lb/ft ³	1.331 kg / m ³
DENSIDAD DEL LÍQUIDO A 1 ATM	4.43 lb / ft ³ (0.5922 lb/gal)	70.96 kg / m ³
RELACIÓN GAS/LÍQUIDO, GAS A 70°F (21.1°C) Y 1 ATM, VOL/VOL	850.3	850.3
CALOR DE COMBUSTIÓN A 70 °F (21.1°C) Y 1ATM		
MÁXIMO	318.1 Btu/ ft ³	11 852 kJ / m ³
MÍNIMO	268.6 Btu / ft ³	10 009 kJ / m ³

1.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MOLÉCULA PARA-HIDRÓGENO.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES U.S.	UNIDADES S.I.
PUNTO DE EBULLICIÓN A 1 ATM	-432.0 °F	-252.9 °C
PUNTO DE FUSIÓN A 1 ATM	-434.8 °F	-259.3 °C
TEMPERATURA CRÍTICA	-400.31 °F	-240.17 °C
PRESIÓN CRÍTICA	187.529 ia	1293 kPa abs
PUNTO TRIPLE	-434.8 °F a 1.021 psia	-259.3 °C a 7.046 kPa abs
CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN A PTO. DE EBULLICIÓN	191.7 Btu / lb	445.6 kJ / kg
CALOR LATENTE DE FUSIÓN EN EL PUNTO TRIPLE	25.06 Btu / lb	58.29 kJ / kg
CALOR ESPECÍFICO DEL GAS A 70 °F (21.1°C) Y 1 ATM		
CP	3.555 Btu / (lb) (°F)	14.88 kJ / (kg) (°C)
CV	2.570 Btu / (lb) (°F)	10.76 kJ / (kg) (°C)
RELACIÓN DE CALORES ESPECÍFICOS (Cp/Cv)	1.38	1.38
DENSIDAD DEL GAS A 1 ATM	0.088 lb/ ft ³	1.331 kg / m ³
DENSIDAD DEL LÍQUIDO A 1 ATM	4.42 lb / ft ³ (0.5922 lb/gal)	70.78 kg / m ³
RELACIÓN GAS/LÍQUIDO, GAS A 70°F (21.1°C) Y 1 ATM, VOL/VOL	848.3	848.3

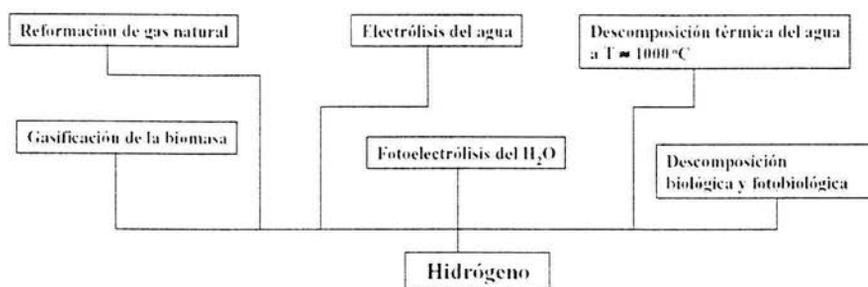
1.3. OBTENCIÓN, ALMACENAMIENTO Y USOS DEL HIDRÓGENO

1.3.1. PROCESOS DE OBTENCIÓN.

El hidrógeno se obtiene mediante:

- Reducción de vapor de agua con carbono caliente, metano.
- Descomposición de hidrocarburos con calor.
- Acción de los hidróxidos sódico y potásico sobre el aluminio.
- Electrólisis de cloruros alcalinos.
- Electrólisis de agua, o
- Desplazamiento de los ácidos por ciertos metales.

Producción de Hidrógeno



[17]

El hidrógeno puede producirse en grandes cantidades a partir de fuentes de energía primarias, tales como combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural), de diferentes intermediarios (productos de refinería, amoníaco, metanol) y de fuentes alternativas como biomasa, biogás y materiales de deshecho. También se puede obtener por electrólisis del agua, consistente en la liberación del hidrógeno y el oxígeno mediante la utilización de electricidad, y que puede considerarse como una fuente de energía secundaria producida a partir de la

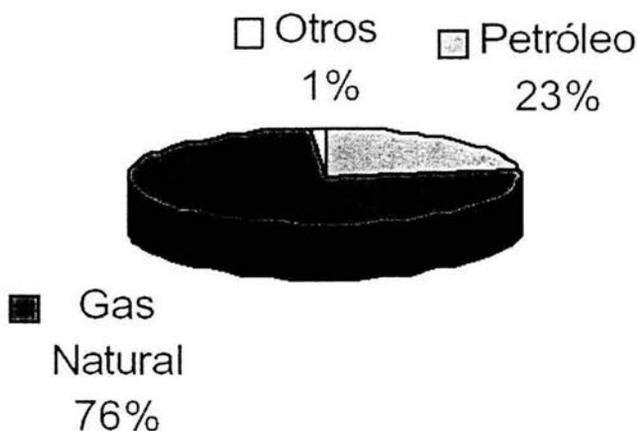
[17] Panoramaenergetico

combustión de combustibles fósiles o biológicos por medio de ciclos térmicos, a partir de la energía solar por conversión foto-voltaica o a partir de la energía cinética utilizando la conversión mecánica. La electrólisis del agua es un proceso muy común utilizado para pequeñas aplicaciones del hidrógeno. Sin embargo, si el hidrógeno va a ser usado para aplicaciones energéticas, la conversión eléctrica y la eficiencia del transporte, sumadas a la eficiencia de la conversión de la electrólisis del agua, hacen que se aproveche menos del 30% del contenido energético de la fuente de energía primaria.

El uso de carbón para la producción de hidrógeno ha sido muy común durante al menos un siglo. También lo es la gasificación del carbón cuando no está disponible el gas natural. Así, en Sudáfrica se utiliza este gas para producir productos de refinería sintéticos. Fundamentalmente, tanto los hornos como las plantas de gasificación de carbón convierten el hidrógeno contenido en las moléculas de agua por reacción a elevadas temperaturas sobre el carbono.

La mayoría del hidrógeno se obtiene a partir del reformado con vapor de hidrocarburos (gas natural o destilados ligeros).

Producción de hidrógeno



1.3.2. ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO:

TIPOS DE ALMACENAMIENTO.

El uso cada vez mayor del hidrógeno plantea la necesidad de contar con formas seguras y económicas de almacenamiento. El almacenamiento de hidrógeno puede efectuarse en estado gaseoso (en general a altas presiones), en estado líquido (a muy bajas temperaturas-aprox. 20 °K) o adsorbido en forma de hidruros metálicos (a presiones bajas). Según la aplicación que se trate, cada una de las distintas formas de almacenamiento será más o menos conveniente^[2].

ALMACENAMIENTO COMO GAS.

La baja densidad del hidrógeno es una desventaja, ya que implica que se almacene menos energía por unidad de volumen que con otros gases comprimidos. Debido a esto el almacenamiento requerirá grandes volúmenes y altas presiones. El almacenamiento subterráneo en cavernas y minas abandonadas es muy conveniente y económico para la acumulación de grandes cantidades de hidrógeno. Esta forma se emplea también para el gas natural, y se utilizan presiones de hasta 160 bar. El almacenamiento en recipientes de alta y media presión se usan también en pequeña escala^[2].

ALMACENAMIENTO COMO LÍQUIDO CRIOGÉNICO.

Debido al bajo punto de ebullición del hidrógeno (aproximadamente 20 °K), se requieren recipientes criogénicos para mantener tan bajas temperaturas. Tiene la ventaja de que puede almacenarse energía con alta densidad y que el peso del contenedor es más bajo para igual cantidad de energía almacenada que en los otros métodos. Pero las bajas temperaturas requeridas traen consigo problemas de seguridad, además del hecho de que en la licuefacción se consume una alta fracción de energía almacenada como hidrógeno líquido. Por otra parte el costo de una unidad de licuefacción se consume una alta fracción de energía almacenada como hidrógeno líquido. Por lo que el costo de una unidad de licuefacción es comparativamente elevado. En las aplicaciones donde el peso es el factor más

importante (como el caso de la aeronavegación), la forma más conveniente de almacenamiento del hidrógeno es como líquido criogénico^[2].

ALMACENAMIENTO EN FORMA SÓLIDA COMO HIDRUROS METÁLICOS

El hidrógeno tiene una tercer forma de ser almacenado que le es característica y que no existe en el caso de otros combustibles líquidos o gaseosos: el hidrógeno reacciona con distintos metales o compuestos intermetálicos formando hidruros. Estos pueden guardar aún más hidrógeno por unidad de volumen que el hidrógeno líquido. Comó adecuadas condiciones de temperatura y presión esta reacción es reversible, una masa metálica puede ser cargada y descargada un número prácticamente ilimitado de veces, pudiendo utilizarse como un tanque para el almacenamiento sólido del hidrógeno.

Esta forma de almacenamiento. Tiene la ventaja que se requieren bajas presiones (menores que 1.01 atm.) y que éstos almacenadores son muy seguros, pues en caso de producirse una pérdida brusca de oxígeno, el sistema reaccionará inhibiendo la producción de liberaciones adicionales del gas. La desventaja de esta forma de almacenamiento es el peso relativamente alto asociado al material absorbente: en el mejor de los casos se llega a aproximadamente el 7% del peso del hidrógeno total. Esto impide la utilización de este método en el caso de la aeronavegación, por ejemplo, tiene escasa relevancia en el caso de unidades estacionarias de almacenamiento^[14].

El almacenamiento del hidrógeno como hidruros es especialmente útil y conveniente en el caso de pequeños sistemas energéticos aislados, como hogares en zonas rurales, dónde la electricidad puede generarse a partir de las energías eólica, solar o pequeñas plantas hidroeléctricas.

[2] Dinga G. Hydroegen, 1989

[14] Riley, R.Q., 1994.

1.3.3. PRINCIPALES USOS DEL HIDRÓGENO.

Tipo industria	Usos
Química	Catálisis, sabor y fragancia, pesticidas, plásticos y fibra sintética, tintes, petróleo, halógenos orgánicos especificaciones químicas
Metalúrgica	Tratamientos térmicos, producción de metales, soldaduras y corte.
Grasas y aceites	Control de las propiedades físicas y químicas
Vidrio	El Hidrógeno es usado como protector atmosférico, cortes
Electrónico	Como protector atmosférico, reactante, reductor atmosféricos para proteger los chips.

[20]

El hidrógeno también puede ser utilizado como:

- ⇒ El hidrógeno líquido (densidad = $70,8 \text{ g/cm}^3$ en el punto de ebullición) se emplea como refrigerante y en estudios de superconductividad y combustible.
- ⇒ En estado gaseoso fundamentalmente se emplea en la síntesis de amoníaco (Proceso Haber), sustancia de partida para la producción de compuestos nitrogenados, y en la síntesis de otras sustancias: metanol, ácido clorhídrico y en la hidrogenación de sustancias orgánicas (grasas y aceites), hidrodeshalquilación, hidrocrackeo e hidrosulfurización^[3].
- ⇒ Se usa en los vehículos espaciales; en los sistemas de propulsión de los cohetes más avanzados (en estado criogénico líquido, es un magnífico combustible junto al oxígeno). Si se une al oxígeno líquido, produce electricidad en un procedimiento inverso a la electrólisis en las células de combustible^[3].

[20] eren.doe

[3] K.Cox. Hydrogen. 1986

- ⇒ La combustión catalítica del hidrógeno se basa en que el hidrógeno y el oxígeno se pueden combinar a bajas temperatura mediante un catalizador adecuado produciéndose únicamente en ésta reacción vapor de agua el cual puede ser empleado por quemadores o calentadores en aplicaciones domésticas como por ejemplo en las estufas y calentadores de agua, etc^[3].

- ⇒ Combustión del hidrógeno en máquinas de combustión interna. Consiste básicamente en la modificación de estos motores diseñados para quemar combustibles fósiles (gasolina, diesel, gas natural, etc) basándose en dos aspectos básicos: el rediseño de la cámara de combustión y diversos ajustes en los sistemas del motor para que sea eficiente el uso de hidrógeno como combustible. Una de las características de los motores que utilizan hidrógeno como combustible es que tienen una eficiencia 20% mayor que los motores que emplean combustibles fósiles. Otra característica es que producen pocas emisiones contaminantes, arrojan únicamente vapor de agua y pequeñas cantidades de NO_x^[3].

- ⇒ La generación electroquímica de electricidad por medio de Celdas de Combustible (Fuel Cells).

- ⇒ Procesos especiales de soldadura y corte.

- ⇒ Laboratorios.

- ⇒ Formación de atmósferas reductoras (industria del vidrio).

[3] K.Cox. Hydrogen. 1986

1.3.4. EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE DEL FUTURO.

CELDA DE COMBUSTIBLE.

La primer Celda de Combustible fue construida en 1839 por Sir William Grove, un juez galés y honorable científico. Pero el verdadero interés en las celdas de combustible, se generó a comienzos de los años 60's cuando el programa espacial de los Estados Unidos seleccionó las celdas de combustible en lugar del riesgoso generador nuclear. Fueron las celdas de combustible las que proporcionaron electricidad y agua a las naves espaciales Gemini y Apolo^[12].

La celda de combustible es una tecnología probada en la práctica en las misiones de la NASA. Desde 1984 una instalación grande de celda de combustible alimenta en parte como energía eléctrica la ciudad de Tokio.

En principio, una celda de combustible opera como una batería. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión.

A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible. El único subproducto que se genera es agua 100% pura. Las celdas de combustible permiten promover una diversidad de energía y una transición hacia fuentes de energía renovables. Así, una variedad de distintos combustibles pueden ser usados en éstas, combustibles tales como hidrógeno, metanol, etanol, gas natural así como gas licuado. La energía también podría ser provista a partir de biomasa, sistemas eólicos ó bien solar^[13].

[12] J. Bockris., 1975.

[13] Polle, J. 2000

El hidrógeno se perfila como una de las nuevas fuentes de combustibles renovables. Su elevada eficiencia energética y el hecho de que en su producción y uso **no se emitan contaminantes a la atmósfera** lo convierten en uno de los combustibles del futuro. El hidrógeno **se caracteriza por ser el elemento más abundante en la tierra y en la atmósfera**, aunque también por su alto nivel de ignición, es decir que reacciona con más facilidad en contacto con el oxígeno^[12].

En el desarrollo de los motores de hidrógeno para coches hay un elemento clave y del que oiremos hablar en el futuro, así como se menciona anteriormente: las pilas o celdas de combustibles (Fuel Cell). Los coches movidos por celdas de combustibles se encuentran en pleno desarrollo. General Motors reveló su intención de tener un vehículo a celda de combustible "listo para producción" para el año 2004. Daimler-Benz dió a conocer recientemente el NECAR IV, un vehículo alimentado con metanol para su celda de combustible y que es uno de los primeros que puede llegar al mercado. De hecho esta firma ya tiene un autobús, el NEBUS, que desde hace más de dos años funciona en Babiera. Otros fabricantes que tienen avanzados sus prototipos de coches a hidrógeno son Ford, Opel, Mazda, Chrysler, Volkswagen-Volvo, Toyota, entre otros. (ECOS)^[14].

Durante el **2003** van a empezar a funcionar en el Reino Unido los primeros autobuses más verdes y limpios, gracias a su motor de hidrógeno. Están fabricados por DaimlerChrysler para First Group, la mayor compañía de autobuses del Reino Unido. Empezarán a circular por las calles de Londres y el grupo petrolífero BP va a construir y a encargarse de la infraestructura necesaria para el suministro de hidrógeno^[20].

[12] J. Bockris., 1975.

[14] Riley,R. 1994

[20] eren.doe.gov/hydrogen

Transport for London, el organismo responsable del sistema de transporte integrado de la capital británica, lleva cinco años desempeñando un papel pionero en la búsqueda de nuevos medios de transporte público. Por su parte BP ha colaborado con DaimlerChrysler en otros proyectos similares en Barcelona (España), Oporto (Portugal), Stuttgart y Hamburgo (Alemania) y participa con varias empresas de transporte en el desarrollo de nuevos motores de hidrógeno. Además suministra el hidrógeno para otros proyectos similares en California (Estados Unidos) y Australia^[14].

