

# ENERGÍA POR CELIDAS DE COMBUSTIBLE

# INTRODUCCIÓN

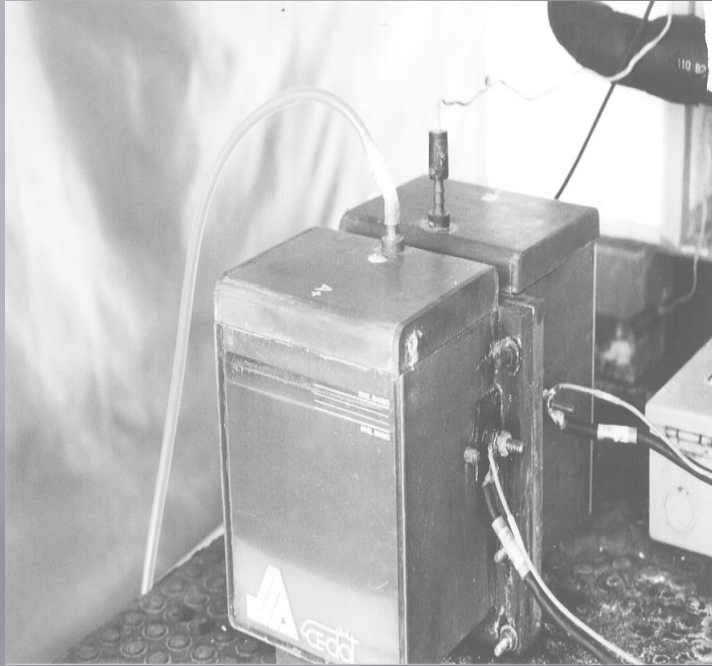
Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica., puede generar electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. Estas celdas no se agotan como lo haría una batería, ni precisan recarga, ya que producirán energía en forma de electricidad y calor en tanto se les provea de combustible. En la práctica, la corrosión y la degradación de materiales y componentes de la celda pueden limitar su vida útil.

Así en teoría, cada molécula de hidrógeno gas producirá dos electrones libres y junto con un átomo de oxígeno reducido se generará una molécula de agua. Tal reacción electroquímica es exotérmica, por lo que además el calor desprendido puede ser utilizado y así aumentar la eficiencia de las celdas de combustible. Estas características de lograr alta eficiencia durante la generación de electricidad y la ventaja de presentar cero emisiones contaminantes cuando el combustible es hidrógeno hacen de las celdas de combustible las mejores candidatas para la generación de energía eléctrica.

# MARCO TEÓRICO

La primera celda fue construída en 1839 por Sir Willian Grove, un juez y científico galés que demostró que la combinación de hidrógeno y oxígeno generaba electricidad además de agua y calor. El verdadero interés en celdas de combustible como un generador práctico vino hacia comienzos de los años 60 de nuestro siglo, cuando el programa espacial de los Estados Unidos seleccionó las celdas de combustible para proporcionar electricidad y agua a las naves espaciales *Gemini* y *Apollo*. Hoy en día, la aplicación espacial ya no es la única de tipo práctico, puesto que las celdas de combustible están atravesando por un gran momento, al haber alcanzado una etapa tecnológica que les permite estar en posición de competir cada día más con las tecnologías convencionales de generación eléctrica, ofreciendo enormes ventajas sobre ellas.

# Celdas de combustible



Son aparatos electroquímicos análogos a las baterías convencionales, ambos poseen electrodos positivos y negativos y un electrolito.

Sin embargo, a diferencia de las baterías que pueden suministrar potencia sólo por un tiempo definido, luego del cual hay que recargarlas o reemplazarlas, la celda de combustible puede operar continuamente, es decir, produce electricidad mientras esté siendo alimentada con combustible y oxidante.

- ▣ La reacción química que ocurre en la celda de combustible es isotérmica y continua. Las celdas de combustión no están limitadas por el Principio de Carnot, por lo que pueden alcanzar una mayor eficiencia teórica en la conversión de energía, mientras que las reacciones de combustión involucran grandes variaciones de temperatura lo cual genera energía como calor o calor y trabajo. Las pérdidas excesivas que se producen en los sistemas de conversión de energía de varias etapas pueden evitarse mediante el uso de celdas de combustible que hacen la conversión en un proceso de una sola etapa.

