

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

TRABAJO FIN DE MASTER

<ANÁLISIS DE ODORANTES PARA EL HIDRÓGENO VERDE>



Estudiante: Lara Samaniego Yadyra

Director/Directora: Reques Martínez Jesús

Codirector/Codirectora:

Curso: 2022-2023

Fecha: Bilbao, 19 de septiembre de 2023

RESUMEN

Este estudio se centra en el análisis de diversos odorantes que pueden ser compatibles con hidrógeno verde, un gas incoloro e inodoro. Es un estado del arte de los posibles odorantes a emplear basándose en diversos aspectos como el carácter oloroso, que incluye la caracterización, intensidad y tono hedónico de cada uno de ellos. También, se evaluó la compatibilidad de la mezcla odorante/hidrógeno con diferentes materiales con los cuales esta mezcla podría entrar en contacto.

Las fuentes de información utilizadas para este estudio incluyen archivos de ensayos previos, legislación nacional e internacional y diversas plataformas gubernamentales. El objetivo principal de este documento es identificar compuestos que puedan ser utilizados para otorgar un olor al hidrógeno sin afectar a su aplicabilidad. Esto se hace con el propósito de evaluar cómo dichos compuestos pueden contribuir tanto con el medio ambiente, principalmente en el tema de la descarbonización de capa de ozono como con la seguridad de las personas.

Como resultado de este estudio, se ha determinado la compatibilidad adecuada de ciertos odorantes con el hidrógeno, lo que permitirá mejorar la detección y seguridad en su manejo y utilización.

Palabras clave: >hidrógeno< >odorante< >descarbonización< >normativa<
>compatibilidad<

LABURPENA

Ikasketaren helburua da ze usaingarri ezberdinak sar daitezkeen hidrogeno berdean, non kolorerik eta usainik gabeko gasa den. Usaingarri posibleen artearen egoera da, hainbat alderditan oinarrituta erabiltzeko, hala nola usain-izaera, zeinak barne hartzen dituen horietako bakoitzaren karakterizazioa, intentsitatea eta tonu hedonikoa. Era berean, usaingarri/hidrogeno nahasketak ebaluatu dira, nahasketa hori kontaktuan egon zitekeen material ezberdinekin duen bateragarritasuna ebaluatu ere bada.

Ikerketa honetarako erabilitako informazio iturriak aurreko epaiketen artxiiboak, estatuko eta nazioarteko legedia eta gobernuko hainbat plataforma dira. Dokumentu honen helburu nagusia hidrogenoari usaingarri bat emateko erabil daitezkeen konposatuak identifikatzea da, haren aplikagarritasunari eragin gabe. Konposatu hauek ingurumenari, batez ere ozono-geruzaren dekarbonizazioari dagokionez, zein pertsonaren segurtasunari dagokionez, nola lagundu dezaketen ebaluatzeko helburuarekin egiten da.

Azterketa horren ondorioz, usaingarri jakin batzuek hidrogenoarekin duten bateragarritasun egokia zehaztu da, hauen manipulazioan eta erabileran hautematea eta segurtasuna hobetuko dituen.

Gako-hitzak: >hidrogenoa < >usaingarria< >deskarbonizazioa< >erregulatzaila< >bateragarritasuna<

ABSTRACT

This study is focus on the analysis of various odorants that may be compatible with green hydrogen, a colorless and odorless gas. It is a state of the art of possible odorants to be used based on various aspects such as the odorous character, which includes the characterization, intensity and hedonic tone of each of them. Also, the compatibility of the odorant/hydrogen mixture with different materials which this mixture could come into contact was also evaluated.

The information sources used for this study include archives of previous works, national and international legislation, and various government platforms. The main objective of this document is to identify compounds that can be used to impart an odor to hydrogen without affecting its applicability. This is done with the purpose of evaluating how these compounds can contribute both to the environment, mainly in terms of the decarbonization of the ozone layer, and to the safety of people.

As a result of this study, the adequate compatibility of certain odorants with hydrogen has been determined, which will improve detection and safety in their handling and use.

Keywords: >hydrogen <>odorant<>decarbonization<>regulatory<>compatibility<

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	JUSTIFICACIÓN	3
3.	OBJETIVOS	4
3.1	General.....	4
3.2	Específicos.....	4
4.	ESTUDIO DEL ARTE	5
4.1	Antecedentes	5
4.1.1	<i>Hidrógeno</i>	5
4.1.2	<i>Odorantes</i>	5
4.2	Hidrógeno	6
4.2.1	<i>Características</i>	6
4.2.2	<i>Economía del hidrógeno</i>	8
4.2.3	<i>Hidrógeno como herramienta de descarbonización</i>	8
4.2.4	<i>Usos del hidrógeno verde</i>	10
4.3	Análisis ambiental del hidrógeno verde: impacto y potencial en la sostenibilidad energética.....	11
4.4	Odorantes para el hidrógeno	15
4.4.1	<i>Requisitos que deben cumplir los odorantes según La Norma UNE-EN ISO13734:2014</i>	15
4.5	Odorantes candidatos seleccionados para el hidrógeno	16
4.5.1	<i>Características químicas de los odorantes seleccionados</i>	17
4.6	evaluación de olores de los odorantes seleccionados.....	18
4.6.1	<i>Caracterización de olores</i>	18
4.6.2	<i>Intensidad de los odorantes seleccionados</i>	21
4.6.3	<i>Tono Hedónico De Los Odorantes Seleccionados</i>	24
4.7	Compatibilidad de los odorantes seleccionados	26
4.7.1	<i>Compatibilidad de los odorantes seleccionados con la integridad de las tuberías</i>	26
4.7.2	<i>Compatibilidad de los odorantes seleccionados en la corrosión de las calderas de llama</i>	29

4.8 Comparación De Odorantes Seleccionados Basada En Los Criterios Analizados.....	39
4.9 Gasodor S-Free.....	40
4.9.1 Ventajas	43
4.9.2 Condiciones o desventajas	43
4.9.3 Condiciones de almacenamiento	43
4.9.4 Posibles aplicaciones.....	44
4.9.5 Coste económico de Gasodor S-Free.....	44
5. CONCLUSIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXO A	

ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen 1. Probetas sometidas a los entornos de corrosión.....</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 2. Esquema del funcionamiento de una celda de combustible.....</i>	<i>33</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Usos del hidrógeno.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. Proyectos de implantación de uso de hidrógeno verde.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3. Emisiones de GEI por sector 2021.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4. Emisiones de gases de efecto invernadero del transporte en la UE (2019).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5. Carácter oloroso del odorante NB.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6. Carácter oloroso del odorante NB Diluido.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7. Carácter oloroso del odorante THT.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8. Carácter oloroso del odorante GASODOR FREE.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9. Carácter oloroso de odorante Norborneno.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10. Umbral de detección de los odorantes seleccionados.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 11. Título: Concentración de olor en el que, el 50 % de los panelistas detectan una intensidad de olor media (escala de ventas 2).</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12. Comparación de olor en el que, el 100% de los panelistas detectan una intensidad de olor media (Escala de ventas 2)</i>	<i>21</i>
<i>Figura 13. Intensidad de olor de cada odorante.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 14. Tono hedónico de los odorantes seleccionados</i>	<i>25</i>
<i>Figura 15. Caracterización de los agentes de alarma de los odorantes.....</i>	<i>42</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Uso final del hidrogeno según su área de aplicación.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2. Uso final del hidrógeno como materia prima o como portador.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3. Emisiones de GEI según la industria</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 4. Odorantes seleccionados para el gas 100% hidrógeno.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 5. Características de los compuestos químicos del odorante NB</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 6. Características de los compuestos químicos del odorante de reserva o diluido NB.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 7. Características de los compuestos químicos del odorante THT.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 8. Características de los compuestos químicos del odorante GASODOR FREE.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 9. Características de los compuestos químicos del odorante Norborneno.....</i>	<i>18</i>

Tabla 10. Escala de intensidad (escala de ventas)	21
Tabla 11. Umbral de detección de los odorantes seleccionados.....	21
Tabla 12. Escala tonal hedónica para evaluar el carácter agradable de la reacción provocada por el gas odorizado	24
Tabla 13. Composición química y concentración de cada odorante seleccionado...	30
Tabla 14. Temperatura y pH del condensado (10% de condensación).....	31
Tabla 15. Tipos de Pilas de Combustible, electrolito, ion de transporte, temperatura de operación, aplicaciones y compuestos de azufre	33
Tabla 16. Características de la Pila de Combustible PEM.....	35
Tabla 17. Composición química y concentración de los odorantes utilizados en la Pila de Combustible PEM.....	36
Tabla 18. Resultados obtenidos después de someter a la Pila de Combustible PEM a la mezcla odorante/hidrógeno.....	37
Tabla 19. Comparación de odorantes basada en los criterios analizados	39
Tabla 20. Comparación de características entre el odorante GASODOR S-FREE Y THT.	42
Tabla 21. Periodo y temperatura de almacenamiento de GASODOR S-FREE	43

ANÁLISIS DE ODORANTES PARA EL HIDRÓGENO

1. INTRODUCCIÓN

El hidrógeno es un compuesto escaso en la naturaleza, es decir no se lo encuentra disponible de forma natural, por lo que todo el hidrógeno que se emplea como materia prima se debe de producir industrialmente. Actualmente el 96% de todo el hidrógeno que se consume procede de la transformación termoquímica de combustibles fósiles, lo que significa que durante este proceso de transformación se producen grandes toneladas de CO₂. La Unión Europea se ha enfocado en conseguir la neutralidad climática para 2050, o sea enfocarse en la descarbonización de la economía desarrollando cadenas de valor industriales innovadoras basadas en el uso de energías de origen renovable.

Según el informe de Recomendaciones Legislativas para el Sector del Hidrógeno en España, del Proyecto HyLaw, se estima que para 2050, el hidrógeno representará el 18% del consumo total de la energía en el mundo. ⁽¹⁾ Esto disminuiría la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera en 6 giga toneladas por año (las emisiones de 3 años de España) y, al mismo tiempo, crearía 30 millones de empleos dentro de una industria por valor de 2,5 billones de dólares anuales. ⁽²⁾

En España y Alemania el uso de hidrogeno verde es una alternativa de origen renovable y constituye una herramienta importante en la descarbonización de varios sectores y subsectores que utilizan este elemento como materia prima o como portador energético, sin embargo, las características químicas del hidrógeno: incoloro, inodoro y su alta inflamabilidad lo convierten en un elemento que requiere de un cuidadoso control.

Hoy por hoy se utilizan sensores y otros instrumentos como herramientas para detectar fugas de hidrógeno, ya que este elemento tiene un límite explosivo inferior (LIE) de tan solo un 4% en volumen, lo que significa que en pequeñas cantidades puede causar

explosiones al mezclarse con el aire atmosférico, incluso una chispa de electricidad estática es suficiente para desencadenar una explosión si hay hidrógeno presente. (3)

La detección de un gas debe ser de fácil identificación, es decir cualquier persona no especializada debe poder reconocerlo sin necesidad de un equipo detector, este es el caso del gas natural que desde 1999 para su detección se emplean adorzantes con base de azufre, siendo los odorantes más utilizados “los mercaptanos”. Sin embargo, en el caso del hidrogeno el empleo de estos odorizantes a veces no es posible, y es función de su posible empleo. Específicamente si el hidrógeno es utilizado en pilas de combustible o en reacciones químicas catalíticas, esto se debe a que los odorizantes que contienen azufre pueden envenenar los catalizadores empleados en la pila de combustible o en los diferentes procesos catalíticos, dificultando el funcionamiento de la misma. Es por ello que se han de buscar nuevos odorizantes que se puedan emplear en las diferentes aplicaciones del hidrogeno y que a poder ser no sean en base de azufre.

2. JUSTIFICACIÓN

El hidrógeno verde como tecnología es clave para resolver problemas de descarbonización en la producción de energía, reducir el consumo de combustibles de fuentes no renovables en los procesos industriales y eliminar hidrocarburos en el transporte pesado, vehículos privados, transporte marítimo y ferroviario.

Actualmente el hidrógeno cuenta con una cadena de valor bastante investigada, pues se ha identificado que el hidrógeno contribuye de manera importante a lograr un futuro con bajas emisiones de carbono. Esta cadena de valor contempla la producción, el almacenamiento/transporte y los usos finales, sin embargo, para que esta última etapa está completa y el hidrógeno se pueda emplear de manera segura hay que saber identificar su presencia.

La seguridad es primordial para que el hidrógeno se convierta en un combustible de consumo, por tanto, se requiere tener un método y un sistema para la detección de posibles fugas de hidrógeno. Los odorantes empleados en el gas natural pueden detectarse a través del sistema olfativo humano a menos del 20% de límite inferior de inflamabilidad, en este caso de estudio se busca odorantes que sean compatibles con el hidrógeno debido a sus características, usos finales y a su amplio rango de inflamabilidad (4 y 74%).⁽⁴⁾

Es importante mencionar que todavía en la actualidad no se añade ningún compuesto odorante para identificar hidrógeno, pero si se hace el uso de sensores para advertir la presencia de hidrógeno en un entorno. No obstante, la aplicación de sensores tanto a nivel doméstico como industrial o en sistemas de pilas de combustible para movilidad se considera una opción inviable para la identificación de posibles fugas de hidrógeno. Por tanto, este trabajo se enfoca a investigar odorantes compatibles con el hidrógeno en sus usos finales. Los compuestos odorantes mencionados en este contexto han sido desarrollados a raíz de investigaciones previas realizadas sobre todo en el Reino Unido y han sido seleccionados después de haber sido sometidos a rigurosas pruebas de olfatometría dinámica, conforme a los estándares estipulados en la Norma UNE-EN 13725:2022.⁽⁵⁾

3. OBJETIVOS

3.1 General

- Realizar un estado del arte de compuestos capaces de odorizar el hidrógeno sin repercutir en la aplicabilidad del hidrógeno.

3.2 Específicos

- Identificar las propiedades del hidrógeno con el propósito de determinar la viabilidad de su combinación con un agente odorante.
- Investigar la existencia de normativas actuales relacionadas con el hidrógeno, así como examinar los reglamentos técnicos que regulan la distribución y utilización de combustibles gaseosos.
- Evaluar el impacto ambiental que supone el uso de odorantes en el contexto del hidrógeno verde.
- Analizar las diferentes familias de odorantes que se pueden emplear sobre el gas hidrógeno.

