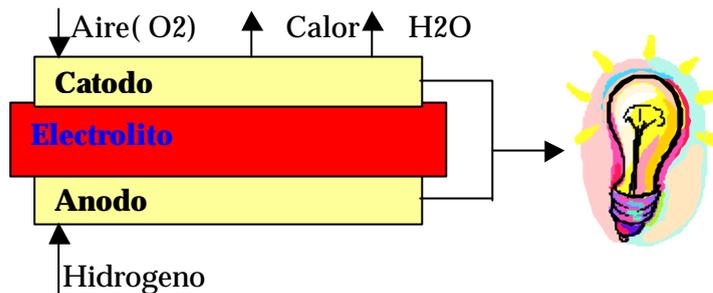


Todo lo que es preciso conocer de las Células de combustible

Las Células De Combustible son dispositivos electroquímicos que convierten directamente energía química en eléctrica, con una alta eficiencia. Sin partes móviles internas, las Células de Combustible operan de forma similar a las pilas secas, excepto que para la producción continua de electricidad requieren el suministro continuo de combustible, normalmente hidrógeno. Funcionan bajo el principio de intercambio de carga electrolítica entre una placa de ánodo positiva y una placa de cátodo negativa. Cuando se utiliza hidrógeno como combustible básico se produce hidrólisis inversa, produciendo agua y calor como subproductos, sin producir contaminantes.

Células de Combustible



Las Células de Combustible fueron inventadas en el año 1838 por el científico inglés Sir William Grove. En la década de 1.960, Científicos de General Electric inventaron las células de combustible tipo PEM (PEMFC), las cuales fueron utilizadas en el programa Gemini de la NASA. General Electric inventó la primera membrana sólida de intercambio iónico y la solución de dotar a dicha membrana de una capa catalítica. Dupont aportó en 1.967 la membrana Nafion que significó un gran avance en las prestaciones de las PEMFC. Desde principios de 1.970 hasta mediados 1.985, las PEMFC fueron un poco olvidadas debido probablemente a su alto costo de construcción (por ej. en esa época se utilizaban alrededor de 28 Mg. de Platino por cm² de electrodo). A partir de 1.988 surgió de nuevo un interés por las PEMFC liderado por Ballard Power Systems (Canadá) y El Laboratorio Nacional de los Álamos. Actualmente las PEMFC están prácticamente desarrolladas para poder entrar en la etapa de comercialización masiva y se puede afirmar que exceden en muchos campos de utilización a todas las tecnologías de generación de energía eléctrica. Una prueba de su liderazgo sobre los otros tipos de Células de Combustible es que han sido elegidas por la NASA para equipar a las Navetas Espaciales Orbitales. Actualmente a parte de Ballard y el laboratorio Nacional de los Álamos, varias compañías (ej. Plug Power, Energy Partners, Fuel Cell Energy, Proton Energy Systems y H. Power Corp), están en la fase de iniciar la comercialización de las PEMFC.

Las Células de combustible no obtienen la energía de la manera clásica en la que una combustión produce energía calorífica, esta a su vez se convierte en energía mecánica y finalmente la energía mecánica se transforma en electricidad. Las Células de combustible combinan las moléculas de un combustible y un oxidante sin el proceso de combustión, evitando así la polución y obteniendo un mayor rendimiento.

3.2 Tipos

Ácido fosfórico (PAFCs)

Estas Células de combustible utilizan ácido fosfórico como electrolito y generan electricidad a más del 40% - y cerca del 85% si el vapor que ésta produce es empleado en cogeneración – comparado con el 30% de la más eficiente máquina de combustión interna. Las temperaturas de operación se encuentran en el rango de los 400F. Este es el tipo de Células de combustible más desarrollado a nivel comercial y ya se encuentra en uso en aplicaciones tan diversas como clínicas y hospitales, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas eléctricas y una terminal aeroportuaria. También pueden ser usadas en vehículos grandes tales como autobuses y locomotoras.

Carbonato fundido (MCFCs)

El electrolito es una sal carbonatada, que funde a una temperatura de operación de aproximadamente 1200F (temperatura de trabajo). Se pueden obtener de ellas altas eficiencias combustible-electricidad y la capacidad para consumir combustibles base carbón.