# Partes de la Celda de Combustible

- ▣ **Los electrodos.-** Separan al combustible y al oxidante del electrolito. Y están hechos de materiales porosos para incrementar el área sobre la cual ocurre la reacción.

*Ánodo:* Suministra los electrones al circuito externo.

*Cátodo:* Recibe los electrones del circuito externo.

- ▣ **El electrolito.-** El tipo de electrolito usado clasifica a las celdas de combustible, y determina el flujo de iones y la temperatura de operación de la celda. Puede ser:
  - Ácido → Transportando iones positivos  $H^+$
  - Alcalino → Transportando iones negativos  $OH^-$ .
  - Acuoso, líquido y también sólido → Son adecuados para celdas que funcionen a elevadas temperaturas.
- ▣ **El combustible.-** Los utilizados son el hidrógeno, el gas natural, hidrocarburos ligeros, etc.; sin embargo, el hidrógeno gaseoso es el único que podría ser el de mayor aplicación, ya que tiene el más alto contenido de energía por unidad de peso que cualquier otro combustible y en caso de accidente se dispersa rápidamente.
- ▣ **Catalizadores.-** En las celdas de combustible de baja temperatura que usan electrolitos acuosos se requerían metales nobles caros, tales como el platino para aumentar la velocidad de la reacción en los electrodos.
- ▣ **Oxidante.-** Aunque el oxígeno es el gas oxidante, no es necesario utilizarlo puro, ya que para muchas de las aplicaciones se usa el aire como el oxidante.

# TIPOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

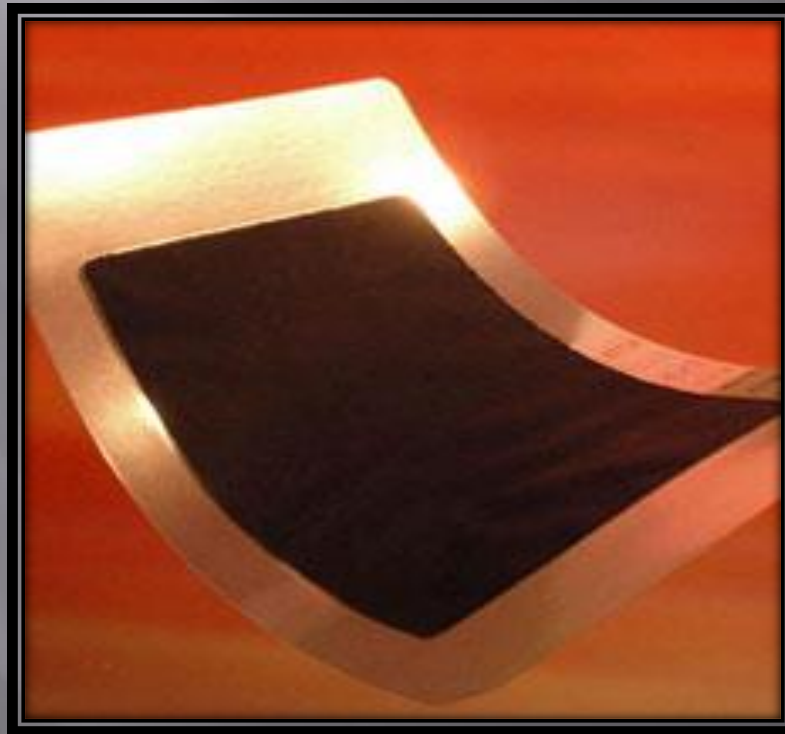
Tipo	Electrolito	Temperatura de Operación (°C)	Características Especiales	Aplicaciones
Celda de combustible alcalina (AFC)	Solución de hidróxido de potasio diluido.	60 a 120	Alta eficiencia, adecuada sólo para el hidrógeno puro y el oxígeno.	Sistemas espaciales, sistemas de defensa.
Celda de combustible de membrana de intercambio de protones(PEM)	Membrana polímero conductora de protones.	20 a 120	Comportamiento de la operación muy flexible, densidad de alta potencia.	Vehículos, generación descentralizada de electricidad (plantas pequeñas).
Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC)	Ácido fosfórico	160 a 220	Eficiencia limitada, problemas de corrosión.	Generación de electricidad descentralizada, potencia y calor combinados.
Celda de combustible de carbonato fundido (MCFC)	Carbonatos diluídos	600 a 650	Control de proceso complejo, problemas de corrosión.	Generación de electricidad centralizada y descentralizada, potencia y calor combinados.
Celda de combustible de óxido sólido (SOFC)	Bióxido de Zirconio sólido	850 a 1000	Potencia eléctrica directa del gas natural, tecnología de cerámica. (altas temperaturas)	Generación de electricidad centralizada y descentralizada, calor y potencia combinados.



