

EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE SOSTENIBLE, EL FUTURO YA ES PRESENTE

EL HIDRÓGENO CONSTITUYE CASI TRES CUARTAS PARTES DE LA MASA DEL UNIVERSO Y ES EL ELEMENTO MÁS ABUNDANTE DE LA TIERRA, PERO NO EXISTE DE FORMA NATURAL Y AISLADA. SE ENCUENTRA EN EL AGUA, QUE CUBRE EL 70% DE LA SUPERFICIE TERRESTRE, Y EN TODA LA MATERIA ORGÁNICA. ES EL ELEMENTO MÁS SIMPLE, EL PRIMERO DE LA TABLA PERIÓDICA, SE COMPONE DE UN PROTÓN Y UN ELECTRÓN Y, EN CONDICIONES NORMALES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA, ES UN GAS INCOLORO E INODORO. ES TAMBIÉN EL MÁS LIGERO DE TODOS LOS ELEMENTOS Y GASES, 14 VECES MÁS LIGERO QUE EL AIRE, 1 NORMAL METRO CÚBICO PESA 90 GRAMOS. LICUA A UNA TEMPERATURA EXTREMADAMENTE BAJA, - 253 °C, SOLO 20 POR ENCIMA DEL CERO ABSOLUTO.

El hidrógeno es el combustible de mayor energía de combustión por kilo, produce de 2 a 3 veces más energía que la mayoría de los combustibles comunes. Se combina fácilmente con el oxígeno, liberando una considerable cantidad de energía en forma de calor. De hecho, esta combinación (hidrógeno y oxígeno líquidos) se ha utilizado como combustible en proyectos aeroespaciales, desde los cohetes Saturno V (del proyecto Apolo), hasta los más recientes transbordadores espaciales.

En vehículos, el hidrógeno puede usarse en motores de combustión interna, generando emisiones mucho menores que otros combustibles. Sin embargo, también puede producir electricidad a través de una pila de combustible que alimenta un motor eléctrico: es la opción menos contaminante, ya que solo genera vapor de agua como subproducto. Por este motivo, ésta es la que se ha adoptado de forma prácticamente general.

El sistema actual más económico y extendido de producción de hidrógeno es el reformado de gas natural. Este método consiste en combinar metano con vapor de agua para producir CO₂ e hidrógeno. Otro método de producción es la electrólisis del agua, que permite obtener hidrógeno y oxígeno mediante el uso de una corriente eléctrica (es el proceso contrario al que realiza la pila de combustible).

Tradicionalmente, el hidrógeno se ha utilizado en muchos procesos industriales (refinerías, producción de amoníaco, industria del vidrio, metal, química, grasas, etc.). Air Products, grupo del que forma parte Carbueros Metálicos, es el mayor proveedor de hidrógeno comercial del mundo para dichas aplicaciones y desde hace más de 20 años encabeza el desarrollo del sector del hidrógeno en la movilidad, diseñando y construyendo estaciones de servicio para diferentes tipos de vehículos, como automóviles, autobuses o carretillas elevadoras. Es así como ya en 2008, Carbueros Metálicos instaló una

HYDROGEN AS A SUSTAINABLE FUEL: THE FUTURE IS NOW

HYDROGEN REPRESENTS ALMOST THREE-QUARTERS OF THE MASS OF THE UNIVERSE AND IS THE MOST ABUNDANT ELEMENT ON THE PLANET HOWEVER, IT DOES NOT EXIST IN A NATURAL AND ISOLATED FORM. IT IS FOUND IN WATER, WHICH COVERS 70% OF THE EARTH'S SURFACE AND IN ALL ORGANIC MATTER. IT IS THE SIMPLEST ELEMENT, THE FIRST OF THE PERIODIC TABLE AND COMPRISES ONE PROTON AND ONE ELECTRON. UNDER NORMAL PRESSURE AND TEMPERATURE CONDITIONS, IT IS A COLOURLESS AND ODOURLESS GAS. IT IS ALSO THE LIGHTEST OF ALL ELEMENTS AND GASES, 14 TIMES LIGHTER THAN AIR WITH 1 NORMAL CUBIC METRE WEIGHING 90 GRAMS. IT LIQUEFIES AT AN EXTREMELY LOW TEMPERATURE, -253 °C, JUST 20 ABOVE ABSOLUTE ZERO.

