



Figura 51.- Gabinete de la fuente.

Para la realizar las actividades mencionadas fue necesario revisar el marco teórico con ayuda de la bibliografía y las notas de aplicación de los distintos fabricantes de componentes electrónicos y de elementos magnéticos, además de conocer y utilizar herramientas de medición. Todo esto hubiera sido imposible de efectuar sin la correcta formación profesional que imparte la Facultad de Ingeniería de la UNAM, de la cual estoy muy orgulloso y agradecido de pertenecer y de haber cursado mi carrera profesional dentro de sus instalaciones.

## 7. Análisis de Resultados.

Para el análisis de las pruebas realizadas se compararon los resultados con los parámetros de diseño propuestos.

- Voltaje de entrada nominal 96[V]
- Voltaje de entrada mínimo 70[V]
- Voltaje de entrada máximo 104[V]
- Eficiencia mayor al 70%
- Voltaje de rizo < 200[mV]
- Bajo porcentaje de relación señal a ruido.

Conforme a los parámetros de diseño para una ventana de voltaje de entrada entre los 104[V] y los 70[V] el convertidor debe operar en una eficiencia mayor al 70%. De las figuras 1A-1C y 2A-2C, se observa que el convertidor tuvo una eficiencia mayor al 70% para una ventana de voltaje de entrada entre 104[V] y 70[V]. De la gráfica “Voltaje de rizo” (figura 45) se aprecia que el nivel de rizo de salida es de 180[mV] y de la gráfica “Voltaje de ruido a la salida” (figura 46) el nivel de ruido es de 1.38[V] para un voltaje de salida de 13.8[V]. La señal de “Voltaje de Gate” (figura 43) muestra un valor máximo de 14.2[V], la señal es muy regular, pues si bien existen oscilaciones, estas no se encuentran en el pulso de encendido sino en los tiempos muertos.

Para las pruebas de temperatura se comparó el diseño del disipador de calor, el cual estima que para una temperatura ambiente  $T_{amb} = 40[^\circ\text{C}]$  la temperatura de disipación debe ser  $T_d = 81.8[^\circ\text{C}]$ . De las gráficas para una temperatura ambiente  $T_a = 50[^\circ\text{C}]$ , se observa que la

temperatura de disipación fue  $T_d = 81[^\circ\text{C}]$ , es decir que para una temperatura ambiente mayor a la calculada la temperatura de disipación fue menor a la esperada.

En la señal de “Voltaje Drain-Source” (figura 44) se aprecia que para un voltaje de alimentación de 104[V], las espigas de voltaje alcanzan los 260[V], el voltaje máximo que soportan los MOSFETS es de 500[V].

El voltaje de la gráfica “Voltaje acondicionado para el límite de corriente” (figura 49) se encuentra en 145[mV] para una de corriente de 7[A], para que el límite de corriente opere este voltaje debe llegar a los 200[mV], la red de ajuste permite que el límite se active a una corriente máxima de 10[A].

El “ Voltaje acondicionado para el amplificador de error” (figura 47) debe ser una señal de 2.5V que llega a la terminal no inversora del amplificador de error del LM2524, cuando la señal rebasa este nivel, el ciclo de trabajo de la señal de disparo de los MOSFETS disminuye y cuando esta debajo del nivel el ciclo de trabajo aumentará, para propósitos de regulación de voltaje esta señal debe estar alrededor de los 2.5[V], la red de ajuste permite que el voltaje de salida este entre los 10[V] y 15[V] aproximadamente además esta señal debe aumentar y disminuir conforme a la señal de “Voltaje de Drain-Source” (figura 44). De la gráfica de esta señal (figura 47) se observa que para una carga de 6[A] el nivel de la señal es de 2.58[V].

Para corroborar que el nivel de comparación sigue al voltaje Drain-Source se agregó un oscilograma de ambos voltajes (figura 52).

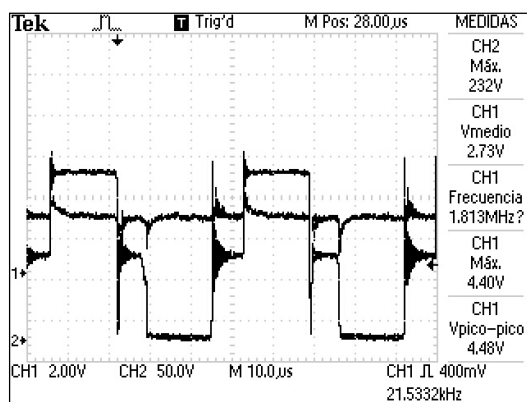


Figura 52.- Canal 1.- Señal acondicionada, Canal 2.- Voltaje Drain-Source

Se observa claramente que la señal acondicionada sigue incluso las oscilaciones en el Voltaje Drain-Source, estas oscilaciones son debido a la inductancia del devanado primario del transformador y son típicas de la topología Push-Pull como se revisó en la introducción, en los puntos donde el voltaje medio cae muy por debajo del nivel de comparación deben coincidir con la señal de disparo del MOSFET, en el siguiente oscilograma (figura 53) se ilustra esta relación de las señales.

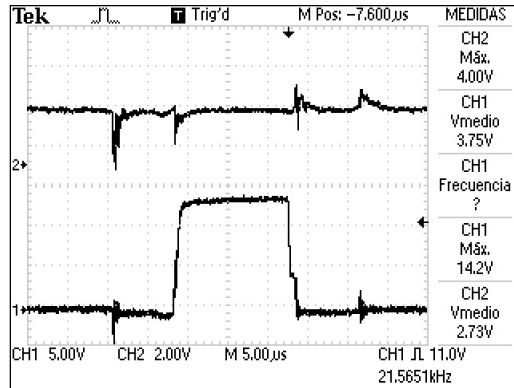


Figura 53.- Canal 1.- Voltaje de Gate, Canal 2.- Señal acondicionada.