DaimlerChrysler fabricaron los **30 autobuses propulsados por pilas de hidrógeno** para distintas compañías europeas, que se entregaron a finales de 2002. Bajo la marca Citaro, estos autobuses urbanos están siendo fabricados por una filial del grupo y su precio unitario será de unas **650.000 libras** (más de un millón de EUR), incluido el mantenimiento durante dos años. Las primeras ciudades que utilizaran estos autobuses, para lo que firmaron un protocolo en abril de 2000, son Amsterdam (Dinamarca), Barcelona (España), Hamburgo y Stuttgart (Alemania), Londres (Reino Unido), Oporto (Portugal), Luxemburgo, Estocolmo (Suecia) y Reykjavik (Islandia). Durante dos años las empresas de autobuses de estas capitales van a acumular e intercambiar experiencias y datos técnicos relativos tanto a los vehículos como a la infraestructura necesaria. En todas las ciudades habrá estaciones de servicio de hidrógeno líquido construidas por BP y las empresas petrolíferas de cada país^[14].

[14] Riley.R. 1994

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL HIDROGENO.

VENTAJAS

Las ventajas del uso del hidrógeno son las siguientes:

- ⇒ El hidrógeno es un combustible extraído del agua, la cual es un recurso muy abundante e inagotable en el mundo.
- ⇒ La combustión del hidrógeno con el aire es limpia, evitando así la contaminación del medio ambiente.
- ⇒ Los productos de la combustión son en su mayoría vapores de agua, los cuales son productos no contaminantes.

Las razones por las cuales se considera la combustión del hidrógeno como una combustión limpia, son las siguientes:

- ⇒ Los productos de la combustión del hidrógeno con aire son: vapor de agua y residuos insignificantes donde la máxima temperatura es limitada. Algunos óxidos de nitrógeno son creados a muy altas temperaturas de combustión (2000 °C), afortunadamente, la temperatura de autoignición del hidrógeno es solamente de 585 °C^[3].
- ⇒ Una máquina de combustión interna que utiliza hidrógeno como combustible puede ser ajustada para que la emisión de NO_x sea 200 veces menor que la de los vehículos actuales. Una forma práctica para controlar la temperatura de combustión consiste en inducir agua a la mezcla hidrógeno - aire. Con la inyección de agua, el escape de los vehículos manejados con hidrógeno es simplemente vapor de agua que retorna a la atmósfera sin contaminar el aire ni producir lluvia ácida^[2].

[2] (Dinga G.P Hidroegen, 1989.

[3] K. Cox. Hydrogen 1979)

DESVENTAJAS.

Las desventajas del uso del hidrógeno son las siguientes:

- ⇒ Como no es un combustible primario entonces se incurre en un gasto para su obtención
- ⇒ Requiere de sistemas de almacenamiento costosos y aun poco desarrollados.
- ⇒ Elevado precio del hidrógeno puro.
- ⇒ El hidrógeno tiene una temperatura de licuefacción extremadamente baja (20 °K) y una energía muy baja por unidad de volumen como gas o como líquido (más o menos una tercera parte de la del gas natural o gasolina, respectivamente)^[1].
- ⇒ La obtención de hidrógeno líquido requiere de un proceso altamente consumidor de energía.
- ⇒ El transporte de hidrógeno gaseoso por ductos es menos eficiente que para otros gases.
- ⇒ Los contenedores para su almacenaje son grandes y el almacenamiento de cantidades adecuadas de hidrógeno a bordo de un vehículo todavía representa un problema significativo.
- ⇒ El hidrógeno no es tóxico y no es contaminante, pero es difícil de detectar sin sensores adecuados ya que es incoloro, inodoro y su flama en el aire es casi invisible^[1].

[**] A.H. Awad, Hydrogen Energy, 1984.

[1] DeLucci, MA. 1989

1.4. MEDIDAS DE SEGURIDAD QUE SE DEBEN TENER CON EL HIDRÓGENO

1.4.1. RIESGOS DEL GAS.

FUEGO: Los escapes de alta presión frecuentemente se inflaman produciendo una llama muy caliente y casi invisible, ya que las mezclas de "aire-hidrógeno" en una proporción del 4.1% al 74.2%, dependiendo de la presión inicial, temperatura y humedad. La manera más eficaz de combatir un incendio por hidrógeno es desconectar la fuente de hidrógeno; en el caso del cilindro, cerrar la válvula. El equipo que esté a su alrededor debe ser enfriado con agua y espuma durante el incendio^[28].

1.4.2. SEGURIDAD DE LOS CILINDROS.

- En aquellas áreas en donde el Hidrógeno esté usándose o almacenándose, está terminantemente prohibido el uso de llamas.
- Almacenar los cilindros en lugar ventilado.
- Si hubiera fuego en un cilindro, separar los demás y colocarlos en lugar abierto y ventilado, y lejos de las llamas^[28].

[28] AGA, Hidrógeno

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno

Líquido

<p>1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA</p> <p>Nombre del Producto: HIDRÓGENO LÍQUIDO</p> <p>Fórmula química: H₂</p> <p>2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS</p> <p>Gas licuado fuertemente refrigerado. El contacto con el producto puede producir quemaduras por frío o congelación. Extremadamente inflamable.</p> <p>3. PRIMEROS AUXILIOS</p> <p>Inhalación: A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de conciencia o movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de que se asfixia. Retirar a la víctima a una zona no contaminada llevando colocado un equipo de respiración autónomo de presión positiva. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al médico. Aplicarle la respiración artificial, si es preciso. Contacto con piel y ojos: Lavar los ojos inmediatamente, al menos durante 15 minutos. Levantar los párpados para mejorar el lavado. En caso de congelación rociar con agua abundante a temperatura ambiente la parte afectada al menos durante 15 minutos. Aplicar un vendaje estéril. Obtener asistencia médica.</p> <p>Ingestión: La ingestión no está considerada como vía potencial de exposición.</p> <p>4. MEDIDAS CONTRA INCENDIO.</p> <p>Riesgos específicos: La exposición al fuego de los recipientes puede causar su rotura o explosión.</p> <p>Productos peligrosos de la combustión: Ninguno.</p> <p>Medios de extinción adecuados: Se pueden utilizar todos los agentes extintores conocidos.</p> <p>Medios específicos de actuación Si es posible, detener la fuga de producto. Sacar los recipientes al exterior o enfriarlos con agua pulverizada desde un lugar seguro. No extinguir una fuga de gas inflamada si no es absolutamente necesaria. Se puede producir la reignición espontánea explosiva. Extinguir los otros fuegos.</p> <p>Equipo de protección especial para la actuación en incendios:</p>	<p>En espacios confinados se recomienda utilizar equipo de respiración autónomo de presión positiva.</p> <p>5. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE ESCAPE O VERTIDO ACCIDENTAL</p> <p>Precauciones personales: Usar ropa adecuada. Utilizar equipos de respiración autónoma cuando se entre en una zona contaminada, a menos que se compruebe que la atmósfera es segura. Evacuar el área. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Eliminar las fuentes de ignición.</p> <p>Precauciones para la protección del medio ambiente: Intentar detener el escape/derrame. Prevenir la entrada de producto en las alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o cualquier otro lugar donde la acumulación pudiera ser peligrosa.</p> <p>Métodos de limpieza: Ventilar el área afectada</p> <p>6. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</p> <p>Asegúrese que el equipo está adecuadamente conectado a tierra. Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente. Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas. No permitir el retroceso al interior del recipiente. Utilizar sólo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro, en caso de duda contacte con su suministrador. Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática. Separar de los gases oxidantes o de otros materiales oxidantes durante el almacenamiento. Solicitar del suministrador las instrucciones de manipulación de los contenedores. Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado.</p> <p>7. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL</p> <p>Asegurar una ventilación adecuada. Proteger los ojos, la cara y la piel de las salpicaduras de líquido. No fumar cuando se manipule el producto.</p> <p>8. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</p> <p>Peso molecular: 2 g/gmol Temperatura de fusión: -259,20°C Temperatura de ebullición: -252,76°C Temperatura crítica: -239,91°C Densidad relativa del gas (aire=1): 0,070 a 15°C</p>
--	---

<p>Densidad relativa del líquido (agua=1): 0,07 a -252,76°C</p> <p>Presión de vapor: No aplicable.</p> <p>Solubilidad en agua: 1,78 cm³/l a 20°C</p> <p>Apariencia y color: Líquido incoloro.</p> <p>Olor: Inodoro.</p> <p>Temperatura auto inflamación: 560°C</p> <p>Rango de inflamabilidad (% de volumen en aire): 4 - 75</p> <p>Otros datos: Se quema con una llama invisible e incolora. El vapor es más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente en sótanos y a nivel del suelo.</p> <p>9. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD Puede formar mezclas explosivas con el aire. Las fugas de líquido pueden producir fragilidad en materiales estructurales. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes.</p> <p>10. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA General: No se conocen los efectos toxicológicos de este producto.</p> <p>11. INFORMACIÓN ECOLÓGICA General: Puede causar hielo que dañe la vegetación.</p> <p>12. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN DE PRODUCTO General: No descargar en áreas donde haya riesgo de que se forme una mezcla explosiva con el aire. El gas residual debe ser quemado a través de un quemador adecuado que disponga de antirretroceso de llama. No descargar en ningún lugar donde su acumulación pudiera resultar peligrosa. Consultar con el suministrador si se necesita orientación.</p>	<p>13. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE</p> <p>Informaciones para el transporte: Asegurar una ventilación adecuada. Asegurar que el conductor conoce los riesgos potenciales de la carga y que sabe qué hacer en caso de accidente o emergencia. Transportarlo solamente en vehículos donde el espacio de la carga esté separado del compartimento del conductor. Asegurarse de cumplir con la legislación aplicable.</p> <p>14. OTRAS INFORMACIONES Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales. Asegurarse que los operarios conocen el riesgo de inflamabilidad. El riesgo de asfixia es a menudo despreciado y debe ser recalcado durante la formación de los operarios. Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales.</p>
--	--

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno

Gas

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

Nombre del Producto:
HIDRÓGENO GAS
Fórmula química: H₂

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

El hidrógeno no es tóxico y está clasificado como un simple asfixiante. Los síntomas de anoxia sólo ocurrirán cuando las concentraciones del gas estén dentro de los rangos de inflamabilidad y la mezcla no haya encendido. NO ENTRAR EN ÁREAS DENTRO DEL RANGO DE INFLAMABILIDAD DEBIDO A LOS PELIGROS INMEDIATOS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN.

No mezclar con gases oxidantes tales como oxígeno, flúor, cloro, etc.

3. PRIMEROS AUXILIOS

Las quemaduras de primer grado (sólo enrojecido, como quemadura de sol), o de segundo grado (ampolla) que sean ocasionadas por la exposición al fuego y se encuentran localizadas en una porción de alguna extremidad u otra pequeña área del cuerpo, pueden ser sumergidas en agua fría de 10 a 20 min. para aliviar el dolor. No sumergir el cuerpo entero en un baño de agua fría. Todas las quemaduras, excepto las de menor grado y que se localicen en un área pequeña deberán ser tratadas por un médico. Las áreas quemadas deben ser cubiertas con el material más limpio disponible, como una sábana limpia, previo al traslado del lesionado. No utilice ungüentos para quemaduras o materiales grasosos, a menos que sólo sean quemaduras de primer grado en áreas pequeñas. Las personas que sufran de falta de oxígeno deberán ser trasladadas a áreas con atmósfera normal. Si la víctima no está respirando aplique respiración artificial de preferencia boca a boca, si la respiración se dificulta administre oxígeno.

4. MEDIDAS CONTRA INCENDIO

El hidrógeno se quema con una flama casi invisible de baja radiación térmica. Hay gente que ha caminado sin saber en flamas de hidrógeno. Fácilmente se incendia; la energía mínima de ignición es muy baja (0.2 MJ) y el rango de inflamabilidad es muy amplio. La flama se propaga muy rápidamente. Existe peligro potencial de explosión por reignición si el fuego se extingue sin cerrar la fuente de hidrógeno. El hidrógeno puede acumularse en las áreas superiores de los lugares cerrados. Cerrar la fuente de hidrógeno. Cuando sea posible, permita que el fuego se extinga por sí mismo. Rociar agua al equipo adyacente para mantenerlo frío.

METODO DE EXTINCIÓN
Polvo Químico, CO₂, o Halón

5. PROCEDIMIENTOS EN CASOS DE FUGAS O DERRAMES

NO ENTRAR en áreas que contengan mezclas inflamables de hidrógeno en aire. Ventilar las áreas cerradas para prevenir la formación de atmósferas inflamables o deficientes de oxígeno. Ver "VENTILACION" a continuación.

Eliminar todas las fuentes potenciales de ignición. Trasladar los cilindros de gases comprimidos al aire libre si la fuga es pequeña. Consultar a INFRA para obtener ayuda adicional.

6. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL MANEJO

Sólo utilizar en áreas con buena ventilación. Los cilindros de gases comprimidos contienen hidrógeno a una presión muy elevada, por lo que deben ser manejados con cuidado. Utilizar un regulador de presión cuando los cilindros se conecten a sistemas de baja presión. Asegurar los cilindros cuando estén en uso. Nunca utilizar flama directa para calentar los cilindros. Utilizar válvulas check para prevenir el retroceso de flujo al cilindro. Evitar arrastrar, deslizar o rolar los cilindros aún en distancias cortas. Utilizar un diablo apropiado.

Para recomendaciones adicionales consultar el folleto P-1 de la CGA. (Compressed Gas Association).

RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ALMACENAMIENTO

Almacenar los cilindros y los contenedores en áreas bien ventiladas. Mantenga los cilindros alejados de fuentes de calor. No los almacene en áreas de tráfico para evitar caídas accidentales o el daño al caerse objetos en movimiento.

Los cilindros que no estén en uso deben mantenerse con el capuchón de la válvula puesto. Separar los cilindros llenos de los vacíos. Almacénelos en áreas libres de material combustible. Evite exponerlos en áreas en las que haya sales u otros químicos corrosivos. El almacenamiento del hidrógeno debe estar separado de los gases oxidantes tales como oxígeno, flúor, etc. al menos con 6 m. de distancia.

RECOMENDACIONES ESPECIALES PARA EL ENVASADO

El hidrógeno gaseoso en USA se envasa en cilindros que cumplen con las especificaciones DOT o los códigos ASME. En México se fabrican cilindros de acuerdo a la norma NOM S-11-1970.

7. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

LÍMITE DE EXPOSICIÓN

El hidrógeno es un simple asfixiante por lo que no tiene un valor límite de exposición (TLV). El hidrógeno no está clasificado como cancerígeno por NTP, IARC, o OSHA. CPT : Asfixiante puro CCT : Asfixiante puro.

VENTILACIÓN

Natural o mecánica según se requiera. La ventilación mecánica debe cumplir con el Código Nacional Eléctrico (NEC) para Clase 1 Grupo B.

<p>GUANTES DE PROTECCIÓN Guantes de carnaza para el manejo de cilindros de gases comprimidos.</p> <p>PROTECCIÓN OCULAR Se recomienda el uso de anteojos de seguridad para el manejo de cilindros de gases comprimidos.</p> <p>EQUIPO DE PROTECCIÓN Zapato con casquillo y ropa 100% de algodón.</p> <p>8. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</p> <p>PUNTO DE EBULLICIÓN @ 1 atm: - 423.0°F (-252.8°C)</p> <p>PRESIÓN DE VAPOR N/A</p> <p>SOLUBILIDAD EN AGUA @68°F(20°), 1 atm: 3.35% por volumen</p> <p>APARIENCIA Y OLOR El hidrógeno es incoloro e inodoro.</p> <p>DENSIDAD DEL LÍQUIDO AL PUNTO DE EBULLICIÓN @ 1 atm: 4.43 lb/pie³ -70.96 kg/m³</p> <p>DENSIDAD DEL GAS @ 21.1 °C , 1 atm 0.0834401 kg/m³</p> <p>PUNTO DE CONGELAMIENTO @1 atm: - 434.5 °F(-252.9°C)</p> <p>PUNTO DE IGNICIÓN (MÉTODO USADO) N/A Gas a temp. Normal</p> <p>TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN 932° F (500°C)</p> <p>LÍMITES DE INFLAMABILIDAD % POR VOLUMEN INFERIOR 4.0% SUPERIOR 74.2%</p> <p>9. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</p>	<p>11. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA</p> <p>El hidrógeno no genera efectos adversos a la ecología, no contiene ningún químico de clase I o II que afecten la capa de ozono, el hidrógeno no está catalogado como contaminante marino. El hidrógeno por sus características se encuentra dentro del listado de los productos que si se almacenan, producen o transportan en cantidades iguales o mayores a la de reporte se considera la actividad como de alto riesgo, la cantidad de reporte para el hidrógeno es de 500 kg.</p> <p>12. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN DE PRODUCTO</p> <p>No intentar desechar el hidrógeno residual en cilindros.</p> <p>13. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN</p> <p>El hidrógeno gas comprimido esta catalogado como un material peligroso, la unidad que lo transporte se rotula con la etiqueta de transporte de material peligroso. Además debe portar el rombo de señalamiento de seguridad (gas inflamable) con el número de naciones unidas ubicando en la unidad según NOM-004-STC/1999. Cada envase requiere una etiqueta de identificación con información de riesgos primarios y secundarios.</p> <p>La unidad deberá contar con su hoja de emergencia en transportación con la información necesaria para atender una emergencia según NOM-005-STC/1999. Para este tipo de producto no existe ninguna restricción por incompatibilidad para el transporte con otro producto según NOM-010-STC/1999.</p> <p>Los cilindros deberán ser transportados en posición vertical y en unidades bien ventiladas, nunca transporte en el compartimento de pasajeros del vehículo.</p>
<p>INESTABLE</p>	<p>ESTABLE X</p>
<p>CONDICIONES A EVITAR Fuentes de ignición, flamas, objetos calientes Materiales oxidantes. Algunos aceros son susceptibles de ataque o de hacerse quebradizos a altas temperaturas o presiones.</p> <p>10. PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS</p> <p>El hidrógeno no es tóxico y está clasificado como un simple asfixiante, pero es extremadamente inflamable. El hidrógeno necesario para reducir las concentraciones del oxígeno en un nivel inferior al requerido para soportar la vida causaría mezclas dentro de los rangos de inflamabilidad. No entrar en áreas que contengan mezclas inflamables debido al peligro inmediato de incendio o explosión.</p>	<p>14. OTRAS PRECAUCIONES O RECOMENDACIONES</p> <p>Los cilindros de hidrógeno sólo deben ser llenados por personal experimentado de los proveedores. Las atmósferas de las áreas en las cuales se haya venteado el hidrógeno y exista acumulación, deberán ser monitoreadas con un analizador portátil de gases inflamables.</p>

CONCLUSIONES AL CAPITULO 1.

