

# **Propuesta de una Matriz energética sostenible a partir de la innovación en las tecnologías de las Celdas de Combustible para hidrógeno y biogás.**

**William Ernesto Camilo Reynoso, PhD.**

Unapec, Santo Domingo, Dominican Republic, [wcamilo@adm.unapec.edu.do](mailto:wcamilo@adm.unapec.edu.do)

**Luis Joyanes Aguilar, PhD.**

Unapec, Santo Domingo, Dominican Republic, [joyanes@gmail.com](mailto:joyanes@gmail.com)

**Cesar Adonis Félix, PhD.**

Unapec, Santo Domingo, Dominican Republic, [cfeliz@adm.unapec.edu.do](mailto:cfeliz@adm.unapec.edu.do)

## **ABSTRACT**

The proposed project has as main purpose lead advanced studies in areas of research related to the diagnosis of functional flaws technologies present and future of cells for fuel, with the objective of developing tools and diagnostic techniques that contribute, in the long run, the establishment of this technology on a massive scale in the Dominican Republic, the Caribbean and Central America. As a means to achieve this purpose, it will establish and develop a research centre on renewable energy issues. This Center will be located in the APEC University and will take as the name "Center of research energy of the Caribbean" (CIE). As a concrete result of the research, they develop, short-term, tools and integrated techniques of hardware and software that will help improve the reliability of fuel cell technology. It will also develop innovative methods to model and simulate the electrochemical fuel cell systems performance. The development of will be based on research which will be held on topics such as: 1) studies of fuel cell systems modeled as dynamic generators and information systems, 2) fuel cell systems entropic thermodynamic studies 3) studies of electrochemical processes with fuel cells.

**Keywords:** Diagnostic, energy, fuel cells, hydrogen, biogas

## **RESUMEN**

El proyecto propuesto tiene como propósito principal conducir estudios avanzados en áreas de investigación relacionadas al diagnóstico de fallas funcionales en las tecnologías presentes y futuras de celdas de combustible, con el objetivo fundamental de desarrollar herramientas y técnicas de diagnóstico que contribuyan, a largo plazo, al establecimiento de esta tecnología de forma masiva en la República Dominicana, el Caribe y Centro América. Como medio para lograr este propósito, se establecerá y desarrollará un centro de investigación en asuntos de energía renovable. Este centro estará ubicado en la Universidad APEC y llevará como nombre "Centro de Investigación Energética del Caribe" (CIE). Como resultado concreto de la investigación, se desarrollarán, a corto plazo, herramientas y técnicas integradas de hardware y software que contribuirán a mejorar la confiabilidad de la tecnología de celdas de combustible. También se desarrollarán métodos innovadores para modelar y simular el funcionamiento electroquímico de sistemas de celdas de combustible. El desarrollo de estará basado en la investigación que se efectuará sobre tópicos tales como: 1) estudios de sistemas de celdas de combustible modelados como sistemas dinámicos generadores de información, 2) estudios de celdas combustibles como sistemas entrópicos termodinámicos y 3) estudios de procesos electroquímicos con celdas de combustible.

**Palabras claves:** Diagnóstico, Matriz energética, Celdas Combustible, hidrógeno, biogas

## **1. INTRODUCTION**

El sector eléctrico en la República Dominicana ha enfrentado, durante más de 85 años, múltiples desafíos. Algunos han sido salvados exitosamente, mientras que otros, se han ido agravando con el paso del tiempo. En la actualidad uno de los grandes retos que enfrenta este sector es satisfacer de manera sostenible, la demanda energética actual y futura.

Según el Organismo Coordinador (OC) del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI), la operación del sistema nacional se ha caracterizado por una situación de déficit de suministro, agudizada por la creciente demanda y las inherentes limitaciones para ejecutar un plan agresivo de renovación de unidades que desplace las plantas obsoletas basadas en combustibles de alto costo. De acuerdo a datos de la Superintendencia de Electricidad (SIE) de finales del 2007, el 86% de la demanda eléctrica suplida en el país proviene de fuentes fósiles (61% petróleo, 16% gas natural, 9% carbón). Siendo el nuestro un país importador de petróleo, esta dependencia se sienta en la base del problema energético.

