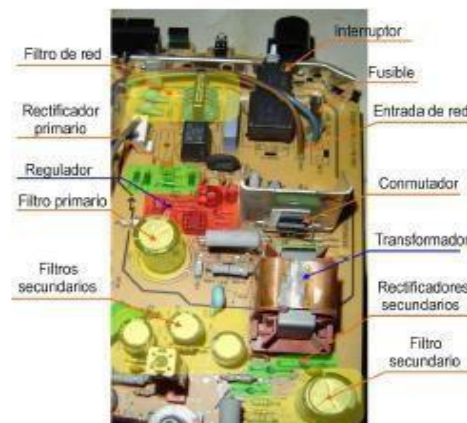
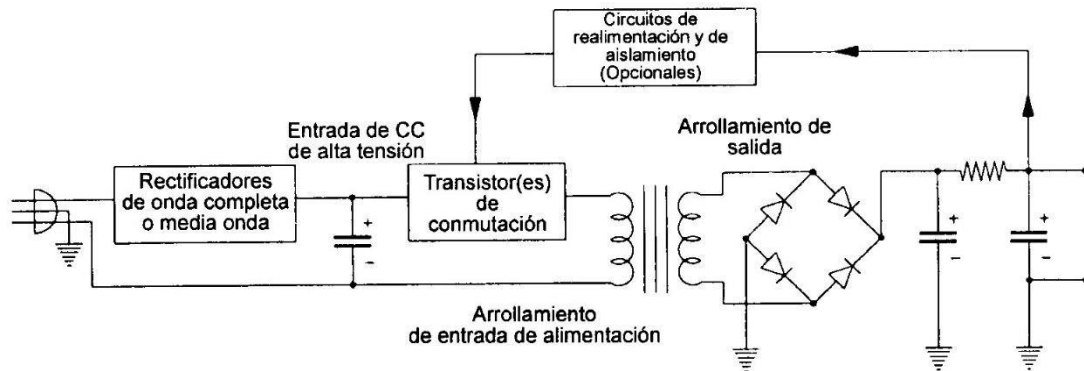


# FUENTES DE ALIMENTACIÓN

## LINEALES Y CONMUTADAS



Javier Reimón

Enero de 2016

# Indice

1. Introducción .....	3
2. Fuentes de alimentación lineales.....	4
3. Fuentes de alimentación conmutadas .....	36
Anexo 1. Detección de averías en fuentes lineales.....	49
Anexo 2. Detección de averías en fuentes conmutadas.....	56

## 1. Introducción

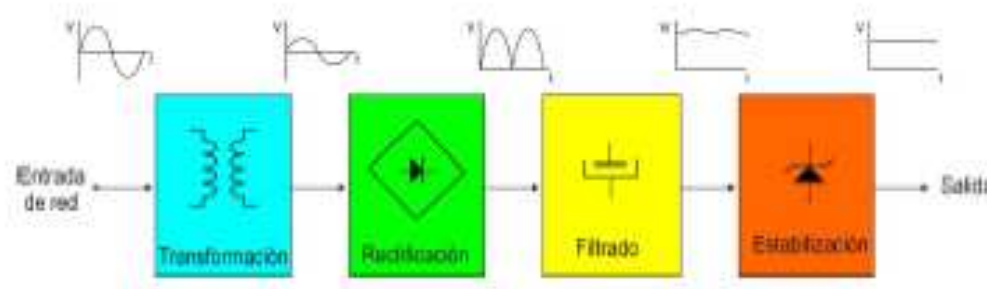
La función de una fuente de alimentación es convertir una señal de corriente alterna a una corriente prácticamente constante, proporcionando la señal necesaria para que está previsto en funcionamiento de muchos equipos electrónicos de consumo. En su mayoría funcionan con una tensión de bajo valor.

Se define la corriente alterna CA o AC (*Altern Current*), como aquella señal eléctrica cambia su sentido de circulación y varía de amplitud. También se hace referencia a CA cuando se habla de una señal de tensión, en ese caso se habla de una diferencia de potencial que cambia de polaridad, positiva o negativa.

La señal de la red de distribución de energía eléctrica es aproximadamente una onda alterna sinusoidal.

La necesidad de las fuentes de alimentación es clara, pues todos los equipos electrónicos que necesitan ser alimentados por corriente eléctrica de valor estable en el tiempo (corriente continua o directa (DC o CC)).

Una fuente de alimentación básica está compuesta por los siguientes bloques elementales:



**Ilustración 1.** Esquema de bloques de una fuente de alimentación básica y señales a la salida de cada bloque.

A estos se le podría añadir un sistema de regulación. En esto radica la diferencia entre los tipos de fuentes de alimentación:

- Fuente de alimentación lineal con/sin estabilizador (transformador-rectificador-filtro-adicionalmente un regulador básico).
- Fuente de alimentación conmutada (sistema de regulación de transistores en conmutación).

Una fuente de alimentación que trabaja a partir de la tensión de la red, requiere un transformador, cuyo tamaño y peso puede ser un punto importante a considerar.

La conmutada se trata de una fuente más eficiente, con un transformador más pequeño al trabajar en alta frecuencia. La regulación consiste en la tensión de transistores en conmutación, funcionando como interruptores. Sus aplicaciones son muy variadas: PC, dispositivos móviles de pequeño tamaño...

## 2. Fuentes de alimentación lineales

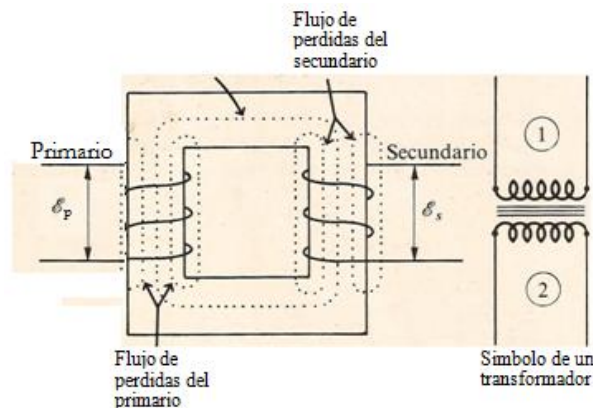
### EL TRANSFORMADOR DE ENTRADA

El primer paso es adaptar la tensión a la salida de la red. Esta es demasiado alta para la mayor parte de los dispositivos empleados en equipos electrónicos, para ello se usa un transformador.

Los transformadores funcionan en base a bobinas acopladas magnéticamente a través de un núcleo ferromagnético común.

Permiten inducir, adaptando, la tensión y corriente a través de un circuito compuesto de una bobina (devanado primario), en otra tensión y corriente en otro devanado (el secundario). Idealmente la potencia se conserva entre ambos devanados.

Tener un núcleo ferromagnético común (figura), permite que las bobinas sean atravesadas por el mismo flujo magnético, y reduce las pérdidas por dispersión\*.



*Ilustración 2. Construcción de un transformador de 2 devanados y correspondencia con el símbolo.*

Se observa el arrollamiento primario, el secundario, y las rayas verticales entre los arrollamientos primario y secundario indican que el conductor está enrollado alrededor de un núcleo de hierro. El número de vueltas en el arrollamiento primario es  $N_1$  y el del arrollamiento secundario  $N_2$ .

La relación de transformación (vueltas primario-secundario) y con la tensión es:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} = \frac{N_2}{N_1} \equiv \frac{N_s}{N_p} \equiv r$$

### **Transformador elevador**

---

\* Además de pérdidas por dispersión, hay pérdidas por efecto Joule y corrientes de Foucault

Cuando el arrollamiento secundario tiene más vueltas que el arrollamiento primario ( $N_2 > N_1$ ), la tensión del secundario es superior a la del primario ( $V_2 > V_1$ ), es decir,  $N_2 : N_1$  es mayor que 1 ( $N_2 : N_1 > 1$ ). Por lo tanto si  $N_2$  tiene el triple de vueltas que  $N_1$ , la tensión en el secundario será el triple que la tensión en el primario.

$$\text{Como } \frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \text{ si } N_2 > N_1 \Rightarrow V_2 > V_1$$

Este transformador se denomina “elevador” (de tensión, se entiende). Al mismo tiempo, en este transformador la corriente por el secundario sería menor.

$$\text{Como } \frac{I_2}{N_1} = \frac{I_1}{N_2} \text{ si } N_2 > N_1 \Rightarrow I_2 < I_1$$

### **Transformador reductor**

Cuando el arrollamiento secundario tiene menos vueltas que el arrollamiento primario ( $N_2 < N_1$ ), se induce una tensión menor en el secundario de la que hay en el primario. En este caso  $N_2 : N_1$  sería menor que 1 ( $N_2 : N_1 < 1$ ).