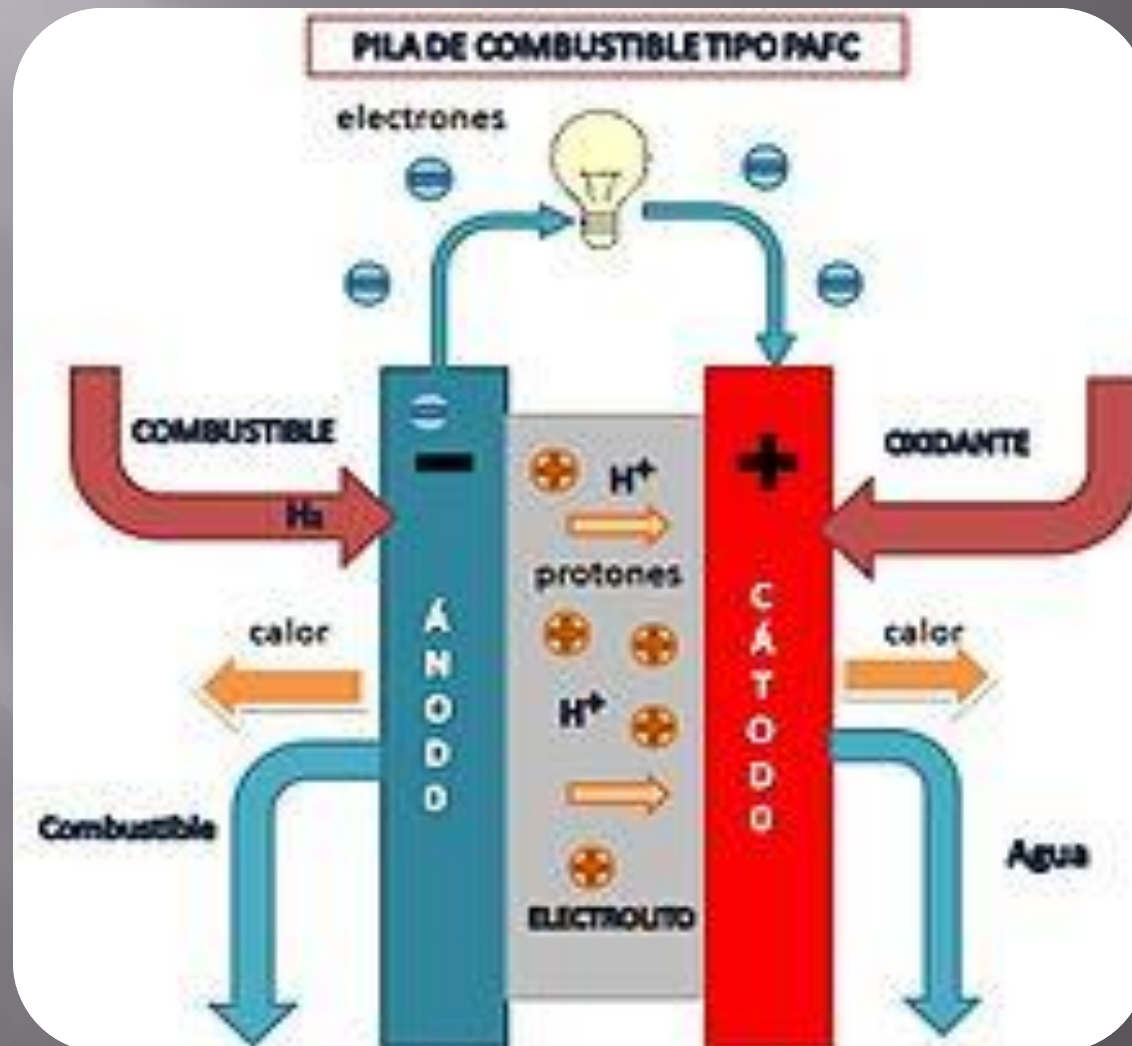
# Celda de combustible alcalina (AFC)