A pesar de las circunstancias agravantes que tiene este problema en la República Dominicana, sus raíces y efectos no son exclusivos al país. Para finales del mismo año el 84% de la producción energética en los EEUU provenía de fuentes fósiles (37% petróleo, 23% carbón y 24% gas natural) [1] y un 55.3% en la Unión Europea (3.3% petróleo, 29.4% carbón y 22.6% gas natural) [2]. Considerando las proyecciones de crecimiento en demanda, el auge de crecimiento en los países asiáticos, el impacto ambiental y que las reservas fósiles del planeta son finitas, puede entenderse el por qué a nivel global, la dependencia de la generación energética en combustibles fósiles se ha convertido en una de las preocupaciones primordiales de la humanidad.

Con ese ideal proponemos el establecimiento de una infraestructura de estudio de celdas de combustible (CC). Esta infraestructura hará posible el estudio de problemas abiertos en el manejo de celdas de combustible, como son los de extracción y visualización de parámetros operaciones, procesamiento de datos para inferir de manera no intrusiva el estado de elementos internos críticos en la operación de las celdas, y técnicas de instrumentación virtual que soporten la operación remota de las celdas con estrategias anticipativas de mantenimiento.

A la misma vez, se potenciará una estructura académica en la universidad para la enseñanza de disciplinas en torno al uso de celdas de combustible como fuentes alternas de generación energética, reforzadas por actividades prácticas alrededor de la infraestructura experimental en el CIE.

La propuesta de investigación presentada, abrirá las puertas para que en una fase ulterior de expansión, se puedan incorporar técnicas fotovoltaicas que conviertan la infraestructura básica de CC en un sistema regenerativo de electrólisis que mediante el uso de celdas solares aproveche la radiación solar para producir hidrógeno en un ciclo cerrado de agua. Esa expansión habilitará a la infraestructura que se creará como producto de esta propuesta de investigación, para la incursión en el campo investigativo en las áreas de eficiencia fotovoltaica, generación de hidrógeno y técnicas de modelaje dinámico del sistema generativo.

## **PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO**

La tecnología de celdas de combustible consiste en la generación de energía mediante el proceso de transformación electroquímica del hidrógeno y el oxígeno a través un medio transductor electrolítico. Unos de los problemas comunes que enfrenta la tecnología de celdas de combustible es la súbita e imprevista falla del transductor electrolítico el cual se construye comúnmente, por ejemplo, de una membrana eléctrica polimérica. Varios esfuerzos se han realizado en la comunidad científica con el objetivo de encontrar métodos de monitoreo para la predicción de fallas en esta parte del sistema, basados en extracciones puntuales de señales de voltajes y corriente, que de forma indirecta, permiten inferir el estado de la membrana. La carencia fundamental de estas investigaciones se centra en intentar buscar una mejora del desempeño global del sistema, basado en datos obtenidos con monitoreo puntual y su posterior inferencia. El espacio que viene a llenar esta investigación consiste en crear una novedosa infraestructura de investigación integral, tendente a buscar una solución al problema de desempeño de las celdas de combustible. El sistema propuesto se compone de monitoreo, modelado, y procesamiento de datos para transformarlos en información útil a la toma de decisiones.

Para la realización de investigación mediante la extracción y el procesamiento de datos obtenidos de la celda de combustible, se tratará dicha celda como un sistema básico de comunicación. Hasta donde llega el conocimiento de los autores de esta propuesta, esta novedosa modalidad de modelación, no ha sido formulada en el ambiente científico internacional en la actualidad.

Dos áreas de investigación serán privilegiadas, la primera área trata sobre el estudio de canales de comunicación que modelan membranas eléctricas poliméricas y sobre la caracterización de dichos canales de comunicación. La segunda área trata sobre el estudio de formulaciones de instrumentación virtual para, integrar de manera coherente, datos provenientes de diferentes elementos en un sistema de celdas de combustible y procesarlos con el objetivo de producir información útil a un usuario.

La estructura investigativa planteada, la cual queda enmarcada dentro del alcance antes expuesto, no solo contribuirá a revertir el rezago en el que se encuentra la República Dominicana en materia de investigación y desarrollo en el área de celdas de combustible, si no que en el mediano plazo, contribuirá con la generación de conocimiento tendente a incorporar este tipo de tecnología en forma masiva al Sistema Eléctrico Nacional, a través de esquemas de generación distribuida.