El transformador necesario en las fuentes de alimentación será reductor de tensión de la Red eléctrica a los valores eficaces de tensión alterna a rectificar, filtrar, estabilizar; otros bloques básicos presentes en las fuentes de alimentación.

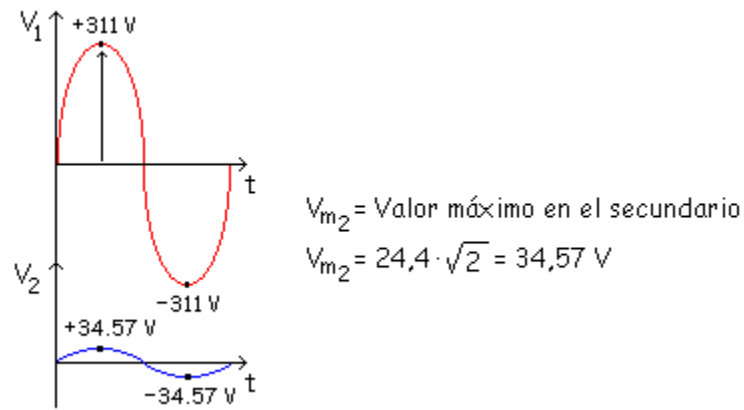
Ej.

$$N_1 = 9 \quad N_2 = 1 \quad V_1 = 220 \text{ V}$$

Cuanto menor sea la relación de transformación se induce una menor tensión en el secundario

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

En la gráfica siguiente se tiene la forma de onda aproximada de la entrada y la salida del transformador para una señal sinusoidal de 220 Vrms.



Este tipo de transformador se denomina "Transformador Reductor" (de tensión se entiende). A la vez que reductor de tensión, la corriente que circula por el secundario sería mayor. Esto se ve aproximadamente en la expresión siguiente:

$$N_2 < N_1 \Rightarrow V_2 < V_1$$

$$\frac{I_2}{N_1} = \frac{I_1}{N_2}$$

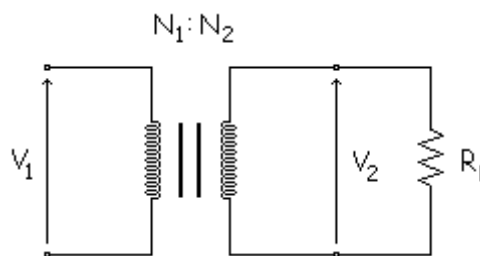
$$N_2 < N_1 \Rightarrow I_2 > I_1$$

Además de elevar o reducir la tensión o la corriente, conservando aproximadamente la potencia, el transformador es un dispositivo que puede cumplir las siguientes funciones:

- 1) Actuar como un dispositivo adaptador de impedancias. (con Relación de Transformación unitaria)
- 2) Aislar una parte de la red de otra.

### Efecto sobre la corriente

En la figura siguiente se puede ver una resistencia de carga conectada al arrollamiento secundario, esto es, el transformador en carga



*Ilustración 3. Efecto sobre la corriente en los devanados transformador*

A causa de la tensión inducida en el arrollamiento secundario, a través de la carga circula una corriente. Si el transformador es ideal ( $K = 1$  y no hay pérdidas de potencia en el arrollamiento y en el núcleo), la potencia de entrada es igual a la potencia de salida:

$$P_2 = P_1 \Rightarrow V_2 \cdot I_2 = V_1 \cdot I_1$$

Si aplicamos la relación de transformación secundario/primario y la relación de

tensiones:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Por lo tanto, nos quedaría:

$$\frac{I_1}{N_2} = \frac{I_2}{N_1}$$

La relación de corrientes en un transformador sería:

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2$$

## RECTIFICADORES

Aprovechan el funcionamiento unidireccional del diodo rectificador y, mediante el conexionado adecuado, fuerzan la circulación de corriente en un solo sentido a través de la carga ( $R_L$ ), que representa al circuito.

Existen tres diseños básicos:

\*De media onda.

\*De doble onda o de onda completa.

\*De doble onda en puente de Graetz o, simplemente, rectificador puente.

El sistema para eliminar la alternancia de la señal de entrada no es otro que la definición, como interruptor puede hacerse del diodo: en polarización inversa actúa idealmente como un circuito abierto.

### Rectificador de media onda

Está por compuesto por:

- Un diodo semiconductor (D).
- Fuente de tensión alterna (como la que suministra el secundario de un transformador reductor conectado a la Red Eléctrica) ( $v_i(t)$ )
- La impedancia de carga (en este caso,  $R_L$ ).

En la figura siguiente se representa el circuito del rectificador de media onda y su diagrama de tensiones:

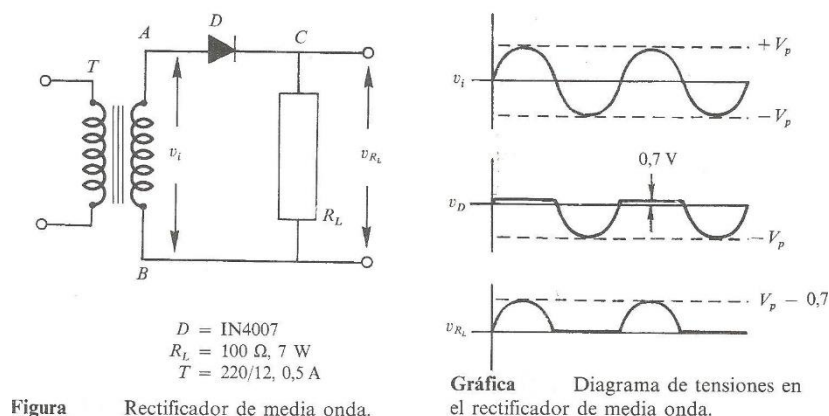


Ilustración 4

En cualquier momento la suma de caídas de tensión en el circuito es igual a la entregada por  $v_i(t)$ .

\*Sem Ciclos (+) de  $v_i(t)$ : El diodo está polarizado en directa con lo cual deja pasar corriente en el sentido indicado.

La caída de tensión en el diodo, superada la tensión umbral, queda aproximadamente fijada en ésta.

Por, tanto, la tensión en la carga será:

$$v_{RL}(t) = v_i(t) - V_D(t) \text{ (para } v_i(t) \geq V_{\text{umbral}})$$

En el siguiente semiciclo de  $v_i(-)$ , D queda polarizado inversamente: Si se desprecia la bajísima corriente inversa, el diodo no dejaría circular corriente por el circuito (aproximadamente como un interruptor abierto)

De esta forma:

$$v_{RL}(t) = 0 \, \text{V}, \text{ por tanto, } v_D(t) = v_i(t)$$

Se logra que circule corriente por la carga en un solo sentido o, lo que es lo mismo, aplicar tensión a la impedancia de carga de una sola polaridad.

Este es el paso inicial para convertir una tensión alterna en continua, al final, sin fluctuaciones apreciables.

El diseño rectificador de media onda consigue anular la tensión alterna en los semiciclos (-) y convertirla en una señal continua, pero oscilatoria, en los semiciclos (+)

### Rectificador de doble onda o de onda completa

Con los rectificadores de doble onda se consigue dos ciclos de corriente unidireccional en cada periodo, pero oscilatoria



En el circuito de la figura, cualquiera de las mallas A-D1-RL-C o B-D2-RL-C constituye por sí misma un rectificador de media onda:

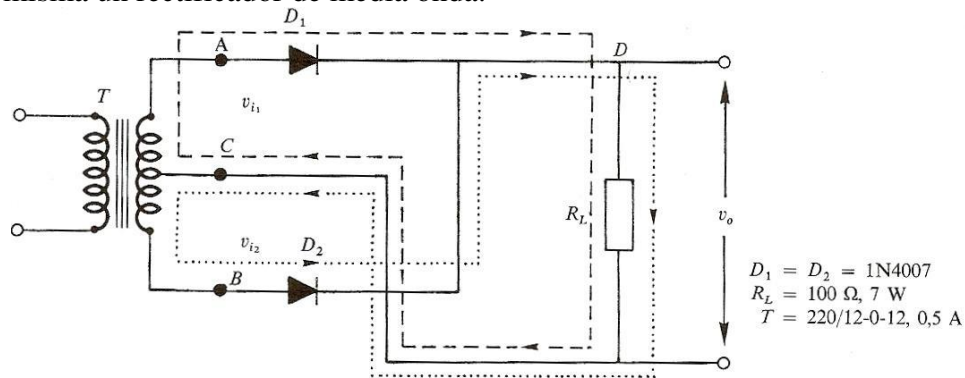


Figura Rectificador de doble onda.  
Ilustración 5

El principio de funcionamiento del rectificador de doble onda se diferencia del de media onda en la necesidad de disponer de 2 tensiones de entrada ( $v_{i1}$  y  $v_{i2}$ ) de igual amplitud, pero en contrafase. Se logra mediante un transformador con toma intermedia.