Al hidrógeno se le considera como una fuente energética muy interesante debido a su bajo impacto ambiental (la combustión del hidrógeno produce únicamente agua), su alto contenido energético y la variedad de posibles aplicaciones: automóviles, aviones, cocinas, calefacciones, etc.

Todo esto se ha logrado por que es el elemento más ligero y abundante del universo.

Colocándolo así como nueva fuente de combustible renovable, debido a su alta eficiencia energética y de que no emite contaminantes a la atmósfera, tanto en su producción como uso atribuyéndole el término "combustible del futuro".

El hidrógeno puede producirse en grandes cantidades a partir de fuentes de energía primarias, tales como combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural), de diferentes intermediarios (productos de refinería, amoniaco, metanol) y de fuentes alternativas como biomasa, biogás y materiales de deshecho. También se puede obtener por electrólisis del agua, consistente en la liberación del hidrógeno y el oxígeno mediante la utilización de electricidad.

Por lo tanto, cabe mencionar que en el caso de México, se están llevando a cabo estudios tecnológicos para la producción y uso del Hidrógeno como combustible, esto debido a la necesidad que se tiene actualmente por reducir el nivel de contaminantes presentes en la atmósfera.

Mientras que en países como Alemania, Inglaterra, Suecia, Dinamarca, Islandia y Portugal están innovando con sus líneas de autobuses que se distribuirán en las principales ciudades de estos países durante los años 2003 y 2004 contando principalmente con estaciones de servicio de hidrógeno.

No se descarta la idea de que en un futuro no muy lejano países como el nuestro llegue a utilizar este tipo de combustible de manera general para poder alcanzar un mayor desarrollo tanto en aspectos políticos, económicos, sociales, culturales y ecológicos.

CAPITULO 2



- ◆ANSI
- ◆ASME
- ◆NHA Working Groups
- ◆ISO Standards
- ◆NFPA
- ◆IEEE
- ◆ICC
- ◆29 CFR 1910.103 Hydrogen

**ESTÁNDARES PARA EL MANEJO SEGURO
DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE**

INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 2.

El hidrógeno como todos los combustibles, requiere estándares para la producción, almacenamiento, manejo y uso seguros. Muchas organizaciones han contribuido a la elaboración y publicación de estándares, códigos y especificaciones para el manejo del hidrógeno.

Para lograr un uso masivo en condiciones de seguridad es necesario que todos los sectores de la sociedad participen convencidos de la necesidad de establecer normas de seguridad en todas y cada una de las etapas de la cadena de utilización. Las medidas de seguridad y los estándares, códigos y especificaciones en su manejo deberán ser acordes con los estándares, códigos y especificaciones internacionales. El hidrógeno presenta propiedades que hacen delicada su utilización en condiciones seguras, como se menciono en el capitulo anterior.

A través del mundo la ocupación de estos documentos han llevado como resultado el desarrollo del mejoramiento como la eficiencia de instalaciones, productos, servicios, procesos, etc. Esto a su vez tiene como esencia el de incrementar la competencia al nivel de mercado, llámese el sector laboral, productivo, industrial, tecnológico, entre otros.

A nivel nacional como Internacional son pilares apropiados en promover la generación, aplicación y actualización de Sistemas de Metodologías, además define la vinculación eficiente de programas y diagnósticos que permitan solucionar los problemas que afectan a los procesos productivos y fortaleciendo su capacidad de adaptación.

Modelos escritos de códigos de organizaciones como ICC y NFPA, están trabajando en poner al día códigos actuales o escribiendo nuevos para ser encaminados eficazmente a preocupaciones con respecto a seguridad de hidrógeno. O son involucradas directamente organizaciones de desarrollos de

estándares como ISO y ANSI o coordinando esfuerzos para desarrollar nuevos códigos para ser dirigidos a la seguridad del equipo de hidrógeno. Algunos de los documentos de referencia no han sido publicados todavía y sus requisitos pueden, por consiguiente, cambiar con trabajo continuo.

2.1. GENERALIDADES

La cuestión de la seguridad ya no provoca tanta inquietud, vistos los resultados de diversos ensayos que se han realizado en diferentes partes del mundo, entre ellos los del Proyecto Euro-Quebec de 1996. Expertos estiman que el peligro potencial del hidrógeno no excede el de los combustibles existentes, si bien las características de seguridad y los riesgos asociados sí pueden variar en función de los diferentes combustibles.

Es necesario desarrollar o perfeccionar una filosofía específica para la seguridad. Cabe añadir de paso que éste es un tema que se presta idealmente a la colaboración y el intercambio de información internacional, así como al establecimiento de una normativa armonizada. Se ha tomado a nivel de la ISO la primera de tales iniciativas encaminadas a la estandarización internacional.

Contribuyendo con las siguientes normas en estudio:

NORMAS ISO (En estudio).

ISO 13984 Hidrógeno líquido. Interfase como sistema de alimentación para vehículos terrestres.

ISO 14687 Hidrógeno combustible. Especificación de producto.

NORMA ISO (Por estudiar).

IW Requerimientos básicos para la seguridad de sistemas de hidrógeno.

Por lo tanto a continuación se muestran los estándares más importantes sobre el manejo y uso del hidrógeno que se han generado hasta el momento, debido a que este tema sigue en estudio.

2.2. DEFINICIÓN DE: ESTÁNDARES, CODIGOS Y REGULACIONES

¿QUÉ ES UN ESTÁNDAR?

Los estándares son un instrumento de transferencia de tecnología, aumentan la competitividad de las empresas y mejoran y clarifican el comercio internacional.

Los estándares son documentos escritos por un comité que representa varios intereses y es emitido, en los EE.UU., por una organización como la American Society of Mechanical Engineering (ASME). Los estándares son documentos de acuerdos generales y puede asociarse con el American National Standards Institute (ANSI). Tales emisiones se dirigen como plan del equipo, esquema de la planta, y procedimientos de la operación. Aquellos, estándares no son obligatorios. Sin embargo, son ampliamente incluidos en regulaciones de esta manera las fracciones incluidas son obligatorias.

¿QUÉ ES UN CODIGO?

Un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido que establece, para usos comunes y repetidos, reglas, criterios o características para las actividades o sus resultados, que procura la obtención de un nivel óptimo de ordenamiento en un contexto determinado".

¿QUÉ SON LAS REGULACIONES?

Las regulaciones contienen reglas escritas en los documentos para entidades que tienen jurisdicción sobre áreas o elemento. Dentro de las regulaciones de Estados Unidos se encuentran las CFR, específicamente en la sección 29CFR contiene regulaciones de la seguridad aplicable al uso de hidrógeno en el lugar de trabajo. La sección 49CFR rige los requisitos para la transportación de hidrógeno. Estados o municipios pueden imponer regulaciones adicionales. Además, cualquier organización puede agregar reglas que deben ser seguidas por sus empleados. Las regulaciones hacen uso de estándares existentes o incorporan secciones apropiadas de los estándares (incorporación por transcripción) o se refieren a

aquellas secciones (incorporación por referencia). En cualquier caso, el volumen incorporado de el estándar es hecho por la ley.

NORMALIZACIÓN.

la normalización es la actividad que tiene por objeto establecer, ante problemas reales o potenciales, disposiciones destinadas a usos comunes y repetidos, con el fin de obtener un nivel de ordenamiento óptimo en un contexto dado, que puede ser tecnológico, político o económico.

Se hace referencia, entonces, a una actividad que se plasma en un hecho práctico, que luego hay que concretar en un documento que se pone a disposición del público.

La normalización implica la participación de personas que representan a distintas organizaciones de los tres sectores involucrados: productores, consumidores e intereses generales. Estos representantes aportan su experiencia y sus conocimientos para establecer soluciones a problemas reales o potenciales.

Después de estas simples pero importantes definiciones dan paso, a la parte principal de este documento.

2.3. ESTÁNDARES Y CÓDIGOS PARA EL USO DEL HIDRÓGENO.

A continuación se enlistan algunos de los códigos más importantes:

- NFPA 70: The National Electric Code.
- NFPA 54: National Fuel Gas
- NFPA 50: A Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites.
- NFPA 52: Compressed Natural Gas (CNG) Vehicular Fuel System Code
- Draft additions to NFPA 52 to cover Hydrogen.
- NFPA 5000, Building Construction and Safety Code
- International Fuel Gas Code
- International FIRE Code 2000
- CGA G-5,4-2001: Standard for Hydrogen piping Systems at Consumer Locations.
- CGA G-5.5: 1996, Hydrogen Vent Systems.
- ASME B31.3: 2002

TABLA 2.3.1 CODIGOS *

Component Technology	Codes	Status
Production	NFPA 70/ NEC/CEC ASME Boiler-Pressure Vessel Sec. VIII	mature mature
Transportation:	DOT 49 CFR	mature mature
Pipeline	NEC/CEC ANSI/ASME B31.1, B31.8	mature mature
Storage	NFPA 50 A: Gaseous Hydrogen NFPA 50 B: Liquid Hydrogen ASME Boiler-Pressure Vessel Sec. VIII	mature (1961) mature (1961) mature
Vehicle Refueling Stations	HV-3: Hydrogen Vehicle Fuel NFPA 52: CNG Vehicle Fuel HV-1: Hydrogen Vehicle Connector NGV1: NGV connectors	being developed base for HV-3 being developed base for HV-1
Hydrogen Vehicles	HV-3: Hydrogen Vehicle Fuel NFPA 52: CNG Vehicle Fuel HV-2: Gaseous Hydrogen Tanks NGV2: CNG Storage Tanks	being developed base for HV-3 being developed base for HV-2

TABLA 2.3.2. ESTATUS DE ESTÁNDARES DEL HIDROGENO BAJO LA ISO/TC197*

Identification Number	Title	Working Group	Convener (Country)
DIS 13984	Liquid H ₂ - Land Vehicle Fueling System Interface	WG 1	SCC (Canada)
DIS 14687	H ₂ Fuel-Product Specification	WG 3	ANSI (USA)
NP 15594	Airport H ₂ Fueling Facility	WG 4	DIN (Germany)
NP 15866	Gaseous H ₂ and H ₂ Blends-- Vehicular Fuel Systems	WG 5	ANSI (USA)
NP 15869	Gaseous H ₂ - Vehicle fuel tanks	WG 6	ANSI (USA)
NP 15916	Basic requirements for safety of H ₂ systems	WG 7	DIN (Germany)
WD 13985	Liquid H ₂ - Land vehicle fuel tank		SCC (Canada)
WD 13986	Tank containers for multimodal transport of liquid H ₂		SCC (Canada)

* William J. 2001. Center For Hydrogen Safety

ESTÁNDARES PARA CALENTADORES Y RECIPIENTES A PRESIÓN (Como el Código ASME **BPVC**) (1995) y la NFPA 50B (1994), no son obligatorios por sí mismos pero se conforma con varios estándares que pueden ser asignados por el estado federal o el gobierno local. El ANSI administra y coordina el sistema de la regularización voluntaria del sector privado en EE.UU. El ANSI no hace que se desarrollen estándares; más bien facilita el desarrollo de estándares estableciendo acuerdos generales entre los grupos calificados. ASME y documentos del ANSI tienen a menudo la misma designación. ANSI/ ASME B31.1 es la más reciente, la más apropiada para designar este estándar. Un estándar desarrollado por una organización tal como el ASME no recibe una designación del ANSI hasta que haya sido aceptada por él.

La International Standard Organization for Hydrogen Technologies (**ISO/ TC 197**), que se creó en 1990, es el comité técnico del ISO responsable para la regularización en el campo de sistemas y para dispositivos de producción, almacenamiento, transporte, medición, y uso de hidrógeno.

NFPA 70: THE NATIONAL ELECTRIC CODE:

Este código enumera todos los requerimientos para alambrado y conexión a tierra, protección sobre contracorriente, y otros problemas eléctricos que pueden asociarse con equipo de hidrógeno.

430.32. La mayoría de los motores empleados en algún tipo de generadores, como son para bombear un líquido, comprimir un fluido o para mover un ventilador. De acuerdo con el Artículo 430, para Motores mayores de 1 HP debe proveerse de protección térmica. Motores que son 1 HP o menores que no se encuentran a la vista de la persona que lo opera debe proveerse también de protección al motor.

500.5 Artículo 500 localizado en Clase I, División 1 es aplicado a un inadecuado venteo cercano a instrumentos que contienen normalmente gases o vapores

flamables que se encuentran en el interior de un lugar cerrado, y en el interior de un conducto de descarga que se usa para dar salida a gases o vapores

500.5 Clase I, localizado División 2, por otro lado, contiene gases inflamables o líquidos que no se evaporan a menos que haya un fuga. Un ejemplo de esto sería una fuga o un imperfecto en un sello.

ESTÁNDARES PARA TUBERÍAS A PRESIÓN.

Las siguientes características técnicas son aplicables a tuberías asociadas con un sistema de almacenamiento de hidrógeno gaseoso:

NFPA 50A - ASME B31.3. Planta Química y Tubería de Refinería de Petróleo.

29 CFR 1910.103 - ANSI B31.1-1967 con aditamento **B31.1-1969.** Gas Industrial y Tubería Aérea, Tubería a Presión.

SECCIÓN II.

Tuberías de hidrógeno gaseoso para una temperatura de operación arriba de 244K (-29°C, -20°F).

Tuberías para los Recipientes de Almacenamiento de Hidrógeno Líquidos.

Las siguientes característica técnicas son aplicables a tuberías asociadas con un recipiente de almacenamiento de hidrógeno líquido:

NFPA 50B - ASME B31. Planta Química y Tubería de Refinería de Petróleo, con materiales que reúnen requisitos del Capítulo III para tuberías a una temperatura de operación menor a 244K (-29°C, -20°F).

ANSI B31.3-1966. Tubería de Refinería de Petróleo o

ANSI B31.5-1966 con aditamento **B31.5^a-1968**. Tubería de Refrigeración, para tubería de hidrógeno líquido y gaseoso con una temperatura de operación menor a 244K (-29°C, -20°F).

La Asociación de Gas Comprimido presenta el estándar específico para los sistemas de tuberías de hidrógeno, "Estándar para Sistemas de Tuberías de Hidrógeno a las Condiciones del Consumidor".

CÓDIGO ASME PARA CALENTADORES Y RECIPIENTES A PRESIÓN (BPVC).

BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, (BPVC 1995). Establece reglas de seguridad que gobierna el diseño, fabricación e inspección de calentadores y recipientes a presión, componentes de plantas de poder nuclear durante la construcción. El objetivo de las reglas es asegurar cierta protección de vida, propiedad para mantener un margen en el deterioro durante el servicio.

SECCIÓN VIII.

DIVISIÓN 1 DEL BPVC (1996).

Esta comúnmente especificado para el diseño, fabricación y pruebas de recipientes de almacenamiento, incluyendo aquellos para el hidrógeno líquido y gaseoso.

SECCIÓN IX DEL BPVC (1996).