#### **Objetivo General:**

Diagnosticar fallas funcionales en celdas de combustible mediante el desarrollo de un sistema de instrumentación virtual y procesamiento de señales

#### **Objetivos Específicos:**

Instalar un sistema de celdas de combustible para efectos de investigación científica en el área de generación distribuida de energía renovable.

Establecer una infraestructura basada en tecnología de información (TI) para proveer datos generados por un sistema de celdas de combustible a usuarios interesados en la extracción y tratamiento de información de forma remota.

Desarrollar un sistema computación y de visualización basada en MATLAB, para el tratamiento de datos generados por el sistema de celdas de combustible, con la finalidad extraer información útil a un usuario.

Desarrollar un módulo de enseñanza para estudiantes y profesionales en el área de ingeniería sobre el manejo de celdas de combustible sufriendo cargas controla, y uso de sistemas de CC en esquemas de generación distribuida.

Desarrollar un módulo de enseñanza basado en conceptos fundamentales de teoría de comunicación y procesamiento de señales digitales para fomentar el estudio de la caracterización de sistemas de celdas de combustible a través de tratamiento y representaciones multidimensionales de datos generados por dichos sistemas.

### **Resultados e impactos esperados al término del proyecto:**

Un sistema de celdas de combustible instalado

Infraestructura de TI instalada para extraer datos del sistema de celdas de combustible de forma remota.

Programa computacional “toolbox” bajo plataforma de MATLAB, adecuado para procesar los datos generados por el sistema de celdas de combustible.

Módulo educativo para capacitación en el manejo de cargas controlables alimentadas por celdas de combustible, y uso de sistemas de CC en esquemas de generación distribuida

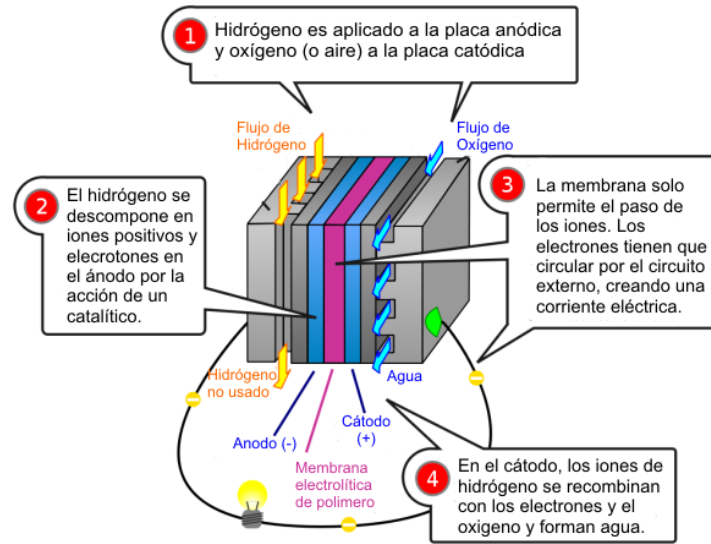
Módulo educativo para capacitación sobre conceptos fundamentales de teoría de comunicación y procesamiento de señales digitales para caracterizar sistemas de celdas de combustible a través de tratamiento y representaciones multidimensionales de datos generados por dichos sistemas

### **JUSTIFICACION E IMPORTANCIA**

La República Dominicana tiene una alta dependencia de combustibles fósiles, tanto para la generación de energía eléctrica, como para el sector transporte. Esta situación se agrava cuando agregamos a este hecho, la incertidumbre internacional impuesta por el cada vez menos disponible petróleo, seguido por sus sustitutos fósiles, como el gas natural y el carbón. Sumado a esta situación, está el reto del país en garantizar un desarrollo sostenible, que va de la mano con mantener y aumentar el crecimiento económico y social, que a su vez repercute en creciente demanda de energía. Por supuesto, todo lo anterior, debe enmarcarse en la garantía de la coexistencia de dicho desarrollo con la conservación del ecosistema natural que nos circunscribe.

Además de lo anteriormente señalado, el proyecto de investigación propuesto, se inscribe dentro del **Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2018** (PECYT+I), en el área de Energía y Biocombustible. Específicamente, en el campo de la fuentes alternativas de energía. Así mismo, esta propuesta investigativa forma parte del Plan Estratégico de la Universidad 2008-2013 en el que subraya la importancia de la investigación y la innovación como pilares del posicionamiento institucional de la universidad en la Sociedad Dominicana.

