

---

## Fuente de Alim. Sin-Transformador: Capacitiva y Resistiva

---

<i>Author: Reston Condit Microchip Technology Inc.</i>
--

### INTRODUCCIÓN

Hay varias maneras de convertir un voltaje de CA de la pared en el voltaje de C.C. requerido por un microcontrolador. Usualmente, esto se ha hecho con un transformador y circuito de rectificador. Hay también soluciones de fuente de alimentación de conmutación, sin embargo, en aplicaciones que involucran suministrar un voltaje de CC al microcontrolador y otros dispositivos de bajas corrientes, fuentes de alimentación basados en transformador o conmutación pueden no ser rentables. La razón es que los transformadores en soluciones en base al transformador, y el (inductor / MOSFET/controlador) en soluciones en base a la conmutación, es caro y ocupa mucho espacio. Esto es especialmente verdad en el mercado del electrodoméstico, donde el costo y el tamaño de los componentes que rodean la fuente de alimentación puede ser mucho menor que el costo de sólo la fuente de alimentación.

Las fuentes de alimentación de Sin-Transformador proporcionan una alternativa económica de fuentes de alimentación basado en el transformador y basado en la conmutación. Los dos tipos básicos de fuentes de alimentación sin transformador son resistivos y capacitivos. Esta nota de la aplicación discutirá los dos con un enfoque en lo siguiente:

1. Un análisis del circuito de alimentación.
2. Las ventajas y desventajas de cada fuente de alimentación.
3. Consideraciones adicionales incluso los requisitos de seguridades e intercambios asociados con la rectificación de media onda contra la de onda completa.

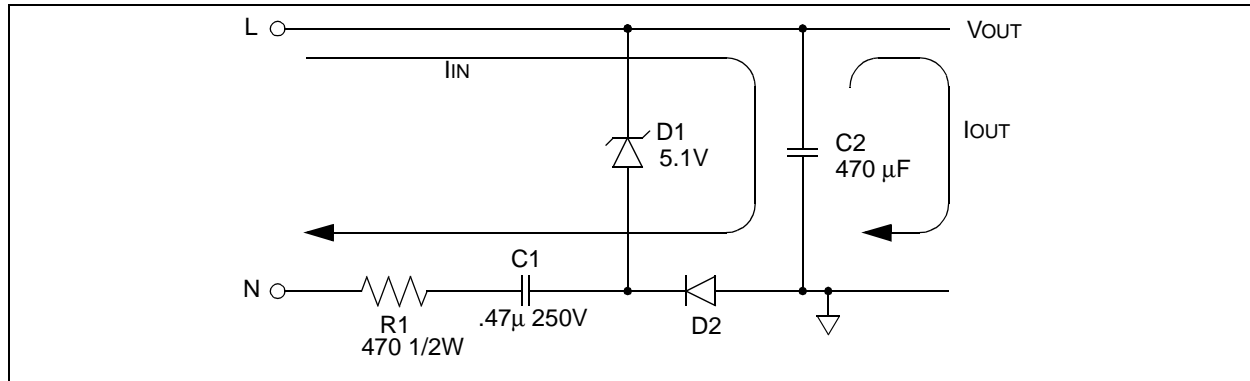
<b>Advertencia:</b> <i>Un riesgo de la electrocución existe al experimentar con circuitos sin transformador conectados a la pared. No hay el transformador para el aislamiento de la energía de línea en los circuitos siguientes, así el usuario será muy cuidadoso y evaluará los riesgos de transitorios de línea en la aplicación del usuario. Un transformador de aislamiento debe usarse al examinar los circuitos siguientes.</i>
--

## FUENTE DE ALIMENTACIÓN CAPACITIVA SIN TRANSFORMADOR

Una fuente de alimentación sin transformador capacitiva se muestra en la Figura 1. El voltaje en la carga permanecerá constante siempre y cuando la corriente de ( $I_{OUT}$ ) es menor o igual a la corriente de entrada ( $I_{IN}$ ).  $I_{IN}$  está limitado por  $R1$  y la reactancia de  $C1$ .

**Note:**  $R1$  limita la corriente de irrupción. El valor de  $R1$  es escogido que para no disipe mucha potencia, es bastante grande para limitar corriente de la irrupción.

**FIGURA 1: FUENTE DE ALIMENTACIÓN CAPACITIVA**



$I_{IN}$  es dada por:

### ECUACIÓN 1:

$$I_{IN} = \frac{V_{HFRMS}}{X_{C1} + R1} \geq I_{OUT}$$

$V_{HFRMS}$  es el voltaje RMS de una media onda de una onda seno de CA y  $X_{C1}$  es la reactancia de  $C1$ .

### ECUACIÓN 2:

$$V_{HFRMS} = \frac{V_{PEAK} - V_Z}{2} = \frac{\sqrt{2}V_{RMS} - V_Z}{2}$$

$V_{PEAK}$  es el voltaje pico del tomacorriente,  $V_{RMS}$  es el voltaje del tomacorriente (p.e., Estados Unidos: 115 VCA, Europa: 220 VCA) y  $V_Z$  es la caída de voltaje en  $D1$ .

### ECUACIÓN 3:

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi f C1}$$

$f$  es la frecuencia (p.e., Estados Unidos : 60 Hz, otros países : 50 Hz).

Sustituyendo Ecuación 2 y Ecuación 3 en Ecuación 1 resulta en:

### ECUACIÓN 4:

$$I_{IN} = \frac{\sqrt{2}V_{RMS} - V_Z}{2 \left( \frac{1}{2\pi f C1} + R1 \right)}$$

El valor mínimo de  $I_{IN}$  se calcula para la aplicación, mientras el valor máximo de  $I_{IN}$  se calcula para los requisitos de potencia de los componentes individuales.

