

CAPITULO 4**IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES****4.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se mostrarán los resultados de la simulación del Corrector de Factor de Potencia, la cual fue realizada con el software PSIM. Además, se mostrarán los resultados de la implementación del prototipo en el laboratorio.

4.2 SIMULACIÓN DEL CORRECTOR DE FACTOR DE POTENCIA

En la figura 4.1 se muestra la topología del Corrector de Factor de Potencia a simular con el interruptor bidireccional integrado.

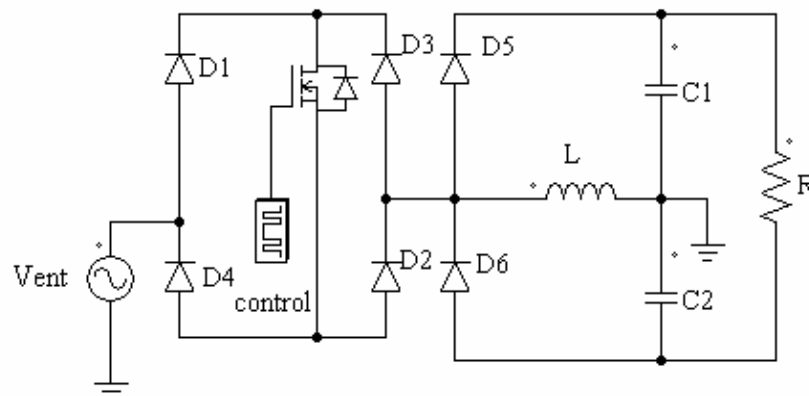


Figura 4.1 CFP a simular

Como se observa en la figura 4.1 se tiene un interruptor bidireccional el cual es controlado por un PWM. En la figura 4.2 se muestra la gráfica correspondiente al control, este tiene un ciclo de trabajo α el cual corresponde al 60% del periodo T .

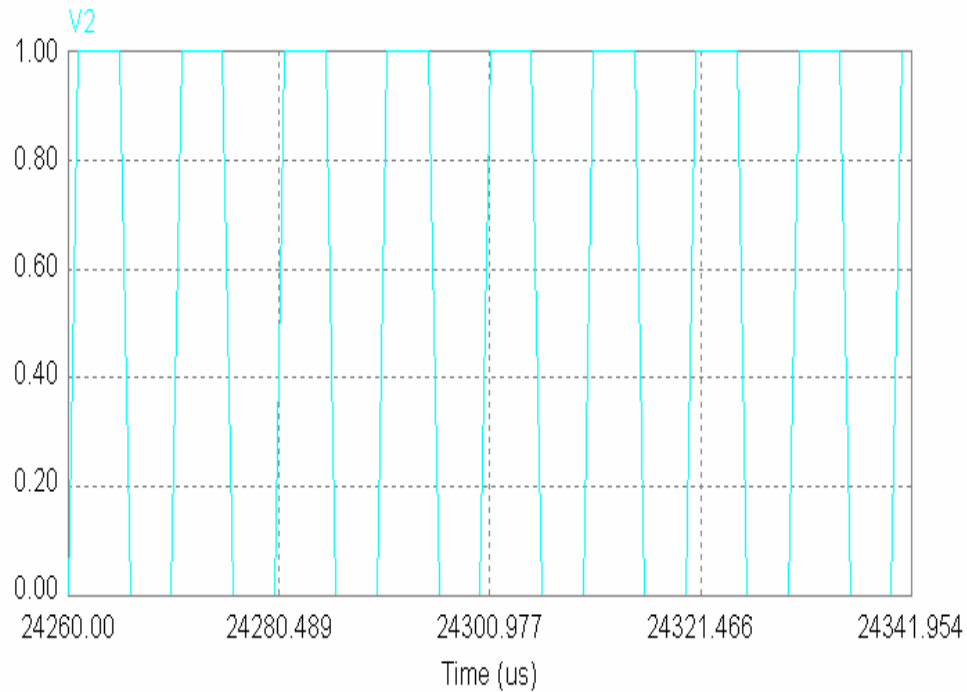


Figura 4.2 Control de la simulación

De la figura 4.3 a la figura 4.10 se muestran los resultados de la simulación en PSIM, en estas simulaciones se observa que el eje Y corresponde al voltaje y la corriente y el eje X al tiempo. Se puede observar en la figura 4.3 el voltaje y la corriente de la fuente.

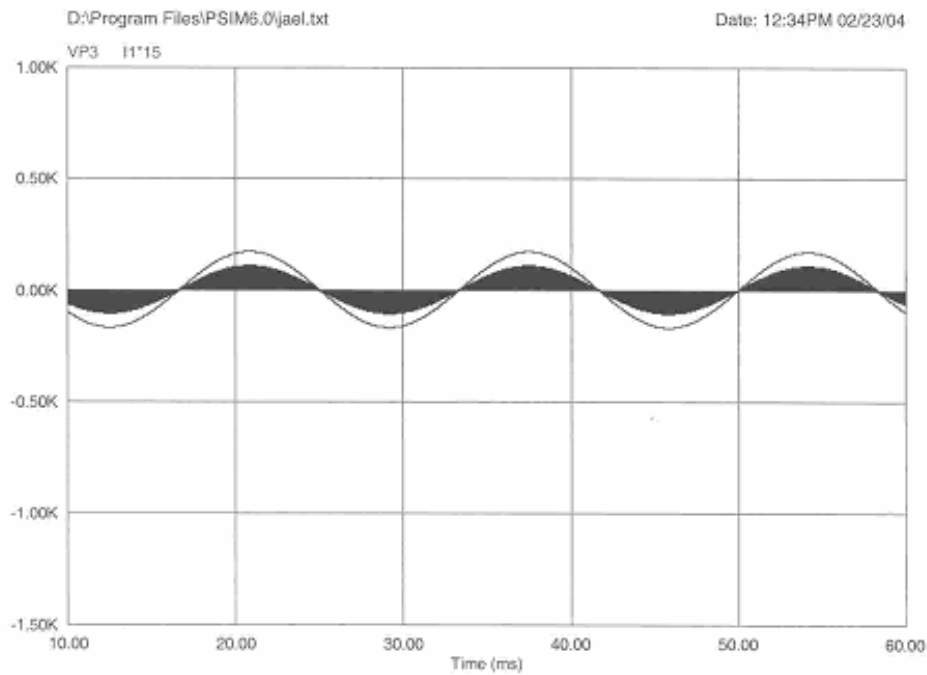


Figura 4.3 Voltaje y corriente de la fuente

Observando la figura 4.3, se aprecia que la corriente se encuentra en fase con el voltaje, además, mantiene una forma senoidal. De lo cual, se deduce que el factor de potencia tendrá un valor cercano a 1.