Óxido sólido (SOFCs)

Un sistema de óxido sólido normalmente utiliza un material duro cerámico en lugar de un electrolito líquido permitiendo que la temperatura de operación alcance los 1800F. Los rendimientos de generación de potencia pueden alcanzar una 60%. Podrían ser

utilizadas en aplicaciones de alta potencia incluyendo estaciones de generación de energía eléctrica a gran escala e industrial. Junto con las MCFMs son las únicas que pueden utilizar monóxido de carbono como combustible.

Alcalinas

Contiene electrolito líquido alcalino (normalmente hidróxido de potasio) y pueden alcanzar un rendimiento del 70%. Son ya utilizadas en aplicaciones espaciales.

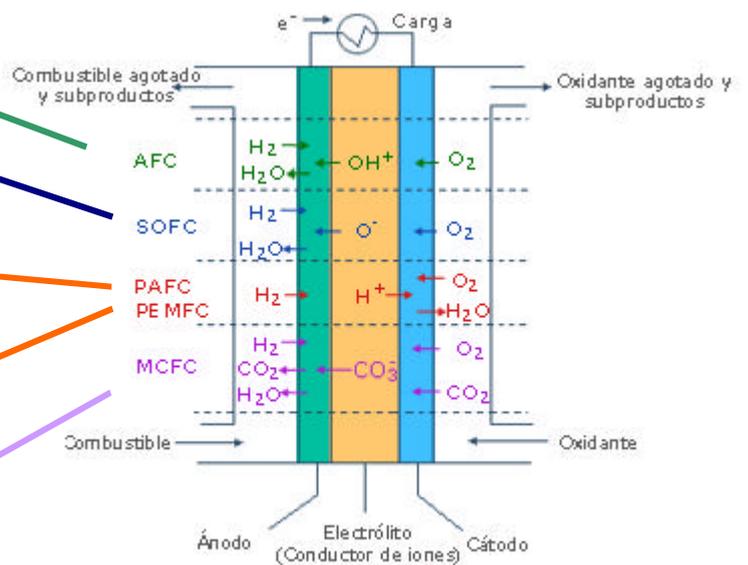
Polímero sólido o Membrana de Intercambio Protónico (PEM)

Contienen un polímero sólido como electrolito. Estas Células operan a relativamente bajas temperaturas (80°C), tienen una densidad de potencia alta, pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuadas para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida, tanto en equipos para la generación de energía eléctrica estacionarios como para automóviles.

Los diferentes tipos de células de combustible se caracterizan generalmente por el material de su electrolito. El electrolito es la sustancia que sirve como puente para el intercambio de iones entre el ánodo y el cátodo.

Existen 5 tipos diferentes de células de combustible:

- células de combustible Alcalinas: Contienen electrolito líquido alcalino con aplicación en la industria espacial preferentemente y equipos móviles.
- células de combustible de óxidos sólidos: utilizan cerámica como electrolito para poder operar a altas temperaturas (1000°). Aplicaciones en vehículos pesados y generación de energía.
- células de combustible de ácido fosfórico: utilizan ácido fosfórico como electrolito. Aplicaciones para la generación de energía y vehículos pesados.
- células de combustible con membrana de intercambio de protones: contiene polímero sólido como electrolito. Aplicaciones en generación energía, automoción, etc.
- células de combustible con carbonato fundido: contienen como electrolito una sal carbonatada. Aplicación preferentemente en la generación de energía.



Cuadro comparativo de Tipos

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	APLICACIONES
AFC Acido fosfórico	Probadas, seguras, relativamente eficientes.	Tamaño grande, pesadas, grandes costes de inversión.	Aplicaciones industriales, oficinas.
PEM	Costes potencialmente inferiores, mejores expectativas y mayor proyección.	Menos probadas, eficacia relativamente baja todavía.	Residencial, automoción y portátil.
SOFC Oxido Sólido	Altamente eficientes, usos en cogeneración (calor).	Tamaño grande, funcionamiento a altas temperaturas, usos a gran escala.	Aplicaciones industriales, oficinas.
AFC Alcalinas	Alta eficiencia, uso y experiencia probada y contrastada.	Tecnología excesivamente cara.	Aeroespaciales, defensa, militar.
MCFC Carbonato	Silenciosas, altamente eficientes, cogeneración (uso del calor producido).	Tamaño grande, temperaturas muy altas de funcionamiento. Inversión elevada (costes).	Aplicaciones industriales. Embarcaciones y Buques

Como funcionan las Células de combustible PEM

Las Células de combustible PEM están formadas por dos electrodos – ánodo y cátodo – separados por una delgada membrana de polímero. La Célula de combustible se compone de Células individuales montadas una a continuación de otra para proporcionar la potencia requerida.

