

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

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	DESARROLLO	5
2.1	Actividades Realizadas.	6
2.1.1	Selección de Footprints	6
2.1.2	Posicionamiento y Conexión de Footprints	6
2.1.3	Verificación del Diseño	7
2.1.4	Contacto con Fabricantes	7
2.2	Dificultades y Contratiempos	8
2.2.1	Cambio de Componentes	8
2.2.2	Placa Adaptadora	8
3	CONCLUSIONES	9

INTRODUCCIÓN

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.

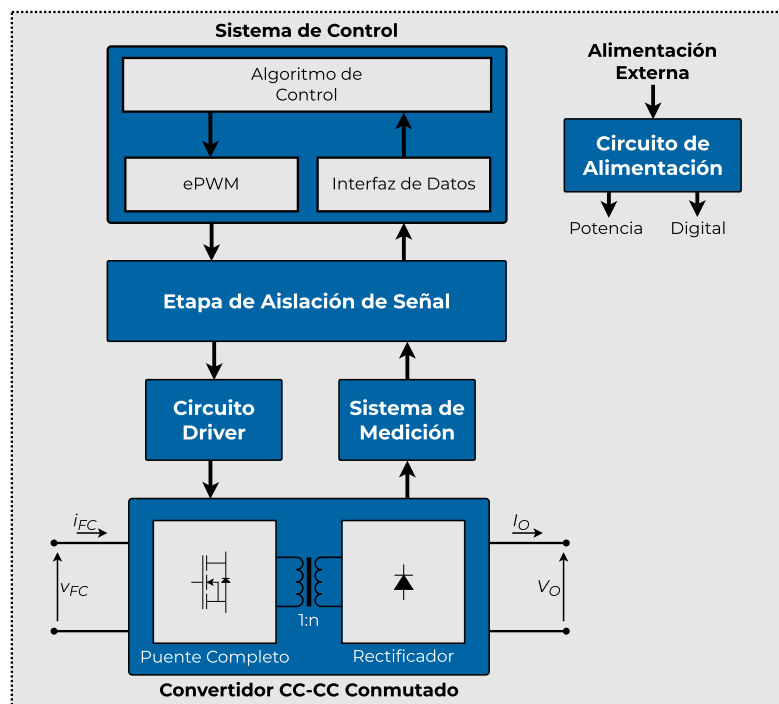


FIGURA 1.1 Diagrama de la plataforma experimental de evaluación de celdas de combustible.

Esta plataforma tiene como objetivo la adaptación de la interconexión de bloques en sistemas híbridos, sistemas complejos que combinan (o hibridan) múltiples módulos de generación y almacenamiento de energía, generalmente renovables, que luego se conectan a un bus de potencia de corriente continua (CC).

Particularmente, este sistema adapta el módulo de generación a partir de pilas de combustible para utilizar en un sistema híbrido, 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 estos niveles de tensión, se utilizó un convertidor CC-CC conmutado y aislado de tipo puente completo, que se regula mediante un sistema de control basado en un microcontrolador de tiempo real de la línea C2000 de Texas Instruments.

Previo a la realización de esta PPS, se trató el diseño circuital de la plataforma, construyendo los circuitos correspondientes a cada uno de los bloques que se muestran en la figura 1.1. Con estos circuitos diseñados, nos es posible pasar a su implementación en la placa de circuito impreso.

DESARROLLO

Partiendo de los esquemas circuitales que conforman la plataforma, que en total cuenta con 185 componentes discretos, se procedió a su implementación en una placa de circuito impreso. Como guías generales para su diseño, se estableció que la PCB debía ser de 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*). En la siguiente figura se puede observar un modelo tridimensional de la plaqueta finalizada, con todos los componentes en sus lugares correspondientes.