Esta comúnmente especificado para soldaduras. Aunque el BPVC también contiene casos para calentadores y recipientes a presión en componentes nucleares.

COMPRESSED OF GAS ASOCIATION (CGA G-5.4), 1992.

Este estándar CGA describe las especificaciones y principios de recomendaciones principales para sistemas de tuberías de hidrógeno líquido y gaseoso en premisas que empiezan en el punto en el cual el hidrógeno entra en las tuberías de

distribución a presión hasta el punto en el que se pone en servicio el uso del hidrógeno. La información de la CGA G-5.4 (1992) es general en naturaleza y es orientada para el uso de diseñadores, fabricantes, instaladores, usuarios, y de mantenimiento de los sistemas de tuberías de hidrógeno y debe ser de interés para el personal de seguridad, departamento de incendios, inspectores de construcción, y personal de emergencia. CGA G-5.4 (1992) especifica sistemas de tuberías que deben ser diseñados de acuerdo con ASME B31.3, "Planta Química y Tubería de Refinería de Petróleo".

2.4. ESTÁNDARES Y REGULACIONES PARA EL USO DE HIDRÓGENO COMERCIAL, INDUSTRIAL Y DE NO-PROPULSIÓN.

Una de las actividades de la National Fire Protection Association (NFPA) es el desarrollo de códigos y estándares para reforzar la seguridad contra el fuego.

Para los sistemas de hidrógeno se tienen:

NFPA 50A (1994) y NFPA 50B (1994).

Tiene un alcance pequeño en cuanto a su aplicación. Abarcando los recipientes de almacenamiento; más no la transportación vehicular al entregar o la tubería de distribución.

Los requerimientos de la cantidad-distancia (QD) son claves importantes de los dos estándares.

Los QD's están basados en lo que efectúa el fuego, explosión y detonación puede reducirse a los niveles tolerables si la fuente de riesgo se mantiene bastante lejos de las personas y otros medios. Teniendo una distancia de separación entre un sistema de hidrógeno y las personas reduciendo el confinamiento de otro equipo, el cual proporciona una probabilidad mayor que las fugas o derramamientos de hidrógeno se difundan o disipen sin tener contacto con la fuente de ignición. Una distancia de separación también proporciona un control de la propagación de la

llama; la radiación térmica del fuego no crea una situación en la que se propague fuego de una fuente a otro material combustible.

NFPA 50A (1994) y NFPA 50B (1994).

Este código fue desarrollado mediante pruebas y demostraciones en el manejo industrial y técnicas de almacenamiento para las necesidades prácticas de un funcionamiento comercial. Basado en el concepto de la máxima fuga accidental creíble o derramamiento que podrían esperarse en una instalación dada. Por ejemplo derramamientos de 18.9 o 189 L (5 o 50 galones) que puede esperarse que esté dentro de los parámetros de un estándar de servicio típico de 26,500 L (700 galones) de hidrógeno líquido, el cliente usando en una estación de carga y manejo; técnicas desarrolladas por compañías comerciales. En "el alcance razonable de expectativa", basado en experiencia, deben conocerse los parámetros de seguridad en los lugares de mayor riesgo a una catástrofe, como una caída de avión.

NFPA 50A.

Sistemas de hidrógeno gaseoso en los Sitios de Consumo.

NFPA 50A(1994).

Cubre los requerimientos para la instalación de sistemas de hidrógeno gaseoso en locales de consumo que presentan el siguiente criterio:

- El abastecimiento de hidrógeno es distribuido por equipo móvil.

Este estándar no aplica para sistemas simples que usan contenedores que tienen un contenido total de hidrógeno de menos de 11 m³ (400 ft³). Sin embargo este estándar aplica para sistemas individuales, los cuales tienen un total de contenido de hidrógeno menores de 11 m³ (400 ft³) localizados a menos de 1.5 m (5 ft) uno del otro.

No aplica para plantas productoras de hidrógeno u otros establecimientos operados por un abastecimiento de hidrógeno o agente abastecedor para el propósito de almacenamiento de hidrógeno y rellenado de contenedores, remolques, camiones móviles de almacenamiento, o carros tanques.

El alcance, o extensión, de la aplicación de NFPA 50A (1994) es mostrada en su definición de un sistema de hidrógeno gaseoso: "en el cual el hidrógeno es distribuido, almacenado y descargado en forma gaseosa a las tuberías de consumo. El sistema incluye contenedores estacionarios o móviles, reguladores de presión, dispositivos de relevo de presión, tubería de interconexión y controles. El sistema termina en el punto al cual el hidrógeno a la presión de servicio entra primero a la tubería de distribución de consumo".

NFPA 50B.

Sistemas de Hidrógeno Líquido en sitios de Consumo.

NFPA 50B(1994).

Cubre los requerimientos de la instalación de sistemas de hidrógeno líquido.

Este estándar no aplica para lo siguiente

- Contenedores móviles que tienen un contenido total menor de 150 L (39.7 galones).
- Plantas de producción y otros establecimientos operados por un abastecedor de hidrógeno o agentes abastecedores para el único propósito de almacenamiento de hidrógeno líquido y rellenado de contenedores móviles, remolques, camiones móviles de almacenamiento, o carros tanques.

El alcance, o extensión, de la aplicación de NFPA 50A (1994) es mostrado en su definición de un sistema de hidrógeno líquido : "un sistema dentro del cual el hidrógeno licuado es distribuido y almacenado, el cual es descargado en forma líquida y gaseosa a la tubería de consumo. El sistema incluye contenedores

estacionarios o móviles, incluyendo reservas no conectadas, dispositivos de relevos de presión, tubería de interconexión y controles requeridos.

29 CFR 1910.103 HIDRÓGENO.

Con el tiempo varios estándares se desarrollaron, especialmente para proporcionar recomendaciones QD. Eventualmente algunos de estos estándares fueron incorporados en el código de regulaciones Federales, y la compilación de estos estándares llegó a ser obligatoria. Por ejemplo NFPA 50A(1994) y NFPA 50B(1994) para almacenamiento de hidrógeno gaseoso y líquido, fueron incorporadas casi completamente en 29 CFR 1910.103 (1996).

En la parte 1910, estándares de seguridad ocupacional y de salud, del 29 CFR (1996) proporciona regulaciones relacionadas a la seguridad de trabajo. El subcapítulo H, materiales peligrosos, de 29 CFR 1910 (1996) dirige el manejo seguro de materiales peligrosos en el lugar de trabajo.

49 CFR. Regulaciones Para el Equipo de Transporte y el Transporte De Hidrógeno.

Las regulaciones relacionadas a equipo de transporte y al transporte de hidrógeno se dan en 49 CFR, Subtítulo B, Capítulo I, Subcapítulos A, B y C (1995) en las varias partes de estos subcapítulos como se muestra a continuación.

49 CFR - Transportación

Subtítulo B - Otras Regulaciones que Relacionan la Transportación.

Capítulo I - Investigación y la Administración de los Programas Especiales, Departamento de Transportación.

Subcapítulo A - Transportación Arriesgada, Transportación de Aceite Y Seguridad de la Tubería.

Parte 100 - [Reservado]

Parte 106 - Regla de elaboración de procedimientos.

Parte 107 – Programa de Procedimientos para Materiales Peligrosos.

Parte 110 – Entrenamiento del sector publico en materiales peligrosos y planeación de concesiones.

Subcapítulo C - Regulaciones de los Materiales Peligrosos.

Parte 171 - Información General, regulaciones, y definiciones.

Parte 172 – Tabla de propiedades de materiales peligrosos y la comunicación de las regulaciones de materiales peligrosos.

Parte 173 – Requerimientos de Carga para los embarques y empaquetamiento.

Parte 174 – Transporte por ferrocarril.

Parte 175 - Transporte por avión.

Parte 176 - Transporte por recipientes.

Parte 177 - Transporte por carretera pública.

Parte 178 - Especificaciones para empaquetamiento.

Parte 179 - Especificaciones para Carros tanque.

Parte 180 – Calificaciones Continuas y mantenimiento de empaquetamiento.

Alcance de Subcapítulo C.

Subcapítulo C:

- Transporte de materiales peligrosos por:
 - Transportación en automóvil, ferroviario, avión, y recipiente.
 - Transportación interestatal y extranjeros por vehículo de motor.
 - Transporte intraestatal por vehículo de motor
- Manufactura, fabricación, mantenimiento, reacondicionamiento, reparación o prueba de un empaquetamiento, certificado, o vendido para el uso en tal transporte como se describió anteriormente.
- Cualquier persona que, bajo un contrato con cualquier sección, agencia o instrumentación de la rama ejecutiva legislativa o judicial del Gobierno Federal, transporte, o envíe un material peligroso de fabricantes, debe de estar fabricado, marcado, certificado, o vendido por una persona calificada para su uso en el transporte de materiales peligroso.

Clasificación peligrosa para el hidrógeno gaseoso e hidrógeno líquido.

- La compresión y licuefacción del hidrógeno es designado como una clase de riesgo, en la división, 2.1 de (Gas Inflamable) en 49 CFR 172.101 (1995) y 49 CFR 173.2 (1995).

- 49 CFR 172.101. Indica la cantidad de hidrógeno comprimido, metano comprimido, o hidrógeno licuado esta permitida transportar en aviones comerciales o ferrocarril. Aunque quedan todos totalmente prohibidos transportarse por estas vías.

- 49 CFR 172.101 Indica que cantidad de estos materiales es permitido transportar en avión de carga. El hidrógeno líquido se prohíbe totalmente.

- La tolerancia de hidrógeno comprimido y metano es de 150 Kg (330 lb) por paquete. El hidrógeno comprimido y metano se tratan idénticamente como una mezcla de dos gases.

- El folleto de la Asociación de Gas Comprimido CGA P-1-1991 tituló "el Manejo Seguro de Gases Comprimidos en recipientes" clasifica gases por clase de riesgo. Las clasificaciones están basadas en los riesgos químicos y físicos del gas. Los tres gases son agrupados por sus riesgos principales siendo acetileno, hidrógeno, y metano los más destacados. La capacidad limitada para gas en recipientes es de 70m³ (2500 ft³) guardados dentro de los edificios industriales de los sitios de consumo (misma capacidad para los otros tres gases).

2.5. REGULACIONES PARA LA TRANSPORTACIÓN DE HIDRÓGENO.

DECRETO FEDERAL DE TRANSPORTE DE CARGA PELIGROSA.

El transporte de hidrógeno en Canadá es regulado por el Decreto Federal de Transporte de Carga Peligrosa (S.C. 1992, c. 34) referido de ahora en adelante como el Decreto. El decreto aplica a todas las sustancias dentro de la autoridad legislativa del Parlamento Canadiense, incluyendo carga peligrosa fuera de Canadá que son llevados en barco o avión y registrados en Canadá. El decreto aplica a todo el manejo, oferta de transporte y transportación de carga peligrosa, por cualquier medio de transporte, sea de un modo u otro alquilado o regalado y si las cargas son originarias o enviadas a cualquier lugar de Canadá.

El decreto esta bajo la jurisdicción del Ministerio de Transporte de Canadá. El Consejo Asesor de Política General de Transporte de Carga Peligrosa, asesora al Ministerio en materia existente o propuestas relacionadas a la transportación y seguridad de hidrógeno (SOR/90-153).

La Clasificación del Hidrógeno queda como Clase 2, División 1, gas flamable, está referida en el Cuadro II, Lista II de Carga Peligrosa de otra forma Explosivos, como el Hidrógeno, Líquidos Refrigerantes (No. De identificación de producto UN 1966) e Hidrógeno Comprimido (UN 1049). El cuadro esta referido a cada material para tomar previsiones especiales aplicables y otros códigos de identificación. El artículo del Decreto y las regulaciones pertinentes para el manejo y seguridad en la transportación de hidrógeno líquido se enlista a continuación.

Decreto 3.1.

El decreto esta relacionado a Canadá y Provincias.

Decreto 3.2.

El decreto aplica también a cargas peligrosas fuera de Canadá que son llevadas y registradas en Canadá.

Decreto 3.4.

El decreto no aplica lo relacionado a cargas peligrosas confinadas solamente por la estructura permanente de un barco.

REGULACIONES PARA LA TRANSPORTACIÓN DE CARGAS PELIGROSAS.

Las regulaciones bajo el Decreto están dadas en la Regulaciones para la Transportación de Cargas Peligrosas (**SOR/85-77**) referidas de ahora en adelante como **TGDR**. La mayor parte del Decreto y de las **TGDR** son listadas a continuación.

Parte I: Terminología, incluye expresiones y abreviaciones.

Parte II: Aplicación, usada en la transportación de cargas peligrosas por barco, recipientes y aviones registrados en Canadá.

Parte III: Requerimientos de Seguridad para su Clasificación. El hidrógeno es clasificado como una Carga Peligrosa Clase 2, División 1.

Parte IV: Documentación, incluye descripción, calificación primaria, No. De Identificación de Producto (PIN), instrucciones especiales.

Parte V: Marcas de Seguridad, incluye placas

Parte II. También Dimensiones, color y PIN.

Parte VI: Estándares de Seguridad, incluye retención de documentos recalificados.

Parte VII: Requerimientos de Seguridad para el Manejo u Oferta para Transportación de Cargas Peligrosas, incluye el Transporte de cargas de Clase 2

o Cargas Peligrosas por ferrocarril o barco bajo estándares preliminares CSA B622-1987 y B620-1987 (Clausula 8 únicamente), también estándar CGSB 43-GP-147 (ferrocarril únicamente).

Parte VIII: Requerimientos de Seguridad para la Transportación de Cargas Peligrosas, incluye cargado, emplacamiento, espaciado, y ordenamiento de carros tanque de ferrocarril.

Parte IX: Requerimientos de Seguridad para el Entrenamiento de Personal para el Reporte. Referido al Certificado de Entrenamiento y Reporte de sucesos peligrosos.

Parte X: Dirección, incluye procedimientos de apelación y aplicación para revisión.

Parte XI: Permiso, incluye aplicaciones de apelación contra permisos de niveles equivalentes de seguridad o excepción de permisos.

Parte XII: Inspectores.

CAN / CSA B629: Prácticas Recomendadas en Envío de Documentos para la Transportación de Cargas Peligrosas, cubre todas las cargas peligrosas incluyendo al hidrógeno.

TRANSPORTE DE HIDRÓGENO LÍQUIDO.

El equipo de transportación de hidrógeno líquido estará regulado bajo CSA-B339, con especificaciones para los Tanques de Carga de Carretera. En el presente, el diseño de remolques de hidrógeno líquido viene bajo excepciones especiales en los EE.UU.; Estos se discuten en el documento HM-115 DOT EE.UU. y probablemente serán absorbidos en las regulaciones de los EE.UU. una vez que HM-115 sea aprobado. Hasta que se incluya una especificación CSA-B-388, la

industria trabaja con las regulaciones de EE.UU. y el Gobierno Provinciano bajo las políticas globales de la Rama del Transporte de Cargas Peligrosas para el transporte en Canadá y Ottawa.

Además, **CAN / CSA B339**: Cilindros, esferas y tubos para la Transportación de Carga Peligrosa, grupo de requerimientos para la producción, inspección, pruebas, marcado, recalificado, recalentado, tratamiento, reparación, y reconstrucción de cilindros, esferas y tubos (contenedores) para la transportación de cargas peligrosas. Esto especifica contenedores (Especificación **TC-4LM**) usada para servicio criogénico tal como hidrógeno líquido así como contenedores (Especificación **TC-3AXM**) para hidrógeno gaseoso.

Otras prácticas recomendadas y requerimientos adoptados por medio de los estándares proporcionados por la (CGA) son listados a continuación.

CAN/CSA B340: Selección y Uso de Cilindros, Esferas, Tubos y otros Contenedores para la Transportación de Cargas Peligrosas, Clase 2, requerimientos de seguridad para la selección, uso, manejo y llenado de contenedores. Esto especifica que contenedores serán usados para varias de las cargas peligrosas incluyendo hidrógeno líquido refrigerante.

CAN/CSA B620: Tanques para carretera y Tanques Móviles para la Transportación de Cargas Peligrosas, grupo de requerimientos para el diseño, construcción, certificación, probado, inspección, comprobación, mantenimiento y marcado de tanques para carretera y móviles para la transportación de cargas peligrosas. Se refiere a las especificaciones de contenedores (**MCC-388** en CFR 178.338 y 179.400) usada para servicio criogénico tal como hidrógeno líquido así como contenedores para hidrógeno gaseoso.