Al introducir el Hidrógeno (H₂) en la Célula, la superficie catalítica divide la molécula de gas en protones y electrones. Los protones pasan a través de la membrana y reaccionan con el oxígeno del aire (formando agua). Los electrones, al no poder pasar la membrana, viajan a través de un circuito alrededor de ésta creando una corriente eléctrica. A medida que el oxígeno entra por el cátodo, otra superficie catalítica ayuda al oxígeno (protones) y a los electrones a combinarse para producir agua y calor.

Varias Células de combustible unidas forman un STACK. El área de la Célula de combustible determina la capacidad de corriente de la Célula y el número de Células de Combustible determina el Voltaje.

La mejor forma de indicar la performance de una Células de combustible es la relación de potencia producida por cm² de MEA (W/cm²), otras formas son densidad de potencia (potencia /volumen) y potencia específica (Potencia /masa).

En una Célula de combustible se obtienen actualmente entre 0.2 y 0.7 Amp/cm², con 0,60 - 0.84 Voltios, esto corresponde a 0,12 y 0.54 W/cm². Una Célula de Combustible con una potencia de 1 KW requiere normalmente alrededor de 0.20 m² MEA.

Actualmente una Célula de combustible de alta tecnología necesita 1 m³ de hidrógeno puro para producir 1.8 a 1.9 Kw, de los cuales alrededor de 0.50 y 0.80 Kw (entre un 30% y un 40%), se pierden en el proceso de funcionamiento, siendo la producción media efectiva por cada m³ de hidrógeno de 1,30Kw. En el caso de que la fuente de hidrogeno sea un reformador de combustible la producción específica de la Células de Combustible debe ser calculada específicamente para dicho sistema.

La Células de combustible ya ha sido probada en condiciones extremas y es muy segura incluso en caso de fallo catastrófico.

La influencia de la contaminación de diferentes tipos existente en las grandes ciudades y zonas industriales tanto en las Células de combustible como en el aire utilizado por la misma, todavía no ha sido determinada.

El agua tiene un papel importante en las Células de combustible PEM. Se utiliza en la humidificación de los gases reactivos, para mantener una humedad en las membranas así como para la refrigeración de las Células. La temperatura óptima dentro del bloque de las Células también requiere de un diseño bien planeado de la Célula y del bloque.

Es muy importante conseguir un diseño de un control automático eficaz de todo el sistema con el menor número posible de sensores y control de variables (la inteligencia artificial tendrá un papel más importante en el control automático).

Las Células de combustible no tienen piezas mecánicas que se desgasten con el uso.

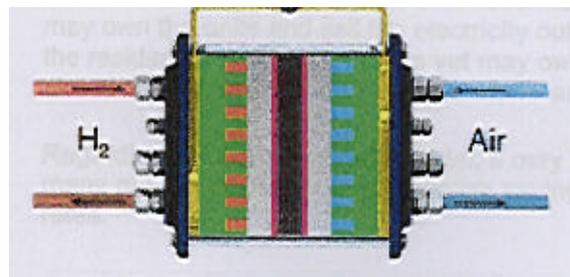
Los parámetros básicos que determinan el funcionamiento de una PEMFC son las reacciones químicas, la presión y la temperatura de operación.

Las Células de Combustible a partir de potencias de 10 Kw, normalmente están diseñadas para operar con gases humidificados a presiones de alrededor de 3 bares y temperaturas de aproximadamente 80°C y en caso de bajas potencias a presión ambiente y bajas temperaturas.

Según varias compañías internacionales las células de combustible del tipo PEMFC, son las mejores posicionadas para una penetración masiva en el mercado (tanto actualmente) como en las proyecciones futuras.