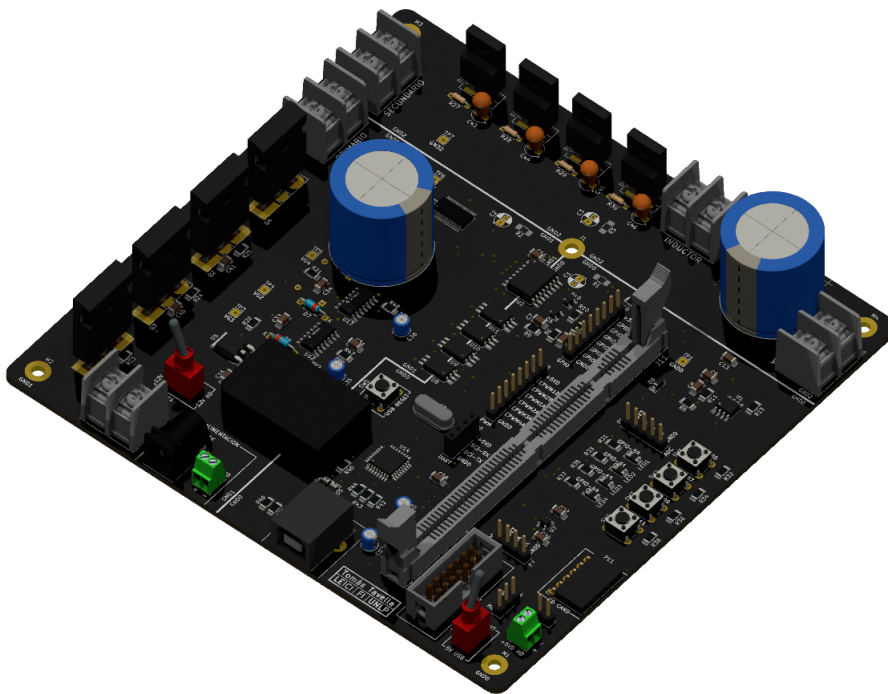


FIGURA 2.1 *Modelo tridimensional de la implementación en PCB de la plataforma con todos sus componentes, vista desde la parte superior.*

Con este fin se utilizó el software de diseño electrónico **KiCad**, una suite de software libre, gratuita y de código abierto que incluye todas las 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. Dada la falta de experiencia con este tipo de software, las formas de utilización de la herramienta se aprendieron a medida que se iba completando el trabajo.

2.1 ACTIVIDADES REALIZADAS

2.1.1 SELECCIÓN DE FOOTPRINTS

Para comenzar el desarrollo de la PCB, primero se tomó la lista de componentes de la plataforma, provista por el programa, y se le asignó a cada uno de los componentes una *footprint*, que es el patrón de pads (para dispositivos de montaje superficial o SMD) u orificios (para dispositivos de tecnología *through-hole* o THT) de un componente sobre la superficie de la placa, sobre el cuál luego se suelda el componente apropiado.

Para esta plataforma se decidió utilizar, siempre que fuese posible, componentes de tipo SMD, ya que estos no atraviesan la placa y facilitan el ruteo de pistas de cobre al no ocupar espacio en la capa opuesta de la placa. Casi todas las resistencias y capacitores que se utilizan en la placa son de montaje superficial, de dimensiones 1206 (3 mm x 1,5 mm), ya que es un tamaño bastante reducido que es fácil de conseguir en proveedores locales. En la figura 2.2 se puede ver este junto con otros encapsulados utilizados en la plataforma.

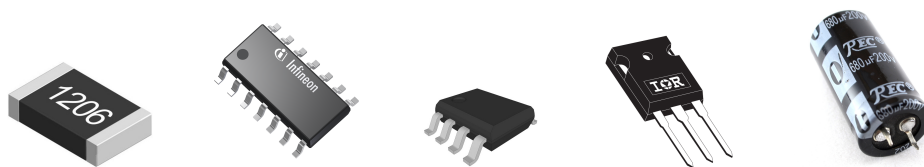


FIGURA 2.2 Algunos de los encapsulados que utilizan los componentes de la placa de circuito impreso. Componentes fuera de escala.

