



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGÓN"

CELDA DE COMBUSTIBLE "UNA ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA Y EFICIENTE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICO

ÁREA: INDUSTRIAL

P R E S E N T A :

JORGE BUSTOS ALVARADO

ASESOR DE TESIS:
ING. FEDERIQUE JAUREGUI RENAUD

MÉXICO

2004

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CELDA DE COMBUSTIBLE

"UNA ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA Y EFICIENTE."

CAPITULADO	PAG.
Objetivo.....	2
Justificación.....	3
Introducción.....	5
I.-Hidrogeno y las celdas de combustible.....	7
II.- Principios de funcionamiento y sus características.....	42
III.- Especificaciones técnicas de una Planta de Potencia de Celdas de combustible de 40 Kw. del tipo Ácido fosforico instalada y operada en el IMP.....	66
IV.- Experiencias obtenidas en la instalación y operación de una Planta de Potencia de Celdas de combustible de 40 KW de tipo ácido Fosfórico.....	83
V.- Factores que intervienen en la instalación de una Planta de Potencia de Celdas de Combustible.....	103
Conclusiones.....	115
Apéndice.....	116
Bibliografía.....	136

OBJETIVO.

El objetivo de esta tesis es dar a conocer a los lectores las experiencias obtenidas de un proyecto desarrollado en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) relacionado con las celdas de combustible implícito en un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico sobre una Planta de Potencia por Celdas de Combustible del tipo ácido fosfórico, la información archivada en los expedientes de este proyecto resultan de gran interés sobre una de las tecnologías que se han venido desarrollando intensamente a nivel mundial, principalmente por los Estados Unidos de Norteamérica, Alemania, Francia, Japón, Canadá y Holanda entre otros países, los cuales han encontrado una interesante alternativa para la generación de energía eléctrica; el análisis de esta tesis tiene como propósito efectuar una revisión del estatus del desarrollo de esta tecnología y valorar los aspectos relevantes de los resultados obtenidos en los trabajos durante la vida del proyecto desarrollado en el IMP en esta materia, identificando de esta forma los resultados sobresalientes de esta novedosa tecnología que plantea interesantes soluciones comparativas con los sistemas tradicionales de energía eléctrica en materia de: mejores eficiencias en los procesos de generación de energía eléctrica, cero emisiones por gases o partículas, mínima producción de ruido, modularidad (permite el incremento de la potencia con relativa facilidad), uso de un combustible abundante en la naturaleza además de renovable, mejor eficiencia que cualquier generador convencional de energía eléctrica, por lo que esta tecnología plantea interesantes soluciones alternativas en materia de contaminación ambiental y uso eficiente de un combustible abundante en la naturaleza como es el hidrógeno, (sin desconocer que cualquier tecnología nueva tiene un alto costo) contribuyendo de esta forma a la reducción del consumo de combustibles no renovables y evitando la contaminación del medio ambiente por emisiones de gases y partículas que actualmente están afectando gravemente a nuestro planeta, esta tecnología promete ser una alternativa viable en los procesos de generación de energía eléctrica en nuestro país ante las necesidades crecientes de demanda de energía eléctrica, por lo que debe anticipadamente participar activamente en la capacitación y desarrollo de esta tecnología de punta para evitar el rezago tecnológico y pagar en el futuro altos costos en la adquisición de este tipo de generador, evitando a tiempo la total dependencia tecnológica y comercial.

JUSTIFICACION.

La necesidad de diversificar y optimizar las tecnologías para el aprovechamiento de los posibles recursos energéticos de cada país, es cada día más evidente. Por ello, en muchos lugares se están investigando y desarrollando tecnologías conducentes a nuevos procesos y nuevos mecanismos de aprovechamiento energético. Varias de estas tecnologías, aunque prometedoras, son a muy largo plazo, otras requieren tecnologías poco afines a nuestro país y otras mas responden a situaciones de materia prima o de condiciones socioeconómicas relativamente diferentes a las existentes en México.

Seria conveniente, por tanto, que la búsqueda de nuevas formas para mejorar la situación energética de nuestro país procurase aprovechar al máximo los conocimientos y experiencias tecnológicas ya alcanzadas y que respondiese a requerimientos a plazo mediano para satisfacer nuestra demanda energética.

Entre las tecnologías recientemente consideradas para diversificar los procesos y demandas energéticas, destacan por sus características técnicas, grado de desarrollo y posible adecuación a México aquellas basadas en las Celdas de Combustible para la generación de energía eléctrica.

Las plantas de potencia por celdas de combustible son dispositivos semejantes a las baterías electroquímicas que transforman directamente la energía química de un compuesto químico en energía eléctrica; las ventajas de este método de conversión estriban principalmente en su limpieza, gran eficiencia y modularidad. En nuestro país estas plantas pueden constituir un sistema óptimo para su aplicación en sitios aislados en donde no es económico tender líneas de transmisión o transportar combustibles para una planta termoeléctrica convencional, y en cambio existe disponibilidad de un compuesto químico ideal para aprovechar esta tecnología: el gas natural. Tal es el caso de las plataformas marinas, los yacimientos de petróleo y las comunidades aisladas. Su limpieza, por otra parte, las coloca como mejores candidatos para complementar a plantas urbanas, para aliviar la carga en las horas de mayor demanda. El desarrollo del país se encuentra lo suficientemente adecuado para asimilar esta nueva tecnología para la producción de energía, sobre todo si se toma en cuenta que ella es afín a aquellas del dominio de las dos industrias más importantes del país, la petrolera y la eléctrica. Es sabido, sin embargo, que el desarrollo de una tecnología a nivel industrial necesita de grandes inversiones de capital y de habilidades y conocimientos, muchos de los cuales son desconocidos en nuestro país.

Ello implica que aun cuando se conozcan bien los principios de operación de un proceso o dispositivo, estos muy rara vez sean desarrollados y menos aun fabricados a escala industrial. Es decir, esta situación se ha traducido en una creciente y continua dependencia de tecnologías externas y que solo participaremos activamente a escala industrial en tecnologías tradicionales a nivel mundial, jamás en aquellas de avanzada.

El propósito del presente proyecto es, por tanto, no solo colaborar en el desarrollo de una tecnología que podría satisfacer en forma complementaria con la ya existentes, muchos de los requerimientos energéticos del país, sino también alcanzar el nivel de desarrollo tecnológico que permita al país definir etapas, costos y procesos necesarios para su implementación en gran escala; es decir, realizar los pasos tecnológicos que conduzcan a los prototipos de fabricación en serie y aquellos estudios sobre su factibilidad económica y sus consecuencias sociales par nuestro medio.

El desarrollo científico, tecnológico e industrial del país es tal que permite capturar y asimilar nuevas tecnologías, siempre y cuando para ello se haga un esfuerzo realista y no limitado a una demostración a nivel de laboratorio. Esto requiere que la tecnología por asimilarse no este demasiado lejos de la capacidad propia. En el caso de las plantas de potencia por celdas de combustible con gas natural, México cuenta con suficiente experiencia en los aspectos relativos al procesamiento del combustible (PEMEX e IMP) así como aquellos concernientes a la inversión e incorporación del fluido a la red eléctrica o a los usuarios (CFE e IIE). Se carece, en cambio, de conocimientos en lo relativo a la celda misma, así como de la experiencia organizativa y de planeacion para la producción en serie que permitan el despegue de esa tecnología y su fabricación industrial.

Para cerrar la brecha que nos separa de países mas avanzados y optimizar este proyecto hacia la obtención de una tecnología comercializable, el camino que se ha seleccionado es el de la asociación con una empresa tecnológica que ha avanzado ya un trecho considerable en esta dirección. Se cree que la transferencia de aquellas partes de la nueva tecnología que aun nos son desconocidas podrá así efectuarse en un lapso razonablemente corto, al mismo tiempo que se participara en su desarrollo desde etapas tempranas para que responda a una necesidad local cuando esté madura. Ello reditúa mas al país que importar una tecnología madura e intentar entonces modificarla.

Finalmente cabe señalar que la contaminación al medio ambiente por gases o partículas resultado de los procesos tradicionales de generación de energía eléctrica como es el caso particular de las termoeléctricas es digno de tomar en cuenta ya que en la actualidad se han estado rebasando los niveles de normatividad en cuanto a emisiones al medio ambiente, por tal motivo la búsqueda permanente de soluciones que nos conduzca por un lado a reducir el impacto ambiental y por el otro a cumplir con las demandas de energía eléctrica que demanda el permanente crecimiento de la población y de la industria nos conduce a considerar seriamente aquellas tecnologías que satisfacen estos requerimientos tales como el ahorro de energía, cero emisiones contaminantes, diversificación de los procesos de generación, uso de un combustible abundante, por lo que cualquier esfuerzo por resolver esta problemática es valido, a pesar de los altos costos económicos de inversión que se requiera hacer para el bienestar y progreso de los Mexicanos.

INTRODUCCION.

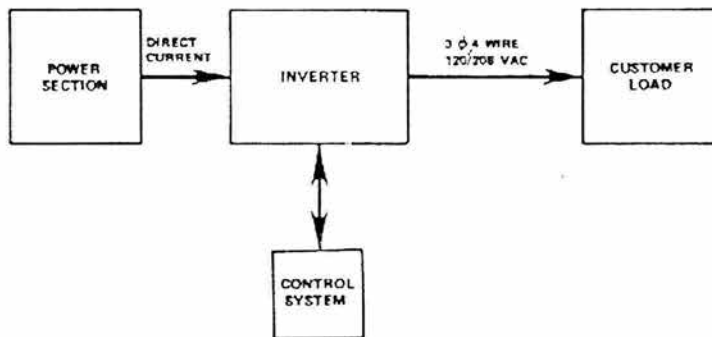
En las dos últimas décadas está teniendo lugar una verdadera revolución en los métodos de producción, almacenamiento y conversión de energía. El empleo en este sentido, de los combustibles fósiles, tales como el petróleo, el carbón y el gas natural, constituye la piedra angular sobre la que se ha fundamentado el avance tecnológico espectacular e industrial que ha experimentado el mundo occidental desde mediados del siglo pasado, pero hoy en día sus reservas están próximas a agotarse y, además, son considerados como altamente peligrosos para la supervivencia del hombre y del medio ambiente que lo rodea. Es por ello que en los últimos años se están desarrollando nuevas tecnologías para generar energía eléctrica de forma limpia, eficiente y descentralizada, entre las que se encuentran las llamadas celdas de combustible ('fuel cell') en el mundo anglosajón las que mejores expectativas presentan. De hecho, las celdas o pilas de combustible parecen destinadas a ser campos de alta tecnología a principios del próximo siglo. Se prevé que la operación de estas instalaciones, así como la construcción de aplicaciones, sistemas y componentes, creará en un futuro próximo numerosos puestos de trabajo de alto contenido tecnológico; por esta razón se considera que las celdas de combustible son una alternativa viable en la generación de energía eléctrica ya que estos sistemas favorecen el medio ambiente debido a que sus productos de combustión no afectan.

Una planta de potencia por celdas de combustible (PPCC), es un sistema integrado por un conjunto de celdas de combustible basados en un principio electroquímico, semejante a una pila seca la cual esta diseñada para convertir la energía química contenida en el gas natural u otros combustibles fósiles que contienen hidrogeno, en energía eléctrica; dichos sistemas cuentan con una eficiencia promedio de 80% (40% en energía eléctrica, prácticamente constante desde el 50% de su capacidad máxima, y el otro 40% en energía térmica factible de aprovechar en diversos procesos industriales o en la cogeneración mediante vapor, sin omitir que uno de los subproductos de la combustión es el agua en condiciones de pureza absoluta la cual puede ser utilizada para uso humano mediante un tratamiento para hacerla potable).

El principio de operación de una celda de combustible, como ya se menciono, esta basado en una reacción electroquímica entre un gas rico en hidrogeno y el oxigeno del aire. El resultado es la generación de corriente eléctrica, agua y calor como subproducto de la reacción.

Esta planta cuenta con un sistema de tratamiento de combustible, el cual convierte el gas natural en hidrogeno a través de dos reactores: uno de reformación (proceso efectuado mediante catalizadores y vapor de agua) y el otro de mutación (cambio brusco de temperatura). La corriente del gas así enriquecida en H_2 pasa a la sección de las celdas de combustible, donde reacciona con el oxigeno de aire, generando corriente eléctrica en forma de DC.

La corriente directa generada por la sección de celdas de combustible alimenta a un regulador y posteriormente a un inversor, con lo cual obtenemos corriente alterna trifásica a 220 volts, 60 Hz de muy buena calidad. A continuación se muestra un esquema general de una PPCC.



Esquema general de una PPCC.

CAPITULO I

EL HIDROGENO Y LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE.

Al despuntar el siglo XXI, tenemos disponibles una gran variedad de alternativas de para satisfacer nuestras necesidades de energía. Sin embargo, obtenemos la mayoría de nuestra energía por medio de la combustión.

Nuestros combustibles son en su mayor parte hidrocarburos, compuestos químicos que incluyen el hidrógeno y el carbono. Los hidrocarburos son combustibles de alto valor energético, pero su combustión introduce una variedad de contaminantes en la atmósfera.

Esto no solo resulta en smog y enfermedades respiratorias, sino que produce también grandes cantidades de dióxido de carbono. Este gas atrapa el calor del Sol en la capa inferior de nuestra atmósfera, elevando las temperaturas globales. Incluso, sin considerar la contaminación, tendremos que enfrentar el hecho que casi todos nuestros combustibles no son renovables. La cantidad de estos combustibles que podemos sacar de la tierra es limitada. Cuando se agote, tendremos que buscar nuevas fuentes de energía.

I.1.- FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA.

Ante la problemática que se esta viviendo en todos los países del mundo y particularmente en México sobre las limitaciones de producción de energía eléctrica, es imprescindible buscar o identificar soluciones; para tal efecto es importante tomar en cuenta todas y cada una de las fuentes alternas de energía para valorarlas y jerarquizarlas en función de su grado de evolución las cuales permitan ir planteando soluciones a la creciente demanda de energía eléctrica que plantea el desarrollo de la sociedad.

Hay que considerar que a nivel mundial, la disponibilidad de energía se ha convertido en uno de los problemas más importantes. La gran mayoría de los países, tanto en desarrollo como industrializados, se ven afectados por demandas crecientes de energía para satisfacer sus metas de desarrollo económico y social, y la necesidad de complementar las fuentes comerciales con fuentes no convencionales se ha vuelto imperativa para la mayoría de ellos.

A partir de la última década, se ha reconocido como inevitable que en un futuro no muy lejano la oferta de energía deberá sufrir una transición desde su actual dependencia de los hidrocarburos el 84% de la oferta interna bruta de energía primaria de México en 1992- hacia combinaciones energéticas más diversificadas.

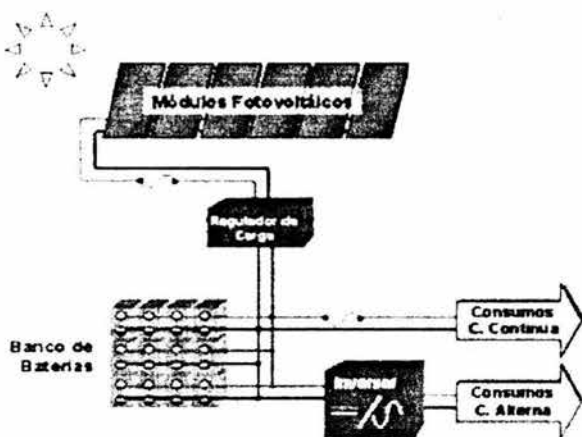
Esta transición, que implica lograr el aprovechamiento de una variedad de fuentes de energía, prestando particular atención a los recursos renovables, presenta un reto tecnológico considerable y deberá realizarse en una forma gradual y ordenada.

Entre las nuevas fuentes energéticas y nuevas tecnologías para obtener energía que se han venido considerando para formar parte de la oferta energética del futuro, se tienen las llamadas fuentes no convencionales de energía (FNCE), o fuentes alternas de energía, constituidas por Celdas de Combustible, energía solar, biomasa, energía eólica, pequeñas centrales hidroeléctricas y geotermia, para este fin a continuación se describen en términos generales las características de funcionamiento de estas fuentes :

A) Energía solar.

La energía solar es la fuente de energía que mantiene la vida en nuestro planeta. Es limpia, renovable, abundante y está disponible en la mayor parte de la superficie terrestre. La insolación que se recibe en una superficie horizontal es del orden de 1 kW/m² al mediodía, variando de lugar a lugar según su latitud, nubosidad, humedad y otros factores.

La energía solar es intermitente y variable; presenta variaciones diarias y estacionales, y está determinada por las condiciones atmosféricas. Debido a estas características, algunas aplicaciones de la energía solar requieren de sistemas de respaldo o de almacenamiento de energía. Sin embargo en otro tipo de aplicaciones, como podría ser el bombeo de agua, el almacenamiento de energía es reemplazado por almacenamiento del producto, en este caso agua.



Comparada con las fuentes convencionales de energía, la energía solar presenta una baja densidad energética, pero puede ser concentrada para alcanzar altas temperaturas, habiéndose alcanzado hasta 3000 °K en hornos solares. Se puede convertir a energía mecánica y eléctrica con eficiencias razonables, del orden de 25% y 20% respectivamente. El aprovechamiento del efecto fotovoltaico en semiconductores, permite convertir la energía solar directamente a electricidad, con eficiencias del 5 al 20%.

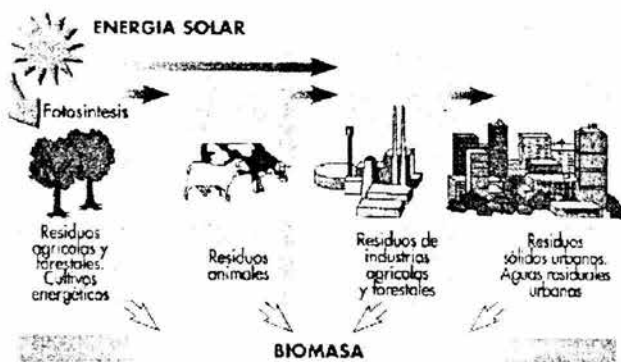
Los estudios que se han hecho en el país sobre la cantidad de energía solar aprovechable muestran que el recurso es grande, ya que la insolación promedio observada es de las más altas del mundo. La mayor parte del territorio (95%) recibe una radiación global anual promedio de más de 1,700 kWh/m, por lo que la energía solar es una de las fuentes de energía que seguramente brindará una importante contribución a la oferta energética del futuro en nuestro país.

B) Biomasa

La biomasa se define como toda la materia orgánica de origen vegetal o animal que puede convertirse a energía. Algunas aplicaciones bien conocidas de la biomasa incluyen la conversión de leña y residuos agrícolas y forestales por combustión directa para producir calor, vapor y/o electricidad, la conversión de caña de azúcar y granos por fermentación para producir alcohol combustible, la conversión de desechos orgánicos por biometanación para producir metano y bióxido de carbono (biogás), la conversión de residuos agrícolas y madereros a combustibles líquidos, sólidos y gaseosos por medio de procesos termoquímicos, y la producción de aceites vegetales que pueden emplearse como sustitutos del diesel.

Como una medida del potencial de la biomasa como fuente energética, se puede indicar que por medio de la fotosíntesis se fijan en las plantas 80,000 millones de toneladas de carbono por año, con un contenido de energía que corresponde a unas diez veces el uso mundial de energía. Se puede señalar también que el contenido energético de la biomasa almacenada en la superficie terrestre es equivalente al de las reservas probadas de combustibles fósiles, incluyendo carbón, y que la energía total de las reservas estimadas de éstos últimos, sólo representa unos 130 años de fotosíntesis neta.

El uso excesivo de biomasa, especialmente leña, en algunas regiones, ha resultado en deforestación, erosión, inundaciones y asolve de corrientes de agua. Algunos métodos empleados para incrementar la producción de biomasa son por ejemplo las plantaciones de árboles de rápido crecimiento, tanto para usarse como leña, como para convertirlos a otros combustibles por procesos termoquímicos.



El lapso en el que se proyecta que las áreas de producción y conversión de biomasa puedan tener un impacto significativo, se listan a continuación.

- Inmediato:

Combustión directa (tanto en pequeñas estufas eficientes como en calderas para generación de vapor para usos industriales y de generación eléctrica); Gasificación (gas de bajo poder calorífico); Biometanación de desechos animales y residuos urbanos y agroindustriales (biogás); Fermentación para producción de etanol (no se considera adecuada para el país dada la situación de déficit en la producción de alimentos como azúcar y cereales); Aceites vegetales empleados como combustibles en motores diesel; Densificación mecánica.

- Corto (5 años):

Plantaciones de árboles de rápido crecimiento; Sacarificación de la celulosa para producción de etanol; Gasificación (gas de poder calorífico intermedio y alto).

- Mediano (10 años):

Biomasa acuática para biometanación; Plantas de zonas áridas para producción de hidrocarburos; Gasificación y Licuefacción indirecta (metanol y otros combustibles sintéticos).

- Largo (más de 20 años):

Licuefacción; Biofotólisis.

La contribución de la biomasa a la oferta interna bruta de energía primaria del país en 1992 fue del 6,6%, lo que la coloca como la segunda fuente energética en importancia después de los Hidrocarburos.

C) Energía eólica.

La energía del viento se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera por el sol, y las irregularidades de la superficie terrestre. Aunque sólo una pequeña parte de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía cinética del viento, la cantidad total es enorme.

La potencia de los sistemas conversores de energía eólica es proporcional al cubo de la velocidad del viento, por lo que la velocidad promedio del viento y su distribución en un sitio dado son factores muy importantes en la economía de los sistemas.

El recurso energético eólico es muy variable tanto en el tiempo como en su localización. La variación con el tiempo ocurre en intervalos de segundos y minutos (rachas), horas (ciclos diarios), y meses (variaciones estacionales). Esta variación implica que los sistemas de aprovechamiento de la energía eólica se pueden operar mejor en tres situaciones.

- Interconectados con otras plantas de generación, desde una pequeña planta diesel hasta la red de distribución eléctrica. En este caso, la potencia generada por el aeromotor de hecho permite ahorrar combustibles convencionales.

- Utilizados en conjunto con sistemas de almacenamiento de energía tales como baterías o sistemas de bombeo.

- Utilizados en aplicaciones donde el uso de la energía sea relativamente independiente del tiempo, tenga una constante de tiempo que absorba las variaciones del viento, o donde se pueda almacenar el producto final, como en algunos tipos de irrigación, bombeo y desalinización de agua.

Debido a efectos del terreno, pueden ocurrir variaciones relativamente grandes de la velocidad del viento en distancias cortas. Estas variaciones sobre el terreno presentan la ventaja de que si se localizan áreas con buenos vientos, se pueden utilizar sitios con relativamente alta densidad energética, resultando en un aumento significativo de la energía capturada, y por tanto en la economía del sistema. Se tiene en consecuencia el reto de localizar los mejores sitios posibles y de determinar el recurso aprovechable en forma práctica de sitios particulares.

A pesar de que la necesidad de sitios con buenos vientos es importante desde el punto de vista económico, no se deberá sobre-enfatizar fuera de contexto con las aplicaciones particulares; se podrá requerir de un sitio con vientos fuertes (por ejemplo más de 5 m/s de velocidad media anual) para competir con la generación eléctrica convencional cerca de una central eléctrica, mientras que para regiones remotas pueden ser adecuados sitios con menores velocidades (por ejemplo 3 m/s para aplicaciones de bombeo de agua y otras).

La capacidad de generación eléctrica instalada actualmente con aerogeneradores llega a los 3,000,000 kW, la mayor parte en el estado de California, en los Estados

Unidos. La energía se genera a costos competitivos con los de sistemas convencionales.

Algunas de las características de los sistemas conversores de energía eólica a energía útil son las siguientes:

- Es factible construir sistemas con capacidades de unos cuantos watts hasta 1,000 kW o más, estando comercialmente disponibles sistemas hasta 500 kW. Para mayores potencias se integran tantas unidades como sea necesario en las llamadas "granjas eólicas" o centrales eolieléctricas.

- La potencia en la flecha de un aeromotor se puede utilizar con una gran variedad de propósitos, incluyendo generación de electricidad en corriente directa y alterna, bombeo directo de agua, trabajo mecánico, etc., aunque el diseño del sistema será diferente para las varias aplicaciones.

Con respecto a las aplicaciones actuales en el país, se cuenta únicamente con aerobombas de aspas múltiples, instaladas principalmente en el norte y el sureste. En el Istmo de Tehuantepec la CFE construye una central de 1000 kW, y el Municipio de Zacatecas construye otra de 2000 kW para abastecer parte de sus necesidades de alumbrado público.

Las estaciones meteorológicas donde se registran datos de viento no fueron concebidas desde su inicio pensando en el viento como un recurso energético, por lo que es necesario llevar a cabo la prospección y caracterización de sitios con potencial energético eólico. En la actualidad se viene trabajando en la preparación de un Atlas Eólico Nacional que proporcionará una idea general de las regiones del país con buen potencial, tales como la zona de La Ventosa en Oaxaca, las costas del Pacífico, la Península de Baja California y la Mesa Central. Con base a esta información general, se deberá llevar a cabo una evaluación del recurso en una escala geográfica compatible con la aplicación y la región consideradas.

En lo relativo al diseño y construcción de sistemas conversores de energía eólica, el esfuerzo realizado en el país es muy pequeño y se lleva a cabo solamente en el IIE. Existe en el país un fabricante de pequeños aerogeneradores de 4 kW, los que básicamente se exportan.

La implantación masiva de pequeñas aerobombas en las áreas rurales del país es técnicamente factible en forma inmediata; en el país existe desde hace varios años un fabricante de aerobombas que produce un modelo norteamericano bajo licencia, y en varios talleres se fabrican equipos esporádicamente. Los sistemas de generación eléctrica a base de energía eólica de pequeña y mediana capacidad, será económicamente viables en escala significativa dentro de los próximos cinco años; de hecho, muchas comunidades aisladas podrían aprovechar esta tecnología en un futuro inmediato. Se espera que la generación eléctrica en gran escala a partir de grandes aerogeneradores interconectados a la red de distribución eléctrica, podría ser comercialmente viable en el corto plazo (5 años), y ya lo es en la actualidad en muchos sitios.

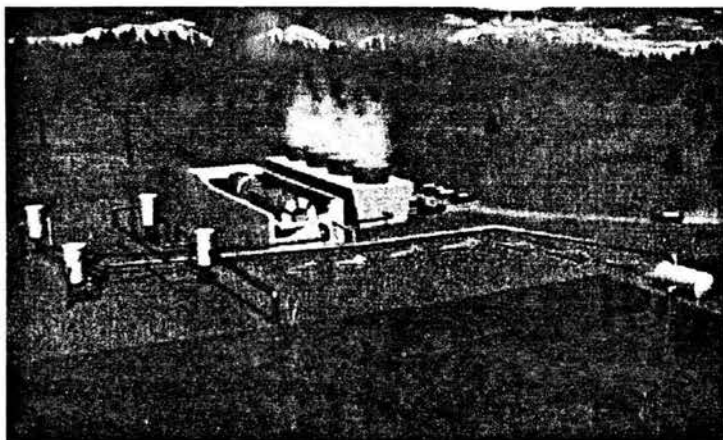
Como se indicó al inicio, la potencia desarrollada por los aeromotores depende fuertemente de la velocidad del viento. Es por lo tanto pertinente señalar que muchos de los aerogeneradores que se encuentran disponibles en el mercado fueron en general diseñados para las condiciones de viento prevalecientes en sus países de origen. En estos países, casi todos situados al norte del trópico, la intensidad de los vientos es muy superior a la que se presenta en México, por lo que los diseños no se adaptan a nuestras condiciones, y la energía entregada por los sistemas es considerablemente menor que la especificada.

Por todo lo anterior, es recomendable establecer las bases para lograr el apoyo al desarrollo tecnológico de los sistemas de aprovechamiento de la energía eólica, respaldado por la infraestructura correspondiente de fabricación, instalación y financiamiento, con objeto de que la energía eólica contribuya de manera significativa a la oferta energética del futuro.



D) Geotérmica.

Hasta la fecha, los yacimientos geotérmicos que se han explotado para la generación eléctrica son del tipo de vapor seco, como Los Geysers en EUA y Larderello en Italia, o de agua dominante, como Cerro Prieto en México y Wairaki en Nueva Zelanda. La tecnología empleada para su explotación es comercial, aunque todavía tiene algunos aspectos de investigación y desarrollo. Existen otros tipos de yacimientos que por su naturaleza no son explotables con esta tecnología. Estos básicamente son dos: aquellos cuya temperatura es baja y no sólo se aprovechan para usos eléctricos, y aquellos que tienen la temperatura adecuada pero son secos. Además, se ha propuesto utilizar el gradiente térmico natural de la tierra, el cual a diez kilómetros de profundidad daría una temperatura de 300 °C o más; es decir, no es un yacimiento localizado sino que está presente en toda la superficie terrestre.



Los yacimientos de baja temperatura (100 a 200°C) han sido aprovechados en la extracción de compuestos químicos así como en aplicaciones de acondicionamiento ambiental de edificios e invernaderos. Su utilización en la generación eléctrica es técnicamente factible por medio de varios tipos de equipos, como son las turbinas de flujo total, las plantas de ciclo orgánico, etc. Los yacimientos de roca seca requieren la búsqueda de estas anomalías térmicas cerca de la superficie (1 a 2 km de profundidad), como se hace en los yacimientos normales, pero dificultada por la falta de manifestaciones superficiales como son los manantiales de aguas termales y fumarolas. Su explotación se pretende llevar a cabo por medio de la preformación de dos pozos relativamente cercanos uno al otro, inyectando agua fría por el primero y sacándola por el segundo a la temperatura deseada. Para realizar este proceso, se requiere fracturar la roca entre el fondo de los dos pozos. Está en realización el primer experimento piloto de este proceso, encontrándose varios problemas a resolver como es la pérdida de agua y el control de la temperatura del agua de salida. Un esquema similar de explotación se utilizaría para aprovechar el gradiente térmico normal de la tierra, para el cual las perforaciones serían del orden de 10 km de profundidad.

El más cercano de estos procesos a ser comercial es el de los sistemas de ciclo orgánico para aprovechar la energía contenida en fluidos a baja temperatura. En los últimos años, avances tecnológicos han reducido costos de los equipos y se espera que en poco tiempo esta tecnología se vuelva competitiva, abriendo una perspectiva importante de aprovechamiento de energía que hasta la fecha se desecha.

E) Celdas de Combustible.

La planta de potencia por celdas de combustible tiene diversos componentes de gran interés técnico, con una alta eficiencia que va del orden del 80% (40% energía eléctrica y 40% energía térmica), su operación es silenciosa, prácticamente no produce ruido, no emite gases contaminantes a la atmósfera y su requerimientos de personal de operación se puede realizar con un técnico, por lo que su operación es semi-automática, su respuesta a la demanda de energía eléctrica es sumamente rápida, y presenta una gran flexibilidad para la adecuación a cualquier tipo de ambiente o lugar sin ningún problema, es relativamente fácil de instalar una planta de este tipo y darle mantenimiento, una planta de potencia de celdas de combustible puede operar a cualquier hora, y a diferencia de las otras alternativas no convencionales esta tiene una capacidad de generación de energía que puede llegar al orden de megawatts, aunque su costo de inversión es alto y puede emplear como combustible cualquier compuesto que contenga hidrogeno como puede ser el agua.



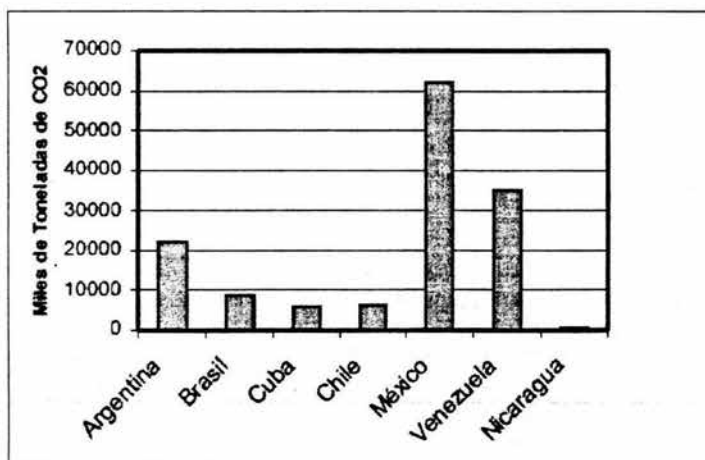
F) Efecto Invernadero.

El Efecto Invernadero es lo que nos mantiene abrigados en la Tierra. Si alguna vez han estado en un auto o un invernadero en un día de sol puede apreciar lo bien que funciona. Los rayos del sol entran al invernadero o al auto a través de la ventana y parte de esa luz es convertida en rayos de calor que son retenidos en el interior.

La Tierra es como un invernadero porque la luz del sol penetra la capa atmosférica donde se encuentra con gases invernadero como bióxido de carbono (CO_2), metano, óxido nitroso y ozono. Los rayos del sol son entonces convertidos en rayos de calor y son retenidos en la atmósfera por los distintos gases invernadero.

La mayoría de los gases invernadero, como el CO_2 , metano y óxido nitroso, están normalmente presentes en la atmósfera debido a procesos naturales. Con una cantidad adecuada de CO_2 en la atmósfera, la Tierra se mantiene en equilibrio. Sin embargo, muchas actividades humanas, como la combustión de hidrocarburos y el talado de bosques, han aumentado los niveles de gases invernadero en la atmósfera. Además, los seres humanos han encargado de crear artificialmente poderosos gases invernadero. Todos estos gases invernadero excesivos retienen cada vez más calor. La mayoría de los científicos opinan que como resultado, la temperatura en la Tierra ira incrementando.

Emisiones de CO_2 por generación de electricidad



Para los que viven en países fríos como Canadá esto puede parecer deseable. Sin embargo un pequeño aumento de temperatura podría derretir los hielos en los polos Norte y Sur, elevando el nivel de los océanos e inundando ciudades costeras. Un aumento de temperatura de un cinco por ciento podría derretir totalmente la capa de hielo del Ártico.

Aún peor, pequeños cambios de la temperatura normal podrían también causar cambios significativos en los ecosistemas del mundo. ¿Qué pasaría si la pradera que ahora produce alimentos llega a ser demasiado seca e inhóspita? Cambios en ecosistemas como el bosque boreal podrían también dañar a otras especies naturales.

El calentamiento de la Tierra podría causar climas cambiantes como tornados, sequías, inundaciones y huracanes. Podría también sostener y estimular plagas de insectos y hacer difícil la sobre vivencia de algunas especies.

El problema real es que no conocemos la magnitud de los daños ocasionados por el aumento de temperatura de la Tierra debido al efecto invernadero. ¡Es un experimento inmenso y a mucha gente le atemoriza la idea! Podemos evitar estos efectos evitando la creación de gases invernadero como el CO₂.

G) Los Gases Invernadero.

El bióxido de carbono es el gas invernadero más abundante. Es responsable por el 81% de las emisiones invernadero. Bióxido de carbono (CO₂) se produce o se arroja cuando hidrocarburos como carbono, petróleo y gasolina se queman. Autos, el quemado de leña y el talado de bosques también contribuyen CO₂ a la atmósfera.

Metano (CH₄) constituye más o menos el 14 por ciento de las emisiones de gases invernadero en Canadá. Las fuentes principales de estas emisiones son la producción de petróleo y gasolina, la digestión animal y abonos, los botaderos municipales, y minería de carbón.

Oxido nítrico (N₂O) constituye el cinco por ciento de las emisiones de gases invernadero en Canadá. Las fuentes principales son el transporte, la producción de ácido atípico, y el uso de fertilizantes. El instituto determinó que en 1993, las emisiones de óxido nítrico se encontraban aproximadamente al mismo nivel que en 1990.

Con el propósito de resolver la problemática que actualmente se vive en materia de contaminación ambiental y uso eficiente de energía, el hidrogeno surge como un combustible de gran importancia y viabilidad ya que este es abundante en la naturaleza y por consecuencia deberá prestarse en el futuro gran atención. En el siguiente tema se hablará un poco de este importante combustible del futuro.

I.II.-EL HIDRÓGENO Y LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE

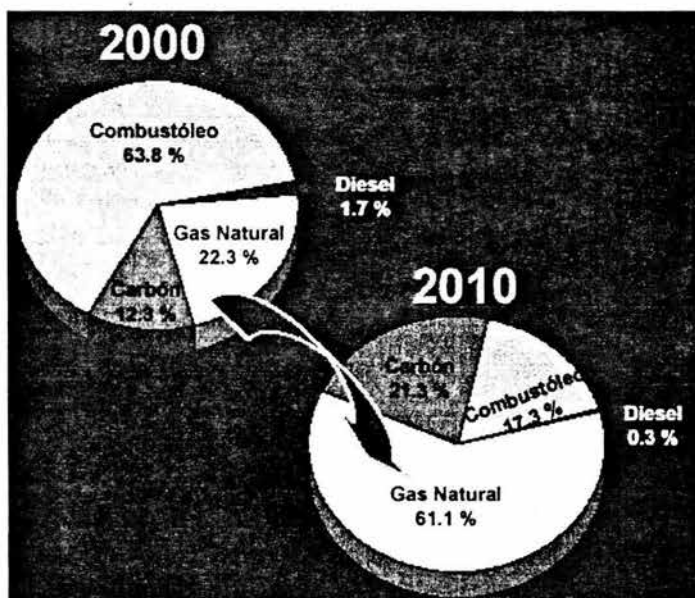
I.II.1.- Producción de Hidrógeno.