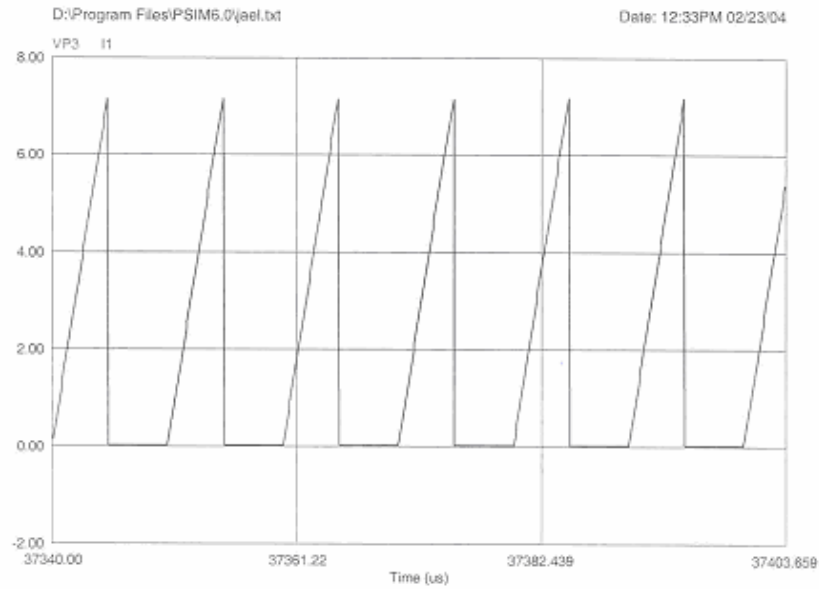


Figura 4.4 Corriente de la fuente

En la figura 4.4 se muestra un acercamiento a la corriente, donde se observa como en el momento que el interruptor se encuentra cerrado la corriente circula en el circuito, pero en el momento en que el interruptor se abre la corriente deja de circular por el circuito cayendo abruptamente. En la figura 4.5 se muestra el voltaje de entrada y la corriente de la inductancia. En la figura 4.6 se ve un acercamiento a la corriente en la inductancia, de donde se asegura que el circuito esta trabajando en forma discontinua.

Finalmente en las figuras 4.7 y 4.8 se muestran el voltaje de salida y la corriente de la carga respectivamente.

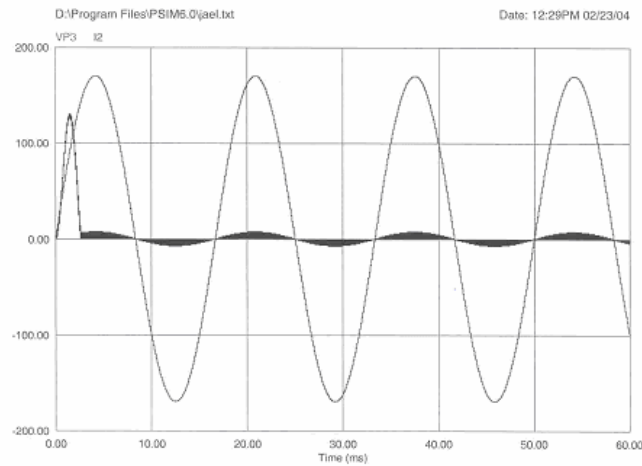


Figura 4.5 Voltaje de entrada y corriente en la inductancia

En la figura 4.5 se muestra como el voltaje de entrada y la corriente en la inductancia son senoidales y están en fase. En la figura 4.6 se observa como se carga la inductancia en el periodo que el interruptor está cerrado, pero en el momento en que el interruptor se abre la inductancia comienza a descargarse hasta llegar a cero cumpliendo con discontinuidad.

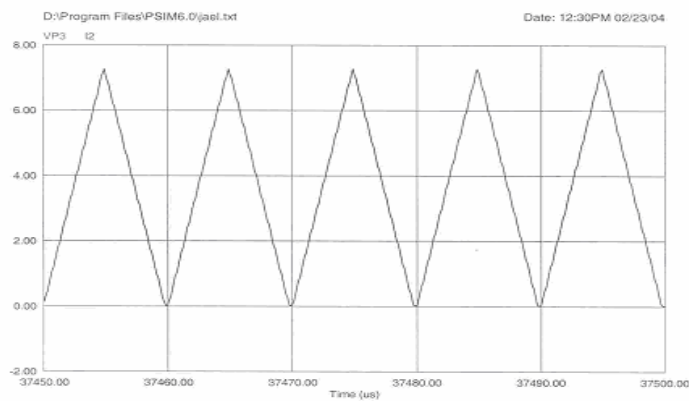


Figura 4.6 Corriente en la inductancia

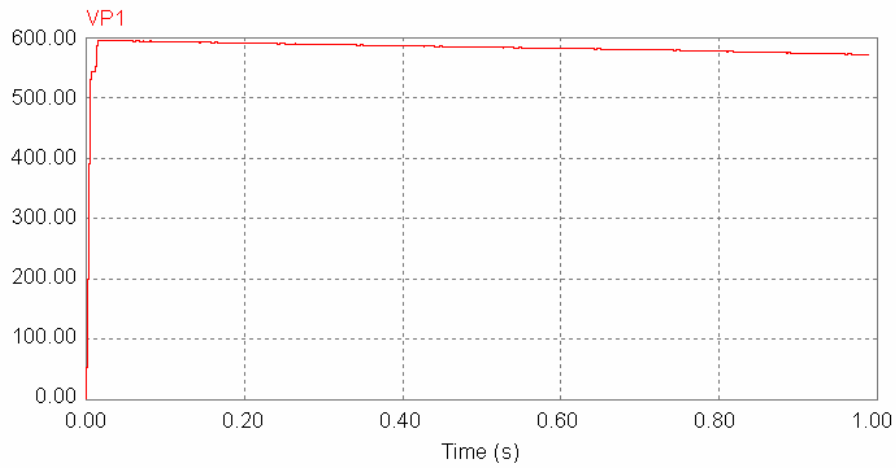


Figura 4.7 Voltaje de salida

En la figura 4.7 se observa el voltaje de salida que cumple la especificación de ser un voltaje continuo. En la figura 4.8 se muestra la corriente de salida la cual es continua y también cumple con las especificaciones requeridas.

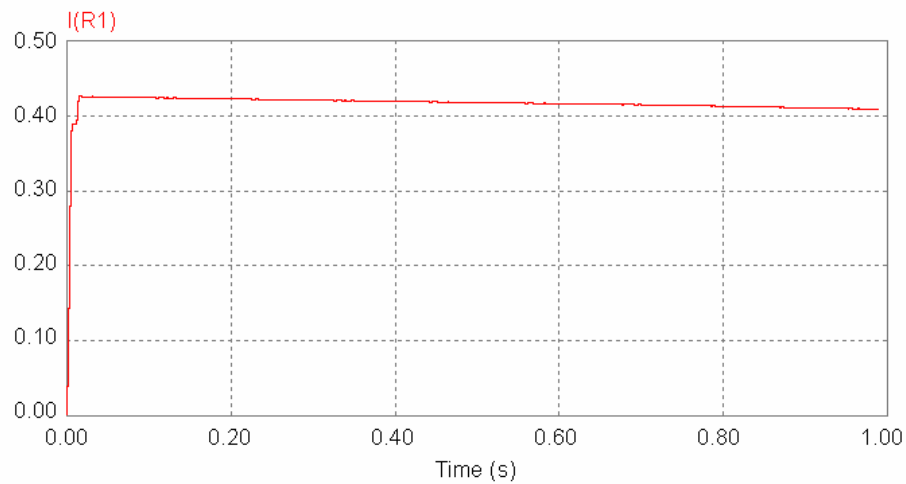


Figura 4.8 Corriente en la carga

En la figura 4.9 se observa el voltaje en la inductancia, en la figura 4.10 se muestra el voltaje de drenaje a fuente del MOSFET, debido a que es utilizado como un interruptor bidireccional, el voltaje que se observa esta rectificado.

