



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

**CENTRO DE INVESTIGACION EN ENERGIA
(CIE-UNAM)**

Propuesta del Proyecto de Tesis Doctoral

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y
ECONÓMICA PARA EL USO MASIVO DE CELDAS DE
COMBUSTIBLE EN MÉXICO**

Aspirante: MI. Miriam Gutiérrez Macedo

Director de Tesis: Dr. Manuel Martínez Fernández, CIE-UNAM

Propuesta de Duración: Febrero 2007 – Enero 2010

OBJETIVO

Determinar la rentabilidad económica de proyectos de inversión para la producción y uso masivo de celdas de combustible automotriz en México, a través de una metodología que va desde el estudio técnico hasta la evaluación económica.

METAS

- Establecer las posibilidades técnicas de fabricación de celdas de combustible automotriz en México.
- Estimar mercados potenciales.
- Analizar y determinar el tamaño, la localización, los equipos, las instalaciones y la organización (análisis administrativo) requerida para realizar la producción (ingeniería del proyecto), óptima para cada tecnología estudiada.
- Determinar la inversión de los recursos necesarios, costo total de la operación (funciones de producción y administración) para cada tecnología.
- Determinar la mejor opción técnica y económica de acuerdo con el análisis de riesgo de la inversión y su administración de riesgo para prevenir el fracaso.
- Diseñar y desarrollar una metodología propia para determinar la rentabilidad económica de proyectos de inversión, para el uso masivo de celdas de combustible automotriz en México.
- Determinan la factibilidad de que la industria automotriz mexicana se pueda convertir en un centro de manufactura altamente competitivo a nivel internacional.

ANTECEDENTES

La situación energética en el mundo es de vital importancia para el desarrollo social y económico de los países y las celdas combustibles constituyen una alternativa para garantizar el desarrollo sustentable de nuestro planeta, las Celdas de Combustibles consideradas bajo estas condiciones, tendrá un importante papel en el suministro energético a cualquier escala, tanto en aplicaciones móviles como estacionarias.

Las celdas de combustible permiten promover una diversidad de energéticos y facilitar una transición hacia fuentes de energía renovables, la variedad de distintos combustibles puede ser utilizada en las celdas, tales como: hidrógeno, metano, etano, gas natural y gas licuado [1].

Hasta hace pocos años, la celda de combustible estaba limitada al uso experimental en laboratorios o en aplicaciones no convencionales como la industria aeroespacial, pero recientemente nuevos desarrollos tecnológicos fomentaron un creciente interés en la generación estacionaria y en el área automotriz.

En México, el gran reto es saber cuanto y cuando invertir en este tipo de tecnología; por lo que es necesario realizar un estudio de factibilidad de la celda de combustible para tener posibles esquemas futuros de la inversión considerando que mientras no exista una alta demanda, sus precios iniciales seguirán siendo altos, y no existirá una producción masiva de éstas en México, solo se seguirá como hasta ahora soñando ser un país exportador [2].

Estados Unidos, Europa y Japón han iniciado importantes programas de desarrollo e investigación también las empresas privadas, en especial los grandes fabricantes automotrices como General Motors, Chrysler y BMW, también están desarrollando sus propios programas de investigación con la finalidad de colocar en el futuro cercano vehículos a hidrógeno en el mercado mundial, inclusive ya con vehículos prototipo.

En Noviembre 2004 dieciséis países establecieron una Asociación Internacional para la Economía del Hidrógeno (International Partnership for a Hydrogen Economy), para coordinar investigación, compartir información y colaborar en la educación del público. Ejemplo de gobiernos que avanzaron con iniciativas de financiamiento y expansión [3]:

Estados Unidos: 22 estados tienen incentivos ligados a la tecnología de celdas de combustible, mientras que 30 estados tienen reglamentos de normas o políticas favorables a esta tecnología, importantes programas de financiamiento e incentivos han iniciado en Nueva York, Connecticut, Ohio y California. El financiamiento estatal potencial podría ser mayor que el federal, sin embargo, estados con balance deficitario probablemente tengan políticas de financiamiento como el establecimiento de un portafolio en estándares de tecnologías.