La demanda de hidrógeno (H_2) creció entre 1970 y 1987 a una razón aproximada de 5.5%. Existe un gran aumento en la demanda de hidrógeno en programas de desarrollo de diferentes naciones como en Estados Unidos y Japón, debido a cambios regulatorios ambientales. Sin embargo, los costos de fabricación todavía son elevados. Al igual que la electricidad, se trata de un portador de energía secundario, que ha de ser producido a costa de un gasto energético equivalente.

Existen diferentes métodos de producción de hidrógeno, a partir de combustibles fósiles los cuales producen grandes cantidades de contaminantes, y a partir de energías renovables los cuales toman cada día mayor importancia.

Algunos de los inconvenientes que manifiesta para ser usado como combustible son su alta inflamabilidad y su baja densidad, lo que dificulta su almacenamiento, pero estos son problemas técnicos menores en comparación con todas las virtudes que posee, y la principal su alto contenido energético.

Todo el hidrógeno usado en la actualidad es producido a partir de combustibles fósiles: el único proceso que no está basado en ellos es el de electrólisis del agua, por el cual solo se obtiene un 0.5 % de la producción actual de hidrógeno. La producción a partir de carbón está cerca de un 20 %, y el resto, cerca de un 80%, (60% proviene del gas natural y 20% del combustóleo).



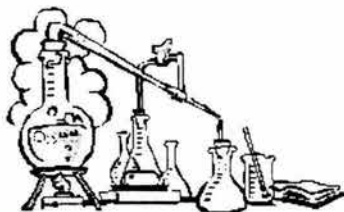
La única tecnología previsible en el futuro cercano es la gasificación del carbón. Las reservas mundiales de carbón son de un orden de magnitud más grande que las de gas natural y petróleo, más aun, los depósitos de carbón están distribuidos más uniformemente alrededor del globo que los de gas y petróleo.

El carbón ya ha sido gasificado desde hace más de setenta años, es decir, el problema no es tecnológico sino económico. Para mostrarlo más claramente en las condiciones económicas presentes, se compara a continuación la producción de H_2 a partir de gas natural y de carbón.

Existen diferentes formas de obtención de H_2 a partir del gas natural. El costo actual de una planta de producción de alrededor de 30 millones de metros cúbicos por día sería de unos 70 millones de \$US, con una eficiencia de aproximadamente 75 %. En cambio, para la construcción de una planta de similar capacidad para la obtención de Hidrógeno a partir del carbón, deben invertirse alrededor de 300 millones de \$US. Estos costos son estimaciones aplicables a países europeos.

En las condiciones actuales, se concluye que el precio del gas natural debería subir al menos un 50% para que la producción de Hidrógeno a partir de carbón fuera económicamente factible. La razón del mayor costo no radica en la baja eficiencia del proceso, sino en los altos costos de inversión para la planta.

I.II.II.-PRODUCCIÓN DEL HIDROGENO A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES.



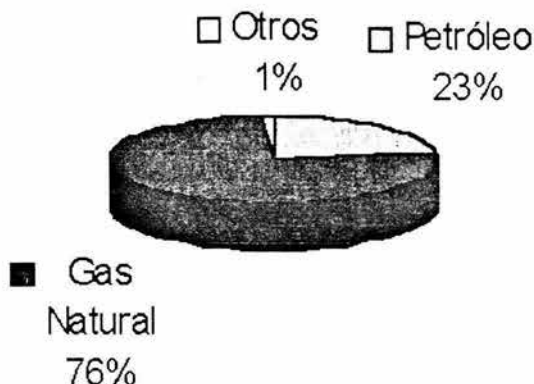
El hidrógeno se puede producir a partir del agua por cuatro métodos principales:

- A. Método térmico directo.
- B. Método termoquímico.
- C. Electrólisis.
- D. Fotólisis.

El hidrógeno no es fuente primaria de energía. No es un combustible que podamos extraer directamente de la tierra como el gas natural. Se puede producir hidrógeno a partir del agua utilizando un electrizador entre otros, impulsado por electricidad obtenida de la energía solar o eólica. Este electrizador divide el agua, produciendo oxígeno puro e hidrógeno.

El hidrógeno se puede comprimir y almacenar en tanques por horas, días, e incluso por varios meses hasta que se necesite. El hidrógeno representa energía almacenada. El hidrógeno se puede quemar como cualquier combustible para producir calor, impulsar un motor, o producir electricidad en una turbina. Pero la celda de combustible es una manera más limpia y más eficiente de utilizar el hidrógeno.

Producción de hidrógeno



Como resultado del uso de algunos de estos métodos, el agua es separada en H_2 y O. El hidrógeno es transportado, almacenado y distribuido a los centros de consumo, donde es usado en cada una de las aplicaciones de los combustibles fósiles, salvo en aquellos casos donde es necesario específicamente carbón. Después de su uso como combustible, el hidrógeno vuelve a convertirse en vapor de agua (por combinación con el oxígeno), el cual es reciclado nuevamente a tierra en las lluvias.

El oxígeno producido puede, o bien ser liberado a la atmósfera o ser utilizado en industrias y ciudades, o usarse para rejuvenecer ríos y lagos.

A. Método térmico directo; Cuando la temperatura de un vapor sobrecalentado se eleva a 300 °K las moléculas de agua comienzan a disociarse en hidrógeno y oxígeno.

Este método contiene las siguientes características:

a) Posee alta eficiencia térmica; b) No ofrece contaminación ambiental (o muy poca); c) No necesita sustancias químicas intermedias. Sin embargo, tiene el inconveniente de la manutención de tan alta temperatura, asociado a los problemas de los materiales.

B. Método Termoquímico; En este método, primero el agua y una o más sustancias químicas reaccionan mientras se proporciona calor a alta temperatura (600 a 1700 °K). De ello resulta hidrógeno y oxígeno con algún otro componente. Luego, en una o más reacciones químicas subsecuentes, los componentes químicos intermediarios pueden ser recuperados, generándose la sustancia química original, la cuál puede ser usada repetidamente.

Otra de las características de este proceso son:

- a) La eficiencia térmica tiene un rango entre 17.5% hasta 75.5%
 - c) La reacción se completa en dos o más pasos
 - d) La sustancia química usada como intermediaria generalmente se recupera
- Para hacer viable este método, se necesita recuperar entre un 99.90% y un 99.99% para evitar un alto costo de reposición del producto químico y problemas de contaminación ambiental.

C. Método Electrolítico; En este método se usa una celda electrolítica para producir hidrógeno y oxígeno a partir del agua dejando pasar una corriente eléctrica directa entre los dos electrodos de la celda.

Este método:

- a) Provee de una manera directa hidrógeno y oxígeno.
- b) Tiene una tecnología bien establecida.
- c) Tiene una eficiencia de un 85%, aproximadamente y mejora a más alta temperatura y presión.
- d) Necesita transformar primero la energía eléctrica proveniente de otra fuente, y luego produce hidrógeno.

D. Método Fotolítico; Cuando las moléculas de agua absorben energía a partir de radiación ultravioleta en principio el hidrógeno puede ser liberado. Algunos foto catalizadores son usados para absorber luz visible y luego transmitir la energía de apropiada longitud de onda e intensidad a las moléculas de agua para liberar los gases constituyentes. Este proceso se conoce con el nombre de fotólisis.

Como foto catalizadores se pueden usar algunos compuestos de sal, semiconductores, algas verdes y/o rojas, algunas bacterias fotosintéticas, etc.

Este método:

- a) Es directo.
- b) Usa luz ordinaria.
- c) Recupera los fotocatalizadores.
- d) Tiene poca eficiencia.
- e) No está muy bien entendido.

I.II.III.-HIDROGENO Y LA SEGURIDAD EN SU USO.

Muchas preguntas han surgido acerca de la seguridad del hidrógeno como transportador de energía. El hidrógeno es altamente flamable y requiere poco hidrógeno en el aire para su combustión. Sin embargo, si es manejado adecuadamente es tan seguro ó mas seguro que la mayoría de los combustibles, así mismo, los productores de hidrógeno y los usuarios de hidrógeno han generado récords de seguridad impecables a lo largo de los últimos cincuenta años.

Estudios muy profundos han demostrado que el hidrógeno presenta menos riesgos referentes a la seguridad en su uso, que otros combustibles incluyendo gasolina, propano y gas natural. En 1997, la compañía Ford Motor Company junto con el Departamento de Energía publicaron un "Reporte de Seguridad del Hidrógeno en Vehículos " en el cual concluyeron que, "la seguridad de un sistema de hidrógeno [Vehículo con celdas de combustible] es potencialmente mejor que los registros de seguridad demostrados por gasolina ó propano e igual ó mejor que aquellos de gas natural." El estudio citó las propiedades boyantes mayores en el hidrógeno, más alto límite inferior de flamabilidad y mucho más alto límite inferior de detonación como los principales contribuyentes al mayor potencial en seguridad del hidrógeno.

Específicamente, el estudio compara la seguridad de varios sistemas de combustible durante colisiones en espacios abiertos, en túneles y a lo largo del ciclo de vida del combustible. El estudio encontró que en una colisión en espacios abiertos, los vehículos alimentados con hidrógeno eran más seguros que autos con motor de combustión interna a gasolina, propano o gas natural debido a cuatro factores.

- Los tanques de fibra de carbón del hidrógeno tienen alta resistencia a la ruptura aun en alto impacto. En general, los tanques de hidrógeno y sistemas de operación están diseñados para resistir sin ruptura presiones 2.25 a 3.5 veces su presión de operación, colisiones a alta velocidad y disparos directos de rifles y pistolas de alta potencia.
- El hidrógeno posee una densidad de solo el 7% del aire natural y tiene alta boyancia de tal modo que tenderá a elevarse y disiparse sin viento ni ventilación. La densidad del gas Natural es 55% la del aire mientras que tanto los vapores de la gasolina (3.4 a 4 veces más pesados) y del propano (1.52 veces mas pesados) son más pesados que el aire. El hidrógeno también tiene un coeficiente de expansión 3.8 veces mayor que el del gas natural, 6.1 veces mayor que los vapores de propano y 12 veces mayor que los vapores de la gasolina. Consecuentemente, el gas hidrógeno se eleva y difunde lateralmente más rápido que el gas natural, propano ó la gasolina. En espacios abiertos, la velocidad de dispersión mayor del hidrógeno debe traducirse en menos incendios. También, para que el hidrógeno se queme hacia abajo, i.e. cuando el punto de ignición está por encima del gas, la mezcla hidrógeno / aire debe ser al menos 9% de hidrógeno ó mayor. ("Si la

fueron de ignición está arriba un 10% ó menor que la mezcla flamable del hidrógeno, el hidrógeno por debajo de la fuente no iniciaría una ignición."). En comparación, el metano tiene un límite inferior de inflamabilidad de propagación hacia abajo de 5.6% haciendo que el metano sea más propenso a iniciar una ignición que el hidrógeno debido a una fuente de ignición localizada por encima de la mezcla gas / aire.

- Un vehículo con celda de combustible podría transportar aproximadamente un 60% menos energía que un vehículo de combustión interna por que es más eficiente. Si se quemara el hidrógeno de un auto con celda de combustible generaría menos energía térmica comparado con una misma cantidad de gas natural, propano o gasolina de un auto de combustión interna. El hidrógeno gas se quemaría también más rápido en caso de fuego ya que tiene una velocidad de quemado unas 7 veces mayor que la del gas natural o de la gasolina. El resultado podría ser una pluma rápida de fuego ó fuego que no causaría tanto daño como el fuego iniciado por gasolina.
- Un auto alimentado por una celda de combustible tendrá menos sensores de seguridad y dispositivos que detengan el flujo de hidrógeno a través del sistema si ocurriera una fuga del combustible o en caso de un impacto. Mediante el sellado del tanque, las medidas de seguridad disminuirán las posibilidades de que una ruptura en la línea causen una fuga continua que conduzca a una concentración suficiente para iniciar la ignición. El diseño del vehículo también cortará la energía eléctrica de las baterías eliminando así una fuente de ignición.

En una colisión en un túnel, las mismas propiedades que hacen al hidrógeno más seguro en espacios abiertos al aire, deberán hacerlo más seguro. El gas hidrógeno se dispersará más rápido que otros combustibles, creando sin embargo una pluma más larga de gas que pueda potencialmente hacer contacto con más fuentes de ignición que por ejemplo una pluma de gas natural.

Si es manejado adecuadamente, el ciclo de vida del hidrógeno deberá probar ser más seguro que los del gas natural, propano y gasolina. La producción y transporte del hidrógeno tendría menos riesgos públicos directos ya que líneas de tubería de hidrógeno y camiones pipa presentan menos riesgos públicos que camiones pipa con petróleo. Además, el hidrógeno no es tóxico y no contaminará al ambiente como lo haría un derrame de propano, gasolina ó aun del gas natural.

Los récords en seguridad del hidrógeno no muestran evidencia de riesgos inusuales. Los camiones de hidrógeno líquido han llevado a lo largo de los caminos del país un promedio 70 millones de galones de hidrógeno líquido por año sin ningún serio incidente. Una mezcla gaseosa alta en hidrógeno llamada "gas de ciudad" (town gas) utilizado para iluminar las calles y casas ha mostrado tener una misma tasa de seguridad que gas natural usado de manera similar.

El hidrógeno ha sido manejado y enviado a través de cientos de millas de tubería con relativa seguridad para las industrias del petróleo, química y del acero. Más aún, la NASA ha usado hidrógeno líquido como su principal fuente de combustible durante los últimos cincuenta años sin ningún serio accidente.

A) Hidrógeno y el mundo en desarrollo.

Como ya se dijo anteriormente el hidrogeno promete ser el energético e futuro, particularmente se puede visualizar su empleo para la generación de energía eléctrica mediante las celdas de combustible que plantean características de modularidad, el hidrógeno se puede generar y usar virtualmente en cualquier lugar. La tecnología de las celdas de combustible va a ser especialmente útil en regiones donde el sistema eléctrico central no es confiable o donde no lo hay. El Centro de Investigaciones de Energía Schatz ha fabricado sistemas de celda de combustible portátiles y completos que proveen fácilmente 220 V en CA y que cabe en una caja de tan sólo 40 cm. por cada lado. Estos sistemas podrían proveer energía para clínicas, hospitales, casas habitación, escuelas, oficinas y en la industria alimentando cargas desde pequeñas hasta mediana capacidad o respaldando a los sistemas de gran capacidad con la energía generada por una planta de estas características.

La mala noticia es el alto costo en este momento. Las celdas de combustible todavía están económicamente fuera del alcance de los consumidores de energía en los países ricos, y eso quiere decir que van a pasar algunos años hasta que la tecnología esté desarrollada en un nivel que permita ingresar al mercado e ir reduciendo sus costos como cualquier otra tecnología.

Sin embargo, no tenemos que esperar hasta que se reduzca el precio de la celda de combustible. Las tecnologías renovables, como la energía solar y eólica, ya son económicas en varias aplicaciones. También podemos trabajar ya para educar a los científicos, inversionistas, políticos, y al público en general sobre la tecnología del hidrógeno renovable y aumentar el apoyo para esta alternativa de energía sustentable. Los maestros de química y física en las escuelas y colegios pueden incorporar información sobre las celdas de combustible en su currículum escolar. Los empresarios pueden forjar enlaces con empresas extranjeras que están comercializando las celdas de combustible.

B) Lo que debemos hacer.

La era del hidrógeno todavía puede estar lejana para los países ricos y también para los países en desarrollo, pero es seguro que viene. Cuando los pozos de petróleo comiencen a secarse y la economía global se afecte por los cambios climáticos, no habrá alternativa. Todavía nos queda tiempo para evitar dificultades ecológicas y económicas si promovemos la energía limpia. Si tomamos las decisiones correctas hoy, nuestros hijos podrán respirar aire más limpio y beber agua más pura de lo que podemos hoy... y al final del día, ellos regresarán a sus casas iluminadas por energía limpia producida por medio del hidrógeno. La decisión está en nuestras manos.

C) El hidrógeno como portador energético

¿De dónde sale la energía que porta el hidrógeno?

Al unirse el hidrógeno con el oxígeno se forma agua y se desprende energía, usualmente en forma de calor (proceso similar a la combustión de gas natural o petróleo). También este proceso puede dirigirse para que se produzca directamente energía eléctrica. Tal es el caso de las llamadas «celdas de combustibles», que se analizarán más adelante. Estos usos del hidrógeno como portador energético no están relacionados con su fusión «caliente» o bomba de hidrógeno, ni con su fusión «fría», que los científicos no han podido lograr y donde la energía es de carácter nuclear.

¿Qué limita el uso del hidrógeno como combustible?

1. Su costo. El hidrógeno se obtiene fundamentalmente reformando el gas natural o por electrólisis del agua; lo que aún es costoso porque el precio de la electricidad está determinado por el del petróleo. Se ve como perspectiva obtener el hidrógeno utilizando alguna de las energías renovables. Se tiene como perspectiva la fotovoltaica cuando disminuya su costo, porque convierte directamente en electricidad la energía solar. Se investigan otras formas de obtenerlo que todavía no están en escala comercial, como el uso de algas y bacterias que lo producen de efluentes; como las aguas albañales o la ruptura de la molécula de agua con radiación solar directa. En ambos casos, las soluciones técnicas existen, pero aún son costosas.

2. La limitada cultura del uso del hidrógeno hace que muchos teman que pueda originar explosiones. Sin embargo, otros consideran que no es más peligroso que el gas en nuestras cocinas o la propia gasolina, con la ventaja de que al ser más ligero que el aire se disipa más rápido. Si bien este gas ocupa un volumen mayor que la gasolina, lo cierto es que se utiliza de él tres veces menos peso para producir una misma cantidad de energía. La mayoría de los científicos considera que se aprenderá a manejarlo, como se hizo con la gasolina y el gas.

¿Por qué ya se utiliza el hidrógeno como combustible en naves espaciales, submarinos, aviones, vehículos y celdas de combustible?

En los primeros, porque se está dispuesto a pagar más por una solución técnica superior; en los últimos, porque el problema de la contaminación ambiental ya es tan crítico en grandes ciudades con muchos vehículos que el costo medioambiental, unido a la pronosticada alza de los precios del petróleo hace que los países desarrollados se preparen para un gran cambio en la infraestructura energética actual.

I.II.IV.-CELDA DE COMBUSTIBLE.

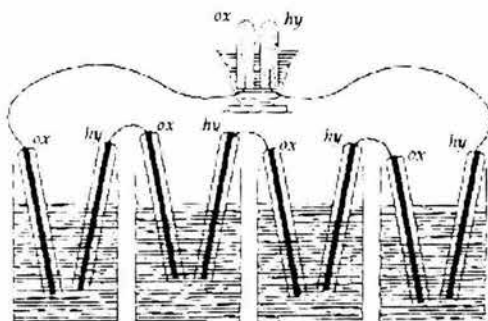
A) Introducción.

Como en tantas otras ocasiones a lo largo de nuestra evolución tecnológica, los principios científicos básicos que sustentan nuestra actual tecnología de celdas de combustible se descubrieron mucho antes de que sus aplicaciones fueran siquiera imaginables. Los primeros desarrollos de celdas combustible datan del siglo XIX. Varios son los científicos que desarrollaron diferentes propuestas W. R. Grove, F. W. Ostwald, W.W. Jacques, E. Baur, F. T. Bacon, entre otros. En 1839, el inglés William Grove, jurista de profesión y físico de vocación había hecho público un experimento que demostraba la posibilidad de generar corriente eléctrica a partir de la reacción electroquímica entre hidrógeno y oxígeno. Su original experimento consistía en unir en serie cuatro celdas electroquímicas, cada una de las cuales estaba compuesta por un electrodo con hidrógeno y otro con oxígeno, separados por un electrolito. Grove comprobó que la reacción de oxidación del hidrógeno en el electrodo negativo combinada con la de reducción del oxígeno en el positivo generaba una corriente eléctrica que se podía usar a su vez para generar hidrógeno y oxígeno.



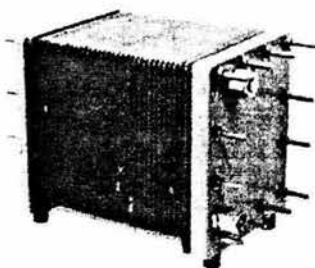
Sir William Robert Grove
(1811 – 1896), jurista de profesión y físico de vocación

Sir William Robert Grove (1811 – 1896), abogado Londinense con aficiones ingenieriles desarrolló los primeros prototipos de laboratorio de lo que él llamaba "batería de gas" y hoy conocemos como "pilas o celdas de combustible" (en 1839 realizó sus primeros experimentos y en 1845 la demostración definitiva de su sistema). Sin embargo, los principios básicos de funcionamiento de la pila de combustible los descubrió algo antes (en 1938) el profesor suizo Christian Friedrich Schoenbein (1799 – 1868).



Grove usó cuatro celdas grandes, con H_2 y O_2 para producir energía eléctrica que a su vez se podía usar para generar hidrógeno y oxígeno (en la celda superior, más pequeña).

El interés serio en las celdas de combustible como un generador práctico comenzó hasta los años 1960's, cuando el programa espacial de los E.U.A. escogió a celdas de combustible en lugar de la más riesgosa energía nuclear y más cara energía solar. Las Celdas de Combustible abastecieron de energía a las naves Apolo y Géminis y aún proveen electricidad y agua al transbordadores espaciales, también se utilizaron para aplicaciones militares.



Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico cuyo concepto es similar al de una batería. Consiste en la producción de electricidad mediante el uso de químicos, que usualmente son hidrógeno y oxígeno, donde el hidrógeno actúa como elemento combustible, y el oxígeno es obtenido directamente del aire.

También pueden ser usados otros tipos de combustibles que contengan hidrógeno en su molécula, tales como el gas metano, metanol, etanol, gasolina o diesel entre otros.

Debido a que la generación de energía eléctrica es directa, la eficiencia que alcanza una celda de combustible puede ser muy elevada, además al no tener

partes en movimiento son muy silenciosas. Sumado a todo esto hay que agregar que la celda de combustible no usa la combustión como mecanismo de generación de energía, lo que la hace prácticamente libre de contaminación.

Las celdas de combustible pueden ser fabricadas de distintos tamaños y para distintas aplicaciones que van desde su uso en telefonía celular, hasta el uso de éstas para impulsar automóviles.

B) Beneficios medio ambientales de las celdas de combustible.

Los beneficios medioambientales de las celdas de combustible son algunas de las principales razones que estimulan su desarrollo. Estos beneficios incluyen cero o casi cero emisión de contaminantes (NOx, SOx, CO e hidrocarburos) con un muy bajo nivel de ruido. Las propiedades favorables al medio ambiente de las celdas de combustible podrían neutralizar el rechazo de los usuarios respecto a la vecindad de centrales de generación eléctrica. A pesar de que la mayoría de los usuarios probablemente aún prefiera disponer de energía eléctrica convencional generada en una ubicación distante de sus hogares a causa del ruido y la polución (contaminación), las celdas de combustible son naturalmente benignas y no presentan ningún riesgo incluso si son emplazadas dentro de comunidades residenciales. Esta característica abre la posibilidad de generación de energía distribuida. En lugar de una infraestructura basada en la distribución de electricidad desde plantas centralizadas que distribuyen la energía por cables que recorren grandes distancias, las celdas de combustible permiten la distribución de pequeñas plantas de energía por toda la red eléctrica. Esta configuración reduciría las emisiones a la atmósfera desde las chimeneas de las grandes centrales térmicas, incrementando la fiabilidad y aumentando la eficiencia al reducir el recorrido de la electricidad desde la fuente hasta al usuario.

De hecho, respecto a la eficiencia, la mayoría de las celdas de combustible producen más energía eléctrica con menos combustible que los sistemas corrientes de generación de energía basados en máquinas térmicas y alternadores. Tal como se observa en la siguiente figura, los sistemas de celdas de combustible tienen la capacidad de alcanzar eficiencias superiores al 50%, inclusive para tamaños relativamente pequeños, de por ejemplo 10 Kw. Los sistemas híbridos de celdas de combustible ofrecen aún mayores eficiencias (aproximadamente 80% como ya se menciono anteriormente).

Consecuentemente, los sistemas basados en celdas de combustible reducirán el impacto de producción de energía en los cambios climáticos globales, al reducir la cantidad de gases que producen el efecto invernadero emitidos en la atmósfera por cada Kwh. generado. Podrán también reducir el agotamiento de los recursos energéticos y la dependencia en los combustibles fósiles, al obtener más energía por la misma cantidad de combustible.

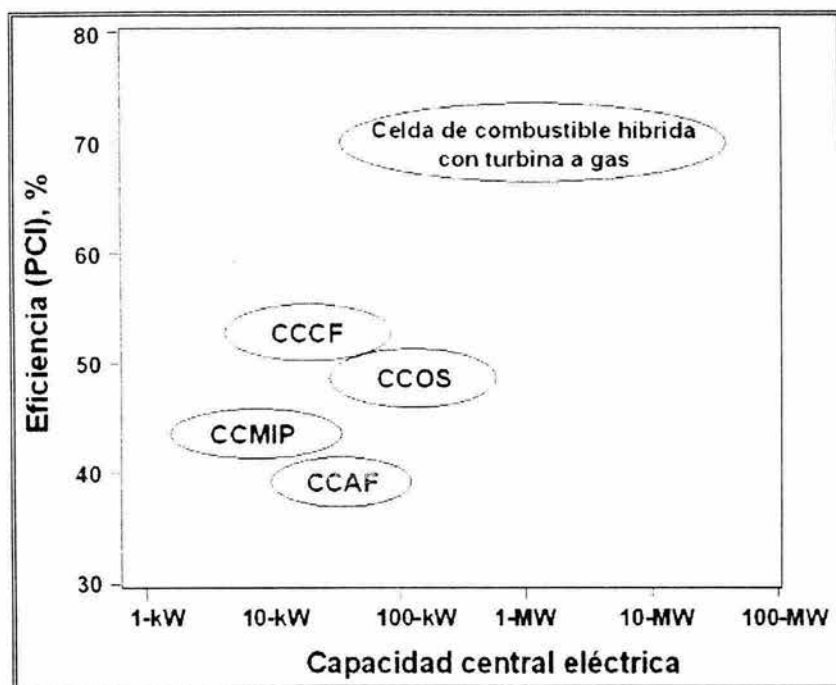


Figura 3. Eficiencia del sistema para diferentes celdas de combustible.

CCAF= Celdas de Combustible del tipo ácido fosfórico.

CCMIP= Celdas de Combustible de membrana de intercambio protónico.

CCOS= Celdas de Combustible de óxidos sólidos.

CCCF= Celdas de Combustible de carbonatos fundidos.

C) Problemas a resolver.

La barrera principal para comercializar celdas de combustible es su costo de producción. Hoy día, el costo de fabricación de cualquier sistema de celdas de combustible es más alto que el de equipos equivalentes con tecnología convencional. Esto se debe a diferentes factores. Actualmente no existe una gran economía de volumen para las celdas de combustible (se producen pocas unidades). Por otra parte, las unidades que se están produciendo son de baja potencia comparada con los sistemas convencionales, lo que resulta en una pobre economía de escala. Por otro lado, la construcción de las celdas de combustible siempre ha tenido lugar en laboratorios, no en fábricas, por este motivo no han sido aún desarrolladas las técnicas para la optimización de la producción. La complejidad de los sistemas de celdas de combustible y los dispositivos requeridos para operarlas presentan complicaciones de diseños que contrastan con la simplicidad propia de las celdas de combustible. Materiales de alto costo, especialmente el uso de metales preciosos (platino) para catalizar las reacciones internas, son excesivamente caros. Otra barrera es la escasa flexibilidad respecto del combustible. Las celdas de combustible operan óptimamente con hidrógeno

puro. Sin embargo, deberían ser capaces de utilizar combustibles de hidrocarburos fósiles para que se constituyan en un producto comercial viable. Por último, se observan también como obstáculos la ausencia de antecedentes en cuanto a su uso masivo y el no contar aún con la aceptación del público en general.

Todos estos problemas surgen a raíz de importantes dificultades técnicas que deben ser solucionadas antes de su producción en gran escala, a nivel comercial. El mercado tiende a ser precavido en cuanto a la incorporación de nuevas tecnologías sin probar su viabilidad práctica. Por ende, el desarrollo de unidades prácticas de bajo costo, de bajo nivel de contaminación, con flexibilidad de combustible son elementos necesarios para la reducción de costos.

Por otro lado, diferentes técnicas y procesos de manufactura deben ser puestos a punto para permitir celdas de combustible económicas con altos volúmenes de producción. Además, para incrementar la flexibilidad de uso de combustible se requieren reformadores más eficientes e innovaciones que reduzcan el costo del proceso tradicional de reformado de combustibles.

El avance de sistemas integrados de celdas de combustible inducirá futuras innovaciones. Por ejemplo, los sistemas que incluyen celdas de combustible de alta eficiencia junto con tecnología de cogeneración y sistemas híbridos de celdas de combustible con máquinas térmicas, podrían ofrecer beneficios adicionales.

Las aplicaciones de unidades estacionarias de celdas de combustible requerirán del desarrollo de inversores de potencia y de tecnologías de conexión a redes de bajo costo, fiables y eficientes. Se requieren inversores de corriente para convertir la corriente continua producida por las celdas de combustible en corriente alterna para las redes existentes. Complementariamente, deben ser aplicadas tecnologías de control para obtener una operación confiable y económica de las celdas de combustible y para producir energía de alta calidad. A su vez, deberá considerarse la optimización y los costos de elementos tales como bombas, válvulas, conductos, controles y electrónica de potencia.

Para aplicaciones de las celdas de combustible al transporte, los desarrollos más importantes involucran la manipulación y el procesado del combustible. Por ejemplo, las CCMIP (celdas de combustible de membrana de intercambio protónico), consideradas el principal candidato para aplicaciones en el área de transporte, necesitan hidrógeno limpio y puro. En consecuencia, se deberán imponer estrictas normas relacionadas con el transporte y proceso de combustibles tales como gasolina y metanol para eliminar compuestos que podrían contaminar las celdas. El desarrollo de un reformador de hidrógeno compacto, eficiente, económico, y de alta pureza, es un requerimiento fundamental. Una alternativa que podría solucionar la necesidad de un reformador transportado, es el almacenamiento y uso directo de hidrógeno. Sin embargo, esta alternativa requiere significativos avances en el almacenamiento de hidrógeno, utilizando hidruros metálicos, nanotubos de carbón o tanques de hidrógeno a alta presión a prueba de choques. A su vez se requerirá de un significativo desarrollo de infraestructura para la producción de hidrógeno.

Otros elementos que afectan la comercialización de las celdas de combustible incluyen las regulaciones y legislaciones gubernamentales aún no determinadas que especifiquen el emplazamiento, cobertura de seguro y la certificación de los

productos de celdas de combustible. La introducción de dichos productos dependerá a su vez de características económicas tales como la tasa de depreciación y la manera en que los bancos otorguen dinero para la compra de celdas. Además, las leyes regulatorias sobre la polución podrían ser más restrictivas en el futuro, lo que conduciría a la instalación y uso obligatorio de celdas de combustible. Otro hecho que facilitaría la inserción de las celdas de combustible en el mercado serían los créditos y financiaciones subsidiados por el gobierno tendientes a la reducción de gases que contribuyen al cambio del clima global, tal como el dióxido de carbono.

D) Disponibilidad actual de las celdas de combustible.

Existen varios fabricantes de celdas de combustible que venden plantas de energía integradas o planean hacerlo en un futuro muy cercano. Actualmente, la mayoría de estos fabricantes venden prototipos o plantas de energía pre-comerciales. Una de estas unidades es la CCOS Siemens-Westinghouse, instalada en el Centro Nacional de Investigación de Celdas de Combustible, de la Universidad de California en Irvine.

ONSI Corporation, una subsidiaria de United Technologies Corporation vende la única planta comercial de producción de energía eléctrica con celdas de combustible. ONSI ha entregado un total de 150 unidades en EE.UU., Europa y Asia. Algunas unidades ONSI tienen actualmente más de 5 años de operación comercial. La más larga operación continua de una celda de combustible sin detención fue superior a un año y fue lograda por una unidad operada por Tokyo Gas. Una unidad ONSI ubicada en el Hotel Hyatt Regency en Irvine, California, ha logrado el récord de operación sostenida: más de 43.000 horas.

Es muy probable que futuras aplicaciones de las celdas de combustible en los EE.UU. constituyan una fracción importante de las unidades de energía estacionaria distribuida. Estas unidades serán instaladas donde el suministro de energía mediante red es costoso o impracticable, como sucede en ubicaciones remotas, o donde es importante la sobrecarga y la fiabilidad. Un ejemplo de la última aplicación mencionada se observa en la estación policial de Central Park, en Nueva York. A su vez, se instalarán celdas de combustible donde se requiera de un cuidado muy intensivo de la calidad de la energía, como sucede en laboratorios computarizados. Además, las celdas de combustible podrían jugar un papel muy importante en California en la producción de energía en automóviles híbridos a medida que el estado comience a exigir la venta de vehículos sin emisiones contaminantes ("zero emission vehicles"). Finalmente, los habitantes podrán comprar celdas de combustible para sus hogares en un futuro cercano para disponer de energía eléctrica limpia, fiable y eficiente. El gas natural actualmente suministrado a las viviendas podría ser reformado en hidrógeno para alimentar las celdas de combustible.

En la escala internacional, muchos países están intentando electrificar las zonas más remotas para incrementar su base económica. Ya que muchos de éstos no cuentan con una extensa red eléctrica, la generación de energía distribuida (para la cual las celdas de combustible son especialmente útiles) puede cumplir un

papel importante en el logro de sus objetivos. Para instalaciones remotas el abastecimiento presenta costos asociados competitivos respecto a la distribución de energía por red. La voluminosa infraestructura de transmisión de energía puede ser reducida de la misma manera en que los sistemas de teléfonos celulares, que evitan la instalación de líneas telefónicas, están superando el uso de los sistemas de telefonía tradicionales en muchos países.

E) Aplicaciones de las celdas de combustible.

Hay muchos usos para las celdas de combustible — justo ahora, todas las grandes empresas de fabricantes de autos están trabajando para comercializar un auto con celdas de combustible. Las celdas de combustible están energizando autobuses, barcos, trenes, aviones, scooters y aún bicicletas. Hay por ejemplo máquinas de vendimia alimentadas por celdas de combustible, aspiradoras y señalización de carreteras. Las celdas de combustible Miniatura para teléfonos celulares, laptops y equipo electrónico portátil están camino a los mercados. Hospitales, centros de tarjetas de crédito, estaciones de policía y bancos, todos están usando celdas de combustible para proveer de potencia a sus instalaciones. Plantas de tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios, están usando celdas de combustible para convertir gas metano que producen para generar electricidad. Las posibilidades son infinitas.

A continuación se mencionarán de manera general algunas de las aplicaciones de las celdas de combustible:

Estacionarias.

Más de 200 sistemas de celdas de combustible han sido instaladas alrededor del mundo — en hospitales, clínicas, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas de potencia, y una terminal aeroportuaria, proveyendo potencia primaria ó de respaldo. En sistemas de edificios de gran escala, las celdas de combustible pueden reducir costos del servicio de energía de las instalaciones en un 20% a un 40% sobre el servicio de energía convencional.

Residencial.

Las Celdas de Combustible son ideales para generación de potencia eléctrica, ya sean conectadas a la red eléctrica para proveer potencia suplementaria y aseguramiento de respaldo para áreas críticas, ó instaladas como generadores independientes de la red para servicio en áreas que son inaccesibles para líneas eléctricas. Ya que las celdas de combustible operan de manera silenciosa, reducen la contaminación del ruido, así como la contaminación del aire. El calor subproducto de una celda de combustible puede ser usado para proveer agua caliente ó calefacción para una casa. Muchos de los prototipos que están siendo probados y demostrados para uso residencial extraen hidrógeno de propano ó del gas natural.

Transporte.

Algunos de los grandes fabricantes automotrices tienen un vehículo de celdas de combustible ya sea en desarrollo ó en pruebas justo ahora — Honda, Toyota, DaimlerChrysler, GM, Ford, Hyundai, Volkswagen — el que tú digas.

Las Celdas de Combustible tienen el poder para cambiar nuestro futuro. Una "máquina limpia" revolucionaria, la celda de combustible encauza la energía química del hidrógeno y oxígeno para generar electricidad sin combustión ni polución. Las Celdas de Combustible impulsarán al auto del mañana—mas silenciosamente, más limpio y más eficiente energéticamente, con un alcance y desempeño equivalente. Los beneficios serán extraordinarios, en la seguridad energética nacional, aire más limpio y oportunidades económicas.

Existe una intensa competencia alrededor del mundo en vehículos con celdas de combustible. Compañías en Alemania y Japón, están probando vehículos completamente rediseñados. Las acciones están al alza. Estas compañías especulan diciendo que el vehículo con celdas de combustible estarán comercialmente disponibles en el transcurso de este año (2004).

El país que desarrolle tecnología de celdas de combustible comercial tendrá la llave para la próxima generación de producción de potencia.

Los autos con celdas de combustible son un atractivo avance sobre los autos movidos con baterías. Los primeros ofrecen ventajas sobre los vehículos alimentados por baterías, pero también pueden ser realimentados rápidamente y podrían ir más lejos entre cada reabastecimiento.

