

WORKSHOP TÉCNICO

Movilidad terrestre a hidrógeno

12 diciembre 2024

Observatorio
Tecnológico
del **Hidrógeno**

WORKSHOP TÉCNICO
**Movilidad terrestre
a hidrógeno**

**Tecnologías de hidrógeno en
movilidad terrestre:
pilas de combustible vs
motor de combustión interna**

Francisco V. Tinaut

Catedrático del Instituto CMT-UPV

Carmen Soto

Jefa de ingeniería de producto y
homologaciones de Volvo Trucks España

El hidrógeno en Pilas de Combustible y en Motores de Combustión para el transporte

Francisco V. Tinaut

CMT-Clean Mobility and Thermofluids Research Institute

Universitat Politècnica de València.

Camino de Vera, s/n 46022 València (Spain) ftinaut@mot.upv.es

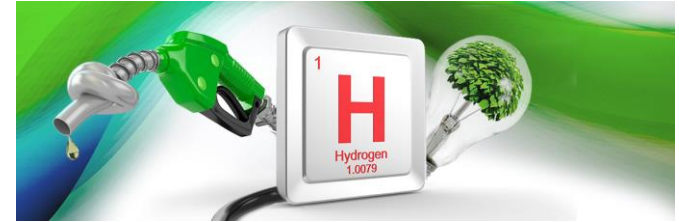
Madrid, 12 diciembre 2024

Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN CON H2

• Ventajas Generales:

- Eliminación de emisiones directas de CO2 → **Descarbonización del transporte**
- Eliminación o reducción de otras emisiones contaminantes directas → Mejora de la **calidad del aire** en ciudades
- Frente a alternativas de recarga de baterías, los **tiempos de repostaje** son **reducidos** (3 min LD, 15 min HD)
- **Autonomías elevadas** entre repostajes (>500 km)
- Integración con energías renovables, con **posibilidad de generar H2 in situ** (fotovoltaica, red eléctrica)



• Inconvenientes Generales:

- Se requiere una **infraestructura de recarga (HRS)** específica
- Introducción de una nueva **tecnología/combustible en los vehículos**, el aparcamiento y el taller de mantenimiento.
- Necesidad de evaluar los **costes de adquisición, de combustible y de mantenimiento**, así como la **fiabilidad y el tiempo de indisponibilidad**.



SISTEMAS DE PROPULSIÓN CON H₂

Aplicación a todos los tipos de vehículos:

- Carretera (ligeros y pesados)
- Raylways (alternativa a los sistemas de catenaria)
- Embarcaciones (mar y aguas interiores)
- Aviones (pilas de combustible y turbinas de gas)
- Vehículos especiales, servicio en zonas restringidas (puertos, aeropuertos, edificios cerrados)
- Vehículos movimiento cargas (por ejemplo, carretillas elevadoras)
- Vehículos y maquinaria off-road