I.- Los componentes que conforman una PEMFC son:

- PEM con capas catalíticas y colectores de corriente (MEA)
- Placas Bipolares realizadas de material no poroso
- Placas refrigeradoras
- Placas de cierre.
- Componentes no repetitivos



PEMFC

1.-La membrana PEM, la fabrican actualmente varias compañías (DUPONT (Nafion), DOW CHEMICAL, BALLARD, etc.), consiste en un esqueleto de polímero con fuertes grupos funcionales ácidos adjuntos a la cadena de polímero. En su estado seco estos materiales presentan micro estructuras relativamente abiertas y baja conductividad iónica, sin embargo con hidratación se convierten en excelentes conductores de protones. La adición-asociación de moléculas de agua da como resultado una separación del polímero en dos fases: fase hidrofílica amorfa conteniendo grupos ácidos y cristalinos y una fase hidrofóbica basada en el esqueleto del polímero. El mecanismo de transporte de los protones todavía no se comprende bien aunque se sabe que es altamente dependiente de la micro estructura y de las características de capacidad de contenido de agua de las membranas.

En el caso de Nafion, los iones cubren poros de alrededor de 5 nm de diámetro y están conectados por canales estrechos de alrededor de 1 nm. La conductividad de esos materiales se incrementa significativamente cuando la media del número de moléculas de agua en relación al grupo de ácido sulfónico es mayor que seis. Con concentraciones de agua mas bajas, las moléculas de agua se comportan como aguas de solvatación y están asociadas fuertemente con los iones ligados a los poros del polímero. Con alto contenido de agua la estructura micro porosa del polímero se llena y la membrana se hincha. (dilataciones-contracciones del 10% al 30%)

La familia de membranas Nafion se fabrican con diferentes pesos equivalentes de polímero. Tienen una alta EWs y bajas conducciones específicas, estos dos factores implican una reducción de las densidades de potencias y es una de las mayores limitaciones asociadas con dichas membranas. La duración estimada de uso de las membranas Nafion en Células de Combustibles es de mas de 30.000 horas.

La membrana de DOW tiene menor peso equivalente, siendo su estructura morfológica similar a Nafion, una EWs mas baja (800-850), una mayor conducción específica y una mayor capacidad específica de potencia. Esta membrana utilizada en las PEMFC tiene una duración inferior a la de Dupont.

W.L. Gore ha desarrollado una membrana para evitar alguna de las limitaciones antes mencionadas combinando polímeros perfluorados tales como el Nafion 324 o 417 con un refuerzo de PTFE.

Una reducción en el peso equivalente de la membrana da como resultado un aumento de densidad de potencia y en general unas mejores prestaciones. La manera mas simple de reducir la resistencia iónica es reducir el espesor de la membrana, esta solución baja la resistividad de la membrana y facilita en gran manera la hidratación de la membrana.

Una superficie reducida del área de la membrana en una Célula de Combustible, permite un mejor control de las condiciones de operación lo que implica mejores prestaciones técnicas.

Actualmente la fabricación de las membranas perfluoradas requiere procesos de fabricación caros y complejos. Las membranas además son extremadamente sensibles al contenido de agua y la temperatura. El límite de temperatura práctica de trabajo es de 100°C, a mayores temperatura (120°C) su conductividad decrece drásticamente debido a la deshidratación de la membrana perdiendo sus características químicas.

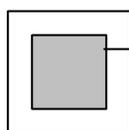
Los fabricantes de PEMFC deben tener en cuenta que la PEM se expande o contrae (10%-30%), dependiendo de su estado de humedad, el montaje en un Stack debe ser con el mismo grado de humedad en que va a trabajar para evitar que se contraiga-expanda y se rompa. Lo anterior es el principal motivo que hace necesario que la PEM tenga una robustez mínima, lo cual por ahora no se garantiza en espesores inferiores a las 65-70 micras.

2.- MEA, esta formada por PEM con capa catalítica y placa difusora de gas & colector de corriente (La MEA puede llevar o no llevar incorporada la placa difusora de gas).

La capa catalítica, con un espesor de 1 a 2 micras, normalmente se adhiere directamente en ambas caras de la membrana y esta compuesta normalmente por un electro catalizador con un contenido de 0,1 – 0,20 Mg. de materiales nobles por cm², material inactivo electro conductor, y otros materiales.

