



Universidade Federal do Pampa
Campus Bagé

Workshop de Introdução à Célula Combustível

Edson M Kakuno – UNIPAMPA
Semana Acadêmica Licenciatura em
Ciências Exatas.

18 outubro 2017

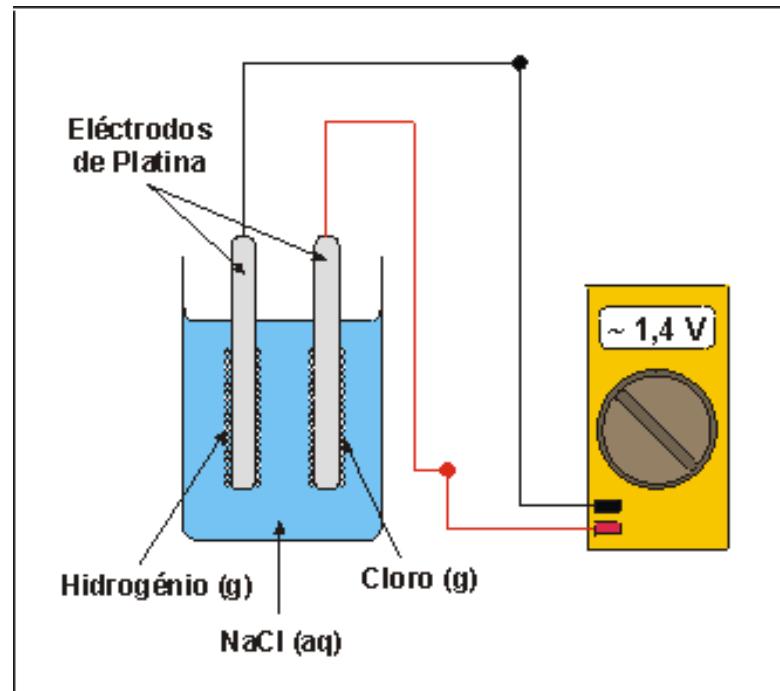
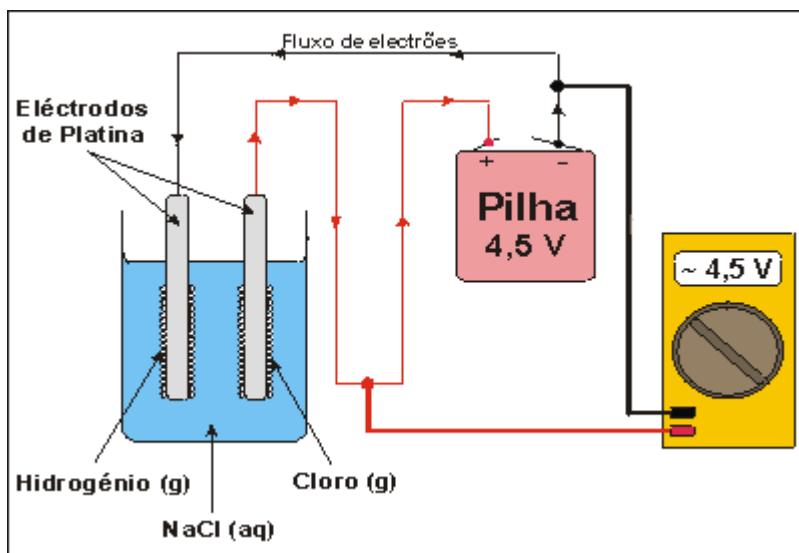
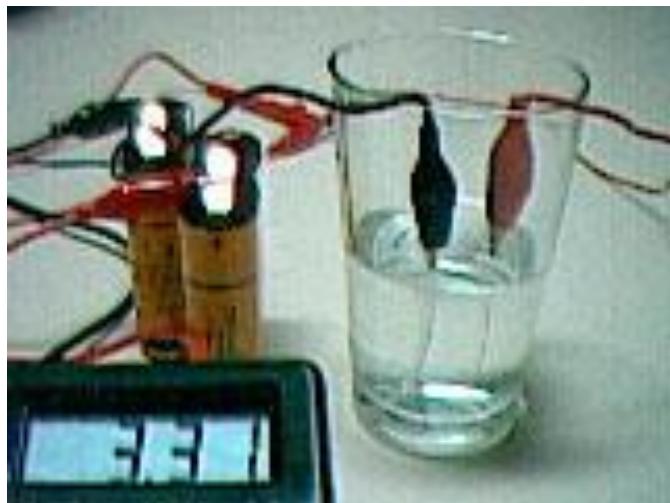
Outline

- Introdução
- Produção de hidrogênio
- Breve histórico
- Tipos de Células a Combustível (CaC)
- Armazenamento de Hidrogênio
- Algumas aplicações
- Desafios

Introdução

- Dispositivo que converte energia química em energia elétrica

Eletrólise



[http://celulasdecombustivel.
planetaclix.pt/ccsalina.html](http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/ccsalina.html)

Introdução

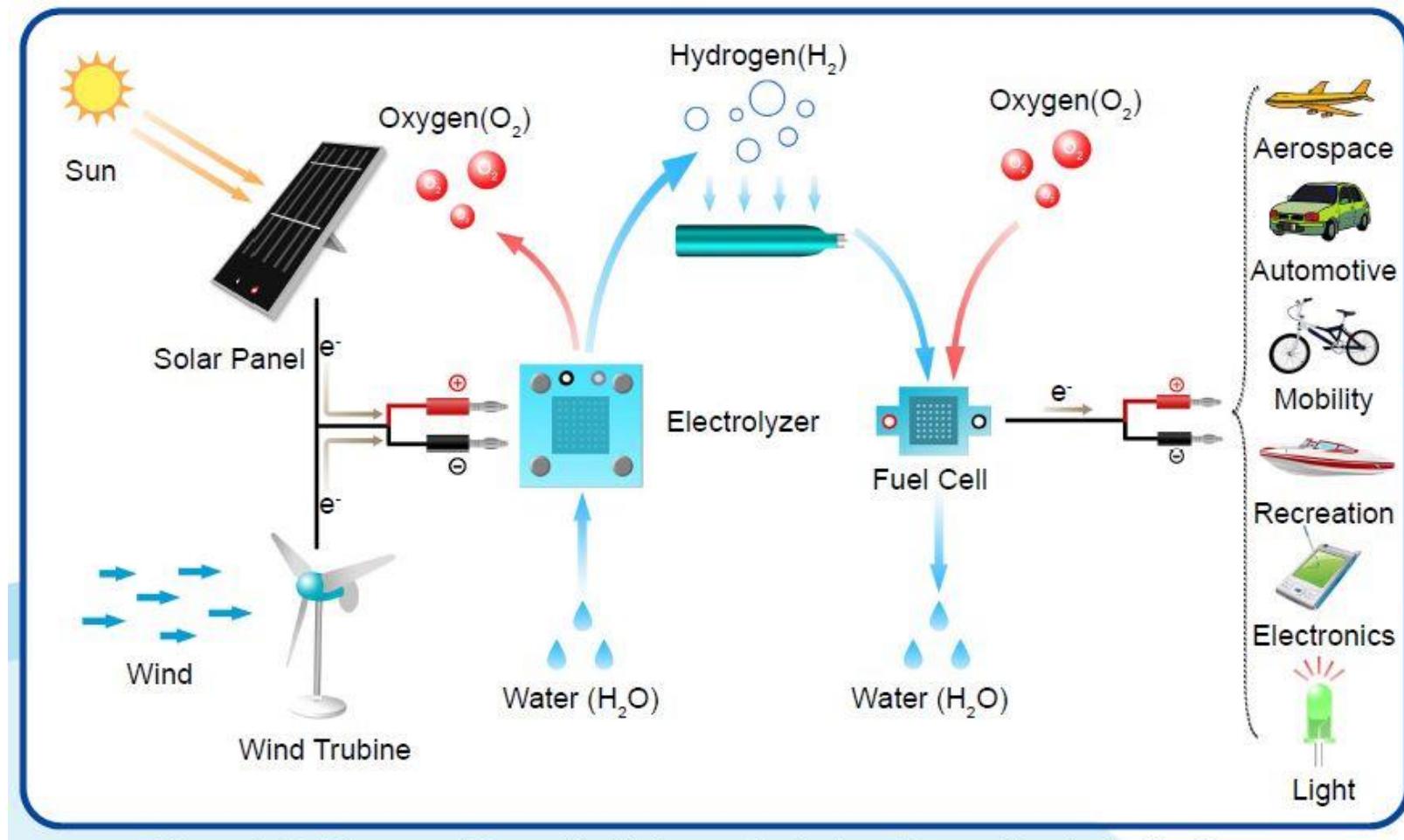


Figure 1-19. Diagram of Renewable Hydrogen Cycle from Renewables to Applications

PEM – Proton Exchange Membrane

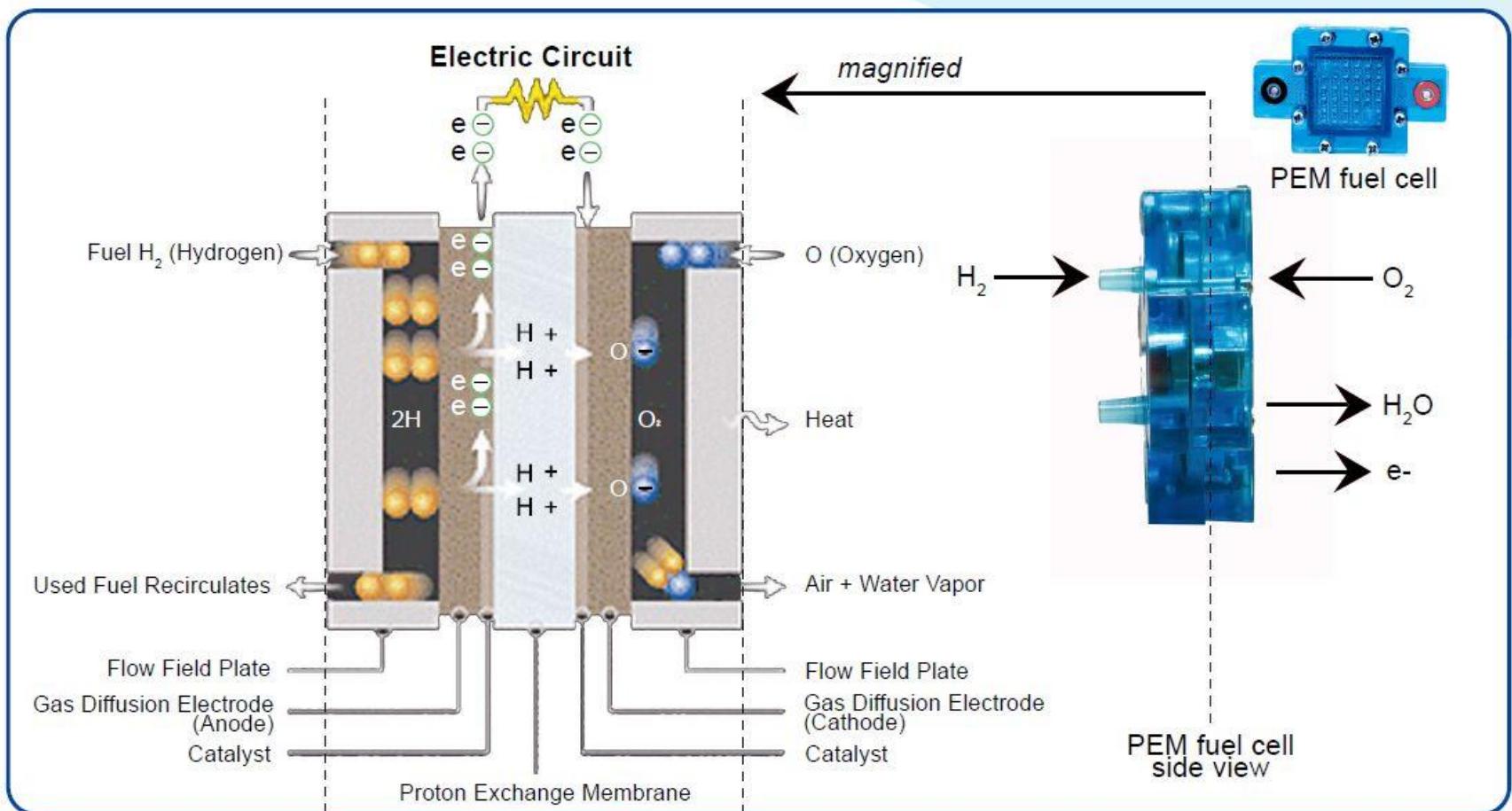
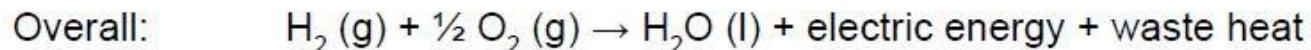
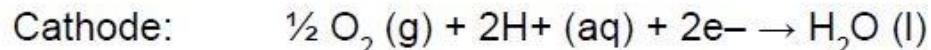
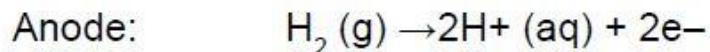


Figure 1-17. A single PEM fuel cell configuration

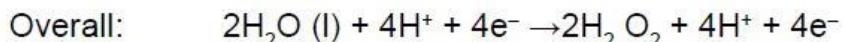
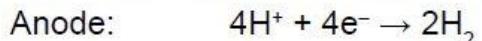
PEM / reação

Figure 1-17 shows an example of a typical proton exchange membrane (PEM) fuel cell with the following reactions:



4.4.2 (PEM) Based Electrolyzer

The polymer electrolyte membrane (PEM)-based electrolyzer is very popular, and many modern electrolyzers are built with PEM technology. The PEM electrolyzer uses the same type of electrolyte that is used for a PEM fuel cell. The electrolyte is a thin, solid ion-conducting membrane is used instead of the aqueous solution. These electrolyzers use a bipolar design, and can be made to operate at high differential pressures across the membrane. The reactions are as follows:



Equation 4-7 illustrates why the rate of production is twice that of oxygen during the electrolysis of water. The basic structure of a PEM-based electrolyzer is shown in Figure 4-5.

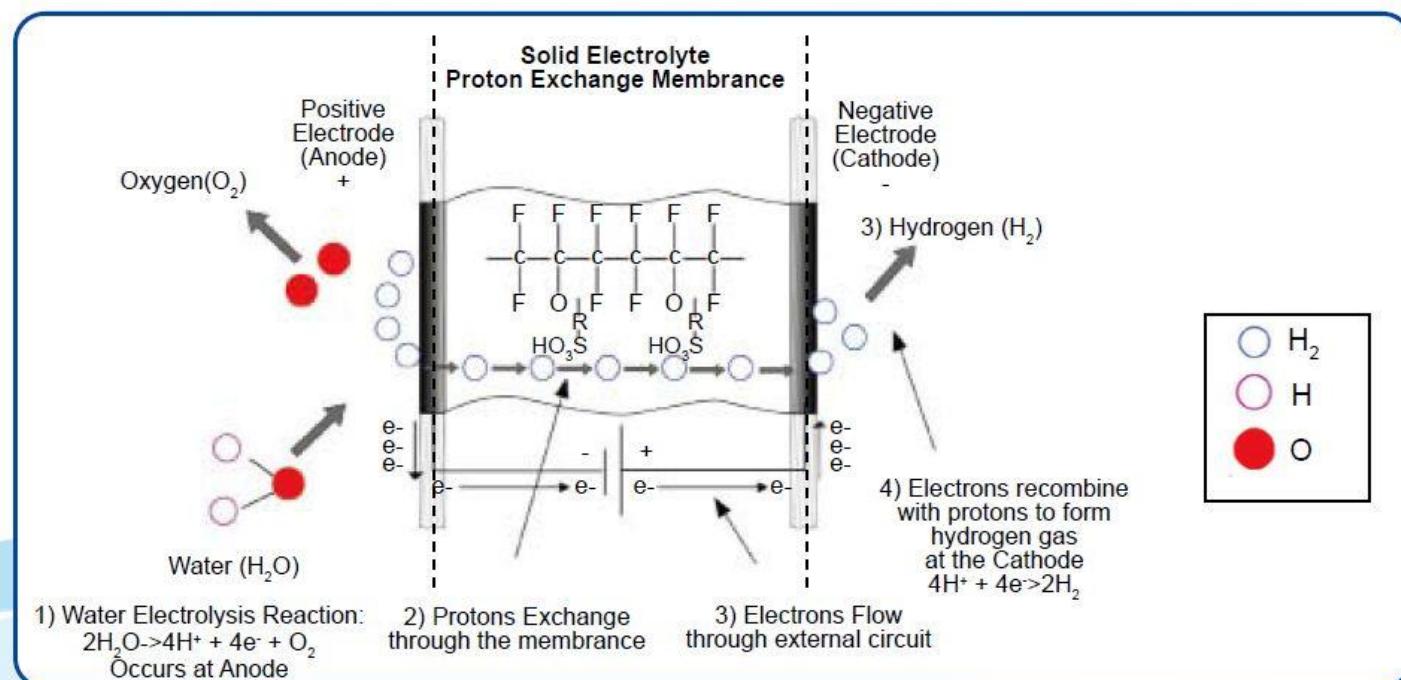


Figure 4-5. A simplified diagram of the PEM electrolyzer [11]

5.2 History of Fuel Cells

William Grove is credited with inventing the first fuel cell in 1839. Fuel cells were not researched greatly during the 1800s, and much of the 1900s. Extensive fuel cell research began during the 1960s at NASA. During the last decade, fuel cells have been extensively researched, and are finally nearing commercialization. Figure 5-1 summarizes the history of fuel cells.