# Celda de combustible de membrana de intercambio de protones(PEM)



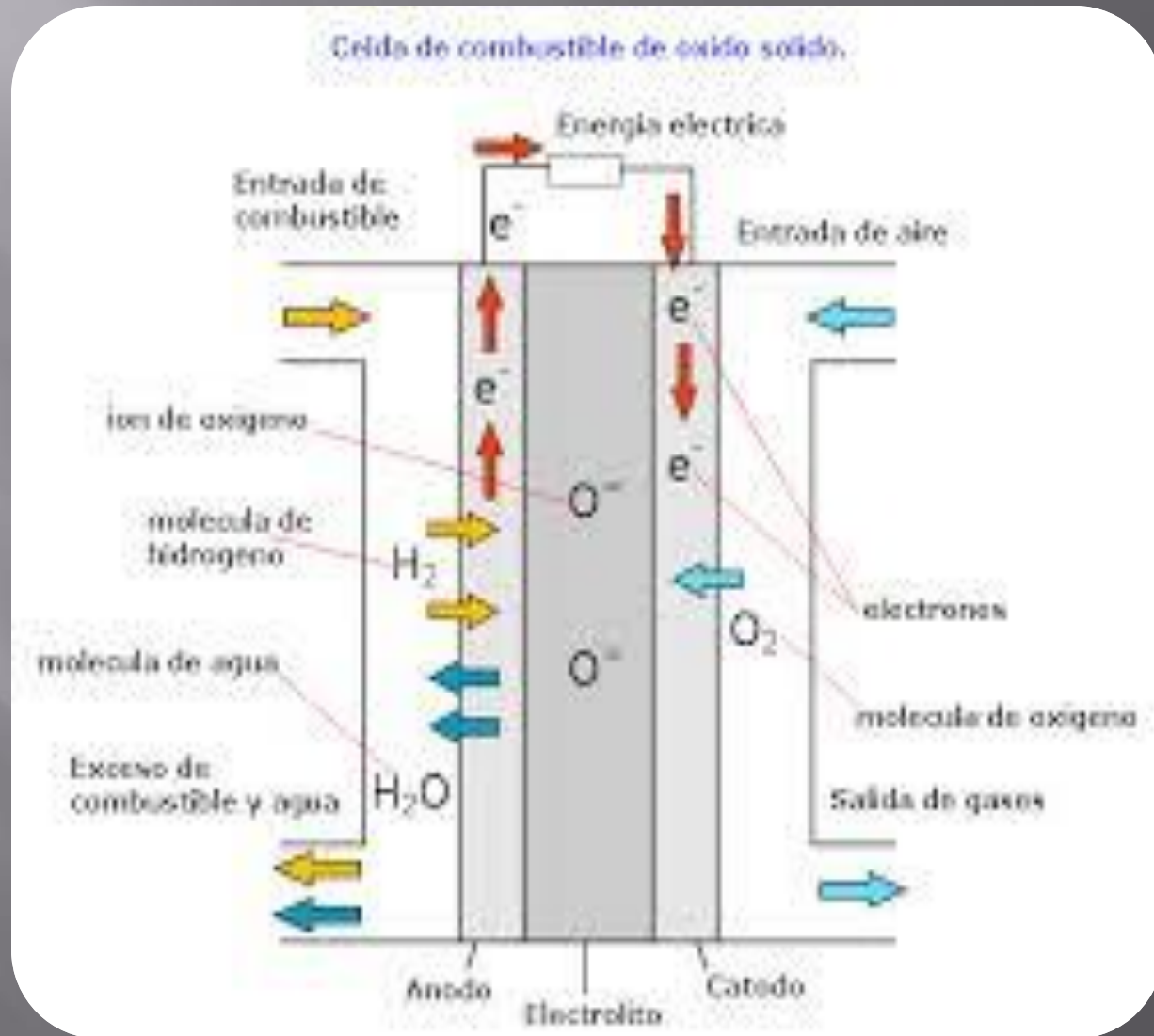
# Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC)



