



Reporte de expertos

Producción de energía con hidrógeno neutro para el medio ambiente

Daniel Gosse MBA, Ingeniero (FH), Director de Marketing de Bosch Industrial Boilers

Al analizar su huella de carbono, muchas empresas manufactureras se dan cuenta de que una parte considerable de sus emisiones directas de CO₂ puede atribuirse al calor industrial. Los proveedores de energía también se enfrentan al mismo reto cuando gestionan redes de calefacción locales o urbanas a gran escala. Entonces, ¿cómo puede conseguirse la descarbonización en las aplicaciones de calefacción y calor industrial? En el mercado existen varias tecnologías de fuentes de energía ecológicas, incluidas las basadas en hidrógeno ecológico. Además de ofrecer un alto rendimiento de caldera de hasta el 98%, la combustión de este combustible ecológico es totalmente neutra en emisiones de CO₂. Este informe se centra en las soluciones que utilizan calderas de hidrógeno y en las medidas técnicas para una combustión segura y limpia del hidrógeno.

Soluciones autónomas descentralizadas con hidrógeno

Expertos y operadores de redes de gas llevan tiempo debatiendo la mezcla proporcional de hidrógeno verde en la red de gas natural. La opinión actual es que un 10-15% de hidrógeno puede mezclarse en las redes existentes de forma segura y con poco esfuerzo. Es importante señalar que el hidrógeno solo contiene alrededor de un tercio del valor calorífico neto del gas natural por

unidad de volumen (15% de hidrógeno en la red = aprox. 5% de cuota energética). Por lo tanto, es poco probable que la proporción de energía renovable utilizada en la red de gas natural pueda llegar al 50% o incluso al 65%. A corto y medio plazo, en consecuencia, las soluciones descentralizadas con hidrógeno 100 % verde representan una alternativa más atractiva para alcanzar rápidamente la neutralidad de CO₂. Actualmente, se están llevando a cabo

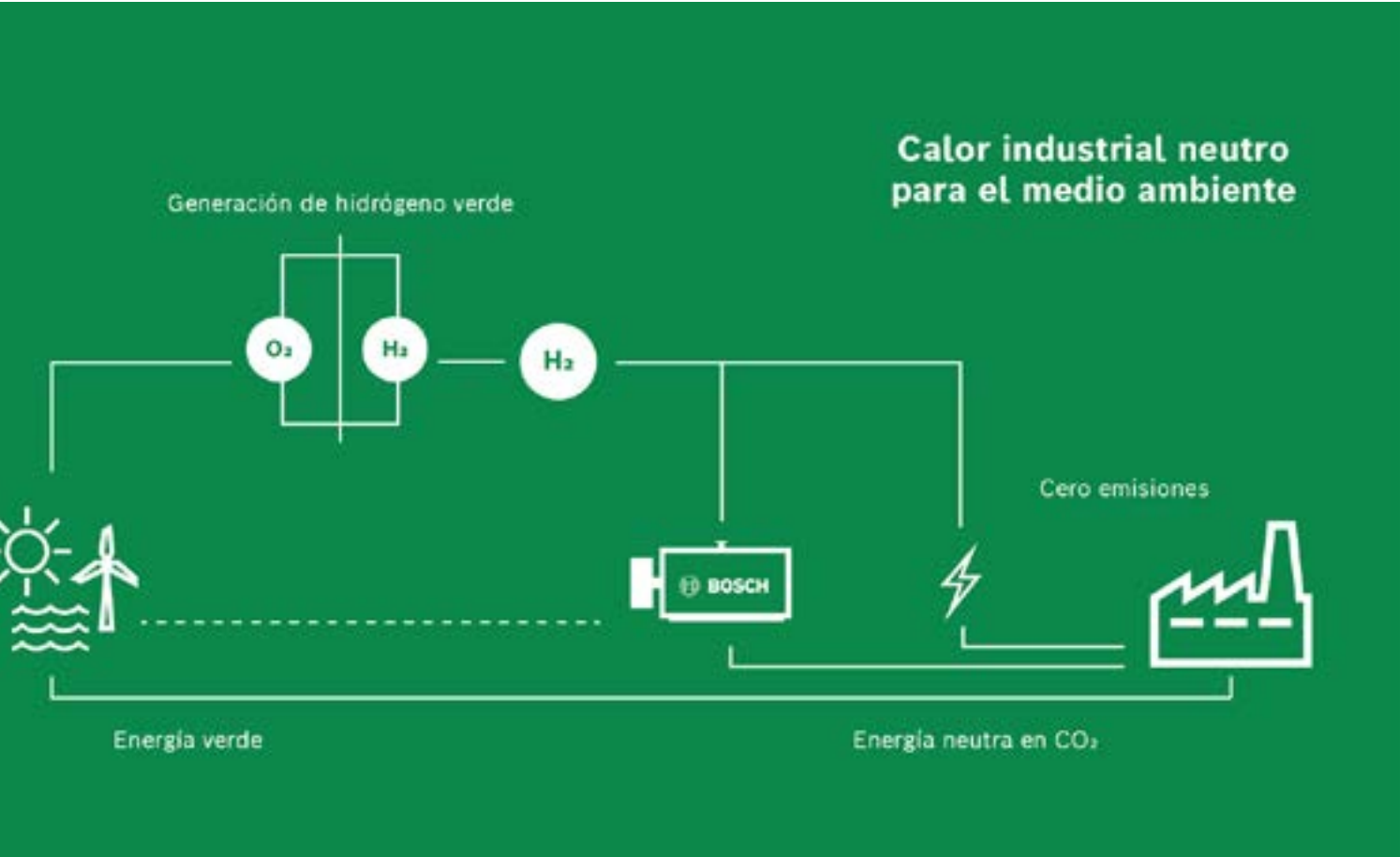
varios proyectos piloto en zonas industriales y en regiones de alta densidad energética de distintos lugares del mundo. En Alemania, por ejemplo, se construyó un electrolizador con una potencia eléctrica de 6 MW en la fase inicial de desarrollo. En el futuro será posible utilizar el hidrógeno sobrante, por ejemplo, en una caldera Bosch de 5 MW para suministrar calor y también para secar productos de madera en una serrería. Entre las aplicaciones se encuentran también otras combinaciones de calefacción urbana y electromovilidad, así como el suministro descentralizado de energía verde: por ejemplo, para municipios.