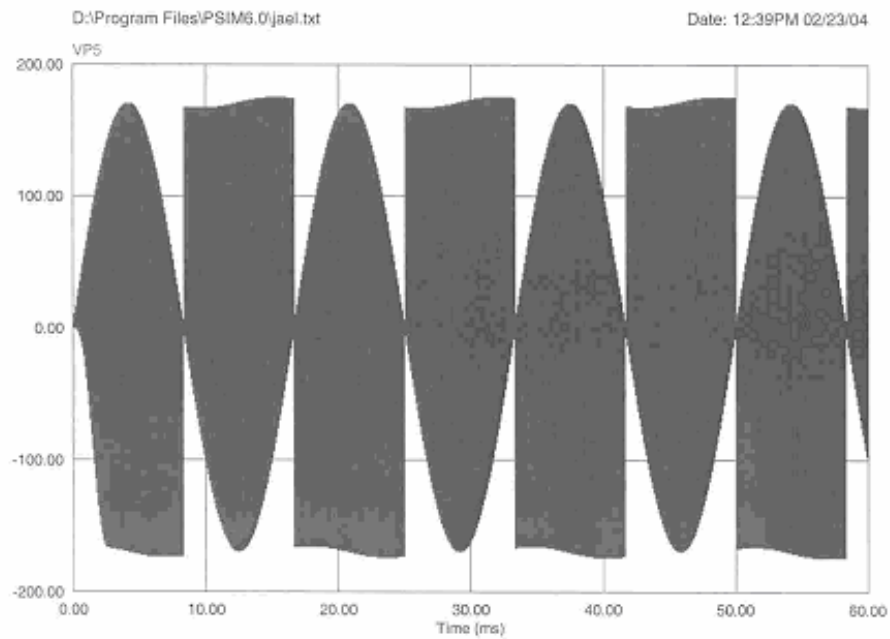


Figura 4.9 Voltaje en la inductancia

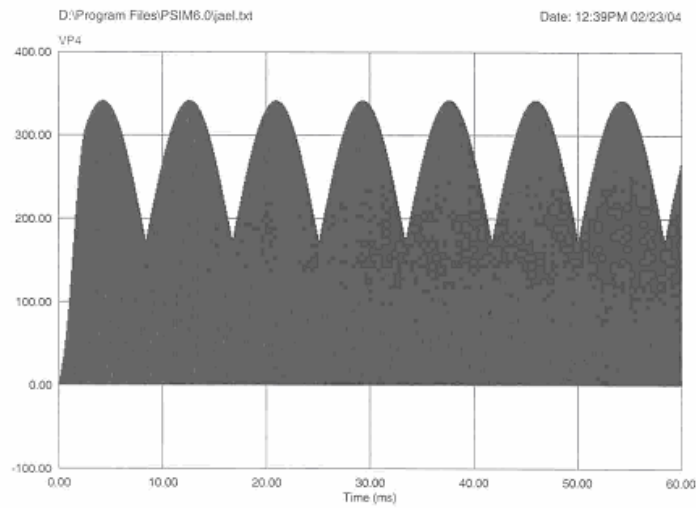


Figura 4.10 Voltaje en el drenaje-fuente

En la figura 4.10 se observa como el voltaje de drenaje-fuente es unidireccional debido a la ayuda del interruptor bidireccional que logra que la corriente fluya siempre del drenaje a la fuente.

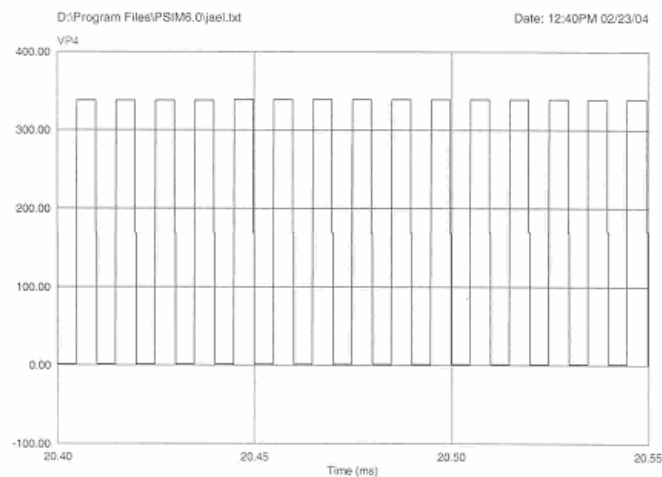


Figura 4.11 Detalle del voltaje en el drenaje-fuente

En la figura 4.11 se observa un acercamiento al voltaje del drenaje-fuente, donde se aprecia que esta siendo conmutado dicho voltaje.

4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL CFP

En la implementación de la topología es necesario realizar la inductancia. Siguiendo las fórmulas [5] se obtiene las especificaciones necesarias para hacer la inductancia.

$$\text{Vol. entrefer} = \frac{\mu_0 L \hat{i}^2}{\hat{B}^2} \quad (4.1)$$

El Vol. Entrefer es el volumen que debe existir entre cada entrehierro. La distancia que se debe tener entre cada entrehierro se simboliza con la letra e y se obtiene a partir de:

$$e = \frac{\text{Vol. entrefer}}{S} \quad (4.2)$$

El numero de vueltas se simboliza con n y se deduce a partir de la formula.4.3

$$n = \frac{\sqrt{Le}}{\sqrt{\mu_0 S}} \quad (4.3)$$

De donde:

$$\mu_0 = 4.7\pi \times 10^{-7}$$

L = Valor de la inductancia

\hat{i} = Corriente pico

\hat{B} = 200mT

S = 198mm²

Al sustituir estos valores en las fórmulas (4.1), (4.2), (4.3) se encuentra que:

Vol. entrefer = 297mm³

e = 1.5 mm

n = 25

Para realizar la inductancia se utiliza el valor de e y de n , donde e es el entrehierro y n es el número de vueltas que se tendrán; es importante cumplir con esta especificaciones, debido a que estará diseñada para un paso de corriente y si no cumple con las especificaciones puede ocasionar problemas.

Para la implementación del circuito es necesario realizar un interruptor bidireccional. En la figura 4.12 se observa dicha estructura, la cual, funciona al paso de corriente positiva o negativa. Este será controlado por un PWM que lo generará un timer LM555. En la figura 4.13 se muestra al dispositivo.