CAN/CSA B622: Selección y Uso de Tanques para Carretera, Carro-tanque Multi-Unidad, Carro Tanque y Tanques Móviles para la Transportación de Cargas

Peligrosas, Clase 2, por el Camino, grupo de requerimientos para la selección y uso de tanques incluyendo aquellos aplicables a hidrógeno líquido refrigerante.

Otros códigos se aplican a la Transportación de Hidrógeno y se enlistan a continuación.

La **IMO** es la Organización Consultiva Marítima Intergubernamental e **IMO** es la Organización Marítima Internacional.

CÓDIGO DE TRANSPORTE UN: Transporte de Cargas Peligrosas, por el Comité de Expertos en la Transportación de Cargas Peligrosas de las Naciones Unidas.

CÓDIGO IMDGC, IMCO: Código Marítimo Internacional de Cargas Peligrosas.

CÓDIGO IMO, IBC: Código para la construcción y equipo de Barcos que lleven Químicos Peligrosos a Granel.

CÓDIGO CAN, COSAT GUARD, TERMPOL: Código de estándares recomendados para la seguridad y prevención de polución de Sistemas Marinos de Transportación y Procedimientos de Valoración relacionados.

CGSB 43-GP-147: Construcción de Carro-Tanques y selección de uso para Carro-Tanques, Tanques Móviles y Carros-Ferrocarril en la Transportación de Carga Peligrosa por Ferrocarril.

CGSB 43-GP-147: Grupo de requerimientos para la construcción y mantenimiento de unidades individuales y multi-unidad de carro-tanque para la selección, uso, manejo y llenado de estos tanques usados en la transportación a granel, por ferrocarril, de cargas peligrosas, incluyendo hidrógeno criogénico y gaseoso.

TRANSPORTACIÓN DE CILINDROS CONTENEDORES MÓVILES DE HIDRÓGENO.

El cuerpo gobernante en Canadá es Transportes Canadá (Consejo de Administración del Transporte de Cargas Peligrosas). El código de la Asociación de Estándares Canadiense.

CSA- B-339. Aplica a cilindros y tubos de hidrógeno.

CSA- B332.B-1978. La Especificación de Recipientes de carga Serie 1 y la Parte de Pruebas III: Tanques Contenedores para Líquidos y Gases (ISO 1596/111-74).

RECUERDE: los cilindros son envases a presión bastante resistentes, por eso son pesados. Dentro de los cilindros existe alta presión, lo cuál también es un riesgo. Lo importante es recordar siempre que todos los gases deben ser manejados con la mayor seguridad y la mejor protección contra riesgos; además es necesario tener el mayor conocimiento de los procedimientos correctos sobre el manejo de gases.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2.

En los próximos años el hidrógeno jugará un papel importante en el sector energético de nuestro país. Éste rol no estará orientado solamente a aplicaciones en el sector de los procesos químicos tradicionales como: (Producción de amoníaco por el proceso Haber, producción de HCl, metanol, etc.), en tecnología de alimentos (hidrogenación de aceites y grasas) y en diferentes procesos de la industria petroquímica. Cada día será más importante su utilización como combustible en el sector del transporte teniendo características ecológicas y renovables. Para implementar su uso masivo en este sector se tienen que resolver problemas de producción, almacenamiento, transporte, y seguridad. En este último sector es necesario poner especial atención desde los procesos de producción hasta su utilización en los diferentes sectores. Para lograr un uso masivo en condiciones de seguridad es necesario que todos los sectores de la sociedad participen convencidos de la necesidad de establecer normas de seguridad en todas y cada una de las etapas de la cadena de utilización. Las medidas de seguridad, los códigos y los estándares en su manejo deberán ser acordes con los estándares internacionales.

De muchas maneras, el hidrógeno si es usado bien es más seguro que la gasolina o el diesel. Como cualquier combustible, el hidrógeno contiene grandes cantidades significativas de energía, y al manejarlo requiere de ciertas precauciones de seguridad.

La perspectiva de seguridad, almacenaje y transportación de hidrógeno son muy similares a la del gas natural o propano que son conducidos actualmente por tuberías por el mundo a industrias y casas.

CONCLUSIONES GENERALES.

Por medio de esta investigación, se puede observar que hoy en día existe la necesidad de innovar en cuanto a las nuevas fuentes de combustibles renovables.

Tal es el caso del uso del hidrógeno como combustible que debido a las bondades de sus propiedades cada vez más abarca mayor número de mercados que lo consumen. Ya que presenta ventajas muchísimo mayores y mejores que los combustibles actuales, por mencionar algunas; mayor rendimiento de energía, no contaminante, obtención mediante diferente tipos de procesos, etc.

Aclarando de antemano que las ventajas o características antes mencionadas no son las únicas para poder definir o decir que combustible sustituye a cual, ya que para poder determinar este tipo de decisiones se debe realizar un estudio muy complejo en el que se involucran aspectos generales del ámbito económico, político-social, cultural, ecológico y geográfico.

En base a que el hidrógeno esta sustituyendo a otros combustibles el objetivo primordial de esta investigación es el de describir las normas, estándares y códigos para su manipulación segura.

Por ello la importancia de este trabajo. Aquí, se pretende reunir todas las especificaciones más importantes conocidas y publicadas hasta el momento para promover el uso y manejo seguro del Hidrógeno como combustible del futuro. Esto con el objeto de prevenir y evitar accidentes que se tuvieron en el pasado y que marcaron al Hidrógeno como uno de los combustibles más peligrosos.

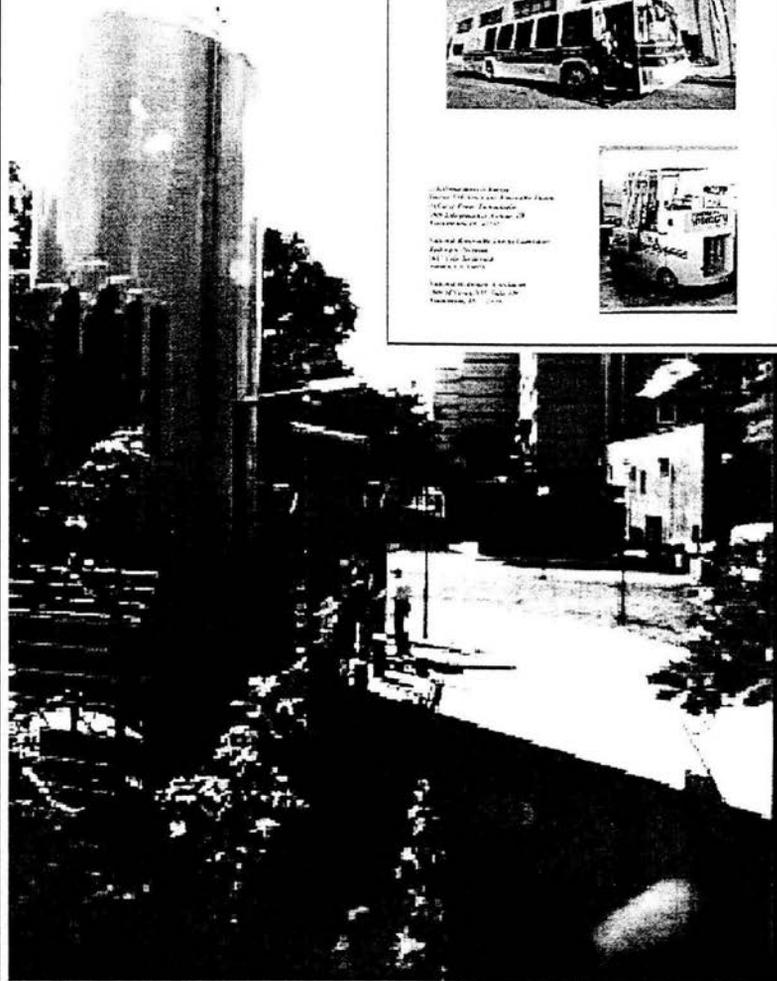
Para lo cual se logró conocer desde sus tipos de almacenamiento, así como de cuidados especiales en cada una de sus fases (sólido criogénico, gas, hidruro metálico) hasta establecer los estándares internacionales para buen uso y manejo de este dentro y fuera de una planta industrial.

Al saber este tipo de información, se garantiza que en el futuro cuando se use generalmente hidrógeno como combustible en México, será con mayor seguridad

y confianza, disminuyendo de esta forma desastres de gran magnitud (principalmente incendios) que pongan en riesgo la vida de la sociedad general.

Cabe mencionar que los códigos y normas aquí mencionadas pueden cambiar al momento de la publicación, ya que la tecnología del Hidrógeno está en constante desarrollo.

ANEXO A



*THE HYDROGEN HANDBOOK FOR BUILDING CODES,
AND FIRE SAFETY OFFICIALS
Current and Emerging Uses of Hydrogen as a Energy Resource
and Properties of Hydrogen Compared to Other Gases*



*Author: James H. Turner, Director
James H. Turner and Associates, Inc.
1000 North 1st Street
Tucson, Arizona 85724*

*Editor: James H. Turner
James H. Turner and Associates, Inc.
1000 North 1st Street
Tucson, Arizona 85724*

*Copyright © 1999 by James H. Turner
All rights reserved.
Printed in the United States of America*



ESTANDARES.

ANEXO A.

HYDROGEN CODES, STANDARDS AND REGULATIONS MATRIX			
<i>hydrogen_C&S_Matrix_aug02.xls</i>			
STATIONARY APPLICATIONS (Residential, Commercial and Government Buildings and Utility Applications)			
Fuel Cells	DESCRIPTION	TECHNICAL	STATUS
Fuel Cell Hardware			
ANSI Z21.83-1998: Fuel Cell Power Plants	The standard applies to packaged, self-contained or factory matched packages of integrated systems of fuel cell power plants for use with natural gas or LP gas and having a maximum output voltage of 600 VAC and power output of 1000 kW	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	The standard is being revised to more adequately more types of fuel cells and the fuels to be utilized and will become CSA FC1
CSA FC 1: Fuel Cell Power Plants (Planned Replacement for ANSI Z21.83-1998)	The document applies to fuel cell systems for stationary applications having maximum output voltage of 600 V and power output up to 10 MW. CSA America Fuel Cell Technical Advisory Committee proposes CSA FC 1 to be the revised, enhanced version of ANSI Z21.83	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	Draft of CSA FC 1 released for review after the April 2002 meeting of the Committee
CSA FC 4: Fuel Cell Modules	This is a proposed future new standard for fuel cell modules.	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	Proposed future effort of the CSA Fuel Cell Technical Advisory Committee.
UL 2265: Replacement Fuel Cell Power Units for Appliances	This standard will cover stand-alone fuel cell power systems that may be connected within the enclosure of an appliance by a flexible cord and plug or other arrangement (auxiliary power supply)	Harry Jones Underwriters Laboratories (847) 664-2948	Underwriter Laboratories is working to develop this standard.
IEC TC105 Working Group 1: Terminology	The document provides uniform terminology in the form of diagrams, definitions and equations related to fuel cell technologies for all applications. It is intended to be a resource for the other IEC TC 105 working groups.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	Revised draft of the technical report is in the review process.
IEC TC105 Working Group 2: Fuel Cell Modules	The Working Group is developing a standard that addresses the safety and performance of fuel cell modules.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The draft standard was completed in January and was in the review process from 2 Feb 02 - 10 May 02. The WG will meet in June 2002 to address review comments.
IEC TC105 Working Group 3: Safety of Stationary Fuel Cell Power Plants	The Working Group is developing a standard that addresses safety requirements (design and performance) for packaged stationary fuel cell power plants. The standard will parallel ANSI Z21.83 and similar standards in Canada, Japan and Germany.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The Working group is in the process of developing the initial draft. This is expected to be completed by October 2002.
CSA U.S. Requirements No. 1.01: Residential Fuel Cell Power Generators	This document supplements the provisions in ANSI Z21.83- 1998. It applies to packaged, self-contained fuel cell systems for single-family and two-family dwellings installed outdoors rated at no greater than 50 kW. Plans call for replacing it with CSA FC 2	Todd Strothers CSA International (704) 552-5125	The document has been published and is available for sale.

		DESCRIPTION	TECHNICAL	STATUS
Installation				
	NFPA 853: Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Plants	The standard covers siting requirements, fuel storage arrangements, exhaust requirements and fire protection requirements for stationary fuel cell plants exceeding 50 kW for non-residential applications	Richard P. Bielen NFPA International (617) 770-3000	The standard is in the process of being revised to include small fuel cell applications for residences
	NFPA 54: National Fuel Gas Code	The Code covers installation of fuel gas piping systems, fuel gas utilization equipment and related accessories. The Code covers fuel gas systems operating at a maximum pressure of 125 psi.	Theodore C. Lemoff NFPA International (617) 984-7434	NFPA 54 is a published code available for purchase.
	IEC TC105 Working Group 5: Installation of Stationary Fuel Cell Power Plants	The Working Group will develop a standard that covers the installation of stationary fuel cell power plants and their integration with the surrounding built environment. It will parallel NFPA 853.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The project was recently approved. The Working Group has been established and has started working on the draft. The draft is expected to be completed in 2003.
Fuel Cell Hardware				
	ANSI Z21.83-1998: Fuel Cell Power Plants	The standard applies to packaged, self-contained or factory matched packages of integrated systems of fuel cell power plants for use with natural gas or LP gas and having a maximum output voltage of 600 VAC and power output of 1000 kW	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	The standard is being revised to more adequately more types of fuel cells and the fuels to be utilized and will become CSA FC 1
Fuel Processor/Reformer				
Fuel Processor/Reformer Hardware				
	CSA FC 1: Fuel Cell Power Plants	The document applies to fuel cell systems for stationary applications having maximum output voltage of 600 V and power output up to 10 Mw. CSA America Fuel Cell Technical Advisory Committee proposes CSA FC 1 to be the revised, enhanced version of ANSI Z21.83	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	Draft of CSA FC 1 released for review after the April 2002 meeting of the Committee
Fuel Processor/Reformer Installation				
	ANSI Z21.83-1998: Fuel Cell Power Plants	The standard applies to packaged, self-contained or factory matched packages of integrated systems of fuel cell power plants for use with natural gas or LP gas and having a maximum output voltage of 600 VAC and power output of 1000 Kw	Steven E. Kasubski CSA International (216)524-4990 X8303	The standard is being revised to more adequately more types of fuel cells and the fuels to be utilized and will become CSA FC
Fuels for Fuel Cells (Focusing on H2)				
	NFPA 853: Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Plants	The standard covers siting requirements, fuel storage arrangements, exhaust requirements and fire protection requirements for stationary fuel cell plants exceeding 50 kW for non-residential applications	Richard P. Bielen NFPA International (617) 770-3000	The standard is in the process of being revised to include small fuel cell applications for residences
	NFPA 54: National Fuel Gas Code	The Code covers installation of fuel gas piping systems, fuel gas utilization equipment and related accessories on consumers' premises. The Code covers fuel gas systems operating at a maximum pressure of 125 psi.	Theodore C. Lemoff NFPA International (617) 984-7434	NFPA 54 is a published code available for purchase.