Pero, ¿por qué debería alguien elegir el complejo camino de generar su propio hidrógeno (Fig. 1), aceptando una pérdida de eficiencia de alrededor del 30% en el proceso? Al fin y al cabo, la electricidad verde puede utilizarse directamente en calderas eléctricas, alcanzando un alto grado de eficiencia. Sin embargo, si nos centramos únicamente en la electrificación de las centrales térmicas, el hecho de que la red alimentada por combustibles fósiles suministre actualmente unas diez veces la potencia de una red eléctrica es un reto que hay que superar. La infraestructura local y la distancia a la gran central ecológica más cercana pueden entonces servir potencialmente para limitar el uso de la energía verde para cubrir

las demandas de calor. La disponibilidad fluctuante por condiciones meteorológicas, así como a la hora del día y la estación del año, representan otro punto importante. Tanto si hace sol como viento, la energía está disponible directamente para aplicaciones de alta temperatura, con un grado de eficiencia superior al 99%, tanto para las plantas como para las operaciones de producción. Sin embargo, durante los meses de invierno y en los días de baja energía, en muchos casos se necesita una fuente adicional de energía neutra en CO₂ para compensar la falta de producción. Aquí es donde el hidrógeno puede ser realmente atractivo: no solo puede almacenarse de forma comparativamente sencilla, eficaz y asequible, sino que también puede utilizarse de forma muy eficiente.

Por tanto, es probable que los conceptos híbridos, como las calderas con unidad de combustión multicombustible y haz de calefacción eléctrico (Fig. 2), se conviertan en una opción cada vez más atractiva. Esta combinación de uso directo de electricidad verde e hidrógeno como segunda fuente de energía representa una solución muy eficiente. Otra opción es utilizar una caldera puramente eléctrica (Fig. 3) y una caldera de hidrógeno para garantizar un suministro fiable y neutro en emisiones de CO₂ que no dependa de los combustibles fósiles.

Fig. 1: Ilustración simplificada de la producción ecológica de hidrógeno con integración del calor de proceso.



Híbrido y listo para H₂

Fig. 2: Caldera híbrida en la fábrica de Bosch poco antes de ser enviada a España. El haz de calefacción eléctrica utiliza más de 5 MW de electricidad verde procedente de la propia instalación fotovoltaica del cliente. El quemador cubre entonces de forma fiable las necesidades adicionales. Dado que la planta va a utilizar electrólisis in situ, el sistema de caldera ya ha sido diseñado para funcionar con hasta un 100% de hidrógeno.



100 % eléctrico

Fig. 3: Las calderas de calefacción puramente eléctricas representan otro componente importante que apoya el cambio de la política energética.



