

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

RESUMEN

Este trabajo consiste del diseño y fabricación de una placa de circuito impreso o PCB (del inglés *Printed Circuit Board*) para el convertidor de potencia aislado de una plataforma experimental de evaluación de sistemas híbridos. Se debe implementar un circuito de alta complejidad, de más de 150 componentes discretos, en una PCB de doble capa (doble faz) de dimensiones reducidas. Para estas tareas, se utilizó la herramienta de automatización de diseño electrónico (EDA, del inglés *Electronic Design Automation*) KiCad, un software libre y gratuito de nivel profesional.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
2	DESARROLLO	7
2.1	Consideraciones Generales.	8
2.1.1	Software EDA	8
2.1.2	Aislación de Tierras.	8
2.1.3	Selección de Componentes.	8
2.1.4	Anchos de Pistas	9
2.2	Descripción Circuital	10
2.3	implementación en PCB	11
	REFERENCIAS	14

INTRODUCCIÓN

CONFIGURACIÓN DE LA PLATAFORMA EXPERIMENTAL Y LOS BLOQUES QUE LA COMPONENTEN

Previo a comenzar con el diseño de la placa de circuito impreso, debemos introducir la plataforma que se tiene que plasmar en esta PCB, explicando brevemente su funcionamiento y los bloques principales y auxiliares que la componen. Se puede apreciar un diagrama de esta plataforma, separada en sus distintos bloques funcionales en la figura 1.1.

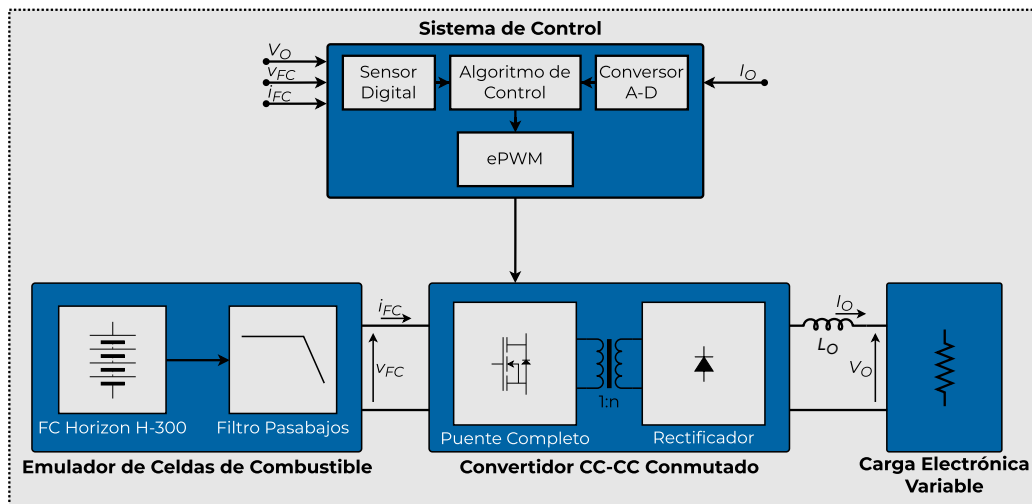


FIGURA 1.1 Diagrama de la plataforma experimental de evaluación de celdas de combustible.

Esta plataforma, como indica su nombre, tiene como objetivo la evaluación empírica de sistemas híbridos, que son sistemas de generación de energía que combinan múltiples módulos de generación y almacenamiento de energía, generalmente renovables, que luego son todos conectados a un bus de potencia, generalmente de corriente continua (CC).

Particularmente, este sistema evalúa el rendimiento de un módulo de generación a partir de pilas de combustible, con una tensión de pila en la entrada V_{FC} variable entre 30 V y 65 V, y una tensión de salida común fija de 75 V. Para realizar esta adaptación de niveles de tensión, se utilizó un convertidor CC-CC conmutado y aislado de tipo puente completo, que es controlado mediante el sistema de control basado en un controlador digital de señales (DSC, del inglés *Digital Signal Controller*).