Fuel Storage and Dispensing (Focus on H2)		DESCRIPTION	TECHNICAL	STATUS
	NHA Working Group 2: Containers and Hydrides	The Working Group is developing a standard for hydride contains that is expected to be submitted to ISO TC/197 for adoption.	Karen Miller National Hydrogen Assoc (202) 223-5547	The Working Group is in the process of developing the first draft.
	ISO-TC 58: Tanks and Hydrogen Embrittlement		Norm Newhouse Lincoln Composites (402) 464-8211	
	CGA G-5.4: Standard for Hydrogen Piping Systems at Consumer Locations	The standard covers materials and components selection to help install a safe, effective hydrogen supply system at a user's site.		The standard is published and available for sale.
Safety Systems				
	ANSI Z21.83-1998: Fuel Cell Power Plants	The standard applies to packaged, self-contained or factory matched packages of integrated systems of fuel cell power plants for use with natural gas or LP gas and having a maximum output voltage of 600 VAC and power output of 1000 kW	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	The standard is being revised to more adequately more types of fuel cells and the fuels to be utilized and will become CSA FC 1
Interfacing (with building or Utility Interconnection)				
Piping				
	ANSI Z21.83-1998: Fuel Cell Power Plants	The standard applies to packaged, self-contained or factory matched packages of integrated systems of fuel cell power plants for use with natural gas or LP gas and having a maximum output voltage of 600 VAC and power output of 1000 kW	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	The standard is being revised to more adequately more types of fuel cells and the fuels to be utilized and will become CSA FC 1
	NFPA 853: Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Plants	The standard covers siting requirements, fuel storage arrangements, exhaust requirements and fire protection requirements for stationary fuel cell plants exceeding 50 kW for non-residential applications	Richard P. Bielen NFPA International (617) 770-3000	The standard is in the process of being revised to include small fuel cell applications for residences
	NFPA 58: Liquefied Petroleum Gas Code	This code applies to the highway transportation of LP gas and to the design, construction, installation and operation of all LP gas systems.	Theodore C. Lemoff NFPA International (617) 984-7434	The code has been published and is available for sale.
	NFPA 54: National Fuel Gas Code	The Code covers installation of fuel gas piping systems, fuel gas utilization equipment and related accessories on consumers' premises. The Code covers fuel gas systems operating at a maximum pressure of 125 psi.	Theodore C. Lemoff NFPA International (617) 984-7434	NFPA 54 is a published code available for purchase.
Electrical				
	ANSI Z21.83-1998: Fuel Cell Power Plants	The standard applies to packaged, self-contained or factory matched packages of integrated systems of fuel cell power plants for use with natural gas or LP gas and having a maximum output voltage of 600 VAC and power output of 1000 kW	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	The standard is being revised to more adequately more types of fuel cells and the fuels to be utilized and will become CSA FC 1

		DESCRIPTION	TECHNICAL	STATUS
	NFPA 70: National Electric Code (Article 692)	2002 edition of National Electric Code includes new Article 692 that covers electrical installation requirements for fuel cell systems	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	Existing Standard Working Group is working to reach a consensus with IEEE
	UL 1741: Standard for Inverters, Converters and Controllers for Use in Independent Power Systems	This standard covers requirements that distributed generators must satisfy in order to operate properly when interconnected to the utility grid. It is being modified to cover fuel cell systems for stationary and portable applications. In addition, the plan is to adopt the requirements in IEEE P1547.	Jean O'Conner NFPA International (617) 984-7421	P1547. Draft is expected to be available in June 2002.
	IEEE P1547: Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems	This standard establishes criteria and requirements for the interconnection of distributed generating systems with electric power systems. It covers requirements regarding performance, operation, testing, safety considerations and maintenance of the interconnection.	Tim Zgonena Underwriters Laboratories (847) 272-8800 X4305	Draft 9 of the standard is in the review process.
	IEEEP1608: Application Guide for IEEE Standard 1547 for Interconnecting Distributed resources with Electric Power Systems	The Guide provides technical background and application details to support the understanding of IEEE P1547.	Richard DeBlasio NREL (303) 275-3753	The Guide exists as a working draft.
	IEEE P1614: Guide for Monitoring Information Exchange and Control of Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems	This proposed Guide will provide guidelines for monitoring, information exchange, and control for distributed resources (e.g., fuel cells, PV) interconnected with electric power systems.	Richard DeBlasio NREL (303) 275-3753 Richard DeBlasio NREL (303) 275-3753 Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	Development of the Guide is in progress.
Controls and Sensors				
	ANSI Z21.83-1998: Fuel Cell Power Plants	The standard applies to packaged, self-contained or factory matched packages of integrated systems of fuel cell power plants for use with natural gas or LP gas and having a maximum output voltage of 600 VAC and power output of 1000 kW	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	The standard is being revised to more adequately more types of fuel cells and the fuels to be utilized and will become CSA FC 1
O&M Issues, Operating Instructions and Safety				
	IEC TC105 Working Group 3: Safety of Stationary Fuel Cell Power Plants	The Working Group is developing a standard that addresses safety requirements (design and performance) for packaged stationary fuel cell power plants. The standard will parallel ANSI Z21.83 and similar standards in Canada, Japan and Germany.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The Working group is in the process of developing the initial draft. This is expected to be completed by October 2002.
	CSA FC1: Fuel Cell Power Plants	The document applies to fuel cell systems for stationary applications having maximum output voltage of 600 V and power output up to 10 Mw. CSA America Fuel Cell Technical Advisory Committee proposes CSA FC 1 to be the revised, enhanced version of ANSI Z21.83	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	Draft of CSA FC 1 released for review after the April 2002 meeting of the Committee

		DESCRIPTION	TECHNICAL	STATUS
	ANSI Z21.83-1998: Fuel Cell Power Plants	The standard applies to packaged, self-contained or factory matched packages of integrated systems of fuel cell power plants for use with natural gas or LP gas and having a maximum output voltage of 600 VAC and power output of 1000 kW	Steven E. Kasubski CSA International (216) 524-4990 X8303	The standard is being revised to more adequately more types of fuel cells and the fuels to be utilized and will become CSA FC 1
Testing and Evaluation Procedures				
	CSA CAS No. 33: Component Acceptance Service for PEM Fuel Cell Modules	The document contains specifications for providing CSA International component acceptance service for PEM fuel cells stacks using hydrogen as the fuel	Todd Strothers CSA International (704) 552-5125	Document published and available for sale
	ASME PTC 50: Performance Test Code for Fuel Cell Power System Performance	Covers testing procedures, methods and definitions for assessing the performance characteristics of all types of fuel cell systems with respect to rated inputs and outputs or any other steady state conditions	Jack Karian ASME (212) 705-8552	Draft submitted to ANSI for 60-day public review period that began on 29 Mar 02. ANSI approval is expected in mid-2002
	NES Evaluation Protocol for Stationary Fuel Cell Power Plants	Protocol used by the NES to facilitate the process of evaluating stationary fuel cell power plants for compliance with US model codes	David Conover NES, Inc. (703) 931-2187	The Protocol exists and is in use
	IEC TC105 Working Group 4: Performance of Fuel Cell Power Plants	The standard describes how to measure the performance of stationary fuel cell power systems from an operational and an environmental standpoint.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The Working Group completed the draft in January 2002. During the period 8 Feb 02 - 10 May 02, it was in the review process. The WG will meet in June to address review comments.
	IEEE P1589: Standard for Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems	The standard specifies the type, production and commissioning tests that are to be performed to demonstrate that the interconnection functions and that the distributed resource equipment conforms to IEEE P1547	Richard DeBlasio NREL (303) 275-3753	
Other Issues				
	UL 2265: Replacement Fuel Cell Power Units for Appliances (Covers an appliance that generates DC from hydrogen for stationary applications)	This standard will cover stand-alone fuel cell power systems that may be connected within the enclosure of an appliance by a flexible cord and plug or other arrangement (auxiliary power supply)	Harry Jones Underwriters Laboratories (847) 664-2948	Underwriter Laboratories is working to develop this standard.
TRANSPORTATION APPLICATIONS				
Fuel Cells				
Fuel Cell Hardware				
	SAE J2574: Fuel Cell Electric Vehicle Terminology	The standard covers terminology for fuel cell-powered electric vehicles		Published in March 2002 and available for sale
	SAE J2594: Fuel Cell Recyclability Guidelines	The document covers recyclability guidelines only for PEM fuel cell stacks and ancillary components		Working group is expected to complete the document and send it to committee ballot in early October/November 2002

		DESCRIPTION	TECHNICAL	STATUS
	IEC TC105 Working Group 1: Terminology	The document provides uniform terminology in the form of diagrams, definitions and equations related to fuel cell technologies for all applications. It is intended to be a resource for the other IEC TC 105 working groups.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	Revised draft of the technical report is in the review process.
	IEC TC105 Working Group 2: Fuel Cell Modules	The Working Group is developing a standard that addresses the safety and performance of fuel cell modules.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The draft standard was completed in January and was in the review process from 2 Feb 02 - 10 May 02. The WG will meet in June 2002 to address review comments.
	IEC TC105 Working Group 6: Fuel Cell Systems for Propulsion and Auxiliary Power Units	The Working Group will develop a standard regarding the safety and performance of fuel cells for automotive propulsion, automotive auxiliary power units and for non-automotive propulsion applications.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The Working Group was recently established and will have its first meeting in June 2002. It is expected that the draft will be completed by January 2003.
Fuels for Fuel Cells and Hydrogen ICEs				
	SAE J2579: Fuel Systems for Fuel Cell Vehicles	The document provides criteria for systems containing or processing fuel or other hazardous materials		Working Group is expected to complete the document in the bNovember 2002; ballot targeted for December 2002
Fuel Storage and Fueling Equipment (on Board)				
	ANSI/CSA NGV2-2000: Basic Requirements for Compressed Natural Gas Vehicle Fuel Containers	The document specifies requirements for CNG storage systems in addition to requirements in FMVSS304	Julie Cairns CSA International (216) 524-4900	Published and available for sale
	SAE 2600: Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Connection Devices	The document defines the geometries of the receptacles for different hydrogen gas pressure levels		The document was successfully balloted in April 2002. It is expected to be published in July/August 2002.
	SAE J2601: Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Communication Devices	The document defines the different fueling strategies. It also develops the strategies and protocols for what fueling with and without communications should entail.		Work on the document is in progress. The Working Group expects to cocomplete it in the summer of 2003
	SEA J1616: Recommended Practices for Compressed Natural Gas Vehicle Fuel	Covers recommendations regarding composition of fuels for CNG vehicles		Published and available for sale
	ANSI/CSA NGV1-1994: CNG Fueling Connection Devices	Covers CNG vehicle fueling connection devices assuring standardized nozzles and receptacles	Julie Cairns CSA International (216) 524-4900	Published and available for sale
	ANSI/CSA PRD1-1998: Basic Requirements for Pressure Relief Devices for NGV Fuel Containers	Covers pressure relief devices for CNG fuel tanks for vehicles	Julie Cairns CSA International (216) 524-4900	Published and available for sale

		DESCRIPTION	TECHNICAL	STATUS
	ANSI/CSA NGV4.1-1999: NGV Dispensing Systems	Covers fuel dispensing devices for CNG vehicles	Tony Caudillo CSA International (416) 747-2212	Published and available for sale
	ANSI/CSA NGV4.2-1999: Hoses for NGV and Dispensing Systems	Covers CNG dispensers and vehicle hose assemblies for CNG vehicles	Tony Caudillo CSA International (416) 747-2212	Published and available for sale
	ANSI/CSA NGV4.4-1999: Breakaway Devices for Natural Gas Dispensing Hoses and Systems	Covers CNG dispenser shear valves and fueling hose emergency breakaway shutoff devices for CNG vehicles	Tony Caudillo CSA International (416) 747-2212	Published and available for sale
	NFPA 52: Compressed Natural Gas Vehicular Fuel Systems Code	Currently, the standard covers design and installation of compressed natural gas engine fuel systems for vehicles of all types	Carl Rivkin NFPA International (617) 984-7418	The 2005 edition of NFPA 52 will be expanded to include hydrogen (requirements will not conflict with Federal or state regulations)
Hydrogen System Interfacings with Vehicle				
	SAE FCSC Interface Working Group	Frank Niezabytowski Ford Motor Company (313) 322-9657		
	ISO TC197 Working Group 5: Gaseous Hydrogen Blends and Hydrogen Fuel - Land Vehicle Filling Connectors			
O & M Issues, Operating Instructions and Safety				
	SAE J2578: Recommended Practices for General Fuel Cell Vehicle Safety	The document provides criteria for integration of fuel cell systems into vehicles and defines emergency response and maintenance requirements for safe use of fuel cell vehicles		The document has been approved by committee ballot and is in the republication phase. It is expected to be available for sale in July/August 2002.
	SAE J2579: Recommended Practices for Hazardous Fluid Systems in Fuel Cell Vehicles	The document provides criteria for systems containing or processing fuel or other hazardous materials		Working Group is expected to complete the document in the November 2002; ballot targeted for December 2002
	SAE J2594: Fuel Cell Recyclability Guidelines	The document covers recyclability guidelines only for PEM fuel cell stacks and ancillary components		Working group is expected to complete the document and send it to committee ballot in early October/November 2002
	ISO TC197 Working Group 8: Safe Use of Electrolizers in Customer Sites		Randy Dey ISO TC 197 (905) 847-7811	

Testing and Evaluation Procedures	DESCRIPTION	TECHNICAL	STATUS
SAE J2572: Recommended Practice for Measuring the Exhaust Emissions, Energy Consumption and Range of Fuel Cell Powered Electric Vehicles Using Compressed Gaseous Hydrogen	The document covers recommended practices for fuel cell vehicles using compressed hydrogen gas supplied by an onboard reformer.		Working Group is addressing comments from CARB and EPA. It is expected to be completed and sent to committee ballot in April/May 2002.
SAE J2615: Performance Test Procedures of Fuel Cell Systems for Automotive Applications	The standard covers procedures for testing complete Polymer Electrolyte Membrane (PEM) fuel cell systems		Working Group expected to complete the document and send it to committee ballot in October 2002
SAE J2616: Performance Test Procedures for the Fuel Processor Subsystem of Automotive Fuel Cell System	The standard covers performance test procedures for testing fuel processor subsystems for automotive fuel cell systems		Working Group is in final stages of completing the document. It is expected to be sent for committee ballot in October 2002.
SAE J2617: Performance Test Procedures of PEM Fuel Cell Stack Subsystem for Automotive Applications	The standard covers performance test procedures for testing PEM fuel stack subsystems for automotive applications	Jack Karian ASME (212) 705-8552	Working Group is in final stages of completing the document. It is expected to be sent for committee ballot in October 2002.
ASME PTC 50: Performance Test Code for Fuel Cell Power System Performance	Covers testing procedures, methods and definitions for assessing the performance characteristics of all types of fuel cell systems with respect to rated inputs and outputs or any other steady state conditions	Todd Strothers CSA International (704) 552-5125	Draft submitted to ANSI for 60-day public review period that began on 29 Mar 02. ANSI approval is expected in mid-2002
CSA CAS No. 33: Component Acceptance Service for PEM Fuel Cell Modules	The document contains specifications for providing CSA International component acceptance service for PEM fuel cells stacks using hydrogen as the fuel.		Document published and available for sale
ISO/PWD 17374: Measurement of Hydrogen Emissions During Battery Charging			

PORTABLE APPLICATIONS (For Buildings Applications Only?)				
Fuel Cells (Packaged Systems)		DESCRIPTION	TECHNICAL CONTACTS	STATUS
Fuel Cell Hardware				
	CSA FC 3: Portable Fuel Cell Power Generators	This document is intended to be a standard for portable fuel cell power generators, regardless of technology. It applies to AC and DC portable fuel cell generators with a rated output voltage not exceeding 600 V. It covers generators for commercial, industrial and residential use --indoor and outdoor.	Todd Strothers CSA International (704) 552-5125	Working Group has generated a draft that is in the review process. It is possible that it will be voted on before the end of 2002.
	CSA U.S. Requirements No. 3.01: Portable Fuel Cell Appliances (To be revised as CSA FC 3?)	This document establishes the basis for generation of the standard CSA FC 3: Portable Fuel Cell Power Generators.	Todd Strothers CSA International (704) 552-5125	The document has been published and is available for sale.
	IEC TC105 Working Group 1: Terminology	The document provides uniform terminology in the form of diagrams, definitions and equations related to fuel cell technologies for all applications. It is intended to be a resource for the other IEC TC 105 working groups.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	Revised draft of the technical report is in the review process.
	IEC TC105 Working Group 2: Fuel Cell Modules	The Working Group is developing a standard that addresses the safety and performance of fuel cell modules.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The draft standard was completed in January and was in the review process from 2 Feb 02 - 10 May 02. The WG will meet in June 2002 to address review comments.
	IEC TC105 Working Group 7: Portable Fuel Cell Systems	The Working Group is developing a standard that covers the safety and performance of portable fuel cells. It will apply to AC and DC appliances with a rated voltage not exceeding 600 V in non-hazardous locations.	Kelvin Hecht International Fuel Cells (860) 673-9181	The Working Group is working to complete the draft standard by October 2003.
	UL2265: Replacement Fuel Cell Power Units for Appliances	This standard will cover stand-alone fuel cell power systems that may be connected within the enclosure of an appliance by a flexible cord and plug or other arrangement (auxiliary power supply)	Harry Jones Underwriters Laboratories (847) 664-2948	Underwriter Laboratories is working to develop this standard.
Installation/ Setup				
	UL2262 Outline of Investigation for Portable PEM Fuel Cells with or without Uninterruptable Power and for Factory Installation in OEM Equipment for Indoor Use	This document will be used by Underwriter Laboratories as an interim protocol for certifying PEM fuel cell units	Harry Jones Underwriters Laboratories (847) 664-2948	The document is under development by Underwriters Laboratories

