



Tendencias en trenes de potencia con celdas de combustible

1st Training in Bahia Blanca, ARG
12-14th of November 2018



"The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein."

FOR EDUCATIONAL PURPOSE ONLY

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Celdas de combustible

Funcionan con hidrógeno y aire => ¡emitiendo solo agua!

¿La solución definitiva???



Celdas de combustible - Preguntas

Preguntas básicas:

- ¿Qué podemos esperar de las celdas de combustible (CC)?
- ¿Qué son las celdas de combustible?
- ¿Cuál es el impulsor de las celdas de combustible y qué pueden hacer las celdas de combustible mejor que las baterías?
- ¿Compiten con las baterías?
- ¿Cuáles son las desventajas y deficiencias?



Participación activa: trabajo grupal

- Armamos grupos de 2 a 4 personas
- Trabajo grupal (5-10 min):
- Tómense unos minutos e intenten responder estas preguntas sobre las celdas de combustible
- Escriban los resultados



Celda de combustible - Fundamentos

Principio básico:

- La celda de combustible (CC) es un convertidor electroquímico de energía con suministro continuo de combustible y oxidante (aire, similar a motor de combustión interna (MCI))
- La CC es un “convertidor directo de energía”
- La celda tiene una eficiencia muy alta, de hasta 70 % - 90 %
- Pequeña pérdida de calor = “combustión fría”
- Sin partes móviles, excepto los auxiliares (compresor y bombas)
 - Sin ruido (bajo)
- Sin CO₂, sin contaminantes, solo agua y vapor



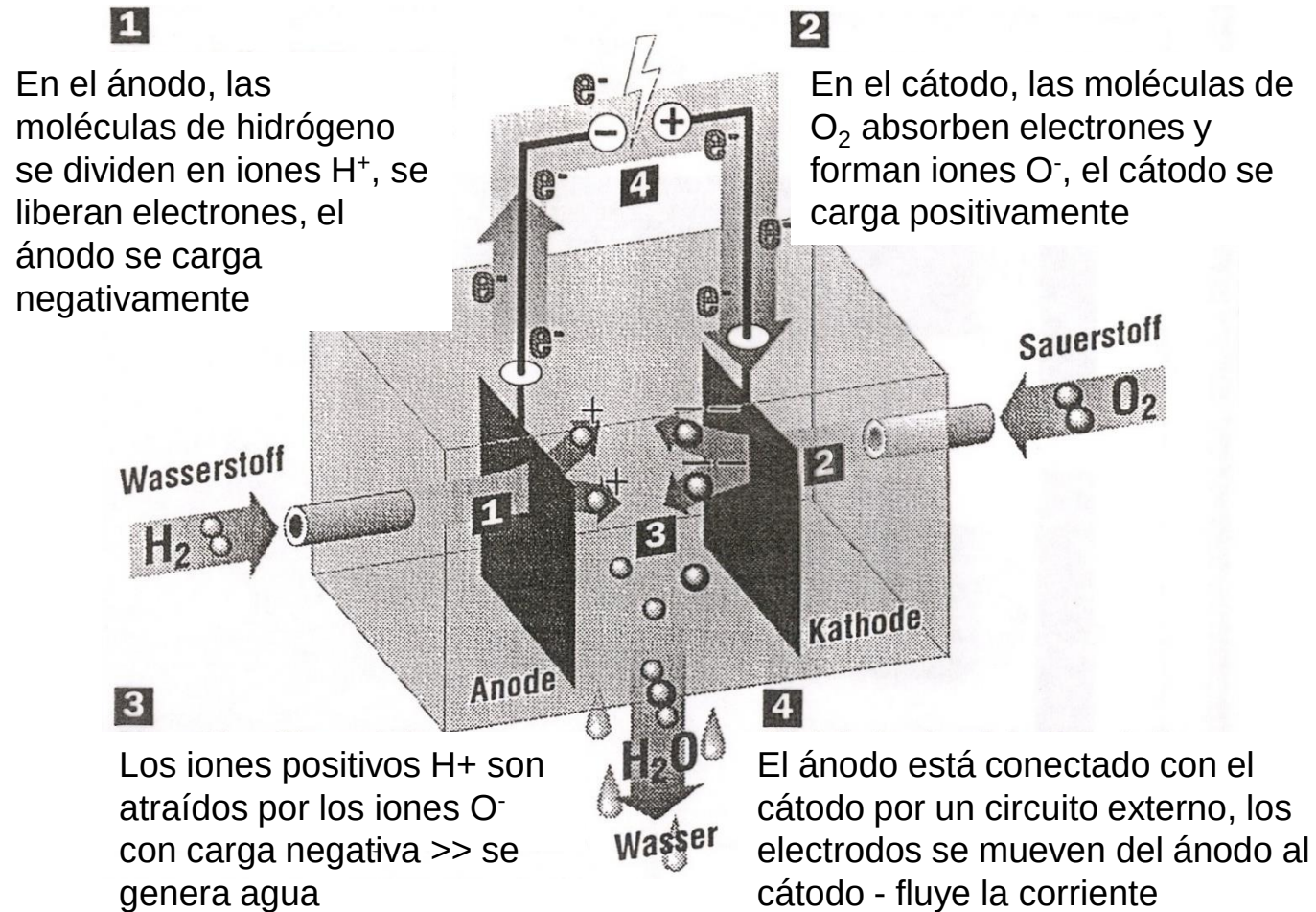
Celda de combustible - Fundamentos

Principio básico:

- Reacción general básica (reacción de gas hidrógeno, fría)
 - $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \Rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- Electrolito
 - base (NaOH, KOH)
 - ácido (H_2SO_4 , H_3PO_4)
 - sólido (polímero, cerámica)
- Los electrodos necesitan metales preciosos para la activación (¡caros!)



Celda de combustible - Principio



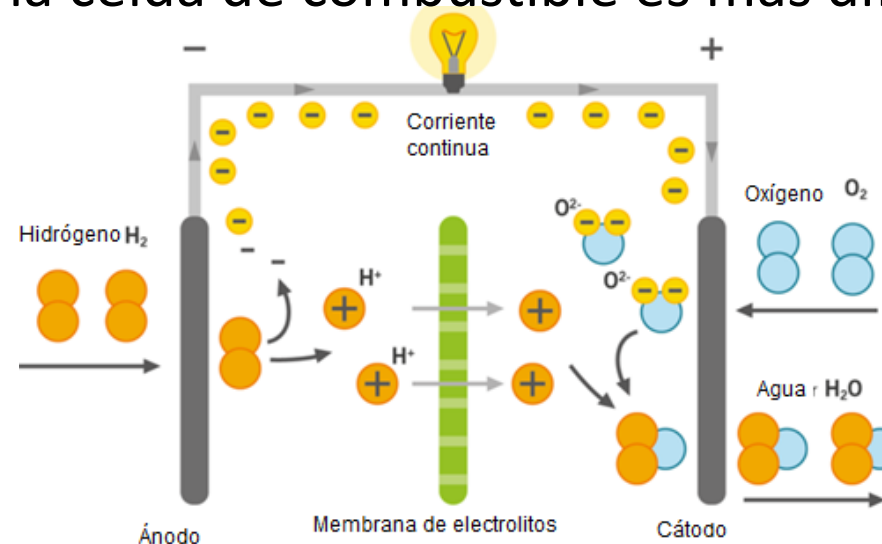
Celda de combustible – Principio II

- El voltaje teórico de una celda de combustible de hidrógeno/oxígeno es 1,23 V a 25 °C
- El voltaje depende del combustible, la calidad de la celda y la temperatura.
- Para obtener voltajes mayores, se conecta una gran cantidad de celdas en serie
 - Así se construyen las llamadas pilas de celdas de combustible
- Bajo carga, los procesos químicos y eléctricos dan como resultado menor tensión
 - Con celdas de combustible reales pueden lograrse voltajes entre 0,5 – 1 V



Celda de combustible – Principio III

- Una celda de combustible entrega aproximadamente la misma cantidad de energía eléctrica y calor
- El nivel de temperatura del calor disipado es relativamente bajo
 - Esto significa que la diferencia de temperatura con la temperatura ambiente es baja
 - Por lo tanto el enfriamiento de una celda de combustible es más difícil que el enfriamiento de un MCI