Los circuitos de estos bloques y el resto de bloques auxiliares de la figura 1.1 se van a tratar uno por uno a lo largo del desarrollo de este informe, detallando su diagramas circuitales y como estos se implementaron en la plaqueta.

DESARROLLO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO DE LA PLATAFORMA DE EVALUACIÓN

En este capítulo vamos a tratar la implementación de la plataforma experimental completa de la figura 2.1 sobre una placa de circuito impreso. Dada la complejidad de todos los circuitos de este sistema, con una cantidad de componentes que supera los 150, se decidió implementar una PCB doble faz o doble capa, con unas dimensiones de aproximadamente 15 cm x 15 cm. En tanto a su construcción, se utiliza el sustrato FR-4 estándar (laminado de resina epoxi reforzado con vidrio) y vías de tipo PTH (del inglés *Plated Through-Hole*).

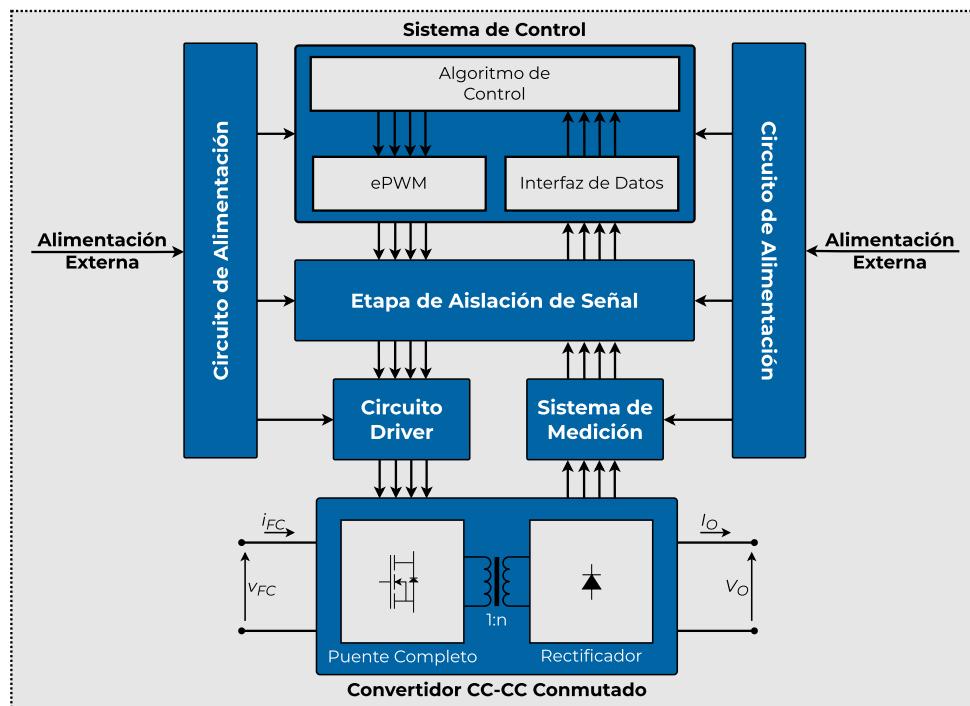


FIGURA 2.1 Diagrama detallado de la plataforma experimental de evaluación, con los seis bloques que la componen.

Como se ve en el diagrama detallado de la plataforma, esta cuenta con seis bloques principales a ser implementados en la plaqueta: los dos bloques principales (el convertidor y el bloque de control) y los cuatro bloques auxiliares restantes que se encargan de diversas tareas como la adquisición de datos y la alimentación de los circuitos, entre otras. Vamos a comenzar por una breve descripción de los circuitos de cada bloque y sus componentes, para luego pasar a la implementación de todos estos en la PCB.