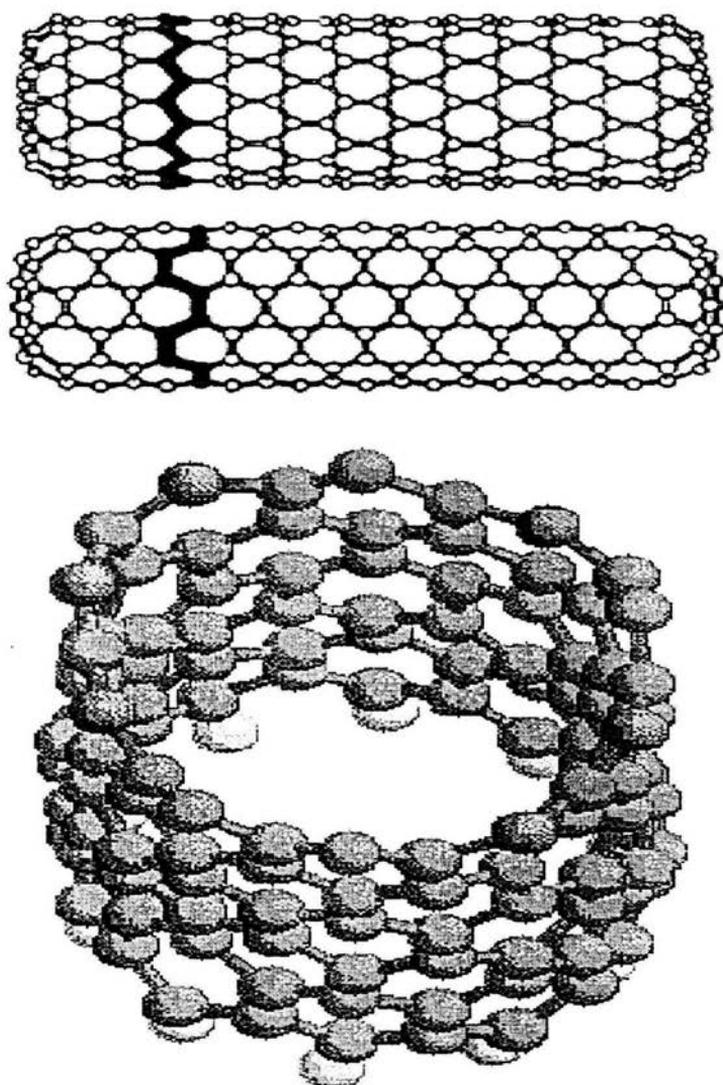
Hydrogen Generators		DESCRIPTION	TECHNICAL CONTACTS	STATUS
Hardware				
	UL 2264: Gaseous Hydrogen Generating Appliances	The standard covers portable, stationary and fixed gaseous hydrogen generating appliances rated at 120 V or greater. The standard includes electrolysis systems and reformers.	Harry Jones Underwriters Laboratories (847) 664-2948	This is a standard that Underwriter Laboratories is preparing to develop
	CSA Requirement No. 5.99 U.S.: Hydrogen Generators	The document establishes specifications for developing standards for hydrogen generators	Todd Strothers CSA International (704) 552-5125	The document was published in July 2001.
	ISO TC197 Working Group 8: Safe Use of Electrolyzers in Customer Sites		Randy Dey ISO TC 197 (905) 847-7811	
Testing and Evaluation Procedures				
	ASME PTC 50: Performance Test Code for Fuel Cell Power System Performance	Covers testing procedures, methods and definitions for assessing the performance characteristics of all types of fuel cell systems with respect to rated inputs and outputs or any other steady state conditions	Jack Karian ASME (212) 705-8552	Draft submitted to ANSI for 60-day public review period that began on 29 Mar 02. ANSI approval is expected in mid-2002
	CSA CAS No. 33: Component Acceptance Service for PEM Fuel Cell Modules	The document contains specifications for providing CSA International component acceptance service for PEM fuel cells stacks using hydrogen as the fuel.	Todd Strothers CSA International (704) 552-5125	Document published and available for sale
HYDROGEN INFRASTRUCTURE				
Hydrogen Production				
	UL 2264: Gaseous Hydrogen Generating Appliances	The standard covers portable, stationary and fixed gaseous hydrogen generating appliances rated at 120 V or greater. The standard includes electrolysis systems and reformers.	Harry Jones Underwriters Laboratories (847) 664-2948	This is a standard that Underwriter Laboratories is preparing to develop
	ISO/TC-197 Working Group 8: Hydrogen Generators Using Water Electrolysis Processes			
	CGA G-5: Hydrogen	This document covers the properties, manufacturing, transportation, storage and use of gaseous hydrogen. It also includes a section on liquified hydrogen.		The document is published and available for sale.
	CGA G-5.3: Commodity Specification for Hydrogen	The guide book describes specification requirements for commercially available gaseous and liquid hydrogen. It provides data on quality verification, sampling, analytical procedures, typical uses for various grades and containers.		The document is published and available for sale.
	CGA P-6: Standard Density Data, Atmospheric Gases and Hydrogen	The document provides tables that present standard density data and volumetric conversion factors for atmospheric gases and hydrogen for the benefit of producers and users.		The document is published and available for sale.
Hydrogen Transportation and Distribution				
	ISO/TC-197 Working Group 2: Tank Containers for Multimodal Transportation Liquid Hydrogen			

		DESCRIPTION	TECHNICAL CONTACTS	STATUS
	ASME B31.4: Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids	This Code prescribes requirements for the design, materials, construction, assembly, inspection, and testing of piping transporting liquids such as crude oil, condensate, natural gasoline, natural gas liquids, liquefied petroleum gas, etc. between producers' lease facilities, tank farms, natural gas processing plants, refineries, stations, ammonia plants, terminals (marine, rail and truck) and other delivery and receiving points.		Published in 1998 and available for sale
	ASME B31.8: Gas Transmission and Distribution Piping Systems	This Code covers the design, fabrication, installation, inspection, testing, and safety aspects of operation and maintenance of gas transmission and distribution systems, including gas pipelines, gas compressor stations, gas metering and regulation stations, gas mains, and service lines up to the outlet of the customers meter set assembly.		Published in 2000 and available for sale
	DOT 49 Code of Federal Regulations (CFR) Transportation Equipment and Transport of Hazardous Materials			
	CGA G-5.4: Standard for Hydrogen Piping Systems at Consumer Locations	The standard covers materials and components selection to help install a safe, effective hydrogen supply system at a user's site.		The standard is published and available for sale.
	NFPA 58: Liquefied Petroleum Gas Code	This code applies to the highway transportation of LP gas and to the design, construction, installation and operation of all LP gas systems.	Theodore C. Lemoff NFPA International (617) 984-7434	The code has been published and is available for sale.
Hydrogen Storage				
	ISO/TC-197 Working Group 2: Tank Containers for Multimodal Transportation Liquid Hydrogen			
	ISO-TC 58: Tanks and Hydrogen Embrittlement			
	ISO/TC-220			
	ASME Boiler and Pressure Vessel Code	The code covers specifications and requirements for storage containers for vehicles and for fueling stations		Published and available for sale
	NFPA 50A: Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites (50A and 50B will be combined into NFPA 55)	Covers bulk gaseous hydrogen systems at user installations. Sets design criteria and sets separation distances from installations for 14 types of exposures	Carl Rivkin NFPA International (617) 984-7418	Existing Standard (Plans call for incorporating NFPA 50A and 50B into NFPA 55: Standard for Storage, Use and Handling of Compressed and Liquefied Gases in Portable Cylinders)
	NFPA 50B: Standard for Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites (50A and 50B will be combined into NFPA 55)	Covers bulk liquefied hydrogen systems at user installations. Sets design criteria and separation distances from installations for 12 types of exposures	Carl Rivkin NFPA International (617) 984-7418	Existing Standard (Plans call for incorporating NFPA 50A and 50B into NFPA 55: Standard for Storage, Use and Handling of Compressed and Liquefied Gases in Portable Cylinders)
	CGA G-5: Hydrogen	This document covers the properties, manufacturing, transportation, storage and use of gaseous hydrogen. It also includes a section on liquefied hydrogen.		The document is published and available for sale.

Refueling Stations		DESCRIPTION	TECHNICAL CONTACTS	STATUS
	ANSI/CSA NGV4.1-1999: NGV Dispensing Systems	Standard for fuel dispensing devices for CNG vehicles	Tony Caudillo CSA International (416) 747-2212	Published and available for sale
	ANSI/CSA NGV4.3: Temperature Compensation Devices for Natural Gas Dispensing Systems	Standard for temperature compensating systems for NG dispensing systems	Tony Caudillo CSA International (416) 747-2212	Standard being developed by Natural Gas Vehicle Coalition
	ANSI/CSA NGV4.5: Priority and Sequencing for Natural Gas Dispensing Systems	Standard for prioritizing and sequencing NG dispensing systems	Tony Caudillo CSA International (416) 747-2212	Standard being developed by Natural Gas Vehicle Coalition
Buildings				
	ICC International Residential Code (Mechanical and Plumbing)	The code covers requirements for the construction of one- and two-family dwellings and townhouses up to three stories in height. The code also covers the plumbing and mechanical systems. It is being modified to include hydrogen systems.	Darren Meyers BOCA International 708) 799-2300 X307	
	ICC International Fire Code	The code documents national standards that address fire safety comprehensively in new and existing buildings. The code is being modified to include hydrogen safety issues.	Darren Meyers BOCA International 708) 799-2300 X307	
	ICC International Fuel Gas Code	The document contains requirements for fuel gas piping system equipment and accessories. It contains combustion air requirements and sizing tables for venting Category I appliances. The code is being modified to include hydrogen as fuel gas.	Darren Meyers BOCA International 708) 799-2300 X307	
	UL 1741: Standard for Inverters, Converters and Controllers for Use in Independent Power Systems	This standard covers requirements that distributed generators must satisfy in order to operate properly when interconnected to the utility grid. It is being modified to cover fuel cell systems for stationary and portable applications. In addition, the plan is to adopt the requirements in IEEE P1547.	Tim Zgonena Underwriters Laboratories 847) 272-8800 X4305	Working Group is working to reach a consensus with IEEE P1547. Draft is expected to be available in June 2002.
	IEEE P1547: Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems	This standard establishes criteria and requirements for the interconnection of distributed generating systems with electric power systems. It covers requirements regarding performance, operation, testing, safety considerations and maintenance of interconnection.	Richard DeBlasio NREL 303) 275-3753	Draft 9 of the standard is in the review process.
	NFPA Building Code			
	WFCA Uniform Fire Code			
	International Association of Plumbing and Mechanical Officials (IAPMO) Plumbing Code	The code covers plumbing engineering criteria and requirements for plumbing fixtures and fuel gas piping for new and existing residences.	Michael Kobel, IAPMO Director of Standards (909) 595-8449	
	International Association of Plumbing and Mechanical Officials (IAPMO) Mechanical Code	The code covers requirements for mechanical systems for new and existing homes.	Michael Kobel, IAPMO Director of Standards (909) 595-8449	
	NFPA 70: National Electric Code	2002 edition of National Electric Code includes new Article 692 that covers electrical installation requirements for fuel cell systems 2002 edition of National Electric Code includes new Article 692 that covers electrical installation requirements for fuel cell systems	Jean O'Conner NFPA International (617) 984-7421	Existing Standard
	CGA G5.5: Hydrogen Vent Systems	The standard presents guidelines for hydrogen vent systems for gaseous and liquid hydrogen installations at consumer sites. It also provides recommendations regarding safe operation.		The standard has been published and is available for sale.

Safety, Emergency Response and Other Issues		DESCRIPTION	TECHNICAL CONTACTS	STATUS
	CGA P-1-1991: Safe handling of Compressed Gases in Containers			
	NFPA 70: National Electric Code	2002 edition of National Electric Code includes new Article 692 that covers electrical installation requirements for fuel cell systems	Jean O'Conner NFPA International 617) 984-7421	Existing Standard
	Part 1910 of 29 Code of Federal Regulations (CFR) Occupational Safety and Health Standards			
CODES AND STANDARDS OF REGULATORY AND QUASI-REGULATORY ORGANIZATIONS				
US Department of Transportation				
	DOT 49 Code of Federal Regulations (CFR) Transportation Equipment and Transport of Hazardous Materials			
	<i>DOT Emergency Response Guidebook (Guidebook for First Responders During the Initial Phase of A Dangerous Goods/Hazardous Materials Incident)</i>			
Occupational Health and Safety Administration				
	Part 1910 of 29 Code of Federal Regulations (CFR) Occupational Safety and Health Standards			
European Integrated Hydrogen Project				
	EIHP Regulation: Approval of: Specific Components of Motor Vehicles Using Liquid Hydrogen; and Vehicles with Regard to the Installation of Specific Components for the Use of Liquid Hydrogen (Draft)	The scope of the regulation is: (1) specific components of motor vehicles using liquid hydrogen; and (2) vehicles with respect to the installation of specific components for the use of liquid hydrogen. The regulation is for Europe.		The regulation exists as a draft. (Revision 10)
	EIHP Regulation: Approval of: Specific Components of Motor Vehicles Using Compresses Gaseous Hydrogen; and Vehicles with Regard to the Installation of Specific Components for the Use of Compresses Gaseous Hydrogen (Draft)	The scope of the regulation is: (1) specific components of motor vehicles using liquid hydrogen; and (2) vehicles with respect to the installation of specific components for the use of liquid hydrogen. The regulation is for Europe.		The regulation exists as a draft. (Revision 7)

**A
N
E
X
O
B**



NANOTUBOS DE CARBONO

ANEXO B.

LOS NANOTUBOS DE CARBONO PODRÍAN TRANSPORTAR HIDRÓGENO EN EL FUTURO.

El desarrollo futuro de sistemas que tengan como combustible el hidrógeno dependerá de si es posible o no desarrollar un método seguro de transporte y almacenamiento del hidrógeno. Un coche que funcionara gracias a la combustión del hidrógeno con el oxígeno, sólo produciría agua como residuo. Sobre el papel, es el coche ecológico perfecto. Pero su realización se enfrenta a numerosos retos, entre ellos el de disponer de una forma segura de transportar y almacenar el hidrógeno. Hoy por hoy, el hidrógeno se almacena y transporta a bajas temperaturas y en botellas de aire comprimido que deben ser tratadas con sumo cuidado, ya que este gas es muy inestable y cualquier golpe puede ser peligroso.

Los nanotubos de carbono han sido propuestos como candidatos a almacenar grandes cantidades de hidrógeno de forma segura. En el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB), el equipo del Laboratorio de Estructura Electrónica de Materiales, trabaja en un proyecto con la empresa estadounidense Air Products para descubrir cómo almacenar hidrógeno en nanotubos de carbono de apenas un nanómetro (0,000001 milímetros).

Almacenan el hidrógeno como si fueran esponjas, aunque no se sabe bien cómo.

«Se ha comprobado que los nanotubos de carbono almacenan hidrógeno, aunque no se sabe muy bien cómo», explica Pablo Ordejón, investigador del ICMAB. En diversos experimentos, explica este investigador, se ha comprobado que cuando se depositan nanotubos de carbono en el interior de una cámara a presión y se deja entrar hidrógeno en la cámara, más tarde, al dejar salir de nuevo el hidrógeno de la cámara, la cantidad saliente de gas es menor que la entrante. Esa diferencia es la correspondiente al hidrógeno que ha quedado incorporado en el nanotubo, de forma comparable a como quedaría atrapado un líquido en una esponja.

Sin embargo, precisa Ordejón, aunque estos experimentos son válidos, no aportan otros datos. Por ejemplo, se desconoce la cantidad precisa que puede almacenar un nanotubo. Tampoco se sabe cómo se almacena: es decir, si se enlaza químicamente el hidrógeno con el nanotubo de carbono, si se mantiene la estructura molecular o no.

Esto es precisamente lo que están estudiando en el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona, a través de simulaciones por ordenador. Con estas simulaciones y modelos teóricos, los investigadores diseñan los experimentos que luego se realizan en la sede de Air Products en los EE.UU.

TAMBIÉN EN MICROELECTRÓNICA.

Pero los nanotubos también se apuntan como futuros protagonistas de la nanoelectrónica. El mismo equipo del ICMAB participa en un proyecto dentro del programa Marco de la Unión Europea, en el que se persigue el desarrollo de nanotubos de carbono que puedan ser utilizados como componentes de circuitos electrónicos. Los investigadores ya han conseguido un transistor basado en un nanotubo de carbono. Y funciona, detalla Ordejón, con menos corriente eléctrica que la que necesitan los componentes convencionales. Pero todavía queda mucho por hacer. El reto ahora es conseguir que varios transistores funcionen conjuntamente.

El desarrollo de estos sistemas a gran escala para su uso comercial aun queda muy lejano. Sin embargo, un síntoma del interés que despiertan es que en este proyecto europeo, al lado de los socios holandeses, franceses, alemanes y españoles, está la estadounidense Motorola, que participa en el proyecto europeo a través de dos nodos, el grupo del Physical Sciences Research Laboratory en Phoenix (EE.UU.) y el Centro de Investigación de Motorola en París.