Así mismo el Presidente George W. Bush propuso un aumento de \$700 millones de dólares en el gasto federal para investigación y demostración de hidrógeno y celdas de combustible; sumando así una inversión total federal por \$1.7 mil millones de dólares en cinco años.

Japón. El proyecto Demostración de Hidrógeno y Celdas de Combustible (Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project - JHFC) es multianual financiado por el gobierno; diseñado para evaluar tecnología en vehículos con celdas de combustible e iniciar el desarrollo de infraestructura de hidrógeno. El proyecto también está diseñado para dar a conocer al público celdas de combustible así como la seguridad del hidrógeno. El Gobierno Japonés se ha comprometido a revisar su reglamentación en el 2006 para apoyar una infraestructura de hidrógeno. JHFC será dirigido por la Secretaría de Economía de Japón, Industria y Comercio (METI), las pruebas de los vehículos serán vigiladas y controladas por el Instituto de Investigaciones Automotrices del Japón (Japan Automobile Research Institute), y las evaluaciones de la infraestructura requeridas para el uso del hidrógeno por la Asociación para el Avance de la Ingeniería del Japón (Engineering Advancement Association of Japan). La participación del gobierno en el proyecto fue de ¥2 mil millones en el 2002 y ¥2.5 mil millones en el 2003 [3].

Canadá. El Gobierno de Canadá se comprometió a apoyar la instalación de infraestructura del hidrógeno en \$215 millones de dólares y la asociación para una Ciudad de Hidrógeno en el área de Toronto fue anunciada a finales de 2003 [3].

Europa. A finales del 2003, la Unión Europea anunció un programa masivo de investigación en energía, comunicaciones y electrónica que prevé gastar decenas de miles de millones de Euros hasta el 2015, incluyendo 2.8 mil millones de Euros en hidrógeno. El plan coloca "pagos nivelados" para hidrógeno por unos 500 millones de Euros al 2007, con otros 1.2 mil millones de Euros en 2007-2012. Comunidades a lo largo de Europa también empezaron a recibir autobuses con celdas de combustible para demostración bajo el programa CUTE (Clean Urban Transportation for Europe).

Los autobuses operaran en rutas existentes junto con autobuses convencionales, las estaciones de abastecimiento han sido diseñadas para evaluar una variedad de alternativas de combustible, estrategias de infraestructura y requerimientos de seguridad en los centros de las ciudades. Daimler Chrysler proveerá los autobuses Citaro de celda de combustible, otros países anunciaron programas nuevos ó expandidos, incluyendo India y China. Proyectos de largo plazo avanzan en Brasil, Egipto, México, Singapur y otros países [3].

A continuación se anexan publicaciones referentes a esta investigación:

a) “Developing an infrastructure for hydrogen vehicles: a Southern California case study”

Resumen

Se ha examinado la viabilidad técnica y económica de desarrollar una infraestructura para vehículo de hidrógeno y se determinan detalladamente varias posibilidades de producir hidrógeno. El costo de capital de infraestructura y el costo del hidrógeno se estiman para cada opción de la fuente del hidrógeno, se compara a otros combustibles para los vehículos con celdas de combustible (gasolina, metanol) en términos de costos la infraestructura, del vehículo y el costo del ciclo de vida del transporte. Finalmente se discuten los posibles panoramas para introducir el hidrógeno como combustible, utilizando diversos escenarios y se obtienen diversas conclusiones entre las mas importantes son que existirá una gran demanda después del 2005 de vehículos con celdas de combustible y el 10% de autobuses serán de celdas de combustible con hidrógeno y antes de 2010 se requerirán 26 millones de hidrógeno por día antes del 2020 se requerirán 50 millones de hidrógeno por día, por tanto se debe considerar una infraestructura de hidrogeno para el desarrollo económico de el país [a].

b) “Economic Evaluation of Grid-Connected Fuel-Cell Systems”

Resumen:

Se presentan las ventajas económicas de usar las celdas de combustible y el cálculo del costo de electricidad generado en una instalación de la celda de combustible y también se determina la cantidad de beneficio que resulta de una instalación. El análisis de sensibilidad determina qué metas necesitan ser alcanzadas para hacer las celdas de combustible competitivas en comparación con fuentes convencionales de la generación de energía.