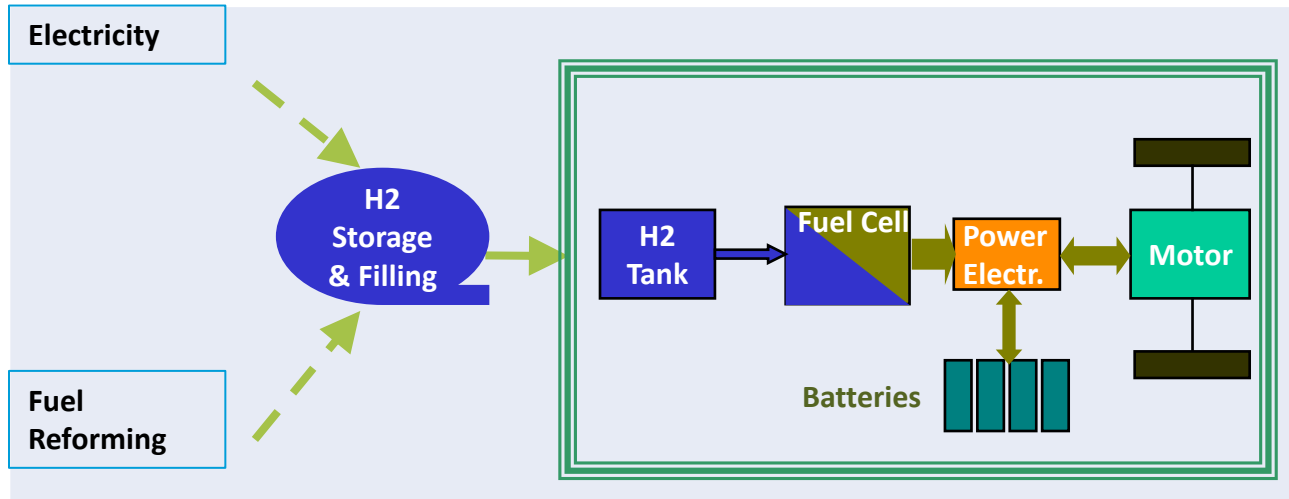


Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Posibilidades para el uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Primera opción: Vehículo con pila de combustible, que usa H2 puro

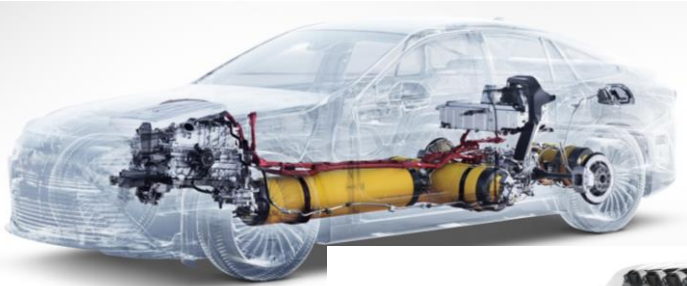
Muy buena opción, siempre que haya una **oferta comercial disponible y asequible**.



Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Primera opción: Vehículo con pila de combustible, que usa H2 puro

Toyota Mirai



Hyundai Nexu



Renault Hyvia Master Van



HYZON FC

Hyundai FC



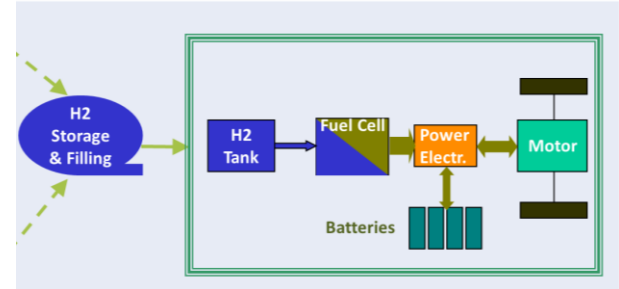
HVS FC

Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE PILA DE COMBUSTIBLE CON H2

- **Ventajas Pilas de Combustible:**
 - Vehículo de propulsión eléctrica → **Muy favorable para tracción**
 - Ausencia total de emisiones (sólo H2O) → **Descarbonización + Calidad del Aire**
 - **Ruido reducido** (sólo rodadura)
 - **Elevada eficiencia energética a bordo** (~10 kg H2/100 km en pesados)

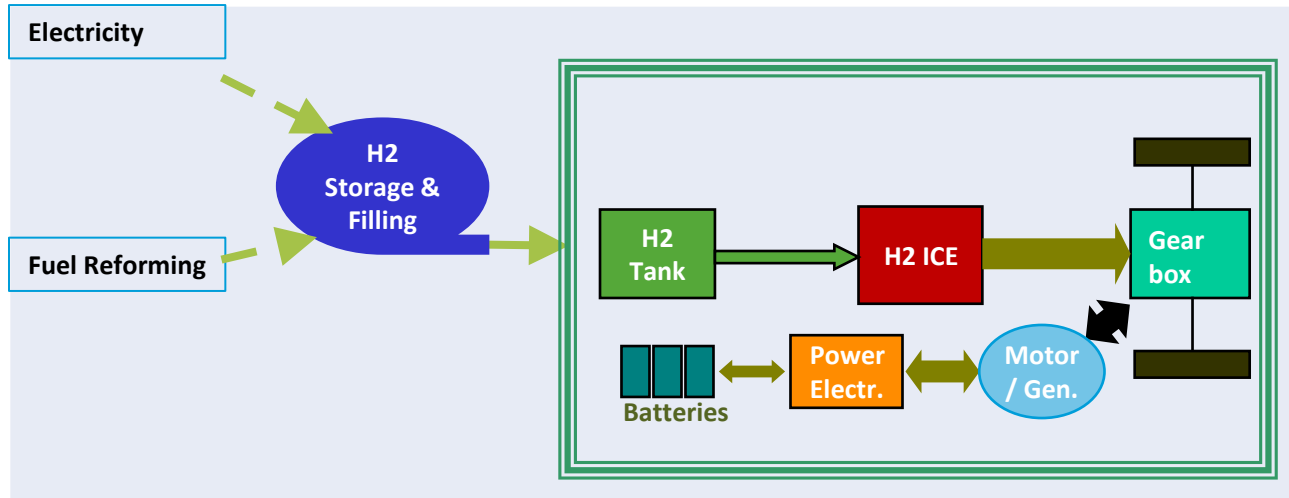
- **Inconvenientes Pilas de Combustible:**
 - **Coste de adquisición del vehículo** muy elevado.
 - **Reducida oferta comercial para camiones:** rígidos, cabezas tractoras
 - Se requiere alimentar la pila con **H2 de alta pureza** (99,999%)
 - Incertidumbre sobre la **duración de la pila de combustible** y las baterías eléctricas (~90 kWh)
 - .../...



Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Posibilidades para el uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Segunda opción: Vehículo con motor de encendido provocado (MEP), usando H2



Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Posibilidades para el uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Segunda opción: Vehículo con motor de encendido provocado (MEP), usando H2

Toyota GR H2 → Competición (9 jun 2023)

AVL

Fabricantes europeos:

- BOSCH (ene 2024)
- MAN hTGX (abr 2024 → 2025)
- VOLVO (may 2024 → 2026)
- DAIMLER TRUCK (jun 2024)
- DAF (ene 2022)



2L, 410 hp (301.7 kW) @ 6,500 rpm.
500 Nm of torque @ 3000 - 4000 rpm,
a mean pressure (BMEP) of 32 bar
(October 11, 2023)

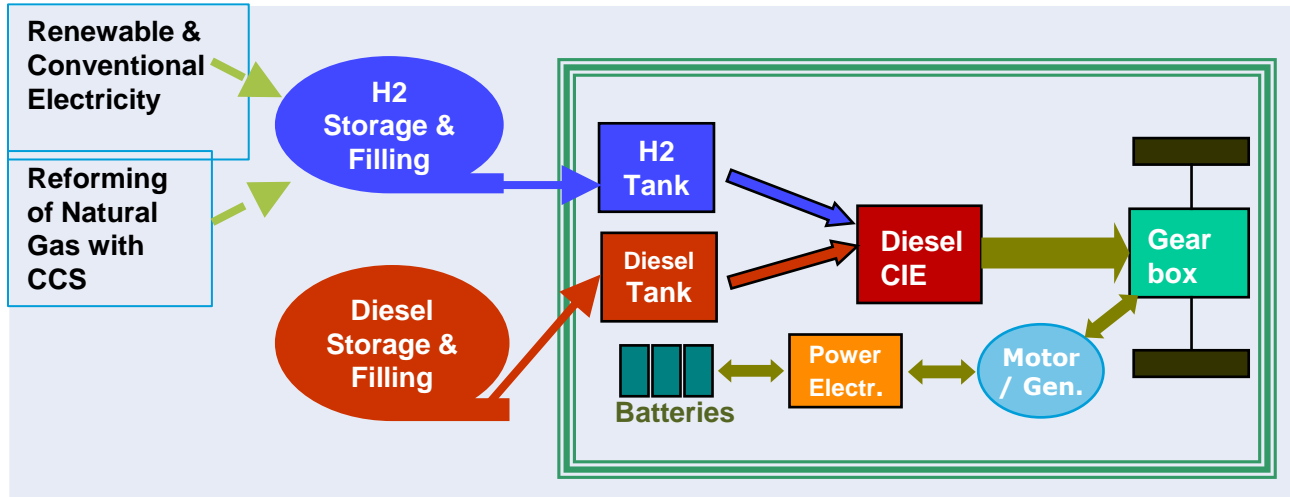


Yamaha V8

Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Posibilidades para el uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Tercera opción: Motor de encendido por compresión (MEC = Diesel), usando H2 con gasóleo, Biodiésel, en % variables. Sustitución típica entre 30 y 50%. En ocasiones, 95%.



Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Posibilidades para el uso del H2 en Sistemas de Propulsión

Tercera opción: Motor de encendido por compresión (MEC = Diesel), usando H2 con gasóleo, Biodiésel, en % variables.