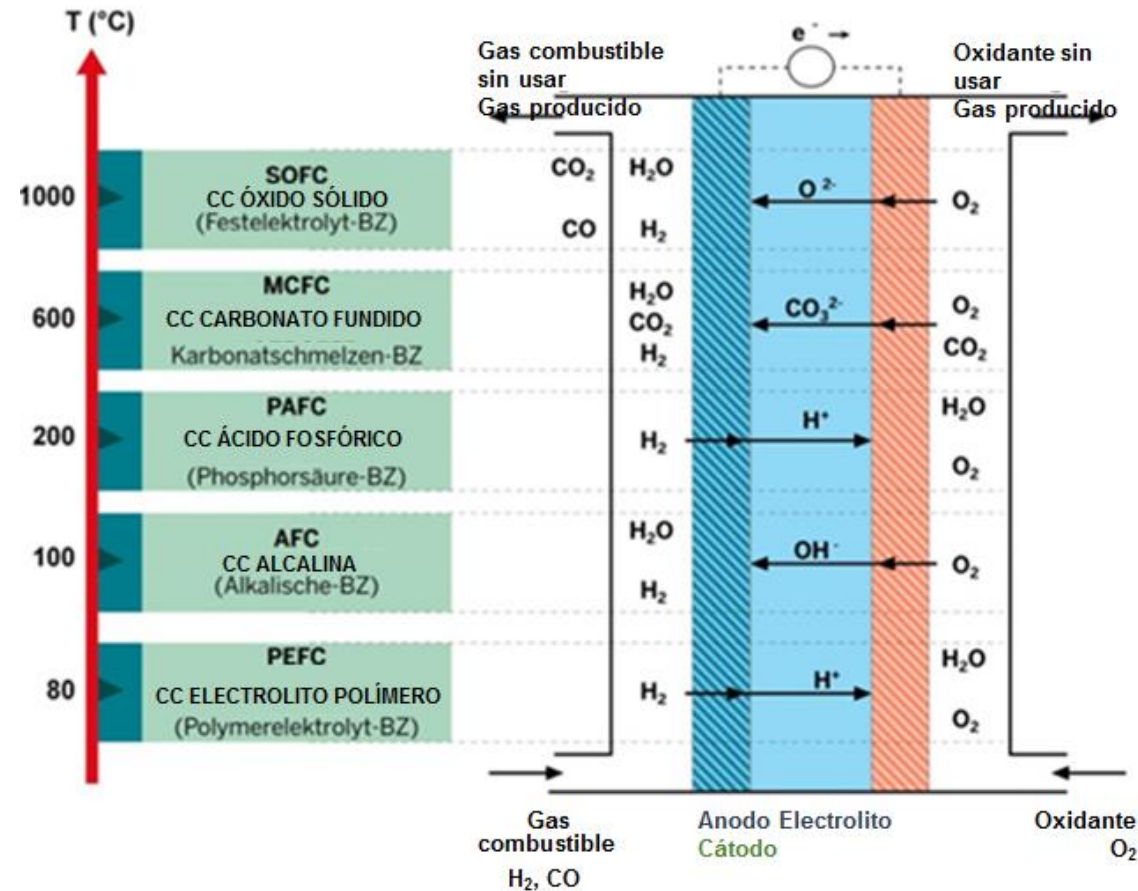


Tipos de celdas de combustible

Tipo de celda de combustible	Temperatura operativa	Electrolito	Conducción iónica	Gas combustible	Oxidante	Tolerancia CO ₂	Eficiencia eléctrica	Aplicación	Comentarios
AFC Celda de combustible alcalina	60 - 80 °C	KOH(OH ⁻)	OH ⁻	H ₂	O ₂	< 1 ppm	Cel.: 60 - 70 % Sist.: 60%	Espacial, militar, vehículos	necesita H ₂ y O ₂ puros ¡corrosión!
DMFC CC de metanol directo	~ 80 °C	Membrana conductora de protones	H ⁺	CH ₃ OH	O ₂ (Aire)		Cel.: 20-30 %	Pequeños dispositivos, camping	baja eficiencia
PEMFC Baja temp CC c/membrana de polímero	60 - 120 °C	Membrana conductora de protones	H ⁺	H ₂	O ₂ (Aire)	< 100 ppm	Cel.: 50 - 75 % Sist.: 45 - 60%	Vehículos, espacial, dispositivos estáticos	densidad potencia alta
PEMFC Alta temp CC membrana de polímero	120 - 200 °C	Membrana conductora de protones	H ⁺	H ₂	O ₂ (Aire)	< 500 ppm	Cel.: 50 - 75 % Sist.: 45 - 60%	Vehículos, espacial, dispositivos estáticos	densidad potencia alta
PAFC CC de ácido fosfórico	160 - 200 °C	Acido fosfórico concentrado	H ⁺	H ₂	O ₂ (Aire)	< 1 %	Cel.: 55 % Sist.: 40%	central eléctrica + pequeña vehículos grandes	problemas de corrosión
MCFC CC de carbonato fundido	~ 650 °C	Carbonato alcalino	CO ₃ ²⁻	CH ₄ ; Coal & bio gas, H ₂	O ₂ (Aire)	ok	Cel.: 55 % Sist.: 50%	centrales eléctricas vehículos grandes	Operación compleja, problemas de corrosión
SOFC CC de óxido sólido	~ 1000 °C	Óxido de circonio dopado	O ²⁻	H ₂ , CO, hidrocarburo n	O ₂ (Aire)	ok	Cel.: 60 - 65 % Sist.: 55 - 60 %	centrales eléctricas unidades de potencia aux.	



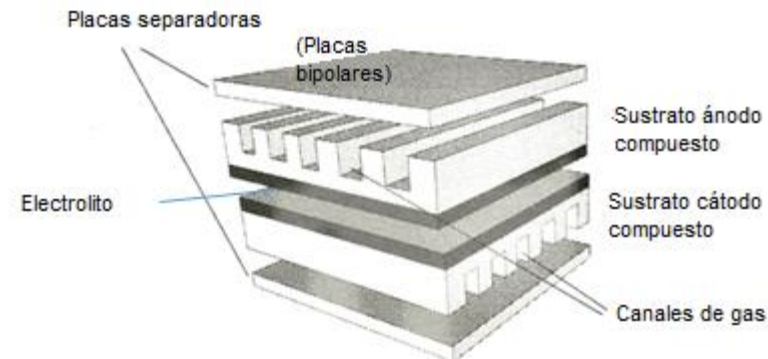
Rangos de temperatura de los tipos de celda de combustible