Para esto se comenzó utilizando la biblioteca de footprints y componentes disponible por defecto en el programa. Pero rápidamente se hizo claro que esto es insuficiente, por lo que se tuvo que recurrir a páginas web como *SnapEDA*, que tiene un catálogo gratuito de footprints y símbolos esquemáticos para una enorme cantidad de componentes electrónicos.

2.1.2 POSICIONAMIENTO Y CONEXIÓN DE FOOTPRINTS

Una vez seleccionadas todas las footprints necesarias, se posicionaron las mismas de la manera más compacta posible en las dos capas de cobre disponible, dando suficiente espacio para luego poder rutear las pistas de cobre que conectan los distintos componentes del sistema. Para esto se tuvo en cuenta que la plataforma cuenta con tres distintas puestas a tierra: GND_1 para el lado primario del convertidor, GND_2 para el lado secundario, y GND_D para las partes digitales y de señal. Esto se realiza con el propósito de aislar las partes de señal de la plataforma, más sensibles al ruido, de las partes de potencia más ruidosas, además de proteger a los circuitos sensibles de posibles picos de tensión y corriente.

Para el caso de los circuitos integrados, como el sensor LM5056A o el aislador de señal ISO7242C, se siguieron las recomendaciones de los fabricantes encontradas en las hojas de datos, que establecen guías de posicionamiento y conexión de componentes auxiliares, como capacitores y resistencias, respecto a los dispositivos (por ejemplo, los capacitores de bypass de los pines de alimentación deben estar lo más cerca posible del integrado).

Trazado y Dimensionamiento de Pistas

Una vez ordenados los componentes (separados apropiadamente según la puesta a tierra que le corresponde), se procedió a hacer el trazado o ruteo de las pistas de cobre

que interconectan todos los distintos componentes, al mismo tiempo que se decidía por la dimensión de las mismas.

Todas las pistas de cobre en la PCB se dimensionaron según la ecuación establecida por la norma IPC-2221, que permite calcular el ancho W (en mm) necesario para una que una pista de cobre de grosor H (en mm) con una corriente circulante I (en A) no eleve su temperatura más de ΔT grados centígrados.

$$I = 0,048 \cdot (\Delta T)^{0,44} \cdot (1550 \cdot W \cdot H)^{0,725} \quad (2.1)$$

En este caso, se eligió un grosor H fijo de 0,035 mm con una máxima elevación de temperatura ΔT de 20 °C. Entonces, reemplazando la corriente por el máximo valor de corriente que puede circular por una pista, se puede despejar su ancho mínimo W en mm.

En el caso de las tres puestas a tierra, se utilizó la funcionalidad *fill zone* o rellenar zona en lugar de utilizar pistas individuales, principalmente por sus beneficios en disipación térmica del calor generado por las altas corrientes, además de mejorar la inmunidad electromagnética del sistema. Esta funcionalidad permite elegir una zona de una o varias capas de cobre y rellenarla con cobre en todas las partes en las que no haya una pista preexistente, para luego conectar todos los terminales correspondientes a una de las tierras a este plano de cobre.

Siempre se intenta mantener las pistas, en especial las de altas corrientes, en la misma capa de cobre. En caso de no ser posible, ya sea por componentes que se interponen en el camino u otras razones, se utilizan *vías PTH*, que son perforaciones en la placa con sus paredes recubiertas por material conductor, que permiten conectar eléctricamente pistas en distintas capas de cobre.

2.1.3 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO

Con los componentes organizados y conectados mediante pistas de cobre, se obtuvo una versión preliminar de la placa de circuito impreso doble capa de dimensiones de 15 cm x 16 cm. Pero, previo a generar los archivos de fabricación definitivos, se realizó una verificación del diseño e implementación de la plataforma en la PCB, utilizando la funcionalidad DRC (*Design Rules Checker* o Verificador de Reglas de Diseño). Esta funcionalidad permite ingresar las tolerancias y límites de fabricación, como por ejemplo la mínima distancia entre pistas, y al ejecutar la herramienta el programa indica los lugares de la PCB en los cuáles se está debajo de la mínima tolerancia de fabricación.