Este trabajo se ha enfocado sobre todo en la determinación del costo de electricidad (COE). Una evaluación del COE es necesaria para determinar si una instalación de generación de electricidad es rentable y comparar una instalación particular con las formas diferentes de producción de energía. También se realizó un análisis de sensibilidad de los parámetros en el cálculo del COE., las evaluaciones de los gastos asociados con daños y perjuicios ambientales debido al empleo de generación de energía abastecida de combustible por fósil también han sido consideradas. El cálculo del costo de daño ambiental es necesario para hacer una comparación justa económica entre fuentes de generación de diferente poder. Se presenta un método de calcular la viabilidad económica de un sistema de célula de combustible que usa un GUI programado en MATLAB.

En este GUI, muchos parámetros diferentes individualmente pueden ser cambiados para ver si es posible obtener una recomendación para la instalación de celdas de combustible.

Un análisis de sensibilidad fue conducido para ver que valores tenían la mayor parte de efecto sobre el COE, fue encontrado que la mayor parte de variables tenían un impacto significativo sobre el COE de la celda de combustible y mejora cualquier área, conduciéndose así a una reducción del COE, el análisis de la rentabilidad también fue conducido para ver que valores para cada parámetro tendría que tener de modo que el COE tuviera un valor deseado, o para el NPV para ser mayor que el cero, se encontró que alcanzando un COE de U.S.\$ 0.06/kWh para las celdas de combustible PEMFC o el SOFC no sería difícil cumplir con los parámetros. Por otra parte, los valores de parámetro del caso base que son probables ocurrir como ambas celdas de combustible llegan a estar disponibles en el mercado y como el precio de la electricidad aumenta, comparando los resultados podrían ser favorables, Para el precio de celda de combustible disminuiría considerablemente, Aunque este estudio no cause una impresión favorable de economía de celdas de combustible la utilización de valores de parámetro y los valores esperados realmente muestran resultados prometedores [b].

c) “Cost-effective Application of Stationary Fuel Cell Technologies”

Resumen

Este artículo contiene información que determinara si las celdas de combustible podrían ser puestas en práctica ahora o en el futuro, así como la descripciones de usos de la celda de combustible, resultados específicos y son presentados para 11 sitios dentro de las fuerzas del Ejército norteamericano (FORSCOM), pero la metodología y resultados generales son aplicables a todos los usuarios de celdas de combustible. Los fabricantes de celdas de combustible necesitarán ofrecer descuentos más altos y períodos más cortos en la recuperación de capital que hagan a la economía de la celda de combustible más atractiva.

La tecnología de la celda de combustible en un futuro los costos se reducirán, teniendo como resultado una cantidad de usos rentables. Las proyecciones del costo y del funcionamiento futuros consistirá en el sistema híbrido así que la celda de combustible junto con una turbina de gas se convertirán en probablemente la tecnología preferida para la generación de energía distribuida en la gama de 1-10 MW.

El costo de la energía eléctrica es el factor específico más importante que afecta la rentabilidad de la celda de combustible y el costo del combustible, la utilización de la electricidad por lo menos en los próximos años se reducirá, el costo eléctrico para la mayoría de los usuarios que utilizan la electricidad, incluyendo FORSCOM. La perspectiva de la utilización ha creado una incertidumbre para el costo futuro de la electricidad, por lo tanto la mayor incertidumbre con respecto a la ventaja de cualquier concepto de una misma generación, incluyendo las celdas de combustible, los encargados de la energía deben dar probabilidades y esperar hasta que el impacto de la utilización de la electricidad está más deteriorado, antes de considerar las celdas de combustible como una opción de fuente de energía [c] .

d) “Techno-economical Review of Fuel Cells for the Indian Market”

Resumen:

Los países en vía de desarrollo como la India tienen una gran necesidad de aprovechar las fuentes alternas de la energía de modo que su dependencia del petróleo sea reducida en una cantidad substancial. Las celdas de combustible, particularmente SOFC, DMFC y PEMFC, tienen una gran oportunidad de penetrar el mercado indio en un futuro. En este trabajo se realiza una revisión técnica y económica de las celdas de combustible y se ha considerado el material, la fabricación y los desafíos técnicos que están presentes en la comercialización de estas tecnologías. El costo de los componentes de la celda de combustible se presenta en este trabajo. Se concluye que en la India las empresas públicas/privadas tienen que financiar esfuerzos del I&D para poder cristalizarse y estos tres tipos de tecnología de celdas de combustible deberán ser investigados para obtener una energía segura.