Hydrogen is the fuel that offers the most combustion energy per kilo, producing 2 to 3 times more energy than most common fuels. It is easy to combine with oxygen, releasing a significant amount of energy in the form of heat. Indeed, this combination (liquid hydrogen and oxygen) has been used as a fuel in aerospace projects, from the Saturn V rockets (from the Apollo project) to the more recent space shuttles.

In vehicles, hydrogen can be used in internal combustion engines, generating much lower emissions than other fuels. However, it can also produce electricity by means of a fuel cell that powers an electric motor: this is the less contaminant option, as it only generates steam as a by-product. For this reason, this is option that has been most widely adopted.

The most cost-effective and widespread system in place today for hydrogen production is natural gas reforming. This method consists of combining methane with steam to produce CO₂ and hydrogen. Another production method is water electrolysis that is able to obtain hydrogen and oxygen through the use of an electric current (this is opposite to the process performed by the fuel cell).

Traditionally, hydrogen has been used in many industrial processes (refineries, ammonia production and in industries such as glass, metal, chemical and fats). Air Products Group, of which Carbueros Metálicos forms part, is the largest supplier of commercial hydrogen in the world for such applications and for more than 20 years has led the development of the hydrogen sector as regards mobility, designing and constructing hydrogen refuelling stations (HRS) for different types of vehicles, such as cars, buses and forklift trucks. This is how in 2008, Carbueros Metálicos had already installed one of the first hydrogen refuelling stations in Spain, in Zaragoza, the mark the World Expo.



Estación de repostaje de hidrógeno de autobuses | Hydrogen refuelling station for buses

Hydrogen is destined to be one of the most important elements in the energy transition, if we aim to achieve a fully decarbonised society by the middle of the 21st Century. Firstly, as a clean fuel, it replaces fossil fuels in heating, industry and mobility, as its use generates no emissions. And secondly, because it can be 100% sustainably produced using renewable sources, whether through biogas reforming, or via electrolysis, using wind, solar or hydro power.

In fact, hydrogen is considered to be an energy vector, as it does not constitute an energy source in itself, but an energy carrier

de la primeras hidrogeneras en España, en Zaragoza, con motivo de la Exposición Universal.

El hidrógeno está destinado a ser uno de los elementos más importantes en la transición energética si aspiramos a la total descarbonización de la sociedad a mitad del siglo XXI. En primer lugar, como combustible limpio, sustituto de combustibles fósiles tanto en calefacción, como en industria y movilidad, ya que su uso no genera emisiones. Y, en segundo lugar, porque puede llegar a producirse de forma totalmente sostenible utilizando fuentes renovables, bien a través de reformado de biogás, o de electrólisis, con energía eléctrica eólica, solar o hidráulica.

De hecho, el hidrógeno es considerado un vector energético, ya que no constituye una fuente de energía propiamente dicha, sino un portador de ésta y, por tanto, permite almacenar grandes cantidades de energía provenientes de diversas fuentes. Un claro ejemplo podría ser la utilización del exceso de energía eólica o solar para su fabricación.

Una de las cuestiones más importantes a considerar en el suministro de hidrógeno es su transporte, debido a su baja densidad. Para optimizarlo hay tres alternativas:

- Transportar la mayor cantidad de materia posible en el mismo espacio: en condiciones normales, el hidrógeno es un gas y puede transportarse comprimido; tradicionalmente se han usado presiones de 200 bar, aunque se está trabajando para aumentar esa presión hasta 500 o incluso 700 bar (la misma presión a la que los vehículos lo almacenan).
- Licuar el hidrógeno: el hidrógeno líquido permite transportar una cantidad mucho mayor de producto, ya que 1 litro de hidrógeno licuado al gasificarse son 0,787 Nm³ de gas. Como ejemplo comparativo: un transporte por camión habitual de hidrógeno comprimido a 200 bar puede llevar unos 400 kg de producto, mientras que una cisterna de hidrógeno líquido puede llevar hasta 2.000 kg; es decir, 5 veces más.
- Evitar el transporte y realizar la generación *in situ*.