## ESTADO DEL ARTE



**Figura 1: Caracterización de una Celda de Combustible**

Una Celda Combustible (CC) es un reactor electroquímico muy parecido a una batería. La diferencia primordial es que una CC se le alimenta los reactivos continuamente versus las baterías en donde los reactivos se encuentran dentro del envase. Los reactivos de una CC son hidrógeno y aire. Del aire solo reacciona el oxígeno. El nitrógeno es inerte (no reacciona). El hidrógeno proviene de la descomposición de agua.

El calor puede utilizarse para calentamiento de agua en residencias. Otra aplicación de este calor es en sistemas de absorción para aire acondicionados. Esto sería para sistemas de más capacidad. De recuperarse el calor, las celdas de combustible pueden operar a eficiencias energéticas entre 60 y 80%. Esto sobrepasa las eficiencias energéticas de sistemas de combustión que son entre 35 y 50%.

Una de las aplicaciones más prometedoras de las CC consiste en su utilización como generadores puntuales dentro de un sistema de potencia distribuido. Su acople a la red puede realizarse mediante un inversor el cual convierte la corriente directa de la celda a corriente alterna. Otra alternativa sería su uso como generadores de emergencia silenciosos acoplados mediante una fuente ininterrumpida de potencia (UPS).

**Elementos a considerar para la producción del biogás para la alimentación de las Celdas de combustible.**

EXPECTATIVAS:

- 1.- Biogás es un combustible renovables disponible, con un gran potencial en el sector energético
- 2.- Biogás **une los sectores** de la energía con el sector de los residuos: SINERGIAS
- 3.- Biogás tiene muchas aplicaciones diferentes

- 4.- Pilas de combustible serán el núcleo del futuro energético
- 5.- Estas pilas requieren combustibles renovables
- 6.- Biogás puede ser usado en pilas, alcanzando altos niveles de eficiencia

Proceso reversible:

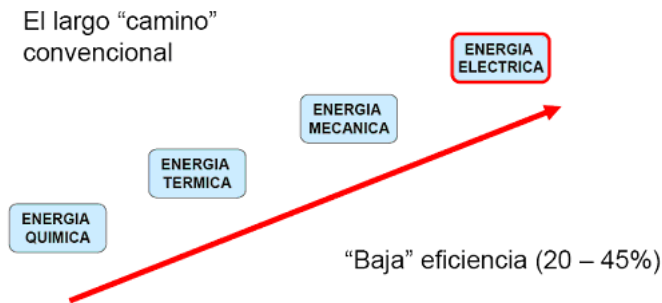
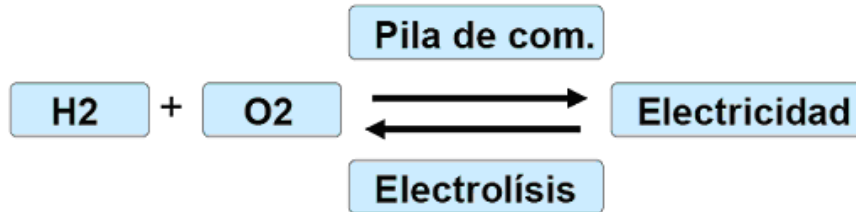


Figura 2: Proceso de conversión energética de una Celda de Combustible-Camino largo

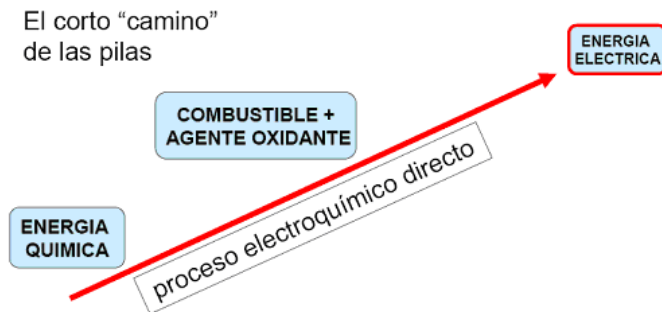


Figura 3: Proceso de conversión energética de una Celda de Combustible-Camino Corto

**Motivación:**

- Producción de energía limpia a partir del agua y de los desechos orgánicos
- Sostenibilidad del ecosistema por uso de metodología no intrusiva al medio ambiente
- Optimización de conversión uso
- Sistema de diagnóstico para el mantenimiento preventivo y correctivo de las Celdas de combustible.