Sustitución típica entre 30 y 50%. En ocasiones, 95%.



**Westport HPDI
Volvo**

Uso del H2 en Sistemas de Propulsión

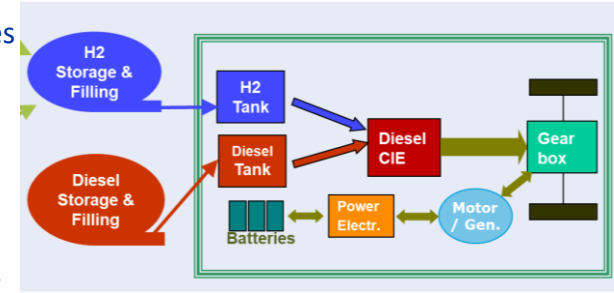
CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS CON MCIA ALIMENTADOS CON H2

• Ventajas MCIA:

- Se usa un MCIA del cual hay gran experiencia tecnológica en Europa otros combustibles
- **Diversas opciones** de combustible: **H2 sólo, o combinado con GN ó diésel**
- La **pureza del H2 puede ser menor** que para pila de combustible
- **Reducción de CO2** en la misma proporción que la cantidad de energía equivalente del H2 (100, 95, 50, 30%)
- **Menor coste del vehículo** (nuevo/transformado) que el basado en pila de combustible
- Se genera **demanda de H2 a corto plazo**, que posibilita el despliegue de sistemas de producción, distribución y dispensación de H2

• Inconvenientes MCIA:

- **Menor eficiencia energética a bordo** (mayor consumo de H2, comparado con FC)
- Necesidad de **postratamiento para emisiones de otros contaminantes** (NOx, HC)
- **Oferta comercial para camiones**: rígidos, cabezas tractoras, **a partir 2026 (?)**
- Para vehículos existentes, se puede realizar una **transformación del sistema de propulsión** → Necesidad de realizar la legalización como *Reforma de Importancia*
- Se requiere el **despliegue de componentes**: bujías, inyectores, depósitos, .../...



El hidrógeno en Pilas de Combustible y en Motores de Combustión para el transporte

Francisco V. Tinaut

CMT-Clean Mobility and Thermofluids Research Institute

Universitat Politècnica de València.

Camino de Vera, s/n 46022 València (Spain)

ftinaut@mot.upv.es

VOLVO

CARMEN SOTO

Jefa de Ingeniería de Producto & Homologaciones



Volvo Trucks España

VOLVO

50%

CO₂ reduction by

2030

100%

CO₂ reduction by

2040

NET ZERO

CO₂ emissions


2050





TRUCK OPERATIONAL CONDITIONS

ENERGY CONSUMPTION
& SEVERITY OF OPERATION



 Battery Electric Vehicle

 Hydrogen Vehicle

 Bio-LNG, e-LNG

VOLVO

ESTRATEGIA DE VOLVO TRUCKS PARA LLEGAR A CERO EMISIONES

Tres tecnologías sostenibles para transporte de mercancías pesadas

BEV



Electricidad

FCEV



Hidrógeno

ICE



Hidrógeno



Biometano



Biodiésel

VOLVO

ESTRATEGIA HACIA EMISIONES CERO

Tecnologías basadas en el Hidrógeno

FCEV



ICE (HPDI)



V O L V O

ICE

Hidrógeno





ICE

Hidrógeno
cespira

Basado en tecnología HPDI
(Motor Volvo GNL)

VOLVO

ICE

Hidrógeno

cespira

Reducción de emisiones de CO₂:

HPDI H₂ – Blue H₂

TTW

97%

WTW

44%

HPDI H₂ – 80% Blue H₂ / 20 % Green H₂

TTW

97%

WTW

49%

HPDI H₂ – Green H₂

TTW

97%

WTW

71%



V O L V O

ICE

Hidrógeno

cespira



Práctico

Motores optimizados para funcionar con hidrógeno, ofrecen ventajas sobre otras vías, permitiendo una adopción acelerada del H2 como parte de un sistema de transporte de mercancías por carretera sostenible.

Eficaz

Los motores equipados con el sistema de combustible HPDI H2 pueden superar el rendimiento de los vehículos diésel pesados actuales, al tiempo que casi eliminan las emisiones de gases de efecto invernadero.