## EJEMPLO 1: CÁLCULO de $I_{IN}$ MÍNIMO POSIBLE

Asumir valores mínimos de todos componentes excepto  $V_Z$ ,  $R_1$ . Tome valores máximos de  $V_Z$ ,  $R_1$ .

- $V_{RMS} = 110 \text{ VAC}$
- $V_Z = 5.1 \text{ V}$
- $f = 59.5 \text{ Hz}$
- $C = C_1 = 0.47 \mu\text{F} \times 0.8 = 0.38 \mu\text{F}$   
(asumir el capacitor de  $\pm 20\%$ )
- $R = R_1 = 470 \times 1.1 = 517$  (asumir el resistor  $\pm 10\%$ )
- $I_{INMIN} = 10.4 \text{ mA}$

## EJEMPLO 1: CÁLCULO de $I_{IN}$ MÁXIMO POSIBLE

Asumir valores máximos de todos componentes excepto  $V_Z$ ,  $R_1$ . Tome valores mínimos de  $V_Z$ ,  $R_1$ .

- $V_{RMS} = 120 \text{ VAC}$
- $V_Z = 5 \text{ V}$
- $f = 60.1 \text{ Hz}$
- $C = C_1 = 0.47 \mu\text{F} \times 1.20 = 0.56 \mu\text{F}$   
(asumir el capacitor  $\pm 20\%$ )
- $R = R_1 = 470 \times 0.9 = 423$  (asumir el resistor  $\pm 10\%$ )

$I_{INMAX} = 16.0 \text{ mA}$

$V_{OUT}$  está dado por:

## ECUACIÓN 5:

$$V_{OUT} = V_Z - V_D$$

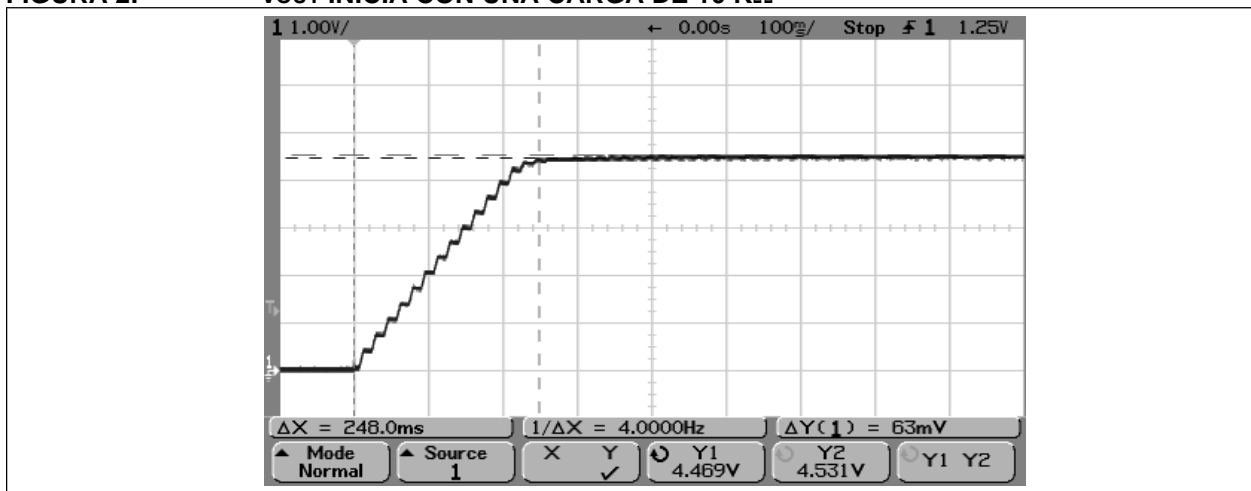
Donde  $V_D$  es la caída de voltaje continuo en  $D_2$ .

Se asume un diodo zéner de 5.1V y una caída de 0.6V en  $D_2$ , el voltaje de salida estará cerca de 4.5V. Esto está bien dentro de la especificación de voltaje para los microcontroladores PIC®.

## OBSERVACIONES

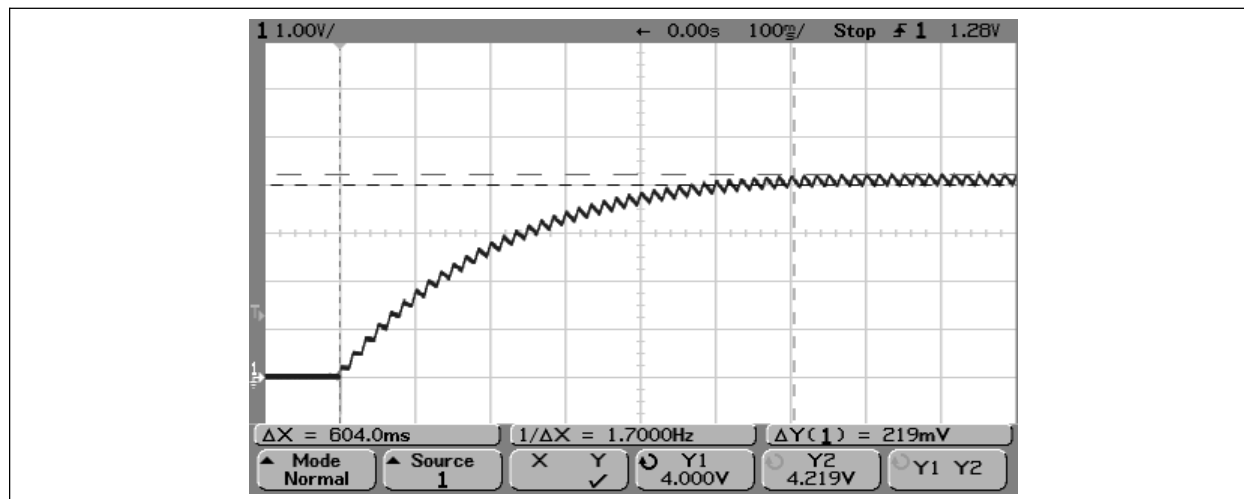
Figure 2 muestra una trama de osciloscopio de  $V_{OUT}$  inicia con una carga 10 kΩ en la salida (entre  $V_{OUT}$  y tierra.) La carga 10 kΩ delinea sólo 0.45 mA. Como resultando, el tiempo de subida de  $V_{OUT}$  es 280 ms (tan veloz como se puede para  $I_{IN}$  y  $C_2$  dados), el rizo es mínimo cuando  $V_{OUT}$  estabiliza al voltaje calculado en la Ecuación 5, aproximadamente 4.5V.