1800	W. Nicholson & A. Carlisle described the process of using electricity to break water.
1836	William Grove fuel cell demonstration.
1889	Separate teams: L. Mond & C. Wright & C. Thompson/ L. Cailleteon & L. Colardeau performed various fuel cell experiments.
1893	F. Ostwald describes roles of fuel cell components.
1896	W. Jaccques constructed a carbon battery.
Early 1900's	E. Baur and students conducted experiments on high temperature devices.
1960s	T. Grubb & L. Niedrach invented PEMFC technology at GE.
1990s-Present	Worldwide extensive fuel cell research on all fuel cell types.

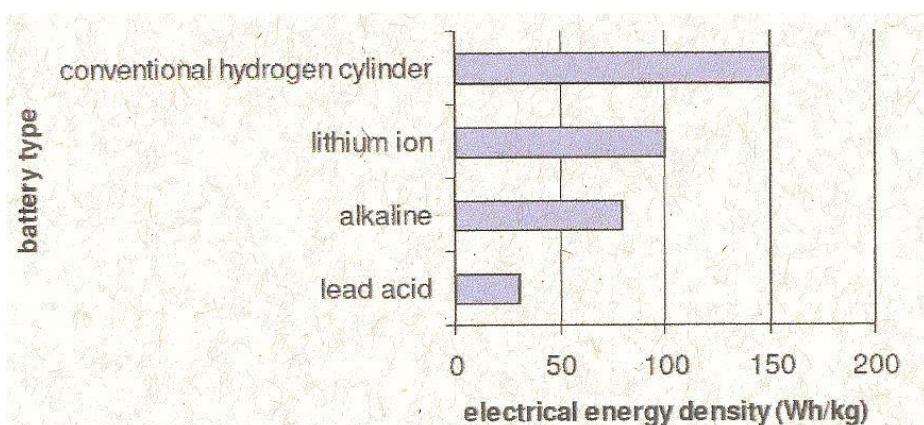
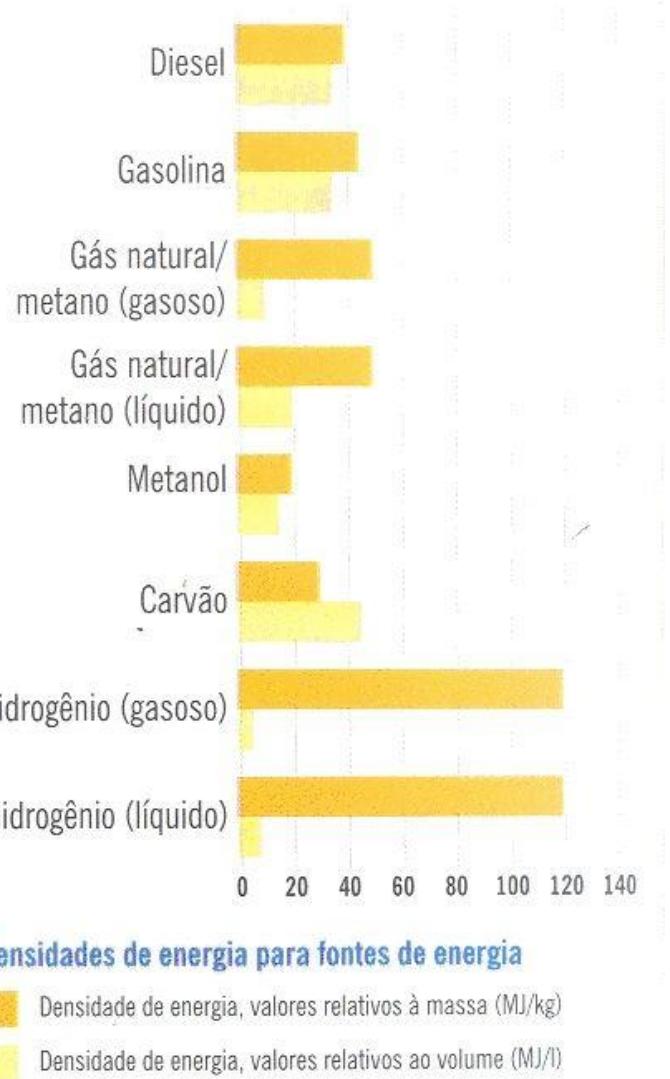
William Grove

Known as the Father of Fuel Cells, Grove developed the first cell which furthered fuel cell technology by reversing the electrolysis process in Oxford, England in 1839.

William Nicholson and Anthony Carlisle first described electrolysis in 1800.

Figure 5-1. The history of fuel cells

Comparação da densidade de energia entre diversas fontes



Tipos CaC

5.4 Types of Fuel Cells

Many types of fuel cells are currently being researched. The six primary types of fuel cells are differentiated from one another on the basis of the electrolytes and/or fuel used with that particular type of fuel cell. The operating temperature and size of fuel cells are often the determining factor in which fuel cell will be used for specific applications. Fuel cell types include the following:

- Polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFCs)
- Alkaline fuel cells (AFCs)
- Phosphoric acid fuel cells (PAFCs)
- Solid oxide fuel cells (SOFCs)
- Molten carbonate fuel cells (MCFCs)
- Direct methanol fuel cells (DMFCs)

5.4.1 Polymer Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

The polymer electrolyte membrane (also called proton exchange membrane or PEM) fuel cell delivers high-power density while providing low weight, cost, and volume. A PEM fuel cell consists of a negatively charged electrode (anode), a positively charged electrode (cathode), and an electrolyte membrane, as shown in Figure 5-5. It is a very similar configuration to the bipolar-type electrolyzers in Chapter 4. Hydrogen is used on the anode side, and oxygen is utilized on the cathode. Protons are transported from the anode to the cathode through the electrolyte membrane and the electrons are carried over an external circuit load. A typical PEM fuel cell has the following reactions:

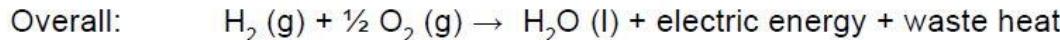
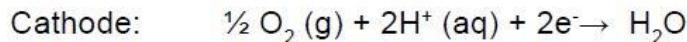
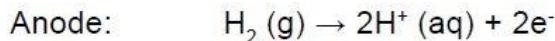
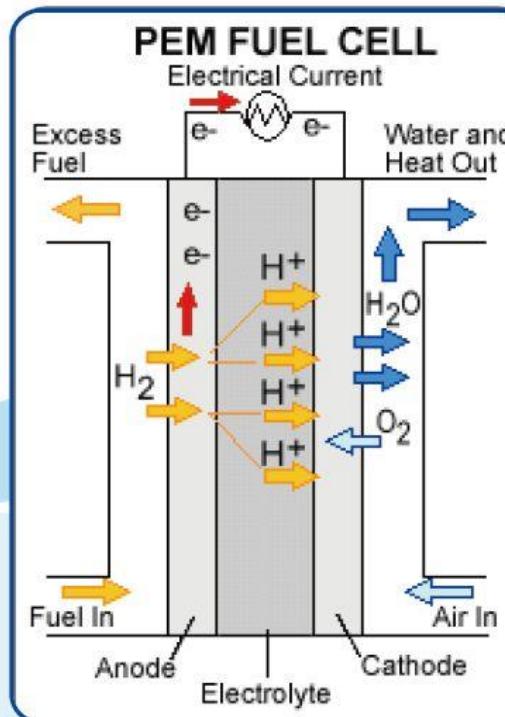


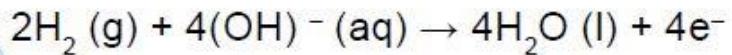
Figure 5-5. PEM Fuel cell



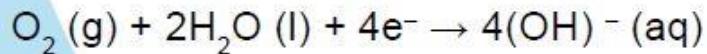
5.4.2 Alkaline Fuel Cells (AFCs)

Alkaline fuel cells (AFCs) have been used by NASA on space missions and can achieve power-generating efficiencies of up to 70 percent. The operating temperature of these cells range between 150 to 200 °C (about 300 to 400 °F) [10]. An aqueous solution of alkaline potassium hydroxide soaked in a matrix act as the electrolyte. This is advantageous because the cathode reaction is fast in the alkaline electrolyte, which means higher performance. Several companies are examining ways to reduce costs and improve operating flexibility. Alkaline fuel cells typically have a cell output from 300 watts to 5 kW [10].

Anode:



Cathode:



Overall:

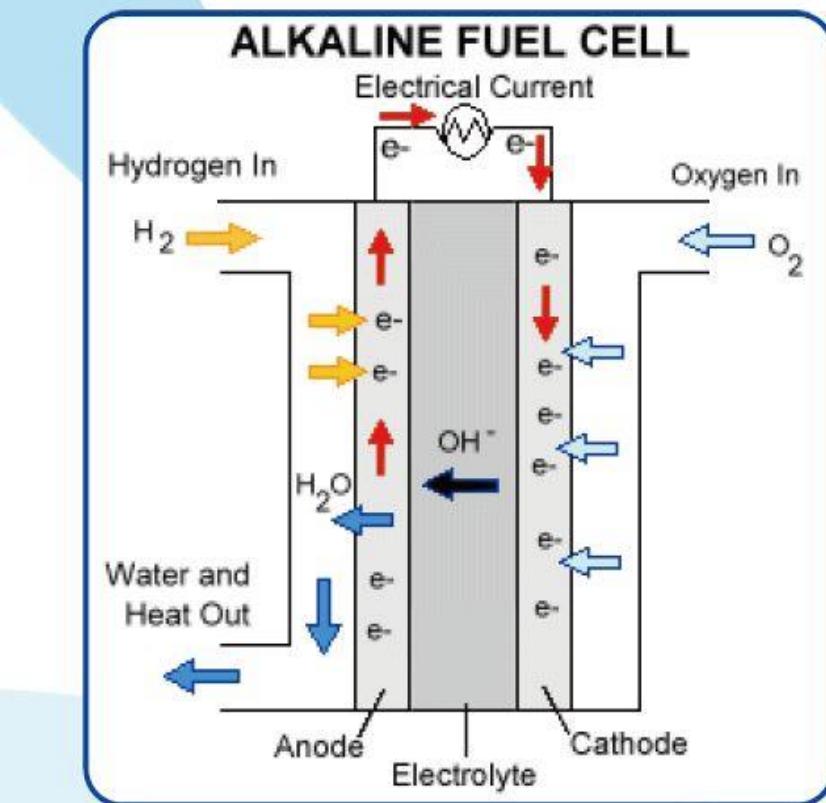
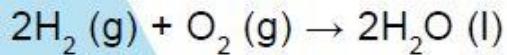
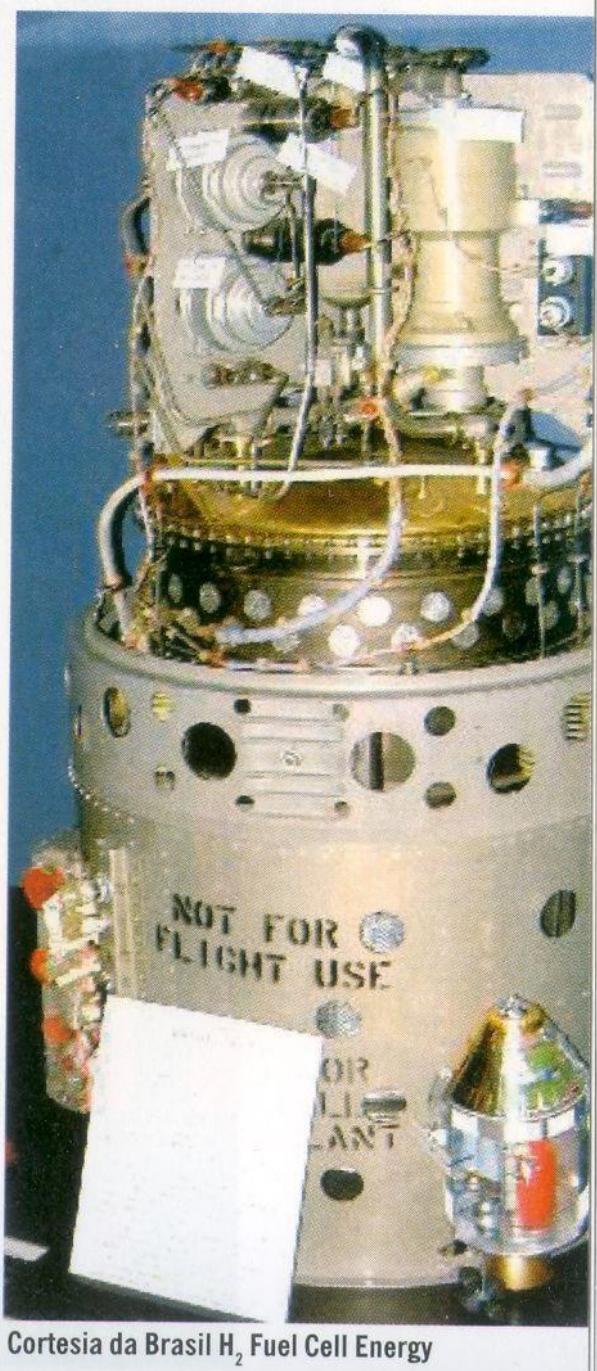


Figure 5-6. An alkaline fuel cell (AFC)



Cortesia da Brasil H₂ Fuel Cell Energy

Célula Combustível utilizada no programa Apollo da NASA, utilizava tecnologia AFC

5.4.3 Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)

The phosphoric acid fuel cell (PAFC) is one of the few commercially available fuel cells. Several hundred fuel cell systems have been installed all over the world. Most of the PAFC plants that have been built are in the 50 to 200 kW capacity range, but large plants of 1 MW and 5 MW have been built [10]. The largest plant operated to date achieved 11 MW of grid-quality alternating current (AC) power. A PAFC is shown in Figure 5-7.

PAFCs are very efficient fuel cells, generating electricity at more than 40 percent efficiency. Operating temperatures are in the range of 300 to 400 °F (150 to 200 °C) [10]. The PAFC is a poor ionic conductor at lower temperatures, and carbon monoxide (CO) poisoning of the platinum catalyst in the anode can become severe.

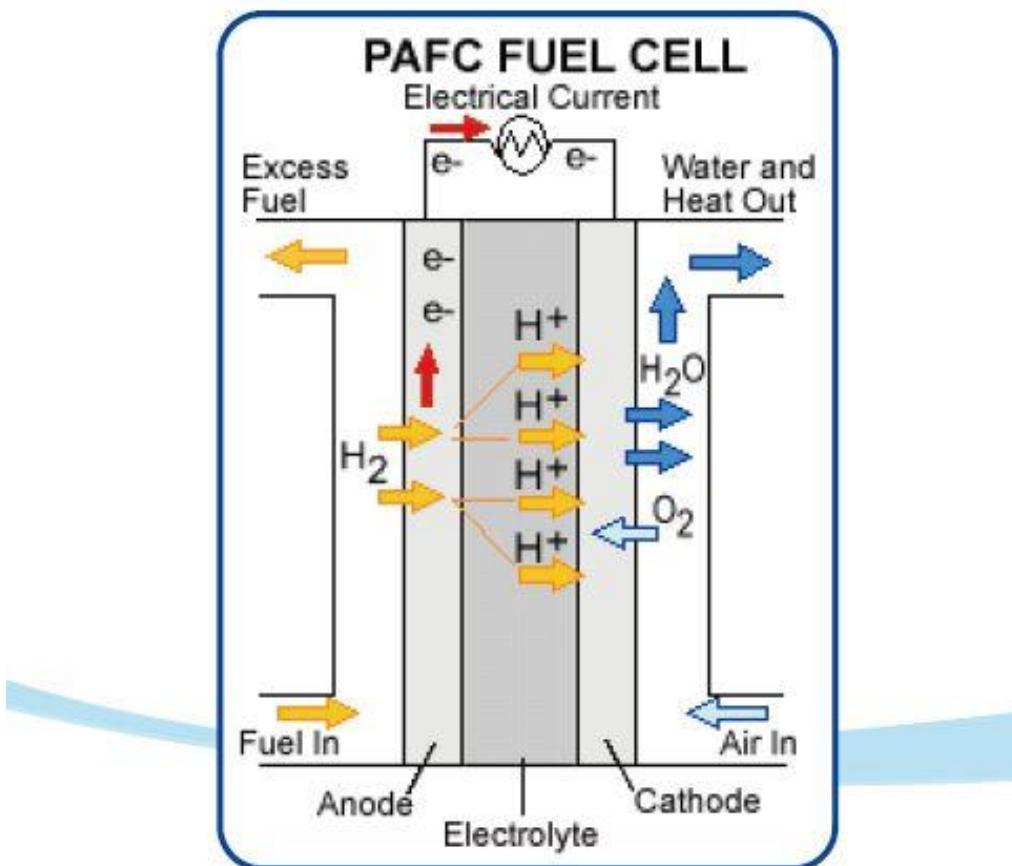
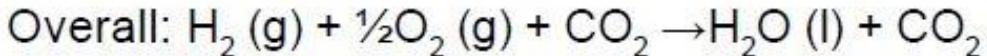
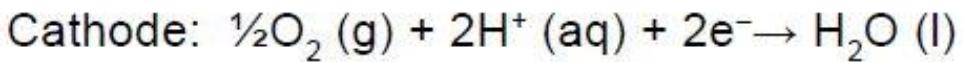
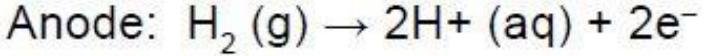


Figure 5-7. A phosphoric acid fuel cell (PAFC)



Célula a Combustível importada de 200 kW instalada no Centro Politécnico da UFPR - Curitiba. Projeto da COPEL e LACTEC.

*encomendada em 2001
•Única tecnologia (PAFC) comercial disponível da época.
•UTC Fuel Cells – Fornecedor da NASA

5.4.4 Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs)

Solid oxide fuel cells (SOFCs) seem promising for large, high-power applications such as industrial and large-scale central electricity generating stations. A solid oxide system is usually constructed of a hard ceramic material consisting of solid zirconium oxide and a small amount of Ytrria, instead of a liquid electrolyte.