En las PEMFC una MEA tiene normalmente las siguientes dimensiones:

10 x 10 cm de membrana PEM



8 a 8.5 cm x 8 a 8.5 cm Capa Catalítica

Dimensiones de la PEM de hasta 20 x 20 también son usuales

Los colectores de corriente con altas características técnicas se fabrican con materiales composite con una matriz que contiene carbono con una porosidad controlada, sustancia inerte y ligante a base de material polimérico.

Los colectores de corriente, los cuales son porosos para permitir el flujo de fluidos a través suyo, están adheridos a la capa catalítica de la MEA y son los encargados, entre otras cosas, de recoger la corriente generada por la MEA en la reacción de oxidación así como de recoger el agua, en algunos casos es necesario intercalar entre la MEA y el colector de corriente una película de material hidrofóbico para la recogida del agua..

3.-Las Placas Bipolares, actúan en un stack de la célula de combustible como ánodo de una célula y cátodo de la célula adyacente y normalmente incorporan canales de flujo para la conducción del combustible y del aire.

Las Placas bipolares sirven para:

- Proveer las series de conexiones necesarias entre las Células a través de la conducción de la corriente eléctrica producida por la MEA entre una Célula y otra y finalmente a las placas de cierre (Placa de cierre negativa y placa de cierre positiva).
- Prever cualquier transporte de gas entre Células adyacentes.
- Proveer al Stack con la suficiente rigidez mecánica al objeto de garantizar una fuerza de compresión entre los elementos que forman el Stack que eliminen las fugas de gas que circula en el perímetro de las MEA.
- Proveer a través de sus conductos del gas necesario para su oxidación en la MEA y eliminar los productos producidos (agua) por la reacción de oxidación
- Proveer el contacto entre los líquidos refrigerantes al objeto de extraer el calor de los electrodos de las Células.

4.-Las placas refrigeradoras, son componentes sencillos que están situadas a continuación de las Placas Bipolares y se fabrican con materiales inertes tales como el Titanio.

Existen varios fabricantes de los componentes de las PEMFC, los cuales fabrican los equipos y componentes para las PEMFC y suministran dichos equipos y componentes de acuerdo a los requerimientos de los fabricantes de las PEMFC. Las diferencias entre las PEMFC fabricadas por los diferentes fabricantes principalmente son, sus diferentes soluciones sobre la superficie efectiva de las MEA, construcción de las placas bipolares y los Stacks para lograr que los requerimientos de los sistemas

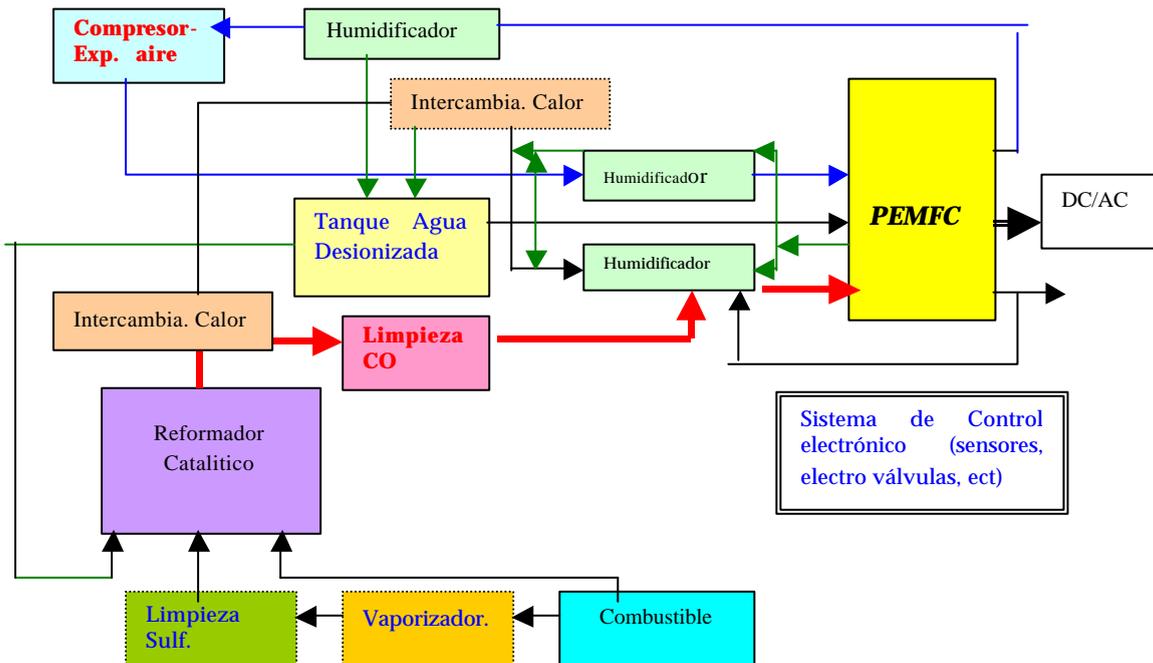
complementarios del sistema integrado sean mas sencillos. La duración de los Stack de una PEMFC, a parte de la calidad de la MEA y la placas bipolares, esta muy ligado al diseño del constructor.