Antes de comenzar, vamos a establecer una serie de consideraciones de diseño generales que aplican a todos los circuitos a implementar y componentes a elegir.

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

2.1.1 SOFTWARE EDA

Para realizar el diseño de todos los esquemas circuitales del sistema, y luego plasmarlos a una placa de circuito impreso se debe utilizar un herramienta de automatización de diseño electrónico o EDA (del inglés *Electronic Design Automation*). Existe una gran variedad de programas que cumplen este propósito, estando entre los más conocidos el *Altium Designer* de *Altium*, el *EAGLE* de *Autodesk*, el *KiCad* y el *Proteus Design Suite* de *Labcenter Electronics*.

Para este proyecto se eligió utilizar la plataforma **KiCad** (que se encuentra en la versión 6.0.7 al momento de escribir este informe), una suite de software libre, gratuita y de código abierto que incluye todas la funcionalidades necesarias para el diseño electrónico. Cuenta con herramientas de captura de esquemático, diseño de PCB, simulación mediante SPICE o Ngspice, visualización de archivos de fabricación y cálculos de diseño de PCB.



FIGURA 2.2 Logotipo de la plataforma KiCad EDA.

El programa también cuenta con una extensa biblioteca de componentes y *footprints* (son las “huellas” de los componentes en el circuito impreso) y la capacidad de crear o importar bibliotecas. Además tiene la capacidad de generar archivos de fabricación, modelos tridimensionales de la PCB y una *bill of materials* (lista de componentes).

2.1.2 AISLACIÓN DE TIERRAS

En toda la plataforma se va a trabajar con tres puestas a tierra distintas y aisladas entre sí: GND_1 es la tierra del primario del convertidor, GND_2 es la tierra del secundario del convertidor, y GND_D es la tierra de las partes de señal y digitales, como los sensores y el DSC.

Esto, si bien agrega una mayor complejidad al diseño, es ventajoso por múltiples razones. Primero, evita la generación de interferencia de modo común entre las tierras del convertidor (GND_1 y GND_2) que manejan altas corrientes y por lo tanto son más ruidosas; y la tierra de señal GND_D de más bajas corrientes que es más sensible al ruido. Además, dadas las altas corrientes del convertidor, esta separación permite la protección de los circuitos de señal ante picos de corriente y tensión inesperados en la parte de potencia.

En la PCB, las tierras se implementan mediante la funcionalidad de KiCad (y otros software EDA) llamada *fill zone* o rellenar zona, que permite elegir una zona en la placa que es rellenada de cobre en todos los lugares donde no existan otras pistas. Esto facilita la interconexión de todos los componentes, en especial dado que la gran mayoría de estos tienen al menos una conexión a tierra.

2.1.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES

Para todos los componentes en los que sea posible, se eligieron encapsulados de tamaño reducido y de montaje superficial (SMD, del inglés *Surface Mounted Devices*).

Estos son encapsulados, que como su nombre indica, son montados sobre la superficie de la placa, sin necesidad de una perforación que la atraviese (como es el caso de la tecnología THT o *through-hole*). Esto facilita el ruteo de las pistas de cobre, dado que si una pista pasa por la capa opuesta de un componente SMD, no es necesario esquivar los pines del mismo, que se encuentran únicamente de un lado de la PCB.

2.1.4 ANCHOS DE PISTAS

La selección de los anchos de las pistas de cobre de las distintas partes del circuito es un parámetro sumamente importante, y presenta una situación de compromiso entre la superficie ocupada por las pistas y su pérdida de potencia (y elevación de temperatura). Para realizar estos cálculos se utiliza la herramienta *PCB Calculator* incluida en la suite de KiCad, que tiene la capacidad de realizar múltiples cálculos de utilidad en el diseño de PCBs, incluido el cálculo de ancho de pista, basado en la ecuación definida por la norma IPC-2221.

$$I = K \cdot (\Delta T)^{0,44} \cdot (1550 \cdot W \cdot H)^{0,725} \quad (2.1)$$

Donde I es la corriente circulante por la pista en [A], K es una constante definida por la norma de valor 0,048 para pistas externas, ΔT es la elevación de temperatura de pista en [°C], y W y H son el ancho y grosor de la pista en [mm].