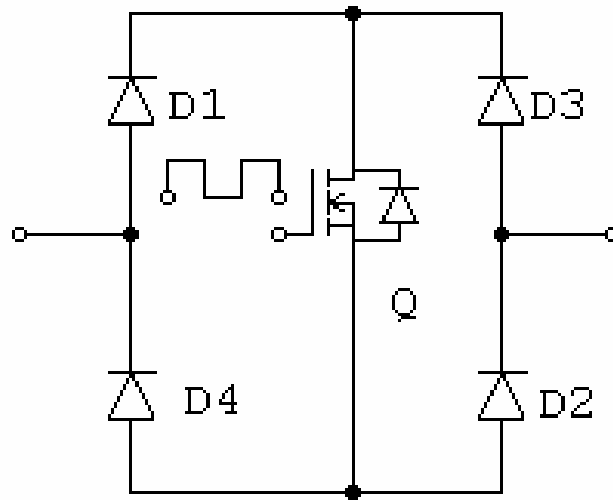


Figura. 4.12 Interruptor bidireccional a implementar

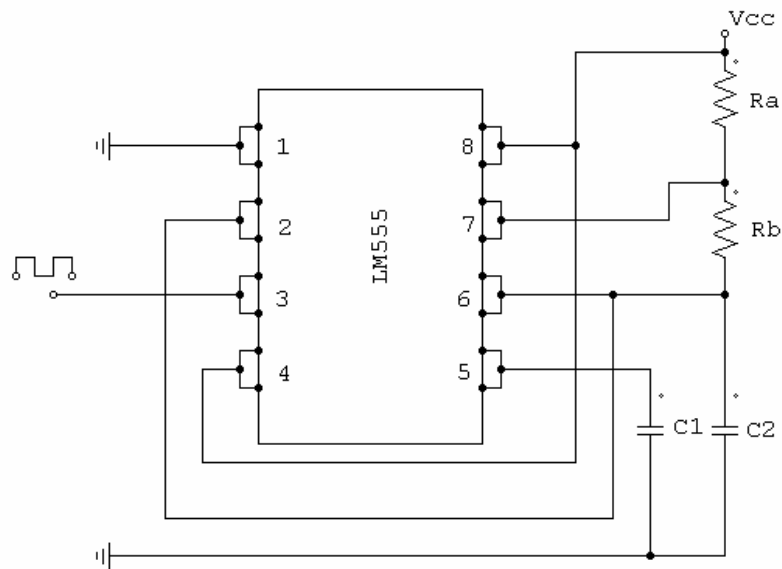


Figura 4.13 Conexión del timer LM555

La Figura 4.14b ilustra las formas de onda del LM555. Se observa que el capacitor tiene voltajes de carga y descarga exponenciales y que la salida es una forma de onda rectangular.

Para encontrar los valores del capacitor y las resistencias que se necesitan en la operación del Timer se tienen las siguientes ecuaciones[7]:

$$D = \frac{W}{T} \quad (14)$$

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} \quad (15)$$

entonces:

$$D = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} (100\%) \quad (16)$$

El transistor MOSFET cumple la función del interruptor, debido a que existen capacitancias parásitas en él, se necesita inyectar una corriente de no menos de 150mA a la compuerta y el timer LM555 no la suministra. Esto se soluciona con un driver, este dispositivo demanda de la fuente a la que este conectada la corriente que necesite para acoplar las impedancias. En la figura 4.15 se muestra el driver IR4727[8].

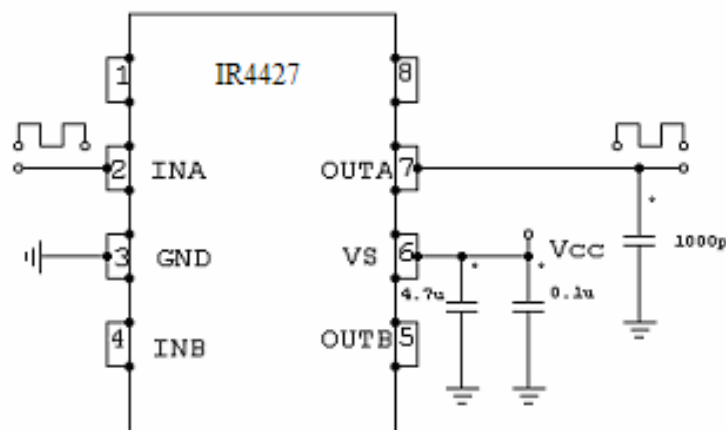


Figura 4.15 Conexión del driver IR4427[8]

La unión del timer LM555 y el driver IR4427 es denominada la etapa de control. Dicha etapa se debe aislar de la etapa de potencia. Esto se logra colocando un transformador de alta frecuencia.

Debido a que el transformador solo se puede alimentar con corriente alterna, es necesario hacer un arreglo de capacitores y diodos para que a la entrada del transformador la corriente sea en CA y al final de la etapa, el PWM sea CC. En la figura 4.16 se observa la etapa de aislamiento.

Una vez que se tienen todas las etapas, se pueden integrar para obtener el circuito que se implementará físicamente.

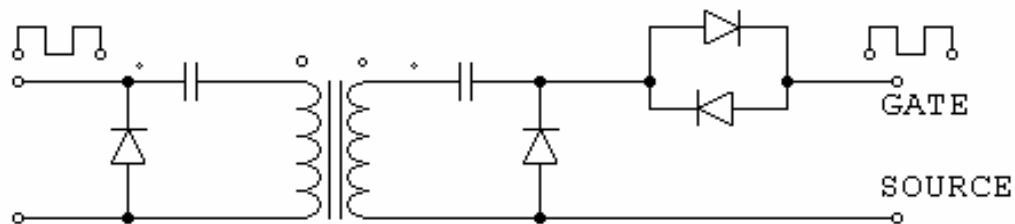


Figura 4.16 Etapa de aislamiento

En la figura 4.17 se observa la topología final. El voltaje de salida se puede medir en R_c y este puede ser controlado variando nuestro ciclo de trabajo.