Los componentes de un sistema integrado de PEMFC para la producción de energía son:

- Deposito de Hidrógeno o Reformador de combustibles
- Sistema de suministro de aire
- Sistema de humidificación del aire
- Sistema de humidificación del hidrógeno
- Tanque de agua desionizada
- Sistema de refrigeración de la Célula de Combustible
- Separador de aire-agua
- Sistema de control electrónico
- Inversor de corriente DC/AC

N.B. El diseño y construcción de dichos componentes se basa en los requerimientos de las condiciones de operación de la Célula de Combustible: Presión de aire de 10 Psig, con una temperatura de 70° C/80° C con +80 % de humedad relativa. Los componentes deben ser fabricados con materiales inertes tales como acero inoxidable, titanio, teflón, etc.

Esquema básico de una PEMFC y sistemas integrados



1.- Reformador de combustibles, un reformador de combustible es un equipo capaz de reformar combustibles fósiles o alcoholes en gas sintético formado principalmente por Hidrógeno y Monóxido de Carbono y su objetivo es el suministro de hidrógeno a la PEMFC. (prácticamente todas las Células de Combustible utilizan como combustible base el hidrógeno)

Existen varias soluciones para los conversores, la mas utilizada es a través de una combinación de oxidación parcial y reforma de vapor, utilizándose un catalizador para el proceso de conversión. También existe la posibilidad de sustituir el catalizador por plasma. Como mas destacados podemos destacar el Reformador Catalítico y el Reformador por Plasma Catálisis.

Un Reformador Catalítico es un equipo compacto, que puede utilizar como combustible Metano, Propano, Gasolinas de bajo Octanaje, Combustibles derivados del Carbón, alcoholes, etc., formado por: Unidad de limpieza y desulfuración del Combustible base- en caso de que no se disponga de combustibles con muy bajo contenido de sulfuro; Unidades de Vaporización del combustible base y agua; Unidad de Reformador Catalítico; Unidad Intercambiadora de calor (reducción de la temperatura de salida del Gas Sintético del Reformador, de 500° C a 80° C, recuperando calor para la vaporización del combustible base y para la Unidad de reducción del CO) y Unidad de Reducción del CO]. Este Reformador no utiliza energía eléctrica (en el caso de que el

sistema de limpieza del CO sea de última generación y no necesite de un compresor) y la energía térmica que necesita se obtiene quemando parte del combustible.

Un Reformador por Plasma Catálisis, realiza las mismas funciones que un Reactor Catalítico, utiliza los mismos combustibles base, pero es más performante. Tiene un tamaño y peso inferior a 5 y 10 veces de su equivalente de Reformador de Catálisis para una misma producción específica. Requiere 0,10 Kw de energía eléctrica y 0,80 Kw de energía térmica para la producción de 1m³ de Hidrógeno y logra concentraciones de más del 68% de hidrógeno en la composición del gas sintético

2.-El sistema de suministro de aire se utiliza para obtener presiones de alrededor de 10 -20 psi, se hace a través de un compresor, el cual necesita alrededor del 20- 25% de la potencia suministrada por la PEMFC para su funcionamiento (Una PEMFC de altas prestaciones con una potencia de 20 Kw necesita a máxima potencia 1.41 m³ de aire por minuto)