La toma intermedia actúa de masa a la tensión de referencia (0 V).

En un transformador de toma intermedia, como el de la figura, y respetando la polaridad de la señal en un instante dado, se cumple. (C es la toma intermedia)

$$v_{AC}(t) = -v_{BC}(t)$$

Es decir, que están en contrafase.

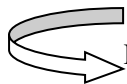
Mediante esto se consigue que siempre esté uno de los 2 diodos directamente polarizado y circule en todo momento corriente por la carga.

Observando el diagrama de tensiones de la figura:

- Semiciclo (+) de  $v_{AB}(t)$  de entrada :

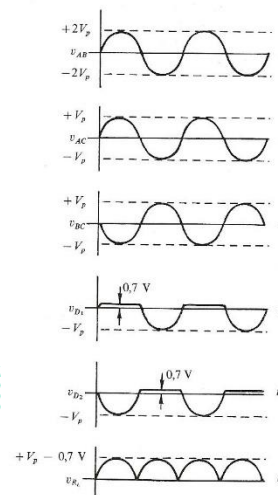
:

Cuando el terminal A es positivo respecto a la toma intermedia C, B es negativo respecto al mismo punto, por tanto D1 conduce y D2 estaría en aproximación bloqueado (en inversa)



La tensión en la carga es:

$$v_{RL}(t) = v_{ii}(t) - v_D(t) \Rightarrow v_{RL}(t) = v_{ii}(t) - V_{umbral} \quad (\text{para } v_i(t) \geq V_{umbral})$$



Gráfica Diagrama de tensiones en un rectificador de doble onda.

- Semiciclo (-) de  $v_{AB}(t)$  de entrada :

Cuando cambia la polaridad (B positivo con respecto a la toma intermedia C → A negativo respecto a ella).

$$v_{RL}(t) = v_i(t) - v_D(t) \Rightarrow v_{RL}(t) = v_i(t) - V_{umbral} \quad (\text{para } v_i(t) \geq V_{umbral})$$

Se ha conseguido aprovechar el semiciclo positivo de cada una de las tensiones en secundario respecto a la toma intermedia para hacer conducir corriente por cada diodo correspondiente, obviando el funcionamiento en inversa de cada uno de los 2 diodos en el semiciclo negativo correspondiente.

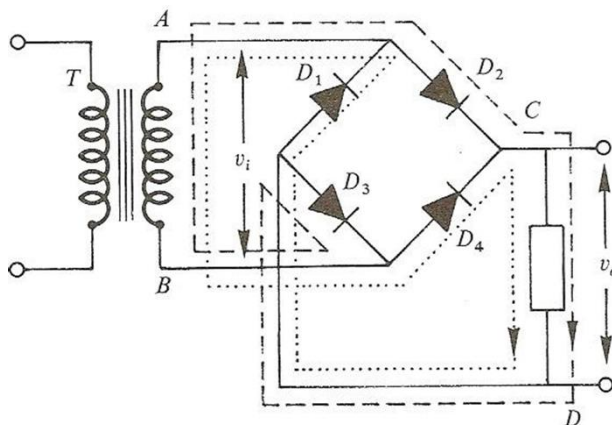
Por tanto, en cada alternancia de  $v_{AB}(t)$  circula corriente por algún diodo. Nótese que en ambas alternancias de  $v_{AB}(t)$  alterna,  $v_{RL}(t)$  oscilatoria de una sola polaridad, en cada semiciclo conserva la invarianza temporal de su forma de onda. De esta manera se consigue aprovechar al máximo la tensión del secundario del transformador de entrada, siendo éste de toma intermedia.

### Rectificador de onda completa en puente de Graetz

Montaje que pretende solucionar el inconveniente del de D.O., del transformador con toma intermedia u otro dispositivo desfasador.

Está compuesto por:

- 2 parejas de diodos, o equivalentemente, mejor, el circuito integrado (CI) denominado comercialmente “puente de diodos”.
- Fuente de tensión alterna (como la que proporciona el secundario de un transformador reductor conectado a la Red Eléctrica) ( $v_i(t)$ )
- Impedancia de carga (en este caso,  $R_L$ ).

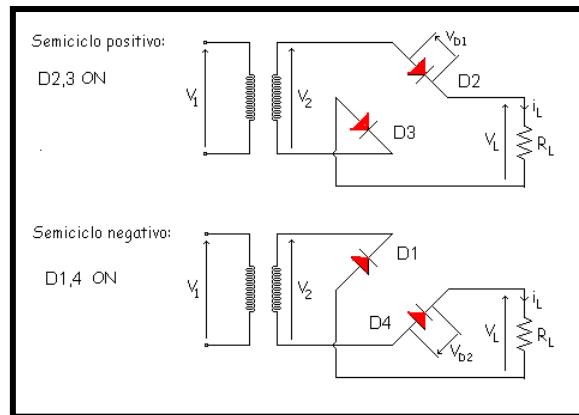


$$\begin{aligned} D_1 &= D_2 = D_3 = D_4 = 1N007 \\ R_L &= 100 \, \Omega, 7 \, W \\ T &= 220/12, 0,5 \, A \end{aligned}$$

**Figura** Rectificador en puente de Graetz.

*Ilustración 7*

La configuración de la figura ofrece siempre un paso a la corriente por la carga circulando en un solo sentido a través de una pareja de diodos en directa:



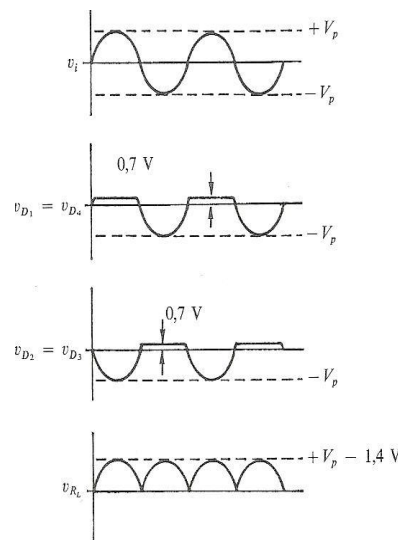
**Ilustración 8.** Diodos implicados en los sucesivos semiciclos.

Cuando en la entrada A es positivo respecto a B, el camino es D2-RL-D3.

Cuando cambia la polaridad de  $v_i(t)$ , el camino es D4-RL-D1.

Se extrae del diagrama de tensiones de la figura:

Cuando el semicyclo positivo de  $v_i(t)$  esté presente: polarizados en directa D2 y D3, circulando corriente y provocando las caídas de tensión, prácticamente iguales y próximas a  $v_{umbral}$ , siendo la tensión entre extremos de la carga:



salida  $v_o$

**Gráfica** Diagrama de tensiones en el rectificador puente.

**Ilustración 9**

$$v_{RL}(t) = v_i(t) - (V_{uD2} + V_{uD3}) = v_i(t) - 2V_{umbral} \quad (\text{para } v_i(t) \geq 2V_{umbral})$$

Al cambiar a polaridad negativa  $v_i(t)$ , el potencial B se hace positivo respecto a A en la entrada → D1 y D4 conducen dejando circular de nuevo corriente por la carga, siendo entonces la tensión entre sus extremos:

La respuesta a cada polaridad de la tensión de entrada es una tensión de polaridad única en la carga.

$$v_{RL}(t) = v_i(t) - (V_{uD1} + V_{uD4}) = v_i(t) - 2V_{umbral} \quad (\text{para } v_i(t) \geq 2V_{umbral})$$

Obsérvese la similitud con el rectificador de D.O., pero el rectificador puente produce pérdidas de tensión considerables en la carga a tensiones bajas aplicadas, porque la corriente ha de atravesar 2 diodos en cada semicyclo.