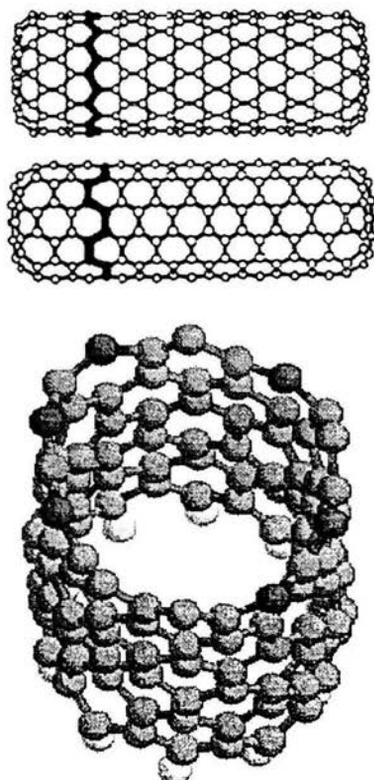
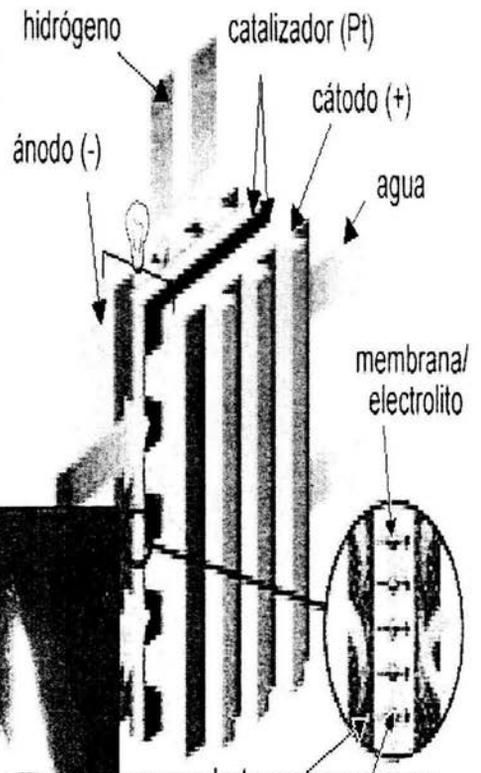
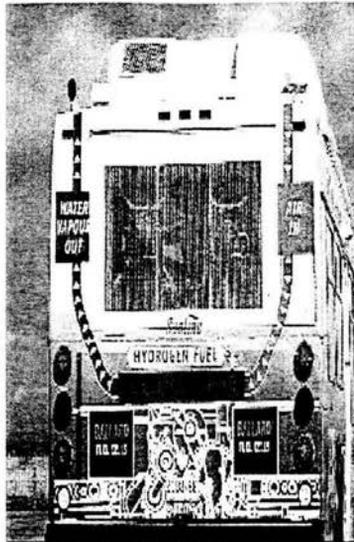


Fig. Nanotubos de carbono

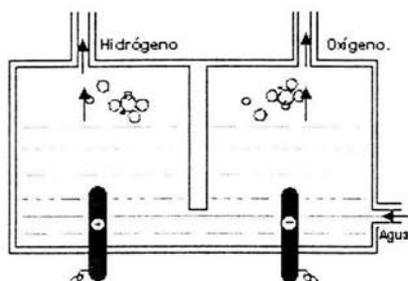
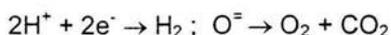
ANEXO C



PROCESOS DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO

Existen diversos procesos para la obtención del hidrógeno, dentro de los principales podemos mencionar:

- Uno de los más comunes es mediante la electrólisis del agua, es decir la obtención de hidrógeno mediante la separación de la molécula del agua a través de la aplicación de electricidad.



Este método posee un alto rendimiento, del orden del 85%, que es posible mejorar a más alta temperatura y presión.

- Un segundo método de obtención es el **térmico directo**, este consiste en sobrecalentar vapor de agua a 3000 K, a esta temperatura las moléculas de agua comienzan a disociarse en hidrógeno y oxígeno. Este es un proceso de alta eficiencia térmica, no se necesitan sustancias químicas intermediarias y ofrece una opción de producción que no genera mayor contaminación ambiental. El único problema que se podría asociar a este método es que es necesario mantener altas temperaturas, lo que puede traer problemas con los materiales de construcción.

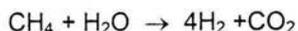
- Un tercer método es el **termoquímico**, en este se hace reaccionar el agua junto con otras sustancias químicas mientras se le agrega calor a alta temperatura (600 a 1700 °K). A partir de este proceso resulta hidrógeno y oxígeno con algún otro componente. Luego, en una o una serie de reacciones químicas, los componentes pueden ser recuperados y reutilizados en un nuevo proceso.

La eficiencia de este método es variable, va desde el 17.5% hasta el 75.5%. Para hacer viable este método es necesaria la recuperación entre un 99.90% y un 99.99% para evitar el alto costo de reposición del producto químico.

- Un cuarto método es el **fotolítico**, se produce cuando las moléculas de agua absorben energía a partir de la radiación ultravioleta, en estas condiciones en principio puede ser liberado.

Algunos fotocatalizadores son utilizados para absorber la luz visible y luego transmitir la energía de apropiada longitud de onda e intensidad a las moléculas de agua para liberar los gases constituyentes. Este proceso se conoce con el nombre de fotólisis. Las ventajas de este método es que es directo y utiliza luz ordinaria, el problema es su baja eficiencia y que se encuentra en proceso de desarrollo aún, a modo de ejemplo dentro de esta línea de investigación se encuentra. La producción de hidrógeno por **biofotólisis**, también citada como **fotodisociación** biológica del agua, se refiere a la conversión de agua y energía solar (utilizada) a hidrógeno y oxígeno usando microorganismos, comúnmente microalgas y /o cianobacterias. Si bien la producción biológica (o por microorganismos) de hidrogeno ha sido un campo de activa investigación tanto aplicada como básica por al menos dos décadas no se han alcanzado producciones industriales ya que se requiere de un significativo avance científico y tecnológico.

- Un proceso que es ampliamente usado considerando las **reacciones químicas desde el gas metano**, el cual se obtiene como combustible fósil, a pesar de que existen microorganismos que lo producen. Este método posee la desventaja de que necesita de fuentes no renovables para la producción de hidrógeno, al igual que otros métodos de obtención que utilizan combustibles fósiles. Por lo tanto estos no representan la línea a seguir en el campo de la producción de hidrógeno.



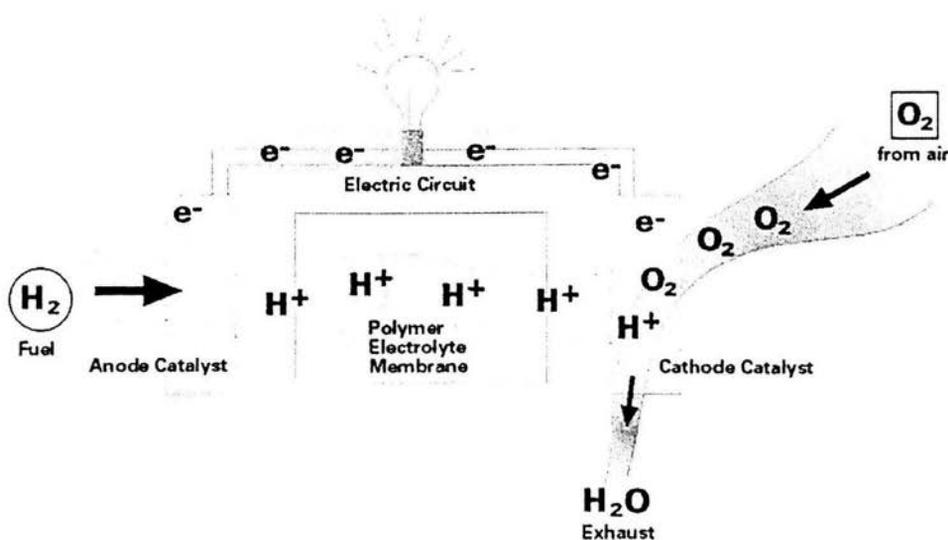
- Para obtener hidrógeno a partir del gas natural se comprime éste para separar los hidrocarburos ligeros, se le somete a un proceso de desecación para eliminar el agua y se separan el azufre y el nitrógeno. La mezcla resultante se refrigera con nitrógeno líquido y por último se procede a la separación gaseosa del monóxido de carbono y el hidrógeno.

Qué es una celda de combustible?

Una celda de combustible es una generadora que utiliza procesos químicos para producir energía de hidrógeno y oxígeno. La celda de combustible produce corriente directa como una batería, pero al contrario de una batería, nunca se descarga; la celda sigue produciendo energía mientras se disponga de combustible.

¿Cómo funciona la celda de combustible?

En términos sencillos, las celdas de combustible combinan químicamente los gases de hidrógeno y oxígeno, para así producir agua y energía.

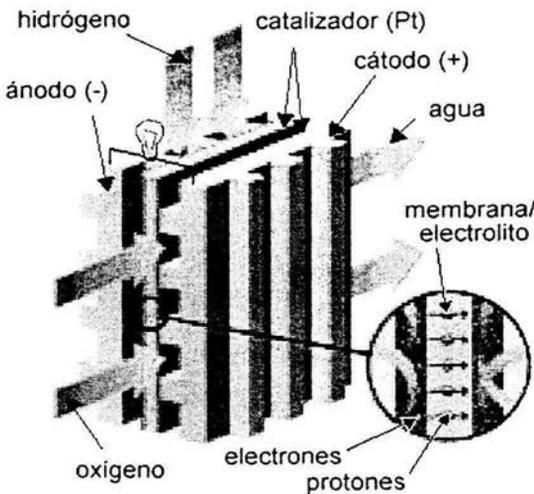
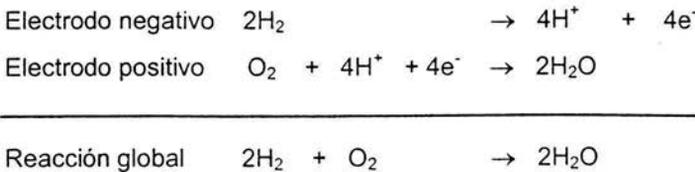


El dispositivo es conceptualmente muy simple; una celda de combustible individual está formada por dos electrodos separados por un electrolito que permite el paso de iones pero no de electrones. En el electrodo negativo tiene lugar la oxidación

del combustible (normalmente H₂ 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.



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 (reacción catalizada también por el platino). Los electrones, que no pueden atravesar la membrana del electrolito, fluyen del ánodo al cátodo a través de un circuito externo y alimentan los dispositivos eléctricos. La figura muestra una sola celda electroquímica que produce 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.

¿Hay distintas clases de celda de combustible?

Sí, existen varias clases, incluyendo: PEM (sigla en inglés de Membrana de Intercambio Protónico), carbonato derretido, y alcalino (del tipo de combustible utilizado por el programa espacial de los EUA). Las celdas de combustible de carbonato derretido funcionan a temperaturas muy elevadas y así son más aptas para aplicaciones a mayor escala, por ejemplo, en plantas eléctricas. Las celdas de combustible PEM son más apropiadas para la generación de energía a pequeña escala, por ejemplo, en vehículos. El SERC produce exclusivamente celdas de combustible PEM.

Principales tipos de pilas de combustible

Tipo y Siglas en inglés	Electrolito	Temperatura	Combustible	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Poliméricas (PEM ^a)	Nafion	60-100 °C	H ₂	Transporte equipos portátiles electricidad	Baja temperatura, arranque rápido electrolito sólido (reduce corrosión, fugas, etc.)	A baja temp. requiere catalizadores caros (Pt) y H ₂ puro.
Alcalinas (AFC)	KOH (aq.)	90-100 °C	H ₂	Militares, espaciales	Mejores prestaciones de corriente debido a su rápida reacción catódica.	Requiere eliminar el CO ₂ de aire y combustible.
De ácido fosfórico (PAFC)	H ₃ PO ₄	175-200 °C	H ₂	Electricidad	Eficiencia de hasta un 85% (con cogeneración de calor y electricidad). Posibilidad de usar H ₂ impuro como combustible.	Catalizador de Pt. corriente y potencia bajas. Peso y tamaño elevados.
De carbonatos fundidos (MCFC)	Carbonatos Li, Na, K	600-1000 °C	H ₂	Electricidad	Ventajas derivadas de las altas temperaturas. ^b	Las altas temperaturas aumentan la corrosión y ruptura de componentes.
De óxido sólido (SOFC)	(Zr,Y)O ₂	800-1000 °C	H ₂	Electricidad	Ventajas derivadas de las altas temperaturas. ^b El electrolito sólido reduce corrosión, fugas, etc.	Las altas temperaturas facilitan la ruptura de componentes (sellos...)
Conversión directa de metanol (DMFC)	Nafion	60-100 °C	CH ₃ OH	Transporte de equipos portátiles de electricidad	Combustible líquido más cercano a la tecnología actual más las ventajas de las PEM.	

a) PEM (Proton Exchange Membrane, o Polymer Electrolyte Membrane).

b) Mayor eficiencia, posibilidad de usar catalizadores más baratos que el platino y flexibilidad para usar otro tipo de combustibles incluso hidrocarburos.

BIBLIOGRAFÍA.

ARTÍCULOS.

1. DeLucci, MA., Hydrogen Vehicles: An Evaluation Of fuel Storage, Performance, Safety, Enviromental Impacts, and Cost, "International Journal Of Hydrogen Energy ", Vol 14, No. 2, pp 81-130 1989.
2. Dinga Gustov P. Hydrogen. The ultimate fuel and energy carrier, En: Int J. Hydrogen Energy. Vol 14, No. 11, pp 777-784, 1989.
3. K. Cox and K. Willamson Jr, Hydrogen: its techology and implications, Vol I, Hydrogen production technology, CRC, Boca Raton, FL. 1973. L. Bicelli, Int. J. Hydrogen Energy 11, 555. 1986.
4. Kent, G.R., Find Radiation Effect or Flares, Hydrocarbon Processing, Vol. 47, No.6, Section 1, pp. 119-130, June 1968.
5. Pehr, K., Safety Concept of an Engine Test Rig with Liquid Hydrogen Supply, International Journal of Hydroegen Energy, Vol. 18, No. 9, 1993.
6. Revista Ambientum., "El Hidrógeno como Combustible"., Febrero, 2003.

OTROS.

7. Alejo, L., Peña, M.A. y Fierro, J.L.G., Appl. Catal. A: General 162 (1997) 281.
8. Cubeiro, M.L. y Fierro, J.L.G., J. Catal.(1998), en prensa; Cubeiro, M.L. y Fierro, J.L.G., Appl Catal. A: General 168 (1998) 307.
9. Ghirardi, L.M., Flynn, T., Forestier, M., and Seibert, M., (1999), Proceeding of the 1999 DOE Hydrogen Program Review, NREL/CP-570-26938.
10. Gulati, S.T., "Advanced Three-Way Converter System for High temperature Exhaust Aftertreatment", SAE970265, 1997.
11. Jamal, Y. y Wyszynsky, M.L., Int. J. Hydrogen energy 19 (1994) 557.
12. J. Bockris, Energy. The Solar Hydrogen Alternativa, Wiley, New York., 1975.
13. Polle, J.E.W., Benemann, J.R., Tanaka, A., Melis, A., Melis, A., (2000), Proceeding of the 2000 Hydrogen Program Review, NREL/CP-570-28890.
14. Riley, R.Q., "Alternative cars in the 21st Century", SAE, Warrendale, USA, 1994.
15. UNE 23-026-80 Parte I Tecnología del Fuego – terminología.
ISO 3261-1975 Fire tests-vocabulary.
National Fire Codes "recommended practices and manual" of the "National Fire protection Association".

NOM-S-44-1987 Seguridad-tecnología del fuego-terminología.

16. Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review, Hydrogen Codes and Standards., James Ohi., National Renewable Energy Laboratory

INTERNET.

17. www.panoramaenergetico.com

18. www.genome.ad.jp.

19.* www.oxicar.com

20. *www.eren.doe.gov/hydrogen

21. www.pnl.gov/fuelcells

22. www.theenergyexchange.co.uk.

23. www.globalpower.platts.com.

24. www.HydrogenSafety.info

25. www.hydrogen Now!.org.

26. www.infra.com

27. A NATIONAL VISION OF AMERICA'S TRANSITION TO A HYDROGEN ECONOMY TO 2030 AND BEYOND., Based on the results of the National Hydrogen Vision Meeting Washington, DC., November 15-16, 2001; February 2002., United States Department of Energy