Robusto

El sistema de combustible HPDI H2 es una solución robusta que no requiere hidrógeno extremadamente puro para funcionar, a diferencia de las pilas de combustible.

Rentable

Estos motores HPDI H2 ofrecen mayor rendimiento que los motores H2 ICE de encendido por chispa: eficiencia y densidad de potencia significativamente mayores. Menor costo operativo.

VOLVO

FCEV

Hidrógeno



V O L V O

ce||centric

DAIMLER

Daimler Truck

V O L V O

VOLVO GROUP

JOINING FORCES FOR
HYDROGEN-POWERED
CO₂-NEUTRAL
TRANSPORTATIONS

VOLVO

FCEV
cellcentric

Hidrógeno



Pila de Hidrógeno PEM

VOLVO

FCEV

Hidrógeno
cellcentric

**CAPACIDAD DE
COMBUSTIBLE**

60 – 80 kg H₂
(700 bar)

POTENCIA

420 kW
(+300 kW
CC en Pila)

**CAPACIDAD DE
ENFRIAMIENTO**

350 kW

**CAPACIDAD DE
BATERÍA**

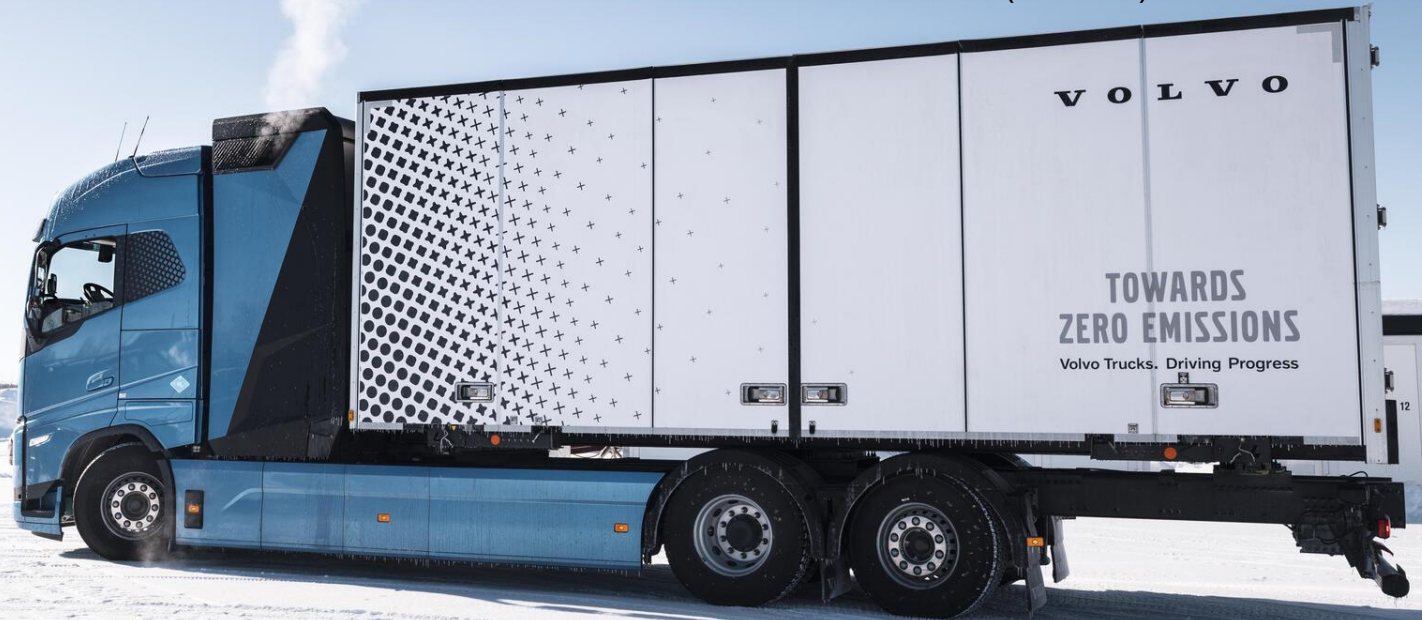
20 – 30 kWh
(100 kW)

**CAPACIDAD DE
CARGA**

44 toneladas

**DEMANDA
AUTONOMÍA UE**

1.200 km (LH)



V O L V O

FCEV

cellcentric

Hidrógeno

Comercialización

Camiones eléctricos de pila de combustible disponibles comercialmente en la segunda mitad de esta década.