En qué se diferencia la combustión del hidrógeno

Al comparar el uso del hidrógeno con el del gas natural, hay que tener en cuenta ciertos factores y diferencias. La llama, que alcanza aproximadamente 2000 °C, es más caliente, lo que facilita la formación térmica de NO_x. Además, este combustible arde y se enciende mucho más rápidamente, razón por la cual la mezcla de hidrógeno y oxígeno también se conoce como gas detonante. Al ser el átomo más pequeño del universo, el hidrógeno es capaz de difundirse a través de diversos materiales e incluso metales. Es esencial evitar la formación involuntaria de gas detonante.

Como se mencionaba al principio del artículo, el valor calorífico neto del hidrógeno por unidad de volumen es solo un tercio del gas natural. Esto significa que se necesita el triple de volumen de gas para obtener la misma cantidad de energía.

Otra diferencia significativa es la llama incolora cuando se quema hidrógeno puro; sin embargo, la adición de solo una pequeña cantidad de gas natural hace que cambie a un color azul. La emisión de calor también es diferente. Mientras que una llama de gas natural produce una gran cantidad de radiación en el espectro infrarrojo, una llama de hidrógeno emite una cantidad baja, aunque

medible, de radiación ultravioleta. En determinados sistemas de combustión, esto se utiliza como una variable medida para el control de la combustión.

Requisitos tecnológicos de las calderas de calefacción y de vapor alimentadas con hidrógeno

El uso de hidrógeno en sistemas de calderas, y la tecnología correspondiente, es habitual en sectores en los que el hidrógeno se crea como producto residual de procesos químicos. En consecuencia, existe una serie de requisitos tecnológicos conocidos para un manejo seguro y eficiente. En los últimos años, Bosch Industrial Boilers ha fabricado y puesto en servicio una serie de sistemas para clientes del sector químico y farmacéutico (fig. 4) y de la industria de fabricación de plásticos, así como para el suministro de calor ecológico.

Las siguientes soluciones, entre otras, son adecuadas para aprovechar este gas respetuoso con el medio ambiente: Los requisitos previos incluyen amplias medidas técnicas y componentes que permiten triplicar el volumen de combustible a suministrar y posibilitan el control de las temperaturas de combustión más elevadas y un comportamiento de combustión más rápido. Esto afecta sobre todo a los conductos, las toberas, los componentes resistentes a altas temperaturas que entran en contacto con las llamas, los ventiladores del quemador y la cámara de combustión. El quemador de hidrógeno suele diseñarse como una compleja unidad de combustión multicomcombustible con un sistema de control correspondientemente exigente, a fin de permitir una flexibilidad total y la fiabilidad del suministro.



Combustión de hidrógeno

Fig. 4: Ejemplo de aplicación de un concepto de combustible con hidrógeno, gas natural y fuelóleo ligero para un sistema de calderas Bosch en una empresa farmacéutica.

Existen medidas de eficacia probada en el lado de los gases de combustión para hacer frente al aumento de la formación térmica de NOx que se produce al quemar hidrógeno. Por ejemplo, se puede utilizar la recirculación de los gases de escape (EGR) para cumplir de forma fiable la normativa vigente sobre emisiones de NOx. En este proceso, el gas de combustión generado por la caldera, que es bajo en oxígeno, se mezcla con el aire de combustión. La presión parcial del contenido de oxígeno se reduce, lo que retrasa la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno, disminuyendo así la temperatura media de la llama. El resultado es una reducción efectiva de la formación térmica de NOx. Para quienes deseen reequipar una instalación existente, la recirculación de los gases de escape y el correspondiente diseño del sistema pueden hacer posible igualar la potencia nominal original, cumpliendo al mismo tiempo los estrictos límites de NOx.

Para evitar la reignición de la unidad de combustión de hidrógeno en el conducto de alimentación de combustible, el sistema de combustión dispone de un apagallamas aguas arriba. Este puede diseñarse de forma estática, por ejemplo como supresor de deflagraciones o detonaciones, o de forma dinámica. La variante dinámica provoca una velocidad de escape de gas del anillo de gas o de las lanzas de gas significativamente mayor que la velocidad de la llama. Todavía no existen reglamentos o normas vinculantes que describan los quemadores de hidrógeno en las instalaciones de calderas industriales. Aunque la normalización relativa al hidrógeno ha cobrado impulso, actualmente cada sistema debe someterse a

Energías renovables

Fig. 5: Las fuentes renovables son la base de una combinación energética verde de electricidad e hidrógeno.



una inspección individual. Esta inspección debe tener en cuenta cuestiones como las especificaciones concretas de protección contra explosiones (nivel ATEX), la selección de materiales, la idoneidad de los equipos utilizados y los aspectos operativos.

