

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO DE UN CONVERTIDOR DE POTENCIA AISLADO PARA SISTEMA EXPERIMENTAL DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS

**Práctica Profesional Supervisada
Tomás Tavella**



Ing. Jorge L. Anderson
DOCENTE
SUPERVISOR

INSTITUTO LEICI
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNLP

Ing. Claus Mancini
PROFESIONAL
RESPONSABLE

AGRADECIMIENTOS

FALTAN LOS AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

Este trabajo consiste del estudio, diseño, implementación y validación de una plataforma experimental para la evaluación de sistemas híbridos de generación energía (SHGE) a partir de pilas o celdas de combustible de tipo PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*). Esta plataforma consiste en un sistema de conversión electrónico de tipo CC-CC conmutado y aislado, de topología puente completo; monitoreado mediante la medición de sus estados, y controlado por una excitación de tipo PWM (*Pulse-Width Modulation*) provista por un DSC (*Digital Signal Controller*) de alta performance. Este convertidor es requerido para poder adaptar la tensión variable que entrega una celda de combustible a una tensión de salida fija para conectar a un bus común de corriente continua.

En el desarrollo de este informe se detallan las tareas realizadas para cumplir este objetivo: el estudio y comprensión de las topologías de conversión CC-CC; la simulación de la topología elegida mediante herramientas de simulación circuitales; el diseño de circuitos auxiliares de excitación, sensado y protección; la implementación del sistema en una placa de circuito impreso mediante software EDA (*Electronic Design Automation*); la programación de los algoritmos de control del sistema; y, finalmente la validación experimental de la plataforma.

ABSTRACT

This work entails the study, design, implementation and validation of an experimental platform for the evaluation of hybrid energy generation systems based on Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). This platform incorporates a full-bridge isolated switched-mode DC-DC electronic converter, monitored via the measurement of its state variables, and controlled by a pulse-width modulated (PWM) signal, generated using a high-performance Digital Signal Controller (DSC). This converter provides the adaptation from the variable output voltage of the PEMFC to the fixed voltage of the common DC bus at the system output.

This report details the process through which the goals were achieved: study and understanding of the different DC-DC converter topologies, simulation of the selected converter topology using circuit simulation tools, design process of auxiliary circuits, including driver, sensing and protection circuits, implementation of the system PCB (printed circuit board) through the use of electronic design automation (EDA) software, programming of system control algorithms, and experimental validation of the working platform.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	Sistemas Híbridos de Generación de Energía	8
	REFERENCIAS	11

INTRODUCCIÓN

CONTEXTO ENERGÉTICO Y CIENTÍFICO GLOBAL PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

El precipitado incremento de la población mundial en las últimas décadas, causado por el acelerado desarrollo tecnológico humano a partir de mediados del siglo XX, ha generado un exponencial aumento de demanda energética para poder satisfacer los constantemente crecientes requerimientos de la población. En respuesta a esta incrementada demanda del sistema energético mundial, los países comenzaron a crecer su capacidad instalada de plantas de generación en base a la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas, etc.), sin tener en cuenta el catastrófico impacto que tienen sobre la biósfera terrestre sus grandes emisiones de gases de efecto invernadero, como dióxido de carbono y metano.

Hoy en día, más de medio siglo después, las consecuencias de este desmedido incremento del consumo global de combustibles fósiles se pueden observar claramente en la temperatura promedio del aire superficial de la Tierra, que ya es más de 1 °C mayor a temperaturas medidas a principio del siglo previo (figura 1.1)^[1], con algunos estimados conservadores de más de 2,5 °C para finales de siglo.^[2] Los efectos perjudiciales de este incremento de temperatura se pueden ver en muchas partes, como la extinción de especies, el retroceso de los glaciares, el aumento de incidencia e intensidad de fenómenos climatológicos extremos (tormentas, sequías, olas de calor, etc.), entre muchos otros.

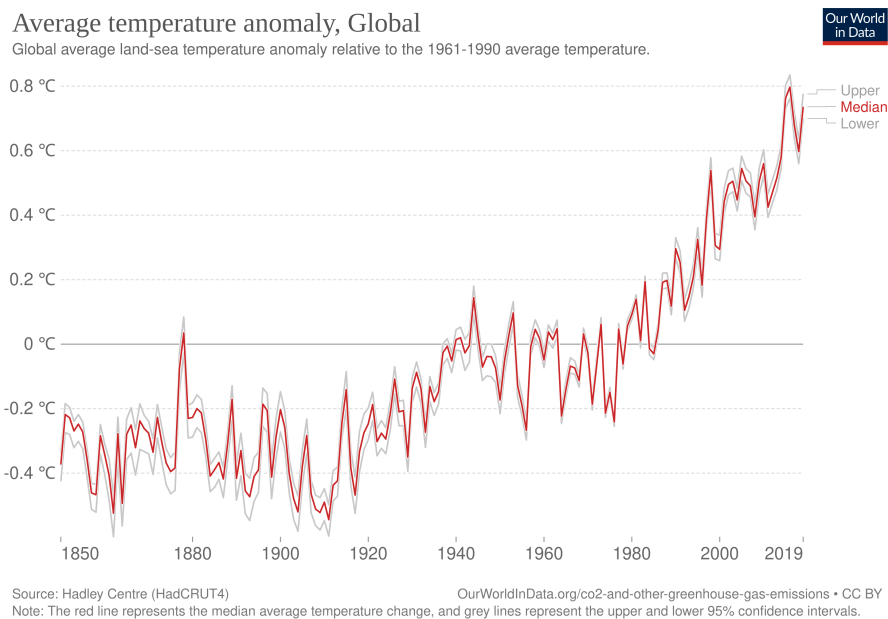


FIGURA 1.1 Temperatura superficial promedio del planeta, relativo a la del período 1961-1990, desde 1850 hasta 2019.