En este caso, se eligió el fabricante de placas de circuito impreso Mayer Circuitos Impresos, de origen nacional, radicado en la ciudad de Buenos Aires. Según lo especificado, este fabricante tiene tolerancias de fabricación suficientemente bajas, con las más importantes presentadas a continuación: separación mínima entre pistas y ancho mínimo de pistas de 0,15 mm, separación mínima entre agujeros de 0,2 mm, ancho mínimo de pads THT de 0,3 mm, ancho mínimo de pads SMD de 0,25 mm, separación mínima entre pads (para máscara anti-soldadura) de 0,2 mm.

2.1.4 CONTACTO CON FABRICANTES

Con el diseño de la plaqueta finalizado y verificado, se generaron los archivos de fabricación *Gerber* finales, con los que los fabricantes pueden producir las PCB. Entonces, se contactó por medio de correo electrónico al fabricante elegido, Mayer Circuitos Impresos, buscando un presupuesto para establecer el valor de la fabricación. Con el presupuesto obtenido, se enviaron los archivos obtenidos previamente para que se pudiera comenzar el proceso de elaboración, con un tiempo estimado para completar el proceso de un mes.

2.2 DIFICULTADES Y CONTRATIEMPOS

Durante el proceso de diseño de la placa de circuito impreso se presentaron múltiples inconvenientes inesperados que tuvieron que ser resueltos para poder concretar un diseño de circuito impreso funcional. Muchos de estos inconvenientes estuvieron dados por falta de experiencia en el ámbito de diseño de PCB y utilización de software EDA, como también por problemas de disponibilidad de algunos de los componentes seleccionados a la hora del diseño circuital de la plataforma.

2.2.1 CAMBIO DE COMPONENTES

Muchos de los componentes a utilizar en la plataforma se eligieron durante la fase de diseño de circuitos, previo a la fase de diseño de PCB. Esto generó el dilema de que algunos componentes que se eligieron en ese momento (como el driver UCC21540 de Texas Instruments), a la hora de comenzar la PCB ya no se encontraban más en disponibilidad. Como muchos de estos componentes tenían también una disponibilidad baja y se podían acabar en cualquier momento, se decidió por elegir algunos componentes importantes y comprarlos lo antes posible, para no necesitar cambiar algunos circuitos nuevamente.

2.2.2 PLACA ADAPTADORA

Otro inconveniente que se descubrió fue un error en el diseño de algunas de las footprints de ciertos componentes de la placa. Particularmente, en las footprints de los cuatro transistores MOSFET del puente se asignaron los pads 1, 2 y 3 a los terminales Drain (D), Gate (G) y Source (S) respectivamente, es decir que el pad central corresponde a la compuerta del transistor. Sin embargo, todos los transistores MOSFET de potencia compatibles con esta footprint tienen una configuración de pines del tipo Gate - Drain - Source, con los pines Gate y Drain (1 y 2) invertidos respecto a la footprint presente en la PCB.

La solución obvia sería simplemente modificar el archivo de la placa para corregir este error. Sin embargo, el problema se encuentra en que el error se descubrió una vez enviados los archivos Gerber al fabricante de circuitos impresos y ya comenzado el proceso de fabricación, por lo que se debió idear alguna otra solución al dilema.

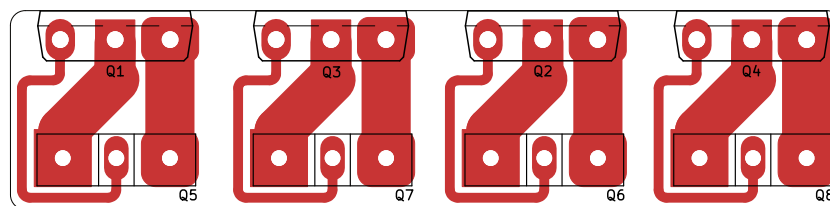


FIGURA 2.3 Capa de cobre de la placa adaptadora diseñada para mitigar el error de diseño.