En el sector de la tecnología de los gases de combustión, se pueden utilizar normas de diseño y tecnologías establecidas como en las unidades de combustión de gas natural. El hidrógeno presente en forma de metano en el gas natural también se quema finalmente para producir vapor de agua. El resultado es que las emisiones de CO₂ del gas natural son mucho menores que las del carbón, que está compuesto principalmente de carbono. La elevada capacidad térmica específica o entalpía del vapor de agua de los gases de combustión permite utilizar también la tecnología de condensación en la combustión del hidrógeno. Durante el cambio de fase del vapor de agua de los gases de combustión al agua líquida, se libera mucha más energía que durante la mera reducción de temperatura en el uso del calor residual. La temperatura de los gases de combustión puede reducirse de 130 °C a 60 °C mediante intercambiadores de calor de condensación, lo que supone un ahorro de combustible de hasta el 7%. Sin embargo, esto requiere un disipador de calor, por ejemplo, para precalentar el agua de proceso o para calentar las naves de producción y las oficinas. En la práctica, la eficiencia global de este tipo de sistemas es de hasta el 103% en relación con el valor calorífico neto, o del 98% desde el punto de vista de la energía primaria. Cuando se utiliza la tecnología de condensación en combinación con la combustión de hidrógeno y la recirculación de los gases de combustión, hay aspectos adicionales

que deben tenerse en cuenta, especialmente en el caso de las calderas de agua caliente/caliente con bajas temperaturas de retorno.

Establecer un suministro energético sostenible
Entonces, ¿qué recomendaciones pueden darse a las empresas para garantizar un suministro de calefacción y calor industrial preparada para el futuro? Alternativas como la incorporación de bombas de calor solo suelen tener sentido para las empresas manufactureras cuando se utilizan para aplicaciones de baja temperatura, por ejemplo, como bombas de calor aire-aire para calefacción. En cambio, muchos procesos de producción requieren vapor y agua caliente, a menudo a temperaturas muy superiores a 100 °C. A temperaturas tan elevadas, el rendimiento (más concretamente, el coeficiente de rendimiento) de las bombas de calor es menor, por lo que su funcionamiento no resulta rentable. Además, a menudo no se dispone de una fuente de calor residual adecuada para abastecer a las bombas de calor de alta temperatura, ya que requieren una potencia varias veces superior a la capacidad necesaria de la caldera.

Por otro lado, el hidrógeno respetuoso con el clima tiene potencial para abastecer procesos de calefacción con altas temperaturas en el rango de los megavatios. Como tal, se considera un instrumento clave en el panorama energético del futuro. Mientras que las fuentes de energía alternativas con compensación anual de CO₂ (biogás, bioaceite) solo están disponibles en un ámbito limitado, una combinación de energía verde (Fig. 5) con hidrógeno y electricidad tiene la oportunidad de sustituir completamente las emisiones de CO₂. Actualmente, los factores

limitantes siguen siendo la disponibilidad del combustible y también la rentabilidad. Sin embargo, la tecnología en sí ya está totalmente desarrollada y preparada para el uso tanto del hidrógeno como de la electricidad. Por tanto, para muchas centrales nuevas es una buena idea incorporar ya interfaces para una conversión posterior y asegurarse de que las calderas estén "preparadas para el hidrógeno" o se fabriquen como híbridas. A menudo también es posible modernizar los sistemas de calderas existentes a un coste razonable, para que luego puedan utilizar combustibles alternativos.

En cualquier caso, comprobar los sistemas existentes para evaluar su idoneidad futura es un paso práctico. Con frecuencia, este proceso descubre muchas posibilidades de ahorrar CO₂, que puede aprovecharse, por ejemplo, mediante equipos de recuperación de calor, lo que se traduce no solo en una disminución de los costes de combustible, sino en una reducción sostenible de la huella de CO₂ de la empresa.

Bosch Industrial Boilers

Nuernberger Strasse 73
91710 Gunzenhausen
Alemania

info.latam@bosch-industrial.com
www.bosch-industrial.com/latam
www.youtube.com/@BoschIndustrialLATAM

© Bosch Industrial Heat | Las figuras sólo sirven de ejemplo |
Sujeto a modificaciones | 08/2023 | HC-IN/MKT_Hidrogeno