Sin embargo, los combustibles fósiles y fuentes de energía no renovables siguen conformando una mayoría en el panorama de generación energética global: en el año

2019, alrededor del 85 % de la energía producida mundialmente provino de fuentes no renovables (figura 1.2).^[3] Para frenar el avance del cambio climático, se debe acelerar el ritmo de adopción de energías alternativas como reemplazo de los combustibles fósiles, disminuyendo la emisión de CO₂ y metano en la atmósfera.



FIGURA 1.2 Consumo global de energía primaria según fuente, desde 1950 hasta 2019.

Con esta motivación, el Instituto de Investigaciones en Electrónica, Control y Procesamiento de Señales (LEICI) de la Facultad de Ingeniería de la UNLP se embarcó en el proyecto “Electrónica de Potencia y Sistemas de Control Avanzado Aplicados a Fuentes de Energía Alternativas”, dentro del cuál se enmarca el presente trabajo, que utiliza celdas de combustible en Sistemas Híbridos de Generación de Energía como fuente de energía alternativa.

1.1 SISTEMAS HÍBRIDOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

Un Sistema Híbrido de Generación de Energía (SHGE), en su descripción más general, es un sistema que combina distintas fuentes de energía, aprovechando las ventajas y suplementando las falencias de cada una de ellas. Generalmente, estos sistemas suelen combinar múltiples fuentes de energías alternativas, como pueden ser, por ejemplo, generación solar mediante paneles y eólica mediante turbinas.^[4]

En nuestro caso, el sistema consiste en el módulo de generación principal basado en celdas de combustible, un módulo de generación alternativo como podría ser un sistema eólico o solar, un Sistema de Almacenamiento de Energía (SAE) basado en un banco de supercapacitores, y adicionalmente un electrolizador para alimentar combustible a las celdas. Todos estos módulos son adaptados mediante sistemas de conversión eléctrica de potencia y conectados a un bus común de corriente continua (CC) con una tensión fija de 75 V (figura 1.3).^{[5][6]}

En este sistema, el módulo de generación por celdas de combustible se encarga de entregar el nivel de potencia necesario para satisfacer la potencia demandada por la carga en el bus de CC. Mientras tanto, el módulo de generación alternativo tiene el rol de proveer potencia a la carga cuando el módulo de generación principal no es capaz de satisfacer por completo la demanda. El SAE aprovecha la capacidad de rápida

de descarga de los supercapacitores junto con su alta capacitancia (almacena grandes cantidades de energía) para darle al SHGE velocidad de respuesta ante repentinos cambios de potencia demandada, a los que los módulos de generación no son capaces de responder a tiempo (luego, en momentos de menor demanda toma energía del sistema para cargar los supercapacitores). Finalmente, el electrolizador toma energía del sistema para generar el hidrógeno necesario para el funcionamiento de las celdas de combustible a partir de agua, mediante la reacción de electrólisis que se explicará en detalle más adelante.^[6]



FIGURA 1.3 Sistema Híbrido de Generación de Energía (SHGE), con flujos de potencia indicados para cada módulo.

En particular, este trabajo se enfoca en el estudio, diseño, implementación y validación de una plataforma experimental para la evaluación del Módulo de Celdas de Combustible para sistemas híbridos de generación de energía.

Todo lo que refiere a esta plataforma se va a tratar en detalle a lo largo del desarrollo de los siguientes capítulos de este informe. Se comienza por un estudio en profundidad de la teoría de funcionamiento de sus componentes, pasando por una simulación de toda la plataforma para verificar su funcionamiento. Luego, se describe el proceso por el cual se diseñó e implementó el sistema en una placa de circuito impreso (PCB, de *Printed Circuit Board* en inglés); y se concluye el trabajo con la validación del correcto funcionamiento de la plataforma terminada.

REFERENCIAS

- [1] Colin P. Morice et al. «Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set». En: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 117.D8 (2012). doi: 10.1029/2011JD017187.
- [2] UNEP Copenhagen Climate Centre (UNEP-CCC) UNEP. «Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered – Executive Summary». En: *United Nations Environment Programme* (2021).
- [3] V. Smil. *Energy Transitions: Global and National Perspectives, 2nd Edition*. ABC-CLIO, LLC., 2016. ISBN: 978-1440853241.
- [4] Asmae Berrada y El Rachid Mrabet. *Hybrid Energy System Models*. Amsterdam: Academic Press, 2020. ISBN: 978-0-12-821403-9.
- [5] J.J. Talpone et al. «Experimental platform for development and Evaluation of hybrid generation systems based on fuel cells». En: *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (2012), págs. 10346-10353.
- [6] Jorge L. Anderson, Paul F. Puleston y Pedro Fornaro. «Control de Sistema Híbrido de Energía Basado en Pilas de Combustible y Supercapacitores». En: ().