Autonomía

Las aplicaciones más pesadas, +1000 km de autonomía y <10 minutos de tiempo de repostaje.

Desarrollo

Tecnología e infraestructura, estándares, regulación, aceptación y disponibilidad de hidrógeno verde





Testing fuel cell electric truck



Observatorio
Tecnológico
del **Hidrógeno**

WORKSHOP TÉCNICO
**Movilidad terrestre
a hidrógeno**

**Avance tecnológico en
los sistemas de inyección
para motores de
combustión interna**

José Luis Blasco

Product Management Director de
Westport Fuel Systems

Inyección H2 ICE

Jose Blasco

December 2024



Westport Fuel Systems y el H2

- Westport lleva más de dos décadas siendo el líder mundial en sistemas de inyección de combustibles gaseosos, incluido H2.
- WFS ha invertido fuertemente para convertir su gama de productos GNC y GNL a H2. La gama de productos resultante cubre todos los elementos de un sistema de alimentación de combustible para motores HPDI y SI.

WFS and H2 components – Product Portfolio



High Pressure Regulators



Electronic Controls & Software



Low Pressure Fuel Control



Complete hydrogen fuel system solutions from high pressure tank valves to low pressure electronic fuel control at fuel cell or engine



Tank Valves



Integrated Tank Valve Regulators



Pressure Relief Devices



Lo que todo el mundo sabe – Tipos de H2 ICE

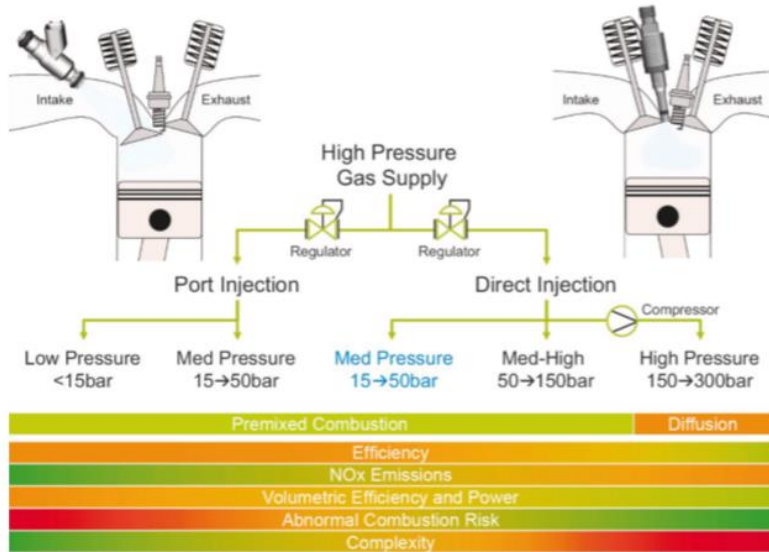
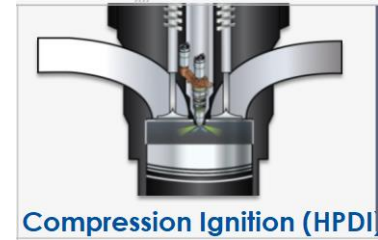