En esa línea Carbueros Metálicos ofrece esos tres sistemas de suministro (gas comprimido, gas licuado, y generadores de hidrógeno *in situ* a través del reformado de metano).

Uno de los aspectos más interesantes para llegar a usar masivamente el hidrógeno como sustituto de combustibles fósiles como el gas natural, y a la vez relacionado con su distribución, es la posibilidad del uso de una red de tuberías o gasoductos, bien utilizando y adaptando la actual red de gas natural o bien con canalizaciones específicas. Actualmente, se está estudiando cómo puede afectar a las canalizaciones actuales (con mezclas de hidrógeno y gas natural) y la adaptación de dichas infraestructuras al uso definitivo del hidrógeno.

En los últimos años se ha evidenciado la apuesta internacional por el desarrollo de la economía del hidrógeno, como parte fundamental hacia un mundo más sostenible y hacia la reducción y eliminación de las emisiones de CO₂. EE.UU., Japón o Alemania lideran los proyectos y esfuerzos de financiación, tanto privados como, sobre todo, públicos. La colaboración internacional es fundamental. En ese sentido, más de 60 empresas de ámbito multinacional, entre ellas Air Products, han formado el Hydrogen Council, con el propósito de acelerar las inversiones y el compromiso de los accionistas en ese sector.



Automóvil de pila de combustible repostando en una hidrogenera | Fuel cell car refuelling at a hydrogen pump

and as such, is able to store vast quantities of energy originating from diverse sources. A clear example is the use of surplus wind and solar power for its manufacture.

One of the most important issues to consider in the supply of hydrogen is its transport, due to its low density. There are three alternatives for its optimisation:

- Transporting the greatest amount of material possible in the same space: under normal conditions, hydrogen is a gas and can be transported compressed. It has traditionally been used at pressures of 200 bar, although work is taking place to increase that pressure up to 500 or even 700 bar (the same pressure as that at which it is stored in vehicles).
- Liquefying the hydrogen: liquid hydrogen can transport a much larger quantity of product, as 1 litre of liquefied hydrogen once gasified is 0.787 Nm³ of gas. To give a comparative example: transport using a usual compressed hydrogen truck at 200 bar can carry around 400 kg of product, while a liquid hydrogen tanker can carry up to 2,000 kg; in other words, 5 times more.
- Avoiding transport altogether with *in situ* generation.

As a result, Carbueros Metálicos offers these three supply systems (compressed gas, liquefied gas and *in situ* hydrogen generators via methane reforming).

One of the most interesting aspects for achieving the massive use of hydrogen as a replacement for fossil fuels such as natural gas, which is in turn related to its distribution, is the possibility of using a pipeline or gas duct network, whether using and adapting the existing natural gas grid or via specific pipelines. Studies are currently taking place as to how it can affect existing pipelines (with mixtures of hydrogen and natural gas) and the adaptation of these infrastructures to the definitive use of hydrogen.

Recent years have witnessed international support for the development of the hydrogen economy as an essential component of the shift towards a more sustainable world and the reduction and elimination of CO₂ emissions. The US, Japan and Germany are heading up projects and efforts for both private and public funding. International collaboration is essential. In this regard, over 60 multinational entities, including Air Products, have set up the Hydrogen Council, for the purpose of accelerating the investments and commitment of the stakeholders in this sector.

At European level another important body is the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). This involves a public-private organism, comprising the most important

A nivel europeo otro organismo importante es el Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Se trata en este caso, de un organismo público-privado, formado por las empresas más importantes del sector y por la Comisión Europea, con ánimo de impulsar y apoyar las iniciativas relacionadas con el desarrollo e implantación del hidrógeno como elemento energético crucial en los próximos años, tanto desde el punto de vista industrial como de investigación.