Lograr un desarrollo sustentable es el gran cambio esperado actualmente en el mundo, la aplicación de las celdas de combustible es a través de una planta estacionaria (pequeña, mediana o grande), así como aplicaciones portátiles (baterías), y el sector del transporte debe tener bajo costo de las celdas de combustible, esto es importante para la comercialización de esta tecnología. La principal característica que debe tener es la eficiencia, durabilidad y optimización de costos. Las celdas de combustible pueden estar dirigidas a una sola aplicación y tener inconvenientes asociados con la distribución de la energía, esta es una energía limpia y silenciosa.

La fabricación de las celdas de combustible se debe localizar en donde la población tenga necesidad y las centrales eléctricas deben ser escalables dependiendo del consumo del cliente. La comercialización de las tecnologías de la celda de combustible tiene que resolver las necesidades energéticas cada vez mayores y tener una energía confiable la cual puede ser realizada por las celdas tipo SOFC, DMFC y PEMFC [d].

JUSTIFICACIÓN

Los contaminantes que más han deteriorado a nuestro medio ambiente, son los derivados por el uso del petróleo y en los últimos años ha llevado a los fabricantes de automóviles a pretender sustituir aquellos vehículos que producen gran cantidad de emisiones contaminantes por vehículos con celdas de combustible; obteniendo así autos sin contaminación, silenciosos y con menores tiempos de recarga de combustible.

En México y en el 2003 el 18% de las personas empleadas en el sector de manufactura se localizaban en la industria automotriz, que contribuye significativamente en el Producto Interno Bruto (PIB) del sector manufacturero del país, con un 16% [4].

Las exportaciones totales de vehículos registraron un crecimiento de 90 por ciento, comparadas con las del mismo periodo de 2005 En materia de Inversión Extranjera Directa, al primer trimestre de 2006[4].

El ciclo productivo de la industria automotriz y de autopartes en México registró, al primer trimestre de este año, un crecimiento anual acumulado de 54 por ciento comparada con el año anterior [4].

Con el Decreto para el Apoyo de la Competitividad de la Industria Automotriz Terminal y el Impulso al Desarrollo del Mercado Interno de Automóviles, publicado el 31 de diciembre de 2003, se han consolidado nuevos proyectos para la producción de automóviles de alto valor agregado, enfocados principalmente al mercado de exportación; lo que se traduce en mayor empleo e inversiones extranjeras para el país. Así, las exportaciones totales de vehículos, a marzo de 2006, registraron una dinámica de crecimiento de 90 por ciento, comparadas con las del mismo periodo de 2005[4].

En términos económicos, dichas exportaciones registraron un monto récord de 32.1 mil millones de dólares, superiores a las del año 2000. En materia de Inversión Extranjera Directa (IED) captada por este sector, en el primer trimestre de este año se han hecho anuncios por casi 3 mil millones de dólares por parte de empresas y proveedores automotrices, que equivalen a una cuarta parte de la IED acumulada entre 1999 y 2005.

Durante 2005, Estados Unidos importó 240 mil millones de dólares por concepto de automóviles y autopartes; México se mantuvo en el tercer lugar como proveedor de este mercado con un monto de 44.4 mil millones de dólares, y Canadá en el primero, con un total de 71.2 mil millones de dólares, le siguió Japón, con 52.7 mil millones de dólares; Alemania, con 27.1 mil millones de dólares, y Corea, con 11.5 mil millones de dólares [4].

Por lo tanto, si el futuro deseado para la industria automotriz mexicana es la conversión a un centro de manufactura altamente competitivo a nivel internacional, se requiere comenzar hoy a planear y sentar las bases para la consecución de dicho futuro. De no aprovechar debidamente, y en el momento actual, nuevas tecnologías para la industria automotriz en lo particular, se corre el riesgo de simplemente ser la plataforma exportadora como hasta el momento.

En nuestro país no se ha desarrollado este tipo de proyecto, por tanto existe una necesidad de realizar proyectos de celdas de combustible para que sean aterrizados y así tener un panorama técnico y económico completo para que sea exitoso. Es necesario un estudio de factibilidad que proponga una metodología propia e integral que vaya desde el estudio técnico hasta la evaluación económica.