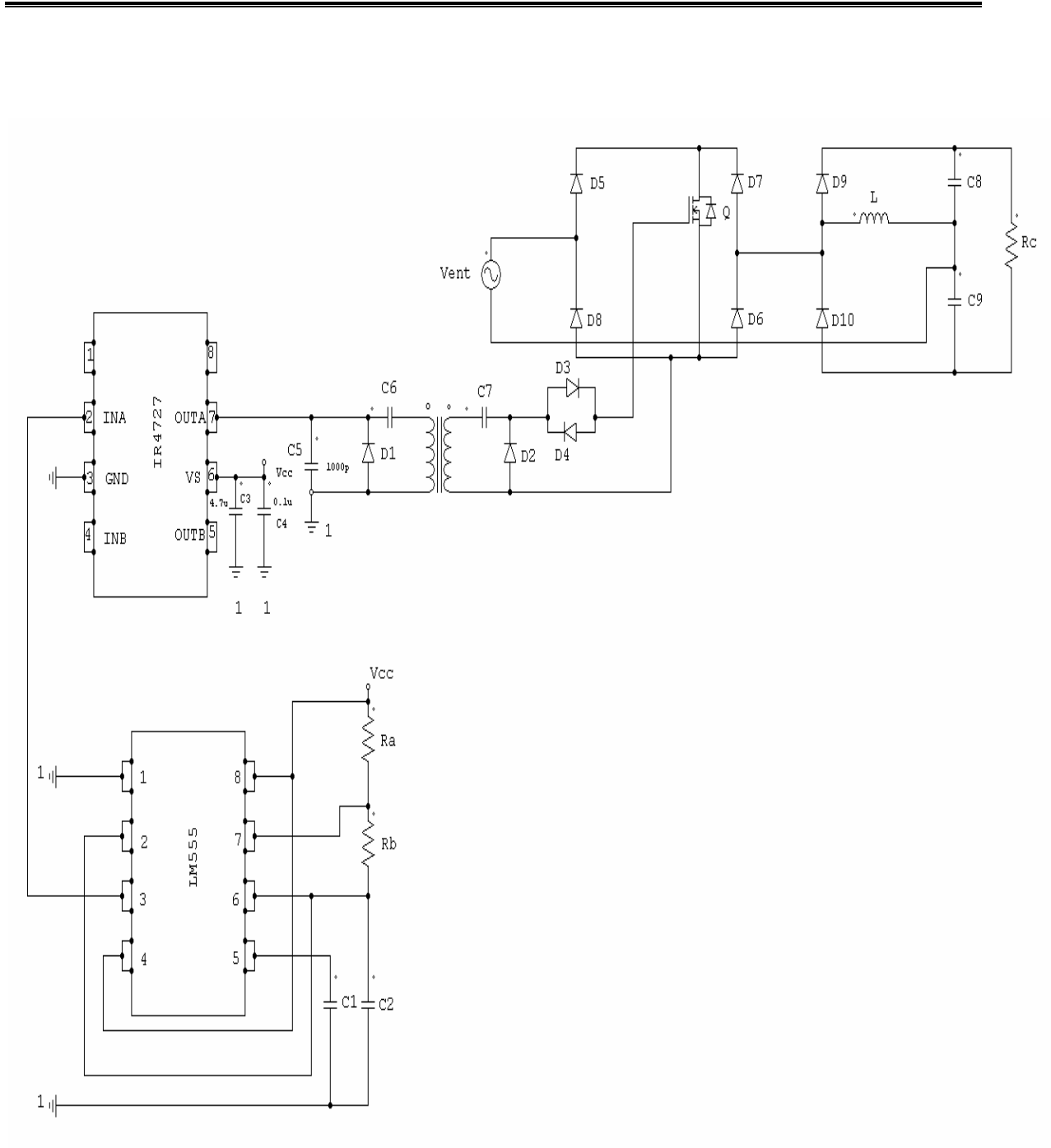


Figura 4.17 Topología final

En la siguiente tabla se muestran los componentes utilizados, así como sus valores o principal característica, los valores utilizados en el timer LM55 se obtienen de las formulas (4.1), (4.2) y (14.3), los valores de los capacitores del IR4427 vienen especificados en su manual[8], los valores del CFP fueron obtenidos en el capítulo 3 en el apartado 3.6, estos valores pueden cambiar de acuerdo a las especificaciones que se requieran.

Componente	Cantidad	Valor o característica
LM555	1	Timer
IR4427	1	Driver
C1	1	0.01uF
C2	1	3uF
C3	1	4.7uF
C4	1	0.1uF
C5	1	1000pF
C6 y C7	2	10uF
C8 y C9	2	560uF
D1-D10	10	Diodos MUR840
L	1	RM14/I 3F3
Ra	1	200 Ω
Rb	1	600 Ω
Rc	1	1400 Ω
Transistor Q	1	IRFP450

4.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la figura 4.18 se muestra el voltaje y la corriente de la fuente después de ser filtrado; se observa que la corriente se encuentra prácticamente en fase con el voltaje y que mantiene una forma muy senoidal. Cabe resaltar que a partir de la figura 4.17 a la figura 4.25 en las gráficas de voltaje se tiene una atenuación de 10 mientras que la corriente de 200.

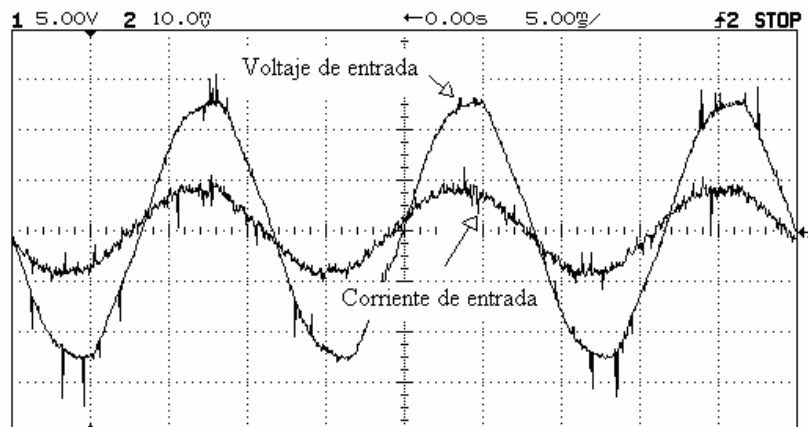


Figura 4.18 Voltaje y corriente de la fuente

En la figura 4.19 se observa un acercamiento a la corriente de la fuente después de ser filtrado el voltaje de entrada con una forma muy similar a la de la simulación, se ve como la corriente en la fuente sube mientras el transistor Q está cerrado, pero, una vez que se abre cae abruptamente en una forma de diente de sierra.

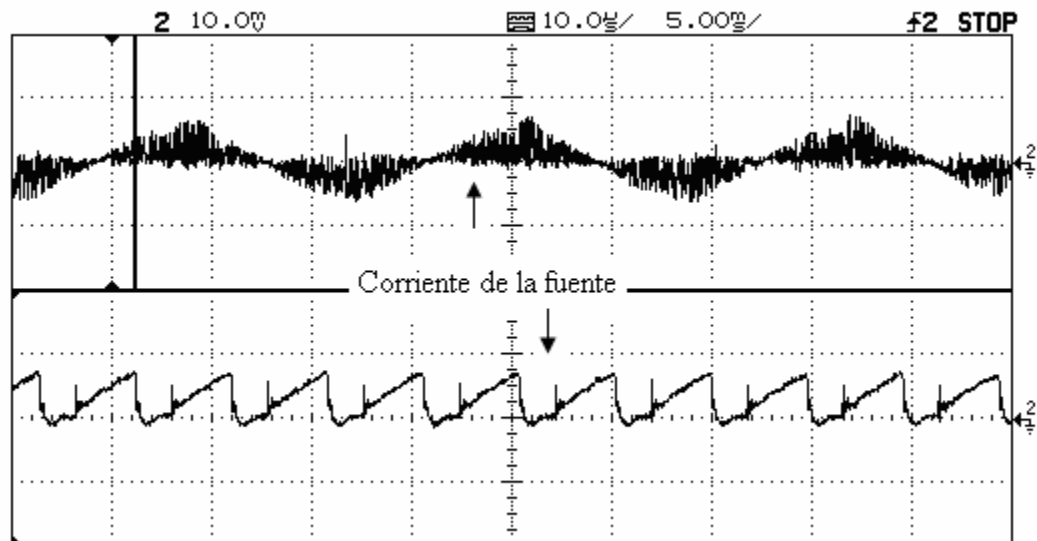


Figura 4.19 Acercamiento de la corriente de la fuente

En la figura 4.20 se muestra la corriente en la inductancia. Dicha corriente cumple con discontinuidad, se aprecia como el inductor se carga en α mientras el transistor Q esta cerrado, una vez que el interruptor se abre, la corriente del inductor empieza a descargarse.

En la figura 4.21 se aprecia el voltaje de salida. Se observa que el voltaje tiene una forma directa, dicha forma de onda se puede comparar con la de la simulación en la figura 4.8. La magnitud de dicho voltaje es de 402 volts.