4. ESTUDIO DEL ARTE

4.1 Antecedentes

4.1.1 Hidrógeno

Lo bautizaron como hidrógeno o generador de agua en 1783. La historia del hidrógeno empieza en 1766 cuando Henry Cavendish averiguaba la composición del agua y en 1783 le dieron el nombre de hidrógeno. En 1806 se inicia la huella del hidrógeno como tal, con la creación de un motor de combustión interna (mezcla de oxígeno e hidrógeno) aunque no tuvo éxito y el proyecto fue abandonado. Entre 1838 y 1839 se construye la primera pila de combustible, Julio Verne en su libro *“La isla misteriosa”* propone usar el hidrógeno como combustible y en 1960 se utiliza celdas de hidrógeno para misiones espaciales en el programa *“Gemini y Apollo”*, estas son utilizadas para proporcionar electricidad y agua a las misiones, propulsar cohetes y llegar a la Luna. (6) (7) (8)

En 1973 ocurre la primera crisis del petróleo y el hidrógeno se convierte en una alternativa en el sistema energético global, al año siguiente nace la Agencia Internacional de la Energía como respuesta a esta crisis con el objetivo de ayudar a los países a coordinar en respuesta problemas de suministro de petróleo. (9) En 1992 en Huelva empieza a funcionar la primera planta española de hidrógeno renovable, e Islandia en 1998 da los primeros pasos aprobando un plan de economía del hidrógeno autóctono y renovable como vector energético. (7)

En el año 2002 se crea la Asociación Española del Hidrogeno (AeH2) con la idea de promover y fomentar las tecnologías del hidrógeno en un país que por investigación, tecnología propia y recursos renovables puede ser líder global en producción y exportación, finalmente en 2007 se crea el Centro Nacional del Hidrógeno. (9)

4.1.2 Odorantes

El uso de los odorantes se inició en 1937, después de que una fuerte explosión destruyera el edificio principal de una escuela, a causa de una fuga de gas. (10) El hecho se registró por una mala conexión de las tuberías, el gas escapaba y se acumulaba

dentro de las instalaciones del edificio. Sin embargo, nadie sabe cuándo empezó la fuga, pues el gas natural es inodoro e incoloro. ⁽¹⁰⁾

Después de este suceso, en Texas se aprobó la “Ley de odorización”, la cual requiere que mezclen odorantes en todos los gases de uso comercial e industrial para que las personas puedan distinguir el olor en caso de una fuga. ⁽¹⁰⁾

Hoy en día el uso de odorantes está regulado Real Decreto 1434/2002, de 27 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de gas natural, ⁽¹¹⁾ y por la Resolución de 13 de marzo de 2006, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen los protocolos de detalle de las Normas de Gestión Técnica del Sistema Gasista. ⁽¹²⁾

4.2 Hidrógeno

4.2.1 Características

El Hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica, su símbolo químico H, está compuesto por moléculas diatómicas H₂, es el elemento más simple y uno de los más abundantes en el planeta, sin embargo, no se encuentra en estado puro en la naturaleza, pero si se combina con otros elementos generando diferentes tipos de moléculas como el agua (H₂O) y el amoníaco (NH₃). ⁽¹³⁾

Desde el punto de vista legal y administrativo es considerado como un producto químico peligroso, en condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido, su peso molecular es de 2,01594 y su densidad de 0,071 Kg/m³. ⁽¹⁴⁾ Es la sustancia más inflamable de las conocidas y muchos metales lo absorben fragilizando su estructura, lo que es un serio problema para sus propiedades metalúrgicas. Este gas tiene múltiples usos, en la industria, es utilizado para la síntesis del amoníaco, fertilizantes, productos químicos o en el refinado del petróleo. Así también el hidrógeno se emplea en el ámbito de la movilidad y en la generación energía. ⁽¹⁵⁾

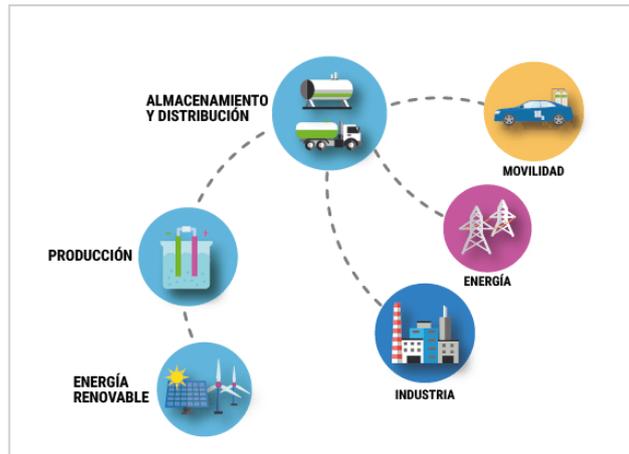


Figura 1. Usos del hidrógeno

Fuente: Eman Ingeniería

Según la materia prima utilizada en su producción y las emisiones de CO₂ generadas en dicho proceso, el hidrógeno puede clasificarse en diferentes categorías. ⁽¹⁶⁾

- **Hidrógeno verde o renovable:** producido por electrólisis del agua a partir de electricidad excedentaria procedente de fuentes renovables. Este proceso no emite CO₂ y transforma el agua en moléculas de gases de hidrógeno y oxígeno. También se obtiene del reformado del biogás o de la conversión bioquímica de la biomasa, siempre que se cumplan los requisitos de sostenibilidad establecidos. ⁽¹⁷⁾
- **Hidrógeno azul:** Se obtiene de forma similar al hidrógeno gris, pero en este caso se le aplican técnicas de captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS: Carbon Capture, Utilization and Storage) lo que permite reducir hasta en un 95% las emisiones de CO₂ generadas durante el proceso. ⁽¹⁷⁾
- **Hidrógeno Gris:** hidrógeno producido a partir de gas natural u otros hidrocarburos ligeros como metano o gases licuados de petróleo mediante procesos de reformado y sin captura de CO₂. El 99% del hidrógeno consumido en España es de este tipo.

Hidrogeno negro o marrón: En este caso no se considera dentro de la clasificación anterior por ser difícil cuantificar el impacto ambiental de su producción y consumo pues su materia prima es el carbón, la energía nuclear o la electricidad de la red. La generación de este tipo de hidrógeno representa en la actualidad el 23% de la producción en el planeta.

La producción de hidrógeno y su impacto medioambiental se valora según el origen de su producción, siendo así el hidrógeno verde o renovable el más eficiente y

sostenible por lo que se considera que es el menos perjudicial, mientras que el más contamina o perjudica al medio ambiente es el hidrógeno gris.

4.2.2 Economía del hidrógeno

El término economía del hidrógeno se refiere a un enfoque del futuro en el cual este gas es generado de forma limpia, segura y económica para satisfacer la gran cantidad de necesidades energéticas de la sociedad a nivel mundial.

El consumo de hidrógeno como combustible se ha triplicado desde 1975 según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en el 2018 su consumo anual llegó a los 70 millones de toneladas. ⁽¹⁸⁾ La industria y el hidrógeno tiene una relación desde hace años atrás, debido a que este combustible se ha empleado desde principios del siglo XIX para coches, dirigibles y naves espaciales. ⁽¹⁷⁾

Actualmente el carbón, el gas natural y el petróleo generan alrededor del 85% de la energía consumida globalmente. ⁽¹⁹⁾ Una gran barrera para la economía del hidrogeno es el coste, la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles en la Unión Europea se estima en 1,5 €/ kg, mientras que con captura y almacenamiento de dióxido de carbono se estima en 2 €/kg, este valor sigue por debajo de los 2,5-5,5 €/kg estimados para el hidrógeno de origen renovable. ⁽²⁰⁾

No obstante, se espera que en 2030 el coste de producción del hidrógeno renovable comience a ser competitivo con el producido a base de combustibles fósiles, debido principalmente a la reducción de costes en las energías renovables y al abaratamiento de los electrolizadores. ⁽²⁰⁾

En Euskadi, la producción anual de hidrógeno se sitúa en el entorno de las 50.000 tn, siendo empleado principalmente como materia prima en la industria petroquímica, a través de un modelo de producción in situ por reformado con vapor de gas natural. Es importante destacar que existen otras industrias con consumos menores de hidrógeno como la industria siderúrgica, la del vidrio y la industria alimentaria. ⁽²¹⁾

4.2.3 Hidrógeno como herramienta de descarbonización

De acuerdo con el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático publicado en 2021, se están produciendo cambios climáticos sin precedentes. ⁽²²⁾ El informe establece que, para limitar el calentamiento global a valores

cercanos de 1,5°C o 2°C será necesaria la reducción inmediata, rápida y a gran escala de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) en las próximas décadas. ⁽²²⁾

Los compromisos internacionales del Acuerdo de París firmado a finales del 2015 dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, establecieron unos objetivos de reducción del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el año 2030 con respecto al año 1990. ⁽²³⁾

La Unión Europea (UE) ha asumido el liderazgo en la acción por el clima a nivel mundial, y con el fin de limitar el aumento de la temperatura del planeta ha definido una estrategia a largo plazo para alcanzar en el año 2050 cero emisiones netas de gases de efecto invernadero por medio de una transición energética «socialmente justa realizada de manera rentable» ⁽²⁴⁾

La descarbonización desempeña un papel importante para reducir los gases de efecto invernadero (GEI), sin embargo, lograr la descarbonización completa para el año 2050 plantea un desafío significativo en los diversos sectores industriales. ⁽²¹⁾

España a través del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico en 2020 publicó la **Hoja de Ruta del Hidrógeno**, ⁽²⁵⁾ dicho documento se enfoca en el desarrollo del hidrógeno renovable, con miras a posicionar a España como referente tecnológico en producción y aprovechamiento del hidrógeno renovable, y crear cadenas de valor innovadoras, contribuyendo además a los siguientes objetivos:

- Reducir las emisiones contaminantes locales y los gases de efecto invernadero generados durante los ciclos de producción.
- Aprovechar la energía renovable excedentaria generada en las horas de menor consumo eléctrico.
- Ampliar la descarbonización y la energía renovable a sectores donde la electrificación no es viable o rentable.

En Euskadi el hidrógeno se utiliza en la industria metalúrgica, del cemento, vidrio, alimentaria y cosmética. En todos estos procesos industriales, el uso del hidrógeno renovable supone la única vía de descarbonización. ⁽²¹⁾

4.2.4 Usos del hidrógeno verde

El hidrógeno verde tiene distintos usos finales y estos dependen en gran medida de si su utilización se hace como portador energético o como producto, es decir, como materia prima. ^{(26) (27)}

La sustitución de recursos fósiles por hidrogeno verde es aplicable para los siguientes sectores:

- Industria
- Integración sectorial
- Movilidad
- Otros

Uso del hidrógeno por sectores

Tabla 1. Uso final del hidrogeno según su área de aplicación

Industria	Integración sectorial	Movilidad	Otros
Industria del refino	Almacenamiento energético	Transporte por carretera	Uso residencial
Industria química	Sector eléctrico	Transporte ferroviario	
Industria metalúrgica	Sector gasista	Transporte marítimo	
	Economía circular	Aviación	

Fuente: Estrategia Vasca del Hidrógeno

En la tabla 1 se representa una clasificación de los usos del hidrógeno, sin embargo, para cumplir con este objetivo es necesario clasificar el uso del hidrógeno como materia prima o como portador energético.

Tabla 2. Uso final del hidrógeno como materia prima o como portador

MATERIA PRIMA		PORTADOR ENERGÉTICO	
Industria	Uso	Industria	Uso
Industria del refino	Para eliminar impurezas (hidrotratamiento) o mejorar crudos (hidrocraqueo)	Industria metalúrgica	Fuente energética en el proceso de producción (altos hornos)
Industria química	Elaboración de productos químicos (amoníaco y metanol)	Almacenamiento energético	En pilas de combustible o uso en otras tecnologías

MATERIA PRIMA		PORTADOR ENERGÉTICO	
Industria	Uso	Industria	Uso
Movilidad (aviación)	Fabricación de combustibles sintéticos como el bioqueroseno	Sector eléctrico	Red eléctrica
		Sector gasista	*Mezcla con gas natural
		Movilidad	Pilas de combustible

* La mezcla con gas natural permite el uso de infraestructura, pero implica la pérdida de valor intrínseco del hidrógeno verde.

La tabla 2 indica que el uso final del hidrógeno va a variar según el tipo de sector en el que se aplique, en España el 95% de hidrógeno utilizado en las industrias es el denominado “hidrógeno gris” es decir, de origen fósil, por lo tanto, se genera grandes cantidades de CO₂.^{(28) (29)}

Según las propiedades del hidrógeno mencionadas en apartados anteriores, este elemento es inodoro e incoloro por lo que, para su uso, tanto doméstico como industrial es necesario añadir a la corriente de gas un odorante, esto con el fin de detectar su presencia ante una eventual fuga.

4.3 Análisis ambiental del hidrógeno verde: impacto y potencial en la sostenibilidad energética

Según Nils Anders Rokke, líder de SINTEF (Organización de investigación independiente más grandes de Europa), señala que, es imposible alcanzar los objetivos energéticos marcados por la Unión Europea para 2050 sin desarrollar una economía basada en el hidrógeno.⁽³⁰⁾

En la actualidad, el hidrógeno como combustible ha comenzado a integrarse discretamente en el ámbito de la vida cotidiana. Se han establecido estaciones de servicio dedicadas al suministro de hidrógeno, "hidrogeneras", las cuales representan una realidad en países como Japón, Estados Unidos y Alemania.⁽³⁰⁾ En el contexto de España, si bien estas estaciones también están presentes, hay que destacar que su despliegue y distribución aún se encuentran en una fase incipiente y limitada en comparación con los países previamente mencionados.

Durante el año 2022, la industria ha anunciado un impresionante número de más de 1.000 propuestas de proyectos relacionados con la implementación de hidrógeno verde.