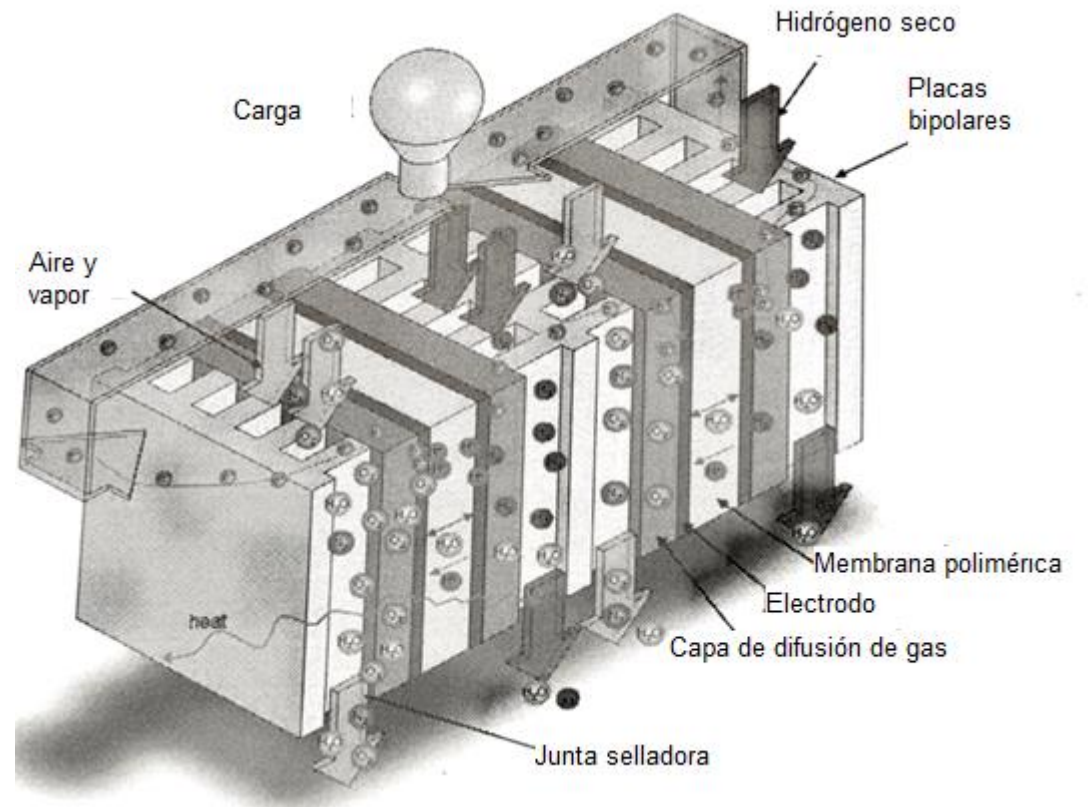
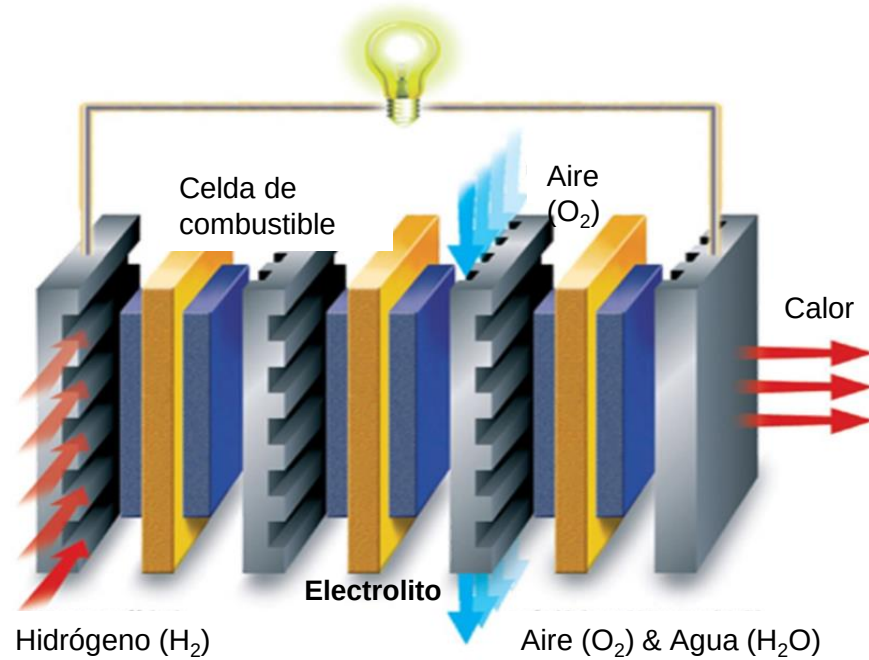
Diseño de una celda de combustible PEM