Los autos con celdas de combustible que usen hidrógeno como combustible serán vehículos con cero emisiones (ZEV), o aquellos que usen otros combustibles producirían casi cero emisiones. Son también más eficientes que los autos de baterías recargadas por la red eléctrica. Adicionalmente, los autos de celda de combustible podrían producir menos gases tipo invernadero considerando "todo el sistema" -- tomando en consideración todas las emisiones asociadas a la obtención del recurso, procesamiento del combustible y uso.

Estudios de la General Motors y Ford notaron que los motores de autos con celda de combustible podrían ser construidos por casi el mismo precio que un motor de combustión interna.

Los vehículos de celdas de combustible FCV's(fuel cell vehicles) están alcanzando eficiencias energéticas son de 40 a 50 % en pruebas y demostraciones actuales; a través de la investigación y el desarrollo extenso, estos números están mejorando cada día. Una eficiencia energética mejorada, la cual implica la promesa de reducir importaciones de petróleo extranjero e incrementar la seguridad Energética, hace de los FCVs un atractivo reemplazo de los motores de combustión interna ICEs (internal combustion engines), los cuales son entre 10 y 16 % eficientes.

Los cálculos exactos varían de estudio a estudio, pero muchos fabricantes de autos han revelado datos mostrando que los FCVs son mucho mas eficientes que los vehículos comparables de los ICE. Toyota ha publicado investigaciones

mostrando su vehículo a gasolina convencional con una eficiencia de solo 16 %, mientras que su auto FCVH-4, con hidrógeno está proyectado para alcanzar 48% de eficiencia del vehículo – tres veces más eficiente. General Motors (GM) asegura que sus prototipos de autos con celda de combustible operando con hidrógeno tienen más del doble de eficiencia que sus vehículos convencionales a gasolina.

Al hablar de emisiones y eficiencias de vehículos, es importante mirar el cuadro completo - desde el momento en que el combustible es extraído del subsuelo, producido, refinado, fabricado, transportado y almacenado, hasta que realmente le da potencia al vehículo, así como los riesgos de seguridad totales en el manejo del combustible a lo largo de todo este camino. Este enfoque conocido como el análisis del ciclo completo del combustible ó "pozo-a-ruedas" ("well-to-wheels") . Este tipo de análisis tiene que ver con la eficiencia de la producción del combustible, pozo-a-ruedas (well-to-tank), y la eficiencia del vehículo (tanque-a-ruedas). Observando el cuadro completo nos ofrece una comparación más completa.

Las leyes de la termodinámica limitan los ICEs . Sin combustión, las celdas de combustible evitan las pérdidas de eficiencia asociadas con la ignición, quemado, transferencia de calor hacia los gases y escape. Las celdas de combustible convierten la energía química de un combustible directamente en energía eléctrica, la cual es alimentada a un motor eléctrico para dar potencia a las ruedas de un FCV.

A medida que la gasolina entra en un ICE, cerca del 85 % de la energía liberada se quema en el motor y esta se pierde principalmente en forma de calor. La energía remanente es convertida en energía mecánica para hacer rotar las flechas y embrague del motor; una parte de esta energía mecánica es perdida debido a la fricción entre los componentes, a medida que pasa de la transmisión a las ruedas del auto. Peor aún, cuando un auto está en ralentí, la eficiencia es cero. Un modo práctico de pensar en la eficiencia de tu vehículo es mediante tu propio manual de bolsillo. Los Vehículos Utilitarios Deportivos (Sport Utility Vehicles ó SUVs) han sido probados con eficiencias de alrededor del 10 %. Cuando manejas tu SUV a la estación de gasolina y llenas el tanque con \$20.00 de gasolina, combustible químico, sólo \$2.00 van realmente a mover tu auto. El resto de tu dinero, \$18.00, es desperdiciado en forma de calor ó contaminación.

Vehículos eléctricos con baterías demuestran la importancia del ver el cuadro completo pozo-a-ruedas, ya que no hay conversión de energía a bordo del vehículo. Toyota ha mostrado su vehículo eléctrico con una eficiencia del 80 por ciento, el doble de los FCVs. Si tomas en cuenta la eficiencia del 26 % pozo-a-tanque y las eficiencias asociadas a la carga de las baterías; la eficiencia global pozo-a-ruedas (well-to-wheels) es del 21 % – mejor que los autos convencionales de hoy , pero no tan eficientes como los de celda de combustible ó FCV.

Aún hoy, con la generación y distribución de combustibles alternos en su infancia, los FCVs tienen mayores eficiencias pozo-a-rueda (well-to-wheels) que cualquier otro tipo de vehículo, incluyendo ICE y autos híbridos con baterías. Tres análisis independientes han alcanzado conclusiones similares aunque no idénticas. Las pruebas de Toyota en planta han publicado 13 % de eficiencia global del ciclo de combustible pozo-a-ruedas para sus vehículos de ICE a gasolina. El Instituto del

Metanol (Methanol Institute - MI) ha revelado números globales muy similares. La investigación del MI muestra vehículos de combustión interna a gasolina con 15 % de eficiencia global, pozo-a-ruedas. Compara eso con la eficiencia de más de 30% del FCHV-4 de Toyota usando hidrógeno comprimido (58 % pozo-a-tanque y 48 % tanque-a-rueda), y el 31 % de eficiencia global de MI para vehículo promedio de celda de combustible con hidrocarburo (85 % pozo-a-tanque y 36 % tanque-a-rueda.)

GM realizó un estudio pozo-a-ruedas con el Laboratorio Nacional de Argonne, BP, ExxonMobil y Shell. Este estudio encontró que vehículos dotados de celda de combustible a hidrógeno son la combinación más eficiente de combustible y sistema de propulsión en el largo plazo, ofreciendo además vehículos con cero emisiones en el escape, mayor eficiencia, menor CO₂, pozo-a-ruedas, que otros vehículos. Los prototipos de FCV también tienen un futuro promisorio a largo plazo en términos de reducción de peso, tamaño y costos para hacerlos más competitivos con los actuales autos de combustión interna.

Potencia Portátil.

Las Celdas de Combustible Miniatura, una vez disponibles en el mercado comercial, ayudarán a los consumidores a hablar hasta un mes en un teléfono celular sin recarga. Las celdas de combustible cambiarán el mundo de las telecomunicaciones, energizando laptops y las palmas más horas que las baterías. Otras aplicaciones para micro celdas de combustible incluyen pagers, cámaras videograbadoras, herramientas de potencia portátil y dispositivos remotos de baja potencia tales como aparatos para sordera, detectores de humo, alarmas contra robos, seguros en hoteles y lectores de medidores. Estas Celdas de Combustible Miniatura generalmente utilizan metanol, un alcohol de Madera barato también utilizado en fluido para limpieza de parabrisas.

Rellenos Sanitarios/ Tratamiento de Aguas.

Las celdas de combustible actualmente operan en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de agua a lo largo del país, mostrándose como una tecnología válida para la reducción de emisiones y generando potencia a partir del metano que ellas misma producen..

El Programa Regional Noreste de Biomasa, en conjunto con XENERGY, Inc., ha completado un estudio muy completo que examina la factibilidad del uso de tecnología de celdas de combustible estacionarias basadas en bio-combustibles. Este estudio muestra que sistemas basados en el uso de biomasa, desde una perspectiva técnica, son capaces de proveer una fuente limpia y renovable de electricidad en el largo plazo. Los resultados del estudio no son noticia para algunas personas. Las Celdas de Combustible ya han mostrado ser exitosas en este tipo de aplicaciones, en servicio a lo largo del país en más de 150 rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de agua, generando potencia a partir del gas metano que producen, así como reduciendo las emisiones en ese proceso de generación.

En 1992, una demostración exitosa en el relleno sanitario de Penrose Landfill en Sun Valley, California pavimentó el camino para la operación de celdas de combustible operando con rellenos sanitarios e instalaciones de tratamiento de agua. Este tipo de instalaciones están ahora trabajando alrededor de los E.U.A. y Asia. Desde 1996, el relleno sanitario de Groton en Connecticut ha estado produciendo 600,000 kWh de electricidad al año, con una salida continua de potencia de la celda de combustible de 140 kW. En 1997, UTC a través de UTC Fuel Cell (antiguamente IFC/ONSI) instaló un sistema de celda de combustible en la planta de tratamiento de agua de Yonkers en Nueva York, la cual produce más de 1.6 millones de kWh de electricidad al año, liberando solamente 72 libras de emisiones al ambiente. La ciudad de Portland, Oregon, instaló una celda de combustible para producir potencia utilizando un digestor anaerobio de una planta de tratamiento. Genera 1.5 millones de kWh de electricidad al año, reduciendo la facturación eléctrica de la planta en unos \$102,000 anuales. La planta recibió el reconocimiento Clean Air Excellence Award de la Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A. (EPA). UTC también ha vendido sus celdas PC25C a dos distritos en California para esta aplicación y ocho plantas PC25TM de celda de combustible al New York Power Authority (NYPA). Las unidades PC25 de 200-kilowatts serán instaladas en cuatro plantas de tratamiento de agua en Brooklyn, Staten Island, Bronx y Queens.

Fuera de los E.U.A., UTC ha instalado una unidad PC25 en la ciudad de Guangzhou en China para generar potencia para equipo eléctrico en una granja de puercos, exportando además excedente de potencia hacia fuera de la granja. Inicialmente, la celda de combustible será usada con gas LP, pero eventualmente será alimentada por gas de fermentación metano producido por desperdicio de la granja.

Otra compañía, FuelCell Company Inc.(FCE) fue seleccionada para instalar y operar una planta de potencia de 1MW de Direct FuelCell® (DFC) en las instalaciones de Renton de Tratamiento de Agua del Sur en el Condado King, Washington. El proyecto demostrativo de dos años es compartido en costos por FuelCell Energy y el Condado King, en partes iguales a través de un financiamiento cooperativo otorgado al Condado por la EPA. El valor total del contrato es de \$18.8 millón.

FCE y su socio distribuidor en Asia, la Marubeni Corporation, están instalando una planta de poder DFC para las instalaciones de tratamiento de agua en Fukuoka, Japón, en el primer trimestre del 2003. La instalación de la planta es parte de un programa de dos años para evaluar la celda de combustible, la cual será operada en modo de cogeneración, usando las emisiones de metano del procesamiento de las aguas municipales para generar electricidad. Adicionalmente, un digestor anaeróbico que tratará la entrada de aguas municipales usará la salida térmica de la celda de combustible.

Marubeni también han instalado una planta de potencia DFC en la cervecería de Kirin en las afueras de Tokyo. La celda de combustible utiliza un digestor parecido al del gas metano del efluente del proceso de fermentación de Kirin. También en Japón, Toshiba ha instalado celdas de combustible que operan con gases de desperdicio en las cervecerías de Asahi y Sapporo y planea expandir sus

esfuerzos para vender sistemas de celda de combustible que operen con gas de los de plantas de tratamiento. Toshiba ha comenzado esta operación en la ciudad de Yokohama, enfocando los sistemas a gobiernos locales.

F) Costos operativos.

Para que las celdas de combustible puedan competir en la realidad con la tecnología de generación de energía actual, deben ser más competitivas en cuanto a costos de instalación por kilovatio requerido. En el mercado de las centrales eléctricas las celdas de combustible serán competitivas si logran un costo de instalación igual o menor a 1.000 \$US por kW. Actualmente, las celdas de combustible producidas por ONSI cuestan 3.800 \$US por kW. En el sector automovilístico, un costo competitivo estaría en el orden de los 50 \$US por kW debido a que los motores de celdas de combustible tienen una vida más corta y diferentes características de operación que las plantas estacionarias.

A pesar de sus altos costos de instalación, las celdas de combustible han ingresado exitosamente en nichos del mercado por su bajo costo de operación. Su alta eficiencia permite amortizar los altos costos de instalación con el combustible economizado. Además, al no tener partes móviles, el mantenimiento y el tiempo de reparación podrían ser mucho menores que lo requerido para sistemas de combustión. Muy pronto las celdas de combustible serán una alternativa competitiva en el mercado de producción de energía por las ventajas en costos operacionales y la continua reducción de costos de instalación debido a mejoras en materiales y en su fabricación.

G) El precio que debemos pagar.

Si las celdas de combustible son tan maravillosas, ¿por qué todavía no las vemos en cada casa y automóvil? El obstáculo mayor es el gran costo inicial. Los sistemas de celda de combustible actualmente cuestan por lo menos \$5 000 USD por kilovatio, y puede ser muy difícil encontrarlos a cualquier precio. El costo tendrá que rebajarse hasta \$1 500 USD o menos para competir con las otras tecnologías para la generación de energía eléctrica. En el futuro ocurrirán cuatro cosas que van a hacer la energía de hidrógeno más atractiva económicamente:

Avances técnicos en las celdas de combustible van a resultar en la producción de mayor potencia a menor costo. Producción en gran escala va a reducir el costo por unidad. En comparación con los aumentos en el costo del petróleo, el hidrógeno se convertirá en una ganga.

El aumento de la atención respecto de la eficiencia energética, reducirá nuestro uso de energía por persona, haciendo más factible la adopción de tecnologías relativamente costosas, como las celdas de combustible.

La buena noticia para la economía es que, una vez construido un sistema de energía renovable, obtiene su "combustible" gratis, y el costo de mantenimiento es

muy bajo. Los sistemas para la generación de hidrógeno son realmente muy sencillos y tienen pocos componentes móviles que se agotan.

H) La situación actual.

Docenas de compañías y laboratorios investigadores en Norteamérica, Europa y Asia están desarrollando las celdas de combustible y los electrolizadores. Sin embargo, todavía no hay productos de celda de combustible listos para su venta "al detalle" a consumidores individuales.

Varios investigadores y empresas están desarrollando celdas de combustible que funcionarán utilizando combustibles fósiles en vez de hidrógeno electrolizado puro. Esta técnica tiene la ventaja de que estos combustibles siguen siendo baratos y disponibles en todas partes. A los precios actuales, es más económico producir el hidrógeno utilizando los combustibles fósiles que hacerlo por medio de la electrólisis. Sin embargo, los combustibles fósiles no serán baratos ni abundantes en el futuro. Además, el proceso de reformar estos combustibles para su uso en celdas de combustible no evita el problema de la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera. El hidrógeno solar (la electricidad producida por los módulos solares opera un equipo de electrólisis que divide el agua (H_2O) en sus componentes elementales, hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2). El oxígeno se libera al aire y el hidrógeno se bombea a los tanques, donde es almacenado en el lugar de producción o se envía a las regiones donde el sol escasea.), en comparación, nos ofrece una solución energética que resuelve todos estos problemas.

Hay varias clases de celda de combustible, cada una con características especiales que las hacen apropiadas para aplicaciones específicas. Las Celdas de Combustible de carbonato derretido (fundido), ácido fosfórico y óxido sólido, por ejemplo, funcionan muy eficientemente a temperaturas elevadas y son ideales para impulsar plantas de energía grande y centralizada que operan por largos períodos con cargas constantes.

En cambio, las celdas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) funcionan a bajas temperaturas y se prenden rápidamente; por eso, son apropiados para el uso en vehículos y generadores de energía en pequeña escala para casas. Incluso algunos investigadores están desarrollando micro-celdas de combustible PEM para impulsar aparatos tan pequeños como los teléfonos celulares y las computadoras portátiles.

I) Perspectivas futuras.

La tecnología de las celdas de combustible están al borde de una revolución. Una vez que los laboratorios de investigación, las agencias de gobierno y las grandes corporaciones hayan eliminado las complicaciones técnico-económico asociadas a esta tecnología, el uso comercial extensivo de las celdas de combustible se hará evidente. Las plantas de energía basadas en celdas de combustible irrumpirían en primer lugar en el mercado de las centrales de producción eléctrica, donde actualmente el costo competitivo se aproxima al que demanda el mercado. Dentro de algunos años, muchas compañías transformarán sus unidades de demostración en plantas completamente comerciales reduciendo costos y haciendo disponible y accesible esta tecnología para uso general. Es probable que las aplicaciones para vehículos de celdas de combustible sigan los patrones del mercado de las plantas estacionarias. Gracias a su alta eficiencia, sus costos de instalación cada vez menores y el reconocimiento público en incremento, las celdas de combustible eliminarían a los motores de combustión interna en los automóviles de todo el mundo.

En poco tiempo esta potente tecnología alcanzará su madurez. Cuando esto ocurra, surgirán nuevas aplicaciones. Estamos muy cerca de la producción de energía con emisión de contaminantes casi nula. Podríamos decir lo mismo de las redes eléctricas distribuidas que suministran energía en partes remotas del planeta, y de la posibilidad para las naciones de proveer energía a infraestructura emergente, eliminando plantas centralizadas voluminosas y contaminantes, e instalando redes de energía distribuida limpias y eficientes implementadas con tecnología de celdas de combustible.

CAPITULO II

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y SUS CARACTERISTICAS

Como ya se dijo anteriormente, las celdas de combustible son sistemas que mediante procesos perfectamente definidos transforman la energía química directamente en energía eléctrica, sin existir combustión. Similares a las baterías, las celdas de combustible están compuestas de dos electrodos (uno positivo, el cátodo y otro negativo, el ánodo) con un conductor electrolítico entre ellos. Mientras tanto, difiere de la batería por no haber necesidad de recarga, produciendo energía desde que el combustible sea suministrado.

Teóricamente se pueden utilizar varios tipos de combustibles. En la actual fase de las investigaciones en que se encuentra esta tecnología, el hidrógeno es el que presenta un mejor rendimiento, el hidrógeno se puede generar del metanol, etanol, gas natural, propano y otros combustibles provenientes de los hidrocarburos.

En este mecanismo, en la medida que los electrodos tienen contacto con los gases reactivos (hidrógeno para el electrodo negativo y oxígeno o aire atmosférico para el electrodo positivo) existe una diferencia de potencial entre los mismos. Esta diferencia de potencial de la célula, pila o celda a circuito abierto es del orden 1.0 V, lo que ya genera energía eléctrica.

Uno de los componentes específicos para un tipo de celda de combustible es la matriz, usualmente compuesta de carburo de silicio (SiC) y politetrafluoretileno (PTFE), que es lo que retiene el electrolito y se usa entre pares de electrodos difusores de gases (H_2 y O_2). Esas matrices deben ser lo suficientemente porosas para que el electrolito se quede permanentemente retenido, dejándolo apenas humedecido, y evitando de ese modo la mezcla de gas. Además, las matrices deben ser un aislante eléctrico, tener una buena estabilidad química, tener buena conductividad iónica y poseer una espesor adecuado para minimizar la polarización óhmica entre los electrodos.

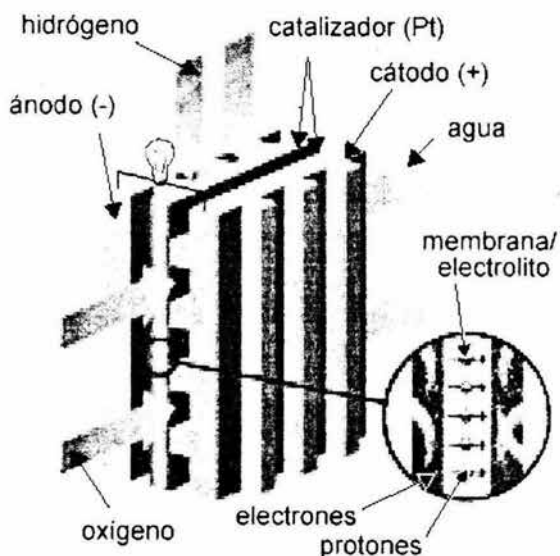
La resistencia de la matriz es una característica importante por ser la principal responsable de la inclinación de la curva de control corriente vs. potencial. Se han realizado investigaciones sobre el desempeño de celdas de combustible utilizándose mezclas de carburo de silicio, carburo de niobio y silicato de circonio, con el objetivo de mejorar el potencial de la celda a altas densidades de corriente.

En una celda de combustible por el contrario, la energía química del "combustible" se convierte directamente en energía eléctrica a través de una reacción electroquímica, sin mediar proceso alguno de "combustión", y la eficiencia llega a alcanzar valores de hasta un 80% de eficiencia. El dispositivo es conceptualmente muy simple; una celda de combustible individual está formada por dos electrodos separados por un electrolito que permite el paso de iones pero no de electrones. En el electrodo negativo tiene lugar la oxidación del combustible (normalmente H_2 aunque puede ser también metanol u otros), y en el positivo la reducción del

oxígeno del aire. Las reacciones que tienen lugar son las que se indican a continuación.

Electrodo negativo	2H_2	$\rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
Electrodo positivo	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$\rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
Reacción global	$2\text{H}_2 + \text{O}_2$	$\rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Los iones (H^+ en este caso) migran a través del electrolito mientras que los electrones (e^-) circulan a través del circuito externo una carga eléctrica cualquiera. Una de estas celdas individuales como ya se dijo anteriormente genera un voltaje cercano a un voltio; para las aplicaciones que requieren mayor voltaje y alta potencia se apilan en serie el número necesario de estas celdas que forman la celda de combustible propiamente dicha.



Esquema de la estructura y funcionamiento de una pila de combustible.

Esta figura muestra una sola celda electroquímica que produce aproximadamente 1 Voltio. Para aplicaciones de potencia se apilan muchas de estas celdas para formar la pila o batería de combustible, cuyo voltaje aumenta en proporción al número de celdas apiladas.

Como ya se dijo en principio, una celda de combustible opera como una batería. A diferencia de una batería, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le abastezca de combustible.

Una celda de combustible al operar como una batería, genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente, sin realizar un proceso de combustión, evitando la generación de emisiones nocivas como son los: elementos particulados y óxidos de nitrógeno y azufre (NOx y SOx) los cuales contribuyen a la formación de la denominada lluvia ácida.

El combustible (hidrógeno) es alimentado al "ánodo" de la Celda de Combustible. Oxígeno (del aire) entra a la celda de combustible a través del cátodo. Estimulado por un catalizador, el átomo de hidrógeno se separa en un protón y un electrón, los cuales toman diferentes caminos hacia el cátodo. El protón pasa a través del electrolito. Los electrones crean una corriente separada que puede ser utilizada antes de que regresen al cátodo, para reunirse nuevamente con el hidrógeno y el oxígeno en una molécula de agua.

Un sistema de celda de combustible que incluye un "reformador que procesa el combustible" para obtener el hidrógeno contenido en cualquier combustible hidrocarburo – desde gas natural hasta metanol, e incluso gasolina. Ya que la celda de combustible depende de la química y no de la combustión, las emisiones de un sistema de este tipo serían mucho menores que los procesos de combustión de combustibles más limpio.

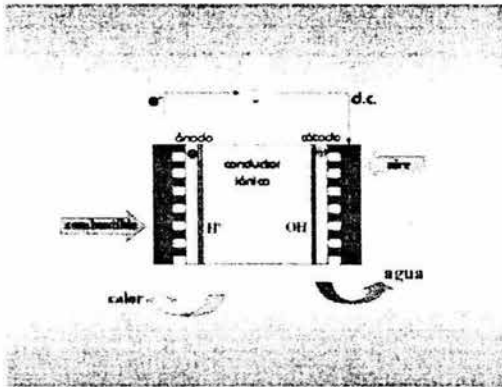
II.1.-QUE ES UNA CELDA DE COMBUSTIBLE?

Las celdas de combustible han emergido como una de las tecnologías más promisorias entre las fuentes de energía del futuro. Estas celdas de combustible son un sistema electroquímico que convierte la energía en electricidad y calor sin combustión directa.

Funcionan de manera similar a una batería al tener electrodos, electrolito y un par de terminales (una negativa y otra positiva). Pero son diferentes al no liberar energía almacenada en ella, sino al transformar la energía de un combustible (hidrógeno) directamente en electricidad, disminuyendo así la generación de contaminantes.

La celda de combustible no se agotará o requerirá de recargarse, ya que producirá energía mientras se le alimente de combustible.

II.II.-COMO FUNCIONA UNA CELDA DE COMBUSTIBLE?

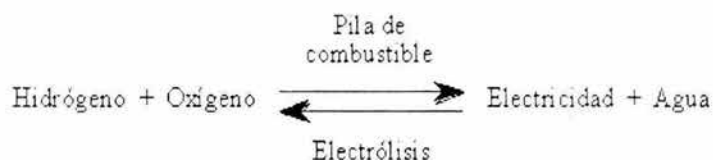


Una celda de combustible consiste en un cátodo (electrodo con carga positiva), un ánodo (electrodo con carga negativa), un electrolito y un circuito eléctrico externo. El ánodo además de proveer de una interfase entre el combustible (hidrógeno) y el electrolito, cataliza su ionización en sus componentes, un par de protones y otro de electrones, que seguirán caminos diferentes para llegar al cátodo.

Por un lado, los electrones liberados son conducidos al circuito externo donde generan una corriente eléctrica y por otro, los protones pasarán a través del electrolito. El cátodo provee de otra interfase, esta vez entre el oxígeno y el electrolito, catalizando la reacción de reducción del oxígeno y permitiendo el paso de los electrones desde el circuito eléctrico. El electrolito actúa además como medio de separación entre el hidrógeno y el oxígeno, impidiendo su mezclado, previniendo así la combustión directa. A su paso por el circuito eléctrico los electrones producirán una corriente eléctrica, la cual podrá ser aprovechada antes de su regreso al cátodo, donde se reúnen con los protones y los átomos de oxígeno para producir agua.

II.III.-DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS PILAS O CELDAS DE COMBUSTIBLE.

Una pila de combustible puede definirse como un dispositivo electroquímico que transforma directamente y, lo que es más importante, de forma continuada, la energía química almacenada por un combustible en energía eléctrica. Su principio de funcionamiento es inverso al de una electrólisis. Por ejemplo, en la electrólisis del agua, se separa este compuesto en sus dos componentes, hidrógeno y oxígeno, mientras que en una celda de combustible se obtendría una corriente eléctrica por medio de la reacción entre estos dos gases:



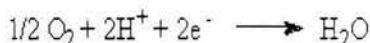
Las pilas de combustible están constituidas por un conjunto de celdas apiladas, cada una de las cuales posee un ánodo o electrodo negativo y un cátodo o electrodo positivo, separados por un electrolito que facilita la transferencia iónica entre los electrodos. Cada una de las sustancias que participan en la reacción es alimentada a un electrodo distinto. Así, el combustible, generalmente rico en hidrógeno, es alimentado de forma continua al ánodo, y el oxidante, normalmente el oxígeno del aire, al cátodo.

Allí los reactivos se transforman electroquímicamente, de acuerdo con las semireacciones:

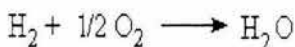
ANODO



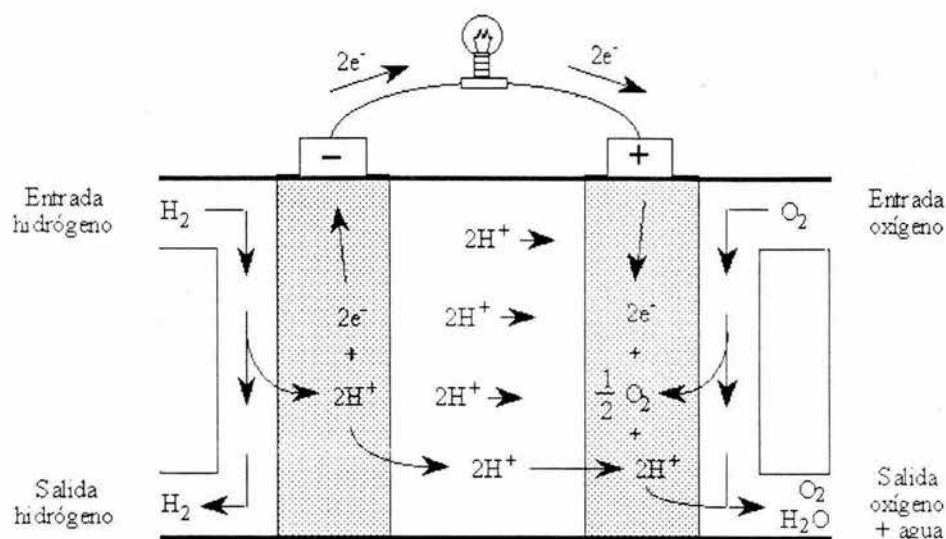
CATODO



REACCION
GLOBAL



Se genera de esta forma una corriente eléctrica entre ambos electrodos que, a diferencia de lo que ocurre en una pila o batería convencional, no se agota con el tiempo de funcionamiento, sino que se prolonga mientras continúe el suministro de los reactivos.



Principio de funcionamiento de una pila de combustible alimentada con hidrógeno y oxígeno.

La reacción global de formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno es espontánea, pero adolece de una cierta lentitud cuando transcurre de forma separada en cada uno de los electrodos. Es por ello que sobre la superficie de los mismos se suelen incorporar catalizadores que aceleran la reacción.

Como se dijo anteriormente, la unidad fundamental, llamada también celda, no es suficiente para aplicaciones prácticas, uniéndose varias de ellas para conseguir la potencia y tensión adecuadas, formando de esta manera una pila o sistema de combustible. Las celdas están unidas eléctricamente en serie. Cada cierto número de celdas unitarias se inserta un dispositivo que permite extraer el calor generado por la reacción electroquímica, manteniendo de esta forma la temperatura dentro de los márgenes óptimos para cada tipo de celda.

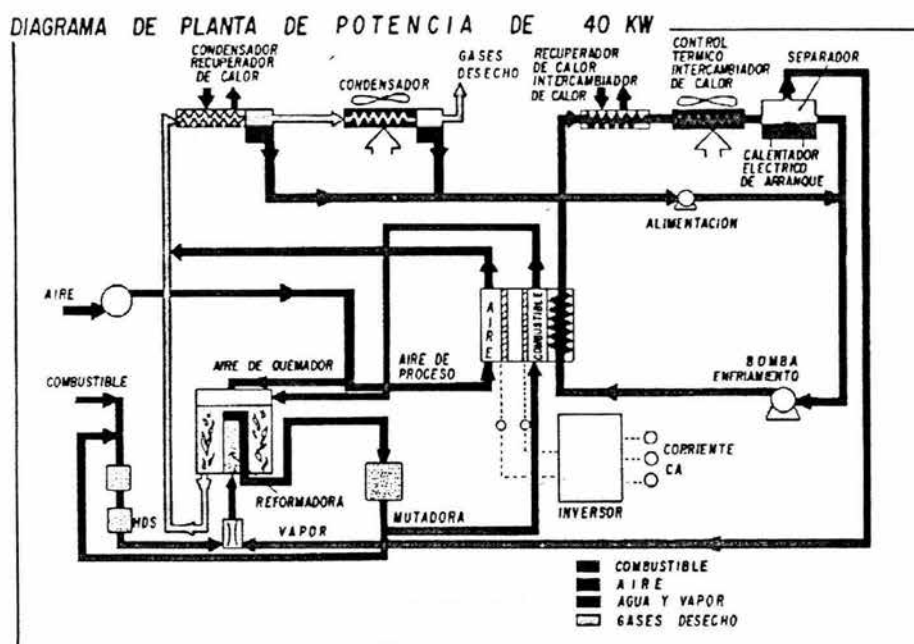
El calor extraído a través del circuito interno de refrigeración es recogido mediante una serie de intercambiadores que lo entregan a un circuito externo, produciéndose en la misma agua caliente o vapor, dependiendo de la temperatura de funcionamiento de la pila. La energía térmica así obtenida puede emplearse como tal, o bien utilizarse en la generación de una cantidad adicional de energía eléctrica, aumentando así el rendimiento del sistema.

La corriente continua generada y proporcionada por la pila debe ser transformada en corriente alterna apta para el consumo mas usual, con una especial atención a los parámetros eléctricos (voltaje, frecuencia, armónicos, etc.) de la red. La parte eléctrica encargada de esta transformación recibe el nombre de sistema de

acondicionamiento de energía, y su componente más importante es el inversor, que transforma la corriente continua producida por la pila en corriente alterna.

Puesto que el único combustible admitido por las celdas de combustible es el hidrógeno, gas que no se encuentra libre en la naturaleza, se requiere una etapa química previa para su obtención a partir de sustancias orgánicas que lo contengan. Uno de los procesos adecuados para este fin es el reformado catalítico con vapor de agua, siendo su mayor rendimiento cuanto más alta sea la relación hidrógeno/carbono de la materia prima empleada. El metano contenido en el gas natural es, entre los combustibles disponibles, el que posee una relación hidrógeno/carbono más elevada. Ello convierte a este combustible en el idóneo para el funcionamiento de estos equipos.

Con el objeto de hacer más versátil el funcionamiento de las pilas de combustible, se añaden una serie de equipos auxiliares, que no por ello son menos importantes: sistemas informáticos de gestión y control, condensadores de vapor, sistemas de suministro de gases, calderines, ventiladores, etc. Todas estas partes, junto con las descritas anteriormente, forman lo que se llama una planta basada en una pila de combustible o, sencillamente, una pila de combustible. El esquema general de una planta basada en una pila de combustible aparece representado en la siguiente figura.



Esquema general de una planta basada en una pila de combustible.

A modo de resumen de todo lo expuesto hasta ahora, podemos afirmar que una pila de combustible es un sistema electroquímico que, alimentado con combustible reformado, proporciona energía eléctrica y agua como productos finales de una reacción que transcurre de forma separada en cada uno de los electrodos. Como subproducto, se obtiene energía térmica.

A) Ventajas e inconvenientes

Las pilas o celdas de combustible ofrecen una serie de ventajas respecto de los sistemas tradicionales de producción de energía. Entre las más importantes podemos señalar:

- *Alta eficiencia energética:* Las pilas de combustible no son máquinas térmicas, por lo que su rendimiento no está limitado por el ciclo de Carnot, pudiendo acercarse teóricamente al 100%. Sólo las limitaciones en el aprovechamiento de la energía generada y en los materiales empleados en su construcción impiden alcanzar este valor.
- *Bajo nivel de contaminación medioambiental:* Al estar sustituida la combustión a alta temperatura de combustibles fósiles por una reacción electroquímica catalizada entre el hidrógeno y el oxígeno, no existe emisión de gases contaminantes (óxidos de nitrógeno y azufre, hidrocarburos insaturados, etc.), con lo que el impacto sobre el medio ambiente es mínimo. Es éste quizás, el aspecto más atractivo de las pilas de combustible.
- *Carácter modular:* La disponibilidad de las pilas de combustible como módulos independientes supone una ventaja adicional, ya que un cambio de escala en la potencia requerida se consigue fácilmente mediante la interconexión de módulos.
- *Flexibilidad de operación:* Una pila de combustible puede funcionar a alto rendimiento y sin interrupción en un amplio rango de potencias suministradas. Además, pueden realizarse variaciones rápidas de potencia; por ejemplo, es posible aumentar la potencia de una pila de combustible en un 10% en tan sólo un segundo. En contraste, los sistemas convencionales son muy inflexibles, debiéndose mantener la carga de combustible siempre por encima del 80% para garantizar una correcta operación.
- *Admisión de diversos combustibles:* Cualquier combustible es apto para ser reformado, con tal de que incluya hidrógeno en su composición. Han sido empleados con éxito combustibles tan dispares como el gas natural, el gasóleo, el carbón gasificado o el metanol.
- *Funcionamiento silencioso:* se ha estimado que el nivel de ruido a 30 metros de una pila de combustible de tamaño medio es de tan sólo 55 decibelios. Ello sugiere el uso de estos dispositivos para la generación de energía en recintos urbanos.
- *Bajo impacto estético:* Al no existir tubos de emisión de gases ni torres de refrigeración, el impacto visual de una planta de producción

de energía basada en pilas de combustible es mínimo. Se ha llegado incluso a proponer su integración en edificios residenciales.

- *Fiabilidad*: Los sistemas informáticos de control permiten automatizar el funcionamiento de una pila de combustible, siendo mínima la intervención manual requerida.
- *Sencillez de instalación*: Las obras de infraestructura son prácticamente innecesarias.

Frente a estas ventajas evidentes, el empleo de pilas de combustible como fuente de energía eléctrica presenta algunas desventajas:

1. *Tecnología emergente*: Determinados problemas aún no resueltos afectan al funcionamiento de las pilas de combustible, especialmente en lo que respecta a su vida útil, lo que repercute en su comercialización.
2. *Alto costo*: Al tratarse de una tecnología en desarrollo y al existir todavía una baja demanda de unidades, su precio no puede, hoy en día, competir con el de las tecnologías convencionales. Es de esperar que, conforme la demanda se incrementa, los precios se vayan equiparando.
3. *Sensibilidad hacia los venenos catalíticos*: Los electrodos empleados incorporan catalizadores para favorecer el desarrollo de las reacciones electroquímicas. El contacto de estas sustancias con los llamados venenos catalíticos, tales como el monóxido de azufre o los compuestos de azufre, provoca su inactivación irreversible. En la actualidad se trabaja en la sustitución de estos catalizadores por materiales más resistentes.

II.IV.- TIPOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE EN DESARROLLO.

Ácido fosfórico.

Membrana de Intercambio Protónico ó Polímero Sólido.

Carbonatos fundidos.

Oxido Sólido.

Alcalina.

Celdas de Combustible de Metanol Directo

Celdas de Combustible Regenerativas.

Celdas de Combustible de Cinc Aire.

Celdas de Combustible de Cerámico Protónico.