See Figure 5-8 for an illustration of a solid oxide fuel cell. The operating temperatures can reach 1,800 °F or 1000 °C [10]. Power-generating efficiencies could reach 60 to 85 percent with cogeneration and when cell output is up to 100 kW [10]. The anode, cathode, and overall cell reactions are:

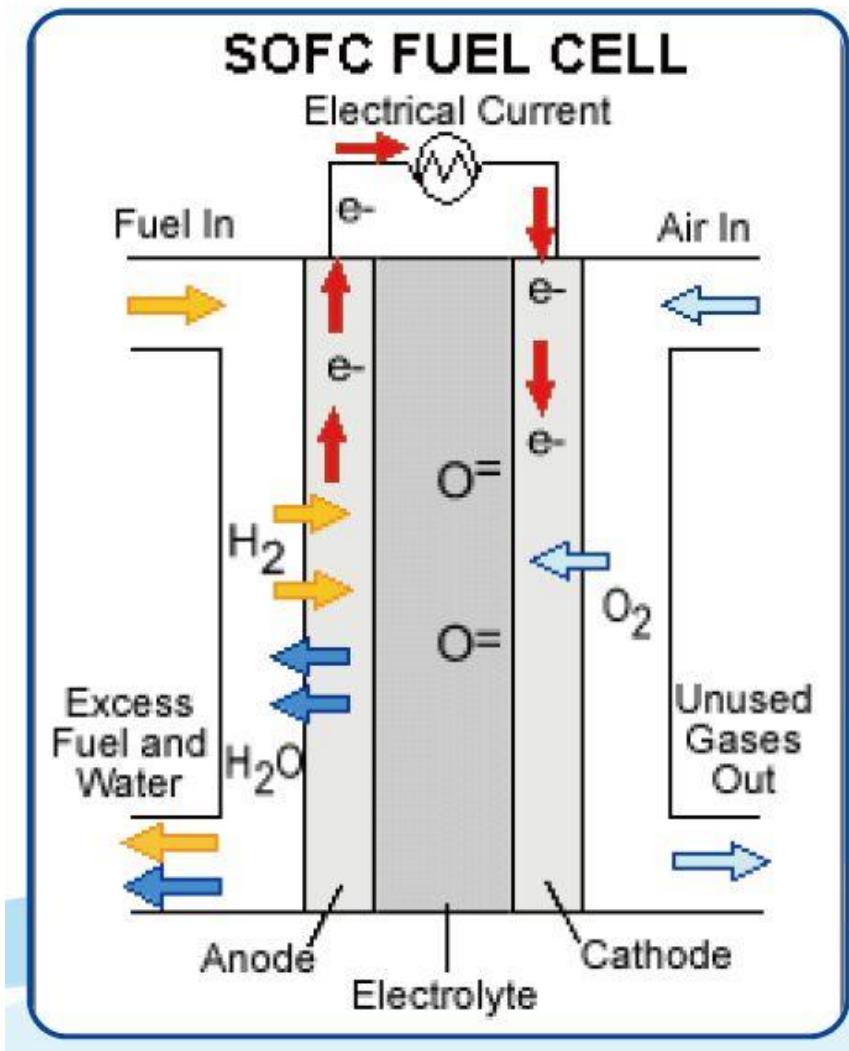
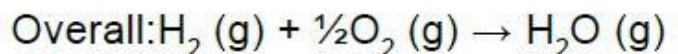
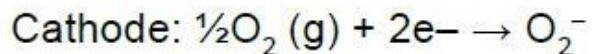
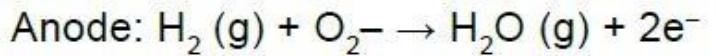


Figure 5-8. A solid oxide fuel cell (SOFC)

5.4.5 Molten-Carbonate Fuel Cells (MCFCs)

Molten carbonate fuel cells are another fuel cell technology that has been successfully demonstrated in several locations throughout the world. The high operating temperature offers a significant advantage because it enables a higher efficiency and the flexibility to use more types of fuels and inexpensive catalysts. A disadvantage of MCFCs is that high temperatures enhance corrosion and the breakdown of cell components. The electrolyte in the molten-carbonate fuel cell is a liquid solution of lithium, sodium, and/or potassium carbonates, soaked in a matrix. MCFCs have high fuel-to-electricity efficiencies ranging from 60 to 85 percent with cogeneration, and operate at about 1,200 °F or 650 °C [10].

MOLTEN CARBONATE FUEL CELL

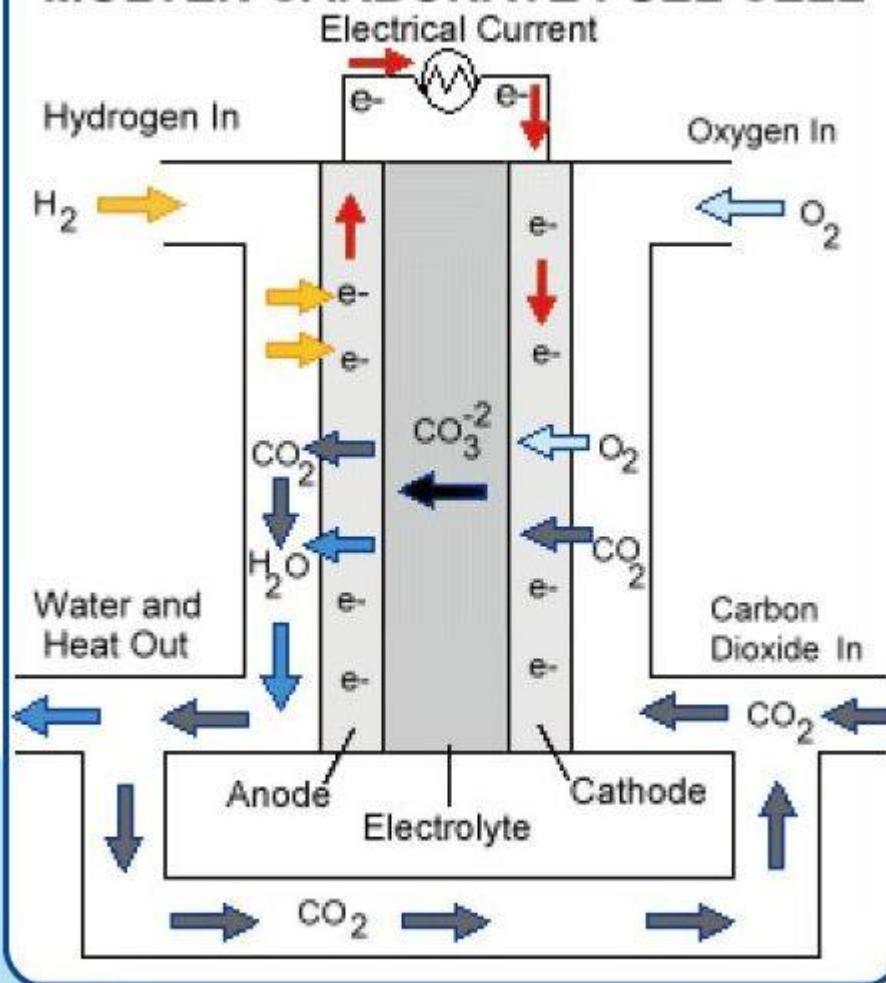
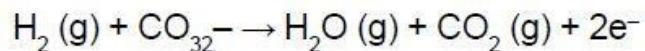
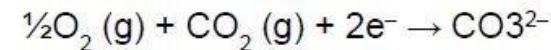


Figure 5-9. A molten carbonate fuel cell (MCFC)

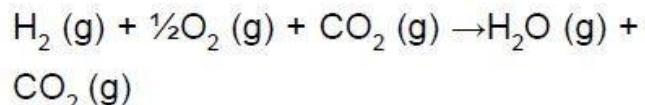
Anode:

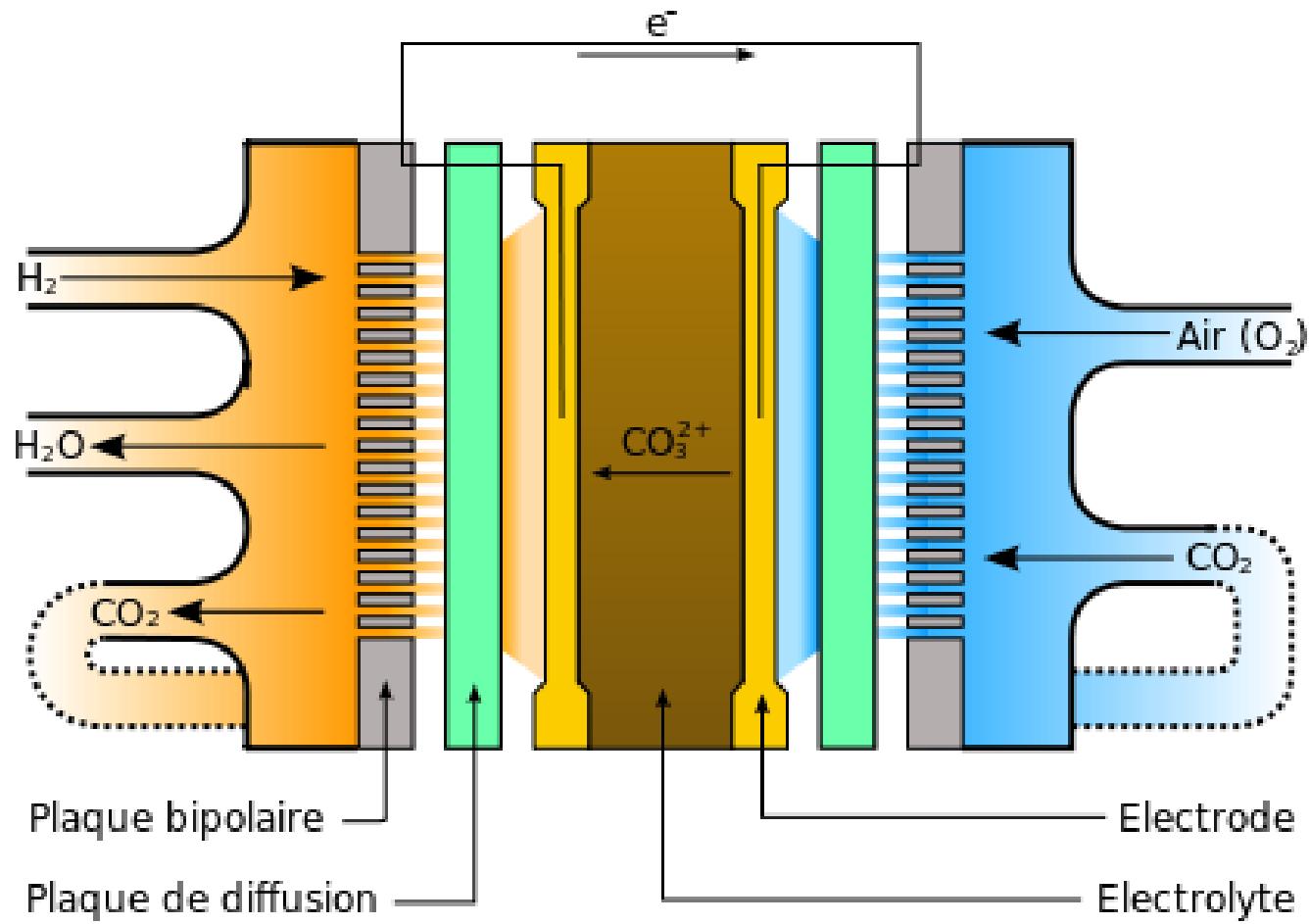


Cathode:



Overall:







Sierra Nevada Brewery

Quick Facts

Location: Chico, California

Capacity: 1 MW (four 250-kW FuelCell Energy DFC300A molten carbonate fuel cells)

System Online: 2005

Hydrogen Production Method:
Digester gas from brewing process

H₂- Production Capacity:
Approximately enough to fuel one 250-kW fuel cell

System Efficiency: Estimated 50% electric efficiency, 75% using CHP

Total Project Cost:
\$7 million over five years

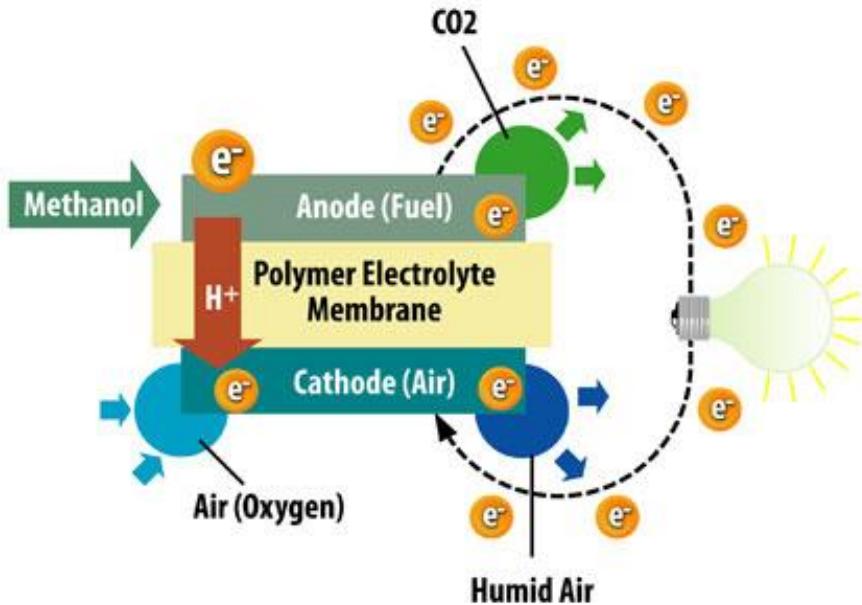
Expected Electricity Cost Savings:
\$400,000/year

Expected Payback Time: 5 years (with incentives and using digester gas)

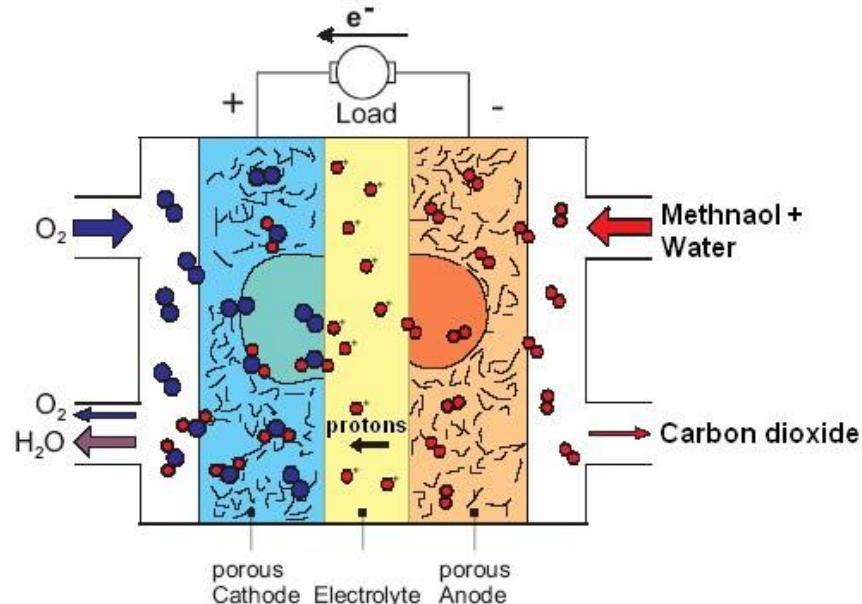
Funding Sources:
Sierra Nevada Brewery
California Energy Commission, U.S.
Department of Defense

5.4.6 Direct Methanol Fuel Cells (DMFCs)

The large potential market for fuel cell portable applications has generated a strong interest in a fuel cell that can run directly on methanol. The direct methanol fuel cell (DMFC) uses the same polymer electrolyte membrane as the PEM fuel cell. The fuel for the DMFC, however, is methanol instead of hydrogen. Methanol flows through the anode as fuel and is broken down into protons, electrons, water, and carbon dioxide. Advantages of methanol include its wide availability and its ability to be easily reformed from gasoline or biomass. Although it only has a fifth the energy density of hydrogen by weight, since it is liquid it offers more than four times the energy per volume when compared to hydrogen at 250 atmospheres.