**FIGURA 2:  $V_{OUT}$  INICIA CON UNA CARGA DE 10 KΩ**



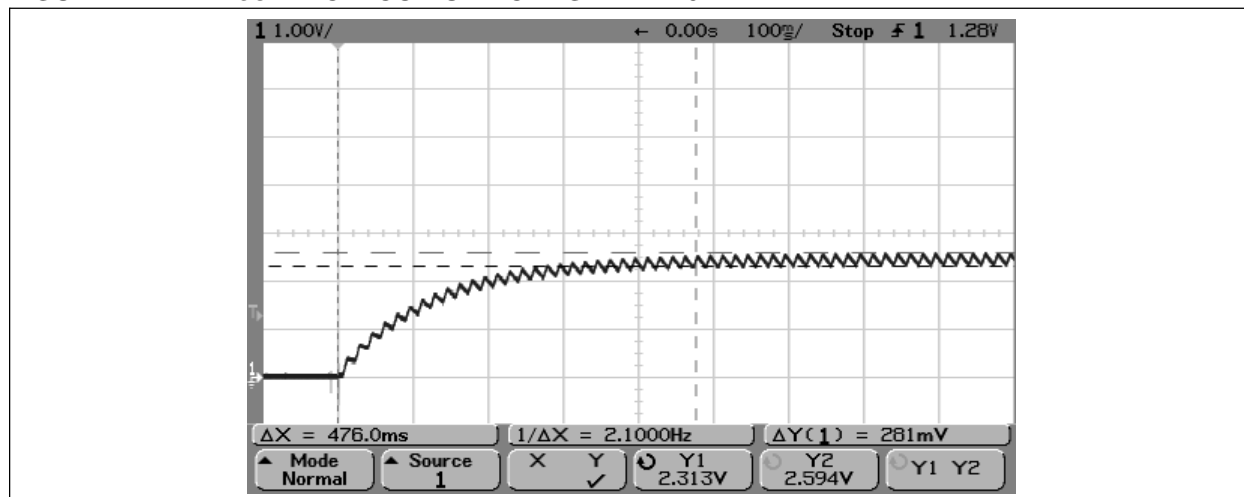
Si la carga se incrementa, el comportamiento del circuito cambia de varias maneras. Figura 3 muestra una trama del osciloscopio de  $V_{OUT}$  durante el mismo marco de tiempo para una carga de  $500\Omega$ . Una carga de  $500\Omega$  dibuja 9 mA a 4.5V. Esto está cerca del límite calculado en Ejemplo 1 de 10.4 mA. El tiempo de subida de  $V_{OUT}$  es más largo (680 ms) según lo esperado porque no sólo es  $I_{OUT}$  que carga  $C_2$ , sino una cantidad significativa de corriente está siendo arrastrado por la carga.  $V_{OUT}$  estabiliza a aproximadamente 4.1V, cerca a cuatro décimo de 1 voltio debajo del voltaje de salida calculado en la Ecuación 5. El rizado en  $V_{OUT}$  es más pronunciado con el incremento de corriente.

**FIGURA 3:  $V_{OUT}$  INICIA CON UNA CARGA DE  $500\Omega$**



Si aún más la corriente es exigida desde el circuito, la alimentación estabilizará a un voltaje debajo del nivel deseado. La Figura 4, muestra una trama del osciloscopio de  $V_{OUT}$  durante el marco de tiempo igual para una carga de  $270\Omega$ . Una carga de  $270\Omega$  consumirá aproximadamente 16 mA con un voltaje de salida de 4.5V. Esta corriente no puede ser proporcionada por el circuito, por lo tanto, el voltaje de salida se compromete.

**FIGURE 4:  $V_{OUT}$  INICIA CON UNA CARGA DE  $270\Omega$**



## CONSIDERACIONES DE POTENCIA

Cálculo de la disipación de potencia de los componentes en el circuito es una consideración crítica. La regla, es seleccionar los componentes con potencias de por lo menos dos veces la potencia máxima calculada para cada parte. Para los componentes de CA, los valores RMS máximos de voltaje y corriente se usan para calcular los requisitos de la potencia.

### Valor de R1:

La corriente sobre R1 es la corriente onda completa. Esta corriente es equivalente al voltaje de la línea dividido por la impedancia de C1.

### ECUACIÓN 6:

$$\begin{aligned} P_{R1} &= I^2 R = (V_{RMS} / 2\pi f C)^2 R \\ &= (21.3 \text{ mA})^2 (470 \Omega \times 1.1) = 0.23 \text{ W} \\ &\text{(asuma el resistor } \pm 10\%) \end{aligned}$$

Duplicando esto da 0.46W, así un resistor de 1/2W es suficiente.