### Conclusiones

	Ventajas	Inconvenientes
<b>M.O.</b>	Sencillez, economía	Peor aprovechamiento de la tensión aplicada
<b>D.O.</b>	Mejor aprovechamiento de la tensión aplicada	Necesidad de transformador con toma intermedia
<b>Puente</b>	Buen aprovechamiento de la tensión aplicada	Pérdidas de tensión rectificada considerables para tensión alterna baja de entrada

### FILTRO PASO BAJO

Se emplea un filtro para suavizar las fluctuaciones de la señal de salida del rectificador.

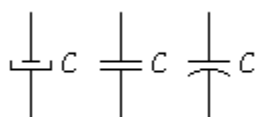
Los condensadores, las bobinas y las resistencias son los componentes básicos con los que se construyen los filtros en una fuente de alimentación. Éstos son los denominados filtros pasivos.

La corriente continua perfecta tiene un periodo infinito y una frecuencia nula. Por eso, el filtro se denomina paso bajo, ya que dejaría pasar solamente las frecuencias más bajas.

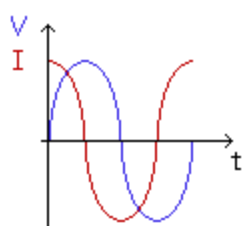
El filtro en las fuentes de alimentación puede ser de varios tipos, se describe primero un simple condensador conectado en paralelo a la salida del circuito rectificador. Su funcionamiento se basa en el fenómeno de carga y descarga de un circuito RC (dual al filtro RL).

Conociendo las características de un Condensador, y su capacidad de almacenamiento de energía y retención de carga, lo podemos utilizar como filtro para alisar la señal a la salida del rectificador.

#### **Condensador**

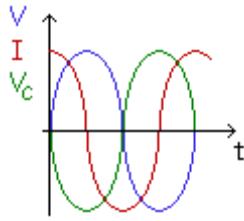


El condensador es un elemento que almacena energía. Este elemento se opone a las variaciones bruscas de la tensión que se le aplica. Se representa con la letra C y su unidad es el Faradio (F).



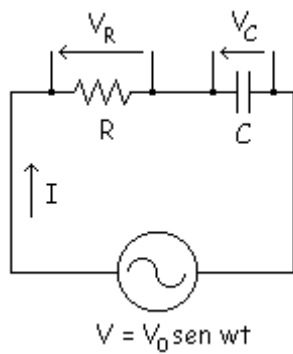
Una capacidad (o condensador) pura adelanta la intensidad 90° con respecto a la tensión aplicada entre sus bornes.

Cuando la tensión aplicada entre los bornes del condensador aumenta en el condensador se crea una diferencia de potencial de signo contrario a la aplicada entre los bornes oponiéndose así a la variación brusca de la tensión.



### Carga de un condensador a través de una resistencia

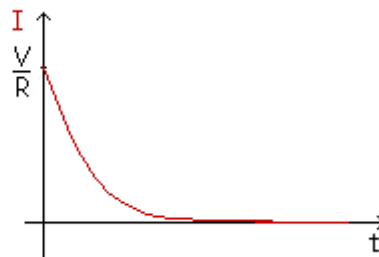
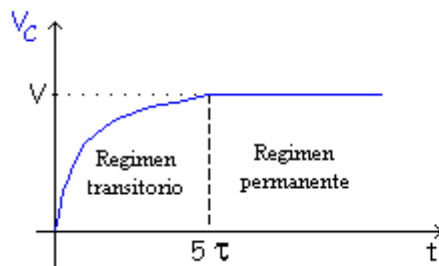
El circuito y las ecuaciones resultantes de él son estas:



$$V_C(t) = V \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right)$$

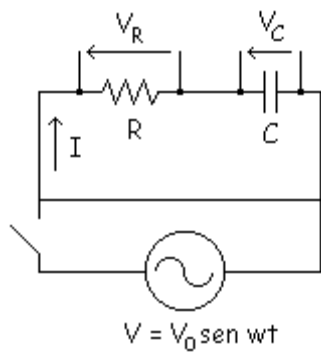
$$I = C \cdot \frac{dV_C}{dt} = \frac{V}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

La constante de tiempo  $\tau$  es el tiempo necesario para que el condensador se cargue aproximadamente al 63 % de la tensión de la fuente. A efectos prácticos, el condensador se supone totalmente cargado al cabo de  $5\tau$ . Las gráficas son las siguientes:



### Descarga de un condensador a través de una resistencia

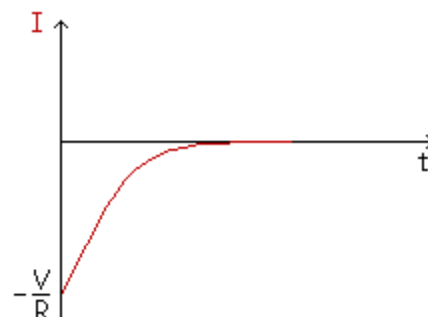
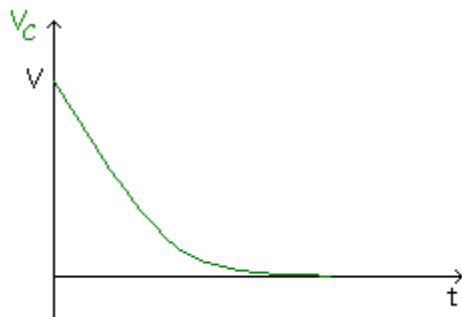
El circuito con sus ecuaciones:



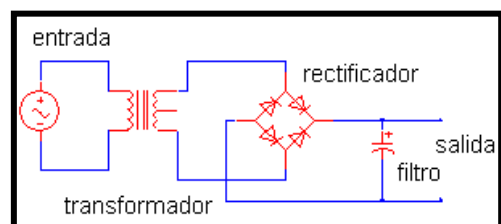
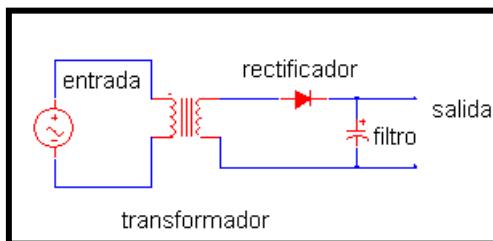
$$V_C(t) = V \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

$$I = C \cdot \frac{dV_C}{dt} = -\frac{V}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

Y las gráficas:



Los esquemáticos siguientes son un sencillo condensador conectado a la salida de en un rectificador de media onda y en otro de onda completa. Este tipo de fuentes es muy simple y tiene el inconveniente que la tensión de salida es poco estable al variar la tensión de entrada o la carga, por lo que sólo se podrá utilizar para alimentar equipos que admitan dicho inconveniente.

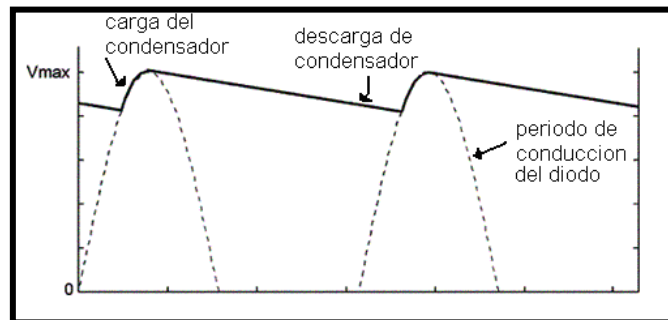


**Ilustración 10.** Filtro simple en C en un rectificador de media onda y otro de onda completa.

Supongamos a que tenemos una carga resistiva R a la salida de este filtro. Entonces se producen los procesos complementarios denominados carga y descarga en el circuito RC:

- Al conectar el condensador está inicialmente descargado y debe cargarse hasta alcanzar el valor de pico del rectificador. Cuando la tensión del rectificador empiece a disminuir, el diodo queda polarizado inversamente y no conduce. En este momento, el condensador comienza a descargarse a través de la resistencia.