No obstante, desde enero hasta mayo de 2023, se han hecho públicos más de 350 nuevas propuestas en este ámbito. De este conjunto de iniciativas, un total de 795 proyectos tienen como objetivo su implementación total o parcial en un plazo que comprende hasta el año 2030. Este significativo aumento en la cantidad de propuestas demuestra un creciente interés y compromiso de la industria hacia el desarrollo y adopción de tecnologías relacionadas con el hidrógeno verde. ⁽³¹⁾

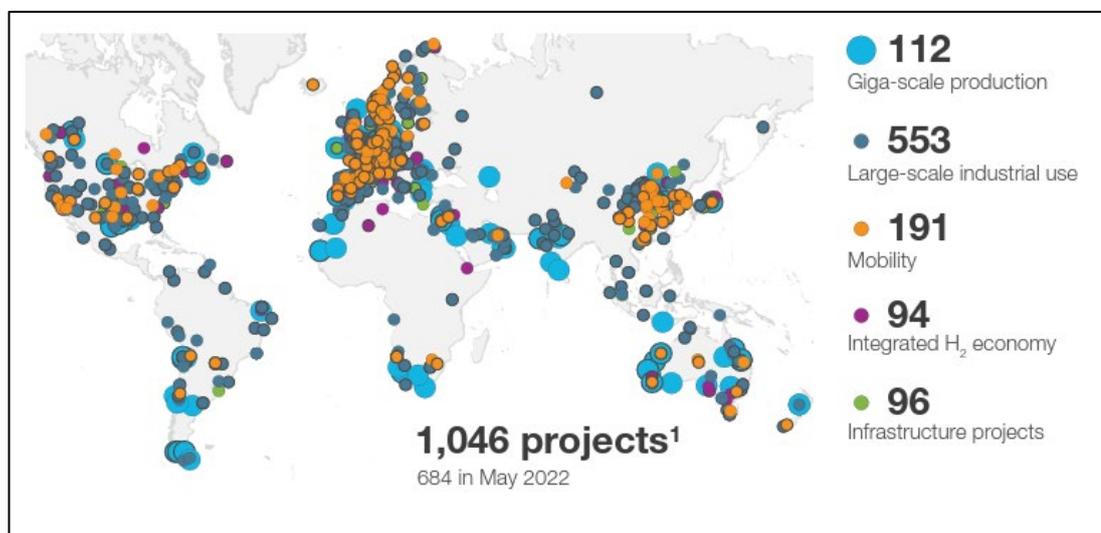


Figura 2. *Proyectos de implantación de uso de hidrógeno verde*
Fuente: <https://hydrogencouncil.com/en/>

La industria está experimentando un impulso considerable y está elaborando estrategias de inversión en hidrógeno limpio con el objetivo de lograr emisiones netas cero para el año 2050. Uno de los desafíos críticos para conseguir tal objetivo está en la identificación del hidrógeno en las distintas aplicaciones finales que se le puede dar en diversos sectores. No obstante, la odorización del hidrógeno es un ámbito del cual se dispone información limitada hasta la fecha.

Es necesario comprender las tecnologías que aseguren una inserción segura y eficiente de hidrógeno, tanto en su estado puro como cuando se encuentra en mezcla con gas natural.

Odorizar el hidrógeno para identificarlo, supone reducir los gases de efecto invernadero producidos en los siguientes sectores industriales. ⁽³²⁾

Tabla 3. Emisiones de GEI según la industria

Sector	Emisiones
Transporte	29,6 %
Industria	22,4%
Residencial, comercial e institucional	9 %

Fuente: MITECO

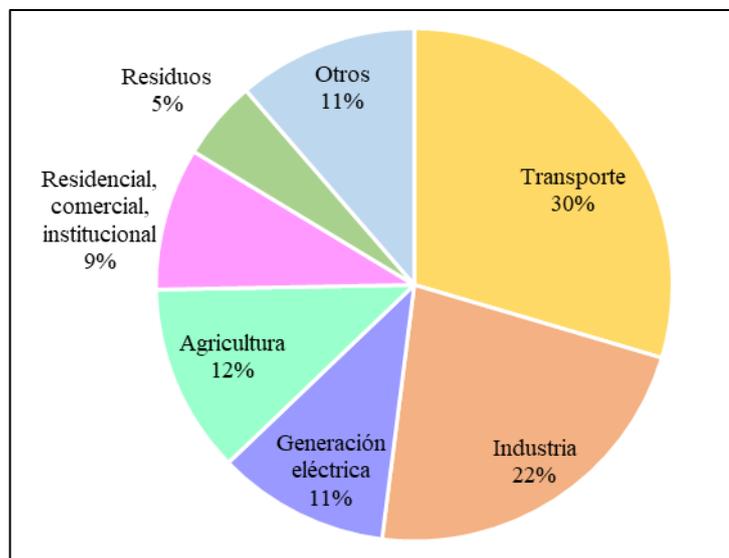


Figura 3. Emisiones de GEI por sector 2021

Fuente: MITECO

El transporte era el responsable de cerca de una cuarta parte de las emisiones de CO₂ en la UE en 2019, de las cuales el 71,7% provino del transporte por carretera, según el informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente. Para reducir las emisiones de CO₂ y alcanzar la neutralidad climática del Pacto Verde Europeo, hay que disminuir un 90% de las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte para 2050, respecto a los niveles de 1990. ⁽³³⁾

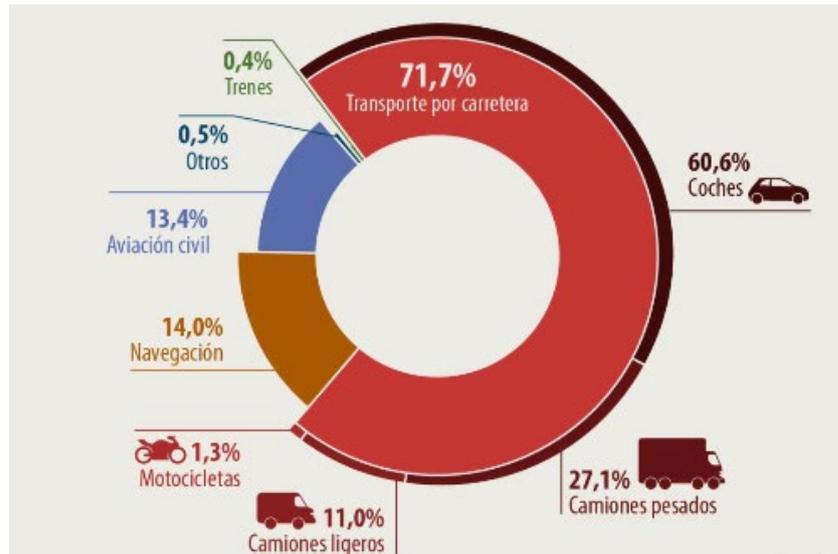


Figura 4. Emisiones de gases de efecto invernadero del transporte en la UE (2019)
Fuente: <https://www.europarl.europa.eu/>

Al observar los gráficos previamente presentados, se pone de manifiesto la necesidad de contribuir integralmente la cadena de valor asociada a la utilización del hidrógeno en diversos sectores industriales. La identificación del hidrógeno en cualquiera de sus etapas, ya sea en la producción, almacenamiento/transporte o su uso final, es muy importante. Esto se principalmente por la naturaleza intrínsecamente incolora, inodora e insípida del hidrógeno en su estado natural, factor que lo hace potencialmente riesgoso en circunstancias donde podría producirse una fuga.

La introducción de odorantes en el hidrógeno se convierte en una práctica fundamental, por varias razones. En primer lugar, conlleva implicaciones de seguridad, permitiendo la detección de posibles fugas de hidrógeno y alertando a los individuos sobre su presencia en el entorno circundante. En segundo lugar, este enfoque contribuye de manera significativa a la transición hacia una matriz energética más sostenible, dado que el hidrógeno puede desempeñar un papel fundamental tanto como materia prima como vector energético, caracterizado por emisiones de gases de efecto invernadero notablemente bajas.

4.4 Odorantes para el hidrógeno

Durante los últimos años se ha utilizado odorizantes en el gas natural, lo que permite identificar y gestionar fugas antes de que su concentración dentro o fuera de un espacio alcance niveles inflamables.⁽³⁴⁾ La Norma UNE EN ISO 13734 establece los requisitos y métodos de ensayo para los compuestos orgánicos adecuados para la odorización del gas natural y sustitutos del gas natural para su distribución, por tal motivo este documento se enfoca en describir los odorizantes compatibles con una red de Hidrógeno al 100%.⁽³⁵⁾

Por tanto, el objetivo de la odorización del gas hidrógeno es convertirlo en un combustible seguro de consumo industrial, doméstico y automotriz, ya sea en pilas de combustible o para quemarlo directamente en calderas y otros equipos.⁽³⁶⁾

Los odorantes se definen como sustancias químicas que estimulan el sentido del olfato, se cuantifica por un nivel mínimo detectable y un nivel mínimo identificable. Tiene una gran ventaja y es que permiten identificar una sustancia específica, en este caso, permitiría detectar fugas de hidrógeno.⁽³⁶⁾

4.4.1 Requisitos que deben cumplir los odorantes según La Norma UNE-EN ISO13734:2014

Se establece una serie de requisitos y recomendaciones generales que un odorante debe de cumplir para garantizar su uso.

- a) El odorante deberá obtener un fuerte olor con muy bajas concentraciones.
- b) El carácter del olor del odorante tiene que ser necesariamente desagradable, el olor no debe confundirse con otros olores habituales con el fin de que estén inequívocamente asociados a una fuga de gas.
- c) El carácter del olor deberá ser suficientemente estable durante el almacenamiento y cuando está mezclado con gas.
- d) El odorizante debería ser suficientemente estable durante el almacenamiento y cuando esté mezclado con gas.
- e) La volatilidad del odorante deberá ser suficientemente elevada para que no se condense de forma apreciable en las condiciones (temperatura y presión) existentes en el sistema de canalización.

- f) La evaporización del odorante del gas no debería dejar residuos de materia apreciable.
- g) El odorante se podrá utilizar con bajas temperaturas, si es necesario.
- h) La combustión del odorante no debería dejar depósitos sólidos importantes.

Se debe indicar que el olor característico de cualquier odorante debe ser el mismo a diferentes diluciones.

4.5 Odorantes candidatos seleccionados para el hidrógeno

En el gas natural se añaden Mercaptanos, hidrocarburos que contienen azufre, para dar ese olor característico de “olor a gas” ⁽³⁷⁾, en el caso del hidrogeno, los odorantes utilizados deben ser en función de su aplicación final. Los odorantes que contienen azufre no son aptos para utilizarlos en pilas de combustible debido a que se requiere una concentración de hidrógeno más odorante ≤ 4 nmol/mol de azufre total. ⁽³⁸⁾.

A continuación, se indica 5 odorantes posibles para añadir a la corriente de gas 100% hidrógeno.

Tabla 4. Odorantes seleccionados para el gas 100% hidrógeno

Odorante	Fundamento	Compuesto
NB	Odorante primario utilizado por la SGN (Red de Gas de Escocia-Scotia Gas Networks) y otras redes de gas del Reino Unido.	78% TBM, 22% DMS
Odorante de reserva o diluido NB	Forma diluida del Odorante NB utilizado por SGN se si compromete el suministro de Odorante NB	34% odorante NB, 64% hexano
THT	Odorante más utilizado en redes europeas de gas	100% Tetrahidrotiofeno
GASODOR FREE	Odorante de gas sin azufre utilizado en algunas redes de gas alemanas.	37,4% acrilato de etilo 60,1% acrilato de metilo 2,5% 2-etil-3-metilpirazina
5-etilideno-2-norborneno, Norborneno	Odorante de olor desagradable adecuado para aplicaciones de pilas de combustible	5-etilideno-2-norborneno,

Fuente: Project closure report - <https://www.hy4heat.info/wp2>

Los odorantes seleccionados deberán de cumplir con la Norma UNE-EN 13725:2022. Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica y tasa de emisión de olor, la norma tiene por objetivo determinar la concentración de olor de una muestra gaseosa usando olfatometría dinámica con evaluadores humanos. ⁽³⁹⁾

En la tabla 3 se mencionan 5 odorantes diferentes, de los cuales:

- GASODOR-S-FREE y 5-etilideno-2-norborneno no contienen azufre.
- Odorant NB, Standby Odorant 2, Odorant THT son odorantes que contienen azufre.

4.5.1 Características químicas de los odorantes seleccionados

Tabla 5. Características de los compuestos químicos del odorante NB

Odorante NB	TBM (2-metil-2-propanetiol)⁽⁴⁰⁾	Fórmula molecular: $(\text{CH}_3)_3\text{CSH}$ o $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}$
		Aspecto: Líquido incoloro
		Olor: Fuertemente ofensivo a mofeta/zorrillo
		Extremadamente estable a los agentes oxidantes
	DMS (Sulfuro de dimetilo) o Monosulfuro de dimetilo ⁽⁴¹⁾	Fórmula molecular: $(\text{CH}_3)_2\text{S}$
		Aspecto: Líquido incoloro o amarillo pálido
		Olor: intenso y desagradable a rábano silvestre
		Umbral de olor entre 0,1 y 3,0 ppm

Tabla 6. Características de los compuestos químicos del odorante de reserva o diluido NB

Odorante NB diluido	TBM (2-metil-2 propanetiol)⁽⁴⁰⁾	Fórmula molecular: $(\text{CH}_3)_3\text{CSH}$ o $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}$
		Aspecto: Líquido incoloro
		Olor: Fuertemente ofensivo a mofeta/zorrillo
		Extremadamente estable a los agentes oxidantes
	DMS (Sulfuro de dimetilo) o Monosulfuro de dimetilo ⁽⁴¹⁾	Fórmula molecular: $(\text{CH}_3)_2\text{S}$
		Aspecto: Líquido incoloro o amarillo pálido
		Olor: intenso y desagradable a rábano silvestre
		Umbral de olor entre 0,1 y 3,0 ppm
	Hexano ⁽⁴²⁾	Fórmula molecular: C_6H_{14}
		Aspecto: Líquido incoloro
		Olor: Parecido al de petróleo

Tabla 7. Características de los compuestos químicos del odorante THT

Odorante THT	100% Tetrahidrotiofeno⁽⁴³⁾	Fórmula molecular: C ₄ H ₈ S
		Aspecto: Líquido incoloro o amarillo pálido
		Olor: Hedor

Tabla 8. Características de los compuestos químicos del odorante GASADOR FREE

GASADOR FREE	Acrilato de etilo⁽⁴⁴⁾ (45)	Fórmula molecular: C ₅ H ₈ O ₂
		Nombre químico: Éster etílico del ácido 2-propenoico
		Aspecto: Líquido incoloro
		Olor: Acre (aroma áspero y picante al olfato)
		Umbral de olor: 0,00024 ppm
	Acrilato de metilo⁽⁴⁶⁾ (47)	Fórmula molecular: C ₄ H ₆ O ₂
		Nombre químico: Éster de metilo del ácido 2-propenoico
		Aspecto: Líquido incoloro
		Olor: Acre afrutado
		Umbral de olor: 0,0048 a 0,263 ppm
	2-etil-3-metilpirazina⁽⁴⁸⁾	Fórmula molecular: C ₇ H ₁₀ N ₂
		Aspecto (20°): Líquido fluido incoloro
		Olor: Edor
		Umbral de olor: 0,0048 a 0,263 ppm

Tabla 9. Características de los compuestos químicos del odorante Norborneno

5-etilideno-2-norborneno⁽⁴⁹⁾	Fórmula molecular: C ₉ H ₁₂
	Aspecto: Líquido blanco a incoloro
	Límite de exposición:
	Olor:

4.6 evaluación de olores de los odorantes seleccionados

4.6.1 Caracterización de olores

El carácter de un olor se define principalmente por su esencia olfativa, permitiendo a las personas distinguirlo entre otros tipos de olores. La determinación del carácter del olor se logra al presentarlo en su forma original o diluida ante un grupo de panelistas certificados en agudeza olfativa, quienes son capaces de describir su tipo y naturaleza mediante palabras descriptivas previamente establecidas.