### Valor de C1:

Asuma un voltaje de línea máximo de 120 VCA, el doble es 240V. Un capacitor de clase X2 250V es OK.

**Note:** La capacitor clase de X2 se usa en aplicaciones definidas por la categoría de la instalación II de IEC664. Esta categoría cubre aplicaciones de voltajes de 150 a 250 CA (nominal).

### Valor de D1:

D1 soportará más corriente sin carga presente. Asuma present. Asuma la condición del peor de los casos, D1 soportará casi la corriente de onda completa una vez que se carga C2. Esta corriente se calculó al hallar R1 (vea arriba).

### ECUACIÓN 7:

$$P_{D1} = I_x V = (21.3 \text{ mA})(5.1 \text{ V}) = 0.089 \text{ W}$$

Duplicando esto excede 1/4W, un diodo Zener de 5.1V a 1/2W es una buena opción.

### Valor de D2:

La corriente RMS máxima que fluirá sobre D2 se calculó en Ejemplo 2. Asuma una caída de 0.7V en el resistor para la mitad de la onda, la ecuación siguiente (arriba) aproxima la potencia disipada de D2.

### ECUACIÓN 8:

$$P_{D2} = I_x V = (16.0 \text{ mA})(0.7 \text{ V}) = 0.011 \text{ W}$$

Un rectificador de 1/8 W es OK para D2.

### Valor de C2:

C2 debe ser dos veces el voltaje del diodo Zener. En este caso, un capacitor electrolítico de 16V es OK. C2 almacena la corriente y la libera en la carga. Se halla según el rizado que es aceptable para VOUT. VOUT con decaimiento según Ecuación 9.

### ECUACIÓN 9:

$$V_{out} = V_d e^{-\frac{t}{RC}}$$

V<sub>D</sub> se calculó en Ecuación 5

## Ventajas y Desventajas

Ventajas de la Fuente de Alimentación Capacitiva:

1. Mucho más pequeña que una fuente de alimentación basada en transformador.
2. Más rentable que una fuente de alimentación basado en transformador o en conmutación.
3. Es más eficiente que una fuente de alimentación sin transformador resistiva (se discutirá después).

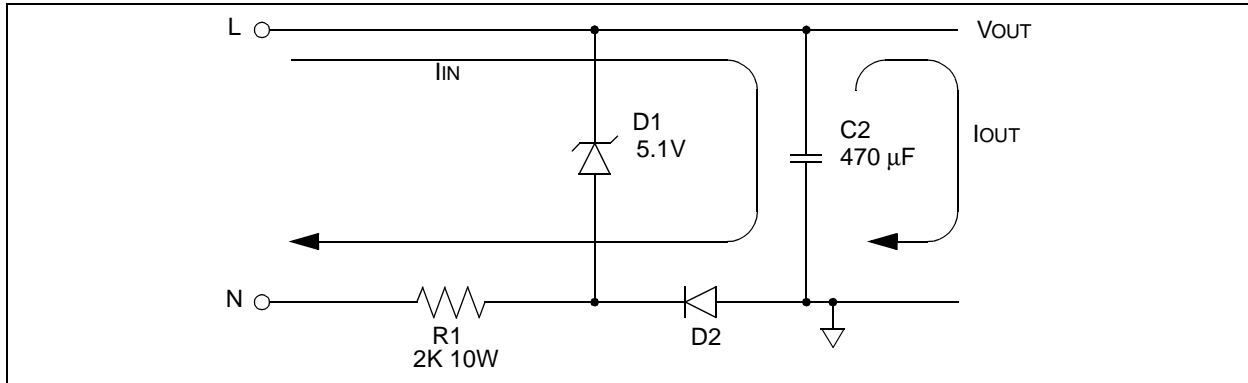
Desventajas de la Fuente de Alimentación Capacitiva:

1. No aislado del voltaje de línea de CA que trae problemas de seguridad.
2. Mayor costo que una fuente de alim. resistiva.

## FUENTE DE ALIMENTACIÓN SIN-TRANSFORMADOR RESISTIVA

Una fuente de alimentación del sin-transformador resistiva básica se muestra en la Figura 5. En lugar de usar una reactancia para limitar corriente, esta fuente de alimentación sólo usa un resistencia. Como con la fuente de alimentación capacitiva,  $V_{OUT}$  seguirá estable si la corriente de salida ( $I_{OUT}$ ) es menor o igual a la corriente de ( $I_{IN}$ .)

**FIGURA 5: FUENTE DE ALIMENTACIÓN RESISTIVA**



$I_{IN}$  es dada por:

**ECUACIÓN 10:**

$$I_{IN} = \frac{V_{HFRMS}}{R1} \geq I_{OUT}$$

$V_{HFRMS}$  es el voltaje RMS de una media onda de una onda seno de CA.

**ECUACIÓN 11:**

$$V_{HFRMS} = \frac{V_{PEAK} - V_Z}{2} = \frac{\sqrt{2}V_{RMS} - V_Z}{2}$$

$V_{PEAK}$  es el voltaje pico del tomacorriente,  $V_{RMS}$  es el voltaje del tomacorriente (p.e., Estados Unidos: 115VCA, Europa: 220VCA) y  $V_Z$  es la caída de voltaje en D1.

Substituting Equation 11 into Equation 10 results in:

**ECUACIÓN 12:**

$$I_{IN} = \frac{\sqrt{2}V_{RMS} - V_Z}{2R1}$$

El valor mínimo de  $I_{IN}$  se debe calcular para la aplicación mientras que el valor máximo de  $I_{IN}$  se debe calcular para los requisitos de potencia.