- Cuando la tensión del rectificador vuelva a superar a la que posea el condensador, se invierten, el diodo se polariza directamente, y por tanto, se vuelve a cargar el condensador repitiéndose el proceso descrito mientras el sistema esté funcionando. El proceso se representa en la gráfica de la figura:

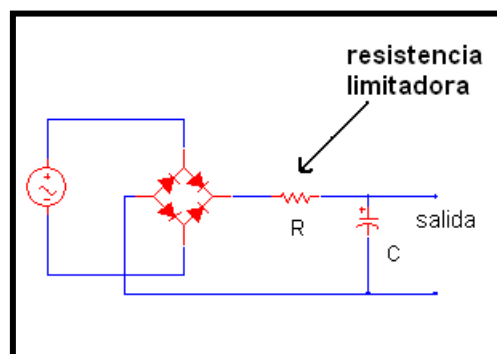


*Ilustración 11. Carga y descarga del condensador en un filtro RC.*

Una característica de este equipo de filtro es que proporciona la máxima tensión de salida a la carga. Pero se necesitan condensadores grandes en tamaño y capacidad. Por ello, se emplean condensadores electrolíticos (en este caso, no hay otra).

El máximo valor del condensador de entrada que se puede utilizar en un rectificador en condiciones de seguridad es ordinariamente especificado en las instrucciones del fabricante:

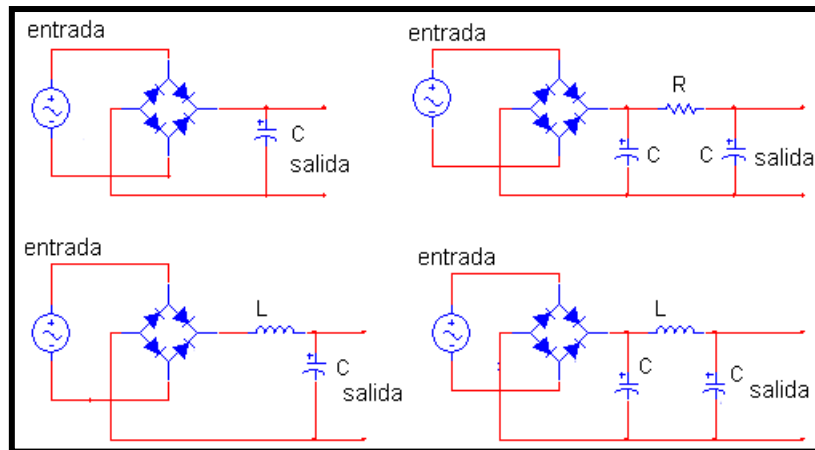
Si el condensador es de capacidad elevada pueden producirse inestabilidades, al darse unos valores de intensidad en los diodos muy elevados. Por ello es conveniente, en este caso, disponer de otra resistencia intermedia entre el rectificador y el circuito de filtrado (figura), que limite la corriente.



**Figura.**

*Ilustración 12. Conexión de una resistencia limitadora para mejorar la respuesta del filtro C.*

Se consideran 3 topologías que podrían ser adecuadas:.



*Ilustración 13. Topologías de filtros pasivos en fuentes de alimentación.*

#### - Filtro LC

Es un filtro paso bajo con la topología de indicada en la figura 2.

Tiene una rama con un inductor de coeficiente de autoinducción  $L$  en serie con el rectificador y un condensador de capacidad  $C$  en paralelo con la inductancia.

Se explica el diseño de este filtro, por ser sencillo:

Del análisis de la red, se deduce que la fórmula para el filtro, de orden 2, es:

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

La reactancia del condensador o del inductor debe ajustarse al valor correcto, en función del otro elemento.

Hay que elegir un valor arbitrario de uno de los 2 elementos y luego calcular el otro (por lo común se elige  $C$ , por ser pocos los valores disponibles de capacidad).

En ese caso,  $L$  se obtendría así:

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2} C$$

Los componentes de la figura 1.1 serán reales. Su resistencia equivalente serie (ESR, *Equivalent Series Resistance*) debe ser muy pequeña, para evitar que entren en resonancia y ambos se comporten como un solo componente. Esto último sólo se cumple en frecuencias muy bajas, por ello no se emplean filtros así en fuentes conmutadas.

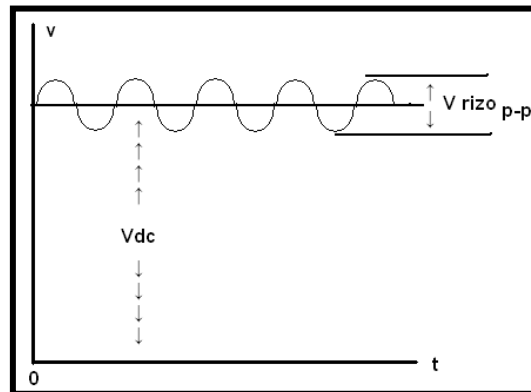
#### **Rizado en la salida del filtro**



Con la base del filtro pasos bajo y las configuraciones de filtro más usuales en una fuente de alimentación, pasemos a estudiar el denominado “rizado”.

En la medida de lo posible una fuente es un “generador de DC” y debe entregar un voltaje de DC lo más alisado y uniforme posible.

El rizado es una componente variable de la señal que se obtiene a la salida de un sistema de filtrado paso bajo, por ejemplo, la señal que aparece en la figura siguiente:



*Ilustración 14. Rizado en la señal de salida del filtro. Significado.*

En la figura se puede ver en la gráfica el valor medio o nivel de DC y algunas variaciones de CA (rizado). Cuanto menor sea el rizado mejor será el comportamiento del filtro.

Suponiendo una medición del voltaje de salida de un sistema de filtrado usando un voltímetro de DC y uno CA (RMS). El voltímetro de DC leerá sólo el promedio o nivel de DC del voltaje de salida. El voltímetro de CA (RMS) leerá el valor RMS del componente de CA del voltaje de salida (para ello también se emplearía una bobina):

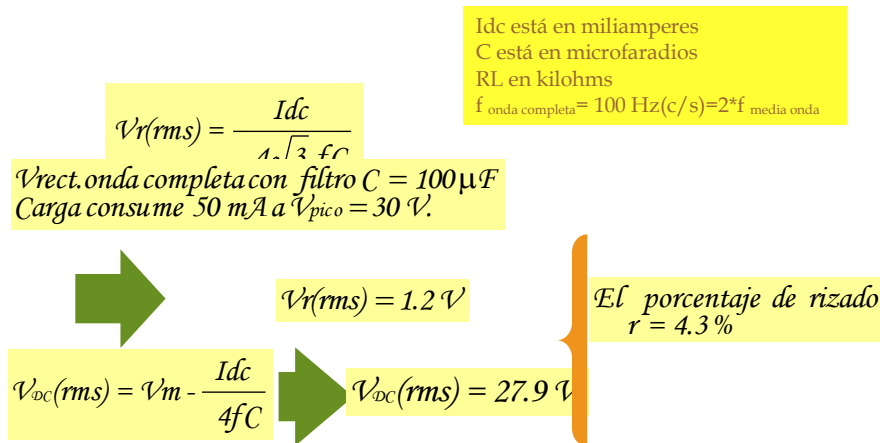
El porcentaje de rizado del voltaje de salida de un filtro sería:

$$r = \frac{V_{\text{rizado}}(rms)}{V_{dc}} * 100\% =$$

*Rizado típico  $\approx 6\%$  (A estabilizar)*

A continuación, se dan las expresiones analíticas del nivel de DC y de la tensión de rizado necesarias para determinar el porcentaje de rizado, en un ejemplo: filtro de onda completa.

$$V_{dc}(rms) = V_m - \frac{Idc}{4fC}$$



Nota: \*La expresión de  $V_{dc}(rms)$  es concordante con el nivel medio de DC en un condensador.

\*  $V_{rizado}(rms)$  concuerda con el valor eficaz de tensión de una señal en diente de sierra en un condensador a partir de su corriente.

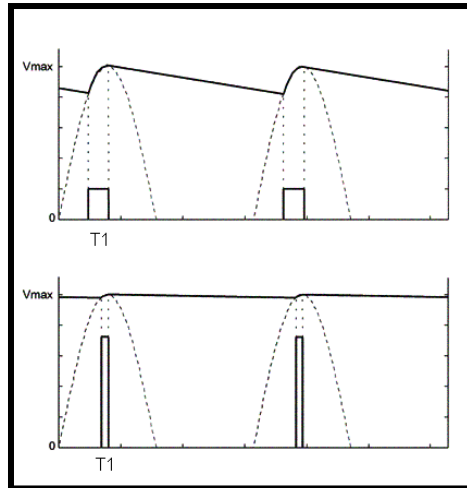
Existen condensadores que aguantan diferentes corrientes, y se podría escoger una asociación. Pero estos valores altos de  $C$  pueden alcanzar hasta un límite, que se verá a continuación.