Celda de combustible con membrana de intercambio de protones PEMFC:

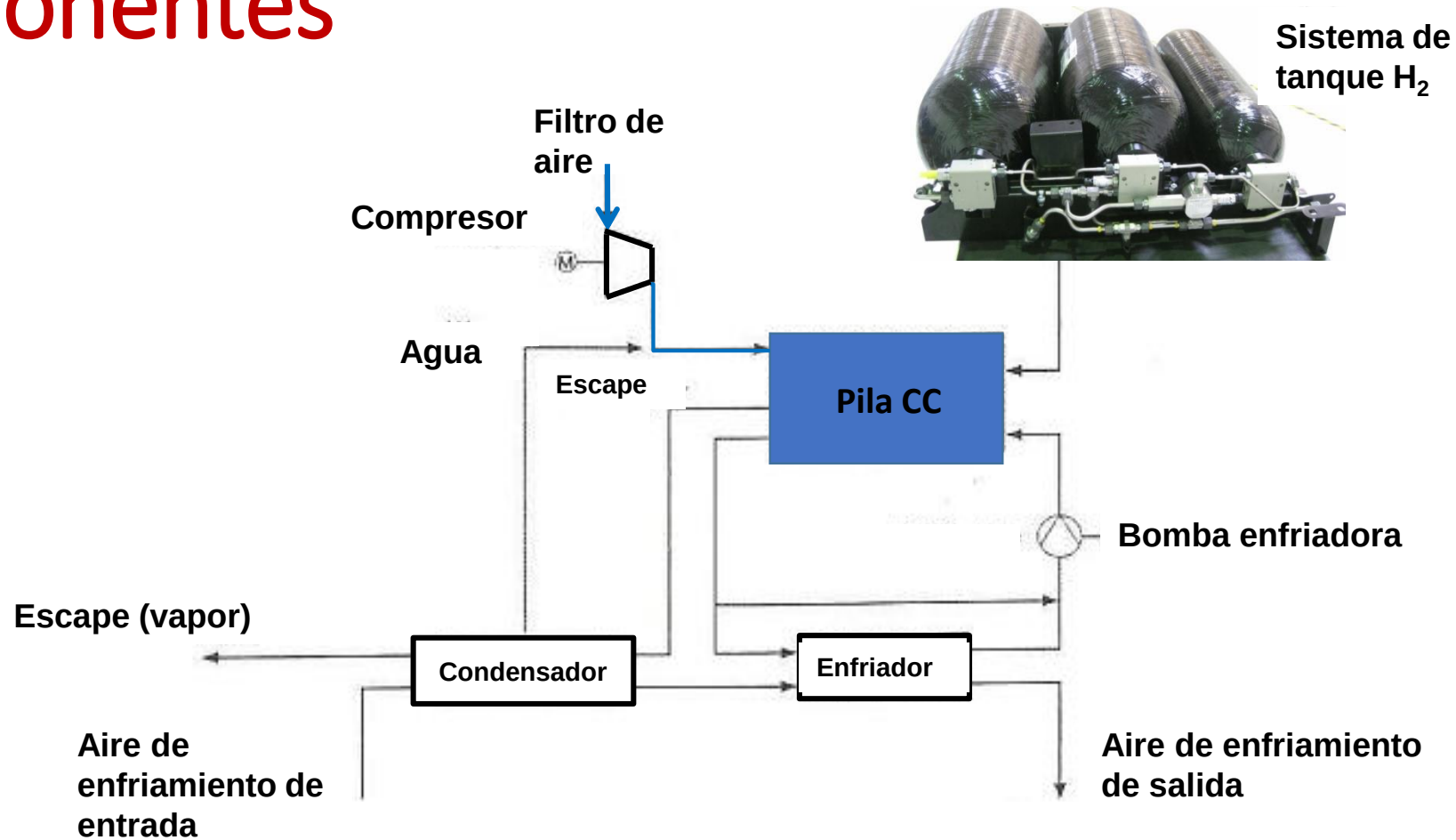
- Placa bipolar en forma de electrodos con canales de gas fresados (flujo de gas optimizado CFD)
- Papel de carbono poroso
- Capa reactiva, en la mayoría de los casos en la membrana de ionómero; luego hay cuatro fases en contacto poroso: catalizador (Pt), conductor de electrones (hollín o materiales nanocarbónicos), conductor de protones (ionómeros)
- Membrana de ionómero conductora de protones; a prueba de gas y no conductora para electrones