Fig. 2: System architecture options for gaseous fuels



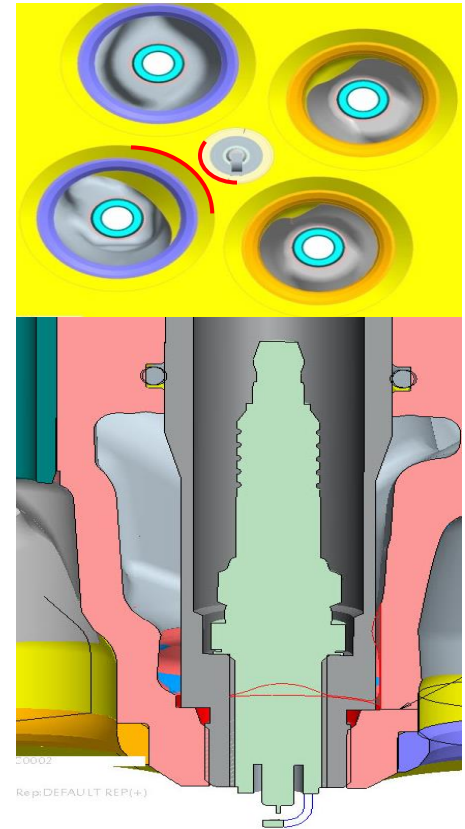
WFS Proprietary fuel system



Imagen: BorgWarner Knowledge Library 2021

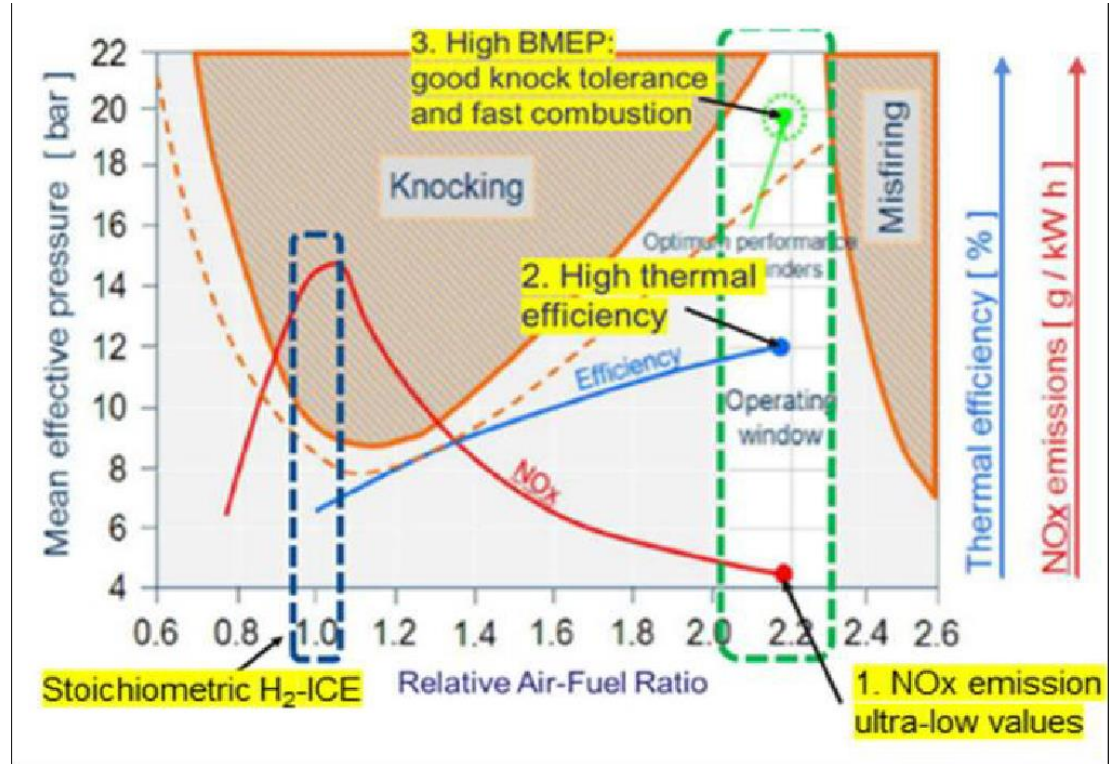
Lo que sabe bastante gente – De Diesel a H2

- Sistema de alimentación de Hidrógeno
- Sistema de encendido: Bujías y bobinas. Materiales, energía y características.
- Control del aceite: Resistencia al agua condensada, lubricación y fugas a la cámara de combustión. Aceites especiales para hidrógeno.
- Motor base: Control de temperaturas, compatibilidad de materiales... DURABILIDAD y FIABILIDAD
- Sistema de alimentación de aire: Elección de turbo, VGT o WGT, EGR...
- Expectativas de rendimiento y potencia específica: en GNC approx. 30 KW/l...
- Tratamiento de los gases de escape y contaminantes: Catalizador de reducción, regeneración
- Control del agua, ventilación del bajo motor
- Almacenamiento a 350 o 700 bar, estrategias de repostaje, control de los tanques, seguridad y diagnósticos especiales. Reglamentos y certificaciones.