INFRAESTRUCTURA REQUERIDA

Las instalaciones donde se desarrollara el proyecto es en:

1. CIE-UNAM , Temixco, Morelos

En el centro de investigación se cuenta con el siguiente material disponible:

- Software.
- Equipo de cómputo.
- Biblioteca del centro de investigación.
- Biblioteca digital.
- Laboratorio de hidrógeno.

METODOLOGÍA

Desde el punto de vista metodológico el trabajo a realizar para cumplir los objetivos propuestos lo podemos subdividir en 5 etapas:

1^{ra} Etapa: Se seleccionara la información bibliográfica de acuerdo a los tipos de celdas de combustible para el sector automotriz y se estudiará la teoría físico-química básica que rigen los principios de funcionamiento de estas, así como la bibliografía que se necesite en las siguientes etapas.

2^{da} Etapa: Se identificaran para cada tecnología de celdas de combustible, los beneficios y barreras para su desarrollo.

3^{ra} Etapa: Se estimara el mercado potencial en base a la determinación y cuantificación de la demanda y oferta, así como el análisis del precio y la eficiencia, y el estudio de comercialización.

4^{ta} Etapa: En el estudio técnico se determinara el tamaño, localización, ingeniería del proyecto y el análisis administrativo, realizando así un análisis de todo lo concerniente a las instalaciones y al funcionamiento de la planta desde procesos de producción hasta la organización de la empresa.

5^{ta} Etapa: Se realizara el estudio económico de los costos de producción, de los costos de administración, costos de venta y financieros; determinando así una inversión total, fija y diferida de la empresa.

6^{ta} Etapa: En la evaluación del riesgo financiero se prevé el riesgo de esta inversión a mediano y largo plazo con el método monte carlo, se calculara la TIR para determinar la rentabilidad económica de la inversión.

7^{ta} Etapa: Conclusiones de la tesis y revisión del documento final.

Cada etapa se realizara en base al calendario de actividades que se esta anexando.

Calendario de actividades

El desarrollo del proyecto doctoral esta diseñada para un tiempo de 6 semestres, con las actividades a realizar distribuida de la siguiente manera:

No	Actividades	Semestres					
		1	2	3	4	5	6
1	Revisión bibliográfica	x	x	x			
2	Fundamentos Teóricos	x	x	x			
3	Situación del Mercado			x	x	x	
4	Estudio Técnico		x	x	x	x	
5	Estudio Económico			x	x	x	
6	Evaluación del Riesgo Financiero			x	x	x	
7	Conclusiones					x	x
8	Revisión de la Tesis					x	x
9	Presentación del examen de grado						x

BIBLIOGRAFIA

- a) **Joan M. Ogden**,_Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, U.S.A. International Journal of Hydrogen Energy;1999, 24 709-730
- b) **Don B. Nelson, M. Hashem Nehrir, Senior Member, IEEE, and Victor Gerez, Life Senior Member**, IEEE Transactions on Energy Conversion, 20, 2, JUNE 2005
- c) **Daryl R Brown**, Energy Engineering; 1999; 96, 6; ProQuest Science Journals, pg.46
- d) **S Jaisiwal; Sushanta K Mitra**, Energy Engineering; 2006; 103, 3; ProQuest Science Journals, pg.56

BIBLIOGRAFIA

1. www.fuelcells.gob.mx
2. Departamento de Energía de los estados unidos, www.eia.doe.gov/iea.
3. Fuel Cell Catalyst boletín trimestral del consejo de celdas de combustible de los E.U.A., el Laboratorio Nacional de Tecnologías en Energía y el Centro Nacional de Investigación en Celdas de Combustible, http://www.usfcc.com/Catalyst_January2004_sp.pdf
4. Secretaria de Economía, www.economia.gob.mx

Dr. Manuel Martínez Fernández

Tutor Principal

Dr. Sebastián Pathiyamattom Joseph

Comité Tutorial

Dr. Sergio Alberto Gamboa Sánchez

Comité Tutorial

Dr. Ricardo Aceves García

Comité Tutorial

Dra. Judith Zubieta García

Comité Tutorial