La solución implementada se aprecia en la figura 2.3: una placa adaptadora con una única capa de cobre, que se conecta a los pads de los transistores en la placa original, y mediante las pistas de cobre visibles en la figura se conecta a una nueva footprint, con los pads en el orden correcto. La placa se diseñó de manera que no estorbe con componentes cercanos a los transistores (como el conector de la pila de combustible), y lo suficientemente pequeña para no sobresalir significativamente de la placa original y permitir la instalación del disipador metálico. También se eligió de simple capa para facilitar su fabricación, pudiéndose entonces fabricar en la sala del ATEI dentro de la Facultad de Ingeniería, proceso que es de mucho menor costo y tiempo de fabricación.

CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo, diseñar, verificar y enviar a fabricar una placa de circuito impreso de una plataforma de evaluación, se logró concretar exitosamente dentro del plazo establecido, pasando por todas las fases del mismo, desde la lectura de hojas de datos y notas de aplicación pertinentes, la ubicación de componentes y el ruteo de las pistas que los conectan, la verificación de este diseño, y el contacto con algún fabricante de PCB. Así, se obtuvo una placa de doble capa sumamente compacta, de dimensiones de 15 cm x 16 cm, incluso a pesar de los inconvenientes en su diseño que se encontraron en el proceso. No solo esto, si no que el fabricante pudo fabricar cinco copias idénticas de la placa, una de las cuales se puede observar en la siguiente figura (sin sus componentes soldados).

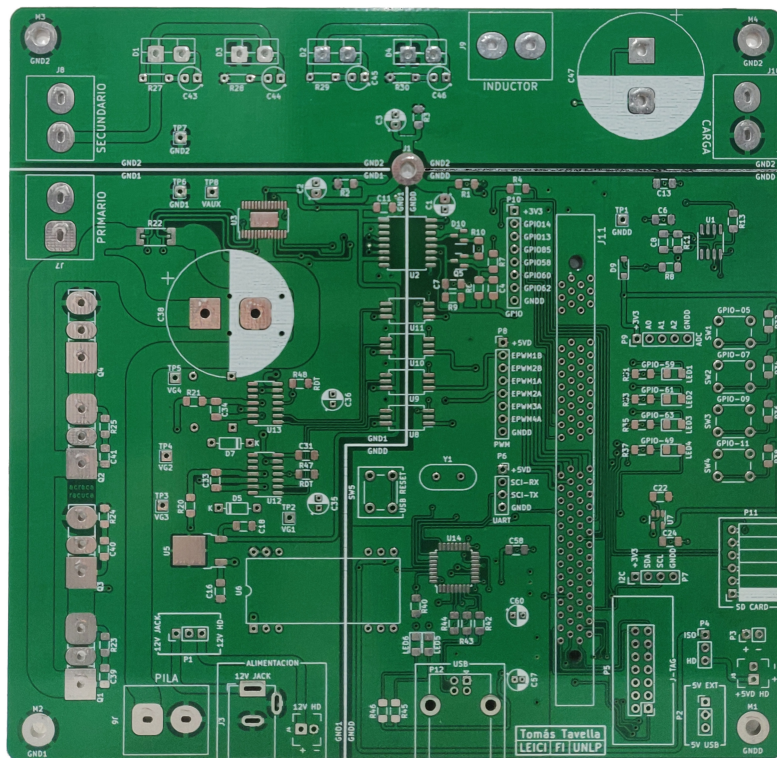


FIGURA 3.1 Implementación física de la placa de circuito impreso diseñada, vista desde su capa superior.

Adicionalmente, a lo largo de la realización de este trabajo se adquirieron una amplia gama de conocimientos, útiles en el ámbito contemporáneo de diseño e implementación de circuitos. Se aprendió a utilizar una suite de software EDA, herramienta sumamente importante para la implementación de circuitos impresos de cualquier tipo. Además, se adquirieron conceptos y técnicas generales de implementación de circuitos en PCB, como las formas de ruteo de pistas de cobre, el cálculo de los anchos necesarios de estas pistas, la obtención y edición de footprints para ajustarse a los componentes, entre otros.