Lo que mucha gente no sabe – Cómo quemar H2

- Para evitar picado (knock) o apagado de llama (misfire), nuestro objetivo es preparar una combustión con una relación estequiométrica de 0.5 (Lambda 2 aprox.).
- Alrededor de Lambda 2 obtenemos las menores emisiones de Nox y la mejor estabilidad en la combustión.
- En motores de competición o con necesidades de potencia específica mayores, es normal utilizar un sistema de inyección de agua vaporizada para poder operar a Lambdas más bajas.
- Manteniendo el motor dentro de la Ventana Lambda 2-2.2 un motor puede alcanzar potencias específicas similares al mismo motor diesel en condiciones de laboratorio. En condiciones de operación comercial, puede alcanzar potencias específicas del 85% aprox.



Lo que no sabe casi nadie – Cómo quemar H₂, pero bien

- Los sistemas de encendido son críticos para obtener un motor fiable. Son necesarios sistemas específicos para hidrógeno debido a las características particulares del combustible, tanto antes como durante y después de la combustión.
- La bujía y bobinas han de ser específicamente desarrolladas para la combustión de hidrógeno (baja energía, Resistencia al agua, comportamiento eléctrico)

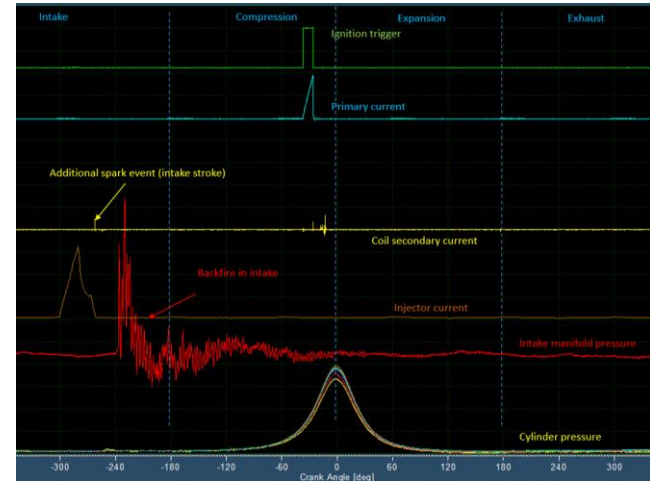
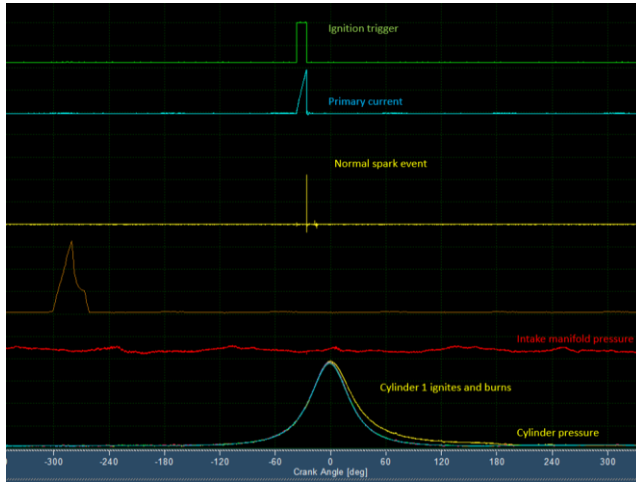


Imagen: Ashok Leyland/WFS 2023

Lo que no sabe casi nadie – Donde estamos hoy

- JCB ya tiene motores de H2 ICE orientados a Offroad a la venta en varios mercados.
- Prácticamente todos los fabricantes de vehículos comerciales de Carretera tienen programas activos de desarrollo de motores H2 ICE. La mayoría apuesta por LPDI y está esperando a resolver los problemas de fiabilidad de los inyectores y el control de emisiones.
- Algunos fabricantes han apostado por ser “First to market” en sus regiones y han apostado por la inyección indirecta, como JCB en Europa.
- WFS está desarrollando programas de PFI, LPDI y HPDI en varios mercados. Algunos fabricantes pasarán la homologación de motor en Q1-25 y han completado ensayos de durabilidad.
- Todas las regiones principales tendrán uno o varios vehículos comerciales de tamaño medio-pesado a la venta en 2025 o 2026, con tecnología PFI.



Imagen: Ashok Leyland/WFS 2023

El presente H2 ICE



WORKSHOP TÉCNICO

Movilidad terrestre a hidrógeno

12 diciembre 2024