Por último de la gráfica “Voltaje de inversa en los diodos de salida” (figura 48) se aprecia que el voltaje máximo es de 35.2[V], los diodos de salida deben ser capaces de soportar este voltaje.

### 7.1 Comparación del Prototipo.

Para la validación del prototipo, fue necesario justificar su aplicación comparando sus características con sistemas existentes en el mercado. Para la comparación primero se estableció una clasificación de las características del prototipo conforme a importancia:

- Características necesarias.- Ventana de regulación, el voltaje de salida, corriente de salida, salida aislada, eficiencia.
- Características preferentes.- Nivel de ruido, nivel de rizo, temperatura y costo
- Características adicionales.- Tamaño.

Las características necesarias deben de ser cumplidas por el sistema de comparación además de ser los más parecidas posible a las especificaciones de diseño, las características preferentes son menos críticas que las anteriores pues debido al tipo de carga (batería, motor para el sistema de limpiadores, faros de leds) el nivel de rizo y de ruido no representan un impedimento grave al momento de elegir el convertidor final, por otra parte el convertidor se situará en la parte más templada de la cabina y el costo, si no es muy elevado, puede ser amortizado al reducir número de piezas y trato con proveedores al comprar un solo sistema ya armado, por último las características adicionales son simples observaciones para evitar cambios en el espacio asignado para el sistema.

El sistema para la comparación fue el convertidor DC-DC MegaMod Jr. Modelo VI-LJTP-EW. Este sistema es fabricado por Vicor Power, empresa con 28 años de experiencia en el diseño y construcción de sistemas de potencia; cuenta entre sus clientes al Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, además de fabricar sistemas para la industria aeronáutica, médica y de telecomunicaciones, por lo cual sus sistemas cumplen con las especificaciones técnicas más exigentes.

De la hoja de especificaciones del sistema sus características fueron las siguientes:

- Ventana de regulación.  $60[V]-160[V]$ ,  $V_{in_{nom}} = 110[V]$
- Voltaje de salida.  $13.8[V]$ , se puede ajustar con un arreglo de resistencias.
- Potencia de salida. Max  $122W$ , típica  $100[W]$ , ( $I_{0max} = 8.84[A]$ ,  $I_{0tipica} = 7.24[A]$ )
- Eficiencia.  $78 - 88\%$
- Voltaje de rizo. Max  $200[mV]$ , típico  $50[mVpp]$
- Nivel de ruido.  $1\% V_{out_{nom pp}}$
- Temperatura de operación.  $-10[^\circ C] - 100[^\circ C]$

El modelo VI-LJTP-EW mide  $9 \times 6.5[cm.]$ , la salida es aislada y su costo es de US\$120.

## Costos de fabricación.

### Precio Unitario Prototipo Fuente Push-Pull

Componente	Costo pieza (USD)	Cantidad	Costo (USD)
bc 337	0,08	2	0,16
bc 327	0,08	2	0,16
irf840	4,20	2	8,4
4n26	0,36	1	0,358
MBRF2545CT	1,08	1	1,08
LM2524	2,22	1	2,22
Cap. 220uF 160V	0,52	1	0,516
Capacitores del mismo precio	0,16	3	0,48
Cap. 1nF	0,023	1	0,023
Cap. 10nF	0,017	2	0,034
Cap. 2200uF 25V	0,46	1	0,46
Conector salida	2,67	1	2,67
Conector entrada	1,83	1	1,83
Diodos	0,021	4	0,084
Fusible	1,80	1	1,8
Pot. 2K	1,60	1	1,6
Pot. 5K	1,60	1	1,6
R 3K9 5W	0,08	1	0,078
Resistencias del mismo precio	0,015	15	0,225
R 0,1 5W	0,165	1	0,165
Zener 15V	0,029	1	0,029
Zener 5,6V	0,031	1	0,031
Transformador	3,75	1	3,75
Inductancia	3,47	1	3,47
Disipador	4,40	1	4,4
PCB	1,50	1	1,5
Total USD			\$37,12
Total MN			\$467,38
Neto MN			\$542,16

El costo del prototipo se obtuvo con los precios de menudeo de los proveedores, sin embargo los costos de producción del prototipo se pueden llegar a reducir hasta en un 35%, con precios de mayoreo y contactando con proveedores de china. El costo de producción entraría en la etapa posterior a las pruebas a largo plazo dentro del vehículo, pero se puede hacer un aproximado del costo de producción final neto del convertidor, que rondaría entre los \$400.00 y \$420.00 pesos.



Figura 54.- Tarjeta del prototipo fabricado y la fuente VI-LJTP-EW de Vicor Power.

Con el fin de visualizar mejor las características de ambos sistemas, se elaboró un cuadro comparativo:

	Prototipo	VI-LJTP-EW
Ventana de Regulación	70[V] — 104[V]	60[V] — 160[V]
Voltaje de Salida	10[V] — 15[V]	13.8[V]
Corriente de Salida	8[A] — 10[A]	7.42[A] — 8.84[A]
Eficiencia	71.45% — 85.38%	78% — 88%
Voltaje de Rizo	180[mV]pp	50[mV]
Nivel de Ruido	10%Vout pp	1%Vout pp
Temperatura de Operación	-10[°C] — 64[°C]	-10[°C] — 100[°C]*
Costo	\$542,16**	US\$120.00

\* Se necesita calcular el disipador de calor, pues esa temperatura es de la base de la fuente.

\*\* No se calcularon los costos de producción, el precio final neto de la fuente puede reducirse entre 30% y 35%.