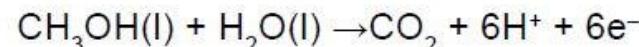


<http://www3.toshiba.co.jp/ddc/eng/dmfc/about.htm>

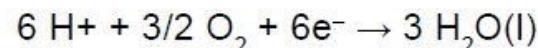


The chemical reactions for this fuel cell are as follows:

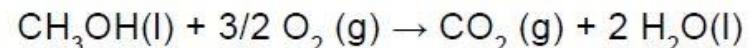
Anode:



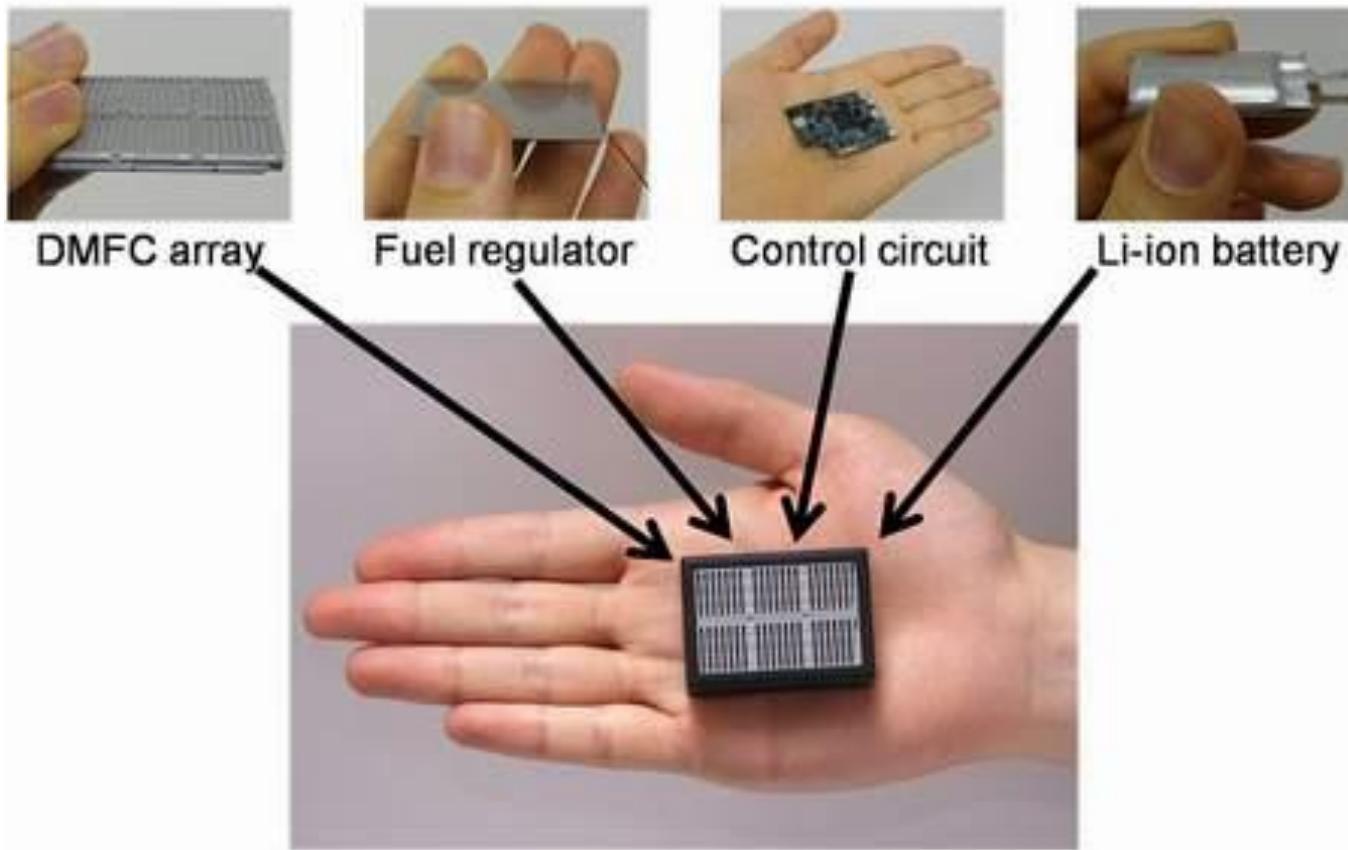
Cathode:



Overall:



Micro fuel cell system



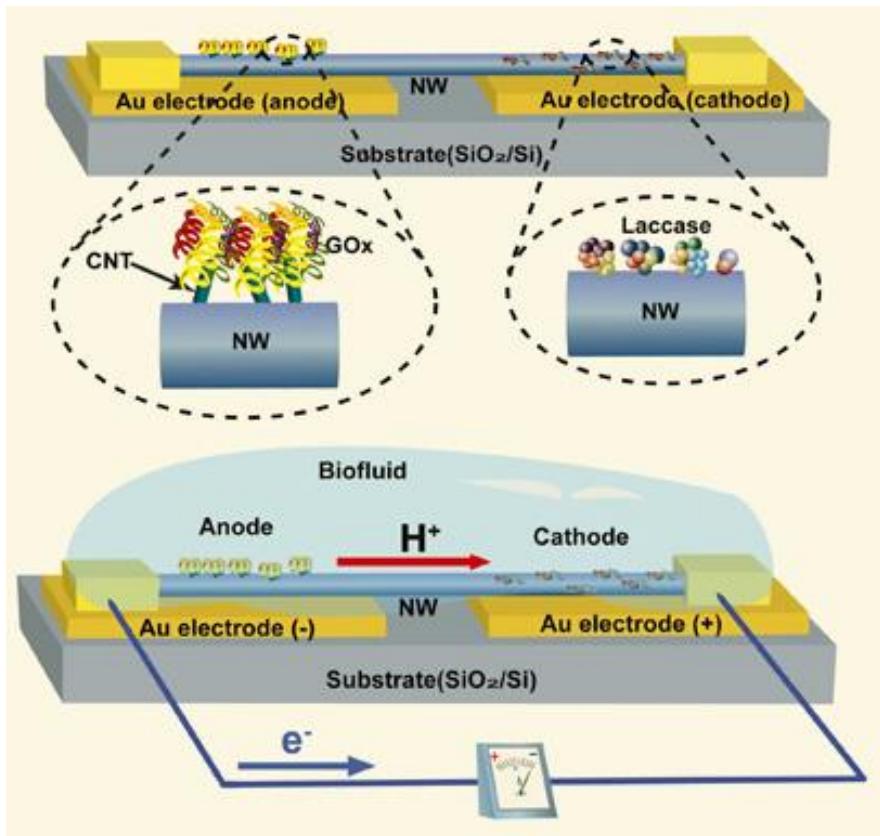
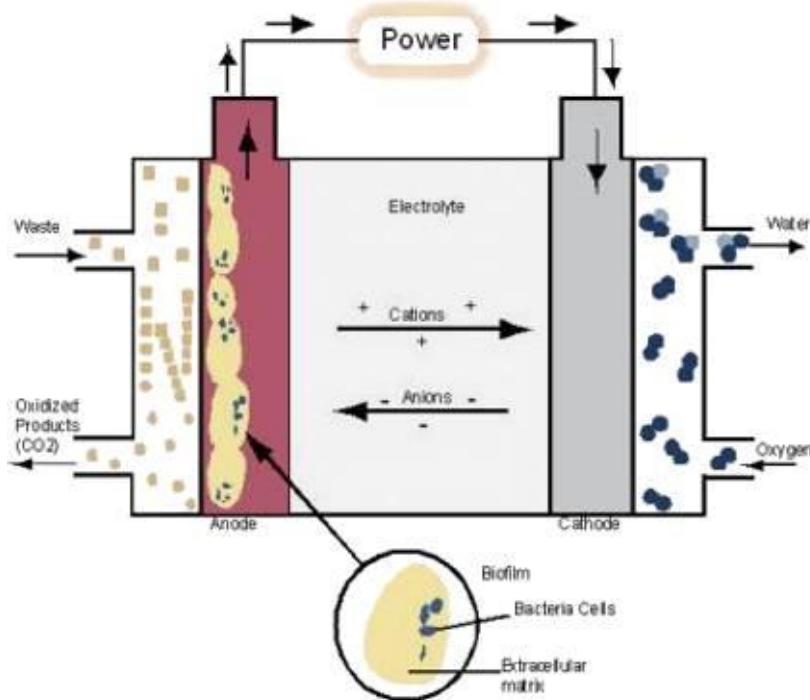
Sony

Fuel Cell Prototype for ThinkPad Notebooks



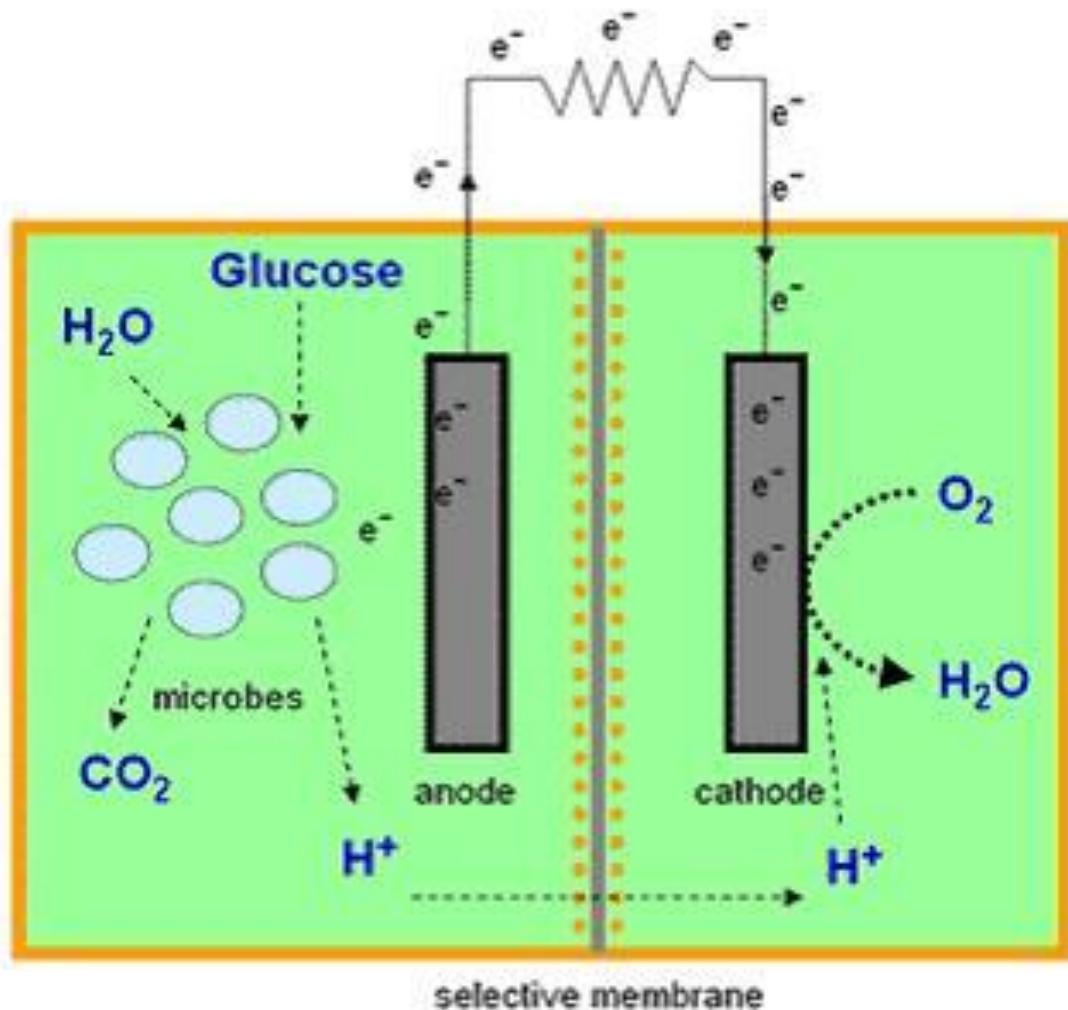
IBM and SANYO Electric today unveiled initial plans for a prototype micro direct methanol fuel cell system for IBM ThinkPad notebooks. Leveraging SANYO's latest advancements in fuel cells that increase the longevity of notebook batteries, IBM and SANYO jointly developed a basic design of a fuel cell power source. Based on the design, the companies developed a prototype fuel cell system that could supply up to 8 hours of power per cartridge on current and future ThinkPad models.

Microbial Fuel Cell

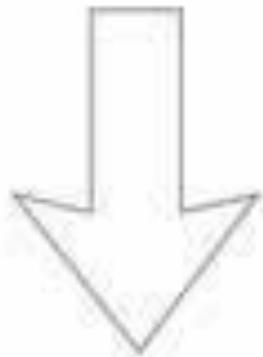


<http://www.zimbio.com/Microbial+Ecology/articles/EyW2dvDYU9g/Microbial+Fuel+Cell>

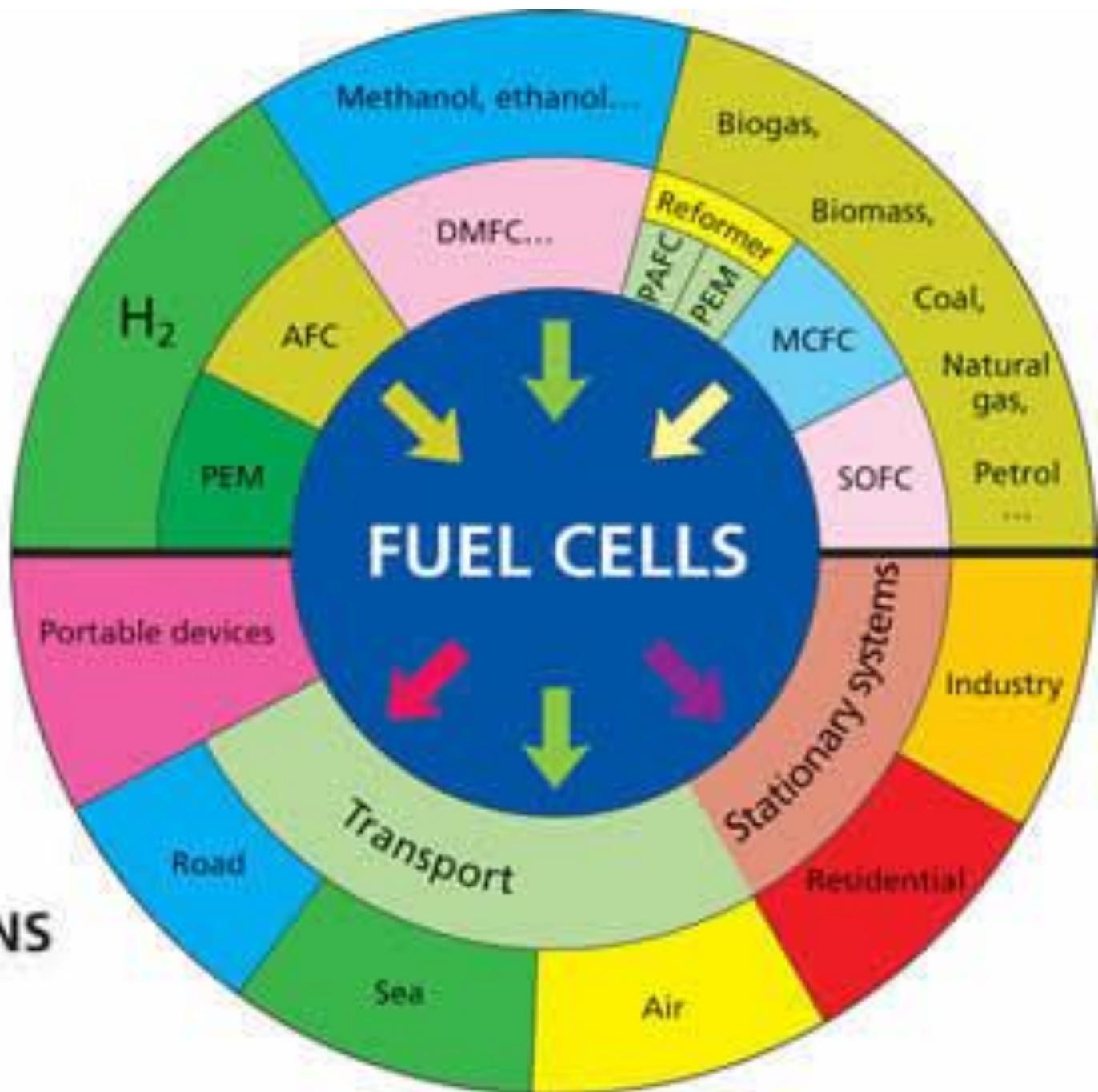
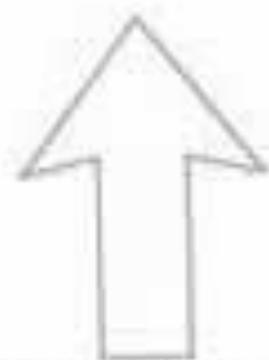
Microbial Fuel Cell