Tipo y Siglas en inglés	Electrolito	Temperatura	Combustible	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Poliméricas (PEM ^a)	Nafion	60-100 °C	H ₂	transporte equipos portátiles electricidad	Baja temperatura arranque rápido electrolito sólido (reduc corrosión, fugas, etc.)	La baja temp. requiere catalizadores caros (Pt) y H ₂ puro.
Alcalinas (AFC)	KOH (aq.)	90-100 °C	H ₂	Militares espaciales	Mejores prestaciones de corriente debido a su rápida reacción catódica.	Requiere eliminar el CO ₂ de aire y combustible.
Acido Fosfórico (PAFC)	H ₃ PO ₄	175-200 °C	H ₂	Electricidad	Eficiencia de hasta un 85% (con cogeneración de calor y electricidad) Posibilidad de usar H ₂ impuro como comb.	Catalizador de Pt. Corriente y potencia bajas. Peso y tamaño elevados.
Carbonatos fundidos (MCFC)	carbonatos Li, Na, K	600-1000 °C	H ₂	Electricidad	Ventajas derivadas de las altas temperaturas. ^b	Las altas temperaturas aumentan la corrosión y ruptura de componentes
Oxido Sólido (SOFC)	(Zr,Y)O ₂	800-1000 °C	H ₂	Electricidad	Ventajas derivadas de las altas temperaturas. ^b El electrolito sólido reduce corrosión, fugas, etc.	Las altas temperaturas facilitan la ruptura de componentes (sellos...)
Conversión Directa de Metanol (DMFC)	Nafion	60-100 °C	CH ₃ OH	Transporte equipos portátiles electricidad	Combustible líquido, más cercano a la tecnología actual, más las ventajas de las PEM.	

a) PEM (Proton Exchange Membrane, o Polymer Electrolyte Membrane)

b) mayor eficiencia, posibilidad de usar catalizadores más baratos que el platino y flexibilidad para usar otro tipo de combustibles (incluso hidrocarburos)

Existen diversos tipos de celdas o pilas de combustible, clasificadas de acuerdo con el electrolito empleado y su temperatura de trabajo, y que se reúnen de forma resumida en la tabla anterior.

A) Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC):

Este tipo de Celda de Combustible está disponible comercialmente hoy. Más de 200 sistemas de Celda de Combustible han sido instalados alrededor del mundo - en hospitales, casa de cuidado, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas de generación de potencia, una terminal de aeropuerto, rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de agua. Las PAFCs generan electricidad a más de 40% de eficiencia – y cerca del 85% del vapor que estas generan es usado para cogeneración – esto se compara con cerca del 35% de la red de potencia en los Estados Unidos. La temperatura de operación se encuentra en el rango de 300 a 400 °F (150 – 200 °C). A menores temperaturas, el ácido fosfórico es un conductor iónico pobre, y puede ocurrir envenenamiento severo en el ánodo del catalizador platino (Pt) por monóxido de carbono (CO).

El electrolito es ácido fosfórico líquido embebido en una matriz porosa. Una de las principales ventajas de este tipo de celda de combustible además de su cerca del 85% de eficiencia en cogeneración, es que puede utilizar hidrógeno poco puro como combustible. Las PAFCs pueden tolerar concentraciones de CO de hasta 1.5%, lo cual amplía la elección de combustibles que pueden ser usados. Si se utiliza gasolina, el azufre debe ser removido.

Desventajas de las PAFCs incluyen: utiliza platino costoso como catalizador, genera baja corriente y potencia comparada con otras celdas de combustible, y generalmente tiene un tamaño y peso grandes. Las PAFCs, sin embargo, son la tecnología de celda de combustible más madura. A través de ligas entre organizaciones con el Instituto de Investigaciones del Gas (Gas Research Institute - GRI), plantas generadoras, compañías de servicio de energía y grupos de usuarios, el Departamento de Energía (DOE) ayudó a hacer realidad la comercialización de las celdas PAFC, producidas por ONSI (ahora UTC Fuel Cells). Las PAFCs existentes tienen salidas de hasta 200 kW y unidades de 1 MW que han sido probadas.

Ánodo: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H} + 2\text{e}^-$

Cátodo: $\text{O}_2 + 2\text{H} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Celda: $\text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

B) Membrana de intercambio protónico (PEM):

Estas celdas operan a temperaturas relativamente bajas (cerca de 175 °F), tienen alta densidad de potencia, pueden variar rápidamente su salida de potencia para atender cambios en la demanda de potencia y son muy adecuadas para aplicaciones, -- como los automóviles -- donde un arranque rápido es requerido. Estas celdas son el candidato número uno para vehículos de trabajo ligero, para edificios y potencialmente para muchas aplicaciones pequeñas tal como reemplazo de baterías." La membrana de intercambio protónico es una hoja de plástico delgado que permite que iones de hidrógeno pasen a través de ella. La membrana esta cubierta en ambos lados con partículas de aleación altamente dispersa (principalmente platino) que funcionan como catalizadoras. El electrolito utilizado es un polímero ácido orgánico poli-perfluorosulfónico. El electrolito sólido tiene la ventaja de reducir la corrosión y otros problemas de funcionamiento. El hidrógeno es alimentado en el lado del ánodo de la celda de combustible donde el catalizador promueve que los átomos de hidrógeno liberen electrones y se conviertan en iones hidrógeno (protones). Los electrones viajan en forma de corriente eléctrica que puede ser utilizada antes de regresar por el lado del cátodo de la celda de combustible donde se ha alimentado oxígeno. Al mismo tiempo, los protones se difunden a través de la membrana (electrolito) hacia el cátodo, donde el átomo de hidrógeno es recombinado al reaccionar con el oxígeno para producir agua, completando así el proceso. Este tipo de celda de combustible es, sin embargo, sensible a impurezas presentes en el combustible. La salida de la celda generalmente está en el rango de 50 a 250 kW.

Ánodo: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H} + 2\text{e}^-$

Cátodo: $\text{O}_2 + 2\text{H} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

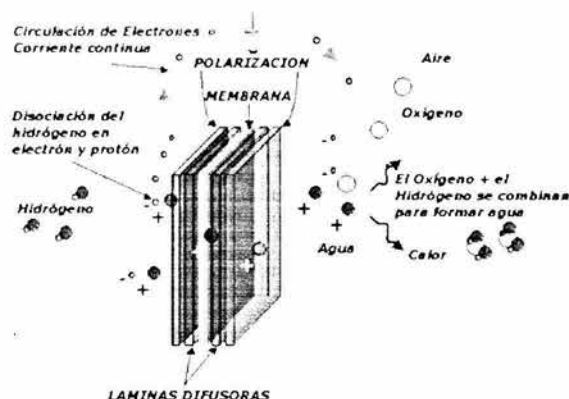
Celda: $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

CÓMO FUNCIONAN LAS PEM?

Una celda de combustible PEM (Proton Exchange Membrane), consiste en dos electrodos: el ánodo -- "electrodo combustible" -- y, el cátodo -- "electrodo oxidante" separados por un electrolito (la membrana). Cuando el hidrógeno ingresa al sistema, las propiedades catalíticas de la superficie de la membrana liberan electrones y protones de las moléculas de hidrógeno. La membrana tiene la propiedad de ser permeable a los protones, por lo que la atraviesan y forman agua al reaccionar con el oxígeno del aire (lado catódico); los electrones que no pueden atravesar la membrana circulan por un elemento conductor externo a la membrana, dando lugar a corriente continua "DC". Este proceso además de producir corriente eléctrica genera agua caliente y calor.

El corazón de una celda combustible está constituido por el "conjunto membrana electrodo" – CME -. Este está constituido por dos capas difusoras de gas con dos láminas bipolares en cada lado.

Las propiedades catalizadoras de éste conjunto que produce la división de las moléculas de hidrógeno y oxígeno, se basan en las propiedades de metales preciosos, como el platino, depositados en ella.

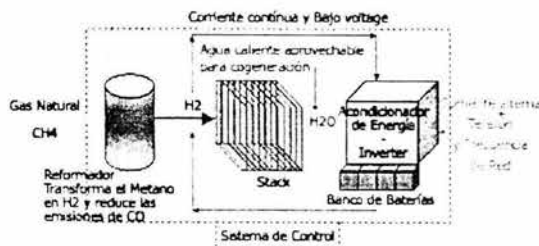


Para generar cantidades utilizables de corriente se disponen sucesivos CME, conformando el denominado "Stack". Mediante esta configuración se alcanza la potencia (tensión y corriente eléctrica) requerida.

Principales componentes de una PEM.

Conceptualmente una celda combustible tipo PEM está formada por:

- Reformador.
- Stack.
- Acondicionador de energía.
- Sistema de control.



En el reformador ingresa el combustible (gas natural) y produce un gas altamente rico en hidrógeno denominado "reformado", mediante una transformación química.

El contenido de monóxido de carbono que posee el reformado se reduce a niveles aceptables menores a 50 ppm (partículas permisibles máximas), mediante una unidad acondicionadora.

Posteriormente el hidrógeno ingresa al sistema (Stack) iniciándose el proceso de generación de corriente continua.

Esta corriente continua circula por el acondicionador de energía, denominado inversor, el cual transforma la corriente continua en corriente alterna, a valores de tensión y frecuencia requeridos por nuestras aplicaciones.

Este acondicionador incluye también un conjunto de baterías, que permiten estabilizar el suministro de energía ante variaciones instantáneas de la carga.

Aplicaciones.

Las celdas de combustible PEM pueden ser utilizadas en todo tipo de sistemas e instalaciones estacionarias, transportables o móviles (portátiles), que requieran energía eléctrica para su funcionamiento.

Actualmente estamos desarrollando pruebas de campo y aplicaciones de los modelos "GenSys 5C" de la firma PlugPower en la Pontificia Universidad Católica (PUC) - Río de Janeiro, Brasil. Esta es una celda de combustible del tipo PEM, que desarrolla 5 Kw. a partir del gas natural con emisiones de NOx y SOx menores a 1 ppm, con capacidad de realizar entre 3 y 9 Kw. de cogeneración por aprovechamiento del calor del circuito de enfriamiento de la celda. Además realizamos aplicaciones además de celdas de 500 W de H Power y de otros tipos para aplicaciones menores.

En un futuro mediano veremos aplicación de micro celdas combustibles accionadas por metanol u otros combustibles, en teléfonos celulares, laptops, bicicletas motorizadas, etc., pasando por las tecnologías para uso residencial, comercial e industrial y, en un futuro aplicadas en centrales de generación de energía eléctrica.

A continuación presentamos algunas imágenes de las aplicaciones desarrolladas por distintos fabricantes hasta el presente:



Los principales beneficios de estos sistemas son:

Independencia: El usuario o consumidor dispondrá de energía de back up (emergencia en caso de falla de la red) o podrá generar su propia energía eléctrica de acuerdo a sus propios requerimientos.

Confiabilidad: Al no existir partes móviles se reducen los mantenimientos y causas de fallas.

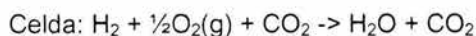
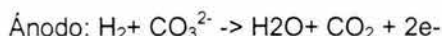
Aprovechamiento del calor: Es posible incrementar la eficiencia energética utilizando sistemas de cogeneración.

Medio Ambiente: Prácticamente no se produce material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno ni óxidos de azufre. Utilizando hidrógeno el dióxido de carbono generado es aproximadamente la mitad del producido, a igual potencia, por un equipo que funcione a carbón o derivado del petróleo. Al no poseer partes móviles, estos sistemas son silenciosos.

C) Carbonatos fundidos (MCFC):

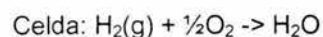
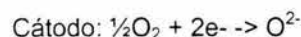
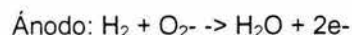
Estas celdas de combustible usan una solución líquida de carbonatos de litio, sodio y/o de potasio, embebidos en una matriz para formar un electrolito. Estas celdas prometen altas eficiencias de conversión de combustible a electricidad, cerca del 60% normalmente ú 85% con cogeneración, y operan a unos 1.200°F o 650°C. La alta temperatura de operación es necesaria para alcanzar una suficiente conductividad del electrolito. Debido a esta alta temperatura, los catalizadores de metales nobles no son requeridos para los procesos electroquímicos de reducción y oxidación en la celda de combustible. A la fecha, las celdas MCFCs han sido

operadas con hidrógeno, monóxido de carbono, gas natural, propano, gas de relleno sanitario, diesel marino y productos simulados de la gasificación de carbón. Se han probado MCFCs de 10 Kw. hasta 2 MW usando una variedad de combustibles y están dirigidas principalmente a aplicaciones de generación de potencia estacionaria. Las celdas de combustible de carbonatos estacionarias han sido exitosamente demostradas en Japón e Italia. Las altas temperaturas de operación, tienen una gran ventaja ya que ello implica mayores eficiencias y flexibilidad para usar más tipos de combustibles y catalizadores menos costosos, ya que las reacciones para romper los enlaces entre el carbono de hidrocarburos de cadenas más largas, ocurren más rápido a medida que la temperatura se incrementa. Una desventaja a ello es sin embargo, que las altas temperaturas aumentan la corrosión y la falla de componentes de la celda de combustible.



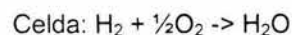
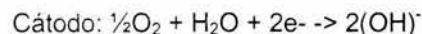
D) Celdas de combustible de óxidos sólidos (SOFC):

Es otra celda de combustible altamente promisorio, la cual podría ser utilizada en grandes aplicaciones de alta potencia, industrial y estaciones centrales de generación de electricidad a gran escala. Algunos fabricantes ven el uso de las celdas SOFC también en vehículos automotores y están desarrollando unidades de potencia auxiliares con este tipo de celda de combustible (APUs). Un sistema de óxido sólido generalmente utiliza un material cerámico de óxido de zirconio sólido y una pequeña cantidad de itria, en lugar de un electrolito líquido, permitiendo que las temperaturas de operación alcancen los 1,800°F o 1000°C. Las eficiencias de operación podrían alcanzar el 60% y 85% con cogeneración y la salida de la celda hasta 100 Kw. Un tipo de SOFC usa un arreglo de tubos de metros de largo, y otras variaciones incluyen un disco comprimido que parece la tapa de una lata de sopa. Los diseños tubulares de celdas SOFC están más próximos a su comercialización y están siendo producidos por varias compañías alrededor del mundo. Los proyectos demostrativos de la tecnología tubular de SOFC han producido tanto como 220 Kw. Japón tiene dos unidades de 25 Kw. en línea y una planta de 100 Kw. está siendo probada en Europa.



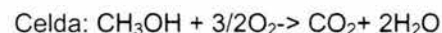
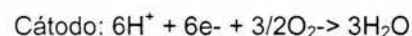
E) Celdas Alcalinas:

Estas celdas, usadas durante mucho tiempo ya por las misiones espaciales de la NASA, pueden alcanzar eficiencias de generación de potencia de hasta 70 %. Fueron usadas en las naves Apolo para proveer electricidad y agua para beber. Su temperatura de operación es de 150 a 200°C (unos 300 a 400°F). Utilizan una solución acuosa alcalina de hidróxido de potasio embebida en una matriz como electrolito. Esto es ventajoso pues la reacción del cátodo es más rápida en un electrolito alcalino, lo que significa mayor desempeño. Hasta recientemente fueron muy costosas para aplicaciones comerciales, pero muchas compañías están examinando medios para reducir costos y mejorar la flexibilidad en su operación. Típicamente tienen una salida de celda de 300 watts a 5 Kw.



F) Celdas de combustible de metanol directo (DMFC):

Estas celdas son similares a las celdas PEM ya que ambas usan una membrana de polímero como electrolito. Sin embargo, en las celdas DMFC el catalizador del ánodo mismo obtiene el hidrógeno del metanol líquido, eliminando la necesidad de un reformador de combustible. Las eficiencias se espera sean de alrededor del 40% con este tipo de celdas de combustible, las cuales típicamente operan a una temperatura de entre 120-190°F ó 50 -100°C. Este es un rango de temperaturas relativamente bajo, haciendo a este tipo de celda atractiva para aplicaciones desde muy pequeñas hasta tamaños medios, por ejemplo energizar teléfonos celulares y laptops. Mayores eficiencias pueden obtenerse a mayores temperaturas. Sin embargo, un problema serio, es el permeado del combustible desde el ánodo hacia el cátodo sin generar electricidad. No obstante, muchas compañías han dicho haber resuelto este problema. Estas se encuentran trabajando con prototipos de DMFC utilizados para energizar equipo militar electrónico en campo.



G) Celdas de combustible regenerativas.

Aún un miembro muy joven de la familia de celdas de combustible, las celdas regenerativas serían muy atractivas como un tipo de generación de potencia de ciclo cerrado. El agua es separada en hidrógeno y oxígeno mediante un electrolizador solar. El hidrógeno y el oxígeno alimentados en la celda de combustible generan electricidad, calor y agua. El agua es entonces recirculada de regreso hacia el electrolizador alimentado con energía solar y el proceso comienza de nuevo. Estos tipos de celda de combustible están siendo investigados por la NASA y otros a nivel mundial.

H) Celdas de combustible de cinc-aire (ZAFC).

En una celda de combustible cinc-aire típica, hay un electrodo de difusión de gas (GDE), un ánodo de cinc separado por un electrolito y separadores de un tipo de forma mecánica. El electrodo GDE es una membrana permeable que permite el paso del oxígeno atmosférico. Después de que el oxígeno ha sido convertido a iones hidroxilo y agua, los iones hidroxilo viajarán a través de la membrana y alcanzarán el ánodo de cinc. Aquí, el ión reacciona con el cinc formando óxido de cinc. Este proceso genera un potencial eléctrico; cuando un grupo de celdas ZAFC son conectadas, el potencial eléctrico combinado de las mismas puede ser usado como fuente de poder eléctrica. Este proceso electroquímico es muy similar al de una celda tipo PEM, pero el reabastecimiento de combustible y comparte ciertas características con las baterías. Metallic Power esta trabajando con celdas ZAFCs que contienen un "tanque de combustible" con cinc y un refrigerador de cinc automática y silenciosamente regenera el combustible. En este sistema de ciclo cerrado, se genera electricidad, cinc y oxígeno son mezclados en presencia de un electrolito (como una PEMFC), generando óxido de cinc. Una vez que el combustible se ha gastado, el sistema es conectado a la red y el proceso es revertido, dejando una vez más partículas de combustible de cinc puro. La clave está en que el proceso de reversión solamente toma unos 5 minutos para completarse, así el tiempo de recarga de baterías no es un problema en este sistema. La ventaja mayor que la tecnología de cinc-aire tiene sobre otras baterías es su alta energía específica, la cual es un factor clave que determina el tiempo de duración de una batería con respecto a su peso. Cuando las celdas ZAFCs son usadas para energizar vehículos eléctricos (EVs), han probado grandes distancias de manejo entre cada reabastecimiento de combustible, mayores que baterías para EV de similar peso. Más aún, debido a la abundancia de cinc sobre la tierra, los costos del material para las celdas ZAFCs y las baterías cinc-aire son bajos. De allí, que la tecnología cinc-aire tenga un potencial amplio de aplicaciones, desde EVs, equipo electrónico hasta militar. Powerzinc en el sur de California actualmente comercializa su tecnología cinc-aire para un número de diferentes aplicaciones.

I) Celdas de combustible de cerámico protónico (PCFC):

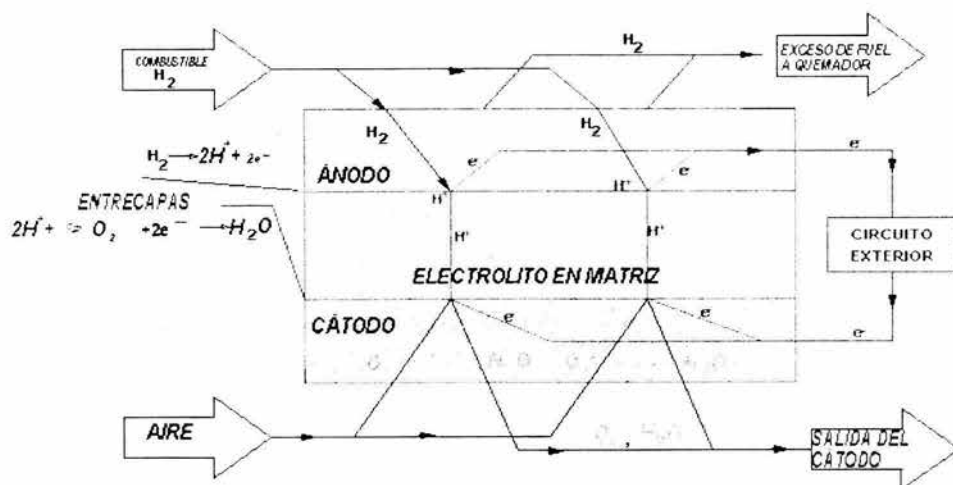
Este nuevo tipo de celda de combustible esta basado en un material de electrolito de cerámico protónico que presenta una alta conductividad protónica a elevadas temperaturas. Las celdas PCFCs comparten las ventajas térmicas y cinéticas de la operación a alta temperatura de 700°C con las celdas de carbonatos fundidos y de óxido sólido, al mismo tiempo que muestra los beneficios intrínsecos de la conducción protónica en electrolitos de celdas poliméricas y de ácido fosfórico (PAFCs). La alta temperatura de operación es necesaria para alcanzar la alta eficiencia eléctrica del combustible con combustibles a base de hidrocarburos. Las celdas PCFCs pueden operar a altas temperaturas y oxidan electroquímicamente combustibles fósiles directamente en el ánodo. Esto elimina el paso intermedio de producción de hidrógeno mediante costos reformadores. Las moléculas gaseosas del combustible de hidrocarburo son absorbidas sobre la superficie del ánodo en presencia de vapor de agua, y átomos de hidrógeno y los átomos de hidrógeno son eficientemente arrancados para ser absorbidos hacia el electrolito, produciendo como producto principal de reacción dióxido de carbono. Adicionalmente, las celdas PCFCs tienen un electrolito sólido que no se "seca" como en las celdas PEM, ni puede fugarse líquido como con las celdas PAFCs.

II.V.-DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS QUE INTEGRAN UNA CELDA DE COMBUSTIBLE.

Descripción de lo que se conoce como la estructura de un Stack de celdas de combustible. Un Stack es un conjunto de celdas de combustible unitarias interconectadas entre sí tanto física como eléctricamente en forma de una batería, de tal suerte que a través de las conexiones podemos obtener de este sistema los voltajes y corrientes requeridos para alimentar un sistema de carga eléctrica específica como se señala en lo otro apartado de esta tesis. Las celdas de combustible del tipo ácido fosfórico que son las más utilizadas convencionalmente están compuestas por los siguientes componentes.

- electrodos (ánodo y cátodo),
- matriz conteniendo el electrolito (ácido fosfórico),
- separador platos de enfriamiento,
- sistema de entrada múltiple (manifolds), y
- otros componentes más pequeños.

La estructura básica de una PAFC consiste en un electrolito (ácido fosfórico) que está contenido en una matriz, la cual se encuentra introducida entre dos electrodos, que son el ánodo y el cátodo, como muestra la siguiente figura:

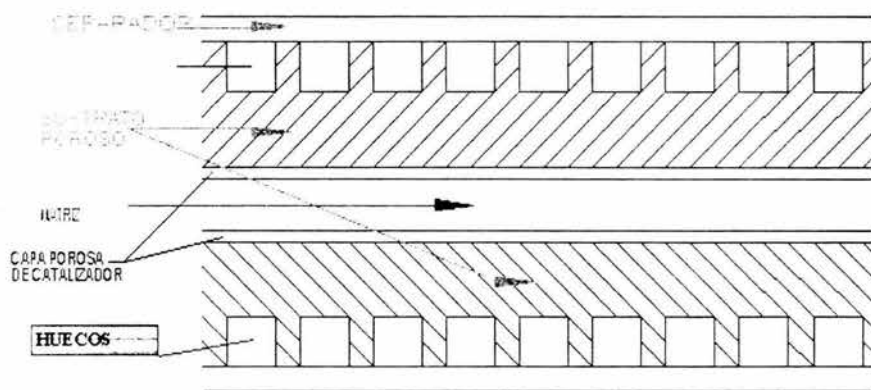


El objetivo de la matriz no es sólo mantener el ácido fosfórico como una parte integral de la célula sino que impide el cruce de los gases reactantes hacia los electrodos opuestos.

Cada electrodo contiene una capa de catalizador en la que se producen las siguientes reacciones:

- ÁNODO $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- CÁTODO $2\text{H}^+ + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Los iones de hidrógeno son transferidos desde el ánodo al cátodo a través del electrolito, y los electrones del ánodo al cátodo vía circuito externo. La reacción global es la siguiente: $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ La matriz que contiene al electrolito conduce sólo iones. La corriente eléctrica no la conduce. Normalmente, una célula simple genera entre 0.6-0.7 V para una densidad de corriente de unos 200 mA/cm² (el voltaje de salida depende mucho de las condiciones de trabajo, de las que hablaremos más adelante). Las celdas pueden ser conectadas eléctricamente en serie o en paralelo y estar armadas formando un Stack. A través de los "manifolds", el gas rico en hidrógeno y el aire alimenta al Stack. Las reacciones electroquímicas tienen lugar en la capa porosa del catalizador perteneciente al sustrato poroso. La siguiente figura muestra un modelo fundamental de una celda:

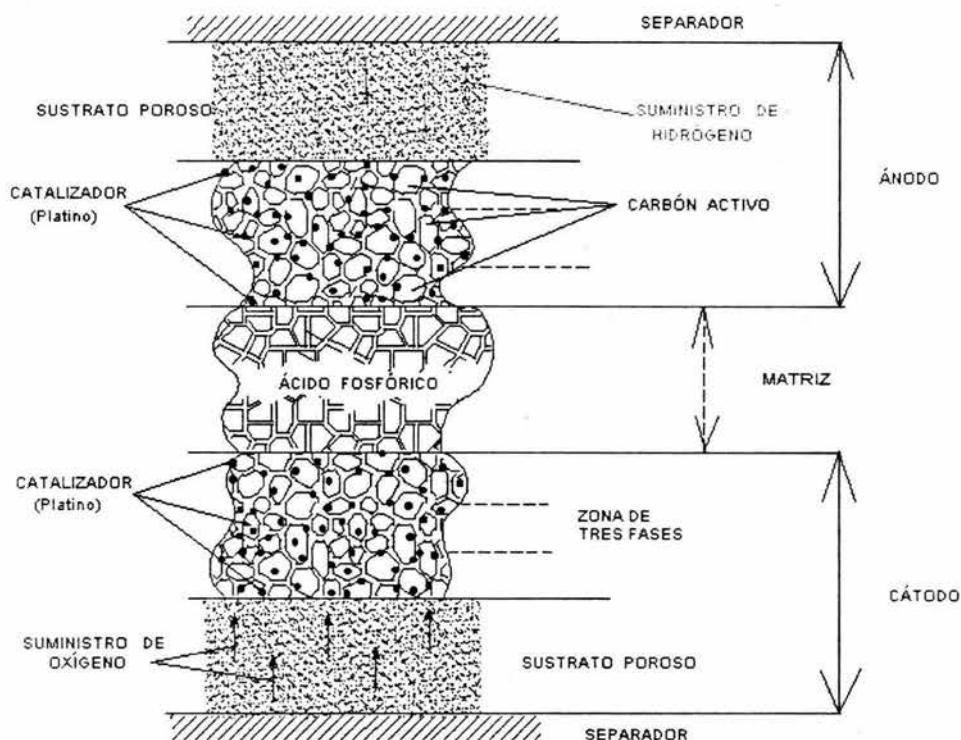


El gas rico en hidrógeno alimenta el sustrato poroso a través de los huecos del ánodo. El paso de los huecos al sustrato se realiza por difusión, también para pasar del sustrato a la capa porosa de catalizador. El hidrógeno ionizado en la capa porosa de catalizador es transferido a la misma capa de catalizador del cátodo. Dicha capa es adyacente al sustrato poroso del cátodo. Este paso se realiza a través de la matriz que contiene el electrolito. El oxígeno se difunde hasta la capa de catalizador a través del sustrato poroso del cátodo. Las reacciones,

tanto en el ánodo como en el cátodo, ocurren en la llamada **zona de tres fases**. Recibe este nombre porque en esa zona están presentes las tres fases:

- fase sólida (catalizador -Pt-),
- fase líquida (ácido fosfórico),
- fase gas (hidrógeno y oxígeno).

La estructura de una celda es la siguiente:

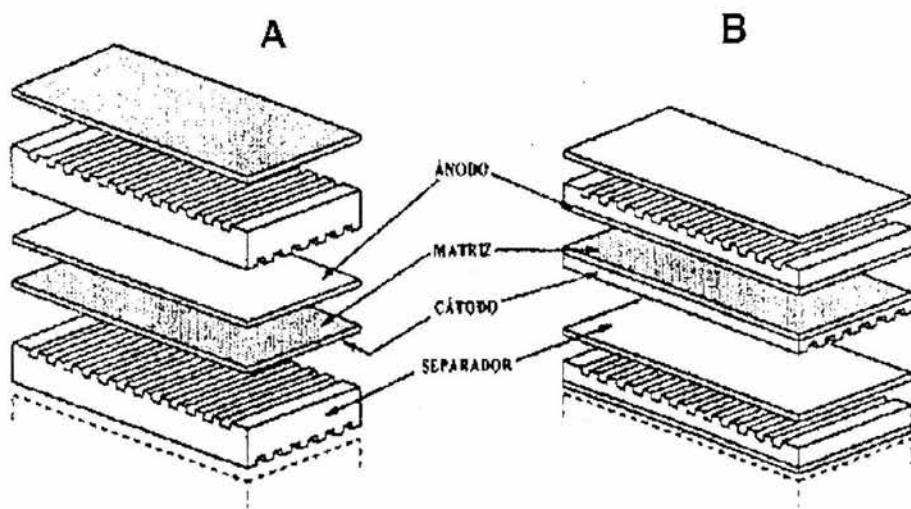


Para que esta reacción tenga lugar eficientemente, la capa porosa de catalizador debe ser fabricada de manera que tenga suficientes poros para que los gases se difundan libremente y el ácido penetre adecuadamente, ofreciendo un contacto

suficiente sobre la superficie de catalizador de Pt. La entrada del gas y del ácido debería ser controlada en la zona de las tres fases. El agua producida en dicha zona de la capa de catalizador del cátodo es llevada hacia los huecos, a través del sustrato poroso del cátodo, y eliminada por el flujo de aire que no ha reaccionado.

La figura que se muestra a continuación nos muestra las dos estructuras típicas para una celda:

- separador acanalado (A) ó
- sustrato acanalado (B).

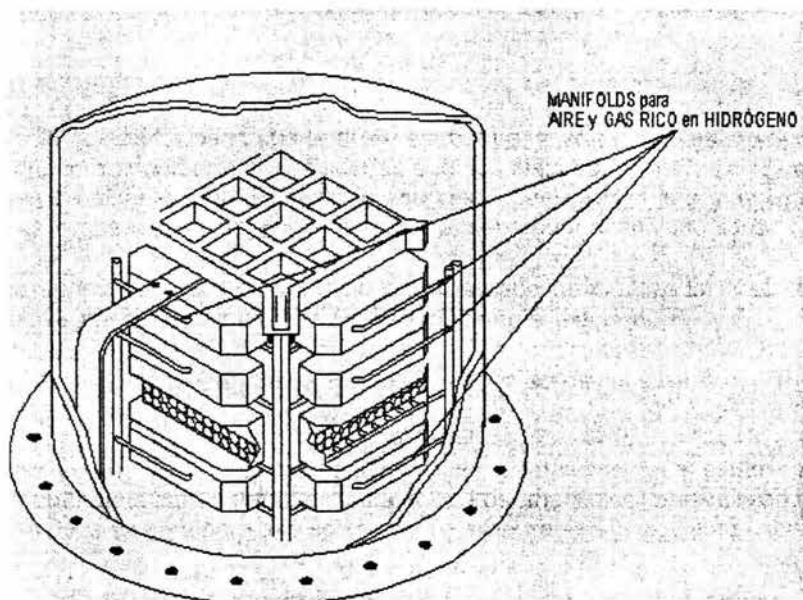


CONFIGURACIÓN DE UNA CELDA

La estructura del separador acanalado es aquella en la que los huecos de la alimentación están formando parte de su estructura, mientras que el otro tipo tiene los huecos formando parte de los sustratos de los electrodos, por los que entrarán los gases de alimentación. El sustrato acanalado suele ser el tipo más usado en los stacks largos. Las ventajas con respecto al separador acanalado son:

- la superficie plana de contacto entre la capa de catalizador y el sustrato poroso permite una difusión del gas mejor en el electrodo,
- el ácido fosfórico puede estar retenido en los poros del sustrato.

La subestructura del Stack está equipada con "manifolds" que están situados normalmente en la cara externa de los stacks. Los "manifolds" más utilizados para los gases ricos en H_2 y para aire son como se muestran en la siguiente figura:



La primera función de los "manifolds" es alimentar los reactivos gaseosos hasta cada celda. Es importante la alimentación de la corriente de H_2 y de CO_2 debido a su diferencia de densidades. Una vez diseñado el Stack, sabiendo el número de celdas y su disposición se colocan arriba y abajo los platos de sujeción.

CAPITULO III

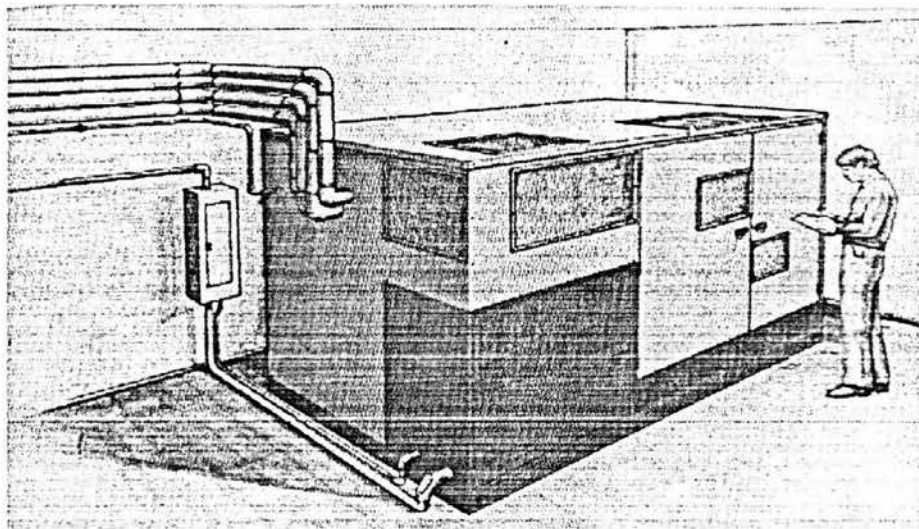
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE UNA PLANTA DE POTENCIA DE CELDAS DE COMBUSTIBLE DE 40 KW DEL TIPO ACIDO FOSFORICO INSTALADA Y OPERADA EN EL IMP.

III.1.-ESPECIFICACIONES TECNICAS

La planta de potencia por celdas de combustible de 40 KW del tipo ácido fosforico, puede generar hasta 40 KWe (kilowatt eléctricos) con capacidad de generar 56 KWe por 5 segundos y suministrar adicionalmente hasta 150,000 BTU/h (equivalentes a 40 KWt Kilowatt térmicos) de energía térmica a través de un circuito externo de circulación de agua. La planta requiere solo de una alimentación de gas natural, cuyas especificaciones se explican en la tabla 2.2, el consumo del gas varía con la demanda eléctrica, pues la planta esta diseñada para el modo de seguimiento de carga, y no existe inventario interno del combustible: el intervalo de variación de consumo esta entre 2 ft³/ min. (a cero carga) hasta 9 ft³/ min. (a potencia máxima).

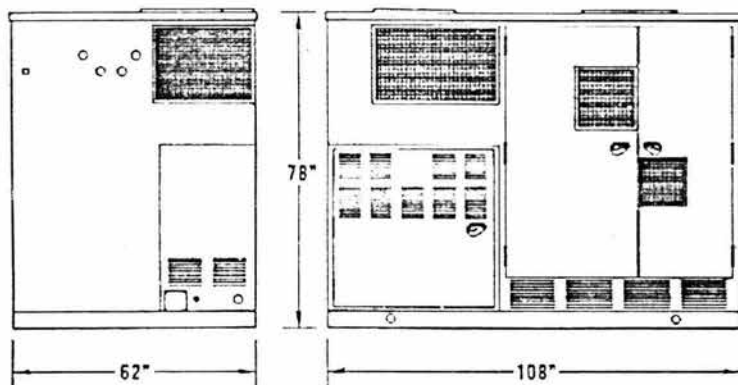
La planta tiene muchos componentes atractivos, incluyendo una alta eficiencia, es silenciosa, no contamina y no requiere de operación, tiene una rápida respuesta, esta planta se puede adecuar a cualquier tipo de ambiente o lugar sin ningún problema, es fácil de instalar y de dar mantenimiento.

A) Descripción física.



Las dimensiones externas de planta de potencia por celdas de combustible de 40Kw es ilustrada en esta figura.

El tamaño de la planta de potencia por celdas de combustible de 40Kw es de 6ft 8in de alto, 6ft de ancho con doble puerta, su peso aproximado es de 7000Lb y su volumen aproximado es de 300 ft³.