A continuación, se presenta el carácter oloroso de las muestras de gas sin diluir, es decir el olor de los odorantes gaseosos brutos que fueron evaluados. Los odorantes seleccionados fueron analizados por un “Laboratorio de olores” acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación del Reino Unido (UKAS).⁽⁵⁰⁾

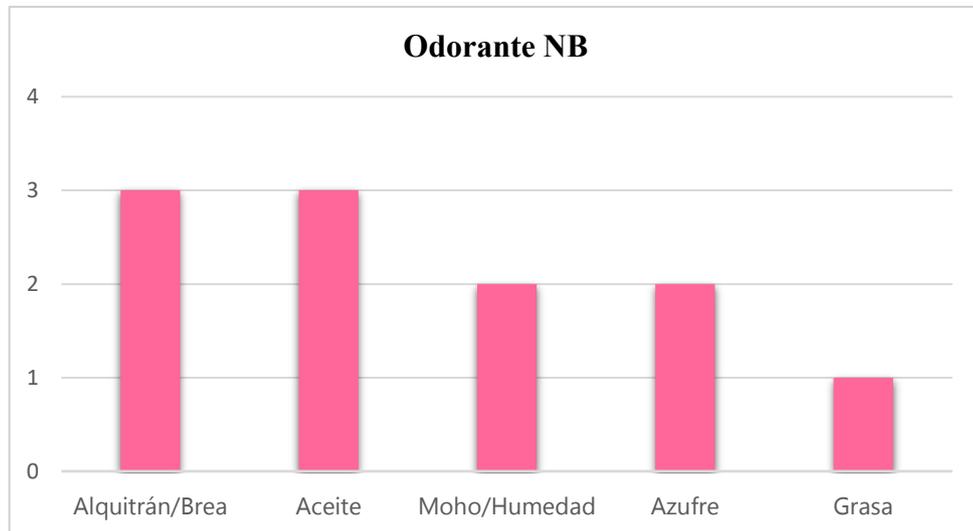


Figura 5. Carácter oloroso del odorante NB
Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

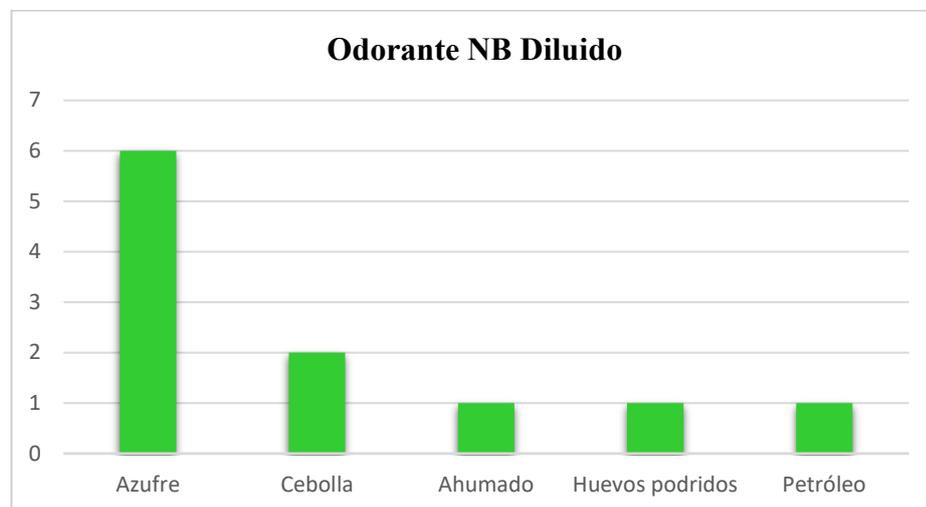


Figura 6. Carácter oloroso del odorante NB Diluido
Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

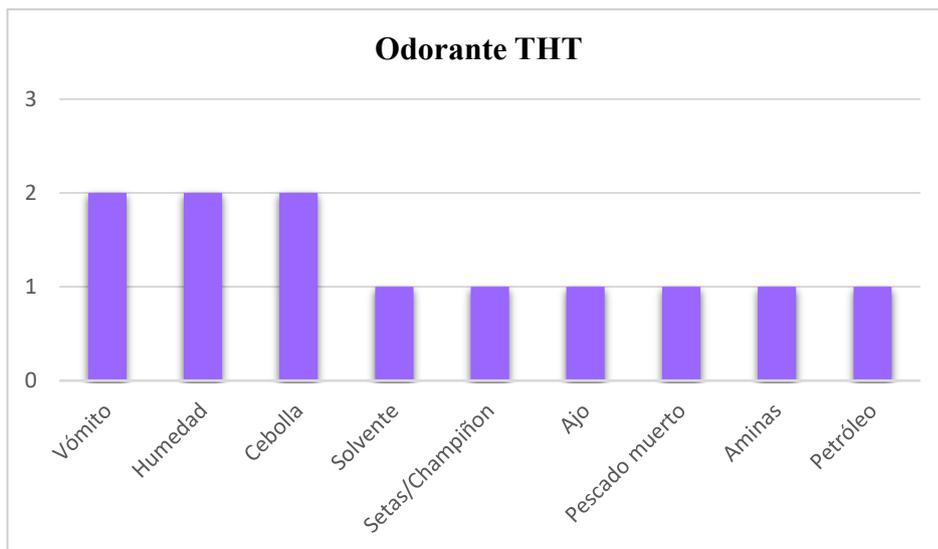


Figura 7. *Carácter oloroso del odorante THT*
Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

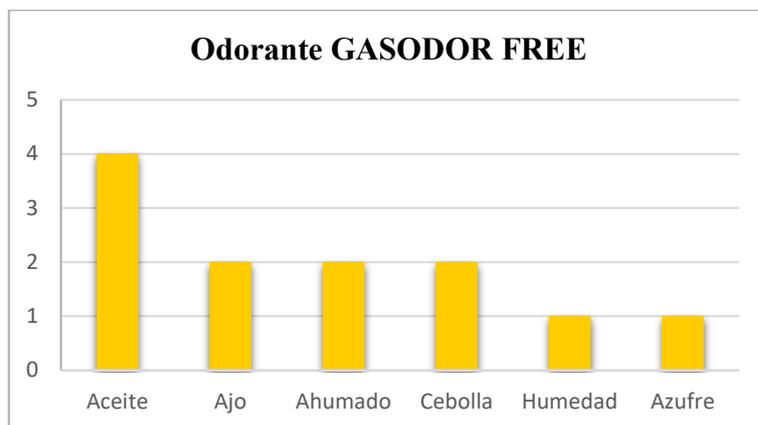


Figura 8. *Carácter oloroso del odorante GASODOR FREE*
Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

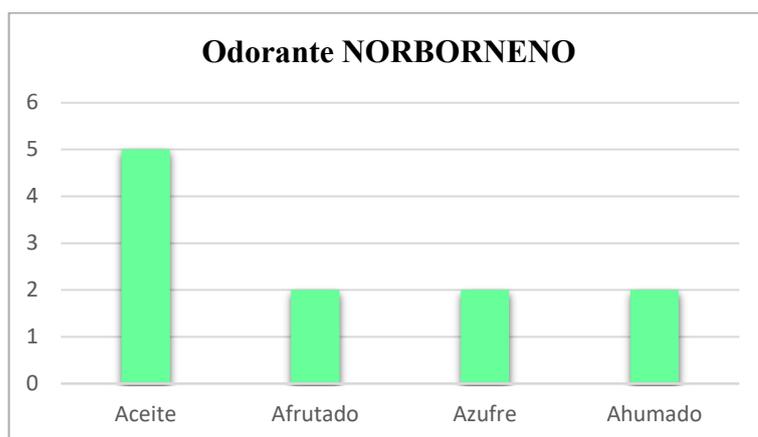


Figura 9. *Carácter oloroso de odorante Norborneno*
Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

Los datos representados en los gráficos anteriores presentan las siguientes conclusiones:

- El odorante NB tiene un carácter oloroso a alquitrán u aceite, con presencia secundaria de azufre y humedad.
- El odorante NB Diluido exhibe una notable presencia de olor a azufre.
- Los resultados exponen que el odorante THT es detectado con extensa variedad de perfiles olfativos, vomito, humedad, cebolla, entre otros.
- Los odorantes GASODOR FREE y Norborneno manifiestan un olor a aceite

4.6.2 Intensidad de los odorantes seleccionados

La intensidad del olor es una medida de la fuerza percibida de un olor por encima de su umbral, es subjetiva y esta relaciona con la concentración del umbral de detección de olores. ⁽⁵¹⁾

Tabla 10. Escala de intensidad (escala de ventas)

ESCALA DE INTENSIDAD OLFATIVA PERCIBIDA	GRADO DE SENSACIÓN
0	Sin olor o no perceptible
0,5	Olor muy débil (Umbral de detección de olor)
1	Olor débil
2	Olor medio (nivel de alerta), distinguible
3	Olor fuerte
4	Olor muy fuerte
5	Olor máximo

Fuente: www.olores.org

Para determinar la intensidad de olor de cada odorante se debe de conocer la concentración umbral de detección de olor. La siguiente tabla indica la concentración umbral de detección de olor para cada odorante.

Tabla 11. Umbral de detección de los odorantes seleccionados

Odorante	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Media Geométrica
NB DILUIDO	68,30	71,30	80,20	73,10
NORBORNENO	64,90	49,50	50,70	54,64

Odorante	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Media Geométrica
NB	169,10	132,70	145,50	148,36
THT	22,60	16,90	23,50	20,79
GASODOR FREE	30,20	35,90	23,50	29,39

Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

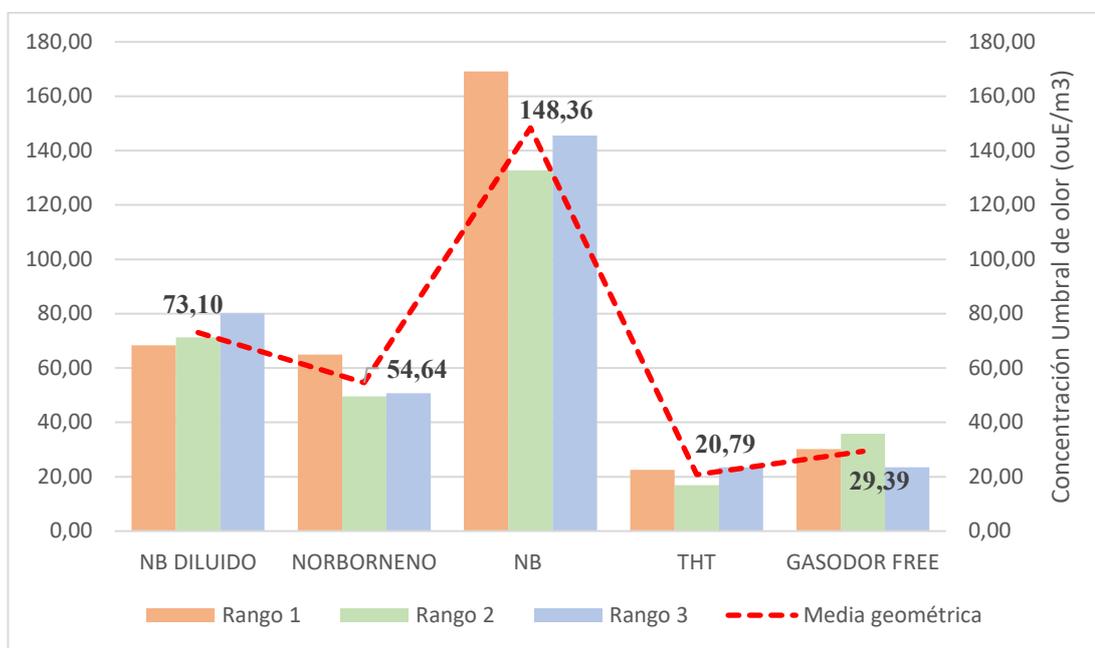


Figura 10. Umbral de detección de los odorantes seleccionados

Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

Se puede ver gráficamente que la concentración media umbral de detección de olor varía según odorante, el odorante NB es más fuerte en términos de concentración de olor, con 148,36 ouE/m³, seguido por el odorante NB diluido o de reserva con 73,10 ouE/m³, el odorante que ocupa el tercer lugar es el NORBORNENO con 54,64 ouE/m³, los odorantes con una concentración umbral de detección de olor débil son el GASODOR FREE y el THT con 29,39 ouE/m³ y 20,79 ouE/m³ respectivamente.

El análisis de la concentración umbral de olor debe complementarse con un análisis de la intensidad del olor para determinar si el odorante es idóneo, esto debido a que la

intensidad percibida no disminuye linealmente con el aumento del nivel de dilución.
(52)

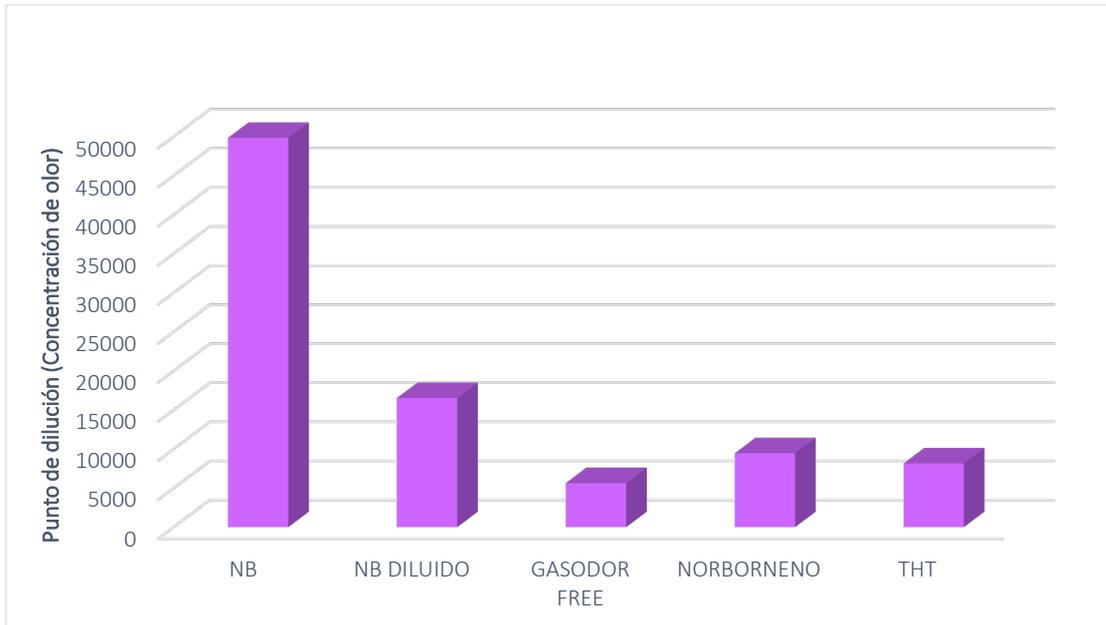


Figura 11. Concentración de olor en el que, el 50 % de los panelistas detectan una intensidad de olor media (escala de ventas 2).

Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

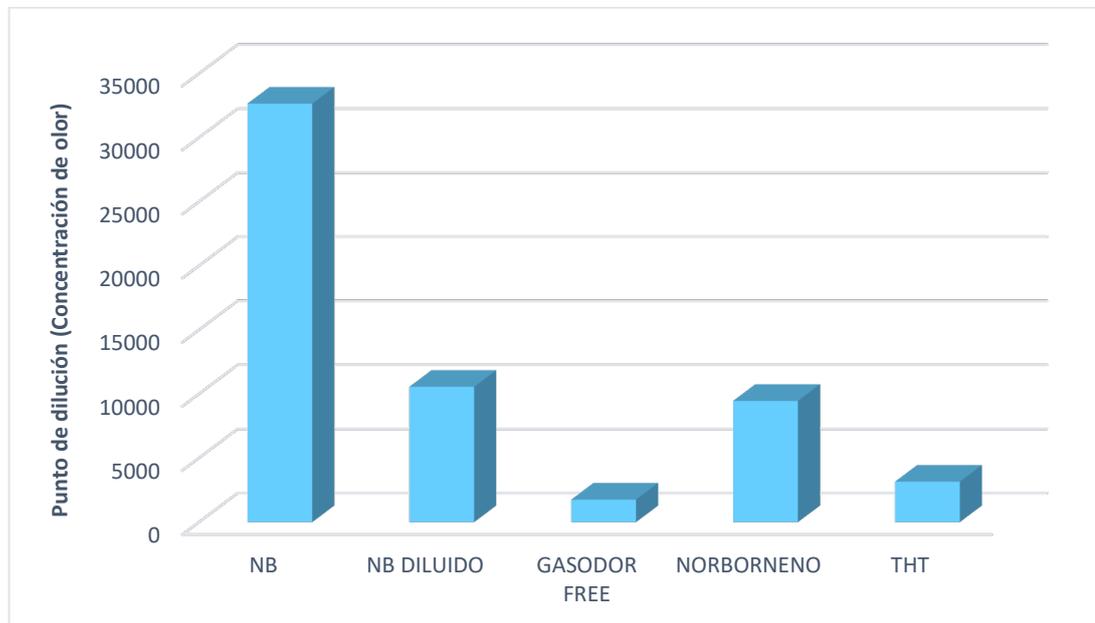


Figura 12. Comparación de olor en el que, el 100% de los panelistas detectan una intensidad de olor media (Escala de ventas 2)

Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

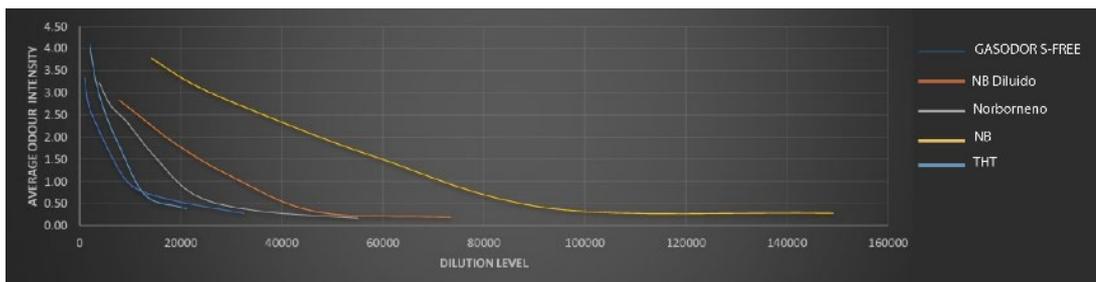


Figura 13. Intensidad de olor de cada odorante

Fuente: <https://www.hy4heat.info/wp2>

Se puede observar en la figura anterior que los odorantes que contienen azufre en su composición presenten una mayor intensidad.

El odorante NB tiene la mayor intensidad de olor, es el único odorante que se percibe con una intensidad de olor media a una dilución de 40.000:1, y es el único odorante que puede percibirse como un olor débil a niveles de dilución superiores a 60.000.

El odorante NB diluido o de reserva y el odorante Norborneno se pueden percibir ligeramente con diluciones de 20.000.1. En el caso del odorante THT y GASODOR FREE el grado de dilución comprende una dilución de 10 000.

4.6.3 Tono Hedónico De Los Odorantes Seleccionados

Se define como una medida subjetiva de lo agradable o desagradable de un olor basado en una escala de, 4 positivo a 4 negativo con 0 como neutro.

Tabla 12. Escala tonal hedónica para evaluar el carácter agradable de la reacción provocada por el gas odorizado

Clasificación hedónica del tono	Percepción de agrado/desagrado
+4	Muy agradable
+3	Agradable
+2	Moderadamente agradable
+1	Ligeramente agradable
0	Neutro/sin olor
-1	Ligeramente desagradable
-2	Moderadamente desagradable
-3	Desagradable
-4	Muy desagradable

Fuente: https://www.olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1&lang=es

Resultados promediados del tono hedónico para distintos niveles de concentración de muestras de gas odorizado. Los cuadrados rojos indican el tono hedónico encontrado en el umbral mínimo legal de 2 grados olfativos, que provoca un olor medio.

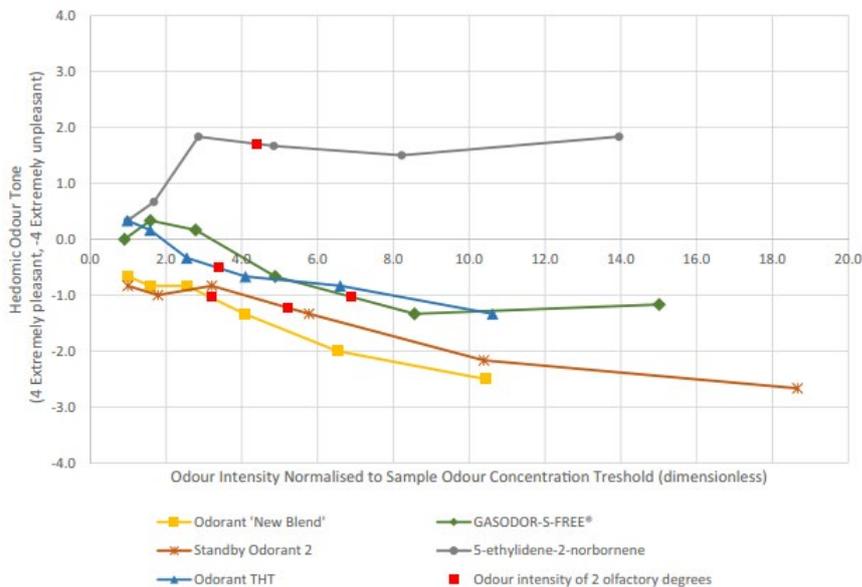


Figura 14. Tono hedónico de los odorantes seleccionados

Fuente: Olfactory appraisal of odorants for 100% hydrogen networks.

Los resultados indican que tanto el odorante "NB" como el odorante NB Diluido provocan una percepción negativa, es decir una percepción desagradable. Las muestras odorizadas con Odorante THT y GASODOR S-FREE producen percepciones ligeramente positivas (agradables) cuando están fuertemente diluidas (es decir, cerca del umbral de detección), y se perciben como desagradables a 2 grados olfativos y a medida que aumenta la concentración. El único odorante que suscita una reacción agradable en los panelistas es el 5-etilideno-2-norborneno.

En el apartado 4,4 *Odorantes para el hidrógeno*, se realizó un análisis de las propiedades químicas de los compuestos, así como también una evaluación de las características hedónicas que estos presentan, en adelante se evaluarán criterios de compatibilidad de los odorantes seleccionados con otros materiales.

4.7 Compatibilidad de los odorantes seleccionados

4.7.1 Compatibilidad de los odorantes seleccionados con la integridad de las tuberías

Para distribuir la mezcla de hidrógeno/odorante es necesario saber, si la mezcla es compatible con los materiales en contacto, esto con el principal objetivo de evitar posibles accidentes durante su transporte por tubería.

Este apartado hace referencia a las pruebas realizadas en el *Apéndice E* del programa **Hy4Heat**. Así también se complementará la información necesaria que ayude a describir el trabajo realizado.

Los odorantes seleccionados en este documento deben ser compatibles con los materiales de las tuberías de distribución, se seleccionó dos materiales diferentes para realizar las pruebas.

- Acero al carbono X42
- Polímero PE80

Las pruebas realizadas en los materiales antes mencionados, se hicieron de acuerdo con la **NORMA ISO 22088-6:2009**, ahora **22088-6:2010** ⁽⁵³⁾ que se refiere a Plásticos. Determinación de la resistencia a la fisuración bajo esfuerzo en un medio ambiente activo (ESC). Parte 6: Método con velocidad de deformación lenta, es decir que evalúa la susceptibilidad de un material al agrietamiento por tensión ambiental.

Se trata de un ensayo de clasificación severa, diseñado para determinar si un material es susceptible de agrietarse en un entorno de ensayo determinado. Las pruebas se llevaron a cabo bajo condiciones en las cuales las mezclas gaseosas estaban compuestas por cada uno de los compuestos odorantes e hidrógeno. El procedimiento fundamental involucra someter las probetas a tensión uniaxial, a una velocidad de deformación creciente hasta que se fracturan o alcanzan una longitud predeterminada.
(54)

4.7.1.1 Propiedades y características del acero al carbono.

El acero al carbono es una aleación ferrosa que incorpora carbono en su composición, lo que conduce al mejoramiento de sus propiedades mecánicas. ⁽⁵⁵⁾

Los tubos de acero al carbono pueden ser de varios tipos, en este caso se especificará el Acero al carbono X42, X65 y el Acero ASTM A106 Grado B.

Tubería de acero al carbono X42

La tubería de acero al carbono X42 es un conducto, usualmente cilíndrico, permite transportar fluidos (líquidos y gases), lodos, sustancias particuladas (polvo) y sólidos de bajo peso y volumen. ⁽⁵⁶⁾

Las tuberías que transportan habitualmente la mezcla de gas natural con odorante son de tipo X65, sin embargo, las pruebas realizadas se hicieron en acero X42, esto debido a que el acero X65 se limita exclusivamente a la fabricación de tuberías, lo que dificulta la obtención de este material en cantidades reducidas requeridas para pruebas de laboratorio. En consecuencia, se optó por emplear acero X42 en lugar del X65 debido a su similitud en composición química y propiedades mecánicas, además de la conveniencia de obtenerlo en forma de placa de manera sencilla.

*El número de dos dígitos que sigue a la "X" indica la resistencia mínima al rendimiento (en psi) de la tubería producida para este grado. ⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾

Tubería de acero ASTM A106 Grado B

ASTM A106 Grado B, es la norma estándar que rige la fabricación de tubos de acero al carbono sin costura destinados a aplicaciones de alta temperatura. Esta especificación se divide en tres grados, Grado A, B y C, con un aumento progresivo en la resistencia a la tracción a medida que se avanza de un grado a otro. ⁽⁵⁶⁾

ASTM A106 Grado B – Material de tubería de uso común

Es ampliamente reconocida como una de las tuberías de acero sin costura más utilizadas en diversas industrias. Su aplicación se extiende más allá de sistemas de tuberías, abarcando sectores como petróleo y gas, suministro de agua, transporte de lodos minerales, así como en aplicaciones para calderas, construcción y fines estructurales. Es importante destacar que su límite elástico mínimo se sitúa en 35 psi.

La diferencia entre estas tuberías de Acero al carbono X42, X65 y el Acero ASTM A106 Grado B radica en la resistencia a la presión ejercida (PSI). ⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾

Polímeros PE80 y PE100

Polímero PE80

El polímero PE 80 es un tipo de polietileno de baja densidad, sus principales características son buena resistencia química y alta durabilidad. Además, es a la abrasión y a la corrosión, lo que lo convierte en un material idóneo para entornos agresivos. No obstante, su uso más habitual que tiene este polímero es para agua potable e irrigación. ⁽⁵⁷⁾

Polímero PE100

Es un polímero termoplástico de alta densidad, ampliamente empleado en la fabricación de tuberías debido a su resistencia y durabilidad, es un material altamente versátil. Destaca por su capacidad para resistir la fractura por tensión y su capacidad para soportar la abrasión. ⁽⁵⁸⁾

Este material se utiliza con frecuencia en una variedad de aplicaciones, incluyendo tuberías de agua potable, sistemas de riego, conducción de gas, así como en el transporte de productos químicos y petróleo. Su uso en la construcción de redes de distribución de agua y gas es especialmente común, gracias a sus sólidas propiedades físicas y químicas, y su destacado rendimiento a largo plazo en comparación con otros materiales. ⁽⁵⁸⁾

*El número seguido de las letras **PE**, por ejemplo, **PE 80** o **PE 100**, se refiere a la densidad del polietileno (kg/m^3) y varía de acuerdo con la cantidad de carga que se utiliza durante el proceso de fabricación. Cuando la tubería tiene mejores características de resina, resistirá mayores presiones de trabajo. ⁽⁵⁸⁾ ⁽⁵⁹⁾

4.7.2.1 Resultados obtenidos

Acero al carbono X42

Todas las muestras de acero se fracturaron dentro de la longitud de calibre con una deformación plástica total, que osciló entre 0,5 y 0,61, sin que se produjeran grietas secundarias, por lo que se concluye que no hay ningún efecto perceptible de ninguno de los odorantes candidatos sobre la resistencia al agrietamiento del acero, en comparación con su comportamiento en aire o hidrógeno puro.

Los resultados de esta investigación preliminar, indican que el uso de cualquiera de los odorantes candidatos en presencia de hidrógeno seco, a 7 bar(g) de presión no provocan a agrietamientos del acero al carbono X42 asistido por el medio ambiente.

Es importante mencionar que, un factor que no se ha tenido en cuenta es el riesgo de que, entre agua a la red de distribución de gas, lo que daría lugar a condiciones más severas que en un entorno seco. En un entorno acuoso, la presencia de un odorante podría volver corrosiva la solución, lo que en presencia de hidrógeno podría introducir un riesgo de agrietamiento por corrosión bajo tensión.

Polímero PE 80

Los resultados de los ensayos realizados indican que el polímero PE80 no es sensible al agrietamiento por tensión ambiental en ninguna de las condiciones ensayadas. Todas las pruebas realizadas en presencia de hidrógeno (con o sin odorante) mostraron una tensión de rotura por tracción reducido y una rigidez menor en comparación con los ensayos realizados en aire. Sin embargo, esto puede estar relacionado, con la diferencia de humedad entre la prueba realizada en aire (40% HR) y las pruebas realizadas con mezclas de gases controladas (0% HR).