# Celda de combustible de carbonato fundido (MCFC)



# Celda de combustible de óxido sólido (SOFC)



# COMPRARACION CON TECNOLOGIAS DE GENERACION CONVENCIONALES

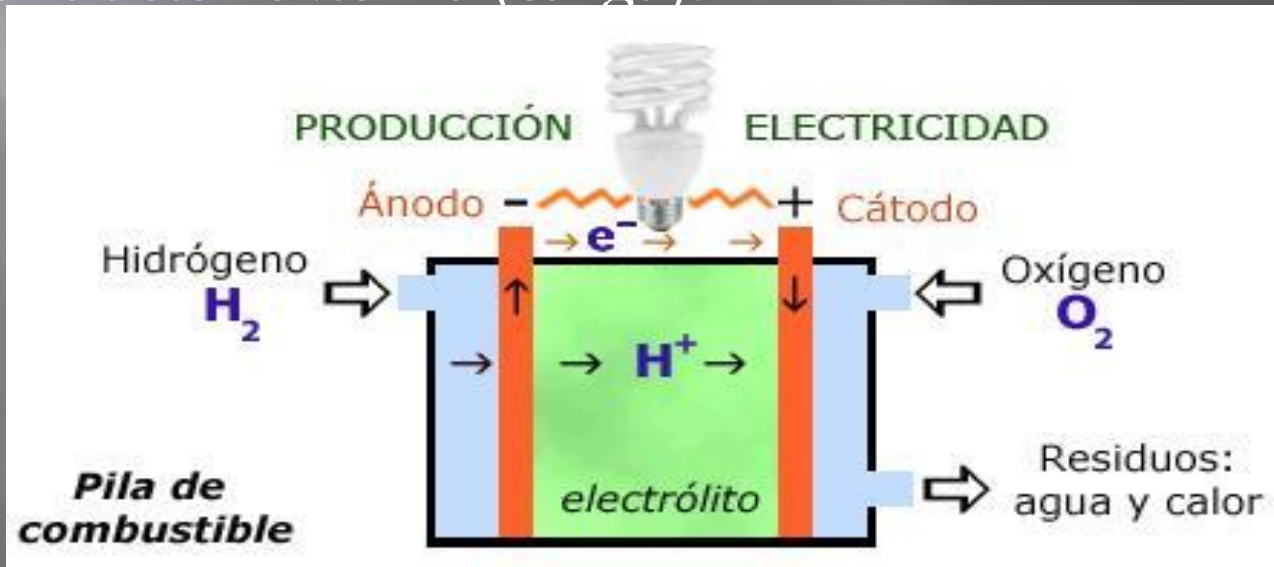
Los mayores avances en generación de energía eléctrica a partir de tecnologías convencionales están representados por aquellos surgidos del programa ATS (Advanced Turbine Systems), sistemas modernos de turbina para sistemas de generación de ciclo combinado.

Dichos avances han alcanzado límites históricos al conseguir diseños de sistemas de turbinas a gas con eficiencias que prometen mejoras de 15% en sistemas industriales, mientras que centrales de potencia utilizando sistemas de ciclo combinado (sistemas con dos o más fuentes de electricidad a partir del mismo combustible) podrán alcanzar valores alrededor de 55% de eficiencia térmica neta. Estos sistemas modernos operarán a costos 10% menores que los actuales sistemas y reducirán los niveles de NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, e hidrocarburos no quemados según proyecciones del mismo ATS.

# Operación de celdas de combustible

La manera en que operan es mediante una celda electroquímica consistente en dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrólito. El oxígeno proveniente del aire pasa sobre un electrodo y el hidrógeno gas pasa sobre el otro.

Cuando el hidrógeno es ionizado en el ánodo se oxida y pierde un electrón; al ocurrir esto, el hidrógeno oxidado (ahora en forma de protón) y el electrón toman diferentes caminos migrando hacia el segundo electrodo llamado cátodo. El hidrógeno lo hará a través del electrólito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor externo (carga).