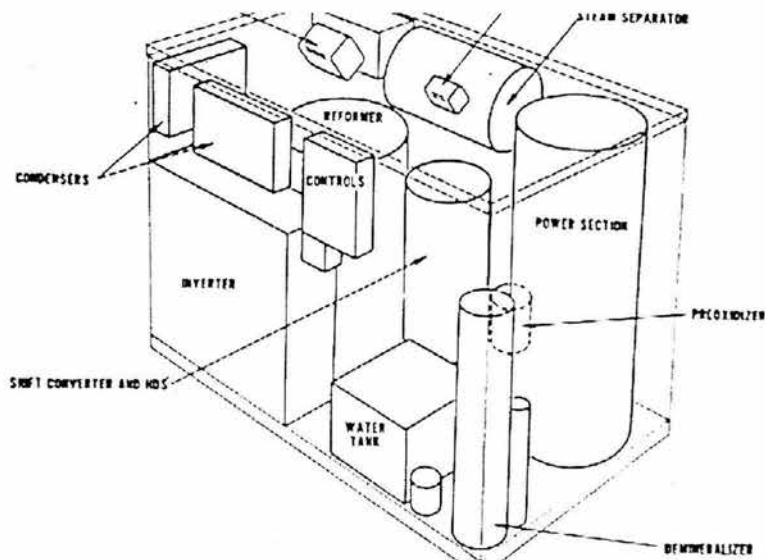


B) Descripción de sus funciones.

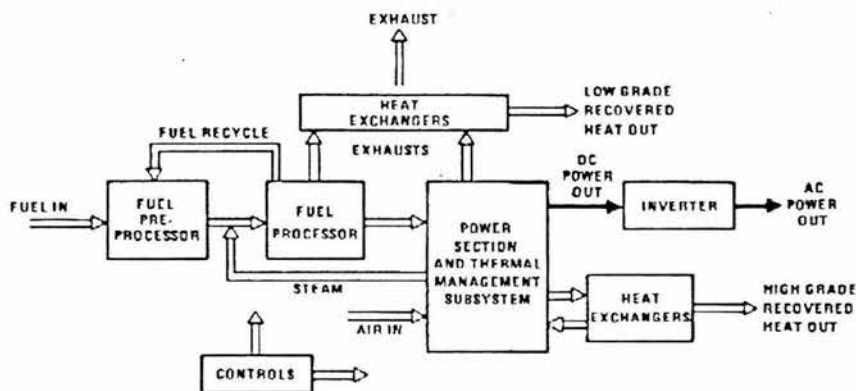
La planta de potencia por celdas de combustible de 40Kw consiste en los siguientes subsistemas y sus controles correspondientes.

- Procesador de combustible.
- Sección de potencia.
- Subsistema de manejo térmico.
- Acondicionador de potencia.

La mayoría de los componentes de la planta de potencia por celdas de combustible de 40Kw se muestra en la siguiente figura.



Localización de los principales componentes.



Un diagrama simplificado de bloques es mostrado en esta figura.

La función de esta planta de potencia es producir energía eléctrica y suministra energía térmica recuperable, utiliza una línea de gas, el combustible entra al preprocesador de combustible donde este pasa por el hidrodesulfurador y por el preoxidador donde el propósito del preoxidador es el combinar cualquier oxígeno presente en el gas con el combustible que ya ha sido procesado y reciclado para prevenir oxidación en el catalizador en el sistema de procesamiento de combustible, el preoxidador contiene un catalizador que hace que el oxígeno presente en el gas reaccione con el hidrógeno del combustible reciclado para

La función de esta planta de potencia es producir energía eléctrica y suministra energía térmica recuperable, utiliza una línea de gas, el combustible entra al preprocesador de combustible donde este pasa por el hidrodeshulfurador y por el preoxidador donde el propósito del preoxidador es el combinar cualquier oxígeno presente en el gas con el combustible que ya ha sido procesado y reciclado para prevenir oxidación en el catalizador en el sistema de procesamiento de combustible, el preoxidador contiene un catalizador que hace que el oxígeno presente en el gas reaccione con el hidrógeno del combustible reciclado para formar vapor de agua, después el combustible entra al cilindro hidrodeshulfurador (HDS) de 15" de diámetro y 40" de alto, que está ensamblado con un convertidor de cambio térmico, donde el propósito del HDS es remover el sulfuro del combustible que va a ser usado en el proceso de reformación del combustible, el proceso de desulfuración empieza cuando el combustible es mezclado con gas caliente de reciclaje quien suministra el hidrógeno necesario para la reacción de desulfuración el gas de reciclaje pasa a través del catalizador del HDS donde la reacción de desulfuración combina el sulfuro del combustible con el hidrógeno reciclado para formar H_2S . El combustible desulfurado, se mezcla con vapor, y entra al subsistema de procesamiento de combustible (compuesto por un reformador) donde el combustible y el vapor son catalíticamente convertidos en un gas rico en hidrógeno (9.7% de H_2 , 52% de CO_2 , 0.8% de CO , 35.6% de H_2O y 1.9% de CH_4 porcientos en peso). El gas rico en hidrógeno, frío y filtrado, entra a la sección de potencia.

En la sección de potencia electroquímicamente consume el hidrógeno del gas rico en hidrógeno y oxígeno del procesamiento del sistema del aire, y así es como produce corriente directa.

El agua que se produce es como producto de la reacción electroquímica.

El combustible que no se requiere deja la sección de potencia y fluye directamente al mechero de la reformadora donde el combustible que sobra es consumido con aire del sistema de proceso de aire para producir energía térmica requerida para el proceso de reformado del combustible.

Los gases de salida del reformador combinados con el aire de la sección de potencia son dirigidos hacia los intercambiadores de calor para ser enfriados y recuperar así el calor (baja entalpía) y el agua, el agua se recircula para mantener el proceso.

Por otra parte la función del sistema de tratamiento de agua (WTS), es la de suministrar agua de alta pureza al sistema refrigerante de la planta de potencia, el WTS consiste en los siguientes componentes: un condensador, un precalentador, un tanque de agua, un filtro de carbón, una cámara desmineralizadora, y una bomba de agua.

El tanque de agua tiene capacidad para 28 galones y es mantenido a una temperatura de $212^{\circ}F$ por el calor del sistema de enfriamiento de la sección de potencia. El agua hirviendo en el tanque de agua remueve el dióxido de carbono y otros gases disolventes del agua.

El filtro de carbón es un tanque cilíndrico que contiene una cámara con granos activos de carbón, el agua entra a lo alto del filtro y fluye a través del filtro hasta llegar a la parte baja.

La cámara desmineralizadora cambia los aniones y cationes de las sales minerales del agua por cationes en hidrógenos y los aniones en hidróxidos.

El sistema de control térmico mantiene a la sección de potencia en su temperatura óptima de operación. El calor generado en el proceso de generación de potencia se remueve por un flujo de agua en dos fases, esta agua cede su calor a un intercambiador con el circuito externo de aprovechamiento térmico (alta entalpía), el vapor se utiliza para la reformación y el líquido para el sistema interno de enfriamiento.

La corriente eléctrica de la sección de potencia es enviada a un inversor de estado sólido donde se regula, se invierte y filtra por medio de capacitores para obtener una onda senoidal de voltaje de gran calidad, para obtener finalmente un sistema trifásico (tres fases y un neutro) con lo que podemos obtener 120 volts entre cualquier fase y nuestro a 60 Hz.

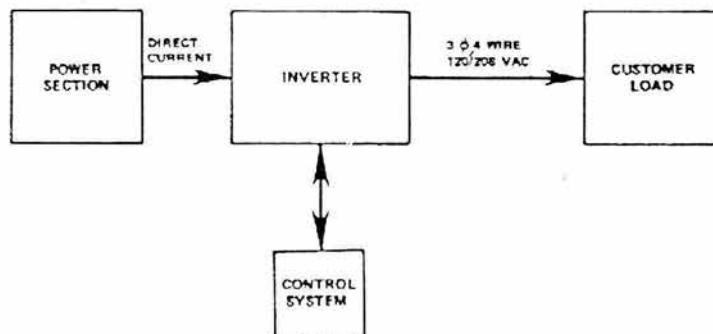
En campo de prueba la planta de potencia esta diseñada para la demanda de carga inmediata requerida durante el funcionamiento de la planta.

El suministro de calor requerido para el arranque de la planta se logra proporcionándole a la sección de potencia mediante calentadores de resistencia eléctricos en forma de chalecos y mediante el flujo de agua o vapor proveniente de una resistencia de inmersión que circula a través de un serpentín que atraviesan a diferentes grupos de celdas en todo el stock llamado (subsistema control térmico) y para el caso del subsistema de procesamiento de combustible se logra el calentamiento a través de los quemadores en el reformador los cuales se alimentan de gas natural o el hidrogeno remanente.

La energía eléctrica requerida para el arranque de la planta de potencia es proporcionada por una fuente externa como pudiera ser el caso de un banco de baterías recargado por medio de la misma planta o energía solar. La disponibilidad de energía eléctrica es primordial para la instalación de prueba de campo. En un futuro para instalaciones comerciales un generador portátil puede usarse para el arranque de la primera planta en una multi-instalación de plantas, las unidades subsecuentes pueden utilizar la energía de la primera planta para su arranque. Una parte de la energía de arranque se proporciona por separado de la sección de potencia. Esta energía es requerida solo para el arranque.

C) Descripción eléctricas.

El sistema eléctrico de la planta de potencia se muestra en la siguiente figura.



Sistema eléctrico de la planta de potencia.

El suministro de voltaje de la sección de potencia se logra en forma de DC al inversor, el cual transforma este tipo de señal a un sistema trifásico regulando el voltaje ya en forma de corriente alterna dentro de un nivel nominal de 120/208 volts ac. El voltaje de una sola fase 120 volts ac se proporciona a través del uso de un auto transformador para formar el neutro. Una parte de la energía generada por esta planta es para alimentar los subsistemas de la misma planta.

El inversor tiene la capacidad de suministrar energía eléctrica a los componentes críticos durante un periodo de cinco segundos.

El controlador de planta de potencia es un microordenador programado que proporciona el mando inteligente para tres procesos fundamentales: arranque, funcionamiento y paro de la planta.

D) Sistema de recuperación de calor

A continuación se muestra otro de los sistemas con los que cuenta esta planta Sistema de Recuperación de Calor.

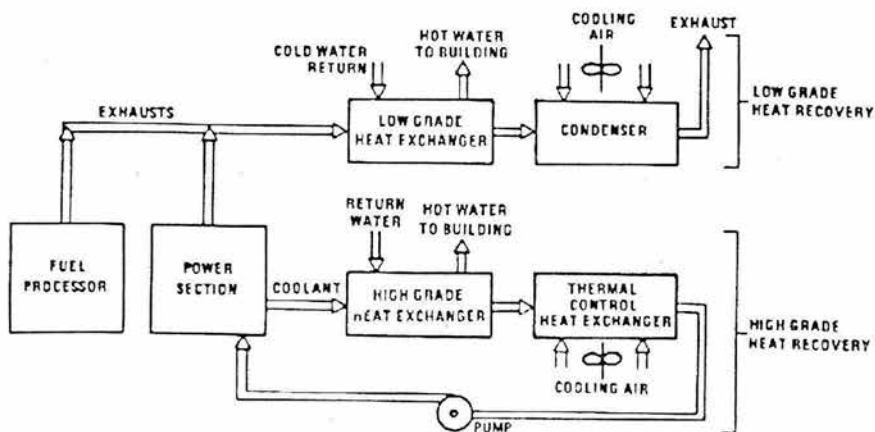


Diagrama el Calor Recuperación Sistema.

La planta de potencia por celdas de combustible emite durante su periodo de generación dos tipos de energía calorífica, uno de alta entalpía (alto nivel térmico) y otra de baja entalpía (bajo nivel térmico). El agua que atraviesa a los diferentes grupos de celdas para captar la energía térmica provocada en la reacción electroquímica en la sección de potencia pasa a los intercambiadores de calor donde se capta la máxima temperatura que es del orden de 275°F, factible de ser utilizado para diferentes fines de tipo industrial, comercial o residencial. El calor de baja entalpía se obtiene pasando un fluido de agua que viene a través de la sección de potencia y del procesador de combustible o reformador a otros intercambiadores de bajo nivel térmico, el cual cuenta con ventiladores que disipan al medio ambiente dicho calor. Si el calor de alto o bajo nivel no es requerido por el cliente, parte de este calor será desechado al medio ambiente y el resto es para mantener la temperatura tanto del reformador como la sección de potencia a la temperatura requerida para su operación.

E) El funcionamiento.

El arranque de esta planta es semiautomático ya que el procedimiento indica que debe haber una persona presente para supervisar las operaciones óptimas de acondicionamiento de todos los sistemas y así dar la instrucción de forma manual para entrar a la etapa de generación. Lo cual requiere aproximadamente 4 horas partiendo a temperatura ambiente para elevar la temperatura a 70°F y se

E) El funcionamiento.

El arranque de esta planta es semiautomático ya que el procedimiento indica que debe haber una persona presente para supervisar las operaciones óptimas de acondicionamiento de todos los sistemas y así dar la instrucción de forma manual para entrar a la etapa de generación. Lo cual requiere aproximadamente 4 horas partiendo a temperatura ambiente para elevar la temperatura a 70°F y se requieren aproximadamente 4 1/2 horas para el arranque partiendo de una temperatura de 33°F. El procedimiento de arranque se describe en el Apéndice D.

Una vez dada la instrucción de generación el funcionamiento es totalmente automático seguida por la magnitud de la demanda. La respuesta a la demanda es seguida por un periodo de dos ciclos partiendo de cero.

Para el caso del paro de la planta, tenemos dos casos: el paro manual y automático, el manual ocurre cuando así el operario lo tiene decidido, y el automático solo ocurre por una falla en uno de sistemas de la planta.

F) Operación en paralelo.

En una instalación de varias plantas de potencia por celdas de combustible el paro de una provocado manualmente o de forma automática no interferirá con el funcionamiento de otras unidades siempre y cuando se encuentren conectadas en paralelo.

G) Las Condiciones medioambientales.

La planta puede suministrar durante 5 segundos una sobre corriente limite bajo condiciones de temperatura ambiente que están dentro del rango entre -25°F a 110°F. A temperaturas de 120°F, la planta tendrá limitaciones en la corrientes de sobrecarga limite. El diseño de la estructura de una planta esta diseñada para resistir las condiciones especificadas en la tabla 2.1.

La planta cuenta con un sistema de control térmico que permite que el agua no se congele manteniéndola a una temperatura de 33°F.

La planta de potencia es capaz de operar a altitudes de 6000 pies con algunas limitaciones en la capacidad de sobrecarga.

TABLA 2.1 CARACTERISTICAS AMBIENTALES DE LA PLANTA DE POTENCIA EN-SITIO.

Temperatura ambiente °F	-25 a +120
Viento, MPH	80
Carga en el tejado de nieve o hielo	40
Lluvia/viento	1/pulg/hora/35 horas
Radiación solar BTU/Ft2 -Hr	300

H) Requerimientos del Combustible.

La Planta puede ser alimentada por una línea de gas natural. El rango aceptable de presión de suministro de combustible es 4 a 14 pulgadas de agua. Las especificaciones para estos combustibles se presentan en las tablas 2.2 y 2.3. Estas Característica técnicas deberán cumplirse antes del reformador.

TABLA 2.2 Especificación de la alimentación de gas.

COMPONENTE	VOLUMEN MAXIMO PERMISIBLE %
Metano	100.0
Etano	10.0
Propano	5.0
Butano	1.25
Pentanos y hexanos	0.5
CO2	3.0
O2	2.5
N2 continuo	15.0
Azufre total	30 PPMv
NH3	1 PPMV
Cloro	0.05 PPMV

TABLA 2.2

TABLA 2.3 Especificación del gas.

COMPONENTE	ESPECIFICACION
Gas natural	Min. 45% por volumen total del gas mezclado
Mezcla de gas licuado	Max. 55% por volumen total del gas mezclado.
Petroleo liquido (L.P.)	Max. 36% por volumen de gas mezclado.
Aire	Max. 23.5% por volumen, dentro del gas mezclado
Propano	Max.10% por volumen, dentro del gas (L.P.)
Max. Sulfuro	30 PPMV
Max. Thiophane sulfuro	10 PPMV
Max. NH3	1.0 PPMV
Chlorine	0.05 PPMV

TABLA 2.3

I) Diseño de Seguridad

La planta de potencia esta diseñada para que en caso de cualquier fallo el operario no salga dañado al igual que algunos componentes de la planta

Los códigos y normas presentadas en la tabla 2.4 se han seleccionado como aplicables en los diseños de criterio de la planta.

TABLA 2.4 Códigos y normas para la planta de potencia.

National Electrical Code, 1978
 ASM Boiler and Pressure Vessel Code, 1977,
 ANSI B31 Code for Pressure Piping, 1977
 UL 795 Commercial-Industrial Gas Heating Equipment
 ANSI Z 21.17 - 1974 (AGA) Domestic Gas Conversión Burners.

TABLA 2.4

Como ya se dijo anteriormente, un paro ocurrido de manera automática puede ser ocasionado por las siguientes causas:

TABLA 2.5 PARAMETROS DE PARO AUTOMATICO DE LA PLANTA DE POTENCIA.

- Alta Temperatura en el Separador De vapor
- Alta Temperatura en el Reformador.
- Baja temperatura en el Reformador
- Sobre temperatura en el preoxidador.
- Pérdida de Aire en el Quemador del Reformador.
- Condiciones de falla en el inversor.
- Pérdida de Flujo Refrigerante.
- La sección de potencia no este bien conectada a tierra.

TABLA 2.5

J) Confiabilidad.

La pruebas en campo demuestran una vida útil de la planta de 8000 horas aunque el diseño de la planta esta hecho para una vida útil de 20 años, Los requerimientos de mantenimiento se describen en el apéndice E. Tabla E.1

K) Interconexiones

Eléctricas

Las interconexiones entre la planta de potencia y el usuario consisten en la adecuación de la instalación mediante el uso apropiado de un sistema de tierra a si como sus sistemas de protección y señalización requeridos. Además, la instalación eléctrica que es utilizada para el arranque deberá estar interconectada por separado de la instalación de salida de potencia. Los requisitos se resumen en el Apéndice C de la, tabla C.1.

Fluido

Hay dos tipos de requisitos de la conexión de fluidos en el sitio. El primer tipo es la conexión externa como extractores de aire o descargas. El segundo tipo es la conexión donde el combustible pasa entre el sitio y la planta potencia a través de una línea. Las conexiones del combustible se resumen en el Apéndice C, Tabla C.4 y C.5.

L) Recuperación del agua.

El agua requerida que permite satisfacer el vapor en el procesador de combustible se proporciona de la sección de potencia hacia el reformador la cual se recupera y es colectada para el proceso de reformación suficiente para permitir el funcionamiento bajo los requisitos de carga normales y condiciones de temperatura ambiente de la planta y así no requiere ningún suministro de agua externo. El exceso de agua será drenada.

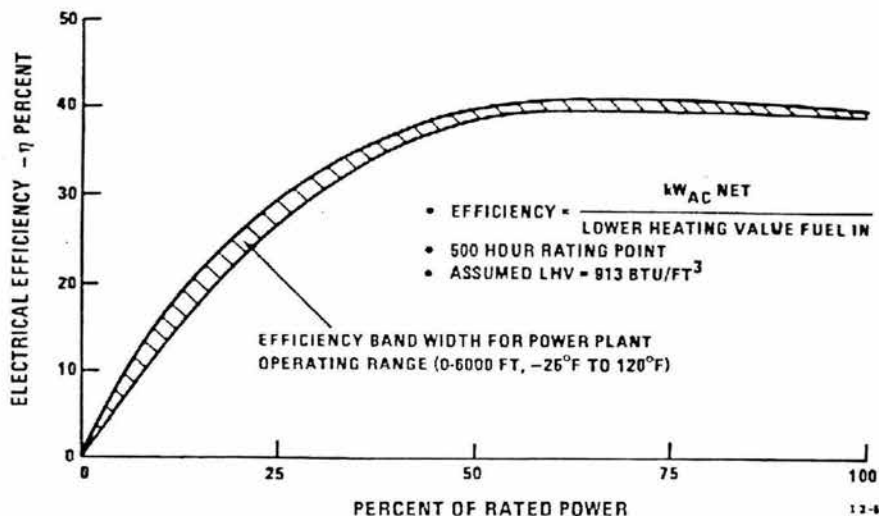
III.II CARACTERISTICAS DE LA PLANTA DE POTENCIA.

A) Características de operación.

La planta de potencia esta diseñada para proporcionar una potencia de 40 kilovatios A.C. nominales. El rango de potencia normal es de cero a 40-Kw. con una capacidad de sobre carga excesiva transitoria de 56-Kw. en un máximo de 5 segundos, bajo condiciones equilibradas de carga.

La eficiencia eléctrica máxima de planta de Potencia es del 40 por ciento alcanzada al 50% de su potencia máxima. En las pruebas de campo se comprobó que la planta alcanzo del 37% al 40% de eficiencia eléctrica.

A continuación se muestra la curva de eficiencia eléctrica en función de su potencia en la Figura 3.1.



Curva de Eficiencia Eléctrica la Planta de Potencia.

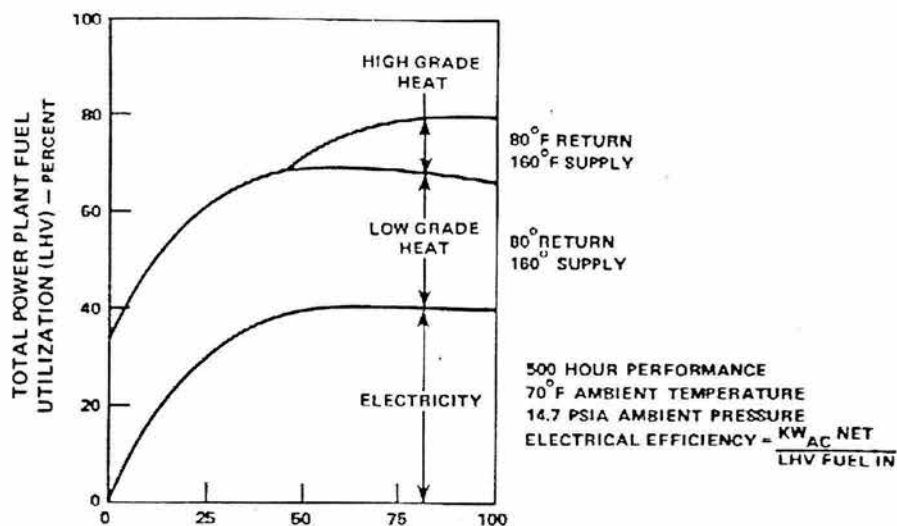
En la siguiente tabla se muestran las características de sus funciones eléctricas de la planta de potencia en la tabla 3.1

La tabla 3.1 Características de funcionamiento eléctrico a nivel del mar, a 70°F de temperatura ambiente.

Rate output power –Kw/KVA Net	40/47
Minimum Net Power	Zero
Efficiency Goal at 50 Percent Rate Power	40 Percent
Regulated Transient Overload – KW/KVA Net	56/80 Under balanced Load Conditions, and 51/73 under a 10% unbalanced condition
Full Up or Down Transient Response	Two cycles or less
Duration of Transient Overload	Up to 5 Seconds

Tabla 3.1.

De una unidad de combustible el 40% es transformado en energía eléctrica y 40% en energía térmica. A continuación se muestra la utilización de combustible total en función del rendimiento de su potencia.



Utilización total del combustible de la planta de potencia.

B) Características eléctricas.

La corriente eléctrica se entrega en forma trifásica, a 60 Hz corriente alterna a 120/208 voltios. La estabilidad de frecuencia es de ± 0.0002 por ciento por año. El voltaje entre cualquier fase y neutro es de 120 voltios ± 5 por ciento, las condiciones de desequilibrio de carga entre las fases es del 30 por ciento donde el desequilibrio de carga se define como:

$$IMAX - IAVE / AVE \times 100 = 30\%$$

Donde: $IMAX$ es la máxima corriente de salida de cualquier fase. Y $IAVE$ es el promedio de salida de corriente de todas las fases.

El Inversor suministra la recuperación de voltaje dentro de 2 ciclos bajo condiciones de carga balanceada y desbalanceada.

El total de la distorsión armónica entre cualquier fase no excederá 15 por ciento para cualquier carga en condiciones de potencia máxima.

El inversor incorpora una acción rápida de corriente límite para permitir la operación de estabilidad. Bajo una condición de falla el inversor suministra 300 amperios RMS en corto circuito de línea-a-línea y 450 amperios RMS para un corto circuito de línea-a-neutro. La duración de Máxima duración de la corriente límite es de 5 segundos.

Bajo las condiciones de operación normal el sistema de inversión no producirá interferencia electromagnética de magnitud suficiente que para causar daño a cualquier equipo eléctrico alimentándose de el, o equipo eléctrico que se opere a menos de que pies de la planta de potencia.

Las Características eléctricas se muestran en la Tabla 3.2.

Output Power From	4 wire, 3 phase
Frecuency	60 Hertz
Frecuency Stability	+/- 0.0002 percent per year
Voltaje	120/208 Volts ac
Voltaje Regulation	+/- 5 percent whit up to 30 percent load unbalance Ander steady state conditions
Voltaje Recovery	Within 2 cycles
Phase Separation	120° +/- 5° electrical
Current Limit	Up to 300 amps RMS for line to line short circuits and 450 amps RMS for line to neutral short circuits
Maximun Duration or Current Limit	5 seconds
Total Harmonic Distortion	<= 15%
Electromagnetic Noise	Shall not degrade performance of convencional electrical equipment lacated farther than 10 feet from the power plant.

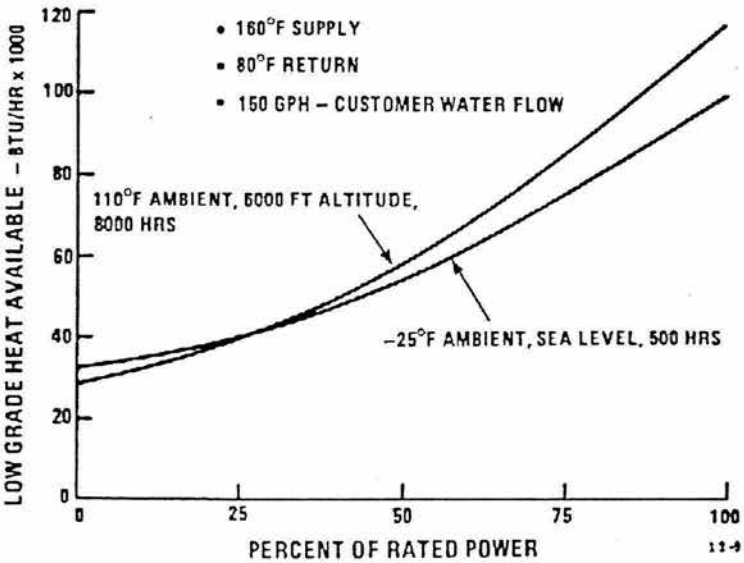
Tabla 3.2 Características eléctricas.

En las Tablas 3.1 y 3.2 Se encuentran especificados todos los parámetros de operación de La planta de potencia de 40 Kw. en sitio a una temperatura ambiente de 110°F.

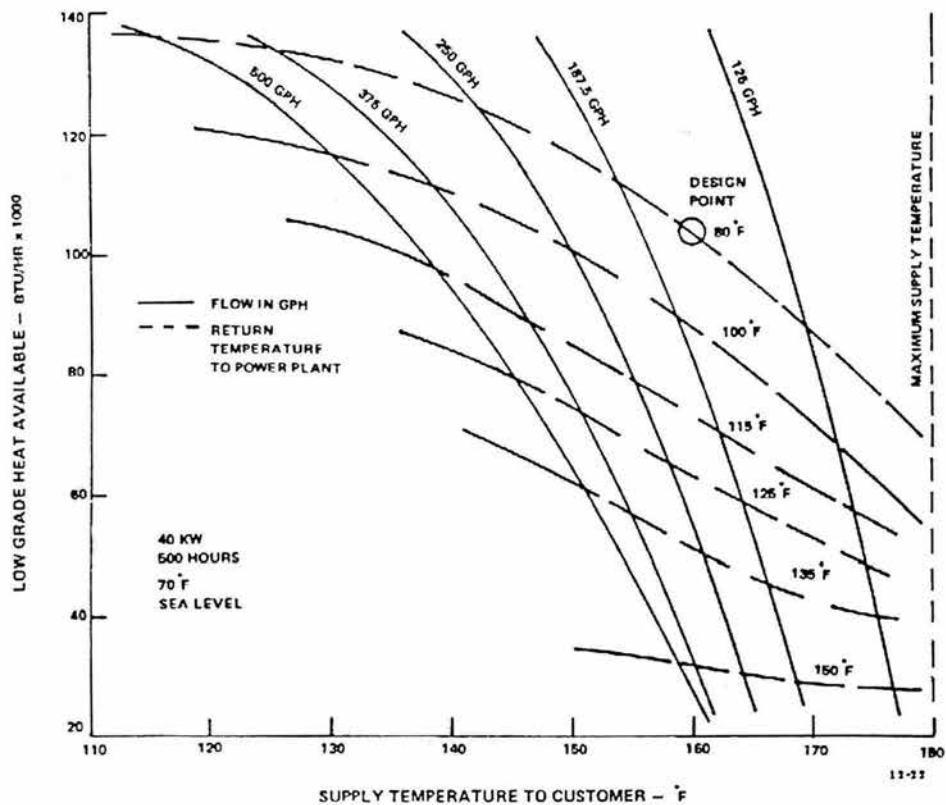
C) Características de la Recuperación de Calor.

La planta de potencia tiene la capacidad de transferir calor de bajo nivel derivado de la salida de agua-vapor suministrando al cliente externo por medio de los intercambiadores de calor de bajo nivel. La cantidad de calor entregada en función del rango de potencia de la planta se muestra en la Figura 3.3. La proporción real de entrega de calor de la planta se puede observar en (Figura 3.4).

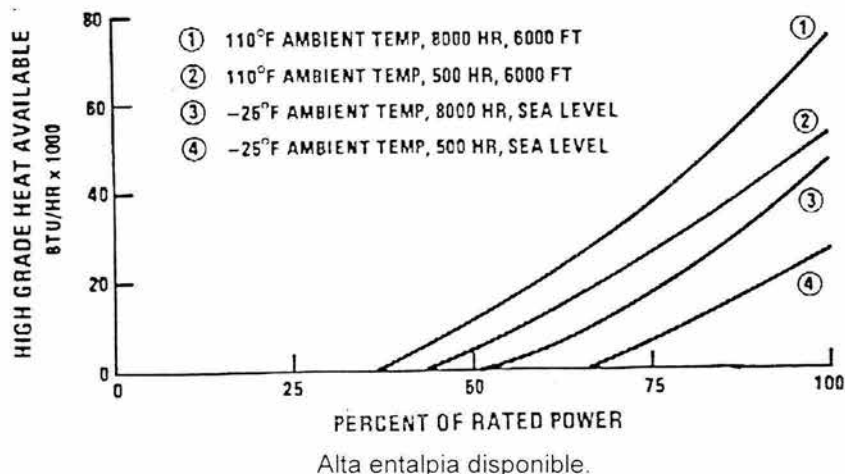
El calor como producto de la planta de potencia puede recuperarse a través del intercambiador de alto nivel a través del sistema de refrigeración. El calor se entrega al cliente como agua caliente por encima de 275°F en relación al porcentaje del rango de potencia mostrado en Figura 3.5. La entrega de agua caliente es controlada por la planta de potencia y el calor será entregado cuando el exceso está disponible o sea que ese calor ya no lo requiera la planta.



Disponibilidad de Calor (baja entalpia).



Baja entalpía en los intercambiadores.



D) Características de emisiones.

Las emisiones presentadas en Tabla 3.3 son típicas para el tipo de combustible que se presenta en las tablas 2.2 y 2.3. Las emisiones están significativamente por debajo de lo establecido en las normas federales.

La TABLA 3.3 DESCARGAS DE EMISIÓN DE LA PLANTA DE POTENCIA.

Emisiones	Salida calorífica (libras por millones de BTU)
NO _x	0.02
SO ₂	0.00003
Partículas	0.000003
humo	0

Las Características del ruido.

El máximo nivel de ruido a campo abierto que se desee medir a cincuenta pies en la horizontal alrededor de la planta de potencia por celdas de combustible es de 60 dBA.

CAPITULO IV

EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UNA PLANTA DE POTENCIA DE CELDAS DE COMBUSTIBLE DE 40 KW DE TIPO ACIDO FOSFÓRICO EN EL IMP.

IV.1.- Antecedentes.

El programa creado en el IMP sobre Celdas de Combustible del tipo de ácido fosfórico tuvo por objetivo entre otros, evaluar la tecnología de celdas de combustible para identificar su potencial de utilización principalmente en las instalaciones de PEMEX, iniciando estudios de factibilidad en algunas plataformas marinas ya que las características de generación de energía eléctrica de estas plantas son de gran interés entre los que se encuentran, además de la producción de energía eléctrica, el calor y agua factible de emplear estos productos en los procesos desarrollados en algunas plataformas marinas de PEMEX, otro de los atractivos, visualizado en esta tecnología consistió en el aprovechamiento y transformación del gas natural disponible en las instalaciones del IMP para transformarlo en energía eléctrica mediante el empleo de una tecnología novedosa por su alta eficiencia, comparada esta con los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica, además se visualizaron ventajas de desarrollo e investigación en materia de catalizadores, fabricación de membranas de intercambio iónico y toda la posibilidad de la adquisición de conocimientos en los diferentes sistemas que conforman la planta. Para este caso el IMP sería líder en la introducción a México de una tecnología de punta, visualizando para este caso un vasto campo de investigación y desarrollo en materia de algunos de sus componentes de cada sistema que integra una planta de potencia por celdas de combustible, este proyecto se concretó con la adquisición e instalación de una planta de potencia de celdas de combustible de 40 Kw de potencia adquirido de (United Technologies Power Sistem) UTC iniciando su operación el 13 de abril de 1981 después de la ejecución de las instalaciones requeridas, entre las que se encontraron la construcción de un edificio de una planta de aproximadamente 1000 m2 aprox. que incluía áreas de laboratorios, cubículos y principalmente el cuarto de alojamiento de la planta y de un simulador de cargas eléctricas. Después de cubrir todos los trabajos planeados para el recibimiento de la planta, de su instalación e interconexión con diferentes sistemas diseñados y construidos para operar en paralelo con la planta y con el propósito de llevar a cabo los proyectos acordados en ese momento, como fue el caso del diseño y construcción de una desulfuradora cuyo propósito era garantizar las especificaciones del gas natural con el que se alimentaría la planta establecidas por el fabricante, la conexión de sistemas de emergencia para el bloqueo de gas natural, el diseño, supervisión de fabricación y conexión de un simulador de carga eléctrica consistente en un banco de carga resistiva, uno de inductiva y uno de capacitiva con una demanda de cada uno de ellos de aproximadamente 40KW de potencia; durante las pruebas el equipo se mantuvo operando en forma intermitente durante aproximadamente 4 años, debido a problemas técnicos y de presupuesto para solucionarlos. Al inicio de este proyecto se visualizaron otros objetivos

secundarios, entre los que figuraron: la alimentación de energía eléctrica para los sistemas de alumbrado de emergencia del sistema de Transporte Colectivo Metro, el uso de la celda de combustible para los procesos de la Cia. Cloro de Tehuantepec, entre otros.

IV.III.-Experiencias relacionadas con la asimilación de la tecnología

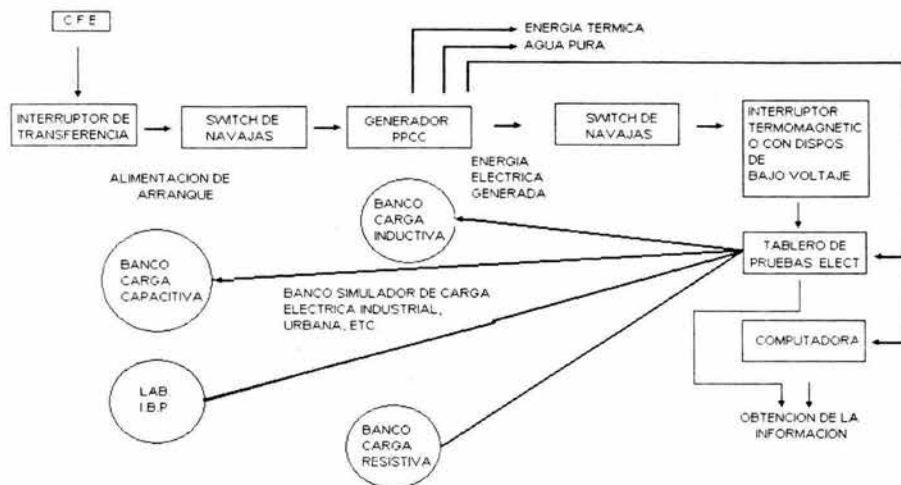
Los sistemas de la planta de celdas de combustible considerados para asimilar la tecnología fueron los siguientes:

- Sistema de generación de energía eléctrica (stock de celdas de combustible)
- Sistema de generación de hidrógeno (Reformador).
- Sistema de inversión de energía eléctrica.
- Sistema de regulación de energía eléctrica.
- Sistema de intercambio térmico.
- Sistema de control del proceso de la batería de celdas de combustible (software).
- Sistema de control eléctrico para el suministro de energía eléctrica.
- Sistema de control eléctrico para las cargas de prueba.