Diseño de la pila



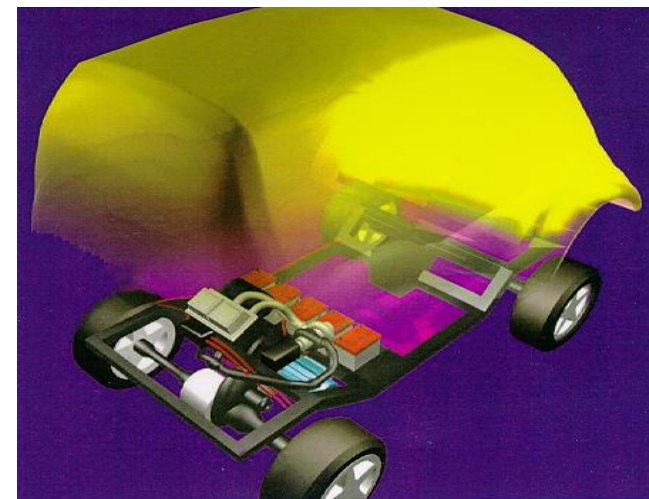
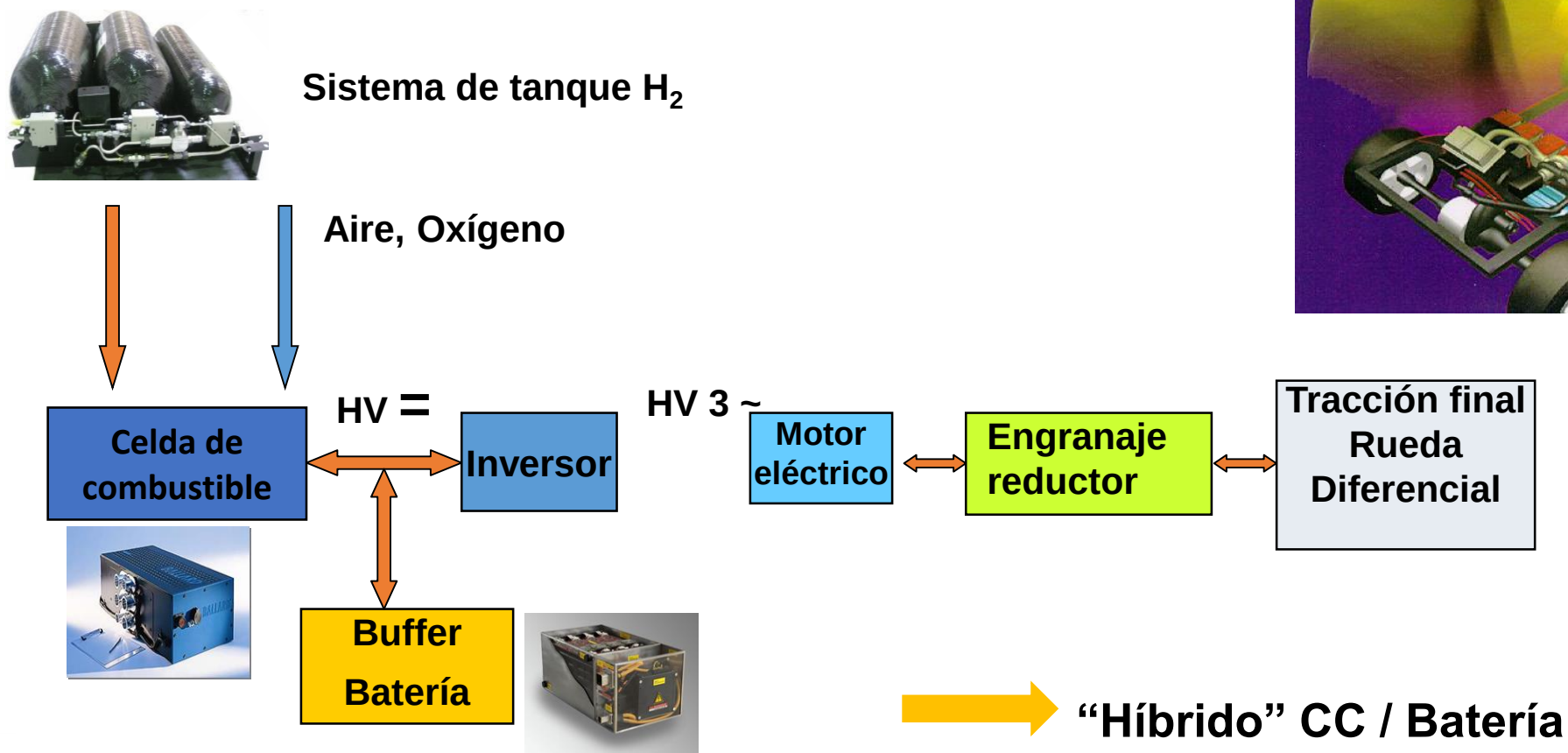
Celda de combustible- Sistema – H₂ / Aire - componentes