### PERIODO DE CONDUCCIÓN DEL DIODO Y CORRIENTE PICO DEL DIODO

El impulso de intensidad en el condensador, cuando se utiliza un rectificador de media onda, es más alto que con un rectificador de onda completa. Esto es debido a que al ser la intensidad que llega a la carga casi igual, la energía que debe adquirir el condensador ha de ser prácticamente la misma, pero el condensador con un rectificador de media onda tiene la mitad de impulsos de carga que con onda completa, por lo que suple esto adquiriendo más carga en cada impulso, con lo anterior se deduce que un rectificador de onda media entrega a la salida del filtro un rizado mayor que un rectificador de onda completa, por lo tanto se obtiene una señal más plana a la salida del filtro si proviene de un rectificador de onda completa.

Una solución a la ligera sería optar por colocar un condensador de mayor capacidad para lograr con esto un menor nivel de señal de rizado y obtener con esto una salida de DC más plana pero con esto se provocaría un problema de conducción de corriente por el diodo y por ende del transformador tal y como se explicará en las siguientes líneas.

Como se anotó en párrafos anteriores, a simple vista queda claro que valores más grandes de capacitancia proporcionan menos rizado y mayor voltaje promedio, de manera que se proporciona una mejor acción de filtrado. A partir de esto se podría concluir que para mejorar el funcionamiento de un filtro de condensador sólo es necesario aumentar el tamaño del condensador de filtro. Sin embargo, el condensador también afecta el consumo pico de corriente extraída a través de los diodos rectificadores y, como se verá a continuación, entre mayor sea el valor del condensador, mayor es el consumo pico de la corriente extraída a través de los diodos rectificadores.



*Ilustración 15. Periodo de conducción de los diodos y corriente pico.*

Debemos recordar que los diodos conducen durante el periodo  $T_1$  (anterior figura); durante este tiempo el diodo debe proporcionar la corriente promedio necesaria para cargar al condensador. Entre más corto sea este intervalo, mayor será la cantidad de corriente de carga. La figura muestra esta relación para una señal rectificada de media onda que deberá incluso ser la misma operación básica para onda completa. Se debe observar que para valores pequeños de condensador, con  $T_1$  grande, la corriente pico del diodo es menor que para valores grandes del condensador de filtro.

Debido a que el consumo promedio de corriente de la alimentación debe ser igual a la corriente promedio del diodo durante el periodo de carga, se puede usar la siguiente relación suponiendo, claro está, constante la corriente del diodo durante el tiempo de carga:

$$I_{DC} = \frac{T_1}{T} I_{pico}$$

A partir de lo cual se obtiene:

$$I_{pico} = \frac{T}{T_1} I_{DC}$$

Donde:  $T_1$  = tiempo de conducción de diodo.

$T = 1/f$  ( $f = 100$  Hz para onda completa).

$I_{DC}$  = consumo promedio de corriente extraída del filtro.

$I_{pico}$  = corriente pico a través de los diodos conductores.

Para solucionar el problema de la corriente de carga del condensador, que produce picos y desestabiliza la tensión, existen otras disposiciones de filtros:

- Filtros en  $\pi$ :

Se denominan así debido a su topología que se asemeja a la forma de la letra  $\pi$ .

- Filtro en  $\pi$  resistivo

Útil en fuentes lineales más pequeñas con el rizado adecuado. Sin embargo, al contener resistencias pueden calentarse un tanto por efecto Joule.

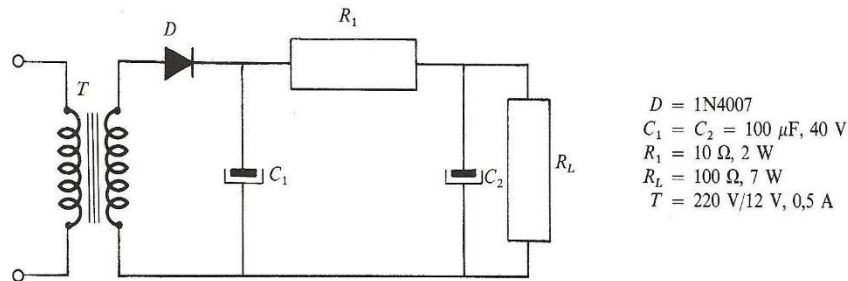


Figura Rectificador de M.O. con filtro en  $\pi$ .

*Ilustración 16*

Con un filtro por condensador simple, la estabilización de la tensión requiere un valor de C considerable; pero esto aumenta el riesgo de que los picos de corriente destruyan los diodos del rectificador. Cuando se requieren mejores filtrados y el valor de C no puede aumentar se aprovecha el diseño de filtro en  $\pi$ .

C1 se carga a través de la R interna del diodo y se descarga a través de R1, RL y C2. C2 se carga a través de la R interna del diodo y de R1. Por tanto, su carga es más lenta que la de C1; la descarga de C2 se produce a través de RL. Nótese que las variaciones de tensión en los extremos de C2 y carga serán mucho menores que en C1. Se nota el efecto del nuevo filtro.

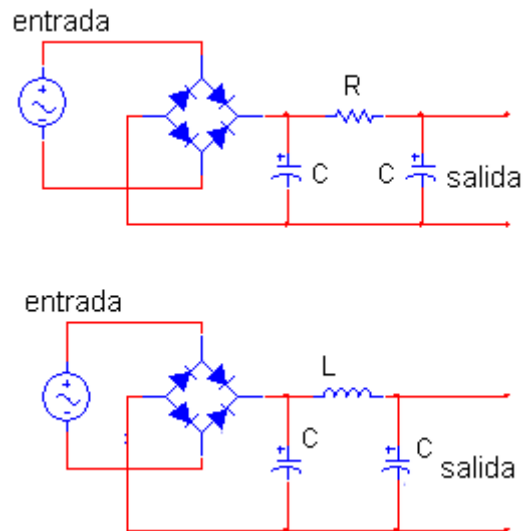
- Filtro en  $\pi$  inductivo:

Topología similar al  $\pi$  capacitivo, pero con una inductancia en vez de una resistencia.

La bobina disminuye el rizado cuanto mayor sea la intensidad, ya que la fuerza contraelectromotriz se opone a las variaciones de intensidad, lo que hace que los picos de intensidad mencionados se suavicen.

Al ser la frecuencia de la red baja (50 Hz o 60 Hz), la bobina presenta valores de peso y volumen considerables.

Estos tienen una mejor respuesta. Sin embargo, su tamaño puede ser considerablemente grande.



*Ilustración 17. Filtro en  $\pi$  resistivo y en  $\pi$  inductivo.*

### LA REGULACIÓN DE VOLTAJE

La tensión continua disponible a la salida del filtro del rectificador puede que no sea lo suficientemente buena, debido al rizado, o que varíe su valor ante determinado tipo de perturbaciones, como variaciones de la tensión de entrada, de la carga o de la temperatura.

En estos casos se necesitan circuitos de regulación o estabilización para conseguir que la tensión continua a utilizar sea lo más constante posible. Lo ideal sería que la tensión de salida fuera constante para cualquier condición del circuito, pero esto es imposible debido a:

- a) La tensión de red puede tener variaciones de hasta el 20% de su valor nominal.

- b) El circuito de carga conectado al rectificador puede absorber más o menos corriente. Al aumentar la corriente por la carga, la tensión de salida disminuirá debido a la caída en la resistencia del transformador y la de los diodos.

- c) En la salida aparece un rizado.

- d) Cuando se utilizan dispositivos semiconductores, la tensión de salida varía con la temperatura

Además de la clasificación en fuentes de corriente y fuentes de tensión, cabe distinguir dos tipos:

- a) **Fuentes estabilizadas:** Consiguen la estabilización de la magnitud de salida (tensión ó corriente) utilizando directamente la característica no lineal de un dispositivo electrónico.

- b) **Fuentes reguladas:** consiguen la estabilización de la magnitud de salida mediante un sistema de control o de realimentación negativa que corrige automáticamente dicha magnitud de salida.