A) Descripción de las experiencias obtenidas en los diferentes sistemas de la planta de potencia por celdas de combustible durante su manejo.

Con el propósito de operar la planta de potencia por celdas de combustible y cubrir los pasos de un programa de evaluación previamente establecido se tuvo la necesidad de diseñar y construir una instalación eléctrica que permitiera esta finalidad, para lo cual quedo integrada dicha instalación por los siguientes sistemas:

- 1) un sistema de alimentación eléctrica para cubrir el proceso de arranque de la planta.
- 2) un sistema de salida de potencia proveniente de la generación de energía eléctrica de la planta, este sistema a su vez contaba con un subsistema de evaluación de carga eléctrica como se describe a continuación:



Esquema general de la instalación de la planta de potencia de celdas de combustible en etapa experimental.

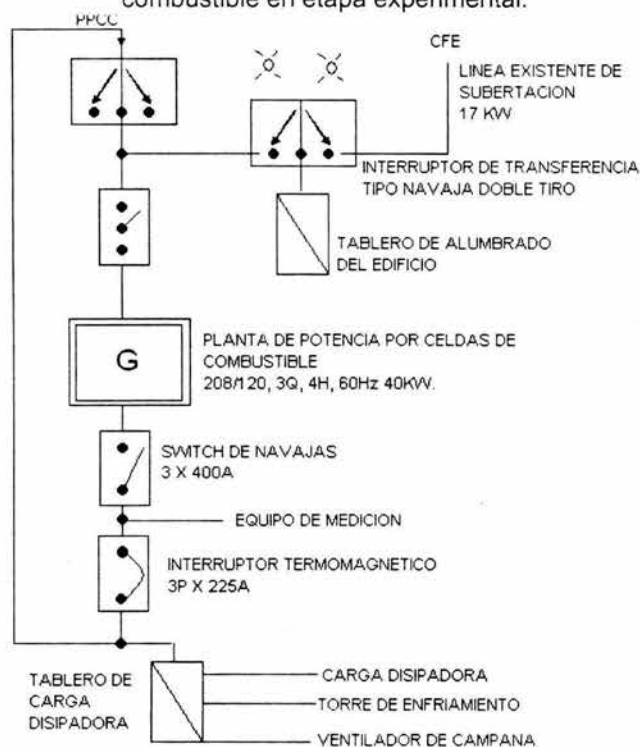


Diagrama unifilar de la instalación eléctrica a través de la planta de potencia por celdas de combustible en etapa experimental

B) Instalación eléctrica.

La instalación eléctrica de la PPCC consta de tres redes fundamentalmente, un tablero de control eléctrico y cuatro paquetes disipadores de carga eléctrica, tal como se ilustra en el diagrama de bloques.

Primera red: Esta red esta integrada por alimentadores principales (cable 1/0 UMANEL 900), un interruptor de transferencia y un switch de navajas fusible, la red esta encargada de alimentar a la PPCC para su acondicionamiento o su arranque, el interruptor de transferencia tiene por función el alimentar (a través de el) a la PPCC en una de las dos posiciones de conexión que puede tener, cuenta con un switch de navajas fusible intercalado en esta red con la finalidad de desconectar la PPCC de el sistema de alimentación y a la vez de proteger la ; a continuación se enlistan los datos técnicos con que se alimenta esta planta.

- Voltaje 220 V.
- Potencia aprox 21Kw.
- Numero de fases 3, 4H.
- Frecuencia 60Hz.

Segunda red: Dicha red esta constituida básicamente de alimentadores principales (cable de 2/0 Vinanel 900) alojados en un tubo conduit pared gruesa de 101 mm. Los que permiten conducir la potencia eléctrica generada en la PPCC hacia las zonas de control o de consumo, todo esto a través de un switch de navajas de 3 X 400 amp. , cuya finalidad es sacar de servicio toda esta red para darle mantenimiento (no tiene elementos fusibles) a la ves cuenta con un interruptor termo magnético de 3 X 225 amp. , el cual esta encargado de proteger la PPCC ; los dos elementos anteriormente descritos se encuentran alojados en gabinetes independientes; a continuación se dan algunos datos técnicos referentes a la potencia de salida de la planta:

- Voltaje 208 V.
- Potencia nominal 40Kw.
- Numero de fases 3 , 4H.
- Frecuencia 50Hz

Tercera red: La cual esta formada por alimentadores principales (cable 2/6 Vinanel 900) alojado en tubo conduit de 51mm. Esta red es capaz de conducir una potencia nominal de 55 Kw. , la que envía hasta el tablero de control de pruebas eléctricas.

C) Sistema de salida de potencia.

Este sistema esta constituido por los siguientes paquetes como se describe a continuación:

Primer paquete.- El primer paquete lo constituye la carga resistiva, el cual esta formado por 10 paquetes de resistencia de 6 Kw cada uno, conexión trifásica en Delta (carga balanceada), 208 Volts, los que se encuentran alojados en dos gabinetes para operar a intemperie, los cuales cuentan con un sistema de ventilación, a través de un extractor con un motor de 1 hp, para disipar la energía térmica, lo que le da una vida útil mayor a las resistencias. Estos paquetes cuentan con un sistema de control y de protección por medio de termo magnéticos de 3 X 20 amp. , alojados en el tablero de control de pruebas eléctricas, y cuenta con alimentadores derivados constituidos por cable No. 12 Vinanel 900, alojados en dos conduits de 38mm de diámetro; la finalidad de este primer paquete es poder disipar y simular carga resistiva balanceada en tres fases a 208 Volts; y a la vez este sistema se encuentra interconectado con el equipo de medición del T.C.P.E. con la finalidad de enviar señales eléctricas a los instrumentos, y señalar valores de parámetros para leer ; por ultimo este sistema cuenta con un sistema de señalización integrado en el tablero, lo cual permite identificar el paquete de resistencias que esta en operación y una posible falta de voltaje.

Segundo paquete.- Este paquete lo integra carga inductiva (motores de inducción, trifásicos, 220-440 Volts, 3 , 60 Hz, de 3, 5 y 7.5 hp. Respectivamente para operar en vacío), el cual tiene por finalidad el disipar parte de la potencia de la planta y simular cargas de campo; la alimentación a estos motores se hace por medio de cable No. 12 Vinanel 900, y el control y protección se hace por medio de arrancadores a tensión completa, los que cuentan con elementos térmicos para proteger al equipo contra sobre-carga e interruptores termo magnéticos los que se encargan de proteger contra corto circuito, este paquete de motores también se encuentra interconectado con el equipo de medición del T.C.P.E para poder tomar lecturas de parámetros eléctricos y por ultimo cuenta con equipo de señalización el cual nos indica la operación y falta de voltaje en los motores.

Tercer paquete.- Este lo forman dos bancos de capacitares de 6KVAR cada uno, conectados en paralelo a una tensión trifásica, 208 Volts, el cual se encuentra conectado por alimentadores derivados (cable No. 12 Vinanel 900) los cuales parten del T.C.P.E (tablero de control de pruebas eléctricas) los cuales tienen su control y protección por medio de termo magnéticos de 3X 20 amp. , los que se encuentran alojados en el T.C.P.E. ; la finalidad de este paquete es el de simular cargas con este parámetro eléctrico el cual debe ajustarse al programa de pruebas eléctricas.

Cuarto paquete.- el edificio donde se encuentra alojada la PPCC , laboratorios y oficinas, esta alimentado eléctricamente por la compañía suministradora de energía eléctrica, pero se tiene dispuesto un arreglo eléctrico de tal forma que estos locales pueden ser alimentados por la PPCC. Este paquete se considera

moderadamente completo por ser una instalación común, ya que tiene alimentadores de fuerza y alumbrado, lo que resulta ser un paquete muy buen para el seguimiento del programa de pruebas. Los alimentadores que permiten la interconexión de PPCC hacia el interruptor principal de este edificio, están integrados por un cable 1/0 Vanel 900 en un sistema trifásico, 4 hilos, con una alta probabilidad de desbalances eléctricos, aspecto del que se tiene mucho interés en diversas pruebas ya incluidas en el programa de pruebas eléctricas. Se cuenta con un pequeño tablero (tablero No.1), donde se encuentra el control y protección de todos los motores de operación con carga que lo integran bombas, ventiladores y extractores, todas estas cargas (inductivas) dependen de la alimentación del edificio pero a su vez cuenta con una interconexión con el T.C.P.E. factible de ser alimentado por la PPCC para cumplir con otras pruebas del programa.

Por ultimo contamos con un tablero de control de pruebas eléctricas (T.C.P.E) el cual es el centro de alimentación, control, protección y medición de todas las redes y paquetes disipadores de carga eléctrica, este tablero esta construido por lamina No. 16 rolada en frío con un recubrimiento de pintura (laca auto motiva), cuenta con un sistema de tierra interno, que a su vez se interconecta con la red general de tierras y cuenta con una interconexión a un tablero de transductores que a su vez envía una señal a la computadora que registra parámetros eléctricos; las dimensiones de este tablero son de 2.30 X 1.45 metros,, cuenta con sistemas de ventilación a través de rejillas para evitar el calentamiento innecesario de los elementos eléctricos dentro del mismo, y al frente se encuentran alojados todos los equipos en forma tal que se pueden remover para alguna revisión o cambio necesario.

D) Sistemas de tierras.

Una de las medidas de seguridad necesarias en toda la instalación eléctrica, es el sistema de tierras el cual tiene por finalidad proteger al personal que opera equipo eléctrico, considerando este factor y tomando en cuenta que en un laboratorio del tipo con el que cuenta la PPCC en donde la probabilidad de riesgos de descargas eléctricas es grande y por razones de seguridad del mismo equipo se decidió llevar a efecto un sistema de tierras el cual esta formado por un cable No.2/0 AWG 67 mm con una trayectoria periférica a todo el edificio: el cable de tierra se encuentra enterrado a una profundidad de 50cm. Por debajo del N.P.T. e interconectado por medio de dispersores (varillas Copperweld de 16 X 3000 mm. De longitud) los que se encuentran alojados en registros de tubo albañal con tapa en la superficie; la conexión del cable con las varillas, se hace por medio de conectores que permiten la continuidad eléctrica constante; para la interconexión de este sistema con todos los equipos del edificio, así como la instalación eléctrica se hace por medio de barras de tierra que se encuentran ubicadas en forma visible en diversos puntos dentro del edificio.

E) Descripción de los sistemas que integran la planta de potencia en etapa experimental.

- Sistema de generación de energía eléctrica (stock de celdas de combustible):

Este sistema es el mas importante de una planta de potencia por celdas de combustible ya que el llamado stock de celdas de combustible es donde se genera la energía eléctrica, durante los trabajos de inspección que se pudieron efectuar a este módulo llamado también sección de potencia, se pudo observar el agrupamiento en forma de batería de todas y cada una de las celdas de combustible, en este apilamiento se pudieron identificar las placas separadoras entre baterías del stock de celdas, a las cuales se les pudo hacer algunas pruebas de conductividad eléctrica encontrándose como resultado optima conductividad y tomando en cuenta que dichas placas son de grafito el resultado de estas pruebas es congruente como un buen conductor, también se pudieron inspeccionar la estructura de la propias celdas las cuales cuentan con canales distribuidoras o conductoras de gases, unas para el hidrógeno en el ánodo y las otras para el oxígeno en el cátodo, en este sistema también se pudieron apreciar las placas colectoras de potencia eléctrica las cuales colectan la potencia eléctrica por todas y cada una de las celdas permitiendo conducirla a la a los cables de salida de la sección de potencia. Dentro de la sección de potencia y a lo largo del apilamiento de la batería de celdas de combustible se pudren observar las conexiones equidistantes que permiten el monitoreo de los voltajes generados por cada grupo de cinco celdas, esto permite conocer cuando un paquete de celdas cuenta con un problema de generación pudiendo ser ocasionado por la alimentación de gases, perdida de electrolito manifestado por el incremento en la resistencia entre el ánodo y el catodo, entre otras posibles fallas.

Uno de los aspectos de gran interés en este módulo son las tapas de la sección de potencia las cuales son de lamina de gran espesor y por su forma semicilíndrica permiten la adecuada entrada y difusión de los gases de alimentación (hidrógeno-aire); las cuatro tapas con las que cuenta la sección de potencia cuentan con un sistema de dispersión consistente en trampas metálicas alojadas en la entrada de los gases en forma de trampa lo que permite mejorar la difusión de los mismos. Finalmente otro de los aspectos de gran importancia que ver en la sección de potencia es el enchaquetamiento o recubrimiento térmico con el que cuenta la sección de potencia consistente en forros de tela de fibra de vidrio rellena de algodón de fibra de vidrio lo que le permite a la sección de potencia mantener una temperatura de 300 a 400°F; la sujeción de las cuatro tapas se logra por medio de cinchos de acero inoxidable que mediante su forma de abrazadera y a cierta presión logra el sellado apropiado, siendo uno de los aspectos mas críticos en el armado de una sección de potencia, como también es el caso de las presiones de compactación de la batería de celdas de combustible lo cual se logra por medio de cuatro pernos que agrupan a todo el stock de celdas y mediante presiones mecánicas adecuadas se logra un buen contacto eléctrico o una adecuada conductividad y al mismo tiempo se logra el aislamiento entre los sistemas de suministro de hidrógeno y aire.

- Sistema de generación de hidrógeno (Reformador):

Esta sección es la encargada de generar el hidrogeno necesario para la sección de potencia por medio de una conversión catalítica dentro de un reformador que se encuentra integrado a la misma planta; particularmente a este sistema no se le pudo realizar ninguna inspección en su interior ya que es un modulo totalmente sellado herméticamente; la función de este módulo es recibir el gas natural y mediante un proceso catalítico a la temperatura de 594°F lográndose esta por el quemado del gas natural y de la recirculación del hidrógeno lográndose así la separación del hidrógeno para ser alimentada a la sección de potencia.

- Sistema de inversión de energía eléctrica:

La experiencia vivida con este sistema es correspondiente a la identificación de los cuatro módulos que lo integra, tres correspondientes al inversor, uno por cada fase y el cuarto módulo corresponde al regulador de las tres fases, dicho sistema cuenta con diodos de potencia y diversas bobinas y capacitores que sirven como filtros , los cuales permiten mejorar el perfil de la curva o senoide de tensión generada y consecuentemente la de la corriente; este modulo cuenta con algunos sensores los cuales permiten detectar alguna irregularidad en las señales eléctricas de acuerdo a sus especificaciones y de esta forma corregir o en su defecto causar un paro mediante su sistema de control.

- Sistema de regulación de energía eléctrica:

Como ya se dijo en el párrafo anterior uno de los módulos con el que cuenta la planta en el inversor, es el regulador el cual se encarga de mantener la tensión el las tres fases a un valor constante de acuerdo a las especificaciones de la planta como se indica en el capítulo III el trabajo realizado con este modulo fue limitado por carecer de diagramas y la experiencia obtenida consistió en las pruebas a algunos de sus elementos electrónicos y cableado de sus circuitos el registro obtenido durante su operación es de no haber presentado ninguna falla durante su operación.

- Sistema de intercambio térmico:

Este sistema tiene gran importancia dentro de la planta ya que es el que permite manejar el calor que resulta de la reacción electroquímica durante el proceso de generación de energía eléctrica, dicho calor es conducido a través de dos sistemas: un sistema hidráulico de alta pureza, el cual permite conducir el calor por medio de un flujo hidráulico factible de ser aprovechado y otro sistema consistente en un sistema de expulsión de aire que permite disipar el calor por medio de un flujo de aire producido por un ventilador y lanzado al medio ambiente cuando este no se requiere.

- Sistema de control del proceso de la batería de celdas de combustible:

La experiencia obtenida en este sistema fue particularmente sobre los sensores encargados de enviar señales al software para las acciones programadas en el, dichos sensores consisten en platinas de oro conectadas cada grupo de 5 celdas las cuales son capaces de detectar algún problema de suministro de combustible (hidrogeno- aire), de corto circuito, de variación de temperatura fuera de sus rangos u otros problemas generación, detectados todos estos mediante una variación de voltaje fuera de su rango especificado y determinado en el software lo que permite aparte de tener un registro en la memoria de este sistema de tomar decisiones de corrección o paro de la planta.

- Sistema de control eléctrico para el suministro de energía eléctrica:

Este consistía en un centro de carga y lets de señalización que permitían identificar la región de falla en caso de una contingencia y la forma de restablecer el sistema mediante el accionamiento de algún interruptor dependiendo del circuito alimentador del que se trate.

- Sistema de control eléctrico para las cargas de prueba.

Para este sistema se diseño un tablero de pruebas eléctricas el cual consistió en un centro de carga que permitía la selección de carga eléctrica de prueba así como el control de la misma, contaba con arrancadores de motores trifásicos equipo de medición como kilowuathorimetro, voltímetros de C.D. y C.A. amperímetros factorímetros, horímetros y un sistema de señalización, transformadores de corriente y voltaje para el equipo de señalización, relevadores entre otros componentes este sistema se diseño con el propósito de permitir las maniobras de evaluación de la planta de potencia por celdas de combustible en condiciones de cargas de prueba; los resultados de la experiencia de este equipo fueron satisfactorios.

Factores que limitaron la asimilación tecnológica durante el proyecto:

- La falta de planeación detallada de esta finalidad:

Una de las problemáticas con la que contó este proyecto durante su desarrollo fue la falta de definición de un objetivo claro ya que este proyecto contó con varios objetivos que dependían de los grupos de investigadores y sus intereses.

- Restricciones para inspeccionar el interior de la planta y revisar o desarmar algunos de sus sistemas con el propósito de adquirir la mejor experiencia por medio de inspecciones o inclusive posible reparación a algunos de los componentes de la planta. Esto era debido a las restricciones establecidas en el contrato entre UTC y el IMP y con casi

nulas ventajas para el personal del IMP (De acuerdo este documento, el personal del IMP tenía que conseguir autorización a UTC para poder efectuar alguna inspección de fondo a los sistemas de la planta o en caso contrario se perdería la garantía y no se contaría para nada con el apoyo de UTC para algún problema de tipo técnico. En algunos casos sólo el personal de UTC tenía las facultades de desarmar, revisar y reparar o modificar los sistemas de la planta, aunque este equipo fuera propiedad del IMP. En la mayoría de los casos que se presentaron relacionados con trabajos efectuados por personal de UTC nunca se nos proporcionó información relevante de esos trabajos.

Logros del proyecto alcanzados durante el proyecto:

A continuación se describen algunos logros obtenidos durante la participación del personal del IMP en este proyecto:

- Puesta en operación de la planta de potencia de celdas de combustible:

La puesta en operación de esta planta fue responsabilidad única del personal del IMP por lo que en este rubro se pudo obtener una experiencia de mucho valor por los conocimientos adquiridos.

- Pruebas realizadas de la operación en vacío, con carga simulada y carga real, alimentando el edificio:

Las pruebas realizadas como generador eléctrico a la planta de potencia aportaron un gran conocimiento y dejaron una buena experiencia ya que se pudo probar plenamente el comportamiento de la planta en condiciones de vacío (sin carga eléctrica) y bajo condiciones de diferentes cargas de prueba como la operación de motores de inducción de 3.5,5 y 7.5 HP de potencia del tipo trifásico operados estos a 220 volts y 440 volts usando para este caso un transformador elevador, en otro de los casos fue alimentar la carga eléctrica del edificio en donde se ubico la planta por medio de un interruptor de transferencia.

- El conocimiento adquirido en la disposición de los componentes de la batería de la sección de potencia, así como, de todos los sistemas de respaldo de la planta:

Como ya se dijo anteriormente, aunque las posibilidades de inspeccionar a detalle alguno de sus sistemas de respaldo fue limitada durante el periodo de prueba se pudo obtener información valiosa, esta se pudo reforzar plenamente cuando el proyecto se suspendió permitiéndonos por esta circunstancia desarmar cada sistema de respaldo y complementar el conocimiento de estos equipos.

- Se hicieron algunos estudios para alimentar sistemas eléctricos de baja capacidad para plataformas marinas y del sistema de transporte colectivo metro entre otros sistemas:

Se efectuaron diversos estudios de factibilidad para instalar una o varias de estas plantas en algunas de la plataformas marinas con las que cuenta PEMEX, para lo cual se vieron problemas de suministro de combustible, se seguridad, peso, espacio, capacidad de alimentar a algunos de los equipos existentes en algunas plataformas y se vio la viabilidad de aprovechar los subproductos de esta planta como son el agua y el desprendimiento térmica para ser aprovechados en algunos procesos e inclusive para provecho en plataformas habitacionales.

- Fabricación de algunas generadores de celdas de combustible a escala laboratorio:

Al final de este proyecto y con algunos materiales de la misma planta entre los que figuraron principalmente las celdas de combustible, se lograron armar fundamentalmente dos baterías de celdas en donde se obtuvo información relevante del comportamiento de cada celda en la fase de generación, aquí se pudo probar diferentes sistemas de sellado de las tapas de suministro de hidrógeno y aire u oxígeno, alcanzando volúmenes de generación considerables que alcanzaron hasta los 230 amp. cd Con un voltaje menor a la unidad, también se pudo probar un sistema de monitoreo del cada paquete de celdas semejante al de la planta.

Planta desaladora:

Para aprovechar la energía de disipación térmica de la planta durante su generación se diseñó y operó una planta desaladora con la cual se aprovecho el desprendimiento térmico para obtener agua de potable.

Problemas encontrados durante el desarrollo del proyecto;

- Falta de información del fabricante de todos y cada uno de los sistemas de la planta.
- Restricciones por parte del proveedor ya señalados para estudiar, inspeccionar o reparar algunas fallas de la planta.
- Se invirtió mucho tiempo en la planeación de este proyecto pero no se mantuvo consistencia en la realización de las etapas acordadas, al tomar diferentes rutas por problemas económicos, técnicos o derivarse otras líneas de investigación.
- En la mayoría de los paros originados durante la operación de esta planta nunca se tuvo clara la razón de la falla ya que las reparaciones efectuadas por

el personal de UTC y los informes que se tuvieron no fueron claros y puntuales en esta materia.

IV.III.- PROGRAMA DE EVALUACION EXPERIMENTAL DE UNA BATERÍA DE CELDAS DE COMBUSTIBLE A ESCALA LABORATORIO.

Por los antecedentes antes señalados y contando con el apoyo de la Gerencia de Ciencias del Medio Ambiente se tomó la decisión de desarrollar un programa de evaluación experimental reducidas a un tamaño a escala laboratorio y de acuerdo a las dimensiones de la estructura y de los subsistemas de respaldo de este modelo, teniendo como objetivos centrales los puntos que a continuación se señalan:

1. Adquirir los conocimientos prácticos sobre el funcionamiento eficiente en el proceso de transformación de energía (contenida en hidrogeno, oxígeno y el aire) en energía eléctrica por medio de las celdas de combustible del tipo ácido fosforito evaluadas en un modelo a escala laboratorio.
2. Determinación de las relaciones cualitativas y/o cuantitativas del comportamiento de los parámetros eléctricos de generación por parte de las celdas de combustible, en función de las nuevas condiciones de operación en un modelo desescalado operando manualmente, en comparación de sus condiciones originarias de operación en el prototipo experimental.

A) Metodología.

La metodología empleada en los trabajos realizados y reportados en este informe esta basado en procedimientos de evaluación, el cual consta, por una parte del desarrollo de un programa experimental destinado a evaluar íntegramente un modelo experimental a escala laboratorio construido con celdas obtenidas de un prototipo experimental, así como sus componentes auxiliares para el funcionamiento el sistema de celdas, construido en el laboratorio: esta evaluación tiene como propósito central, conocer el comportamiento de los parámetros Eléctricos de generación en función de las condiciones específicas de prueba y por la otra parte, el uso de un marco de referencia de datos basados en información de la literatura relacionada con el tema, manuales de operación del fabricante del prototipo experimental de donde se tomaron las celdas y los reportes de corridas experimentales de operación del prototipo bajo condiciones óptimas de operación.

Una de las principales razones para el empleo de esta metodología, fue determinada por la conveniencia de obtener un conocimiento practico sobre: la influencia que ejercen el diseño, construcción y ensamblado de los componentes

auxiliares de funcionamiento de las celdas en la batería, los problemas ocasionados a las celdas por el desescalamiento, así como su eficiencia global asociada a las condiciones de pruebas específicas de alimentación de gases (hidrogeno y aire) y la influencia de los diferentes materiales empleados.

B) Información de referencia.

Información obtenida de una batería de celdas de combustible (unidad generadora de corriente directa) del tipo ácido fosforito perteneciente a una planta de potencia por celdas de combustible (unidad generadora de corriente alterna de un prototipo experimental.

Fabricada por UNITED TECHNOLOGIES POWER SYSTEM.

C) Datos del fabricante.

Potencia mínima = 0

Potencia máxima generada = 43 Kw.

Exceso de voltaje = soporta 3 segundos > 220 V.C.D.

Potencia máxima en condiciones de sobrecarga de 51 a 56 Kw durante 5 segundos.

Voltaje mínimo aceptable en la batería 20v

Voltaje de salida 182 volts a 224 amps.

Temperatura de la batería sin operar = 38 °C.

Eficiencia eléctrica global sobre el 50% del rango de potencia 40%.

Temperatura de la batería en operación = 180 °C.

Presión de alimentación de gases (hidrogeno y aire) = 1Kg/cm².

Datos complementarios cuantificados directamente en la batería prototipo:

- Numero de unidades de celdas que integra la batería = 264.
- Numero de paquetes de celdas con los que cuenta la batería = 44.
- Numero de celdas por paquete = 6.
- Dimensiones de las unidades de celda (largo y ancho) = 50 X 50 cm.
- Área de todas y cada una de las celdas = 2500 cm².
- Espesor de cada unidad de celda 0.4 cm.
- Área activa de cada celda (descontando el área de las semimarcas) = 1971 cm².
- Numero de canales de alimentación por celda = 135.
- Área del semimarco protector = 528.64 cm².
- Área de contacto eléctrico por celda (descontando los canales) = 1350cm².
- Peso aproximado por celda = 1Kg.

Parámetros eléctricos registrados a la salida de la batería del prototipo experimental de celdas de combustible durante una corrida experimental seleccionada:

- Voltaje en condiciones de circuito abierto = 215 V.C.D.
- Potencia eléctrica generada con carga = 38.5 Kw.
- Corriente eléctrica demandada. = 238 amp (96% de su capacidad nominal).
- Voltaje en condiciones de circuito cerrado 162 Volts (96% de su capacidad nominal).

Información complementaria sobre algunos parámetros eléctricos deducidos a partir de la información disponible:

- Corriente máxima de la batería = 268 amp. (o por unidad de celda).
- Densidad de corriente = 0.137 amp/cm² o bien 137 mA/cm².
- Potencia máxima registrada en la corriente experimental señalada con una carga eléctrica de prueba = 38.55 Kw.
- Potencia máxima por unidad de celda considerando la potencia máxima de diseño = 162 W por celda.
- Voltaje máximo por celda en condiciones de circuito abierto 0.81 volts C.D.
- Voltaje promedio por unidad de celda en condiciones de circuito cerrado y a un 96% de demanda de su potencia máxima = 24% de caída de voltaje en toda la batería y 24% de caída de voltaje por unidad de celda.
- Magnitud de la resistencia interna de la batería, determinada en base a los datos obtenidos en la corriente experimental del día 20 de Marzo de 1984 a las 13:02 hrs $R_i = 0.22$ ohms (resistencia interna de la batería).
- Magnitud de la resistencia interna por unidad de celda en base a las condiciones del punto anterior: R_i por celda = 0.00084 ohms.
- Resistencia total del sistema (batería de celdas mas carga eléctrica $R_t = 0.090$ ohms.
- Resistencia externa (carga eléctrica de prueba = 0.68ohms.
- Perdida de potencia eléctrica en la batería por efecto joule = $w = 12.357$ Kw.
- Perdida de potencia eléctrica por efecto joule en cada unidad de celda = $w = 47.18$ Watts.
- Desprendimiento térmico ocasionado por perdidas de potencia originada por la resistencia interna de la batería = $Q = 0.01$ Kcal/seg. O 180.6 Kcal/hora.
- Incremento de temperatura en la batería ocasionando por la resistencia interna de la batería $T = 0.05$ °C/seg, $T = 3$ °C/hora.
- El modulo de la resistividad de las celdas es = 2.83 ohms/cm

D) Datos sobre fuerzas mecánicas de acoplamiento.

- Peso de la placa superior de acoplamiento = 115 Kg.
- Peso de cada unidad de celda Kg.
- Peso total de la batería = 264 Kg.
- Peso total del sistema de batería = 379 Kg.

- Carga soportada por cada una de las cuatro esquinas de la batería = 94.75 Kg.
- Área de carga por esquina = 7.29 cm².
- Carga por unidad de superficie en las esquinas = 13Kg/cm².
- Volumen de cada una de las cuatro cámaras de suministro de gases de alimentación (hidrogeno y aire) = 95.634 cm³.
- Volumen de gas por celda = 362.25 cm².

De acuerdo a un cálculo teórico basado en la estequiometria de los gases de reacción (hidrogeno y oxigeno) tenemos:

La batería es alimentada con 3.634 libras de hidrogeno/hora y 50 libras de oxigeno /hora a una presión de 14.7 psi. Y a temperaturas de 355°F para el hidrogeno y 70°F para el oxigeno.

Para alimentar las 264 celdas se requieren:
657.35 moles de oxigeno.

Por lo tanto la corriente eléctrica según este calculo será de 267 amp.

Para lo cual la densidad de la corriente eléctrica será de 136 mA/cm².

Considerando la caída de voltaje registrada en la corrida referida en este informe y su correspondiente corriente ya señalada, la potencia máxima generada en condiciones normales será de 43Kw. Y el voltaje por unidad de celda será de 0.6 volts.

Información relacionada con la celda de combustible construida en base a un modelo desescalado para experimentación:

E) Datos sobre la construcción del modelo experimental.

- dimensiones de toda y cada una de las unidades de celdas integrantes de la batería (10 X 15) cm.
- Area activa de cada celda (9 X 14)cm = 126 cm.
- Numero de celdas que integran la batería = 9 unidades.
- Numero de placas bipolares en la batería = 10 unidades.

Estimaciones preeliminares sobre el funcionamiento de la batería experimental:

F) Condiciones ideales de operación.

- Temperatura de funcionamiento = 180°C.
- Presión de alimentación de gases (hidrogeno y aire) = 1 Kg/cm² mas o menos 1 atm.
- Presión de alimentación de hidrogeno a máxima capacidad de generación.
= .5 Kg/cm².

- Presión de alimentación de aire a máxima capacidad de generación. =.5 Kg/cm².
- Las pruebas que se efectuaron en condiciones de circuito abierto y cerrado con carga eléctrica de prueba variable, constante y en corto circuito.
- Periodo de prueba 2 horas máximo.

G) Resultados esperados sobre la batería experimental.

- Voltaje de la batería en condiciones de circuito abierto = 7.2V.
- Voltaje por celda en condiciones de circuito abierto = 0.8 V.
- Corriente eléctrica generada en la batería en función del área = 17.26 amp.
- Porcentaje de caída de voltaje esperado. = 30% (0.24 volts por celda.)
- Voltaje esperado bajo demanda máxima de potencia en la batería = 5.04V.
- Potencia máxima de la batería en operación = 87Watts.
- Densidad de potencia estimada = 0.083 Watts/cm²
- Potencia eléctrica esperada en operaciones por celda = 9.66 Watts.
- Resistencia interna por celda = 0.012 ohms.
- Resistencia interna en la batería = 0.1 ohms.

Condiciones:

- Se toma en cuenta el valor de la resistividad antes determinado = 2.83 ohms/cm.
- La longitud se considero como la máxima distancia recorrida por la corriente perpendicularmente al área de contacto de la celda = 0.4 cm.
- Área efectiva de trabajo de la celda = 126 cm²
- Área de contacto eléctrico = 94 cm².
- Resistencia interna de cada celda (R_i) = 0.012 ohms.
- Resistencia interna de la batería R_i = 0.1ohms.

H) Resultados obtenidos durante la prueba en la batería experimental.

Condiciones experimentales bajo las cuales se efectuaron las pruebas:

- Temperatura ambiente promedio de 18 a 20 °C.
- Temperatura promedio de la batería = 86°C
- Presión de suministro de hidrogeno = 0.5 Kg/cm².
- Presión de suministro de aire = 0.5 Kg/cm².

A continuación se presentan algunas tablas de datos en donde se asientan registros de corridas experimentales, las cuales permiten observar el comportamiento del sistema experimental ante las condiciones de prueba impuestas en esta corrida, así como su respectiva grafica representativa.

I) INTERPRETACION DE LA TABLA No1.

En esta tabla se ve la forma de dependencia de algunos parámetros eléctricos en función de la magnitud de la carga eléctrica de prueba a la batería, tal es el caso de que se puede observar los diferentes valores que toman el voltaje, corriente y consecuentemente la potencia eléctrica, las cuales se comportan en función inversa a la magnitud de la carga de prueba conectada.

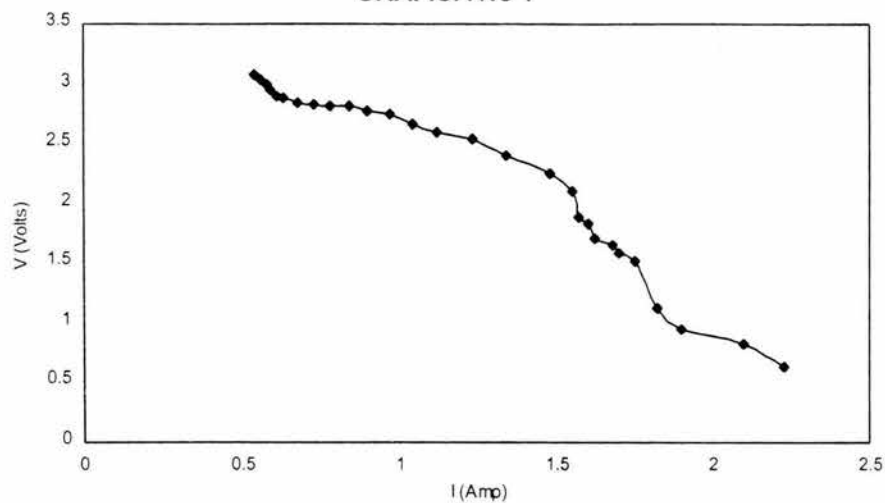
Asimismo la grafica 1 muestra las correspondientes caídas de voltaje en función de la demanda de corriente, dicha curva no tiene ninguna semejanza en su perfil a la curva típica de una celda o de una batería y las magnitudes de sus parámetros eléctricos están muy por debajo de las magnitudes de referencia.

En la grafica 2 se presenta la curva que relaciona voltaje contra potencia demandada en donde se puede observar que esta curva tiene un parecido a la curva 1 y de la cual se ve su baja producción de potencia.

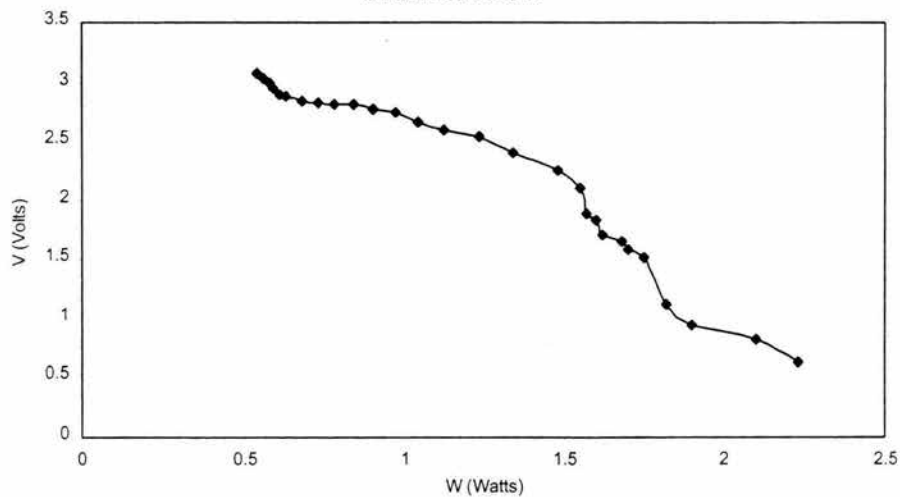
Tabla No.1

Prueba No.	Resistencia de carga de prueba circulada ohms.	Voltaje registrado en la batería en circuito cerrado Volts	Demanda de corriente eléctrica de carga, registrada en amperes.	Potencia eléctrica calculada en Watts
Unidades				
1	0.5	0.63	2.23	1.4
2	0.6	0.82	2.1	1.7
3	0.7	0.94	1.9	1.7
4	0.8	1.12	1.82	2.0
5	0.9	1.52	1.75	2.6
6	1.0	1.59	1.70	2.7
7	1.1	1.65	1.68	2.7
8	1.2	1.71	1.62	2.7
9	1.3	1.83	1.60	2.9
10	1.5	1.88	1.57	2.9
11	1.6	2.11	1.55	3.2
12	1.8	2.25	1.48	3.3
13	2.1	2.40	1.34	3.2
14	2.3	2.54	1.23	3.1
15	2.6	2.60	1.12	2.9
16	2.8	2.67	1.04	2.7
17	3.1	2.75	0.97	2.6
18	3.3	2.78	0.90	2.5
19	3.6	2.81	0.84	2.3
20	3.9	2.82	0.78	2.1
21	4.2	2.83	0.73	2.0
22	4.4	2.85	0.68	1.9
23	4.7	2.88	0.63	1.8
24	5.1	2.90	0.61	1.7
25	5.2	2.95	0.59	1.7
26	5.5	3.00	0.58	1.7
27	5.8	3.04	0.56	1.6
28	6.0	3.08	0.54	

GRAFICA No 1



GRAFICA No 2



2) INTERPRETACION DE LOS DATOS DE LA TABLA 2.