**EJEMPLO 3: CALCULO DEL MÍNIMO POSIBLE DE  $I_{IN}$**

Asuma valor mínimo de  $V_{RMS}$ . Assume maximum value of  $V_Z$  and  $R$ .

- $V_{RMS} = 110 \text{ VAC}$
- $V_Z = 5.1 \text{ V}$
- $R = R1 = 2 \text{ k}\Omega \times 1.1 = 2.2 \text{ k}\Omega$  (asuma el resistor  $\pm 10\%$ )

$$I_{INMIN} = 34.2 \text{ mA}$$

**EJEMPLO 4: CALCULO DEL MÁXIMO POSIBLE DE  $I_{IN}$**

Assume maximum value of  $V_{RMS}$ . Assume minimum value of  $V_Z$  and  $R$ .

- $V_{RMS} = 120 \text{ VAC}$
- $V_Z = 5 \text{ V}$
- $R = R1 = 2 \text{ k}\Omega \times 0.9 = 1.8 \text{ k}\Omega$  (asuma el resistor  $\pm 10\%$ )

$$I_{INMIN} = 45.8 \text{ mA}$$

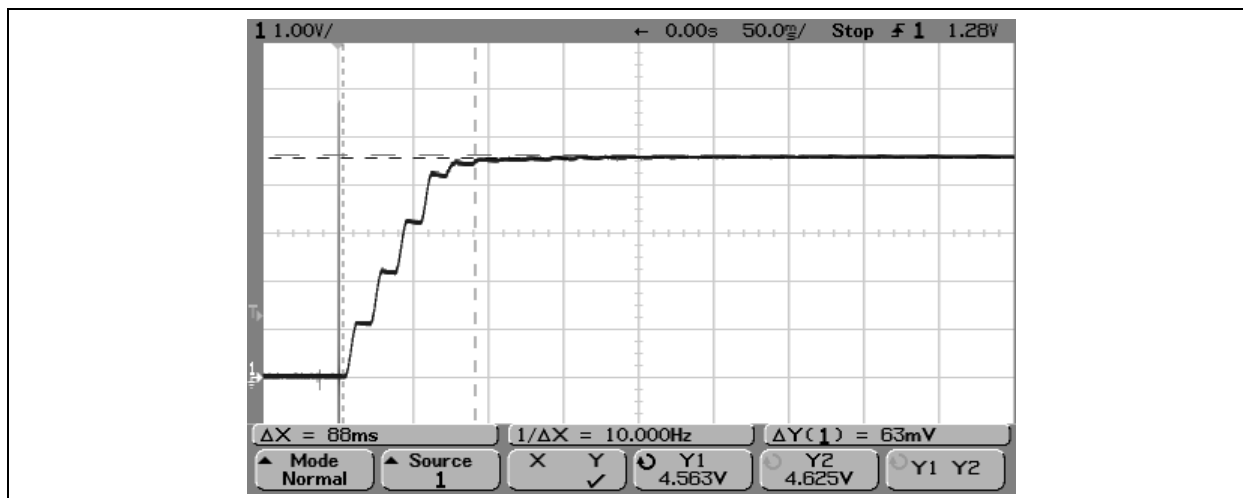
$V_{OUT}$  es igual que el dado para la fuente de alimentación capacitiva (vea Ecuación 5).

## OBSERVACIONES

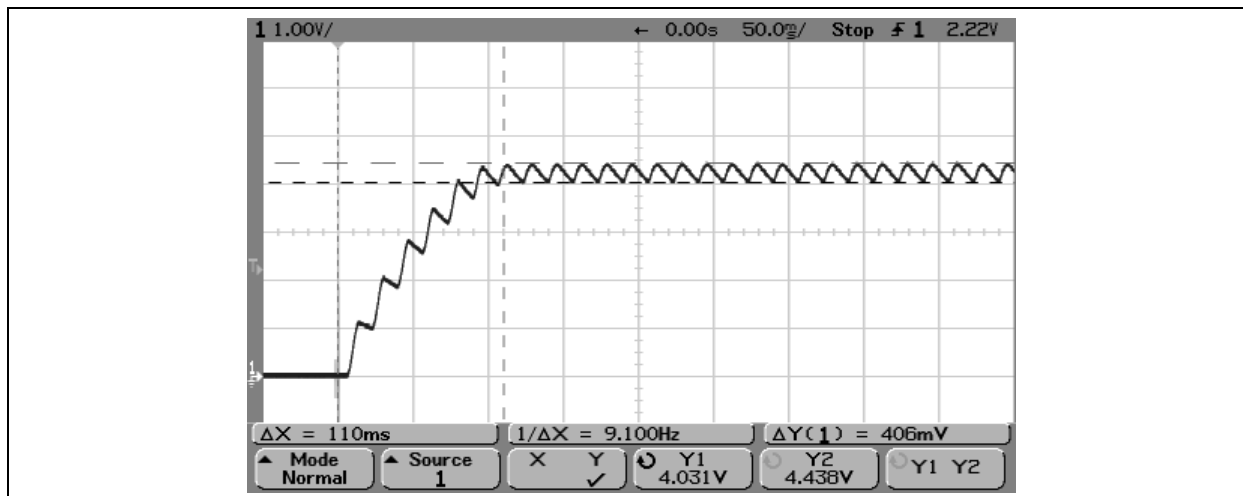
Las observaciones para la fuente de alimentación resistiva son muy similares a la fuente de alimentación capacitiva. Por favor refiérase a las "Observaciones" en la Sección "**Fuente de Alimentación Sin-Transformador Capacitiva**" para más detalles.