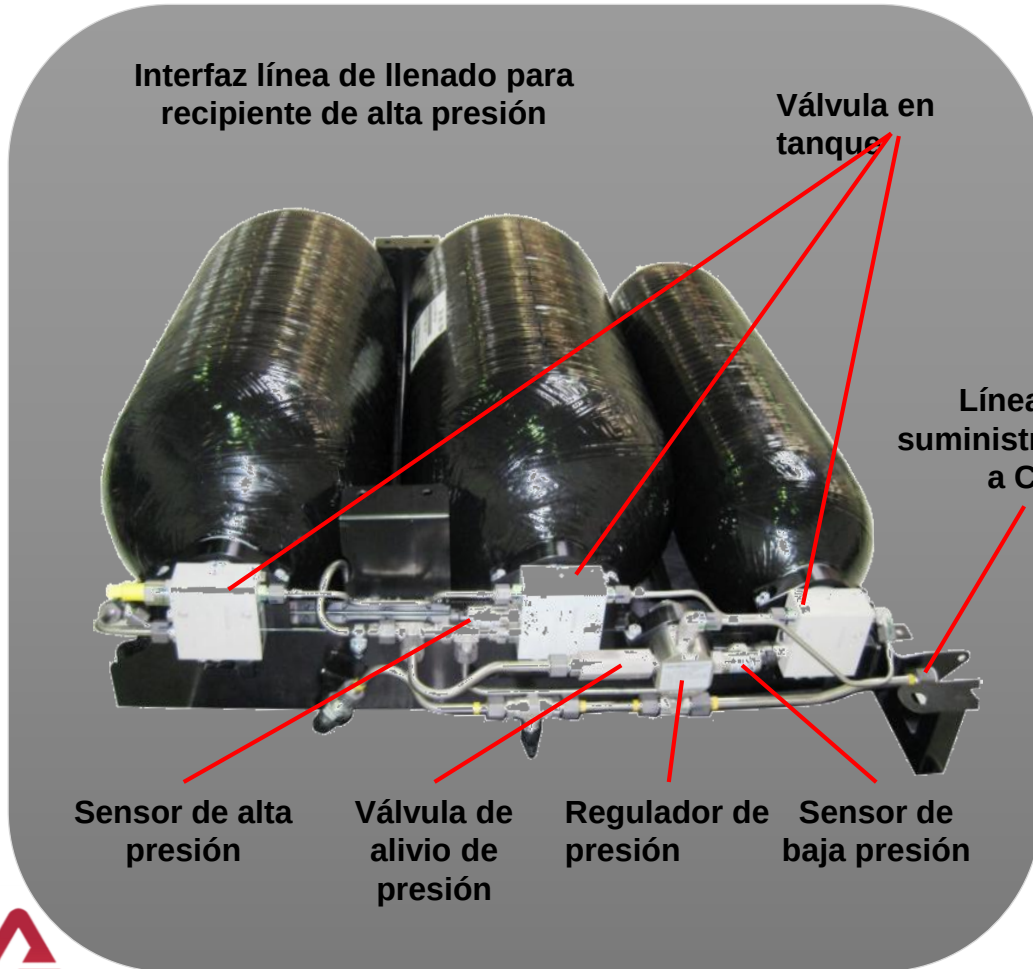
Auxiliares: filtro de aire, compresor, bomba enfriadora, condensador, enfriador, humidificador

Tren de potencia de celda de combustible

Disposición principal / Componentes:



Almacenamiento de alta presión para hidrógeno



Especificaciones del sistema de almacenamiento:

- Cilindro compuesto totalmente envuelto con revestimiento plástico (Tipo IV)
- Presión de almacenamiento hasta 70 MPa
- Revestimiento plástico como barrera para la permeación de hidrógeno



Aspectos generales de los vehículos con celdas de combustible

- Especificaciones típicas de los vehículos con celda de combustible actuales:
 - Celda de combustible PEM
 - Apr. 5 kg de H₂ en tanques de combustible a 700 resp. a 350 bar
 - SUV, medianos y compactos => híbrido a batería, sin transmisión
 - Autonomía >500 km, potencia típica 100 kW capacidad de transporte completa
- Casi todos los fabricantes de equipos originales están desarrollando FCV
 - Compromiso de desarrollo e introducción en el mercado de FCV en 2015 – 2017 de:
 - Daimler AG, Ford Motor Company, General Motors Corporation/Opel, Honda Motor Co., Ltd., Hyundai Motor Company, Kia Motors Corporation, die Allianz Renault SA y Nissan Motor Co., Ltd. y Toyota Motor Corporation