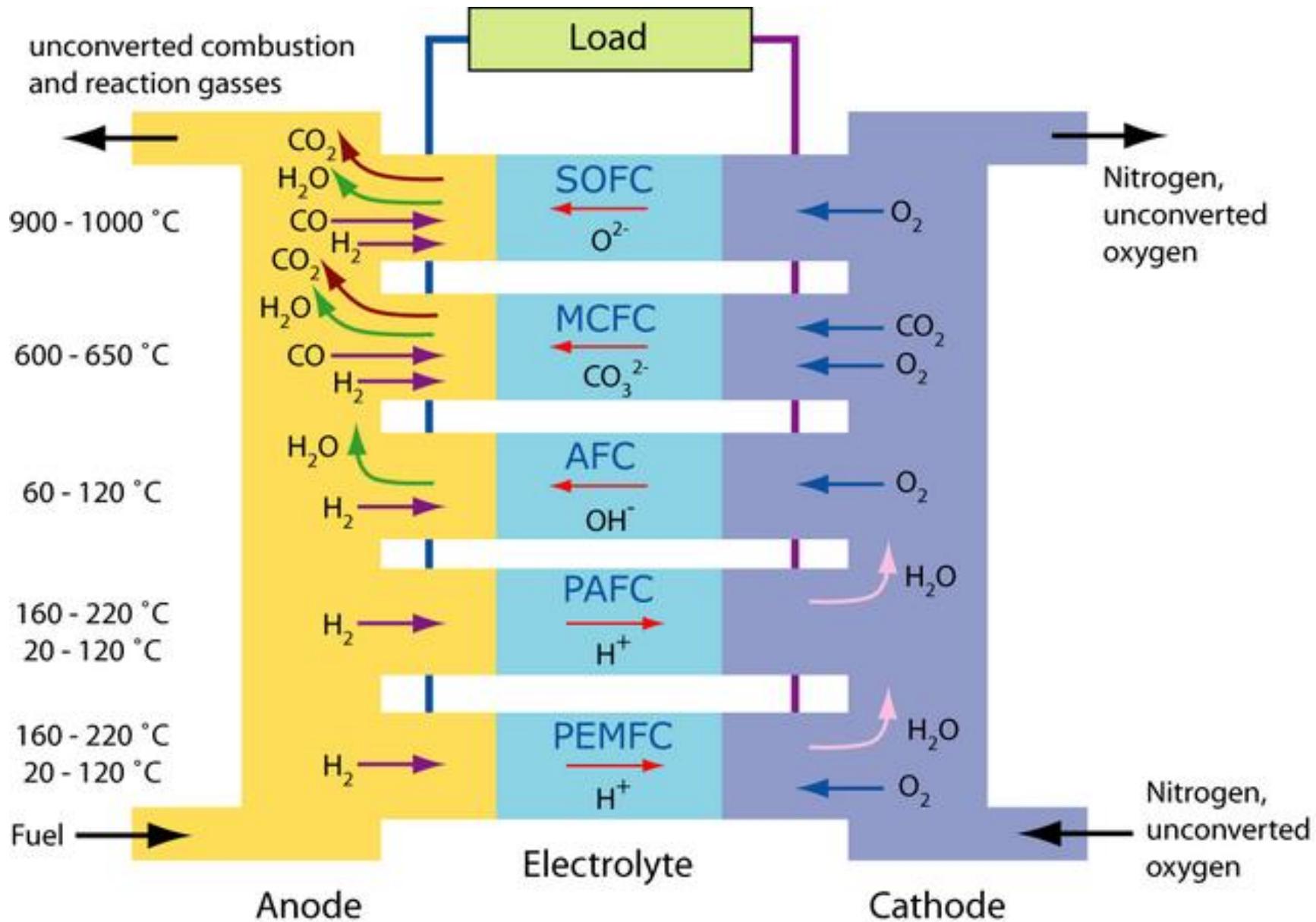
FUEL



APPLICATIONS



- Horizon Flash Animation



Tipo Célula a Combustível	Eletrólito mais comumente usado	Temp. de Operação	Tamanho típico da stack	Eficiência	Aplicações	Vantagens	Desvantagens
Membrana de Troca de Prótons (PEM)	Membrana Perfluorada de ácido sulfônico/ PBI (polibenzilimida)	50-220°C Normalmente 80°C	1W-200kW	40 a 65% (transporte) 35-40% estacionário	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Backup de energia ▪ Energia Portátil ▪ Geração distribuída ▪ Transporte ▪ Veículos especiais 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baixa temperatura de operação (partida mais rápida) materiais sistema de controle mais simplificado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Catalisadores caros ▪ Sensível a impurezas no combustível ▪ Pouco calor de exaustão para aproveitamento
Alcalina (AFC)	Solução aquosa de hidróxido de potássio	90-100°C	10-100kW	60%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Militar ▪ Espacial 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reações mais rápidas no cátodo, o que leva a melhor desempenho ▪ Custo baixo dos componentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sensível à presença de CO2 no combustível e ar ▪ Gerenciamento do eletrólito
Ácido Fosfórico	Ácido fosfórico aquoso	150-200°C	100kW-400kW (módulo)	40%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geração distribuída 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura maior possibilidade a cogeração de energia ▪ Maior intolerância a impurezas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Platina como catalisador ▪ Partida longa ▪ "Baixa" eficiência
Carbonato Fundido (MCFC)	Solução de carbonato fundido de lítio, sódio e/ou potássio	600-800°C	300kW-3MW módulo	45-55%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geração distribuída ▪ Usinas de energia 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alta eficiência ▪ Flexibilidade em combustíveis ▪ Pode usar uma variedade de catalisadores ▪ Aproveitamento para cogeração 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Componentes resistentes à corrosão e quebra em altas temperaturas ▪ Partida longa ▪ Baixa densidade de potência
Óxido Sólido	Material cerâmico feito de óxido de zircônia e ítrio.	700-1000°C	1kW-2MW	60%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Backup de energia ▪ Geração distribuída ▪ Usinas de energia 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alta eficiência ▪ Flexibilidade em combustíveis ▪ Pode usar uma variedade de catalisadores ▪ Eletrólito sólido ▪ Aproveitamento para cogeração 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Componentes resistentes à corrosão e quebra em altas temperaturas ▪ Partida longa

5.5 How Do Fuel Cells Work?

A single fuel cell operates at a voltage ranging from 0.6 – 0.8 V, and produces a current per active area ([current density](#)) of 0.2 to 1 A/cm². A fuel cell consists of a negatively charged electrode ([anode](#)), a positively charged electrode ([cathode](#)), and an electrolyte. Hydrogen is oxidized on the anode and oxygen is reduced on the cathode. Protons are transported from the anode to the cathode through the electrolyte, and the electrons are carried to the cathode over an external circuit. Electrons are transported through conductive materials and travel to the load when needed. Both, the anode and cathode, contain a catalyst to create electricity from the electrochemical process as shown in Figure 5-10.

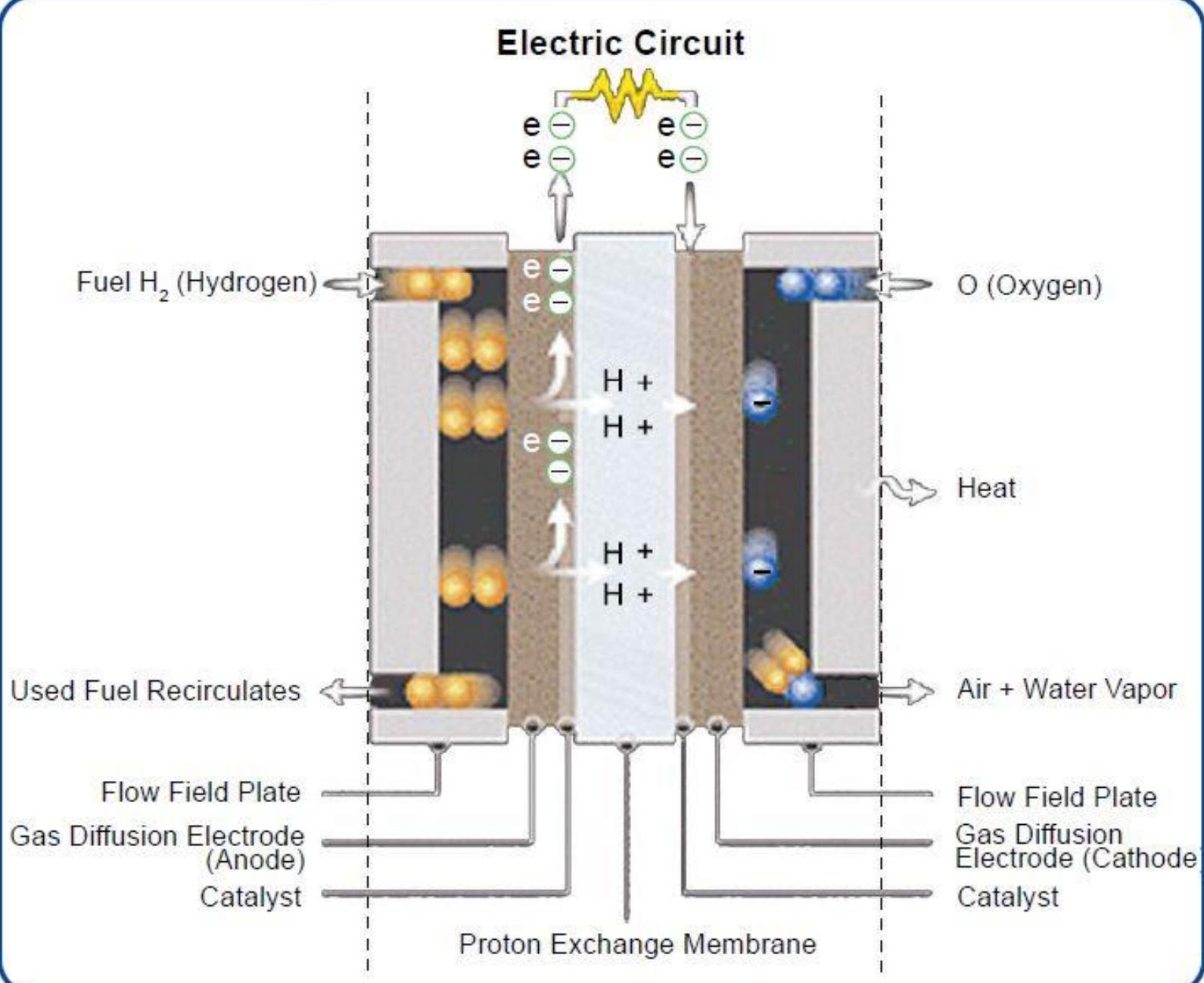
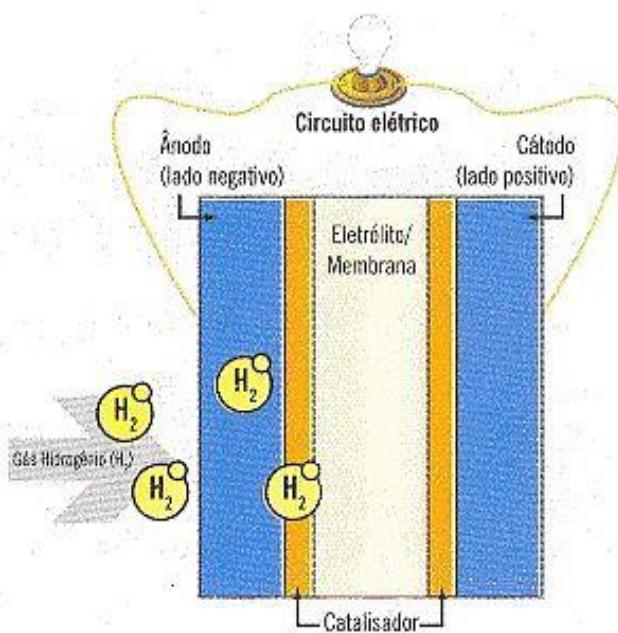


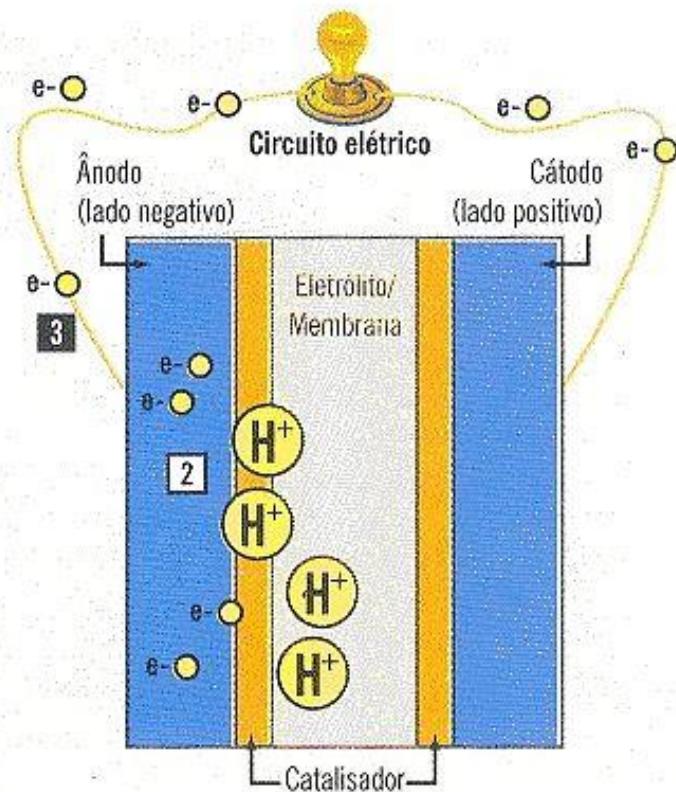
Figure 5-10. A Single PEM Fuel Cell .

1. De um lado da célula a combustível, o gás hidrogênio (H_2) pressurizado é bombeado para o terminal negativo do eletrodo, o ânodo. O gás é forçado a passar por canais de fluxo até atingir o catalisador.

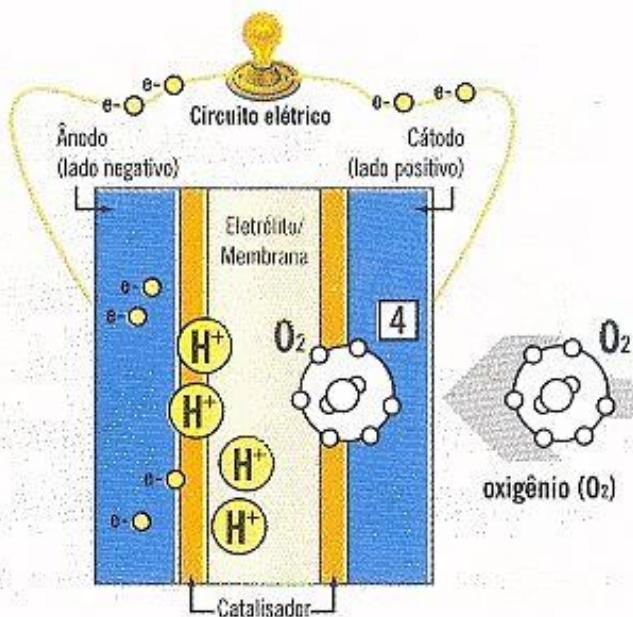


- Quando a molécula de hidrogênio entra em contato com o catalisador, ela se separa em dois íons de hidrogênio (H^+) e dois elétrons (e^-).
- Os elétrons (e^-) são conduzidos através do eletrodo até atingirem o circuito externo, onde temos um fluxo de elétrons – a corrente elétrica – no sentido do eletrodo positivo, o cátodo. A corrente elétrica que flui pelo circuito externo pode ser aproveitada para acender uma lâmpada ou um motor elétrico. Os gases de hidrogênio (H_2) que não foram quebrados pelos catalisadores não passam através do eletrólito, mas são realimentados até serem quebrados.

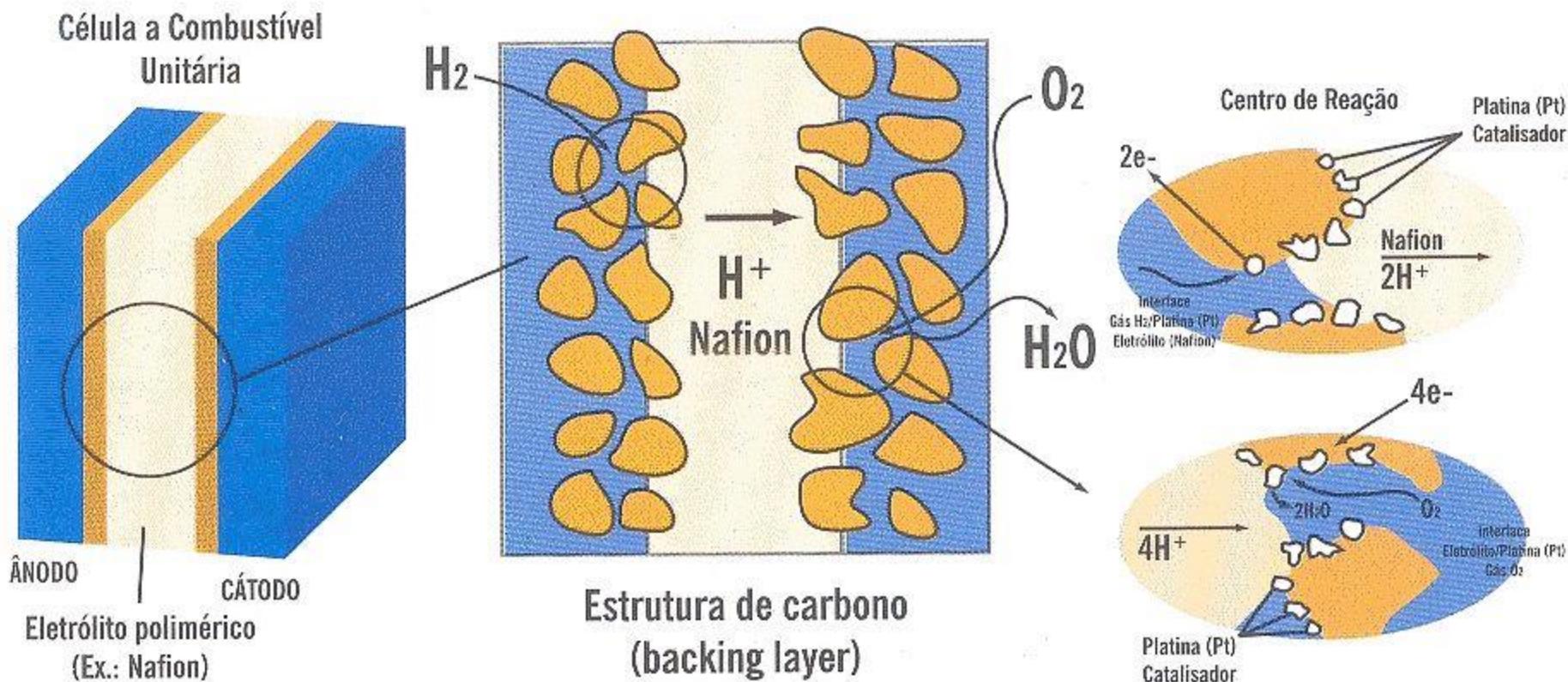
Reação Química



4. Do outro lado da célula a combustível, o gás oxigênio (O_2), ou ar, é bombeado para o terminal positivo do eletrodo, o cátodo. O gás é forçado a passar por canais de fluxo até atingir o catalisador.