4.7.3.1 Conclusiones del ensayo

- Ni el acero al carbono X42, ni el polímero PE80 fueron susceptibles al agrietamiento por tensión ambiental en hidrógeno puro ni en ninguna de las mezclas de gases odorantes candidatas en las condiciones ensayadas.
- Se recomienda una evaluación adicional de ambos materiales para tuberías en sus límites de funcionamiento previstos, con ensayos realizados a velocidades de deformación más bajas y a presiones parciales de hidrógeno más elevadas.

4.7.2 Compatibilidad de los odorantes seleccionados en la corrosión de las calderas de llama

En este apartado se detalla parte de los ensayos realizados por el Laboratorio Nacional de Física (NPL).

El propósito es evaluar la tendencia de los odorantes seleccionados a provocar corrosión en las calderas de llama, las pruebas realizadas se simularon en condiciones similares a las encontradas en una caldera de llama. Antes de conocer el ensayo

realizado por NPL definiremos que es y cómo funciona una caldera de llama, con el fin de entender mejor el proceso que ocurre dentro de la caldera.

Las calderas son sistemas diseñados para generar agua caliente y calefacción, su funcionamiento consiste en una zona estancada llamada quemador, en esta región tiene lugar la transformación del combustible, ya sea gas natural, hidrógeno u otros, en calor.

⁽⁶⁰⁾ Un punto importante es mencionar que la modelización realizada en laboratorio, evita la formación de NO_x, debido a que esta formación está dominada por la producción de ácido nítrico y cuando esto sucede la presencia de cualquier odorante es insignificante. ⁽⁶¹⁾

En la siguiente tabla se detalla la composición química y la concentración de cada odorante.

Tabla 13. Composición química y concentración de cada odorante seleccionado

Odorante	Composición química	Concentración	Unidades
NB	2 metil-2-propanethiol	1,49	ppm
	Dimetil sulfuro	0,42	ppm
NB Diluido	Hexano	1,31	ppm
	2 metil-2-propanethiol	0,53	ppm
	Dimetil sulfuro	0,15	ppm
THT	Tetrahidrotiofeno	5,00	ppm
GASODOR FREE	Acrilato de etilo	1,12	ppm
	Acrilato de metilo	0,70	ppm
	2-etil-3-metilpirazina	0,05	ppm
Norborneno	5-etilideno 2-norborneno	17,06	ppm
Referencia	Terbutilmercaptano	1,5	ppm
	Dimetilsulfuro	0,4	ppm

Fuente: Project closure report - <https://www.hy4heat.info/wp2>

Los factores influyentes en las pruebas realizadas, fueron el azufre y la temperatura, los odorantes candidatos que contenían azufre produjeron condensados que contenían ácido sulfúrico, mientras que la temperatura influyó de manera relevante en la composición química del condensado. Así pues, en el punto en que comienza a formarse la condensación (T_{cond}), la química de la solución es ácido sulfúrico concentrado. A temperaturas bajas, entra una mayor cantidad de agua en el condensado, diluyendo y aumentando el pH. ⁽⁵⁹⁾

Para poder comparar de forma significativa los condensados con respecto a la corrosión de la caldera, se calculó la química resultante a la temperatura a la que se produce un 10% de condensación ($T_{10\%}$), tal como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 14. Temperatura y pH del condensado (10% de condensación).

Odorante	$T_{COND}/^{\circ}C$	pH (T_{COND})	$T_{10\%}/^{\circ}C$	pH ($T_{10\%}$)
NB	117	-2,5	61	2,8
NB Diluido	111	-2,5	61	3,1
THT	124	-2,6	61	2,4
GASODOR FREE	62	6,4	61	6,5
Norborneno	62	6,2	61	6,2
De referencia	106	-2,6	53	2,9

Fuente: Project closure report - <https://www.hy4heat.info/wp2>

En los ensayos de laboratorio se prepararon tres probetas de aluminio, identificados como A, B y C, dichas muestras tenían superficies y geometrías diferentes.

Las probetas antes preparadas fueron sometidas a entornos de corrosión, que consistían en soluciones acuosas preparadas para simular la química del condensado ($T_{cond}=10\%$), el ensayo duro 1 mes y durante ese tiempo se controló la temperatura de la solución.



Imagen 1. Probetas sometidas a los entornos de corrosión

Fuente: Project closure report - <https://www.hy4heat.info/wp2>

Transcurrido 1 mes, las probetas se limpiaron, y se realizó una comparación del antes y después.

4.7.2.1 Conclusiones del ensayo

- Las muestras sometidas a ensayo en los condensados que contenían azufre (NB, NB Diluido y THT), presentaban una fuerte corrosión por picaduras, que fueron visibles a simple vista.
- Las muestras analizadas en los condensados de los odorantes GASODOR FREE y Norborneno, no presentaban indicios de corrosión. Por tanto, no se prevé que la combustión completa de hidrógeno en presencia de estos odorantes sin azufre produzca un condensado corrosivo
- Las muestras sometidas a las soluciones con los odorantes GASODOR FREE y Norborneno, parecían haber ganado masa posiblemente debido al crecimiento de la capa de óxido/hidróxido.
- La corrosividad de los condensados producidos a partir de odorantes que contienen azufre puede clasificarse en función de su pH, donde los condensados más ácidos son más corrosivos para el aluminio en el intervalo de pH 2,4-3,1. El pH depende de la temperatura, a temperaturas más bajas el condensado será menos ácido y, por tanto, menos corrosivo, pero a temperaturas más altas el condensado se aproximará al del ácido sulfúrico concentrado

4.7.2.2 Compatibilidad de los odorantes seleccionados en las pilas de combustible

Una pila, célula o celda de combustible, es un dispositivo electroquímico que convierte de manera continua y directa, la energía química previamente almacenada (compuesto combustible), en energía eléctrica (corriente continua). Este proceso se realiza principalmente bajo condiciones de temperatura y presión constantes. ⁽⁶²⁾

Uno de los reactivos de la celda electroquímica es el oxígeno (se introduce aire en la mayoría de las situaciones), la cual desempeña la función de agente oxidante en el cátodo (electrodo de reducción), dado que se encuentra ampliamente disponible en la atmósfera, en forma de aire, no es necesario almacenarlo. El combustible utilizado habitualmente es hidrógeno, que suministrado de forma directa o a partir del reformado de un primer combustible (tal como metanol o etanol), es la fuente de alimentación de esta celda electroquímica. ⁽⁶³⁾

La reacción que se produce en el interior de la pila de combustible puede expresarse de la siguiente manera:



Funcionamiento de una pila de combustible típica

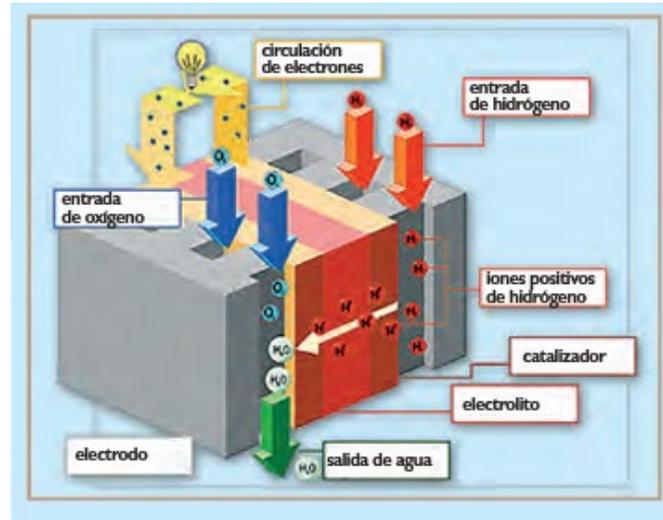


Imagen 2. Esquema del funcionamiento de una celda de combustible
Fuente: Centro Nacional del Hidrógeno

4.7.2.3 Tipos de celdas de combustible

Tabla 15. Tipos de Pilas de Combustible, electrolito, ion de transporte, temperatura de operación, aplicaciones y compuestos de azufre

Tipo de celda	Electrolito	Ion de transporte	T de operación	Aplicaciones	S (H ₂ S y CO)
Membrana de intercambio de protones (PEMFCs)	Membrana de intercambio protónico (Nafion®)	H ⁺	30-100°C	Suministro energético para vehículos y aplicaciones móviles	CO < 10 ppm H ₂ S < 1 ppm
Alcalina (AFC)	Solución acuosa de (KOH)	OH ⁻	65-220°C	Usado para vehículos espaciales	Veneno
Ácido fosfórico (PAFC)	H ₃ PO ₄	H ⁺	205-220°C	Numerosos sistemas CPH de 200 kWh	Veneno < 50 ppm
Carbonatos fundidos (MCFC)	Solución líquida de LiKCO ₃	CO ₃ ²⁻	600-1000°C	Sistema CPH de escala mediana a alta.	Veneno < 0,5 ppm

Tipo de celda	Electrolito	Ion de transporte	T de operación	Aplicaciones	S (H ₂ S y CO)
Óxidos metálicos sólidos (SOFC)	Y-ZrO ₂	O ²⁻	500-1000	Todos los tamaños de sistemas CPH 2 kW a multi MW	-
Con metanol directo (DMFCs)	Membrana de intercambio protónico	H ⁺	80°C	Sistemas electrónicos portátiles de baja potencia	Veneno

Fuente: Hidrógeno y pila de combustible (64) y TECPA (65)

4.7.2.4 Pila de combustible PEMFCs

Las celdas tipo PEM también conocidas como membrana intercambiadora de protones (PEM según sus siglas en inglés), se caracterizan principalmente por su simplicidad, son las más utilizadas y están ampliamente investigadas, debido principalmente a su aplicabilidad en la industria automotriz, (coches, autobuses, entre otros). La celda PEMFC destacan por su tamaño compacto y la buena relación potencia/volumen. ⁽⁶⁶⁾

Su capacidad de trabajar a temperaturas relativamente bajas es una ventaja significativa, pues a pesar de ello, permite que el coche arranque rápidamente y que responda de forma inmediata a las variaciones de demanda energética del motor, habituales durante la conducción. Sin embargo, estas bajas temperaturas también exigen que el contenido de platino sea muy alto. ⁽⁶⁶⁾

La pila de combustible tipo PEM trabaja con temperaturas por debajo de los 100°C usando hidrógeno como combustible y oxígeno como reactante, está constituida por una membrana de polímero especial, conductor de protones (H⁺). Actualmente el polímero más utilizado para el desarrollo de este tipo de pilas es la membrana Nafion, que separa el ánodo del cátodo, es un polímero perfluorado (con átomos de flúor en lugar de hidrógeno) con grupos sulfonato polares, ⁽⁶⁷⁾ que en presencia de agua se convierte en un excelente conductor protónico, esta membrana se caracteriza por poseer un alto grado de conducción protónica a través de ellas, ser impermeables a los gases y aislantes eléctricos. Sin embargo, todas estas características no se cumplen absolutamente, o se dan sólo en condiciones de operación específicas, convirtiéndose en las principales causas de pérdidas de voltaje en la pila. ⁽⁶⁹⁾

Uno de los principales problemas de las pilas de combustible PEM reside en su tolerancia relativamente limitada a las impurezas, sobre todo en el lado del ánodo (hidrógeno). Los compuestos que contienen azufre, como los mercaptanos y los sulfuros, se adsorben fuertemente en el platino y pueden bloquear permanentemente los sitios activos, reduciendo la velocidad de reacción. ⁽⁵²⁾

Ensayo realizado por el laboratorio nacional de física “NPL”

Se realizaron pruebas con los cinco odorantes seleccionados, 3 de ellos contienen azufre (NB, NB Diluido, THT) y dos de ellos sin azufre (Norborneno y acrilatos), en una pila de combustible PEM monocelular.

Los odorantes preparados se mezclaron con hidrogeno ultra puro, cumpliendo con los requisitos de la NORMA 14687:2019 “*CALIDAD DEL COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO - ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO*” ⁽⁷⁰⁾

Tabla 16. Características de la Pila de Combustible PEM

Características de una pila de combustible	
Área activa	50 cm ²
Membrana	Nafion 211
Grosor	25 μm

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del reporte Apéndice G de Report NPL

Todos los tubos y accesorios utilizados en este trabajo se recubrieron con un revestimiento inerte Sulfinert (Thames Restek) para minimizar el agotamiento de la concentración de odorante debido a la adsorción en las paredes de acero inoxidable.

La célula funcionó a presión ambiente, la estequiometría del gas fue 2, tanto para el ánodo como para el cátodo y a línea de gas de hidrógeno/odorante se purgó con hidrógeno puro durante al menos 24 horas antes de cada experimento para minimizar la contaminación cruzada.

Tabla 17. Composición química y concentración de los odorantes utilizados en la Pila de Combustible PEM

Odorante	Componente	Concentración	
NB	2 metil-2-propanethiol	1,5	ppm
	Dimetil sulfuro	0,4	ppm
NB Diluido	Hexano	1,3	ppm
	2 metil-2-propanethiol	0,5	ppm
	Dimetil sulfuro	0,2	ppm
THT	Tetrahidrotiofeno	5,00	ppm
GASODOR FREE	Acrilato de etilo	1,12	ppm
	Acrilato de metilo	0,70	ppm
	2-etil-3-metilpirazina	0,05	ppm
Norborneno	5-etilideno 2-norborneno	17,06	ppm

Fuente: Report NPL, Appendix G

Procedimiento del ensayo

El procedimiento utilizado para evaluar el efecto de la combinación de hidrógeno/odorante en el rendimiento de la pila de combustible PEM se llevó a cabo de la siguiente manera:

- **Día 1:** Limpieza del hardware de la pila, montaje y activación del conjunto de electrodos de membrana (MEA), haciendo funcionar la pila a $0,5 \text{ A/cm}^2$ durante la noche.
- **Día 2:** Caracterización de la célula al inicio de su vida útil, consistente en una curva de polarización corregida por pérdidas óhmicas (IR) con hidrógeno puro en el ánodo.
- **Día 3:** Prueba de exposición al odorante a $0,8 \text{ A/cm}^2$, controlando el impacto de la mezcla de hidrógeno y gas odorante, tanto en el voltaje de la célula como en la respuesta de impedancia (cantidad de ohm con la cual se opone a la circulación de corriente).
- **Día 4:** Caracterización al final de la vida útil de la pila de combustible, curva de polarización corregida por IR bajo mezcla de hidrógeno/gas odorante. La curva de calibración se hizo después de alimentar la célula con la mezcla hidrógeno/gas odorante por 30 minutos a $0,8 \text{ A/cm}^2$ o hasta que se hubiera alcanzado un límite inferior de $0,1 \text{ V}$.

Entre cada día de medición, la célula se hizo funcionar a $0,5 \text{ A/cm}^2$, utilizando hidrógeno puro como alimentación para el ánodo. Para cada prueba se utilizó un conjunto de electrodos de membrana (MEA) nueva.