**Tabla 1: Pilas vs. Biogás aptitud de las pilas hacia los componentes del biogás**

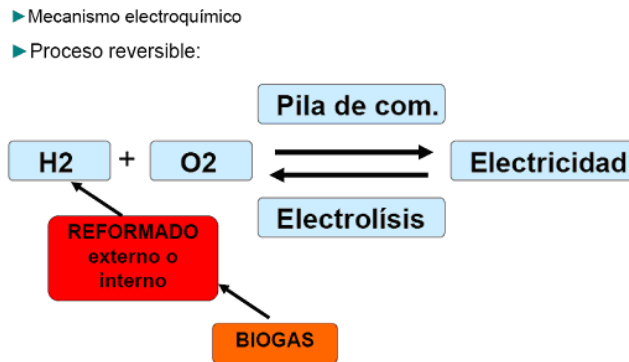
Componentes principales (%)	}	CH <sub>4</sub>	40 - 70 %
		CO <sub>2</sub>	30 - 50 %
		N <sub>2</sub>	0 - 20 %
		O <sub>2</sub>	0 - 5 %
Contaminantes principales (ppm)	}	H <sub>2</sub> S	0 - 2000 ppm
		Mercaptanos	0 - 100 ppm
Compuestos traza (mg/m <sup>3</sup> )	}	Siloxanos	0 - 100 mg/m <sup>3</sup>
		HC halogenados	0 - 100 mg/m <sup>3</sup>

**Tabla 2: Tipos de Pilas de Combustible**

FC-Typ Gas comp.	Temp.°C	Low Temperature FC ← ● → High temperature FC			MCFC 650	ITSOFC 800	SOFC 1000
		PEFC 80	AFC 100	PAFC 200			
H <sub>2</sub>	F	F	F	F	F	F	
CH <sub>4</sub> , C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	IG	poison	IG	IG/F	F	F	
CO <sub>2</sub>	IG	poison	IG	React.	IG	IG	
CO	poison (<50ppm)	poison (<50ppm)	poison (<50ppm)	F	F	F	
H <sub>2</sub> S, COS	nd	poison	poison (<50ppm)	poison (<0.5ppm)	poison	poison (<1.0ppm)	
NH <sub>3</sub>	poison	F	poison	F	F	F	

**Tabla 3: Pilas de Combustible-Descripción gral.**

AFC	90 - 100°C	Pilas de baja temperatura
PEM	60 - 100°C	
DMFC	60 - 100°C	
PAFC	175 - 200°C	Pilas de alta temperatura
MCFC	600 - 700°C	Pilas de alta temperatura
SOFC	800 - 1000°C	



**Figura 4: Mecanismo Electroquímico**

### PREGUNTAS DE INVESTIGACION

- ¿Qué sistema de diagnóstico de fallas funcionales de celdas de combustible permitirá mayor flexibilidad para captar y procesar información operacional del sistema, que pueda ser accedido tanto de manera local como de forma remota?
- ¿Cuáles elementos de la dinámica operacional de las celdas de combustible deben ser incorporado a un modelo que permita estudiar su aplicabilidad en un sistema eléctrico de potencia con esquema de generación distribuida?
- ¿Cuáles beneficios se obtienen al contar con un “toolbox” de MATLAB para procesar los datos generados por un sistema de celdas de combustible?
- ¿Cuáles son los criterios para parametrizar por segmentos la operación de las celdas de combustible?
- ¿Cómo se instrumentará el prototipo para analizar los datos provenientes de su operación en régimen permanente por medio del estudio del espectro de impedancia?

### Tareas Identificadas:

Coordinación para la instalación del sistema de celdas de combustible (SCC).