La Figura 6, la Figura 7 y la Figura 8 muestran  $V_{OUT}$  inicia para la fuente de alimentación resistiva con las cargas de  $10\text{ k}\Omega$ ,  $270\Omega$  y  $100\Omega$ , respectivamente. Estas cargas corresponden a las corrientes de salida de  $0.45\text{ mA}$ ,  $16\text{ mA}$  y  $45\text{ mA}$ , respectivamente, asumiendo un voltaje de salida de  $4.5\text{V}$ .  $V_{OUT}$  claramente no es  $4.5\text{V}$  en la Figura 6 porque la demanda de corriente puesta en la fuente de alimentación es demasiado alta.

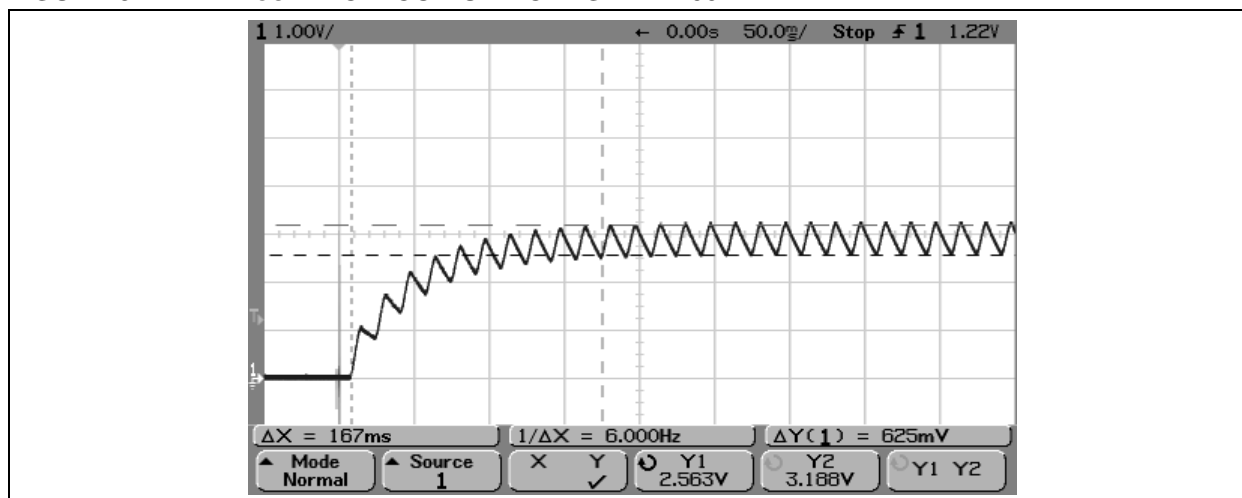
**FIGURA 6:  $V_{OUT}$  INICIA CON UNA CARGA DE  $10\text{ k}\Omega$**



**FIGURA 7:  $V_{OUT}$  INICIA CON UNA CARGA DE  $270\Omega$**



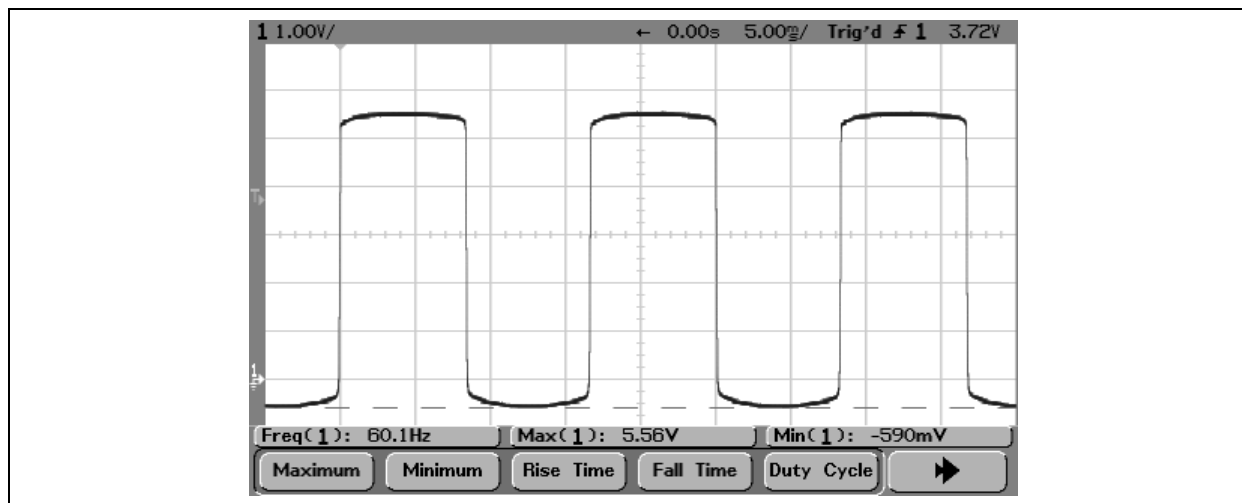
**FIGURA 8:  $V_{OUT}$  INICIA CON UNA CARGA DE  $100\Omega$**



Al trabajar con una fuente de CA a 60Hz, es a menudo deseable saber cuando el voltaje de línea cruza Neutro. El cruce, conocido como cruce por cero, puede ser capturado fácilmente conectando el nodo formado por D1, C1 y D2 a una entrada en el microcontrolador. La forma de onda observada a este nodo se muestra en la Figura 9.

Para la fuente de alimentación resistiva, la transición en esta forma de onda ocurre en el cruce por cero. Para las alimentaciones capacitivas, un poco de retraso está presente debido al capacitor en serie (C1 en la Figura 1).

**FIGURA 9: FIGURA A: FORMA DE ONDA EN EL NODE DE CRUCE POR CERO**





## CONSIDERACIONES DE POTENCIA

Elegir la potencia del componente en el circuito es una consideración crítica. Una regla general, el valor del componente debe ser de dos veces la potencia máxima calculada para cada dispositivo. Para los componentes de CA, se usan los valores de voltaje y corriente RMS para calcular los requisitos de potencia.