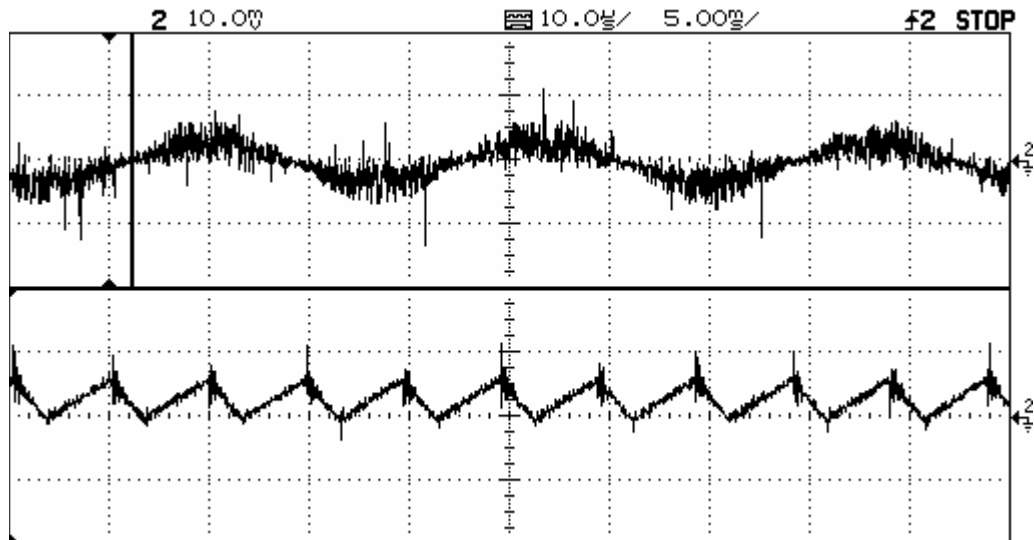


Figura 4.20 Corriente en la inductancia

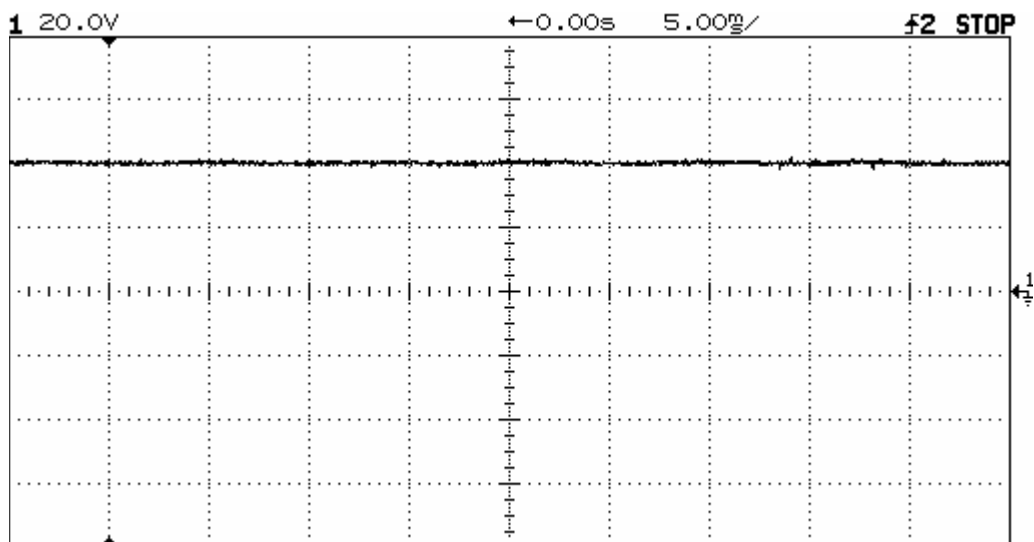


Figura 4.21 Voltaje de salida

En la figura 4.22 se observa el voltaje en la inductancia, cabe resaltar su similitud con el de la simulación en la figura 4.9. En la figura 4.23 se muestra el voltaje en el drenaje-fuente del MOSFET, debido a que es utilizado como un interruptor bidireccional, el voltaje que se observa está rectificado, esta figura también puede ser comparada con la figura 4.10 de la simulación.

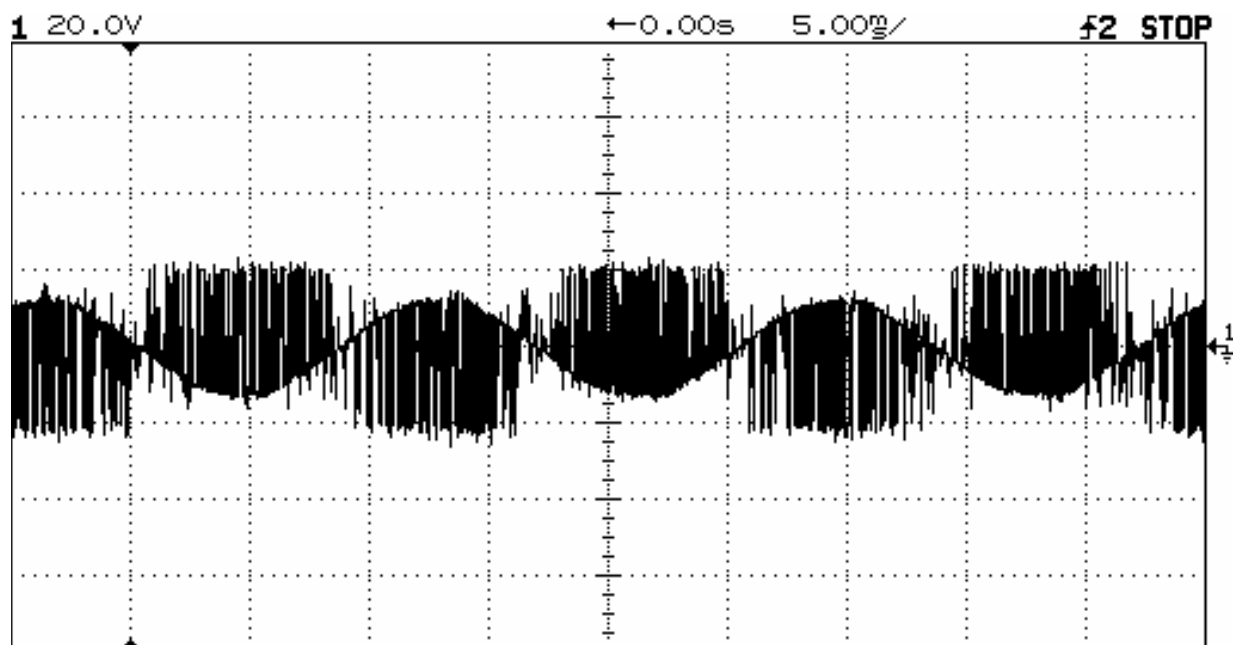


Figura 4.22 Voltaje en la inductancia

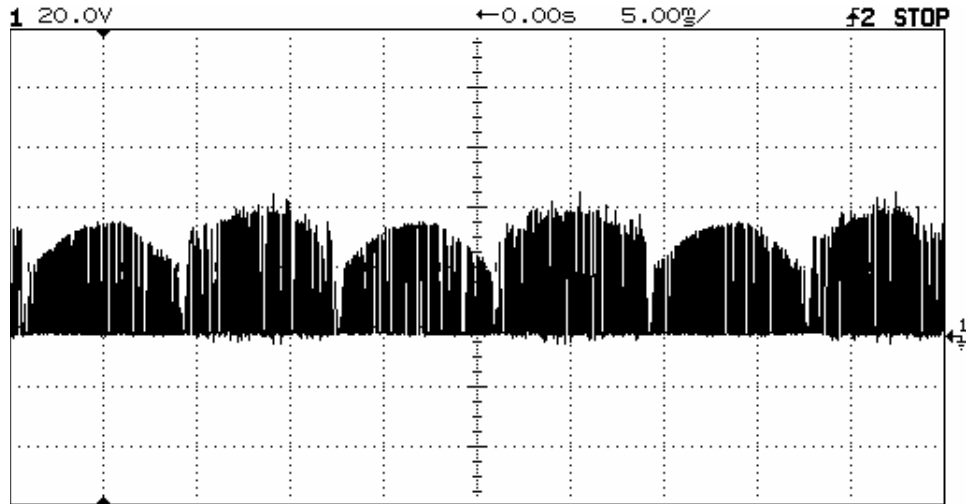


Figura 4.23 Voltaje en el drenaje-fuente

En las figuras 4.24 y 4.25 se muestra un acercamiento a los voltajes antes mencionados. Se observa los voltajes están siendo conmutados.