Las pruebas realizadas por el grupo NPL se ejecutaron en 3 etapas:

1. ***Línea base:** Control del voltaje de la célula 1 hora, mientras se suministra hidrógeno puro al ánodo a una densidad de corriente aplicada de $0,8 \text{ A/cm}^2$
2. ****Contaminación:** Cambio de hidrógeno puro por la mezcla de hidrógeno/odorante, control de pila de combustible durante 4h.
3. **Recuperación:** La alimentación de ánodo se cambia nuevamente por hidrógeno puro durante 2h.

*Etapa de referencia: Voltaje de célula controlado mediante 1 hora, mientras se suministraba hidrógeno puro al ánodo con densidad de corriente de $0,8 \text{ A/cm}^2$.

**Etapa de contaminación: Previa preparación haciendo fluir la mezcla hidrógeno/odorante a $0,21 \text{ L/min}$ (condiciones 0°C y 1 atm) por 30 minutos.

Resultados

Tabla 18. Resultados obtenidos después de someter a la Pila de Combustible PEM a la mezcla odorante/hidrógeno

Odorante	Pérdida de voltaje celular después de 4 horas (mv) contaminación	Recuperación del voltaje celular después 2 h (mv) recuperación
Norborneno	5 ± 2	0
GASODOR S-FREE	10 ± 2	0
NB Diluido	40 ± 2	20 ± 2
THT	225 ± 2	175 ± 2
NB	460 ± 2	0

Fuente: Report NPL, Appendix G

La información en la tabla anterior, indica lo siguiente:

- Las tres muestras de odorante/hidrógeno que contienen azufre, (NB, NB Diluido y THT), ocasionaron una disminución notable y predominantemente en el voltaje de la célula durante el tiempo de exposición de 4 horas. Por tanto,

se confirma la incompatibilidad entre las pilas de combustible y los compuestos que contienen azufre.

- Los compuestos libres de azufre (GASODOR FREE y Norborneno), se situaron dentro del intervalo observado en el hidrógeno puro, no obstante, las pruebas realizadas solo tardaron solo 1 h, por tanto, no es suficiente para concluir si estos odorantes tienen un efecto perjudicial significativo sobre el rendimiento de la pila de combustible PEM.

4.8 Comparación De Odorantes Seleccionados Basada En Los Criterios Analizados

Tabla 19. Comparación de odorantes basada en los criterios analizados

ODORANTE	CRITERIOS A EVALUAR								
	Normativa			Identificación			Compatibilidad		
	UNE EN 13725:2022	ISO 14687:2019	ISO 22088-6:2010	Carácter oloroso	Intensidad olorosa	Tono hedónico	Tuberías	Caldera de llama	Pilas de combustible
Norborneno	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI
GASODOR FREE	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
NB Diluido	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
THT	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
NB	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO

La tabla anterior (tabla 18), presenta una comparación de los odorantes analizados a lo largo del documento, se puede apreciar que no todos los odorantes satisfacen los criterios de selectividad predefinidos, esto se debe principalmente a sus características químicas, sin embargo, no se puede concluir, si son aptos o no para utilizarlos con el hidrógeno, todo dependerá de la aplicación final que se le dé a la mezcla hidrógeno/odorante. De los cinco odorantes seleccionados se constata la presencia de un odorante que cumple con todos los criterios evaluados y, por tanto, se ha destinado un apartado con el propósito de conocer mejor sus propiedades y características.

4.9 Gasodor S-Free

Es un odorante sin azufre, se usa en algunas redes de gas alemanas desde 2004, se desarrolló como parte de una colaboración a largo plazo entre Ruhrgas AG Essen y la Asociación Técnica y Científica Alemana para el Gas y el Agua (DGWV) en Bonn. (71)

GASODOR S-FREE es una mezcla de fragancias que se añade al gas natural en una concentración máxima de 7 ppm para provocar un olor de advertencia. Los ingredientes principales son acrilato de etilo (n.º CAS 140-88-5) y acrilato de metilo (n.º CAS 96-33-3), que están contenidos en el producto en concentraciones de > 50 % y >25-49 %, respectivamente. (72)

En el desarrollo de Gasodor S-Free, se otorgó una alta prioridad a la creación de un aroma distintivo, con un carácter marcado de advertencia. Es por ello que se distingue claramente de todos los olores comunes conocidos, con el propósito de eliminar cualquier posibilidad de confusión y asegurar que el olor sea inmediatamente reconocido como una señal de alarma. (60)

Gasodor S-Free ha demostrado su eficacia en pruebas de laboratorio y ensayos de campo, tal es el caso que se ha realizado encuestas a consumidores con el fin de realizar comparativas con los otros odorantes utilizados en la red. (73)

Hoy en día GASODOR se utiliza en gas natural y en mezclas de gas natural/hidrógeno, debido a que en Alemania se permite un contenido de hidrógeno del 30% en el gas natural.

La empresa de estudios de mercado Förster & Thelen GmbH Bochum, encuestó a 750 consumidores (hombres y mujeres de entre 20 y 59 años), el objetivo fue comparar tres odorantes Gasodor-S-Free, Tetrahidrotiofeno (THT) y Tert-Butil Mercaptano (TBM), con otros olores desagradables típicamente encontrados en la rutina diaria (baño, acetato de etilo, ajo, cocina, cebolla), al final de la prueba los encuestados coincidieron que los odorantes gaseosos así como los agentes cebolla y ajo, perciben un olor más desagradable que los otros olores, acetato de etilo, baño y cocina.

En la segunda etapa de la prueba interesaba saber si los olores percibidos tenían propiedades de alerta de gas y en qué medida estas propiedades podían llamar a la acción.

Los individuos sometidos a esta prueba seleccionaron los siguientes atributos:

- Este olor es repugnante.
- Huele como si algo fuera mal.
- Este olor me alerta.
- Este olor es malo para la salud.
- Cuando huelo esto, quiero salir corriendo.
- Esto huele muy raro.
- Este olor me pone nervioso.
- Este olor es desagradable, pero no peligroso.
- Conozco este olor de alguna parte.
- Cuando huelo este olor, llamaría a los bomberos.

Los niveles más altos se alcanzan en las dos declaraciones "Este olor es repugnante" y "Huele como si algo fuera mal". En cuanto a la afirmación con mayor frecuencia fue "Este olor me alerta.

En lo que se refiere a la seguridad personal la pregunta con el nivel más alto fue: "Este olor es malo para la salud".

Muchos de los encuestados están de acuerdo con la afirmación "Cuando huelo esto, quiero salir corriendo". En consecuencia, esto significa que los tres olores a gas activan la alarma en la misma media.



Figura 15. Caracterización de los agentes de alarma de los odorantes
Fuente: <https://www.gasodor-s-free.com>

Los tres odorantes de gas son calificados como significativamente más desagradables, alarmantes, extraños y peligrosos que los olores cotidianos y provocan una acción al consumidor para garantizar su propia seguridad. En conclusión, los consumidores confirman una superioridad SIGNIFICATIVA sobre los olores cotidianos, incluidos los olores de la familia de la cebolla, para los tres odorantes, por tanto, cumplen con su función. ⁽⁷¹⁾

A continuación, se presente una comparación de características entre el odorante Gasodor S-Free y THT.

Tabla 20. Comparación de características entre el odorante GASODOR S-FREE Y THT.

NOMBRE COMERCIAL	THT	GASADOR S-FREE	UNIDADES
Sustancias	Tetrahidrotiofeno	Acrilatos, Pirazina	
Contenido de azufre	36,4	0	%
Dosis habitual	20,0	15,0	mg/m ³
Concentración mínima en el gas natural	10,0	8,0	mg/m ³
Consumo de gas natural 2018	44 150 000 000,00		m ³
Contenido de azufre natural en el gas natural	9,3	2	
Emisión de SO₂	410 595,00	88.300,00	Kg/año

Fuente: Ficha: TG900901 GASODOR S-FREE-Especificaciones del producto.
<https://www.gasodor-s-free.com/de/downloads/produktdatenblaetter-verschiedenes/>

Al cambiar a GASODOR S-FREE, se pueden ahorrar aproximadamente 323 Tn/año de azufre o un 80 % en comparación con THT.

4.9.1 Ventajas

- Se puede utilizar en estaciones de olores ya existentes, siempre que se realice una limpieza previa de todos los contenedores, tuberías, boquillas y otros materiales que hayan contenido o tenido contacto con otro odorante.
- No modifica el intervalo de mantenimiento de la estación de olores.
- Se puede transportar y almacenar en los contenedores habituales.
- Es adecuado para tubos de PE y acero, debido a que no induce reacciones químicas o provoca degradación.
- No hay diferencia en la percepción del perfil en comparación con los odorantes clásicos.

4.9.2 Condiciones o desventajas

- Los sellantes deben ser químicamente estables en contacto con el producto líquido (tal vez se requiera intercambio)
- Debe ser compatible con GASODOR S-FREE, se recomienda limpiar el tanque antes del primer uso.
- Sensible a la luz ultravioleta.

4.9.3 Condiciones de almacenamiento

GASODOR S-FREE tiene una capacidad de almacenamiento de al menos 18 meses, sin embargo, todo depende de la temperatura de almacenamiento.

Tabla 21. Periodo y temperatura de almacenamiento de GASODOR S-FREE

PERIODO	TEMPERATURA
12 meses	-30°C, no muestra cristalización
Estabilidad durante 6 meses	Hasta 50°C
Menos de 6 meses	> 50°C

Fuente: <https://www.gasodor-s-free.com/de/downloads/produktdatenblaetter-verschiedenes/>

- Ambiente oscuro y seco, a 20°C de temperatura ambiente en el envase original.
- Debe evitarse la exposición directa al sol y a temperaturas elevadas.

4.9.4 Posibles aplicaciones

- Odorización de biogás (estaciones de servicio) para un producto final sin azufre.
- Todos los procesos industriales en los que debe garantizarse un proceso sin azufre:
 - Industria del aluminio
 - Industria de la porcelana
- Inyección en redes de distribución de alta presión.

Productos complementarios para Gasodor S-Free

Symrise desarrollo una fragancia llamada NEUTROLOR especialmente para enmascarar el desagradable y fuerte olor de advertencia de GASODOR S-FREE. En caso de fuga accidental de GASODOR S-FREE líquido en salas de producción, estaciones de dosificación o durante el transporte, NEUTRALOR puede pulverizarse sobre las zonas contaminadas, además de limpiar a fondo las superficies afectadas. El intenso aroma cítrico de NEUTRALOR se superpone al típico olor de advertencia de GASODOR SFREE hasta que desaparece por completo.

4.9.5 Coste económico de Gasodor S-Free

Según TH.GEYER (Fabricante y distribuidor de Gasodor) el coste podría suponer que está al nivel de precios de THT (precio/Kg). No obstante, el precio está relacionado con el volumen de los pedidos y el lugar de entrega.

En cualquier caso, para un análisis económico se debe de tener en cuenta la tasa mínima de odorización, los perfiles de adsorción, la presión de vapor/calidad de distribución del odorante en el gas natural, así como la posibilidad de dosificación a alta presión.

5. CONCLUSIONES

- El hidrógeno se presenta como un compuesto inodoro, incoloro e insípido, lo cual implica la necesidad de emplear un agente identificador para su detección.
- La regulación relativa al hidrógeno en la actualidad se encuentra definida mediante normas españolas (Normas UNE), las cuales prescriben requisitos específicos relacionados con la calidad y las especificaciones de los productos relacionados con el hidrógeno.
- Existen documentos normativos que hacen referencia a las estaciones de almacenamiento y distribución de hidrógeno gaseoso. Estos documentos proporcionan pautas y estándares técnicos para el diseño, la operación y el mantenimiento de dichas instalaciones, contribuyendo así a la integridad y la funcionalidad segura de las mismas.
- Es importante destacar que el campo de la regulación del hidrógeno es dinámico y está en constante evolución debido al rápido desarrollo de tecnologías relacionadas con este elemento. Por tanto, se continúa trabajando en la elaboración y revisión de nueva normativa para mantenerse al día con los avances en la industria del hidrógeno y garantizar su uso seguro y eficiente en una variedad de aplicaciones.
- El hidrógeno verde constituye una herramienta importante en la descarbonización de la capa de ozono.
- Añadir odorantes al hidrógeno verde contribuye con la seguridad, permitiendo la detección de posibles fugas de hidrógeno y alertando a los individuos sobre su presencia en el entorno circundante.
- La identificación del hidrógeno en diversas aplicaciones desempeña un papel importante en el proceso de transición hacia una matriz energética más sostenible, esto se debe a la versatilidad del hidrógeno, que puede funcionar tanto como materia prima como vector energético.
- Una vez terminado el estudio de los odorantes posiblemente compatibles con el hidrógeno, se puede concluir que, la elección de odorantes para añadir al hidrógeno estará influenciada por su aplicación final, así pues, para uso doméstico se puede añadir cuatro de los cinco odorantes seleccionados en el

documento, no obstante, si la mezcla hidrógeno/odorante se destina a pilas de combustibles, es importante que los odorantes no contengan azufre en su composición química, además se deberá de controlar el tiempo de exposición de la pila de combustible con la mezcla hidrógeno/odorante.

- El odorante Norborneno no es idóneo para utilizarlo debido a su carácter oloroso agradable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bernad, A., Zarzuela, M., (2020). Informe de Recomendaciones Legislativas para el Sector del Hidrógeno en España. HyLaw. <https://www.hylaw.eu/>
- [2] Bernad., A., Zarzuela., M., (2020) Informe de Recomendaciones Legislativas para el Sector del Hidrógeno en España. HyLaw. <https://www.hylaw.eu/info-centre/>
- [3] Roseta Technology Solutions. (s.f). *¿Qué es el hidrógeno?* <https://rosetta-technology.com/es/aula-tecnica/notas-tecnicas/que-es-el-hidrogeno>
- [4] Bartlett, S., Murugan, A., Bacquart, T., Brewer, P., (2018) Selection of odorants for 100% hydrogen grid. Hy4Heat, pp.3. <https://static1.squarespace.com/static/5b8eae345cfd799896a803f4/t/5fb26960844f9e409ec7df2e/1605527940304/Hydrogen+Odorant+Final+Report+amended+Nov+2020.pdf>
- [5] Norma **UNE-EN ISO 13734:2013**. Sustituye a EN ISO 13734:2000. Julio 2014.
- [6] Suárez., K., (2019), Un poco de todo sobre el hidrógeno. Estudio del comportamiento masivo de NaAlH₄ como material de almacenamiento de hidrógeno obtenido a partir de Al reciclado. pp. 72-74 https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/70_1/PDF/Hidrogeno.pdf
- [7] Iberdrola, (13 de abril de 2022), Breve (y eterna) historia del hidrógeno. <https://www.iberdrola.es/blog/sostenibilidad/historia-hidrogeno-verde>
- [8] NASA (27 de mayo 2021), Aplicaciones espaciales del hidrógeno y las pilas de combustible. <https://www.nasa.gov/content/space-applications-of-hydrogen-and-fuel-cells>
- [9] Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico, Agencia Internacional de la Energía. <https://energia.gob.es/REI/relaciones-energeticas-internacionales/organismos-internacionales/Paginas/agencia-internacional-energia.aspx>
- [10] Barcala, J. (mayo 2015). El trágico accidente que dio al gas natural su reconocible olor. Ciencia Histórica.