Programación, integración y manejo de los datos generados en el CIE

- Desarrollo del portal del CIE
- Creación y manejo de base de datos del CIE
- Mantenimiento equipos de computación y comunicación del CIE
- Desarrollo de software para apoyo del CIE

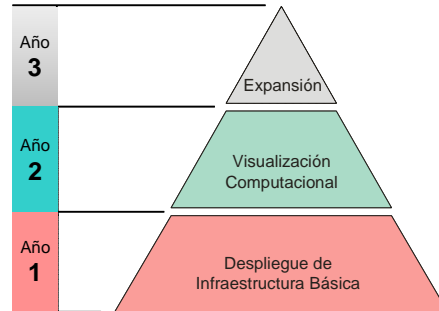
Gestión: Redacción de informes, tramitación de documentos, permisos y reglamentos, manejo de estudiantes, enlace administrativo para los asesores científicos, oficial de enlace con la administración de la universidad en aspectos científicos para el CIE.

-Disponibilidad de MATLAB con las herramientas de Simulink y procesamiento de señales



### Metodología:

Desarrollo de algoritmos basados en la instrumentación virtual de sistemas de celdas de combustible, formulación de algoritmos basados en el estudio de entidades físicas observables representadas en términos de secuencias numéricas en función de tiempo y su tratamiento como señales discretas con atributos estructurales de tiempo-frecuencia y formulación de algoritmos basados en la visualización en tiempo real de información procedente de arreglos de celdas de combustibles.



**Figura 5: Plan de trabajo**

En lo referente al alcance propuesto para esta convocatoria, la metodología de desarrollo consistirá de dos etapas: Despliegue Básico y Visualización Computacional. Se vislumbra una tercera etapa de expansión para acción futura en la investigación del modelaje, monitoreo virtual, y diagnóstico del sistema generatriz, como parte de una potencial propuesta de continuidad al trabajo propuesto en este documento.

#### **Etapas 1: Despliegue Básico (año 1)**

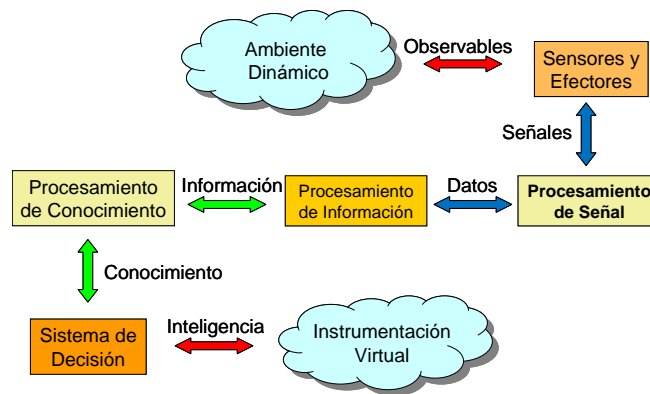
Establecimiento de Infraestructura Básica

- Celda de Combustible
- Sistema Inversor o carga electrónica
- Suministro de Hidrógeno o biogas
- Nodo Computacional para Instrumentación Virtual
- Sistema de Comunicación de Información

Resultados al final de la etapa:

- Despliegue de infraestructura básica
- Demostración funcional parametrizada por segmentos

#### **Etapas 2: Visualización Computacional (año 2)**



**Figura 6: Ecosistema de la investigación**

## BIBLIOGRAFIA

- [1]. Renewable Energy Consumption and Electricity Preliminary Statistics 2008, Reporte del Departamento de Energía de los Estados Unidos, disponible en <http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.html>, Julio de 2009
- [2]. Europe's Energy Position: Markets and Supply Report 2009, Directorado General de Energía de la Unión Europea, Disponible en <http://www.energy.eu/>, January 2010.
- [3]. J.A. Botas et al. La Economía del Hidrógeno. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (ESCET), Universidad Rey Juan Carlos. Disponible en: <http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/documentos/LAECONOMIADELHIDROGENO.pdf>
- [4]. BP. Statistical Review of World Energy. London. 2004
- [5]. N. Fouquet et al. "Model Based PEM Fuel Cell State-of-Health Monitoring Via AC Impedance Measurements". *Journal of Power Sources*, vol 159, pp 905-913, Dec, 2005.
- [6]. D. Brunner et al. "A Robust Cell Voltage Monitoring System for Analysis and Diagnosis of Fuel Cell or Battery Systems." *Journal of Power Sources*, vol 54, pp 7, Jun, 2010
- [7]. E. Ramschak et al. "Detection of Fuel Cell Critical Status by Stack Voltage Analysis." *Journal of Power Sources*, vol. 157, pp 837-840, Feb, 2006

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*