Conjunto Membrana/Eletrodo/Catalisador (MEA/Membrane Electrode Assembly)



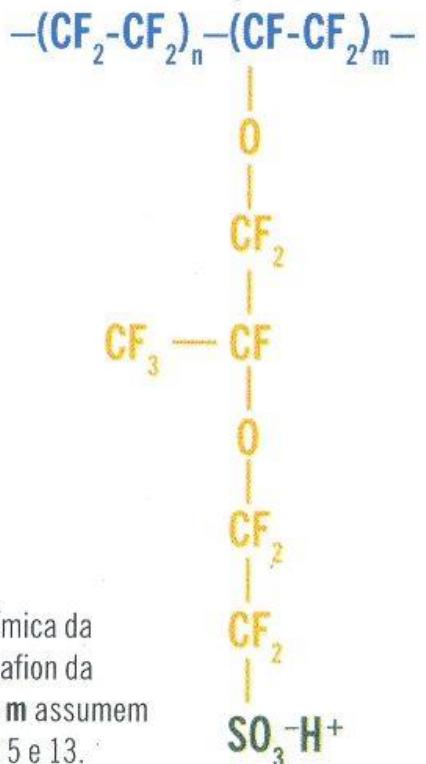
Desenho esquemático do Conjunto Membrana/Eletrodo/Catalisador, conhecido como MEA (Membrane Electrode Assembly).
Cortesia da Brasil H₂ Fuel Cell Energy.

Membranas Perfluoradas (Nafion, Du Pont)

A membrana de troca de prótons é um polímero orgânico e sólido. Normalmente é constituído de um ácido, poliperfluorsulfônico. Uma membrana típica como a Nafion consiste em 3 regiões:

1. **Centenas de estruturas de flúor-carbono:** $-(CF_2 - CF_2)_n$ – ligadas umas às outras, em que n é o número de repetições da estrutura;
2. **cadeias laterais:** $-O-CF_2-CF-O-CF_2-CF_2-$ que conectam a estrutura (1) à terceira região;
3. **composta de grupos de íons de ácidos sulfônicos** essenciais para o movimento dos prótons através da membrana, $SO_3^-H^+$.

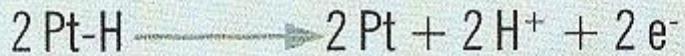
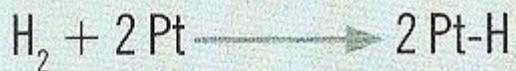
Os grupos de íons negativos, SO_3^- , ficam permanentemente presos à estrutura lateral (2) e não podem se mover. Entretanto, quando a membrana se torna hidratada através da absorção da água, os íons de hidrogênio se tornam móveis. O movimento de íons de hidrogênio (prótons) ocorre através da ligação dos prótons às moléculas de água, passando de um grupo SO_3^- para outro através da membrana. Devido a este mecanismo, o eletrólito sólido e hidratado é um excelente condutor de íons de hidrogênio.



Estrutura química da membrana Nafion da DuPont e, n e m assumem valores entre 5 e 13.

Utilização da platina como catalisador

Em uma célula a combustível, a maior parte das reações químicas em alta velocidade só ocorre devido à presença da platina (Pt) ou outro catalisador. A platina é um catalisador muito especial, pois consegue se ligar aos átomos de hidrogênio e oxigênio somente o suficiente para que o processo principal nos eletrodos ocorra. Por exemplo, no ânodo, a platina se liga ao átomo de hidrogênio (H) quando a molécula de hidrogênio (H_2) reage com a platina. Logo em seguida, a platina libera os átomos de hidrogênio na forma de íons H^+ e elétrons e^- .



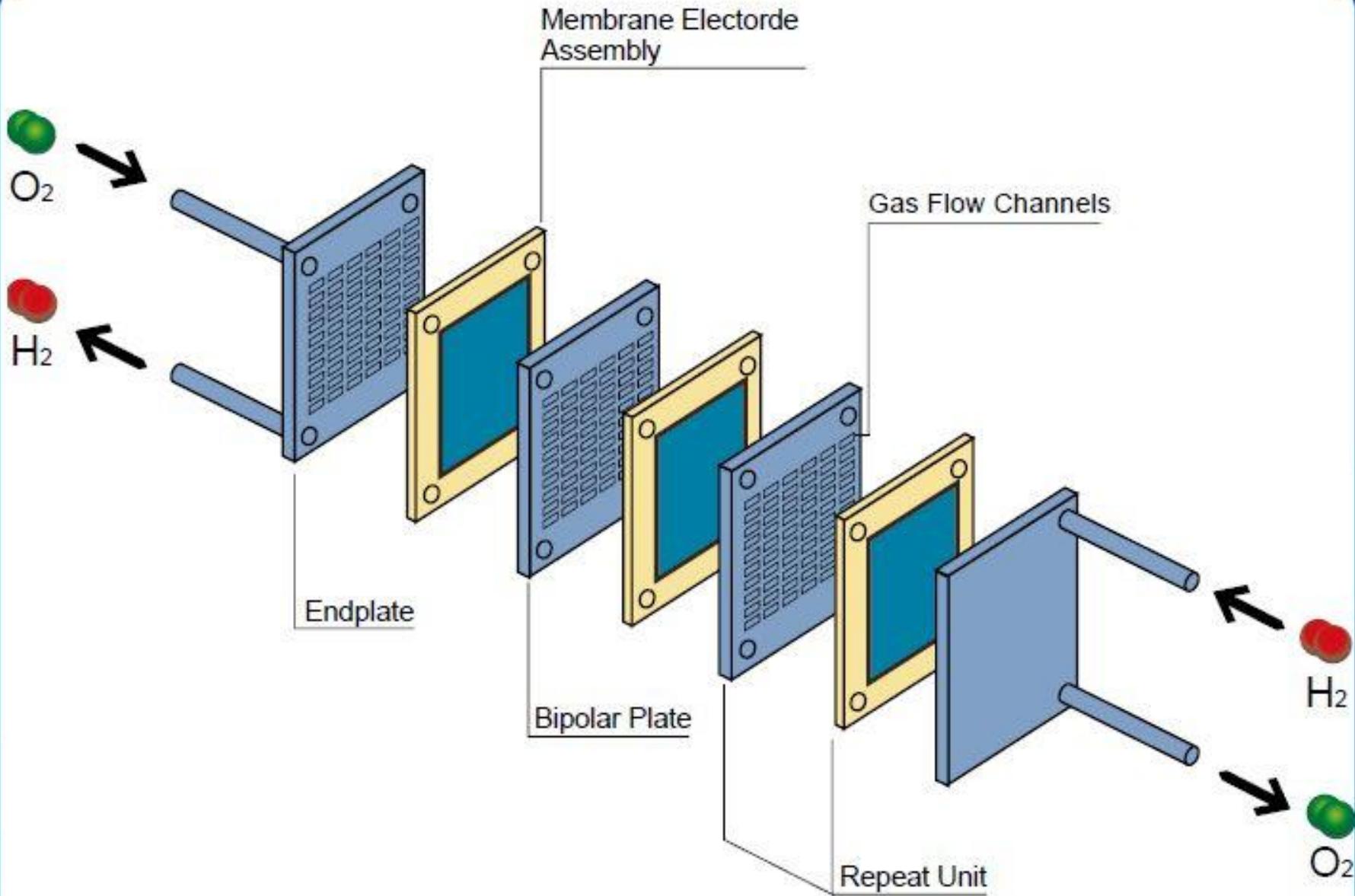
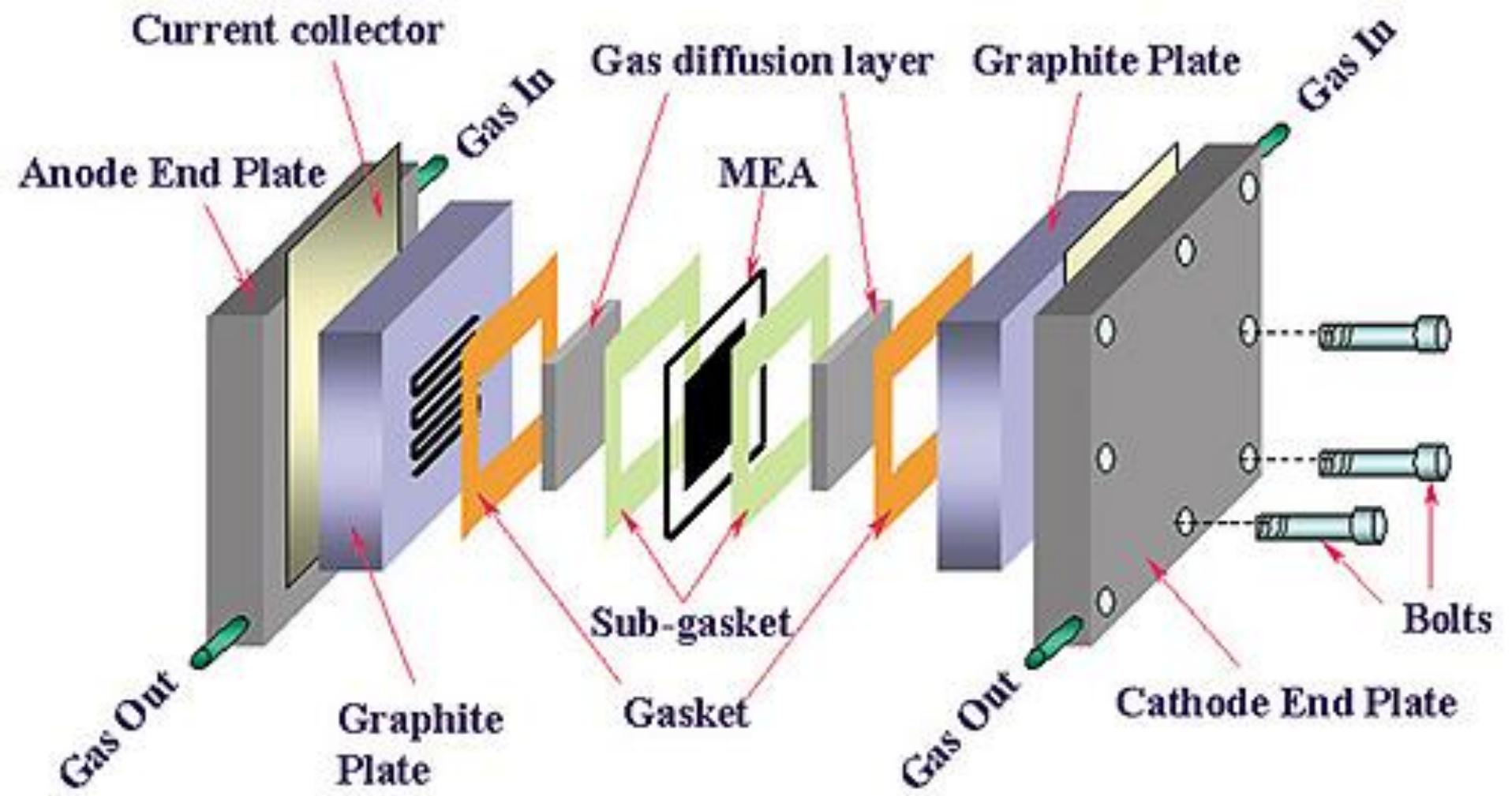


Figure 5-11. An Exploded View of a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Stack.



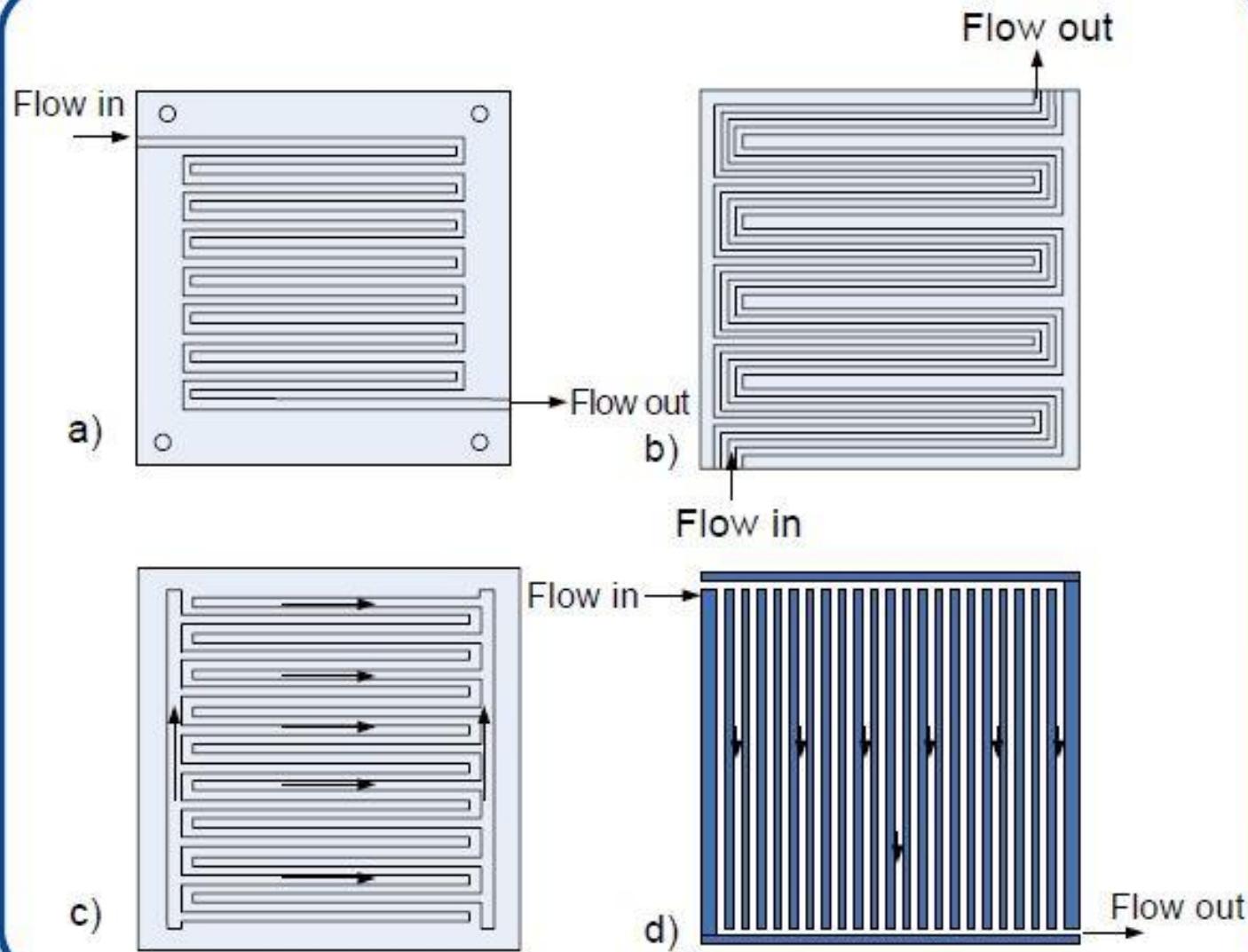


Figure 5-12. (a) Serpentine Flow Field Design,
 (b) Multiple Serpentine Flow Channel Design,
 (c) A Parallel Flow Field Design,
 (d) Interdigitated Flow Channel Design [10]

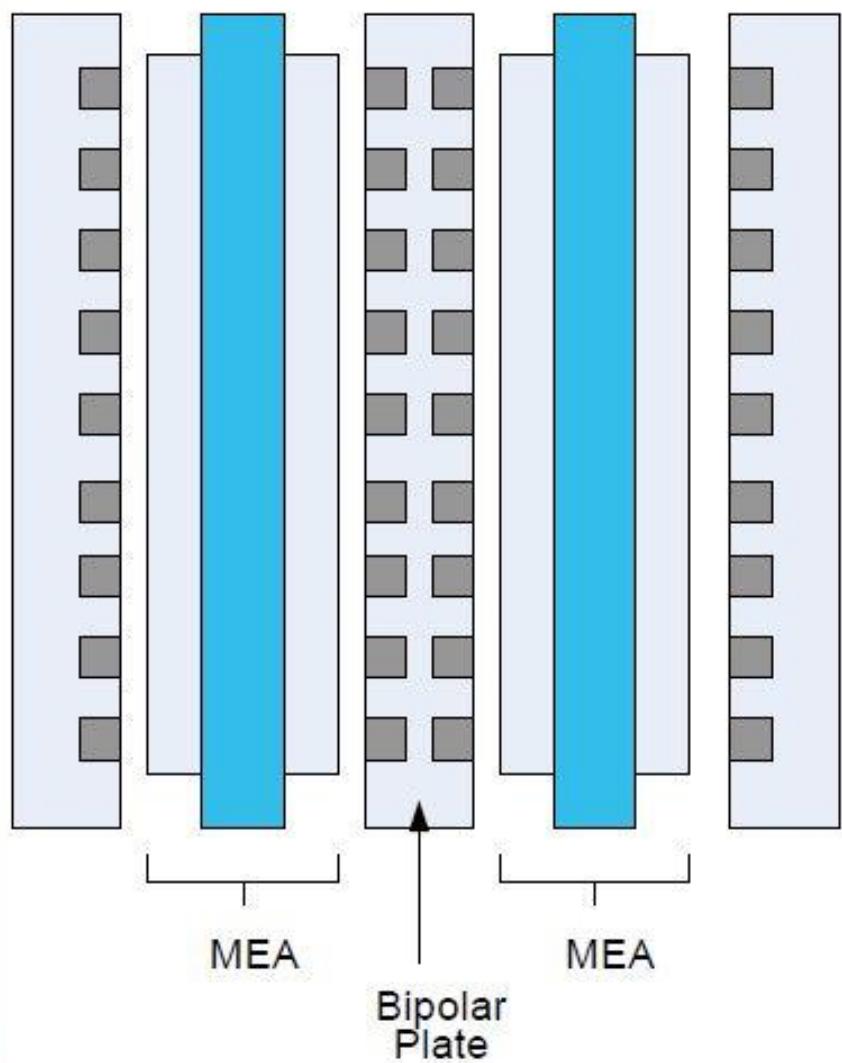


Figure 5-13.
Typical Fuel Cell Stack Configuration
(a two-cell stack) [11]

5.7.1 Polarization Curves

The traditional measure of characterizing a fuel cell is through a polarization curve – which is a plot of cell potential versus current density. This curve was first introduced in Chapter 4. An I-V curve is the most common method for characterizing and comparing fuel cell efficiency to other published data. The polarization curve illustrates the voltage-current relationship based upon operating conditions such as temperature, humidity, applied load, and fuel/oxidant flow rates. Figure 5-14 shows a typical polarization curve for a single PEM fuel cell, and the regions of importance.