<https://www.cienciahistorica.com/2015/05/26/el-tragico-accidente-que-dio-al-gas-natural-su-reconocible-olor/>

- [11] Real Decreto 1434/2002, de 27 de diciembre. Por el que se regulan las Actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de gas natural. 31 de diciembre de 2002. BOE-A-2002-25421.
- [12] Resolución de 13 de marzo de 2006. Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen los protocolos de detalle de las Normas de Gestión Técnica del Sistema Gasista. 04 de abril de 2006. BOE-A-2006-6003
- [13] Centro Nacional del hidrógeno. Propiedades del hidrógeno. <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>
- [14] LENNTECH. Propiedades químicas del Hidrógeno. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.htm#Nombre>
- [15] Porto, P. (septiembre de 2021) Descarbonización del Sector del Transporte en España con el Hidrógeno Verde. [Trabajo de fin de grado. Universidad Pontificia de Madrid.] Repositorio Institucional- Universidad Pontificia de Madrid.
- [16] Hoja de ruta del hidrógeno. (octubre de 2020). Una apuesta por el hidrógeno renovable. Cadena de valor del hidrogeno. [Archivo en PDF].
- [17] García, C. Revisión de la producción, transporte y uso del hidrógeno, y del impacto de las mezclas de gas natural con hidrógeno sobre la infraestructura de gas natural. Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas. [Archivo en PDF]
- [18] La curiosa historia del hidrógeno como combustible en automoción: un relato que se empezó a escribir en 1806. (17 de noviembre de 2022). <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/curiosa-historia-hidrogeno-como-combustible-automocion-relato-que-se-empezo-a-escribir-1806>
- [19] Hidrógeno. Agencia Internacional de la Energía. <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>
- [20] Informe sobre el hidrógeno 2019 de la AIE, citada en el documento Estrategia vasca del Hidrógeno. (2020).
- [21] H2. Estrategia vasca del hidrogeno, (2021). [Archivo en PDF]
- [22] IPPC, Grupo de trabajo I. Sexto Informe de Evaluación, Cambio Climático 2021, Bases físicas, IPPC, Paris 2021 <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

- [23] Naciones Unidas (ONU), Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), (12 diciembre 2015), <https://www.refworld.org/es/docid/602021b64.html>
- [24] Ferragut, P. Goldenberg, F. Correa, C. Gischler. C. (2022). Insumos para la elaboración de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Uruguay. Hidrógeno Verde y el Potencial para Uruguay. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Hidrogeno-verde-y-el-potencial-para-Uruguay-insumos-para-la-elaboracion-de-la-Hoja-de-Ruta-de-Hidrogeno-Verde-de-Uruguay.pdf>
- [25] Hoja de ruta del hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable. (octubre de 2020), Marco estratégico de Energía y clima. [Archivo en PDF] https://energia.gob.es/es/Novidades/Documents/hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf
- [26] El papel del hidrógeno en la Transición energética. (octubre de 2021). Análisis y posicionamiento. Fundación renovables. [Archivo PDF] <https://fundacionrenovables.org/wp-content/uploads/2021/10/20211006-El-papel-del-hidrogeno-en-la-transicion-energetica.pdf>
- [27] Giménez., I., (julio de 2022). *Retos del hidrogeno verde*. Fundación de Estudios Bursátiles y Financieros. Cámara de Comercio e Valencia. [Archivo PDF] <https://negociosostenible.camaravalencia.com/wp-content/uploads/2021/07/ECONOMA-ARAGONESA-revista-73-Hidrogeno-Verde-2.pdf>
- [28] Entendimiento del Mercado dl hidrógeno y sus oportunidades para la cogeneración. (junio, 2021) <https://www.acogen.es/wp-content/uploads/2022/03/Informe-Estudio-Entendimiento-del-Mercado-del-Hidrogeno.pdf>
- [29] Ameztoy, M. (agosto 2021). Producción de hidrógeno en tecnologías industriales. [Trabajo de fin de grado. Universidad Pontificia Comillas] Repositorio Institucional- Universidad Pontificia Comillas.
- [30] National Geographic España. (03 enero de 2023). *Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo*. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897

- [31] Hydrogen Council. (mayo de 2023). *Hydrogen Insights 2023. An update on the state of the global hydrogen economy, with a deep dive into North America.* <https://hydrogencouncil.com/en/>
- [32] MITECO (marzo de 2023). Inventario nacional de emisiones a la atmósfera. Emisiones de gases de efecto invernadero. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/resumen_inventario_gei_ed_2023_tcm30-560383.pdf
- [33] Noticias Parlamento Europeo. (junio 2022). Emisiones de CO₂ de los coches: hechos y cifras (infografía). <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>
- [34] Moulli J, et al (2020), Olfactory appraisal of odorants for 100% hydrogen networks. *International journal of hydrogen energy*, 45, pp 18876. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920306595>
- [35] Norma **UNE-EN ISO 13734:2013**. Sustituye a EN ISO 13734:2000. Julio 2014.
- [36] Nuevos métodos de detección de fugas de hidrógeno. (junio de 2006), Conferencia Mundial sobre la Energía del Hidrógeno. <https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=38099871>
- [37] Espejo, E. (noviembre 2022). Los productos del ámbito objetivo del impuesto especial sobre hidrocarburos. *Informe FIDE*. pp. 20. <https://www.fide.es/wp-content/uploads/2022/10/INFORME-FIDE.-Los-productos-del-ambito-objetivo-del-impuesto-especial-sobre-hidrocarburos.pdf>
- [38] Calvo, J. (septiembre de 2007). Pilas de combustible y odorantes para hidrógeno. *Revista Internacional de energía de hidrógeno*. 32.
- [39] Norma UNE EN 13725: 2022. Octubre 2022
- [40] Centro Nacional de Información Biotecnológica (09 de febrero 2022). Resumen de compuestos de PubChem para CID 6387, 2-metil-2-propanotiol. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Methyl-2-propanethiol> .

- [41] Dimethyl Sulfate. enero 2023. Ficha de datos de seguridad. ThermoFisherScientific.
https://www.fishersci.es/chemicalProductData_uk/wercs?itemCode=10667953&lang=ES
- [42] Hexano. HOJA DE SEGURIDAD. <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2008/05/13hexano.pdf>
- [43] Tetrahidrotioeno. (febrero de 2023). Hoja de seguridad. Sigma-Aldrich.
<https://www.sigmaaldrich.com/ES/es/sds/aldrich/t15601>
- [44] Acrilato de Etilo. HOJA INFORMATIVA SOBRE SUSTANCIAS PELIGROSAS. <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0843sp.pdf>
- [45] Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSCs)
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0267&p_version=2
- [46] Acrilato de metilo. (agosto de 2022). Ficha de datos de seguridad. ThermoFisher.
<https://www.fishersci.es/store/msds?partNumber=10478280&productDescription=10ML+Methyl+acrylate%2C+99%25%2C+stabilized&countryCode=ES&language=es>
- [47] Acrilato de Metilo. (marzo de 2006) Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1219sp.pdf>
- [48] 2-Etil-3-Metilpirazina. (septiembre de 2022). Ficha técnica. Ventos learders in essence. [Archivo en PDF]
<https://www.ventos.com/index.php/es/producto/2753/2-ETIL-3-METILPIRAZINA./223>
- [49] 5-Etiliden-2-Norborneno. (2018). Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSC). Organización Internacional del Trabajo.
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p_lang=es
- [50] UKAS. Servicio de acreditación del Reino Unido.
<https://www.ukas.com/about-us/about-ukas/>
- [51] Torre, R. Fernández, R. Estrada, J, (mayo de 2010). Caracterización y gestión de olores en estaciones depuradoras de aguas residuales. Departamento de

Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. [Universidad de Valladolid]. Repositorio de la Universidad de Valladolid.

- [52] Moulli J, et al (2020), Olfactory appraisal of odorants for 100% hydrogen networks. *International journal of hydrogen energy*, 45, pp 18879 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920306595>
- [53] Norma **UNE ISO 22088-6:2010**. Sustituye a EN ISO 22088-6:2009. Febrero 2010
- [54] Hesketh, J, Hinds, G. (junio de 2019). Preliminary screening of candidate odorants for the hydrogen gas grid: impact on pipeline integrity. NPL REPORT EET (RES) 001. <https://www.hy4heat.info/reports>
- [55] Acero al carbono: descripción, tipos y propiedades. (marzo 2021). Aceromafe. <https://www.aceromafe.com/acero-al-carbono-descripcion/>
- [56] Tubo de acero, accesorios, tubería de revestimiento y producción, cabillas. (2021). Octal. <https://www.octalacero.com/>
- [57] Tuberías de polietileno (PE) (2018). MASA, tubos y sistemas.
- [58] Tuberías de polietileno de alta densidad (PE100). (2021). Italsan. <https://italsan.com/empresa>
- [59] Diferencia entre las materias primas PE80 y PE100. (junio de 2023). PUHUI <https://www.phpipe-fitting.com/faqs/shownews.php?lang=es&id=83>
- [60] Calderas: Funcionamiento, partes y tipos. (2023). EXPERTCLIMA. https://expertclima.es/blog/69_calderas-funcionamiento-partes-tipos/
- [61] Hesketh., J., (2019). Influence of hydrogen odorant chemistry on flmae boiler corrosion. *National Physical Laboratory*. pp 124.
- [62] Almarza., J Salueña., X., (enero de 2010). Diseño y fabricación de una pila de combustibles de Hidrógeno de baja potencia. Trabajo de fin de carrera. [Universidad Técnica de Catalunya] Repositorio Institucional - Universidad Técnica de Catalunya. pp.12
- [63] Asencio., P., (2023). Hidrógeno y pila de combustible. *Energías renovables para todos*. pp.12 <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2007/08/Cuadernos-energias-renovables-para-todos-hidrogeno-y-pila-de-combustible-fenercom.pdf>

- [64] APPICE. (2023). Asociación española de pilas de combustible <https://appice.es/introduccion-a-los-tipos-de-pilas-de-combustible/>
- [65] Nuevo, D. (enero de 2023). La pila de combustible. Energías renovables. TECPA <https://www.tecpa.es/pila-combustible/>
- [66]Mahecha, E. (2018) Uso del hidrógeno como fuente alternativa para alimentar pilas de combustible [Monografía de Maestría, Universidad de América, Colombia]. Repositorio Institucional-Universidad de América.
- [68] Asencio, J.A (junio 2011). Pilas de combustible de Membrana polimérica. *Centro de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología*. <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/268104/355685>
- [69] Barrera, F. Lozano, A. Hidrogeno. Pilas de combustible tipo PEM. Año Internacional de la energía Sostenible para todos [Archivo PDF] www.energia2012.es
- [70] NORMA 14687:2019 Calidad del combustible de hidrógeno - especificación del producto.
- [71] GASODOR-S FREE (2020). GASODOR® S-LIBRE: Seguridad y certificaciones. <https://www.gasodor-s-free.com/de/gasodorr-s-free/sicherheit-und-zertifizierungen/>
- [72] GASODOR S-FREE (2016). Exposition von Konsumenten, Arbeitern, Umwelt. Sicherheitsbewertung. [Archivo PDF]
- [73] Fries, R.K. (6 de diciembre de 2015). Consumer Survey on the Olfactory Evaluation of Different Natural Gas Odorants [Archivo en PDF]

ANEXO A.

NORMATIVA APLICABLE PARA HIDRÓGENO

Documento	Título	Año de publicación	Comentarios
EIGA IGC Doc 15/06/E	Estaciones de hidrógeno gaseoso	2006	El Código abarca el hidrógeno gaseoso, la compresión, la purificación, el llenado en recipientes y las instalaciones de almacenamiento en los lugares de consumo. No incluye la producción, el transporte ni la distribución de hidrógeno, ni tampoco los aspectos de seguridad en el uso y la aplicación del gas en procesos técnicos o químicos. Este nuevo apéndice abarca el diseño de recipientes y las consideraciones relativas a los materiales para recipientes soldados a media presión, así como la inspección en servicio.
EIGA IGC Doc 121/14	Sistemas de tuberías de hidrógeno	2014	Apéndice I: Tuberías de hidrógeno de pureza ultra alta (UHP)
CSN EN 16726	Infraestructura gasista - Calidad del gas - Grupo H	2015	Esta norma europea especifica las características de calidad del gas, los parámetros y sus límites, para los gases clasificados en el grupo H que van a ser transmitidos, inyectados hacia y desde almacenamientos, distribuidos y utilizados.
COP CP 41	Diseño, construcción, mantenimiento y operación de estaciones de servicio dispensadoras de combustibles gaseosos	2016	Para el diseño, construcción, instalación, puesta en servicio, operación, mantenimiento e inspección de equipos utilizados en estaciones de servicio para el llenado de vehículos con hidrógeno gaseoso, gas natural comprimido o licuado, con o sin despacho de otros combustibles vehiculares como gasolina, diésel o licuados. gas de petróleo. Detalla los criterios de diseño y selección del sitio, examen y mantenimiento periódico, calidad del combustible, capacitación, equipo de protección personal y situaciones y procedimientos de emergencia.

Documento	Título	Año de publicación	Comentarios
EN 16723-1:2017	Gas natural y biometano para uso en transporte y biometano para inyección en la red de gas natural.	Parte 1:2017 Parte 2:2018	Especificaciones para la inyección de biometano en la red de gas natural. Parte 2: Especificaciones del combustible para automoción
ISO 14687:2019	Calidad del combustible de hidrógeno: especificación del producto	2019	Este documento especifica las características mínimas de calidad del combustible de hidrógeno distribuido para su utilización en aplicaciones vehiculares y estacionarias.
UNE-EN 17124:2022	Hidrógeno combustible	2022	Especificación de producto y garantía de calidad para los puntos de suministro de hidrógeno que dispensan hidrógeno gaseoso. Aplicaciones que utilizan las pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) para los vehículos
UNE EN ISO 13734:2013	Gas natural Componentes orgánicos utilizados como odorizantes Requisitos y métodos de ensayo	2014	Describe los requisitos y métodos de ensayo para los componentes orgánicos adecuados para la odorización del gas natural y sustitutos del gas natural para la distribución pública de gas, denominados a lo largo del texto como odorizantes.
AeH2	Estudio sobre el tratamiento regulatorio de los proyectos que incorporan tecnologías del hidrógeno	2023	“Estudio/ informe sobre el tratamiento regulatorio de los proyectos que incorporan tecnologías del hidrógeno” y puesta en marcha y dinamización de un “Grupo de Trabajo de Regulación” en la AeH2