Un factor importante en una fuente de alimentación es la cantidad en que cambia el voltaje de salida sobre un rango de operación del circuito. El voltaje proporcionado en la salida bajo condiciones sin carga (sin consumo de corriente en la fuente) se reduce cuando la carga consume corriente de la alimentación (bajo carga). La cantidad en que cambia el voltaje entre las condiciones de sin carga y con carga se describe por un factor llamado regulación de voltaje y con la siguiente ecuación:

$$\text{Regulación de voltaje} = \frac{\text{Voltaje sin carga} - \text{Voltaje a plena carga}}{\text{Voltaje a plena carga}}$$

$$\%RV = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} 100\%$$

De esta manera supongamos que se tiene una fuente que proporciona un voltaje de DC de 60 V cuando a su salida no esta conectada ninguna carga, cuando se conecta una carga la salida cae a 56 V, por tanto el valor de la regulación de voltaje es:

$$\%RV = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} 100\% = \frac{60 - 56}{56} 100\% = 7,1 \%$$

Si el valor del voltaje a plena carga es el mismo que el del voltaje sin carga, la regulación de voltaje calculada es del 0%, que es la mejor esperada. Esto significa que la fuente de alimentación de voltaje es perfecta, ya que el voltaje de salida es independiente del consumo de corriente extraída de la alimentación. Entre más pequeña sea la regulación de voltaje, mejor es la operación de la fuente de la fuente de alimentación de voltaje.

### El Diodo zéner y Los estabilizadores/reguladores De Tensión

Este tipo de diodos se ha diseñado para trabajar con polarización inversa y en la región de ruptura, donde se manifiesta el denominado “efecto zéner”, del que toma su nombre. En esta zona la característica tensión- corriente es la de mantener entre sus bornes una tensión aproximadamente fija, aunque varíe de forma notable la intensidad que circula por él.

Encuentra sus principales aplicaciones en reguladores de tensión y como elementos de referencia de tensión a circuitos. Su estudio como componente aislado y, posteriormente, en el análisis y diseño de reguladores.

Recordemos que, en polarización inversa y alcanzada esta zona, a pequeños aumentos de tensión corresponden grandes aumentos de corriente.

Este componente es capaz de trabajar en dicha región cuando las condiciones de polarización lo determinen y, una vez hayan desaparecido éstas, recupera sus propiedades como diodo normal, no llegando por este fenómeno a su destrucción salvo que se alcance la corriente máxima de zener  $I_{zmáx}$  indicada por el fabricante.

Lógicamente, la geometría de construcción es diferente al resto de los diodos, radicando su

principal diferencia en la delgadez de la zona de unión entre los materiales tipo *P* y tipo *N*, así como de la densidad de dopado de los cristales base.

En la característica corriente-tensión (figura), se observan sus parámetros principales:

- $V_Z$  = Tensión nominal de zener. Polarización inversa en torno a la cual su funcionamiento es efectivo.
- $I_{Zmin}$  = Mínima corriente inversa que ha de atravesar el diodo para excluir la región de fuga. Si se hiciera circular por el diodo una corriente  $I_{Zmin} < I_Z < I_{Zmax}$ , la tensión en sus bornes sería aproximadamente  $V_Z$ .
- $I_{Zmax}$  = Máxima corriente inversa que puede atravesar el diodo con garantía de no destrucción.  $I_{Zmax} = P_Z/V_Z$
- $P_Z$  = Potencia de disipación nominal del componente que no debe ser sobrepasada para garantizar su no destrucción.  $P_Z = I_{Zmax} V_Z$

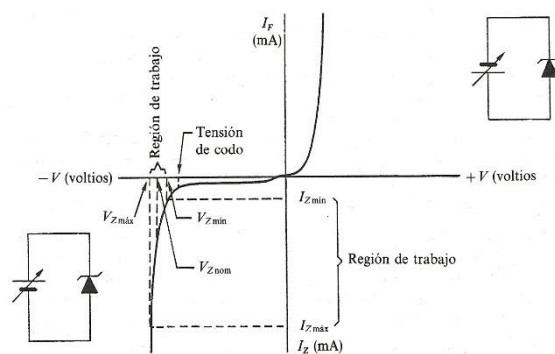


Figura 6.2. Característica tensión-corriente.

*Ilustración 18*

Cuando el zéner está polarizado inversamente, con pequeños valores de tensión se alcanza la corriente inversa de saturación, prácticamente estable y de magnitudes despreciables a efectos prácticos.

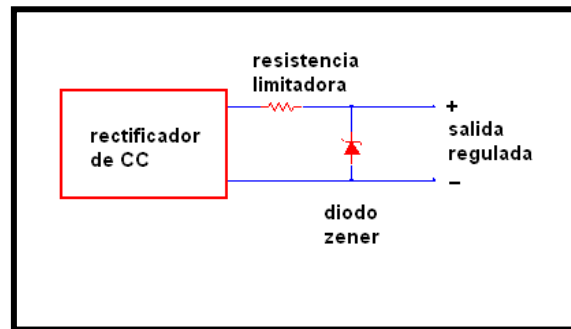
Si sigue aumentando la tensión de polarización inversa se alcanza un determinado valor, denominado tensión de codo o de giro, donde los aumentos de corriente son considerables frente a los aumentos de tensión (apréciese en torno a esta tensión la curvatura de la gráfica). Sobrepasada esta zona, a pequeños incrementos de tensión corresponden aumentos elevados de la corriente  $I_Z$ . Alcanzada la circunstancia anterior; nos encontramos en la región de trabajo efectivo del zéner. Debemos hacer ciertas consideraciones en este momento:

- 1) Se ha de asegurar que, en régimen de trabajo, el diodo sea atravesado como mínimo por una corriente inversa,  $I_{Zmin}$ , expresada por el fabricante para excluir la región de giro del funcionamiento normal.
- 2) No se debe sobrepasar en ningún caso  $I_{Zmax}$  para asegurar la supervivencia del componente.
- 3) Estos dos valores de  $I_Z$  llevan asociados un par de valores de tensión,  $V_Z$ ; aproximadamente, el valor medio de ellos representa la tensión nominal de zéner  $V_{Znom}$ .

Se suele expresar en las características un porcentaje de tolerancia sobre la tensión nominal.

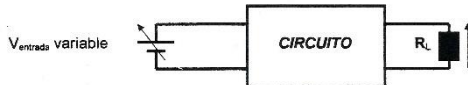
- 4) La potencia disipada en cada momento,  $P_z$ , vendrá expresada por el producto de los valores instantáneos de  $V_z$  e  $I_z$ .
- 5) Los valores de  $I_{z\min}$  e  $I_{z\max}$  con sus valores de  $V_z$  asociados representan la región de trabajo.

En la región de trabajo, el diodo zéner es capaz de mantener en sus extremos una tensión considerablemente estable.



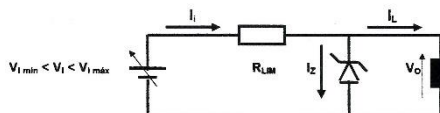
En la figura se observa un esquema de prácticas donde se calculan el diodo zéner y la resistencia limitadora de un regulador con zéner:

Con el circuito de la figura siguiente se pretende mantener una de salida ( $V_o$ ) lo más estable posible, independiente tanto de la: puedan ocurrir en la tensión de entrada como de las posibles resistencia de carga  $R_L$ .



El circuito mas sencillo para realizarlo es elegir un diodo nominal  $V_z$  igual a  $V_o$ , diseñando un circuito que mantenga al diodo dentro de su región de trabajo, es decir, la corriente que circulará por condiciones mas adversas nunca será inferior a  $I_{z\min}$ , ni superior a  $I_z$ .

El circuito al que se hace referencia es el siguiente:



Pasos a seguir en el diseño del circuito:

- A) Elegir la tensión nominal del Zener  $V_z$  igual a la tensión de en este caso  $V_o$ .
- B) Calcular la  $R_{LIM}$ .
  1. Se debe garantizar una corriente inversa por el diodo  $I_z$  circule la  $I_{z\min}$  por el diodo se debe cumplir simultáneamente  $R_L = R_{\min}$  (hay que tener en cuenta que cuanto **menor** la corriente que pasa por ella y **menor** la que pase por todo esto se calcula la  $R_{LIM}(máxima)$ , eligiendo el inmediato inferior.

$$R_{LIM}(máxima) = \frac{V_{i\min} - V_z}{I_z} = \frac{V_{i\min} - V_z}{I_{z\min} + I_{L\max}} = \frac{V_{i\min} - V_z}{I_{z\min} + (V_z / R_{L\max})}$$

En la fórmula anterior todas las variables son conocidas.