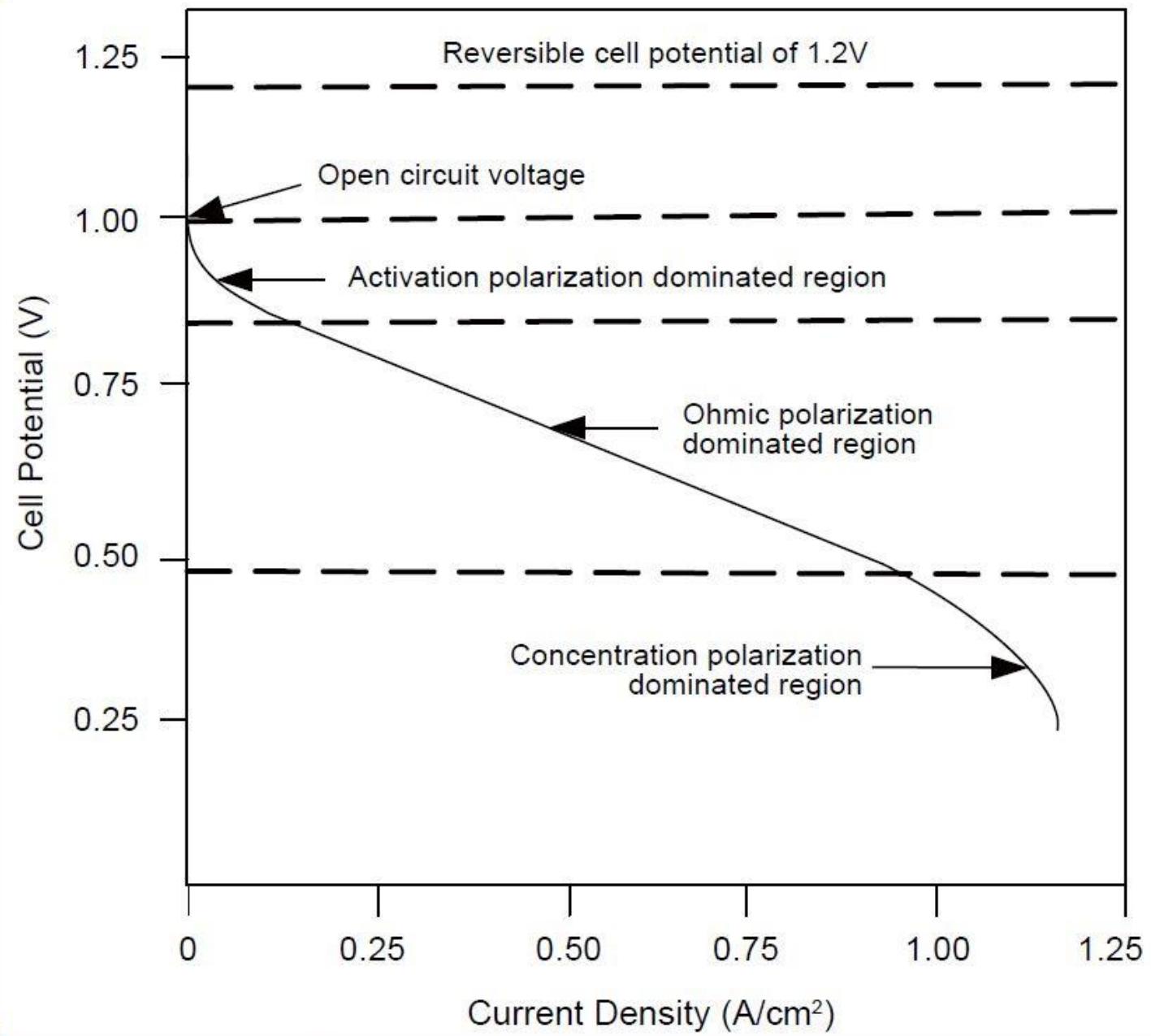


Figure 5-14. Example of a PEMFC Polarization Curve [11].

6.4.4 Metal Hydride Storage

Metal hydride hydrogen storage has been the focus of intense research during the last 25 years. Many types of metal hydrides have been developed that readily absorb and deabsorb hydrogen at room temperature and atmospheric pressure (20 °C and 1 atm). The group of lighter metals in the periodic table, such as Li, Be, Na, Mg, B and Al form a large variety of metal hydride compounds. These compounds are very interesting because they are lightweight and have a high ratio of hydrogen atoms per metal atom, which is usually around a ratio of H/M = 2.

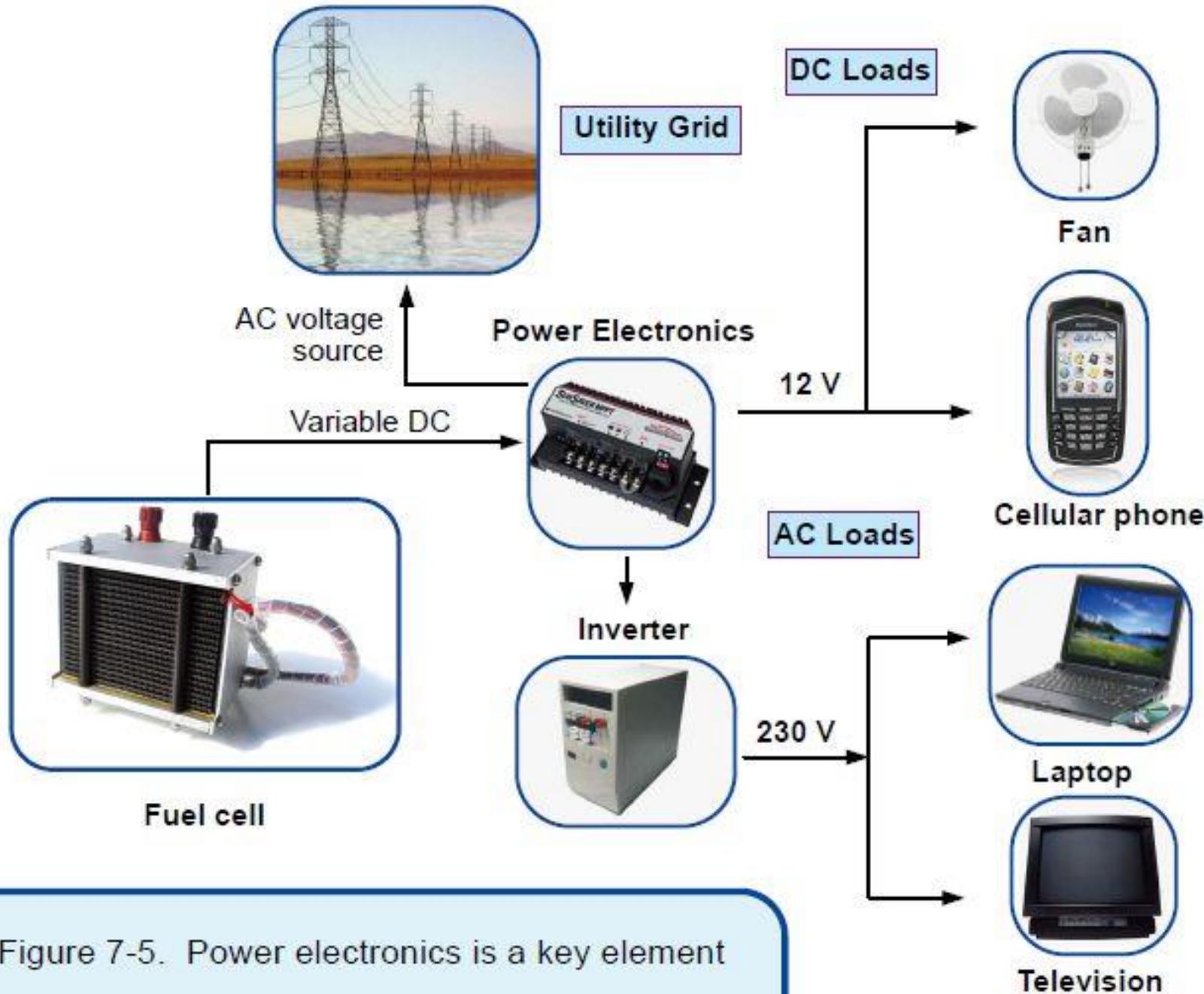


Figure 7-5. Power electronics is a key element

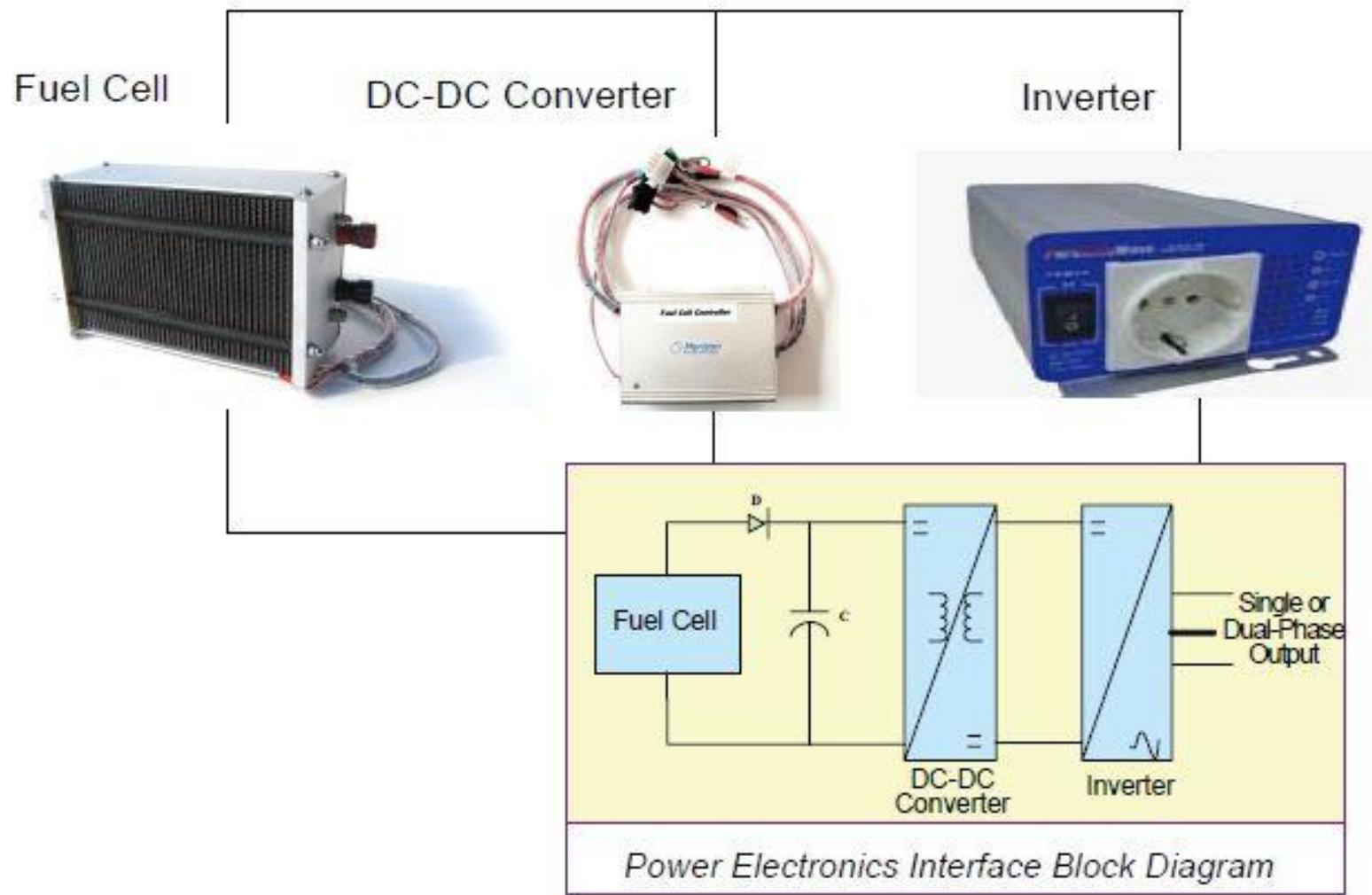
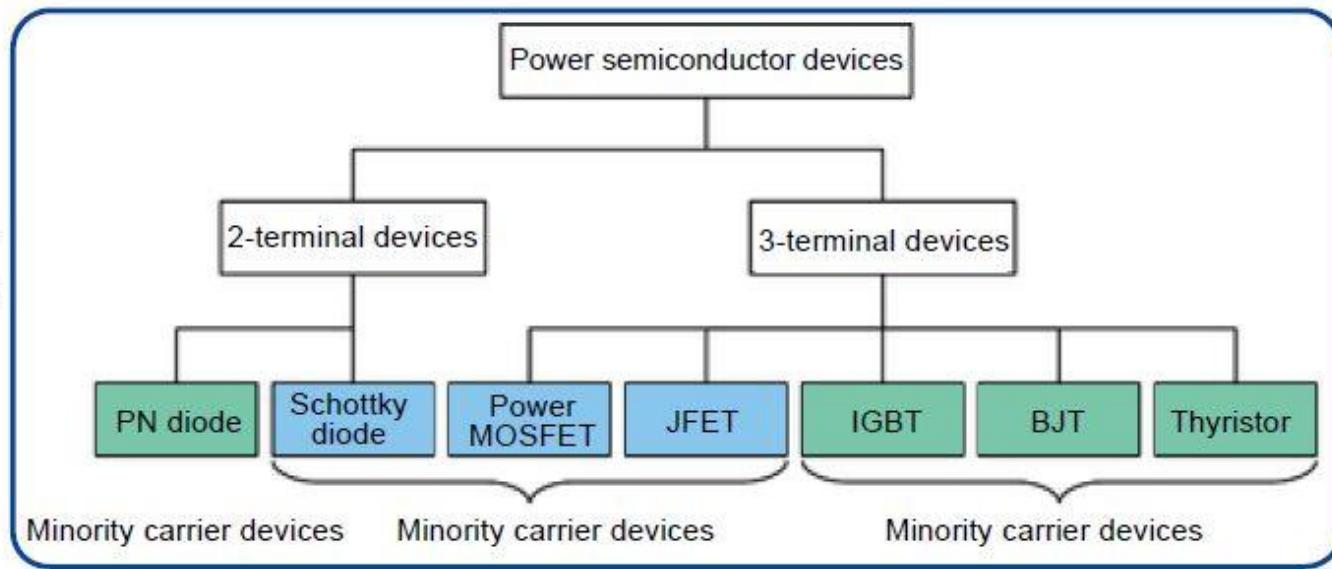