Celda de combustible Hyundai ix35

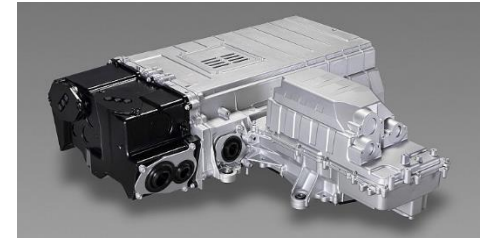


Primera producción en serie de vehículos con celda de combustible de hidrógeno



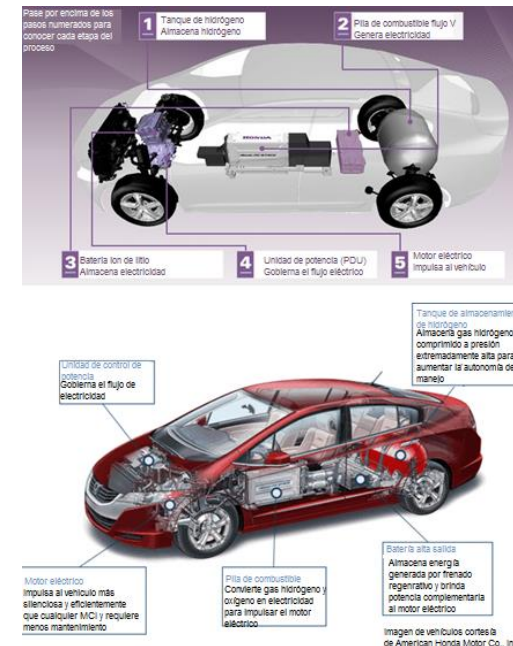
Toyota FCV - Nuevo modelo 2015

- Especificaciones Toyota FCV 2015:
 - Potencia 100 kW; 65 % ef.; 3kW/Litro
 - Autonomía: 500 km a 700 km (JC08)
 - Capacidad de arranque en frío: -30°C
 - Precio < 80000 €
- Mejoras con respecto al anterior (FCHV 2008):
 - ¡Los costos de la celda de combustible se redujeron un 80 %!
 - Cantidad de tanques reducida => más espacio interior



Honda FCX - Clarity

- Especificaciones Honda FCX– Clarity:
 - Motor eléctrico de 100 kW en eje frontal
 - Celda de combustible de hidrógeno en el túnel
 - Gran tanque de hidrógeno sobre eje posterior compromete el espacio en el baúl



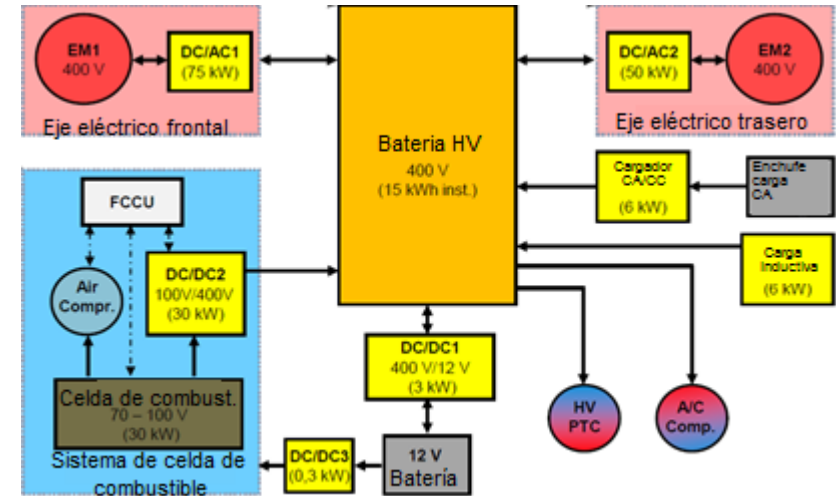
Audi A7 h-tron (2015)

- Especificaciones Audi A7 h-tron:
 - FCV Plug-In
 - CC PEM que opera a $\sim 80^{\circ}\text{C}$;
 - Capacidad de arranque en frío: -28°C
- 4 tanques de hidrógeno
 - 5 kg a 700 bar
 - ~ 100 km por kilo de hidrógeno
 - Batería: Li-Ion 8,8 kWh
 - Autonomía 500 (50 eléctricos puros) km
- 2 motores eléctricos PSM calificados 85/114 kW
 - Tren de potencia con eficiencia $\sim 60\%$
 - 0 – 100 km/h en 7,9 s



Magna Steyr FC-REEV - vehículo eléctrico con autonomía extendida con CC

- Mercedes E-Vito (Bolt) Base
- Combinación de una batería de mayor capacidad con una CC de menor potencia (=REX)
- Aplicación: furgoneta de reparto para más de un turno



Tren de potencia con celda de combustible - Conclusión

Desventajas

- Aún es caro (materiales preciosos y metales catalizadores)
- Difícil de gestionar (en especial el manejo del agua)
- Dinámica (control)
- Estabilidad y degradación
- Problemas de arranque (duración hasta que está listo), ¿resuelto?
- Problema de arranque en frío (con helada), ¿resuelto?
- Necesidad de una batería de arranque/buffer (= híbrido batería)
- Generación de hidrógeno, almacenamiento, infraestructura de carga



Tren de potencia con celda de combustible - Conclusión

Ventajas:

- Sin emisiones (¡ZEV real!)
- Sin partes móviles, menos ruido (salvo el compresor)
- Alta eficiencia en condición de carga parcial (tránsito en la ciudad)
- Parte de la inminente sociedad/edad del hidrógeno
- Mejor autonomía que el tren de potencia eléctrica pura



Tendencias en tren de potencia con celdas de combustible

- ¿Preguntas?



"The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein."

FOR EDUCATIONAL PURPOSE ONLY

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