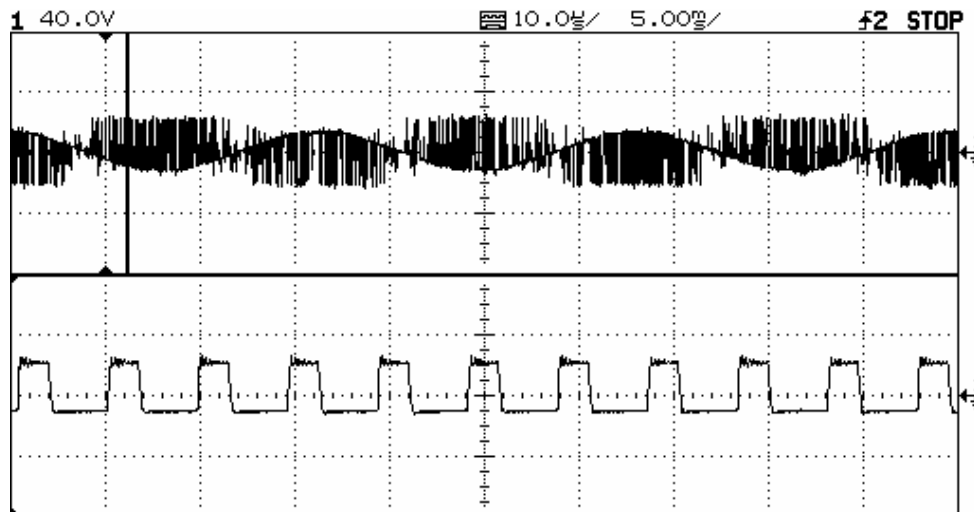


Figura 4.24 Acercamiento al voltaje en la inductancia

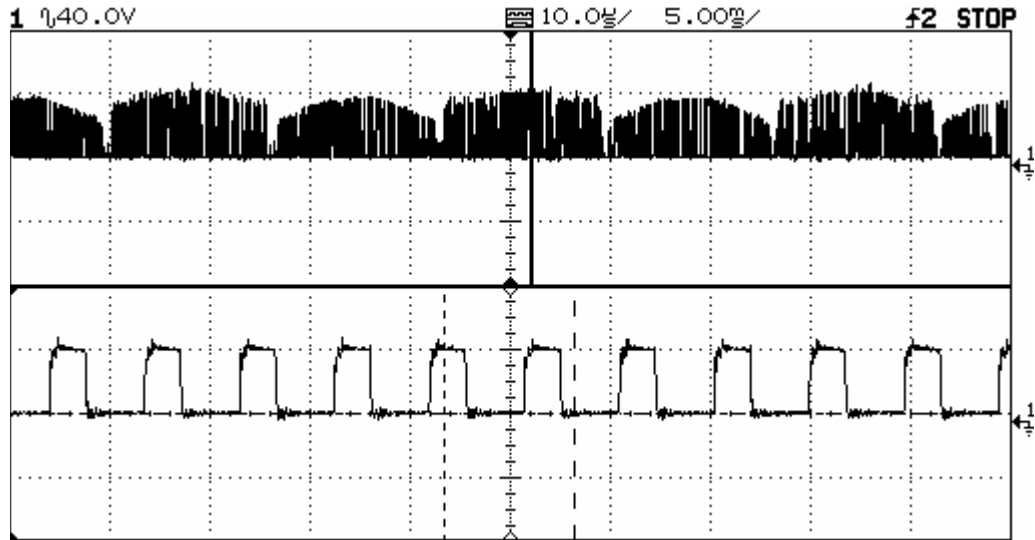


Figura 4.25 Acercamiento al voltaje en el drenaje-fuente

En la figura 4.26 se muestra el voltaje de la fuente después de ser filtrado a partir del analizador de armónicos, este instrumento analiza los armónicos de las formas de onda de interés. En la figura 4.27 se observa los armónicos existentes en el voltaje de entrada.

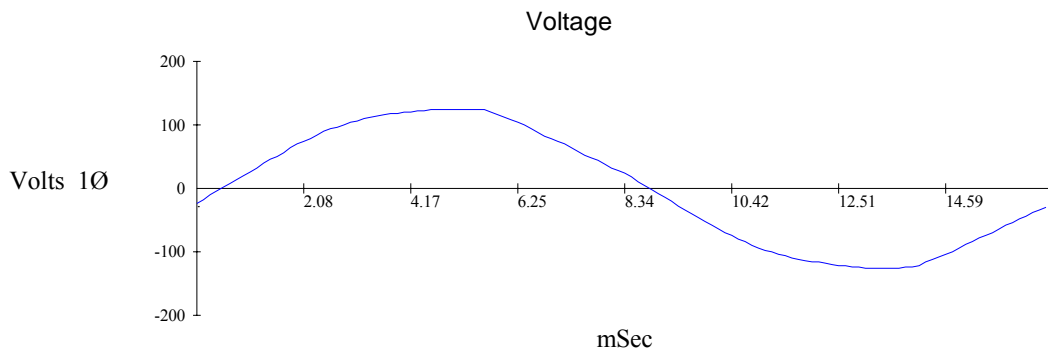


Figura 4.26 Voltaje de la fuente

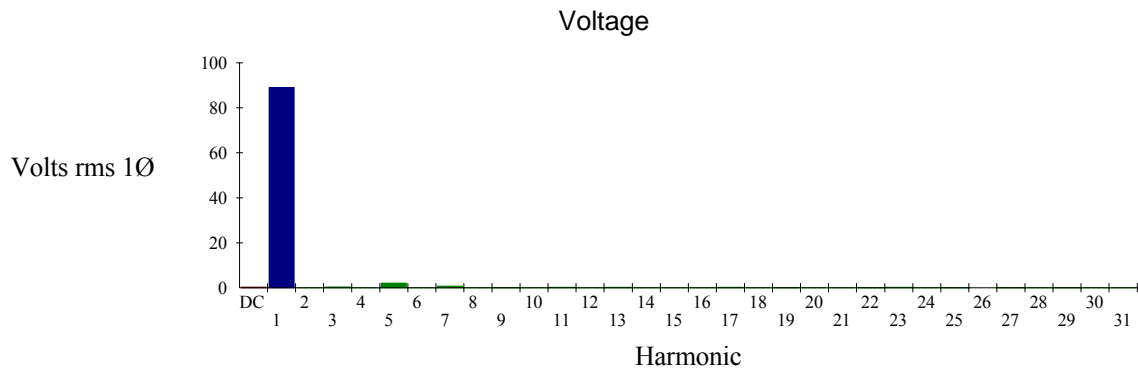


Figura 4.27 Armónicos del voltaje

En la figura 4.28 se tiene la corriente de la fuente después de ser filtrado el voltaje de entrada. En la figura 4.29 se muestran los armónicos de la corriente. Los armónicos que se observan son los que afectan al Factor de Potencia.