Figure 7-6.
A typical fuel cell power electronics interface block diagram

Figure 7-8.
Types of semiconductor power devices



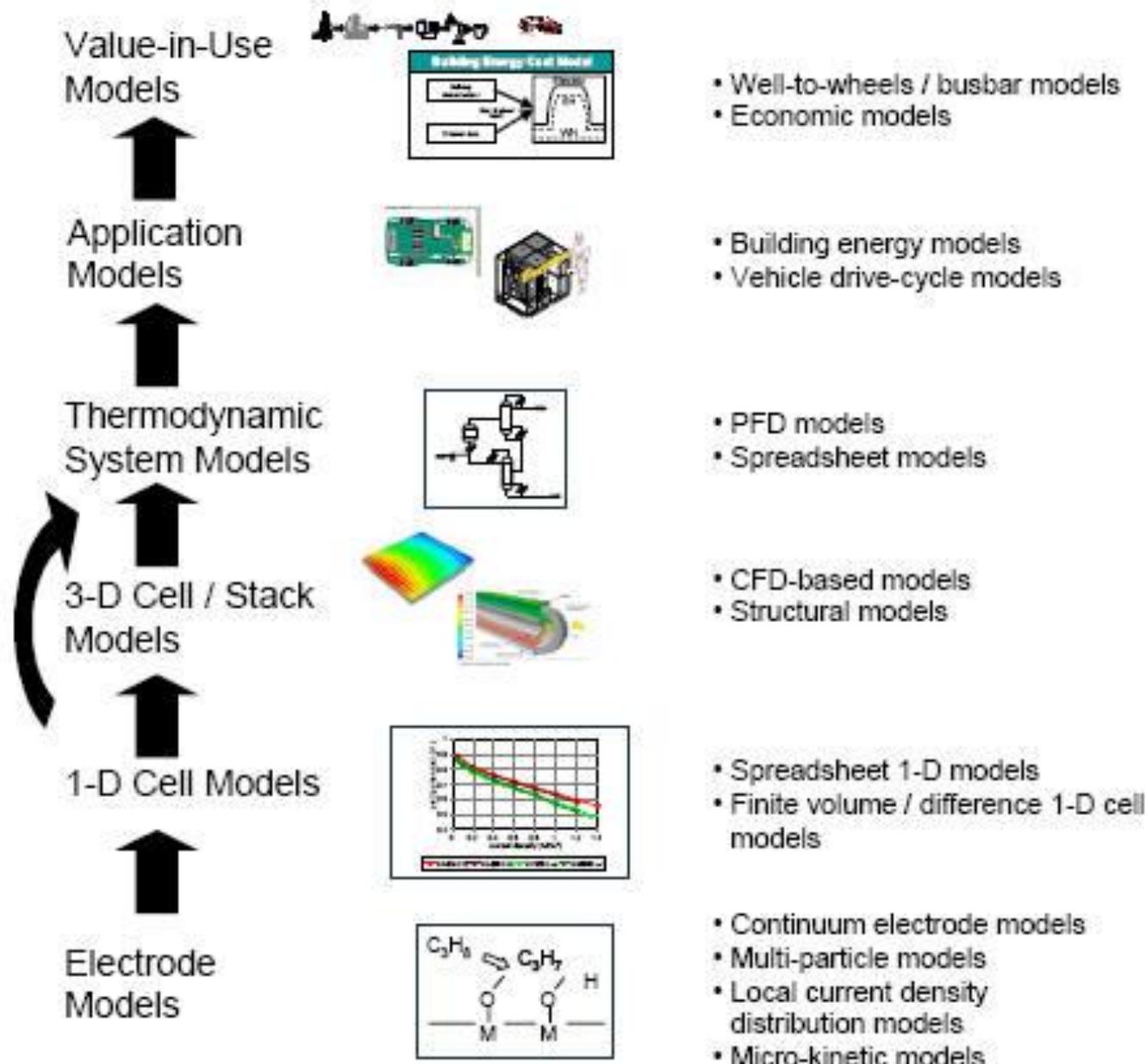


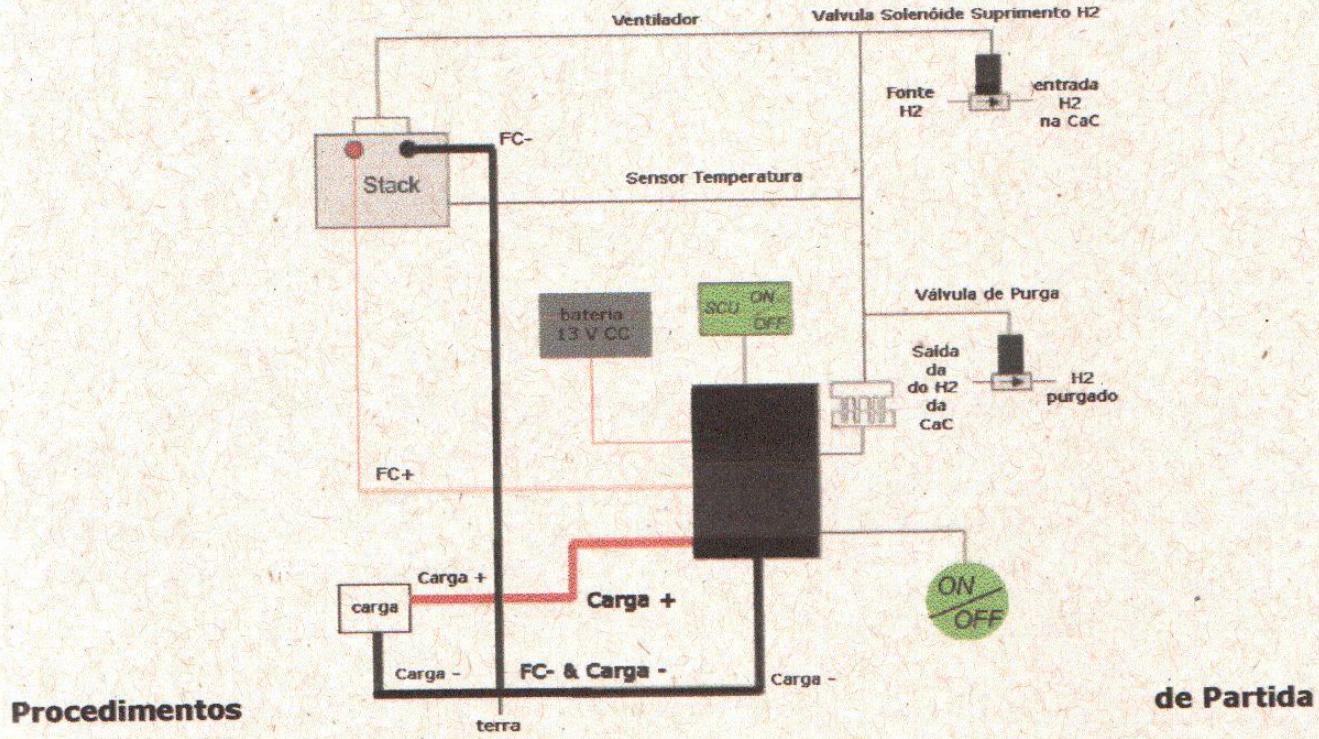
Figure 2-9 Overview of Levels of Fuel Cell Models.

Passo 10)

Antes de dar a partida na célula a combustível, ligando o controlador, verifique o sistema:

- 1) A conexão entre a entrada da válvula solenóide e a fonte de hidrogênio.
- 2) A conexão entre a saída da válvula solenóide e a stack de célula a combustível.
- 3) A conexão entre a saída do gás da stack e a válvula de purga.
- 4) Se a mangueira que sai da válvula de purga está longe da célula a combustível.
- 5) Se o plugue de 8 pinos está ligado entre a stack e o controlador.
- 6) Se os cabos elétricos FC+/- estão ligados entre a stack e o controlador.
- 7) Se a pressão do hidrogênio está entre 0,45-0,55 Bar. Você deve utilizar um manômetro.
- 8) Se a bateria externa está carregada com tensão de saída entre 12 e 14 volts.
- 9) Se a carga está abaixo de 100 watts.

Está tudo ok? O sistema já pode começar a funcionar.



Economia

O profissional de economia pode realizar estudos e previsões de análise econômica e social da influência de uma economia baseada em células a combustível, hidrogênio e fontes renováveis de energia.

- ▶ Estudo do mercado de células a combustível para diferentes aplicações no Brasil;
- ▶ Estudo do mercado de produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio no Brasil;
- ▶ Estudo de implantação de um centro de pesquisas e desenvolvimento de células a combustível e hidrogênio em uma cidade ou região do país.

Agronomia, Engenharia Ambiental, Florestal e Biologia

Estes cursos estão mais envolvidos com a produção de hidrogênio a partir da biomassa, algas, e também com os estudos de impacto e benefícios ambientais do hidrogênio e seu uso em células a combustível.

- Desenvolvimento de métodos eficientes de produção de hidrogênio e gás metano a partir do biogás proveniente de resíduos agrícolas, aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto;
- Desenvolvimento de tecnologias de produção de etanol, metano e biodiesel a partir de plantas;
- Estudos de impacto e benefícios ambientais do uso do hidrogênio e fontes renováveis de energia;
- Desenvolvimento de processos de produção direta de hidrogênio através do açúcar da plantas e outros processos biológicos;
- Desenvolvimento de células a combustível microbiológicas (MFC – Microbial Fuel Cells).

Engenheiro Civil

O profissional de Engenharia Civil pode realizar projetos integrados de hidrelétricas com produção de hidrogênio e planejamento energético visando diversificação na matriz energética das empresas.

- Engenharia de projeto e construção ligados à parte civil de postos de abastecimento de hidrogênio;
- Planejamento de geração das empresas, estado, etc, visando o melhor uso dos recursos disponíveis;
- Estudo dos usos das fontes alternativas de geração de energia;
- Projetos civis e construção de plantas de fabricação de hidrogênio;
- Projeto e construção de sistemas de tratamento de água;
- Projeto e construção de infra-estruturas de transporte;
- Projeto e construção de instalações destinadas a portos, aeroportos, terminais, etc.;
- Avaliação do potencial de produção de hidrogênio a partir do reservatório de uma PCH (Pequena Central Hidrelétrica) ou de uma grande usina hidrelétrica.

Engenharia da Computação e Informática

Estes cursos estão envolvidos com a simulação de células a combustível em computador, e no controle inteligente dos sistemas de células a combustível e equipamentos periféricos. Vejamos as principais áreas de atuação:

- ▶ Desenvolvimento de softwares que simulem o funcionamento de diferentes tecnologias de células a combustível para diversas aplicações, temperaturas de operação, combustíveis, pressão, etc. Antes de instalar uma célula a combustível real, é feita a simulação de qual tecnologia se adapta a uma determinada situação;
- ▶ Controle e monitoramento dos componentes de um sistema de célula a combustível, bomba de abastecimento de hidrogênio ou tanque de hidrogênio, através da interface visual com o usuário. Também através da programação inteligente para o melhor funcionamento destes equipamentos. Pode-se controlar computacionalmente a quantidade de energia elétrica e água necessária para produzir hidrogênio através da eletrólise, em um determinado horário do dia, ou a demanda de hidrogênio em um posto de combustível.

Engenharia Elétrica

A engenharia elétrica terá uma grande oportunidade no setor automotivo, onde o motor a combustão (mecânico) será substituído pelo motor elétrico, e terá cada vez mais componentes eletrônicos instalados. A função principal da engenharia elétrica em um sistema de célula a combustível é da célula a combustível pra fora, ou seja:

- ▶ Controlar e monitorar eletronicamente e de forma inteligente tudo o que acontece no módulo de célula a combustível e componentes externos como compressores, válvulas de pressão, umidificadores e sensores; geralmente chama-se “eletrônica de potência”.
- ▶ Controlar também a eletricidade que é fornecida para um motor elétrico, para a rede elétrica residencial ou pública, ou para um equipamento portátil.
- ▶ Simular, através de software, o funcionamento de diversas tecnologias de células a combustível para uma determinada aplicação; combustível; temperatura (modelagem);
- ▶ Desenvolver eletrolisadores e sistemas híbridos de células a combustível com células fotovoltaicas, turbinas eólicas ou hidrelétricas, baterias e ultra-capacitores para armazenamento de energia;
- ▶ Fazer a conversão dos circuitos em corrente contínua (CC) para alternada (CA), conhecidos como “inversores”;
- ▶ Controle de fluxo de hidrogênio e oxigênio/ar;
- ▶ Automação de um sistema de produção em série de componentes de células a combustível e “stacks” de células a combustível;

Engenharia Mecânica e Física

Os cursos de Engenharia Mecânica e Física estão muito envolvidos no desenvolvimento de materiais para células a combustível. Vejamos alguns estudos que podem e estão sendo realizados nesta área:

- ▶ Desenvolvimento de materiais e componentes resistentes a alta temperatura, pressão e impurezas presentes em combustíveis;
- ▶ Desenvolvimento de cilindros de armazenamento de hidrogênio;
- ▶ Desenvolvimento de componentes para produção de hidrogênio;
- ▶ Desenvolvimento de bombas para abastecimento de hidrogênio em veículos e tanques de hidrogênio;
- ▶ Desenvolvimento de placas de difusão de gases nas células a combustível;
- ▶ Análise e desenho de componentes para aperfeiçoamento do fluxo de gases e calor, dentro e fora da célula a combustível, e desenho de tanques de hidrogênio;
- ▶ Desenvolvimento de nanomateriais resistentes e leves para armazenamento de hidrogênio (hidretos metálicos; nanotubos e nanofibras de carbono) e para resistir impactos;
- ▶ Modelagem para simulação de processos em células a combustível (principalmente transferência de calor e fluxo de gases) e tecnologias do hidrogênio;
- ▶ Automação de um sistema de produção em série de componentes de células a combustível e “stacks” de células a combustível ;

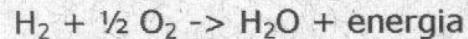
Química e Engenharia Química

O químico e o engenheiro químico apresentam diversas possibilidades de atuação no desenvolvimento de células a combustível (eletrólitos, catalisadores, MEA's) e tecnologias do hidrogênio (produção, armazenamento e distribuição). Podemos citar:

- ▶ Desenvolvimento de eletrólitos para células a combustível, como a membrana de troca de prótons (PEMFC);
- ▶ Reformadores de pequeno porte de combustíveis como o gás natural, biogás e etanol para produção de hidrogênio;
- ▶ Aproveitamento do calor gerado pelas células a combustível para reutilização na própria célula ou para processos industriais; envolve conceitos de termodinâmica e dinâmica dos fluidos (estudo do movimento de gases e líquidos);
- ▶ Desenvolvimento de componentes como os eletrocatalisadores para as células a combustível;
- ▶ Produção de hidrogênio a partir do biogás, gás natural, bambu, etanol e algas;
- ▶ Análise e purificação dos gases hidrogênio e oxigênio;
- ▶ Estudo e desenvolvimento de umidificadores e sensores para detecção e controle de água, temperatura, pressão, monóxido de carbono e outras impurezas;
- ▶ Estudo e desenvolvimento de componentes mais resistentes ao enxofre e monóxido de carbono (presentes em combustíveis como o gás natural e biogás);
- ▶ Aproveitamento ou conversão do gás dióxido de carbono em outras substâncias;
- ▶ Desenvolvimento de micro-células a combustível, micro-geradores de hidrogênio, micro-sensores e nano-materiais para equipamentos portáteis;
- ▶ Estudos de impacto ambiental;
- ▶ Desenvolvimento de nanomateriais resistentes e leves para armazenamento de hidrogênio (hidretos metálicos, nanotubos e nanofibras de carbono) e resistentes a impactos;
- ▶ Modelagem para simulação de processos em células a combustível (principalmente transferência de calor e fluxo de gases) e tecnologias do hidrogênio.

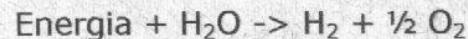
Valor Calórico

A reação de formação de água é:



A 25°C e a 1 atm, o calor de formação da água líquida, ou a energia liberada quando a água é formada na reação acima, na *combustão do hidrogênio*, é de 39 kWh/kg de hidrogênio. Este valor é o maior valor calorífico (HHV – Higher Heating Value) do hidrogênio. O calor de formação de vapor é de 33 kWh/kg de hidrogênio, e é o menor valor calorífico (LHV – Lower Heating Value) do hidrogênio.

A reação da eletrólise é o oposto da reação em que há formação da água:



A maior parte dos processos eletrolíticos utiliza a água líquida, e não o vapor, para a produção de hidrogênio. Assim, a reação acima é o inverso da formação da água líquida. Como resultado, a quantidade de energia necessária para produzir o hidrogênio da água através da eletrólise é de 39 kWh/kg. A fim de determinar a eficiência do processo de eletrólise, o montante teórico da energia necessária, 39 kWh/kg de hidrogênio, precisa ser dividida pela quantidade real de energia utilizada pela unidade de eletrólise para produzir o hidrogênio.

A razão desta distinção é importante porque, usando o poder calorífico inferior, deturpa a eficiência dos eletrolisadores.

ORDEM CRESCENTE DE AÇÃO OXIDANTE

Potencial de redução (E_{red}^0)	Estado reduzido		Estado oxidado	Potencial de oxidação (E_{oxid}^0)
-3,04	Li	↔	$\text{Li}^+ + \text{e}^-$	+3,04
-2,92	K	↔	$\text{K}^+ + \text{e}^-$	+2,92
-2,90	Ba	↔	$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^-$	+2,90
-2,89	Sr	↔	$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e}^-$	+2,89
-2,87	Ca	↔	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^-$	+2,87
-2,71	Na	↔	$\text{Na}^+ + \text{e}^-$	+2,71
-2,37	Mg	↔	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	+2,37
-1,66	Al	↔	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	+1,66
-1,18	Mn	↔	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^-$	+1,18
-0,83	$\text{H}_2 + 2(\text{OH})^-$	↔	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	+0,83
-0,76	Zn	↔	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,76
-0,74	Cr	↔	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	+0,74
-0,48	S^{2-}	↔	$\text{S} + 2\text{e}^-$	+0,48
-0,44	Fe	↔	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,44
-0,28	Co	↔	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,28
-0,23	Ni	↔	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,23
-0,13	Pb	↔	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,13
0,00	H_2	↔	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	0,00
+0,15	Cu^+	↔	$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^-$	-0,15
+0,34	Cu	↔	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,34
+0,40	$2(\text{OH})^-$	↔	$\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$	-0,40
+0,52	Cu	↔	$\text{Cu}^+ + \text{e}^-$	-0,52
+0,54	2l^-	↔	$\text{I}_2 + 2\text{e}^-$	-0,54
+0,77	Fe^{2+}	↔	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$	-0,77
+0,80	Ag	↔	$\text{Ag}^+ + \text{e}^-$	-0,80
+0,85	Hg	↔	$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,85
+1,09	2Br^-	↔	$\text{Br}_2 + 2\text{e}^-$	-1,09
+1,23	H_2O	↔	$2\text{H}^+ + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$	-1,23
+1,36	2Cl^-	↔	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$	-1,36
+2,87	2F^-	↔	$\text{F}_2 + 2\text{e}^-$	-2,87

ORDEM CRESCENTE DE AÇÃO REDUTORA

- 1 mol = 6,022 E23 entidades
- 1 mol = 22,4 l (0 C, 1 atm)
- 1 mol = 24,5 l (25 C, 1 atm)
-

Referências

- Emilio Hoffmann Gomes Neto, Hidrogênio, Evoluir Sem Poluir. Curitiba: BRASIL H2 FUEL CELL ENERGY, 2005. 240p.
- <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/demonstracoes.html>
- <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/index.html>
- <http://www.sierranevada.com/>
- <http://physics.nist.gov/MajResFac/NIF/pemFuelCells.html>
- http://www.scientific-computing.com/features/feature.php?feature_id=126
- <http://www.tomshardware.com/news/bacteria-powered-microbial-fuel-cell-prove-viable-form-electricity-generation,4630.html>
- <http://www.zimbio.com/Microbial+Ecology/articles/EyW2dvDYU9g/Microbial+Fuel+Cell>
- http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/42/01/print_article_1317_en.html

- <http://www.doitpoms.ac.uk/tplib/fuel-cells/types.php>
- http://www.knowledgepublications.com/978-1-60322-017-0_detail_page.htm
- <http://goodcleantech.pcmag.com/future-tech/280779-sony-presents-tiny-hybrid-fuel-cell-prototype>
- <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2010/October/28101001.asp>
- <http://nl-hydrogen.blogspot.com/2005/02/h2-fuel-of-future.html>
- <http://parts.mit.edu/igem07/index.php/Glasgow/Goals/FuelCells>
- <http://www3.toshiba.co.jp/ddc/eng/dmfc/about.htm>
- <http://www.eere.energy.gov/>
- <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/>