### Valor de R1:

#### ECUACIÓN 13:

$$P_{RI} = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

$$\left( \frac{120^2}{2 \text{ k}\Omega \times 0.9} \right) = 8W$$

(asuma un resistor  $\pm 10\%$ )

A Un resistor de 10W incorpora en 2 vatios la seguridad así que será usado.

### Valor de D1:

Sin carga, la corriente en D1 será casi igual a la corriente de la onda completa en R1.

#### ECUACIÓN 14:

$$P_{DI} = V_x I = V_z \frac{V_{RMS}}{R1}$$

$$5.1V \left( \frac{120}{2 \text{ k}\Omega \times 0.9} \right) = 0.34W$$

Un diodo zéner de 5.1V 1W debe usarse.

### Valor de D2:

La corriente RMS máxima que fluirá en D2 se calculó en Ejemplo 4. Asumiendo una caída de 0.7V en el resistor para la mitad la onda, la ecuación siguiente (arriba) aproxima la potencia disipada en D2.

#### ECUACIÓN 15:

$$P_{D2} = I_x V = (45.8 \text{ mA})(0.7V) = 0.032W$$

Un diodo de 1/8W es un suficiente para D2.

### Valor de C2:

C2 debe tener dos veces el voltaje del diodo zéner. En este caso, un capacitor electrolítico de 16V servirá. C2 acumula la corriente sólo para cederla a la carga. El valor se basa en las fluctuaciones de voltaje que son aceptable en VOUT. VOUT se deteriora según la Ecuación 9.

## Ventajas y Desventajas

#### Advantages of Resistive Power Supply:

1. Mucho más chica que una fuente de alimentación basada en transformador.
2. Costo más bajo que una fuente de alimentación basada en transformador.
3. Menor costo que una fuente de alim. capacitiva.

#### Desventajas de Fuente de Alimentación Resistiva:

1. No aislado del voltaje de línea de CA que introduce problemas de seguridad.
2. La energía es menos eficiente que una fuente de alimentación capacitiva.
3. La pérdida de energía es disipada como calor en R1.

## OTRAS CONSIDERACIONES

### Consideraciones de seguridad

**Disclaimer:** This section does not provide all the information needed to meet UL requirements. UL requirements are application specific and are not exclusive to the circuit design itself. Some of the other characteristics that are factors in meeting UL requirements are trace width, trace proximity to one another, and (but not limited to) other layout requirements. Visit the Underwriters Laboratories Inc. Web page at [www.ul.com](http://www.ul.com) for more information.

**FIGURA 10: FUENTE DE ALIMENTACIÓN CAPACITIVA CON CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD**

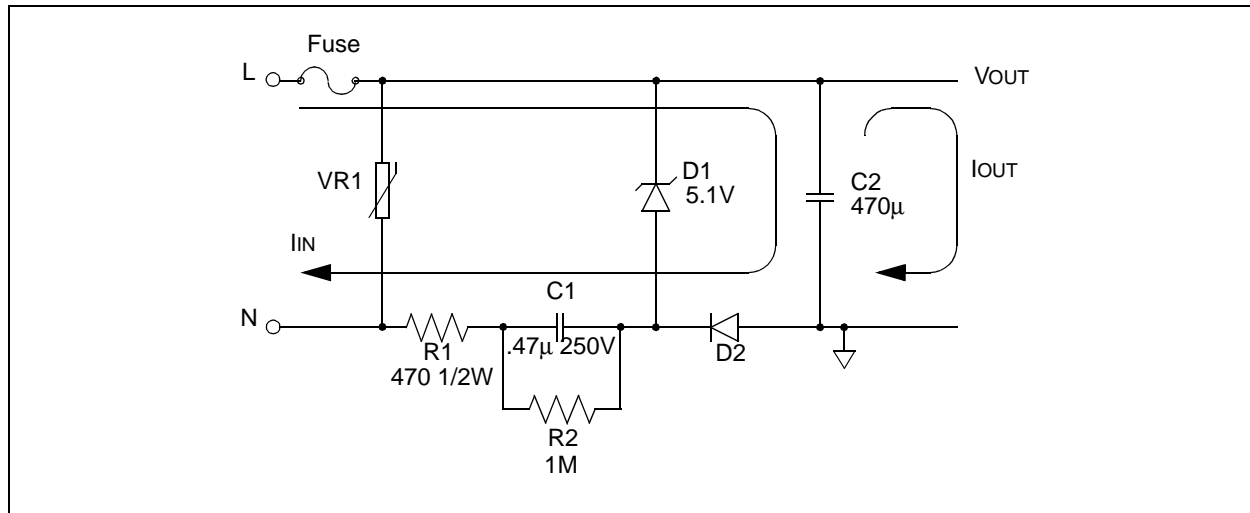
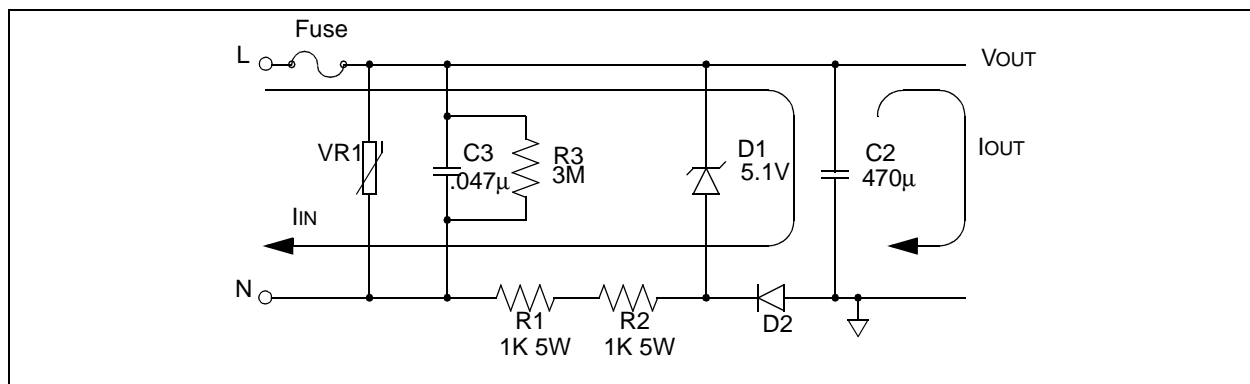