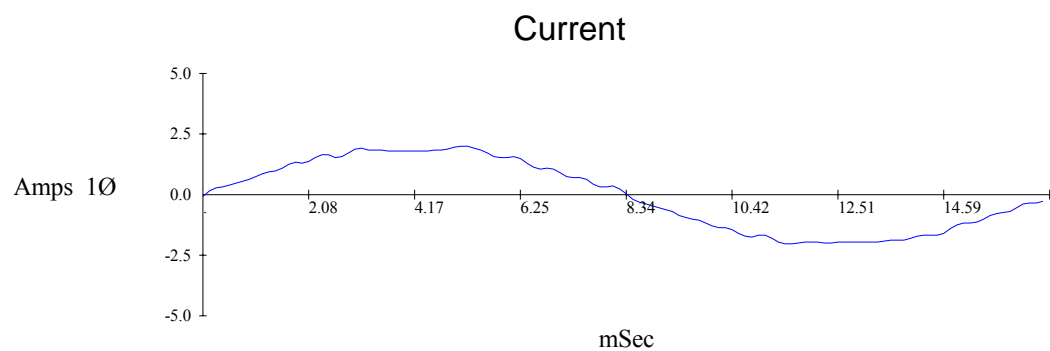


Figura 4.28 Corriente de la fuente

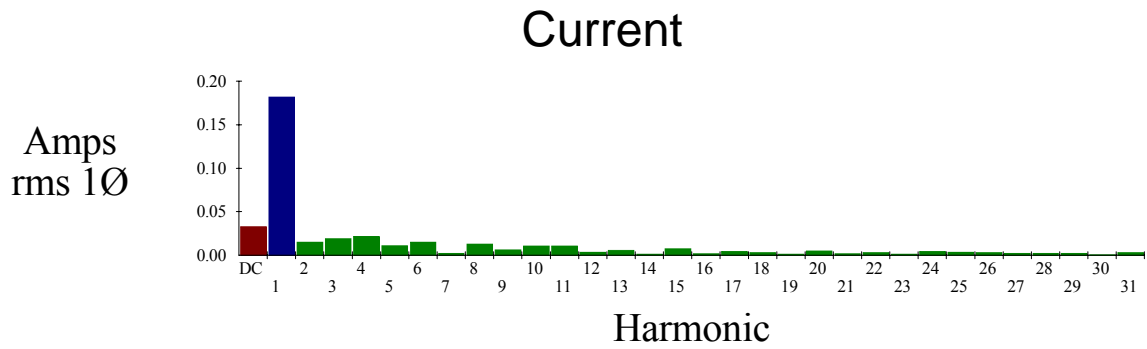


Figura 4.29 Armónicos de la corriente

En la figura 4.30 se observa la potencia existente, en la figura 4.31 los armónicos que esta presenta. Se puede observar que realmente existe potencia activa.

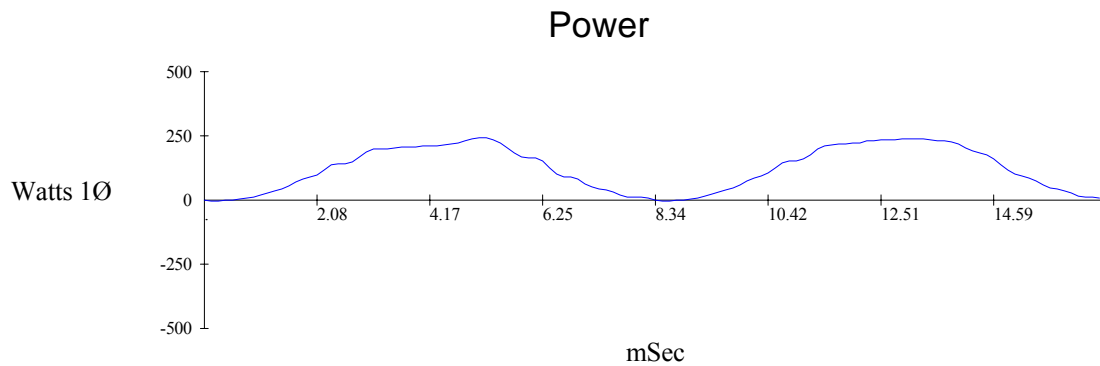


Figura 4.30 Potencia de la fuente

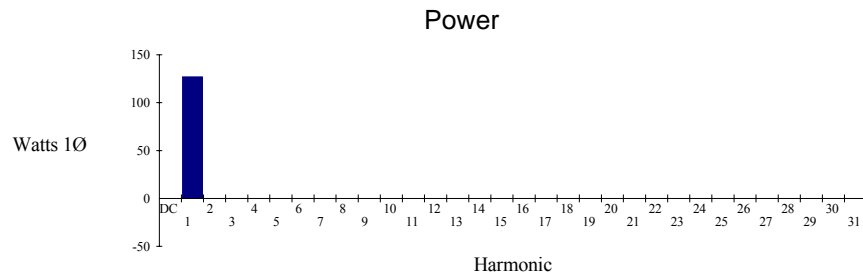


Figura 4.31 Armónicos de la Potencia

La gran ayuda que aporta el analizador de armónicos, es la muestra de ciertos valores de interés como el factor de potencia, los armónicos o la potencia de la fuente para calcular la eficiencia. Al saber que la potencia que entrega la fuente es de 288 watts y que la potencia consumida es de 112 watts se sabe que la eficiencia es de 0.4. En la figura 4.32 se aprecia el factor de potencia del 98 %.

Summary Information			Voltage	Current	Record	Max	Average	Min
Frequency	59.96	RMS	89.14	1.45	V RMS			
Power	127.00	Peak	125.60	2.05	A RMS			
Watts	129.00	DC Offset	-0.35	-0.05	V Peak			
VA	22.00	Crest	1.41	1.41	A Peak			
Vars	255.00	THD Rms	2.69	5.59	V THD-R%			
Peak W	10° lead	THD Fund	2.69	5.60	A THD-R%			
Phase	0.98	HRMS	2.40	0.08	Watts			
Total PF	0.99	KFactor		1.80	Volt * Amps			
DPF					TPF			
					DPF			
					Frequency			
Harmonics	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø*	I Mag	%I RMS	I Ø*	Power (W)
DC	0.00	0.35	0.39	0	0.05	3.18	0	0.00
1	59.96	89.07	99.93	-10	1.45	99.79	0	127.20
2	119.92	0.06	0.07	6	0.01	0.60	101	0.00
3	179.88	0.38	0.43	101	0.03	2.15	1	-0.16
4	239.85	0.07	0.08	119	0.01	0.73	-3	-0.16
5	299.81	2.15	2.41	-157	0.02	1.72	-155	0.00
6	359.77	0.05	0.06	46	0.01	0.90	146	0.00
7	419.73	0.37	0.42	179	0.03	2.15	179	0.00

Figura 4.32 Resultados entregados del analizador de armónicos

Si se comparan los resultados obtenidos al implementar el circuito en el laboratorio con los hechos en PSIM, se puede observar que existe una gran similitud, concluyendo que si las graficas no son idénticas es debido a los componentes, ya que todo programa realizará una simulación ideal y en la implementación los componentes no trabajan idealmente dando una variación de la simulación a la realidad.