En nuestro caso, vamos a tomar un **grosor H fijo de 0,035 mm** para ambas capas de cobre, que es un valor estándar; y una **elevación de temperatura de pista máxima de 20 °C**. Con estos valores fijados, se calculará el ancho W de cada pista de la plaqueta.

Para las pistas de señal ubicadas en la parte digital de la plataforma, se decidió utilizar como estándar un ancho de pista W de 0,25 mm, que dadas las bajas corrientes que estas manejan (rara vez por encima de 100 mA), su temperatura no llega a elevarse ni 1 °C según la ecuación 2.1. Además, este es un ancho muy reducido, cercano a los límites de fabricación de múltiples fabricantes de placas locales.

2.2 DESCRIPCIÓN CIRCUITAL

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

2.3 IMPLEMENTACIÓN EN PCB

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

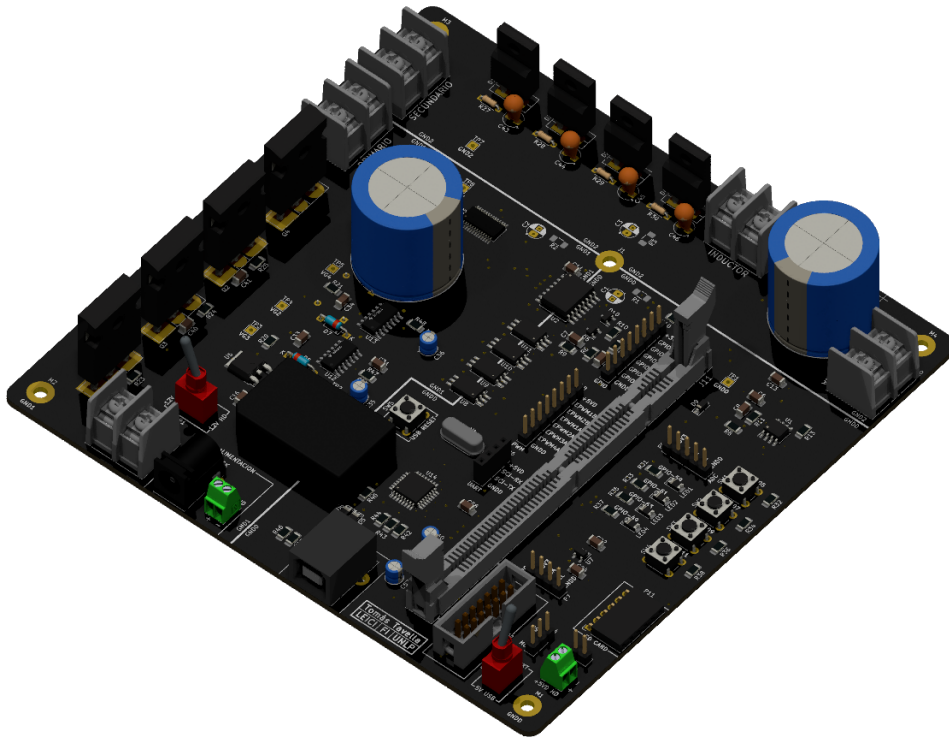


FIGURA 2.3 Modelo tridimensional de la implementación en PCB de la plataforma con todos sus componentes, vista desde la parte superior.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