Figure 10 muestra una fuente de alim. capacitiva con varias consideraciones de UL en el diseño. Un fusible se pone para proteger el circuito durante una condición de sobre-corriente. R2 paralelamente a C1 crea un filtro que atenúe la EMI de retorno sobre la línea. Un varistor o MOV, proporciona protección transitoria.

Figura 11 muestra una fuente de alim. resistiva con varias consideraciones (1) de UL de diseño.

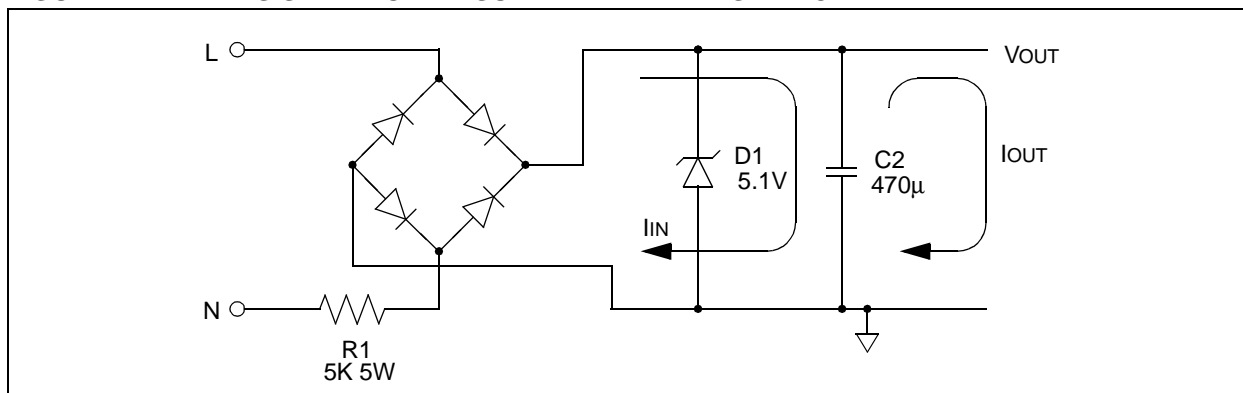
**Nota 1:** Se debe investigar las datos aplicables de UL que se ponen al producto específico del usuario. Los productos se probarán en un laboratorio certificado para ver los requisitos de UL se cumplen.

**FIGURA 11: FUENTE DE ALIMENTACIÓN RESISTIVA CON LAS CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD**



Como con la fuente de alimentación capacitiva, se han puesto un fusible y el varistor para dar protección de sobrecorriente y transitorio respectivamente. El resistor de 2k se separa en dos resistores en serie de 1k. El resistor se debe dividir en dos resistores de modo que un transitorio de alto voltaje no puentee el resistor. El uso de los dos resistores también reduce el voltaje en los resistores, reduciendo la posibilidad de formar arco. C3 y R3 crean un filtro que evite que la EMI creada por el circuito emigre sobre la vía de línea o neutral.

**FIGURE 12: RESISTIVE POWER SUPPLY WITH BRIDGE RECTIFIER**



### Rectificación del Puente

La corriente de salida de los circuitos descritos se puede incrementar en 141% con poner un económico rectificador puente. La Figura 12 muestra como la fuente de alimentación resistiva se ve con esta adición.

En vez de dar corriente durante sólo una mitad del periodo de la forma de onda de CA, la corriente es dada por la fuente durante ambas mitades. La Ecuación 16 da el voltaje RMS del voltaje RMS de onda completa en R1.

#### ECUACIÓN 16:

$$V_{FLRMS} = \frac{\sqrt{2}V_{RMS} - V_Z}{\sqrt{2}}$$

Sustituyendo en la Ecuación 10 da la ecuación para IIN:

#### ECUACIÓN 17:

$$I_{IN} = \frac{\sqrt{2}V_{RMS} - V_Z}{\sqrt{2}R}$$

Ventajas del rectificador puente sobre el de media onda:

1. Proporciona 141% más de corriente.
2. Más eficiente.
3. VOUT es más estable.

Desventajas del rectificador puente comparado al rectificador de media onda:

1. Más caro.
2. VOUT no está referido a la línea o al neutral haciendo el control del triac imposible.

## CONCLUSIÓN

Las fuentes de alimentación sin-transformador son instrumentales en tener costos bajos en aplicaciones basadas en microcontroladores alimentados de la pared. Las fuentes de alimentaciones resistivas y capacitivas ofrecen un ahorro sustancial de costo y de espacio sobre las alimentaciones basados en transformador y conmutación. Las fuentes de alimentación capacitivas ofrecen una solución eficiente de energía, mientras las fuentes de alimentación resistivos ofrece un incremento del ahorro en costo.

## REFERENCIAS

"*Transformerless Power Supply*" D'Souza, Stan,  
TB008, Microchip Technology Inc.