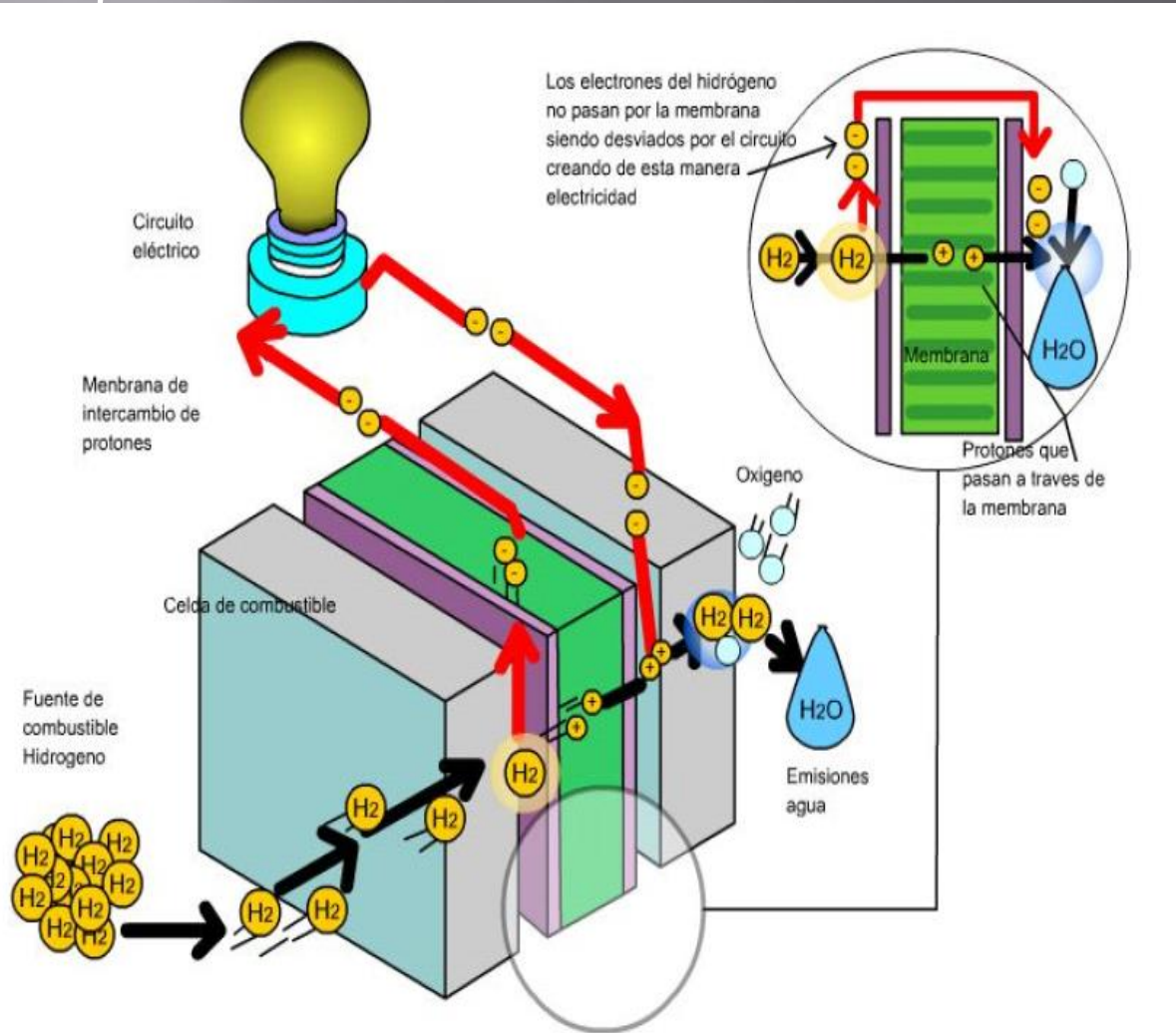
# Análisis de una celda de combustible

El trabajo máximo que puede producir un sistema de flujo establece con una sustancia que entra y sale del mismo a la temperatura de la atmósfera de sus alrededores e intercambia calor solo con la atmósfera es igual al decremento de la energía libre de Gibbs (G) de la sustancia

$$W_{\max} = -\Delta G$$



Las celdas de combustible no operan cíclicamente e intercambian calor y trabajo sólo con los alrededores, por lo que no se puede definir un parámetro de rendimiento para ellas como eficiencia térmica que sólo involucra transferencia de calor y trabajo