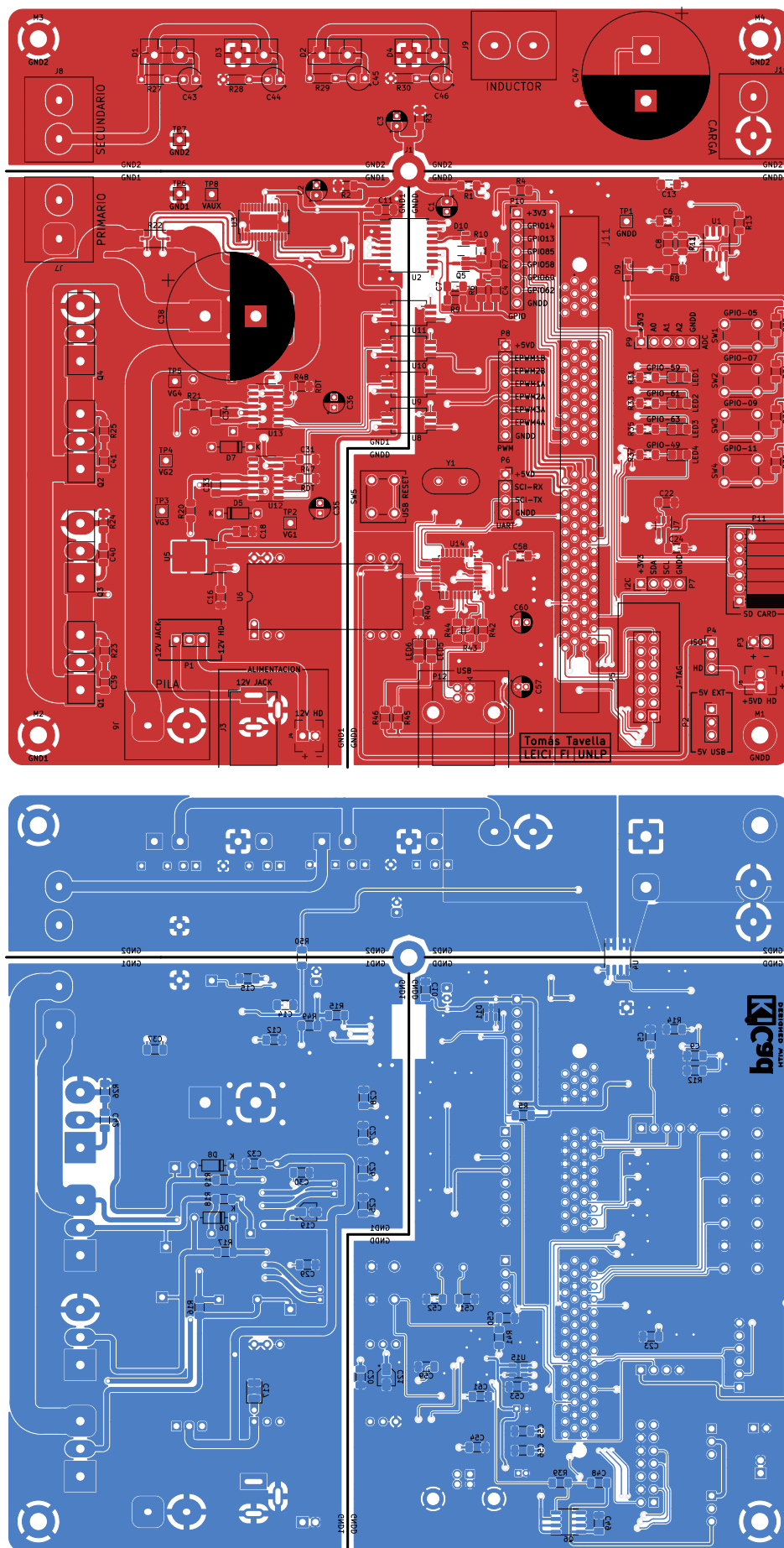


FIGURA 2.4 Diagrama de ambas capas de cobre de la PCB. La imagen superior corresponde a la capa frontal y la inferior a la capa trasera.

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: ().