3.-El sistema humidificación y limpieza de aire, se utiliza para suministrar aire limpio con +80% de humedad relativa y a una temperatura máxima de 70°C. La humidificación de los reactivos, especialmente del oxidante, debido al alto flujo y capacidad de contenido de agua es absolutamente crítico para las características técnicas de la PEMFC, un exceso de agua en el flujo producido por el sistema de humidificación en la PEMFC puede reducir la capacidad de potencia así como causar daños en la PEMFC. Las condiciones atmosféricas existentes durante el funcionamiento deben ser tenidas en cuenta en el diseño del sistema de humidificación al objeto de poder cumplir con los requerimientos de la PEMFC independientemente de las condiciones atmosféricas exteriores, (sistema de control electrónico avanzado con un sistema sobredimensionado de humidificación). Un filtro de aire se instala en el sistema al objeto de obtener aire limpio.

No se deben producir sensibles discrepancias de temperatura entre los reactivos y el sistema de refrigeración del agua de la PEMFC al objeto de evitar que una temperatura alta de los reactivos de cómo resultado una absorción de agua de las membranas.

3.-El separador de Aire-Agua, se utiliza para mantener el nivel de agua desionizada en el tanque, a través de la recuperación mediante un sistema separador de Aire-agua en el flujo de escape de la PEMFC.

4.-Sistema de refrigeración de la PEMFC, es tan importante como en el caso de los motores de combustión interna, necesita ser efectivo para lograr una distribución uniforme de refrigeración en los elementos de la PEMFC, el sistema elimina el exceso de calor de la PEMFC (alrededor del 100% de la energía contenida en el escape), a través de un circuito de agua acoplado a un intercambiador de calor y consta normalmente de una bomba de 12 V DC (250 W), desionizador (semejante al utilizado al que se pone actualmente en los grifos de las casas), un tanque de agua, sensores . En el caso de una PEMFC de potencia de 20 Kw, el flujo de agua tiene un caudal de alrededor de 76 litros/m. a 15 Psi.

5.-Sistema de control electrónico, normalmente es preferible utilizar sensores y actuadores electrónicos en lugar de mecánicos, debido a sus mejores prestaciones técnicas, alto grado de fiabilidad y rápida información y actuación. El Reformador, como en la mayor parte de procesos químicos, requiere una gran cantidad de sensores y actuadores al objeto de controlar un gran número de variables de funcionamiento de acuerdo a la demanda de potencia de la PEMFC. Lo mismo ocurre con la PEMFC y los sistemas de aire, humidificación, presión, etc. Normalmente se instalan varios controladores electrónicos para cada uno de los principales sistemas, comunicados entre sí usando un protocolo como el "Controler Area Network" (CAN), al objeto de lograr un funcionamiento coordinado de todos los componentes. En un futuro inmediato se espera utilizar sistemas de control de inteligencia artificial basados en Neural Network y Fuzzy Logic.

Costos de las Células de Combustible y sistemas complementarios.

Las Células de Combustible se construyen en la actualidad manualmente y en un reducido número. El costo actual de un equipo para la generación de energía eléctrica estacionario a base de célula de combustible con sus equipos complementarios es de alrededor de US\$ 3.000 a US\$ 5.000 por Kw. Las previsiones de costo en el 2.003-2.004, son que los costos se situaran alrededor de los US\$ 1.200 a US\$ 1.500 por Kw.

Actualmente se están llevando a cabo muchos trabajos en I+D para lograr el objetivo de que a partir del año 2.005 se puedan comercializar Células de Combustible PEM (producción masiva) con sus equipos complementarios, a un precio de alrededor de los 600-800 US\$/Kw, con un costo de producción de energía eléctrica de igual o inferior que los otros medios que se usan actualmente.

Prácticamente todos los fabricantes de automóviles están trabajando en el desarrollo de las PEMFC, se espera que antes del año 2.007-2.008 disponer de Células de Combustible conjuntamente con sus equipos complementarios a precios inferiores a los US\$ 100/Kw lo que permitirá su utilización masiva en los automóviles substituyendo progresivamente el motor de combustión interna. Las estimaciones de los objetivos de precios de comercialización de las Células de Combustibles en sus diferentes aplicaciones, entran dentro de la norma de la industria de que los precios de fabricación disminuyen entre 10 y 20 veces una vez que se pasa de una producción semi-artesana a una producción masiva.