# EFICIENCIA DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE

El parámetro de rendimiento de operación en las celdas de combustible es:

$$\eta = \frac{\Delta G}{\Delta H}$$

El cual es llamado *eficiencia de la celda de combustible*, que puede ser mayor, igual, o menor que 1. Cuando  $\eta$  es igual a 1, indica que el  $W_{\text{máx}}$  supera el decrecimiento en la entalpía de la corriente que pasa a través de la celda; por lo tanto, existe transferencia de calor desde los alrededores hacia la celda.

El trabajo por unidad de carga realizado por las celdas de combustible puede calcularse a partir de la carga  $C$  a través del circuito externo y la *fem* terminal o voltaje  $V$  de la celda.

$$W_{\text{máx}} = F \cdot Nj \cdot V$$

Donde:

$F$ : Constante de Faraday ( $96,487 \times 10^6$  C/kmol de electrones o  $96,487$  kJ/V.kmol de electrones).

$N$ : Número de moles de reactivos que tienen una valencia  $j$ .

$V$ : Voltaje terminal de la celda.

# RENDIMIENTO DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE

Las celdas de combustibles reales no tienen un rendimiento como el de las ideales, ya que varios factores lo imposibilitan:

- Área de la superficie de interfase en los electrodos. En una celda de combustible real, el transporte de combustible, oxidante, electrolito y productos hacia y desde las superficies de los electrodos es, además de complejo, problemático. Para proporcionar una gran área de superficie se utilizan electrodos porosos para la interfase de los fluidos.
- Concentración del producto. Las concentraciones de productos se incrementan por la reacción, lo cual reduce la concentración de los reactivos en la zona de reacción, y esto, a su vez, retrasa la misma, pero se soluciona agitando los fluidos.

- Impedancias eléctricas en la celda de combustible. La impedancia que aparece asociada al flujo de electrones en el proceso de difusión en la superficie del electrodo y las resistencias óhmicas en otros sitios de la celda reducen la *fem* terminal y el trabajo de la celda.
- Reacciones adicionales. Las reacciones químicas y electroquímicas parásitas que tienen lugar en varios lugares de la celda también afectan su rendimiento.
- Misceláneos. Otras pérdidas resultan de la filtración de corriente eléctrica y de fluidos.

# BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

En la práctica, las eficiencias en celdas de combustible pueden alcanzar valores entre 50% y 85%, y tienen la particularidad de ser modulares y compactas, por lo que pueden ser construidas de tal manera que satisfagan cualquier tipo de demanda y ser diseñadas “sobre pedido”. Dicha construcción puede realizarse para proveer el voltaje, la carga y la potencia deseada. Su rango puede ir de <5 W hasta 100 MW. Su potencia de operación es bastante flexible (5 a 100% de su potencia nominal).

# Situación en el Perú

- ▣ En el caso del Perú se ha difundido muy poco este tema, no obstante, es un país que técnicamente cuenta con un enorme potencial de energías renovables no explotadas, y por ende, potencial para producir hidrógeno. Contamos con más de 65,000 MW de hidro energía de la cual sólo se está utilizando un 5%, importantes recursos eólicos a lo largo de todo el Océano Pacífico, buenos solar en especial en la zona andina, recursos geotérmicos, etc. Quizás nuestra esperanza esté demasiado centrada en la explotación del gas natural, pero también es cierto que no podemos esperar mucho en un país donde la planificación no se hace a largo plazo, donde el Estado casi no invierte en investigación y desarrollo. Aún así, es importante que las instituciones de investigación empiecen a mirar la ruta de la nueva alternativa energética, el hidrógeno y las celdas de combustible como efectivo sustituto de los hidrocarburos, al mediano y largo plazo cuyo uno de sus principales beneficios es el ser una energía limpia.

# GRACIAS