Como se puede observar en los registros de la tabla 2 columna 1, se reportan las diferentes magnitudes de fuerzas electromotriz (fem) generada en cada celda de la batería bajo condiciones de prueba de circuito abierto (sin carga eléctrica) en régimen estable, si tomamos como referencia la magnitudes la (fem) que debe alcanzar una celda de este tipo operando en buenas condiciones, estos valores resultan bajos, en promedio un (62% de lo normal), esto da por consecuencia que durante el periodo de prueba al alimentar una carga eléctrica se presenta un decremento que rebasa lo tolerable (30% según datos de operación del prototipo experimental de 40 Kw), dando por consecuencia una baja producción de corriente o potencia eléctrica durante este periodo. Por otro lado, los datos que se proporcionan en la columna correspondiente a los diferentes valores de resistencia eléctrica de cada celda, estas justifican las pérdidas por efecto joule sin que estas pérdidas sean las causantes globales del mal funcionamiento de la batería.

La tabla numero 3 se interpreta en la hoja de resultados y discusiones.

Tabla No. 2

Celda No.	Voltaje Circuito Abierto	Voltaje Circuito Cerrado	Corriente Eléctrica demanda	Potencia total generada por celda	Potencia eléctrica consumida por la carga	Potencia eléctrica perdida en el interior de la batería	Densidad de potencia eléctrica obtenida	Densidad de corriente eléctrica obtenida	Resistencia Eléctrica interna por celda	Resistencia Total del sistema	Rendimiento eléctrico por celda
Unidad	Volts	Volts	Amperes	Watts	Watts	Watts	Watts/cm ²	Watts/cm ²	Ohms	Ohms	%
A	0.44	-0.06	2.49	1.09	-0.15	1.24	0.0086	0.019 A/cm ²	0.20	R _i +R _c 0.79	13.7
B	0.31	0.09	2.49	0.77	0.274	0.496	0.0061	0.019 A/cm ²	0.08	0.67	35.5
C	0.27	0.05	2.49	0.67	0.174	0.496	0.0053	0.019 A/cm ²	0.08	0.67	25.9
D	0.29	0.06	2.49	0.72	0.162	0.558	0.0057	0.019 A/cm ²	0.09	0.68	22.5
E	0.64	0.40	2.49	1.59	1.032	0.558	0.0126	0.019 A/cm ²	0.09	0.68	64.9
F	0.63	0.40	2.49	1.56	1.002	0.558	0.0123	0.019 A/cm ²	0.09	0.68	64.2
G	0.62	0.28	2.49	1.54	0.734	0.806	0.0122	0.019 A/cm ²	0.13	0.89	47.6
H	0.61	0.19	2.49	1.51	0.518	0.992	0.0122	0.019 A/cm ²	0.16	0.75	34.3
I	0.65	0.06	2.49	1.61	0.184	1.426	0.0127	0.019 A/cm ²	0.23	0.82	11.4
Total Medido	=4.46 =4.45	=1.47 =0.65	=2.49 =2.49	=11.06 =11.08	=3.93 =3.65	=7.13 =7.13	0.00097 W/cm ²	0.019 A/cm ²	=1.15 =1.19	=1.15+0.59 =1.74	Prom. =35.5

3) RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Tabla No. 3

Parámetros	Resultados de operación prototipo experimental de 40Kw.	Resultados teóricos del modelo experimental.	Resultados experimentales del modelo evaluado.
Voltaje unitario a circuito abierto	0.8 Volts	0.8 Volts	0.45 Volts
Voltaje de batería a circuito abierto	115 Volts	7.2 Volts	4.46 Volts
Caída de voltaje en % aprox.	24%	24%	80%
Densidad de corriente generada	137 mA/cm ²	137 mA/cm ²	0.035 mA/cm ²
Densidad de potencia generada	83 mW/cm ²	83 mW/cm ²	9.7 mW/cm ²
Resistencia interna por celda	1.13 Ω /cm ²	1.13 Ω /cm ²	12 Ω /cm ²
Resistencia interna de batería			

Se puede observar en la tabla numero 3 se presentan algunos valores resumidos en tres columnas, la primera corresponde a datos obtenidos de una corrida experimental seccionada realizada con el prototipo experimental de 40Kw en condiciones optimas de funcionamiento, la segunda columna corresponda datos teóricos de un modelo experimental y , la tercera columna se presentan datos experimentales seleccionados de corridas experimentales realizada con el modelo a escala laboratorio, como se podrá observar en esta columna, el orden de la magnitud de los parámetros generados, como el voltaje, corriente eléctrica y consecuentemente potencia eléctrica, están por debajo de las magnitudes teóricas o de referencia, la razón de este comportamiento esta relacionado con diversos factores, uno de ellos es evidente, ya que las temperaturas y presiones de los gases durante la operación del modelo experimental no se pudo alcanzar los niveles requeridos por problemas de tipo técnico: otro factor esta asociado al orden de magnitud de resistencia eléctrica interna que presento la batería relacionado esto mismo con problemas de conductividad del electrolito de las celdas lo que provoca perdidas por efecto joule, problema mas asociado a los resultados obtenidos es la falta de semimarco aislante de gases en cada celda: estos y otros problemas derivados dan por resultado el bajo rendimiento des sistema a escala laboratorio evaluado en este laboratorio.

Falta página

N° 103

V.III.-DISEÑO DE LA INSTALACION

Como al inicio de todo proyecto, este deberá estar estructurado de tal forma que permita su plena realización satisfaciendo los requerimientos técnicos del cliente; para este fin se hace alusión a los principios básicos de la administración de proyectos para hacer uso de algunas de las etapas que permitirá estructurar un proyecto de esta magnitud.

Antecedentes:

De los 300 KVA disponibles 200 KVA se usaran para alimentar otras cargas por lo que el edificio quedara con una deficiencia de 200KVA, para este fin se cuentan con varias alternativas:

Una planta diesel de 200KVA construcción de una nueva subestación la instalación de una planta de potencia por celdas de combustible

Objetivo: alimentar la carga eléctrica de uno de los edificios del IMP para respaldar algunos alimentadores de manera permanente conectados a ellos carga de gran valor.

La decisión fue efectuar un estudio para la instalación de una planta de potencia por celdas de combustible (PPCC) ya que resulta atractivo el proyecto por ser una tecnología novedosa, de punta, eficiente, no contaminante por emisiones de gases que dañan al medio ambiente, modular, no produce ruido entre otras ventajas por lo que a continuación se hace el estudio de factibilidad:

Como primer paso se efectuó una indagación de la existencia de alguna línea de gas natural o la distancia de su punto más cercano hasta la ubicación considerada preliminarmente.

1. Existencia de gas natural, cuanto cuesta el tendido de una línea de gas desde el punto mas cercano hasta el sitio de la PPCC y determinar las especificaciones del gas existente en la zona y si la esta línea tiene la capacidad para suministrar el volumen requerido por la planta

Para los dos casos anteriores efectuar los tramites necesarios para la solicitud de suministro de gas para alimentar la línea que se tendera bajo las normas requeridas.

2. El gas suministrado en la zona cumple con las especificaciones requeridas por la PPCC.

Mediante un programa periódico o aleatorio se tomaran muestras del gas para conocer los rangos que están fuera de especificaciones para la alimentación de una PPCC, con el propósito de tomar las acciones pertinentes para evitar que el

catalizador utilizado en la sección de potencia de la planta instalada se envenene o se desactive por los excesos u otros elementos fuera de especificaciones.

3. Cual es el costo de un M^3 de gas.

Para llevar un control de los costos de operación es necesario contar con esta información y mediante la instalación de un medidor de gas estimar diariamente su consumo y su costo en función de las tarifas asignadas por PEMEX,

4. Una PPCC de una potencia aproximadamente de 200 KW que superficie de terreno requiere.

Una vez determinado los requerimientos de energía eléctrica por alimentar se eligiera la capacidad de la planta en función de los rangos existentes en el mercado, de tal suerte que pudiera darse el caso de seleccionar una o varias de diferentes capacidades con diferentes arreglos eléctricos para alcanzar los volúmenes de energía requeridos.

5. Cual es el peso neto de una de estas plantas.

Para el propósito de poder instalar la o las plantas seleccionadas es necesario en los trabajos de obra civil diseñar las lozas de soporte en el piso, las cuales deberán estar asentadas en un tipo de cimentación de acuerdo al peso total y a los requerimientos en las maniobras de instalación y operación cotidiana.

6. Que tipo de instalaciones son requeridas para los insumos de la planta.

Una planta a base de celdas de combustible requiere para su operación o mantenimiento suministro de agua potable, agua desmineralizada, aire, nitrógeno por lo que para estos requerimientos es necesario disponer de los almacenes y tendido de líneas de suministro con la instrumentación apropiada

7. La operación es permanente o intermitente.

Para poder estimar el diseño adecuado de los sistemas tanto del suministro de combustible como de la instrumentación es necesario conocer las características de requerimientos de energía eléctrica, los cuales pueden ser de forma permanente o intermitente

8. Que tipo de carga eléctrica se alimentara.

Como en todo tipo de instalación eléctrica, a la hora de hacer un diseño, es indispensable efectuar un levantamiento del tipo de carga eléctrica que será alimentado todo esto con el propósito de hacer una selección de los componentes de protección e instrumentación requeridos.

9. Que factor de demanda tiene.

Cabe recordar que una PPCC es un generador eléctrico de alta eficiencia, pero a pesar de ello debemos de tomar en cuenta las curvas de eficiencia eléctrica que se encuentran en la figura 3.1 en donde se puede observar que a partir de un valor cercano al 50% o mas de la capacidad de la planta se pueden obtener valores de eficiencia del orden de 40% o mas (utilizando la energía térmica disponible), para lo cual es importante estimar el factor de demanda de la instalación eléctrica(carga) que se alimentara para operar lo mas cercano posible en estos rangos.

10. La instalación o carga eléctrica es de C.D. o C.A.

Como sabemos un a PPCC, es un generador de energía eléctrica que obtiene corriente directa de su reacción electroquímica y posteriormente corriente alterna al pasarla por un inversor, por lo que estamos en posibilidades de alimentar cualquier tipo de carga eléctrica (C.A o C.D) sin mayor costo, pero es importante determinarlo previamente para disponer de las conexiones adecuadas para este fin.

11. Es monofásica, bifásica o trifásica.

Con el propósito de efectuar el diseño de una instalación eléctrica adecuada en los estudios preliminares para la instalación de una PPCC es necesario conocer el tipo de alimentación eléctrica que se requiere alimentar en una instalación de C.A la cual podrá ser monofasica, bifásica o trifásica.

12. Está planta trabajará de forma autónoma o se interconectara a la línea de CFE

Se pueden considerar dos opciones:

- Alimentar la carga eléctrica de manera autónoma a la línea de alimentación comercial (CFE).
- Interconectar la PPCC a la línea comercial (CFE). Para respaldar o incrementar el volumen de energía eléctrica y poder cumplir con los requerimientos de

energía eléctrica, tomando en cuenta los procedimientos o trabajos pertinentes para poner en fase la PPCC con la línea comercial

13. Cual es el voltaje de alimentación.

Conociendo el voltaje de alimentación de los equipos por alimentar se podrá determinar si el voltaje de la planta es suficiente o se tendrá que seleccionar un transformador elevador para poder alimentar el equipo requerido.

14. Que requerimientos de equipo son obligados.

Para poder instalar adecuadamente una PPCC es necesario conocer los requerimientos de toda la instrumentación como puede ser el caso de bombas de suministro, fuentes de energía para su arranque, válvulas, sistemas de extracción de aire para ventilar el área de operación, etc.

15. Clasificarse del tipo de sistema eléctrico por su nivel de tensión:

Como ya se señalo anteriormente una PPCC puede alimentar a cualquier carga eléctrica sin importar el nivel de voltaje requerido mediante un transformador o relevador como puede ser en alguno de los niveles de voltaje que se señalan a continuación:

- Baja tensión, sistemas de hasta 1.000 V.
- Media tensión, sistemas hasta 36 kV
- Alta tensión, sistemas hasta 245 300 kV.
- Extra alta tensión, por encima de los 300 362 kV.

16. Tipo de canalización requerida.

Como en todo tipo de instalación eléctrica se requiere de estimar y calcular el tipo de canalizaciones que se usaran tanto para la alimentación de esta planta en su etapa de arranque como para la salida de potencia tomando en cuenta las condiciones del medio por donde el cableado y canalizaciones pasaran.

17. Sistema de tierra:

Al igual que cualquier generador o instalación eléctrica estas requieren de un sistema de tierras para la protección tanto del personal de operación como la de los equipos; para este fin se deberán hacer las mediciones correspondientes de resistividad del terreno para efectuar los cálculos correspondientes a fin de

establecer el número de varillas dispersoras que deberán clavarse en el terreno periférico a la planta para lograr un buen sistema de tierra el cual permita su conexión a la PPCC.

18. Instrumentación eléctrica requerida:

Con el propósito de contar con una instrumentación lo mas adecuada posible a las variables a fines a esta planta, y al mismo tiempo disponer de un control completo para la operación de este generador, es conveniente considerar la selección de la instrumentación que a continuación se en lista considerando los rangos de las variables que cada uno de ellos medirá en función de los cálculos previamente realizados:

- Vólmetro
- Ampérmetro
- Frecuencímetro
- Horímetro
- Kilowathorímetro
- Conmutadores de voltaje y corriente
- Interruptor de transferencia.

19. Sistema de control:

El sistema de control de una PPCC se puede dividir en dos partes, la primera corresponde al sistema de control propio de la planta y el segundo corresponde a la instalación eléctrica de salida de la planta que alimentara la potencia de la carga conectada a esta, el cual quedará como un sistema de interfase. El sistema de control externo estará integrado por interruptores termomagnéticos, interruptor de transferencia, sistemas de protección eléctrica, relevadores y sistemas de señalización, todo esto permitirá al operario controlar el buen funcionamiento de la planta el cual también se podrá efectuar de forma automática.

20. Transformadores de corriente.

Regularmente para la alimentación de la instrumentación y de los sistemas de control se requiere del uso de transformadores, tanto de corriente como de potencial con el propósito de manejar señales eléctricas de bajo rango y ajustados a los estándares de los equipos eléctricos de control y de instrumentación, para este fin se deberán calcular y seleccionar los transformadores de corriente y control, sin omitir sus respectivas protecciones.

21. Definición de la línea de alimentación.

Como se explica en los capítulos anteriores una PPCC es un generador que para su etapa de arranque requiere de una fuente externa de cierta capacidad dependiendo de la potencia de la planta; por esta razón es necesario disponer de un circuito alimentador previamente calculado para cubrir los requerimientos de demanda de energía eléctrica durante el tiempo que dura esta etapa; esta línea de alimentación deberá incluir un sistema de protección en CA y en CD; en CD se podrá disponer de una fuente de corriente directa con capacidad para esta etapa en caso de no contar con una línea de CD en el sitio.

22. Distancia.

Deberá tomarse en cuenta el factor distancia dentro de los cálculos de caída de tensión tanto para el circuito alimentador de la planta en su etapa de arranque, como para el circuito de salida de potencia generado por la planta, esto con la finalidad de evitar las caídas de tensión que dañen la operación adecuada de cualquier equipo.

23. Tensión y condiciones de acometida

Por último se señala el caso de tensión y acometida de alimentación para cubrir el periodo de arranque de la PPCC; esto es, en el caso de contar con una línea de alimentación por parte de CFE, se deberá averiguar el tipo de acometido de la cual se podrá disponer (aérea, subterránea, u otra.), para lo cual se deberá establecer el nivel de tensión que llegará a esa acometida a efecto de determinar en el caso requerido el cálculo, selección y adquisición de un transformador para cubrir la demanda de energía eléctrica requerida en este proceso; en otro de los casos se tendrá que seleccionar una fuente de alimentación, como pudiera ser el caso de una planta eléctrica diesel

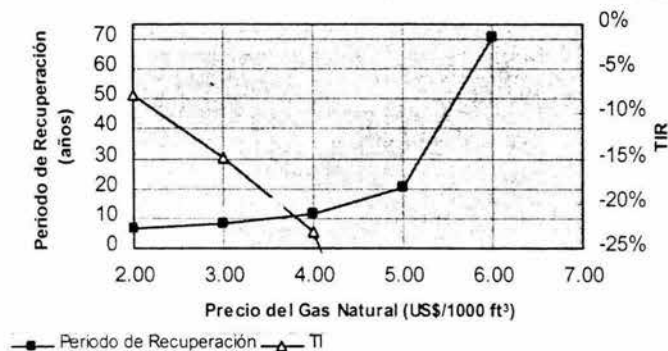
V.IV.- ANALISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INSTALACION DE UNA PPCC EN EL IMP.

Recientemente el IMP sometió a un análisis de factibilidad de la instalación de una PPCC basada en la experiencia anteriormente obtenida en su etapa experimental, por lo cual a continuación se describe este trabajo en forma general.

El IMP requiere de un promedio de 885,667 Kwh. al mes, lo que equivale a un consumo de 1,230 Kwh. de energía eléctrica. Para su suministro se requerirán de 7 celdas de combustible de 200 Kwh. de capacidad. Para su instalación se tendrán las siguientes erogaciones:

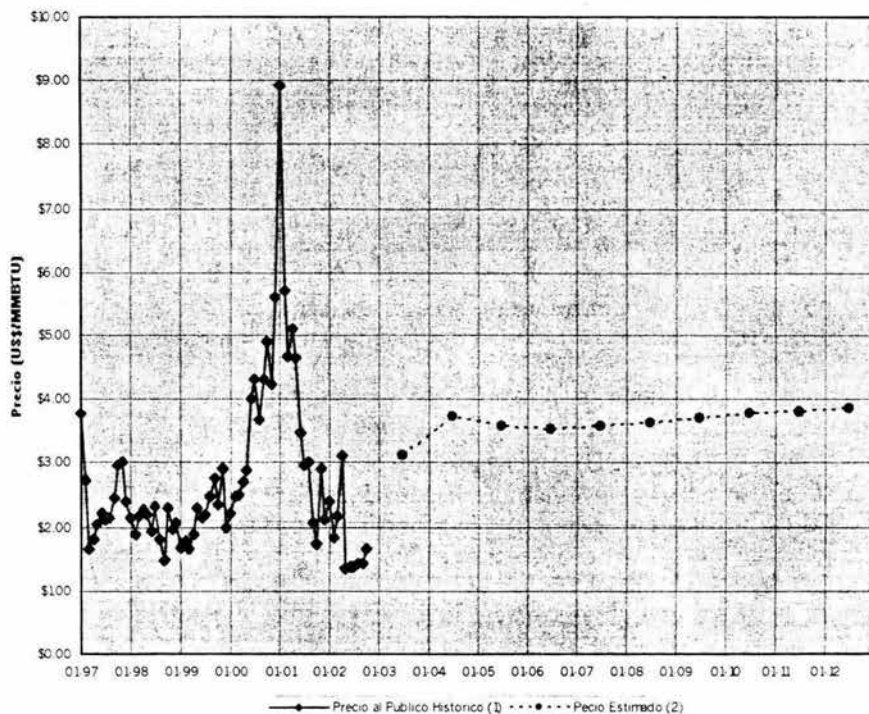
7 celdas de combustible de 200 Kwh.	US\$ 400,000 c/u US\$2,800,000.00
Embarque	US\$ 100,000.00
Preparación del sitio	US\$ 600,000.00
Otros	US\$ 60,000.00
Costo total de Instalación:	US\$3,560,000.00
Mantenimiento anual	US\$ 150,000.00
Consumo de combustible anualizado 2,050 ft3/h/unidad US\$4.00/1000 ft3 de gas natural	US\$ 502,824.00
Costos de operación anualizados	US\$ 652,824.00
Pago de Servicio de Energía Eléctrica (Promedio) MEX\$811,605.33 / mes US\$79,569.15 / mes (MEX\$10.20=US\$1.00)	
Pago de Servicio de Energía Eléctrica anualizado	US\$ 954,829.80
Ahorro anualizado:	US\$ 302,005.80
Tiempo de recuperación de la inversión inicial:	11 años 10 meses

Sensibilidad a la Variación del Precio del Gas Natural
(Valor Base = US\$4.00/1000 ft³ = US\$4.00/MMBTU)
Horizonte de 5 años

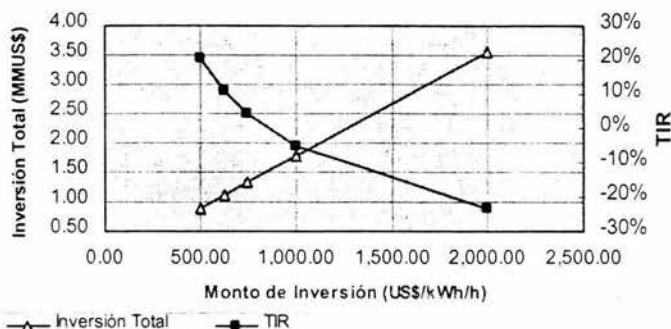


Evolución del Precio del Gas Natural (US\$/MMBTU)

- (1) Gerencia de Precios, Dirección Corporativa de Finanzas, PEMEX
- (2) Gerencia de Precios, Dirección Corporativa de Finanzas, PEMEX



Sensibilidad a la Inversión
(Inversión Base= US\$2,000.00/Kwh.)
Horizonte de 5 años



¿Por qué es poco factible el emplear celdas de combustible para alimentar a todo el IMP?

Para diseñar una planta para alimentar de energía al Instituto se debe considerar la capacidad total disponible con que cuentan las instalaciones. Esto es, considerar el empleo de la infraestructura actual del IMP, así como las posibles conexiones adicionales y las demandas pico que pueden suscitarse durante el funcionamiento normal de las instalaciones eléctricas, tales como el arranque de motores eléctricos, el empleo de los equipos de acondicionamiento de aire o el funcionamiento de equipos de uso intermitente.

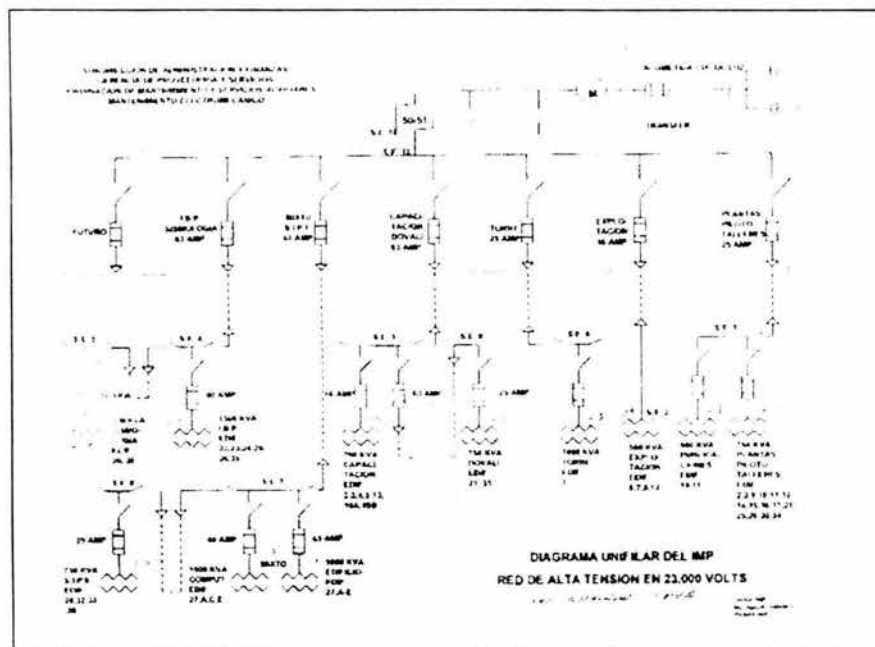
De acuerdo al análisis de la red eléctrica existente, esta cuenta con una capacidad máxima de 11 MVA, capacidad suficiente para atacar las necesidades actuales del la Zona Sede, así como algunas previsiones para algunas necesidades futuras del Instituto.

Es por este motivo que para instalar las celdas de combustible para generar toda la energía eléctrica de la Zona Sede, se requiere una gran cantidad de celdas. Esto provocaría la instalación de una planta de generación de energía por medio de celdas de combustible más grande en el mundo.

¿Cual es una posible alternativa?

La capacidad instalada para el edificio de Sismología es de 300 kVA.

Si se tomara esta capacidad como base se podría probar esta tecnología con un par de celdas comerciales y contar con las instalaciones existentes como respaldo en caso de suscitarse algún imprevisto.



¿Cuánto costaría instalar estos equipos para satisfacer la demanda de energía eléctrica del IMP?

El edificio de Sismología tiene una capacidad instalada de 300 Kwh. Para el suministro se requerirá de 2 celdas de combustible de 200 Kwh de capacidad cada una. Para su instalación se tendrán las siguientes erogaciones:

2 celdas de combustible de 200 Kwh.	US\$ 400,000 c/u
	US\$ 800,000.00
Embarque	US\$ 30,000.00
Preparación del sitio	US\$ 175,000.00
Otros	US\$ 17,000.00
Costo Total de Instalación:	US\$1,022,000.00
Mantenimiento anual	US\$ 50,000.00
Consumo de combustible anualizado 2,050 ft3/h/unidad	
US\$4.00/1000 ft3 de gas natural	
	US\$ 143,664.00
Costos de operación anualizados	US\$ 193,664.00
Pago de Servicio de Energía Eléctrica (promedio)	
MEX\$198,000.00 / mes	
US\$19,411.76 / mes (MEX\$10.20=US\$1.00)	
Pago de Servicio de Energía Eléctrica anualizado	US\$ 232,941.12
Ahorro anualizado:	US\$ 39,277.12

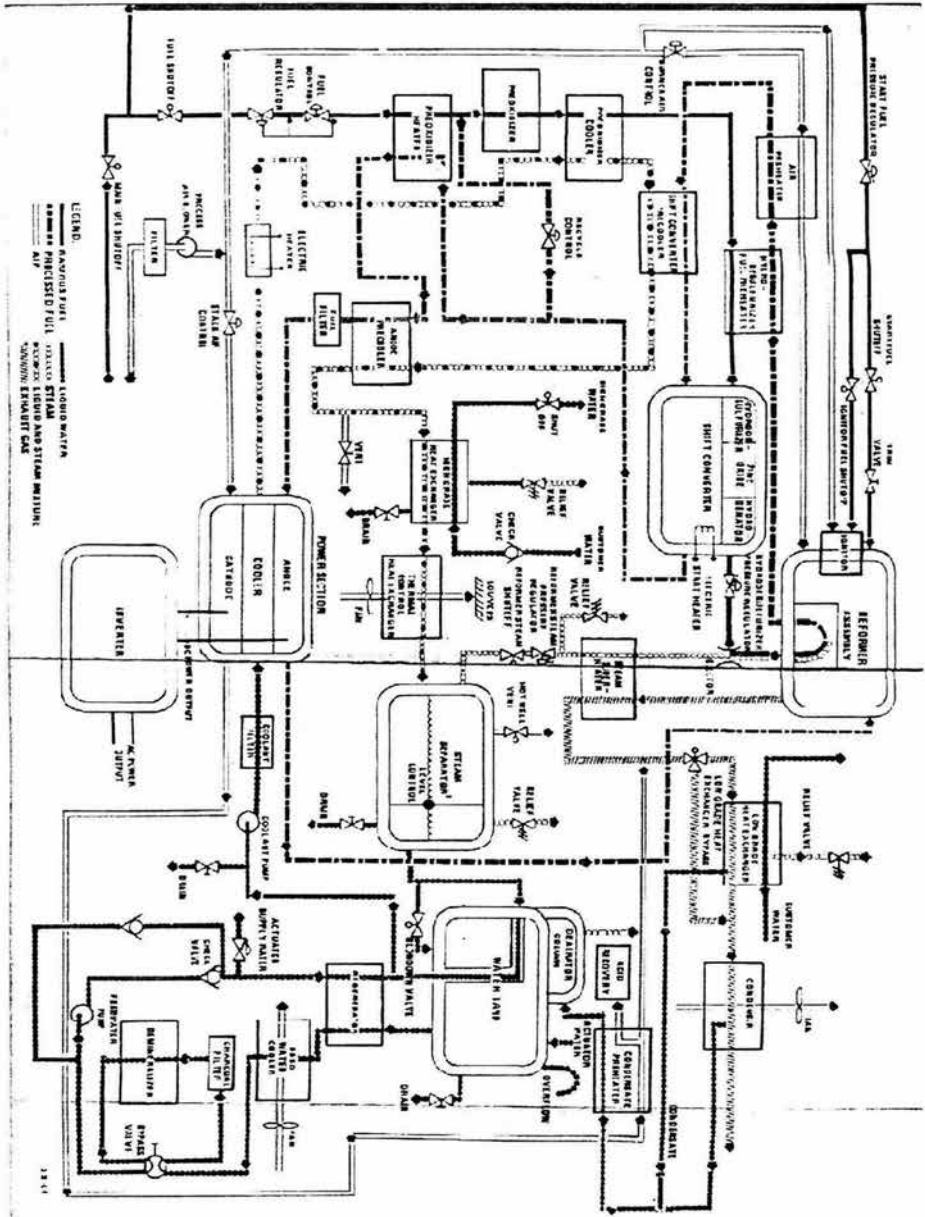
CONCLUSIONES.

Actualmente vivimos una problemática a nivel mundial y particularmente en México relacionada con el incremento permanente a la contaminación de nuestro medio ambiental con frecuencia fuera de norma dañando gravemente los ecosistemas y a nosotros mismos, por otro lado es conocido que los recursos petroleros no renovables se están agotando exponencialmente. Por otro lado en nuestro país nos estamos enfrentando actualmente a una problemática adicional, la cual está relacionada con las limitaciones en los volúmenes de generación de energía eléctrica, lo cual esta asociada por un lado, al constante crecimiento de la demanda por el desarrollo propio de la sociedad, y por el otro a que los sistemas de generación de energía eléctrica convencionales (CFE, LFC), aunada a los sistemas de cogeneración operan con fuertes limitaciones económicas para desarrollar proyectos de las magnitudes requeridas para satisfacer las demandas actuales y futuras, esta situación nos debe llevar a reflexionar y analizar cuidadosamente todas y cada una de las fuentes alternas de generación de energía eléctrica existentes, con el fin de identificar la viabilidad técnica-económica, con el propósito de encontrar soluciones a esta problemática; por esta razón se considera que la tecnología de celdas de combustible en cualquiera de sus modalidades plantea interesantes alternativas en la solución de esta problemática, a pesar de sus interesantes características de esta novedosa tecnología no debemos de considerar que está en condiciones de resolver esta problemática en términos absolutos, por el contrario, este tipo de sistemas podrán complementar cargas pico o cargas de baja y mediana potencia por lo que podrán contribuir en un futuro cercano al respaldo de los sistemas convencionales de energía eléctrica sin omitir la ventaja de que su proceso de generación de energía eléctrica es de alta eficiencia obteniendo como subproducto el agua, y que se lleva a cabo mediante un proceso limpio (cero emisión de contaminantes al medio ambiente).

Por esta razón se consideró importante presentar este tema mediante un estudio de carácter general y práctico, con el propósito de hacer conciencia de la importancia de esta tecnología, entre otras, que pueda contribuir a la solución de los problemas antes señalados; para lo cual es importante puntualizar que las Celdas de Combustible actualmente se están comercializando, pero su difusión abierta en el mercado aun no se ha alcanzado, por tal motivo sería estratégico para nuestro país, no perderle la pista a la evolución en el desarrollo de esta tecnología y en lo posible implementar programas de capacitación y desarrollo para evitar nuestro rezagó tecnológico, lo que en la mayoría de los casos nos lleva a pagar altos costos y continuar con la dependencia tecnológica de otros países cuando una tecnología ya está declaradamente comercializada y requerimos de ella.

APENDICE A ESQUEMA DE LA PLANTA DE POTENCIA.

A continuación se presenta el diagrama de flujo en donde se muestran los diferentes procesos de todos los subsistemas con los que cuenta la planta.



APENDICE B

TRANSPORTACION Y MANEJO DE LA PLANTA DE POTENCIA.

Introducción

Esta planta de potencia se ha diseñado para facilitar el manejo flexible para su transportación.

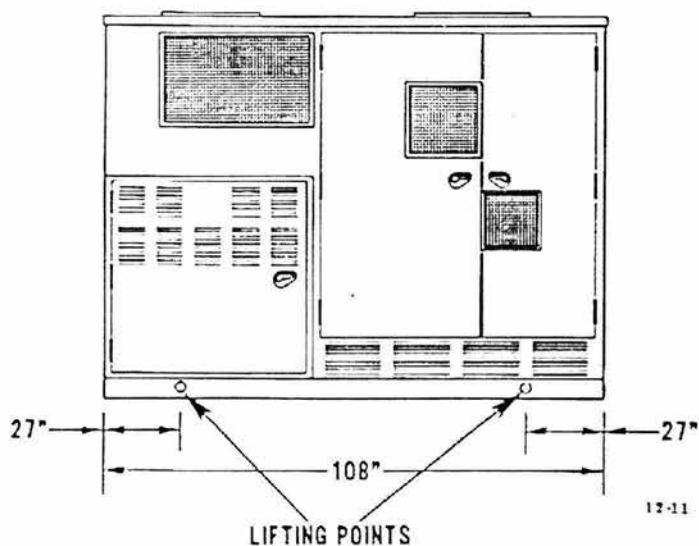
MANEJO

La base de la planta de potencia cuenta con los elementos estructurales para el levantamiento y movimiento. En la figura B.1 se muestran los puntos de soporte donde se puede hacer pasar el cable que permitirá levantar la planta para su traslado.

La planta de potencia puede ladearse a 45° durante el manejo.

TRANSPORTE.

El tamaño de la planta de potencia y su peso permite transportarse por cualquier transporte ella sea en camión, tren, nave o avión. La planta de potencia puede ladearse a 45° durante el envío.



APÉNDICE C

REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN

Introducción

El diseño integral de la planta de potencia por celdas de combustible dispone de un mínimo de interfaces que aseguran las facilidades de su instalación. La planta de potencia puede instalarse como una sola unidad o arriba de seis unidades. Para la instalación múltiple de las plantas se requiere de una unidad maestra de control que se utiliza para la operación coordinada en paralelo.

Requisitos de interconexión.

Las conexiones de la interfase entre la planta de potencia y el sitio es clasificado en tres categorías: eléctrico, fluidos que requieren tubería y fluidos que no requieren tuberías como las entradas aéreas.

Interconexión eléctrica.

La Interconexión eléctrica entre la planta de potencia y el sitio consiste en el salida de potencia y alambrado de control, potencia en el Bus (barras de cobre) de alimentación para el arranque y la conexión a tierra. La interconexiones eléctricas y suministros se resumen las en la tabla C.1 y mostrados en las Figuras C.1 y C.2. Las señales de control deben ser aisladas de alambrado de fuerza. Una conexión es suministrada para el arranque de la planta de potencia. La disponibilidad de energía eléctrica es de utilidad para las instalaciones de prueba en campo.