Ambos organismos han confeccionado hojas de ruta con las previsiones deseables para 2050. De forma muy resumida, para ese año, se prevé que el 18% de la energía total venga del hidrógeno, lo que va a representar una reducción de las emisiones de CO₂ de 6 Gt (6 mil millones de toneladas). Uno de los sectores más importantes para la descarbonización es el sector transporte, porque es responsable de la mayor parte de las emisiones en España, en concreto el 26% del total. En ese ámbito, los vehículos de pilas de hidrógeno se sumarán a los vehículos eléctricos. Las previsiones son que en 2050 entre el 25 y 30% de los vehículos funcionen con pila de combustible (eso representaría 20 millones de barriles de crudo menos cada día, y una reducción de 3,2 Gt de CO₂ al año). La idea es que ya en 2030, 1 de cada 12 coches en Alemania, Japón, Corea del Sur y California sean de pila de combustible. Esto, globalmente, representaría de 10 a 15 millones de coches y 500.000 camiones. También en ese periodo se empezarán a desplegar trenes y barcos con hidrógeno como combustible.

Los proyectos son cada vez son más numerosos, cada vez hay más iniciativas e interés del sector del transporte por los vehículos de hidrógeno, pero es muy importante que eso venga acompañado por el interés de la Administración pública, por su compromiso y apoyo financiero. Se trata de una economía de escala que, a día de hoy, representa aún un coste mayor que la del carbono. Pero conforme ésta se vaya desarrollando, los costes tenderán a bajar. Las pilas de combustible y las estaciones de servicio (hidrogeneras) verán reducidos sus costes significativamente, así como el precio del hidrógeno. En la actualidad el coste por km es aún más caro que con combustibles fósiles, pero la tendencia es a igualarse en los próximos años. Actualmente, las mayores barreras para el desarrollo de este sector, principalmente en España, son los altos costes iniciales de, por ejemplo, las hidrogeneras, por lo que una adecuada financiación pública como la existente en otros países sería fundamental.

En conclusión, el hidrógeno va a jugar en los próximos años un rol fundamental como alternativa energética a los combustibles fósiles.

Air Products ha sido una de las primeras compañías en obtener el Certificado de Origen, dentro del proyecto europeo CertifHy, que garantiza que el hidrógeno, producido en una de nuestras plantas en Holanda, procede de una fuente renovable (electrólisis alimentada por energía eólica, en este caso).



Planta dedicada a la producción de hidrógeno en Tarragona | Plant dedicated to hydrogen production in Tarragona

sector companies and the European Commission. Its aim is to stimulate and support initiatives relating to the development and implementation of hydrogen as a vital energy element over the coming years, from both the point of view of industry and that of research.

Both entities have drawn up road maps with the desired forecasts for 2050. Very briefly, for this year, 18% of total energy is forecast to come from hydrogen, which will represent a reduction in CO₂ emissions of 6 Gt (6 billion tonnes). One of the most important sectors to be decarbonised is the transport sector, as it is

responsible for most of Spain's emissions, specifically 26% of the whole. In this field, hydrogen fuel cell vehicles will be added to electric vehicles. Forecasts for 2050 point to 25-30% of vehicles being powered by fuel cells (this would represent 20 million barrels of crude less per day and a reduction of 3.2 Gt of CO₂ per year). The idea is that by 2030, 1 out of every 12 cars in Germany, Japan, South Korea and California will have fuel cells. Globally, this would represent 10 to 15 million cars and 500,000 trucks. This period will also start to see the deployment of trains and ships that use hydrogen as a fuel.

Projects are increasingly numerous, with an increasing number of initiatives and interest by the transport sector in hydrogen vehicles, however it is very important that this is accompanied by the interest of the public administration, through its commitment and financial support. This is an economy of scale that today still represents a cost that is higher than that of coal. But as hydrogen develops, costs will start to fall. Fuel cells and hydrogen refuelling stations will see a significant costs reduction, as well as a fall in the price of hydrogen. Today, the cost per km is even higher than fossil fuels, but the trend is for it to equalise over the coming years. Currently, the biggest barriers to the development of this sector, mainly in Spain, are the high initial costs of, for example, the hydrogen refuelling stations, making adequate public financing, such as that which exists in other countries, fundamental.

In conclusion, hydrogen is going to play a key role over the coming years as an energy alternative to fossil fuels.

Air Products has been one of the first companies to obtain the Certificate of Origin, as part of the CertifHy European project, which guarantees that the hydrogen produced at one of our plants in the Netherlands is renewably-sourced (in this case, electrolysis powered by wind energy).



Carles Pallé

Commercial Technology in Water, H₂, Spots, at Carburos Metálicos