TABLE C.1 ELECTRICAL INTERFACES

INTERFACE	FROM/SUPPLIER	TO/SUPPLIER	DESCRIPTION	POWER FROM	NO. OF WIRES
1. OUTPUT POWER	POWER PLANT/PSD	UTILITY/BRANCH/CUSTOMER	POWER PLANT ELECTRICAL OUTPUT	120/208 VAC 60 HZ 3 PHASE 40 KW @ 0.8 PF	3
2. OUTPUT BREAKER CONTROL	POWER PLANT/PSD	UTILITY/BRANCH/CUSTOMER	SIGNAL FROM POWER PLANT TO CONTROL OUTPUT BREAKER	120 VAC 60 HZ 1 PHASE	2
3. MASTER CONTROL	POWER PLANT/PSD	MASTER CONTROL UNIT/PSD	CONTROL FOR PARALLEL OPERATION OF POWER PLANTS	5 120 VAC, 60 HZ 1 PHASE	20 COND. CABLE
4. CURRENT TRANSFORMER OUTPUT	CURRENT TRANSFORMER 4 OUTPUT BREAKER PARALLEL BUS	MASTER CONTROL UNIT/PSD	SIGNAL FROM INDIVIDUAL POWER PLANTS USED TO REGENERATE LOAD SHARING IN MULTIPLE POWER PLANTS	5 24 VAC 60 HZ	2
5. MASTER CONTROL	SYSTEM LOAD BUS/CUSTOMER	MASTER CONTROL UNIT/PSD	SIGNAL FROM LOAD BUS TO MASTER CONTROL	120/208 VAC 60 HZ 3 PHASE	4
6. START-UP POWER, DC	LL POWER SUPPLY/CUSTOMER	POWER PLANT/PSD	INPUT POWER TO CREATE POWER PLANT LOGIC AND UPS DURING START-UP	200 VDC 75W (FLUATING)	2
7. START-UP POWER, DC	POWER PLANT/PSD	DC POWER SUPPLY/CUSTOMER	PUMP 10 OPERATE DC INVERTER	120 VAC 60 HZ 1 PHASE 12/0	2
8. START-UP POWER, AC	POWER PLANT CONTROL BREAKER PANEL/CUSTOMER	POWER PLANT/PSD	INPUT POWER TO OPERATE POWER PLANT COMPONENTS AND HEATERS	120/208 VAC 20 HZ, 21 KW 3 PHASE	4
9. START-UP POWER, AC	SYSTEM LOAD BUS/CUSTOMER	POWER PLANT CONTROL BREAKER PANEL/CUSTOMER	POWER TO OPERATE POWER PLANT COMPONENTS AND DC LOGIC	120/208 VAC 50 HZ 3 PHASE 21 KW	4
10. ALTERNATE AC POWER	UTILITY LINE/CUSTOMER	TRANSFER SWITCH/CUSTOMER	POWER TO START POWER PLANT AND ALTERNATE SOURCE	120/208 VAC 60 HZ 3 PHASE 40 KW @ 0.8 PF/ POWER PLANT	4
11. OUTPUT POWER	UTILITY/BRANCH/CUSTOMER	TRANSFER SWITCH/CUSTOMER	POWER PLANT ELECTRICAL OUTPUT	120/208 VAC 60 HZ 3 PHASE 40 KW @ 0.8 PF/ POWER PLANT	6
12. SYSTEM LOAD	TRANSFER SWITCH/CUSTOMER	SYSTEM LOAD BUS/CUSTOMER	POWER DISTRIBUTION	120/208 VAC 60 HZ 3 PHASE	3
13. INSTRUMENTATION	POWER PLANT/PSD	DATA ACQUISITION SYSTEM/CUSTOMER	INTERNAL POWER PLANT INSTRUMENTATION	120/208 VAC 60 HZ 3 PHASE	57 COND. CABLE

*Table includes power plant only. Load is used to maintain the power section at 100%.

TABLA C.1 INTERFASES ELECTRICAS

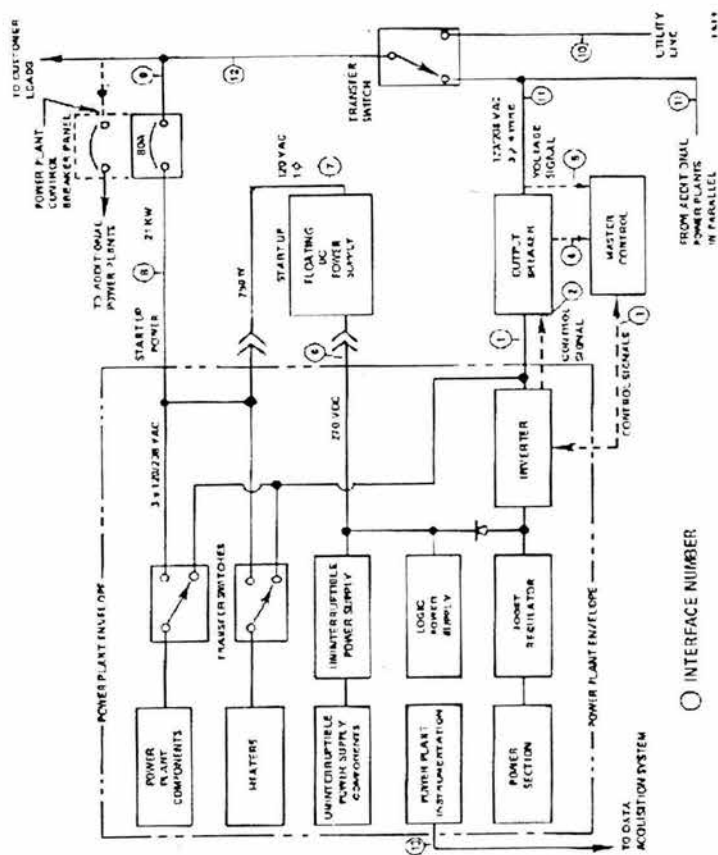


FIGURA C.1. ESQUEMA ELECTRICO.

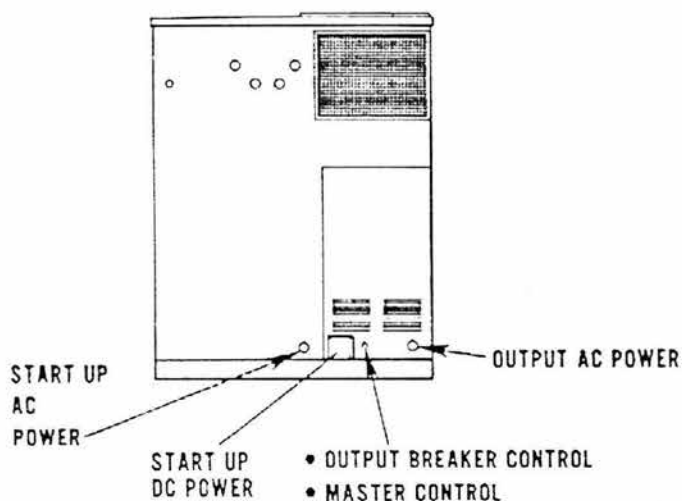


FIGURA C.2. INTERFASES ELECTRICAS

Las pruebas para campo de las plantas de potencia disponen de instrumentación a través de un conector para la instrumentación de la planta de potencia. Los parámetros se resumen en la Tabla C.2. Los parámetros instrumentados de interfase se resumen la Tabla C.3.

PARAMETER	SOURCE	SIGNAL	PRIMARY PURPOSE
1. Total DC Voltage	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, Power Section Efficiency
2. Total DC Current	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, DC Power, Trim for Parallel at Installation
3. Fuel Flow Feedback	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, Fuel Flow Refiner Efficiency
4. Power Section Air Feedback	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, Power Section Air Flow
5. Reformer Air Feedback	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, Reformer Air Flow
6. Steam Separator Temperature	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, Coolant Temperature, Steam Pressure
7. Reformer Temperature	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, Reformer Temperature, Catalyst Conversion
8. Preoxidizer Exit Temperature	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Preoxidizer Bed Evaluation, Peak Shave Gas Monitor
9. HDS Inlet Temperature	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, Catalyst Performance
10. Shift Converter Temperature	Microcomputer	Analog/0-10 Volts DC	Control Verification, Startup Monitor
11. Preprocessor Exit Temp	T/C Trans/ Amplifier	Analog/0-10 Volts DC	Fuel Preprocessor Evaluation (Preoxidizer/HDS)
12. Half Stack Delta V	Comparator Box	Analog/0-10 Volts DC	Power Section Performance Evaluation

TABLA C.2 PARAMETROS

PARAMETER	PRIMARY PURPOSE
1. Natural Gas Totalizer	Total Gas Consumption, Averaged Electrical Efficiency Performance Evaluation vs. Temperature Determine Power Plant Operating Time, Maintenance Schedule
2. Site Environmental Temperature	
3. Timer	
4. HG HEX Inlet Temperature	Total Heat Recovery, Averaged Heat Recovery Efficiency
5. HG HEX Exit Temperature	
6. HG Customer Flow Totalizer	
7. LG HEX Inlet Temperature	
8. LG HEX Exit Temperature	
9. LG Customer Flow Totalizer	
10. Power kW-AC (Net)	Power Plants Electrical Efficiency, Load Profile Documentation Total Energy Produced, Averaged Electrical Efficiency
11. kW-Hours	
12. Phase A AC Volts	Phase Unbalance/Power Factor/Regulation/Gross AC Power
13. Phase B AC Volts	
14. Phase C AC Volts	
15. Phase A AC Amps	
16. Phase B AC Amps	
17. Phase C AC Amps	
1) All parameters should be able to be directed to a tape data acquisition system (data logger).	
2) Data acquisition capability should be once every 5 minutes to once every 2 hours and storage.	
3) The data acquisition system should have capability for individual parameter read out.	

TABLA C.3 LA INSTRUMENTACIÓN DE LAS INTERFACES EN SITIO (MEDIDA DE CADA UNO POR SITIO).

Interconexión de fluidos.

Las Interconexión de fluidos que requieren para la planta son tres, la línea de combustible, la línea para la recuperación de vapor y la línea para drenar el agua. La tubería donde se recupera el calor de desecho debe ser recubierta con una capa de fibra de vidrio con un espesor de una pulgada. Internamente la planta de potencia tiene conectada una línea de drenaje de agua para facilitar el desagüe.. Estas interfaces se resumen en la Tabla C.4 y en la Figura C.3.

Interface	Fluid	Flow Rate (GPM)	Pressure	Temperature	Comments
From	Pipeline	20 to 5 GPM	with isolation at Water Gauge	50-90°F	Include Piping and Insulation (See Piping Spec)
High Grade Heat Recovery	Water	1000 (1200)	150 to 165 PSIA	85°F	Protect temperature of up to 25°F and corrosion.
Low Grade Heat Recovery	Water	1000 (1200)	150 to 165 PSIA	100°F	
Drains	Water	1000 (1200)	150 to 165 PSIA	100°F	
Chemical Drain (H2O2)	Water				Include for H2O2 and H2O2 only.
Water Tank Overflow	Water	20 (100)	Atmospheric	100°F Max	Warning and Storage Drain and Blockdown
Water Tank Underflow	Water				Drain for H2O2 and H2O2 only. Water system for with demineralized water.

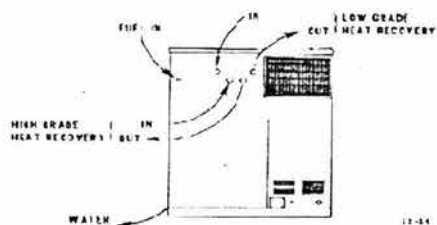


Tabla C.4 y Figura C.3.

La Presión de agua contra las características de flujo de agua suministrada al cliente del lado de los intercambiadores de alta y baja entalpía se muestra en la Figura C.4. la demanda de combustible de la Planta de potencia se muestra en la Figura C.5.

Los fluidos de aire y vapor no requieren de adaptación de tubería externa en la parte interna de la planta. Estas interfaces se muestran en la Figura C.6 y descritas en la tabla C.5. En la parte superior de la planta tiene que instalarse una campana de extracción para eliminar el calor excedente de la planta. El usuario deberá instalar una válvula de seguridad en algunos de los puntos de la tubería de alimentación de combustible como una medida de seguridad.

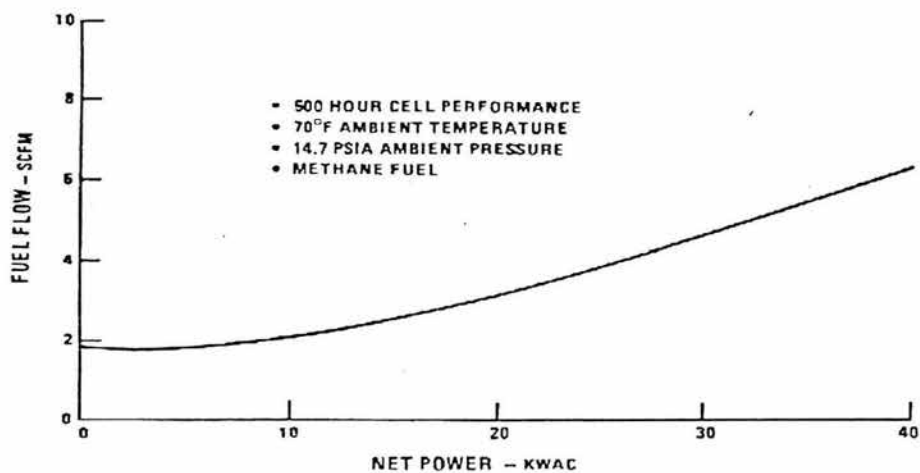
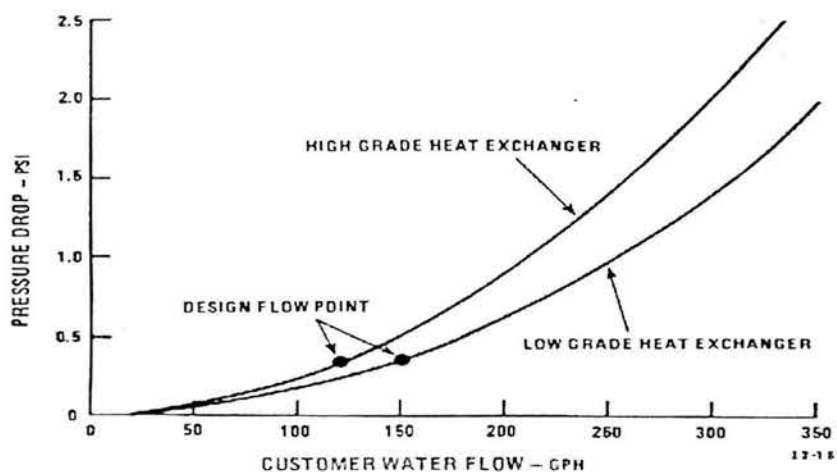
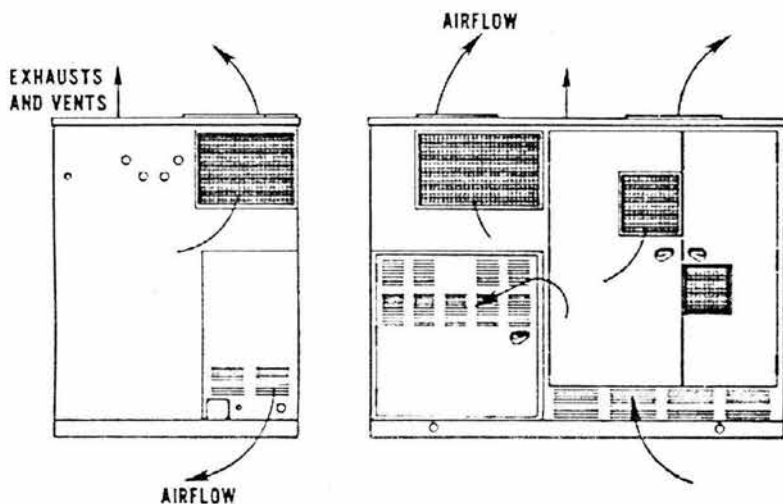


Figura C.4 y C.5.



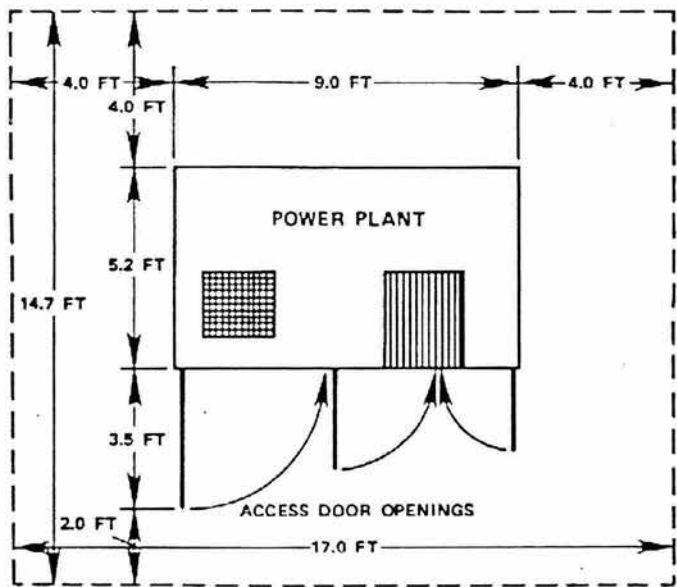
Interface	Fluid	Maximum Flow Rate PPH (CFM)	Pressure	Temperature	Comments
Air Inlets					
Process Air	Air	900 (200)	Ambient	-25°F - 120°F	Total Flow Requirement is 6100 CFM
Condenser Cooling	Air	16000 (3680)	Ambient	-25°F - 120°F	
Thermal Control Heat Exchanger Cooling	Air	6500 (1400)	Ambient	-25°F - 120°F	
Water Cooler Cooling	Air	1000 (220)	Ambient	-25°F - 120°F	
Inverter Cooling	Air	3600 (800)	Ambient	-25°F - 120°F	
Exhausts*					
Process Exhaust and Condenser Cooling	Air/CO ₂ /N ₂	17000 (4500) Equiv.	Ambient	160°F	Maximum Mixed Exhaust Temperature Equals 190°F
Thermal Control Heat Exchanger Cooling	Air	6500 (2700)	Ambient	310°F	
Water Cooler Cooling	Air	1000 (250)	Ambient	130°F	
Inverter Cooling	Air	3600 (900)	Ambient	130°F	
Vents					
Coolant Loop Bleed	Air	--	--	--	For Filling Operations Only
Separator Vent	Air	--	--	--	For Startup Only
Separator Safety Relief	Steam	--	--	--	Overpressure Relief
High Grade Heat Exchanger Relief	Steam	--	--	--	Overpressure Relief
Superheater Safety Relief	Steam	--	--	--	Overpressure Relief
Low Grade Heat Exchanger Relief	Steam	--	--	--	Overpressure Relief

*Flows and Temperatures listed are not coincident

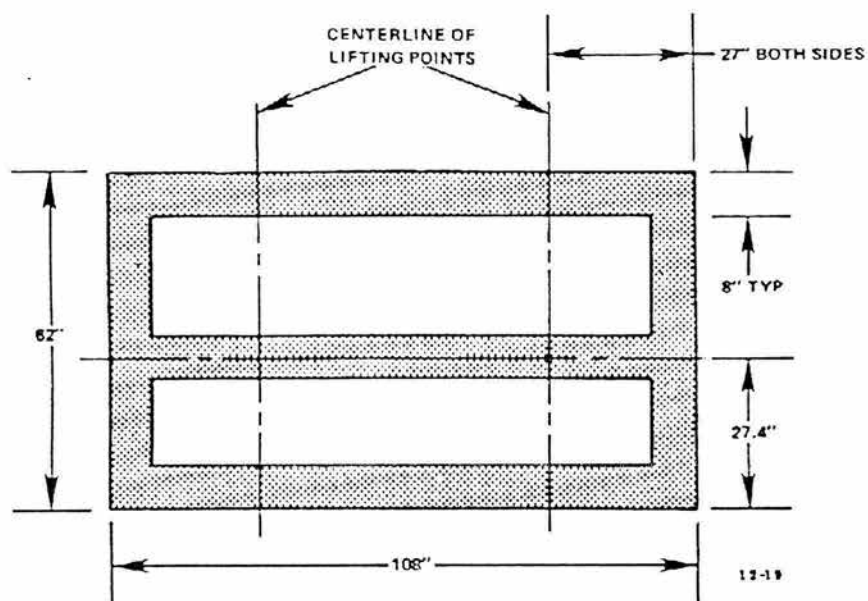
Figura C.6 y Tabla C.5

Los Requisitos del sitio

Los requisitos del espacio para su instalación se muestran en la Figura C.7. La carga en la cimentación o loza de soporte es aproximadamente de 150 libras por pie cuadrado. Es necesario que la planta se asiente en dos soportes o viguetas con capacidad suficiente de carga para la ventilación y limpieza de la planta. La planta deberá esta instalada y cotejada con los instrumentos de nivel y plomada. El gabinete esta diseñado para soportar condiciones ambientales naturales sin ningún problema.



La figura C.7. Muestra de los Requerimientos de Espacio para la planta de potencia.



La base de planta de potencia se muestra en la Figura C.8.

APÉNDICE D

EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE POTENCIA.

Introducción.

El sistema de control de la planta de potencia de 40-Kw. dispone de una operación automática dentro del rango de potencia indicado. Durante la secuencia de las cuatro horas de arranque las funciones de control son semi-automáticas, por lo que es requerida la presencia de un técnico. El paro de la planta será automático en caso de alguna falla o manual se así es requerido.

Los requerimientos de arranque.

Para el arranque de la planta de potencia es requerida una fuente externa de corriente directa la cual se interconectara al cable de alimentación de arranque para proporcionar energía eléctrica calentadores, bombas y componentes de control.

El Procedimiento de arranque

La siguiente secuencia presentada es considerada para el arranque de una sola planta o para la conexión de varias:

- 1) La temperatura ambiente mínima requerida para el arranque debe de ser de 33°F.
- 2) Para el arranque de la planta es necesario mantener las líneas de control térmico llenas de agua desmineralizada para evitar su congelación.
- 3) Activar el suministro de potencia de corriente directa.
- 5) Activar el suministro de combustible.
- 6) El técnico especialista inicia el arranque a través del control de switch de arranque, a partir de este momento la microcomputadora empieza a trabajar identificado por medio de una luz intermitente.
- 7) Aproximadamente después de cuatro hora, La luz en el tablero que indica que la planta de potencia esta lista para aceptar la carga eléctrica, a partir de este momento mediante un botón se toma la decisión de la operación autónoma de la planta y en forma automática la planta se desconecta de la fuente externa al no requerir mas de ella..
- 8) La planta de potencia en este momento se encuentra operando y suministra ya energía eléctrica.

Operación automática.

La planta de potencia responde automáticamente a los cambios en la demanda de carga por medio de un sensor el cual detecta los cambios de carga regulando de esta forma la demanda de combustible necesaria para la demanda. La recuperación de voltaje de operación responderá dentro de un periodo de dos ciclos como un seguimiento a las demandas transitorias. Y las sobre cargas por encima de los 40 Kw. las podrá soportar durante 5 segundos. Si este límite de tiempo se excede, la carga total será desconectada automáticamente. Una vez corregida esta demanda podrá estar lista para continuar su operación.

Paro.

El sistema de control monitorea internamente las señales de la planta, este sistema es el encargado de dar el paro automático si se rebasan los límites requeridos en su funcionamiento.

El técnico puede parar la planta de forma manual en el momento que el lo desee. Para esta situación es requerido 1Kw de potencia eléctrica externa para sistema de enfriamiento, y al mismo tiempo para mantener la planta de potencia a una temperatura promedio de 33°F. Esto se exige en los procedimientos de servicio para impedir que al agua en la planta de potencia se pueda congelar. La planta de potencia puede ser restablecida después del paro.

Arranque alterno.

Después de que el sistema de recirculación de agua ha sido abierto para mantenimiento, un paso adicional al arranque es requerido. El operario debe checar primero la calidad del agua, si se encuentra fuera de los límites de calidad requeridos, el operario debe arrancar el sistema de tratamiento de agua oprimiendo el botón de "water conditioning" que se encuentra en el panel de la planta de potencia, el procedimiento normal de arranque de la planta continuara cuando el agua halla sido tratada y halla quedado limpia de impurezas.

Sistema de purga de las líneas de alimentación.

Una vez concluida la operación de la planta en algunas de sus corridas se procede a conectarle un gas de purga como es el caso del hidrogeno conectándose a las entradas de purga en los sistemas de hidrogeno y aire a una presión de 1- 4" de H₂O para lograr la purga de las líneas de alimentación por un periodo de 24Hrs.

Procedimiento de servicio a temperaturas bajas.

Si la planta opera a temperaturas bajas es necesario dejar agua desmineralizada en todo el sistema de control térmico para mantener a la planta a la temperatura de 33°F.

APÉNDICE E

LINEAS DE MANTENIMIENTO

Introducción

Se requieren dos tipos de líneas de mantenimiento : (1) Limpieza de los componentes menores logrado por la misma planta, y (2) procedimientos anuales los cuales requieren el paro de la planta.

El empaquetamiento de la planta de potencia tiene un arreglo tal que permite darle un mantenimiento eficiente y seguro, para su reparación y ajuste. Requerimientos de líneas de Mantenimiento

La tabla E.1 presenta aquéllas acciones de mantenimiento que se deberán ejecutar para el funcionamiento seguro de la planta. Como es indicado, los componentes de mantenimiento son divididos en aquéllos que operan con la planta de potencia y aquéllos que requiere la planta de potencia para su paro.

Tabla E.1 Líneas de Mantenimiento de los componentes de la planta de potencia.

	Conducted During Power Plant Operation			Requires Power Plant Shut Down
	Every 2000 Hours	Every 4000 Hours	Every 8000 Hours	Every 8000 Hours
Demineralizer	Change*			
External Condenser				
Surfaces and Water Cooler	-----	Clean		
Air Filter for Process				
Air Blower	-----	Change		
Acid Tank	-----	Change		
Inverter Air Filter	-----	Change		
Safety Valves	-----	Actuate		(local codes apply)
Steam Separator	-----	Internal		(local codes apply)
		Inspection		
High Grade Heat Exchanger	-----	Clean		customer side if
Low Grade Heat Exchanger	-----	Clean		necessary
Water Tank	-----	Clean		
Coolant Filter	-----	Clean		
Charcoal Filter	-----	Change*		
Reformer	-----			Check Gaskets, Thermocouples

*Returned to Factory for Reconditioning

La localización de los componentes de mantenimiento se ilustran en la figura E.1. Los accesos se muestran en la figura E.2.

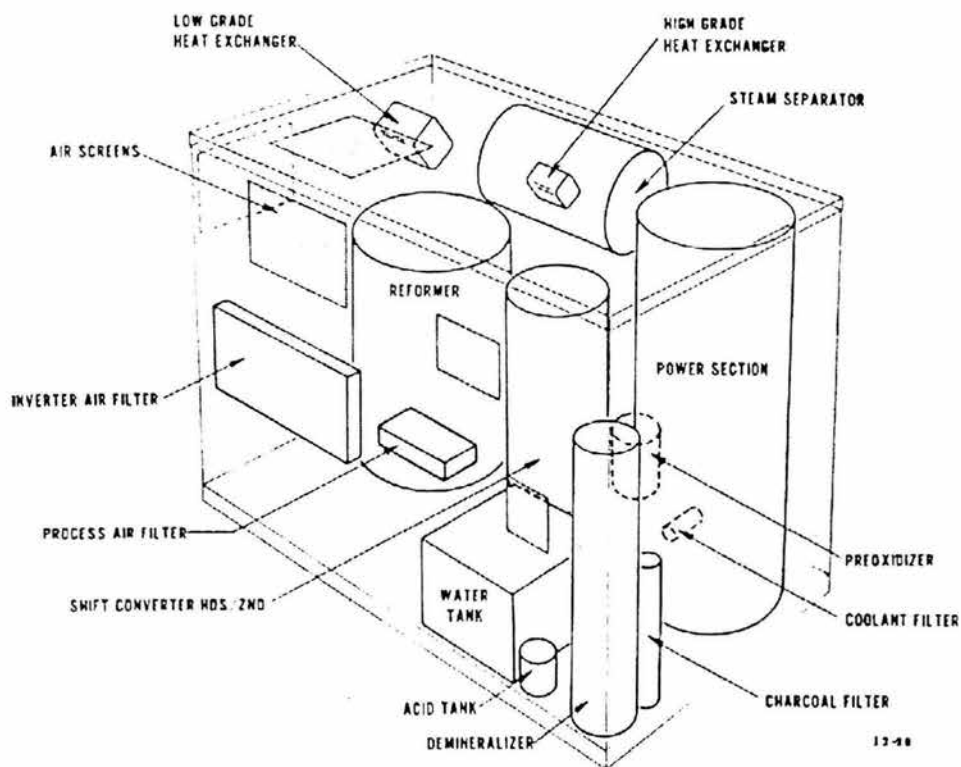
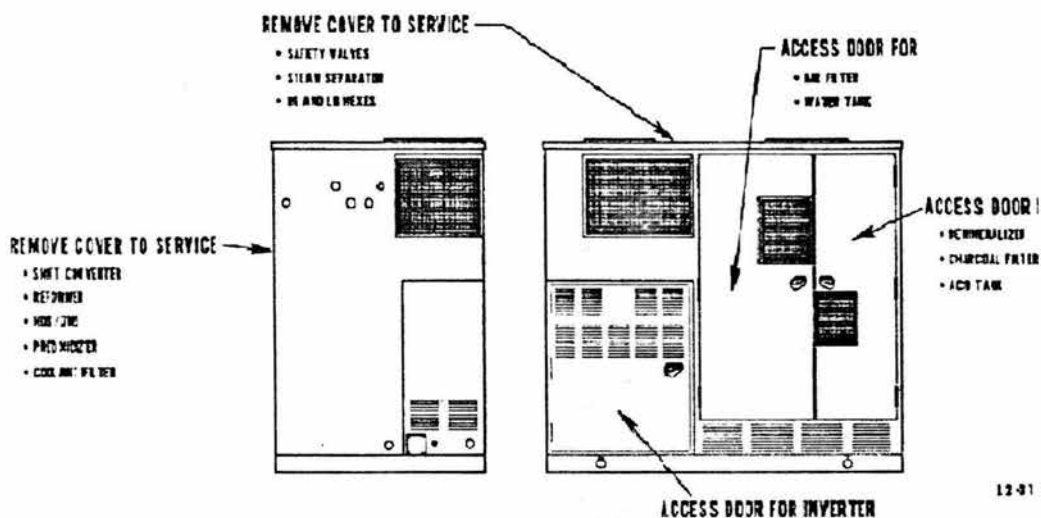


Figura E.1. La localización de los componentes de Mantenimiento.



12-01

Figure E.2. Access to Scheduled Maintenance Items

Ejemplo de una corrida efectuada el día 20 de Marzo de 1984.

[illegible]

A continuación se muestra una tabla describiendo los datos de señales y canales conectados ala planta de potencia por celdas de combustible (PPCC).

AVREVIATURA TECNICA	DESCRIPCION
VCD	Volts DC. A la salida de la sección de potencia.
IDC	Amperes ala salida de la sección de potencia.
FFBV	Volts retroalim. A la válvula de combustible.
CAFBV	Volts retroalim. A la válvula del aire a la sección de potencia.
RAFBV	Volts retroalim. A la válvula del aire al reformador.
SEPF	Temperatura del separador.
REFF	Temperatura del reformador.
PXOF	Temperatura a la salida del desoxigenador.
HDSF	Temperatura a la salida del hidrosulfurador.
SC	Temperatura interna en la pared del convertidor.
PPRSF	Temperatura a la salida del preprocesador.
HSTKV	Diferencia de voltaje entre ambas mitades de la sección de potencia.
COND	Conductividad del agua de la sección de potencia

BIBLIOGRAFIA.

- www.iie.org.mx/mproquim/fc2000sp.htm.
- www.humboldt.edu/~serc/spanish/h2fuel.html.
- www.itdg.org.pe/archivos/tic/Celdas%20de%20combustible.
- www.worldwide.fuelcells.org/
- mx.geocities.com/speiim/fuelcell.html
- www.worldwide.fuelcells2000.org/
- www.gc.com.mx/celdas
- www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion.
- www.cie.unam.mx/xml/ms/shcdc/index.xml.es
- html.rincondelvago.com/alternativas-a-los-combustibles-fosiles.html.
- Fuel Cell Systems Explained, James Larminie, Andrew Dicks.
- Powering the Future Tom Koppe.l .
- Manual de una celda de combustible de tipo ácido fosforico tridimensional.
- Fuel cell seminal, sponsored by the Nacional Fuel Cell Coordinating Group. Prepared for Aeronautics and Space Administration Lewis Reserch Center. Under Grand NCC 3-17 May 1984.
- Instrucciones de instalación de una planta de potencia por celdas de combustible de 40 Kilowatt. United Technologies Power Systems. Model No. PC 18B-2 60 Hz Output Load following Operation
- Modelo de Especificaciones de la planta de potencia por celdas de combustible de 40 Kilowatt. United Technologies Power Systems. Model No. PC 18B-2 60 Hz Output Load following Operation.
- Instrucción de mantenimiento de la planta de potencia por celdas de combustible de 40Kilowatt. United Technologies Power Systems. Modelo No.PC18B-2.

Objetivo.....	2
Justificación.....	3
Introducción.....	5
I.- El hidrogeno y las celdas de combustible.....	7
I.I.- Fuentes Alternas de Energía.....	7
a) Energía Solar.....	8
b) Biomasa.....	9
c) Energía Eólica.....	11
d) Geotérmica.....	14
e) Celdas de Combustible.....	15
f) Efecto Invernadero.....	16
h) Los gases invernadero.....	17
I.II.- El hidrogeno y las Celdas de Combustible.....	18
I.II.I.- Producción del hidrogeno.....	18
I.II.II.- Producción del hidrogeno a partir de fuentes renovables.....	20
a) Método Térmico Directo.....	21
b) Método Termoquímico.....	22
c) Método Electrolítico.....	22
d) Método Fotolítico.....	22
I.II.III.- El hidrogeno y la seguridad en su uso.....	23
a) El hidrogeno y el mundo en desarrollo.....	25
b) Lo que debemos hacer.....	26
c) El hidrógeno como portador energético.....	26
I.II.IV.- Celdas de Combustible.....	28
a) Introducción.....	28
b) Beneficios Medio Ambientales de las Celdas de Combustible....	30
c) Problemas a resolver.....	31
d) Disponibilidad actual de las Celdas de Combustible.....	33
e) Aplicaciones de la Celdas de Combustible.....	34
f) Costos Operativos.....	39
g) El precio que debemos pagar.....	39
h) Situación Actual.....	40
i) Perspectivas Futuras.....	41
II.- Principios de funcionamiento y sus características.....	42
II.I.- Que es una Celda de Combustible.....	44
II.II.- Como funciona una Celda de Combustible.....	45
II.III.- Descripción de la tecnología de las Pilas o	

II.III.- Descripción de la tecnología de las Pilas o Celdas de Combustible.....	45
a) Ventajas e inconvenientes.....	49
II.IV.- Tipos de Celdas de Combustible en desarrollo.....	51
a) Celdas de Combustible de tipo Ácido Fosforico.....	52
b) Celdas de Combustible de tipo Membrana de Intercambio Protónico (PEM).....	53
c) Celdas de Combustible de tipo Carbonatos Fundidos (MCFC).....	56
d) Celdas de Combustible de Óxidos Sólidos (SOFC).....	57
e) Celdas de Combustible de Celdas Alcalinas.....	58
f) Celdas de Combustible de Metanol Directo (DMFC).....	58
g) Celdas de Combustible Regenerativas.....	59
h) Celdas de Combustible de Cinc-Aire (ZAFC).....	59
i) Celdas de Combustible de Cerámica Protónica (PCFC).....	60
II.V.- Descripción de los Principales Sistemas que integran una Celda de Combustible.....	61
III.- Especificaciones técnicas de una Planta de Potencia de Celdas de combustible de 40 Kw. del tipo Ácido fosforico instalada y operada en el IMP.....	66
III.I.-Especificaciones Técnicas.....	66
a) Descripción Física.....	66
b) Descripción de sus funciones.....	67
c) Descripción eléctrica.....	71
d) Sistema de recuperación de calor.....	72
e) Funcionamiento.....	73
f) Operación en paralelo.....	73
g) Condiciones ambientales.....	73
h) Requerimientos del combustible.....	74
i) Diseño de seguridad.....	75
j) Confiabilidad.....	76
k) Interconexiones.....	76
l) Recuperación de agua.....	76
III.II.- Características de la Planta de Potencia por Celdas de Combustible.....	77
a) Características de operación.....	77
b) Características eléctricas.....	79
c) Características de recuperación de calor.....	80
d) Características de las emisiones.....	82
IV.- Experiencias obtenidas en la instalación y operación de una Planta de Potencia de Celdas de combustible de 40 KW de tipo ácido Fosfórico en el IMP.....	83
IV.I.- Antecedentes.....	83
IV.II.- Experiencias relacionadas con la asimilación de la tecnología.....	84
a) Descripción de las experiencias obtenidas en los diferentes Sistemas de la PPCC. durante su manejo.....	84

b) Instalación eléctrica.....	86
c) Sistemas de salida de potencia.....	87
d) Sistemas de tierra.....	88
e) Descripción de los sistemas que integran la Planta de Potencia en etapa experimental.....	89
IV.III.- Programa de Evaluación Experimental de una Batería de Celdas de Combustible a escala laboratorio.....	94
a) Metodología.....	94
b) Información de referencia.....	95
c) Datos del fabricante.....	95
d) Datos sobre fuerzas mecánicas de acoplamiento.....	96
e) Datos sobre la construcción del modelo experimental.....	97
f) Condiciones ideales de operación.....	97
g) Resultados esperados sobre la batería experimental.....	98
h) Resultados obtenidos durante la prueba en la batería experimental.....	98
i) Tablas de datos de corridas experimentales.....	99
V.- Factores que intervienen en la instalación de una Planta de Potencia de Celdas de Combustible.....	103
V.I.- Condiciones Eléctricas.....	103
V.II.- Requerimientos de la Carga Eléctrica.....	103
V.III.- Diseño de la instalación.....	104
V.IV.- Análisis de la Factibilidad de la instalación de una PPCC en el IMP.....	110
Conclusiones.....	115
Apéndice.....	116
Apéndice A.- Esquema de la Planta de Potencia por Celdas de Combustible.....	116
Apéndice B.- Transportación y Manejo de la Planta de Potencia por Celdas de Combustible.....	117
Apéndice C.- Requisitos de instalación de la Planta de Potencia por Celdas de Combustible.....	118
Apéndice D.- El funcionamiento de la Planta de Potencia por Celdas de Combustible.....	128
Apéndice E.- Líneas de mantenimiento de la Planta de Potencia por Celdas de Combustible.....	130
Apéndice F.- Ejemplo de una corrida efectuada en el Instituto Mexicano el Petróleo por la Planta de Potencia por Celdas de Combustible.....	133
Bibliografía.....	136