C) Cálculo de la potencia máxima que va a disipar el diodo  $P_z = V_z \times I_{z\max}$ , para lo cual se debe calcular  $I_{z\max}$ , bajo las condiciones mas favorables. Esto ocurre cuando se cumple simultáneamente que  $V_i = V_{i\max}$  y  $R_L = R_{L\max}$  (hay que tener en cuenta que cuanto mayor es  $R_L$  menor será la corriente que pasa por  $R_L$  y mayor la que pase por el zéner ( $I_z$ )).

$$I_{z\max} = I_i - I_{L\min} = \frac{V_{i\max} - V_z}{R_{LIM}(elegida)} - \frac{V_z}{R_{L\max}}$$

En la fórmula anterior todas las variables son conocidas y por tanto podemos elegir el diodo Zener que pueda disipar una potencia superior a la calculada.

Si no se dispone de un único zener capaz de disipar dicha  $P_{Z\max}$ , se pueden utilizar varios zener para conseguirlo. Por ejemplo: si una vez realizados los cálculos, el diodo que necesitamos debe tener una  $V_z = 22V$  y ser capaz de disipar una  $P_{Z\max}$  de 500 mW, y el tipo de diodo del que disponemos solamente puede disipar 400 mW, podemos realizar 2 montajes:

1. Colocar dos diodos en paralelo con una  $V_z = 22V$ , entre ambos pueden disipar 800 mW. Al estar los diodos en paralelo y no tener ambos una curva característica idéntica, la corriente que circula por cada uno de ellos puede ser diferente.
2. Colocar dos diodos en serie con una  $V_z = 11V$ , consiguiéndose entre ambos los 22V. En este caso también pueden entre ambos diodos pueden disipar 800 mW. Al estar los diodos en serie y no tener ambos una curva característica idéntica, la tensiones que caen en cada uno de ellos pueden ser ligeramente diferentes.

C) Cálculo de la potencia máxima que disipa la  $R_{LIM}(elegida)$ .

$$P = (V_{i\max} - V_z)^2 / R_{LIM}(elegida)$$



## FUENTES DE ALIMENTACIÓN REGULABLES.

Una vez que el voltaje se ha rectificado y posteriormente filtrado aun no está en condiciones de ser aplicado a un equipo electrónico estándar pues cualquier variación en la entrada del voltaje de línea de la fuente se reflejaría a la salida y esto no es deseable.

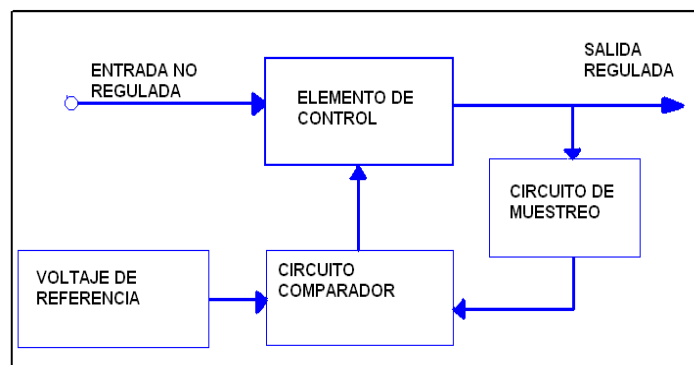
Dentro de las fuentes del tipo denominado “lineal” existen dos formas de regulación de voltaje. los circuitos reguladores de voltaje tipo serie y del tipo paralelo resuelven este problema: reguladores de voltaje serie y paralelo.

Cada tipo de circuito puede proporcionar un voltaje de DC de salida que regula o mantiene un valor determinado, incluso aunque el voltaje de entrada varíe o cambie la carga conectada a la salida.

### REGULACIÓN DE VOLTAJE SERIE

La conexión básica de un circuito regulador serie se muestra en el diagrama de bloques de la figura. El elemento serie controla la cantidad del voltaje de entrada que llega a la salida.

El voltaje de salida se muestrea con un circuito que proporciona un voltaje de retroalimentación para ser comparado con un voltaje de referencia.



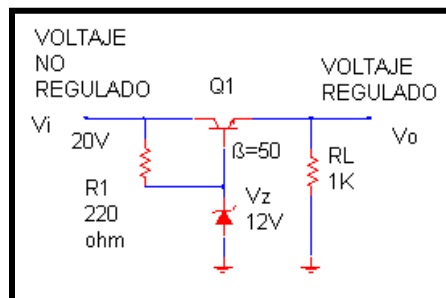
El funcionamiento de un regulador de voltaje tipo serie se puede resumir de la siguiente manera:

- Si el voltaje de salida fuera a incrementarse, el circuito comparador proporcionaría una señal de control que haría disminuir la cantidad del voltaje de salida del elemento de control en serie y, por tanto, mantendría el voltaje de salida.
- Si el voltaje de salida disminuye, el circuito comparador proporcionaría una señal de control para incrementar la cantidad del voltaje de salida en el elemento de control en serie.

### Circuito regulador en serie básico

En la figura siguiente se muestra un circuito regulador en serie base. El transistor Q1 es el elemento de control en serie y el diodo zéner  $D_z$  proporciona el voltaje de referencia. La operación de regulación se puede describir de la siguiente forma:

- Si disminuye el voltaje de salida, aumenta el voltaje base-emisor causando que el transistor Q1 conduzca más, elevando así el voltaje de salida y manteniendo la salida constante.
- Si se incrementa el voltaje de salida, disminuye el voltaje base-emisor, causando que el transistor Q1 conduzca menos, reduciendo por tanto, el voltaje de salida y manteniendo la salida constante.



#### Variación de $V_i$ supuesta fijada $I_L$ :

Que  $I_L$  sea constante, significa que la  $I_E$  del transistor permanecerá constante y, como consecuencia,  $I_B$  también permanecerá constante. Por otra parte, de la malla exterior obtenemos que

$$v_o = v_i - V_{CE}$$

Ahora bien, si suponemos inicialmente que  $V_i$  aumenta, también aumentará en correspondencia  $V_z$ , polarizando más inversamente el zéner y provocando un aumento de la  $I_z$ . Aplicando la ley de las corrientes en el nudo A, obtenemos:

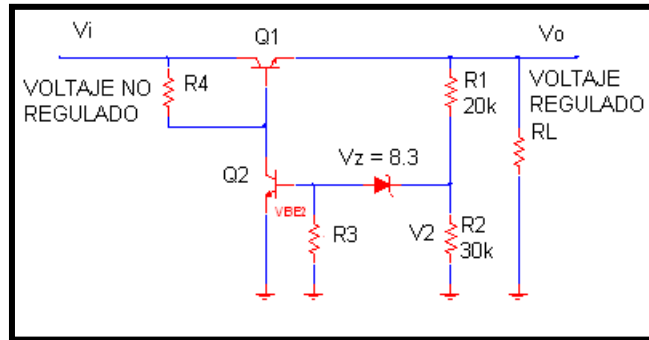
$$I_T = I_B + I_z$$

Como  $I_B$  permanece constante, pero  $I_z$  ha aumentado, el resultado es que  $I_T$  también aumenta y, por tanto, la caída de tensión en  $R_{ym}$  aumenta. Este aumento de tensión implica un aumento de la polarización negativa colector-base del transistor y, como consecuencia, un aumento de la resistencia de paso colector-emisor, es decir, un aumento de la tensión  $V_{CE}$ .

Observando de nuevo, se deduce que un aumento de la tensión  $V_i$  ha provocado un aumento de la tensión  $V_{CE}$ , los cuales al restarse hacen que  $V_D$  permanezca constante.

#### REGULADOR EN SERIE MEJORADO.

Un circuito regulador en serie mejorado es el que se muestra en la figura siguiente:



Las resistencias R1 y R2 actúan como un circuito de muestreo, proporcionando al diodo zéner Dz, un voltaje de referencia, y el transistor Q2 controla la corriente de base del transistor Q1 para variar la corriente que pasa por el transistor Q1 para mantener constante el voltaje de salida.

Si el voltaje de salida tiende a incrementarse, este es muestreado por R1 y R2, incrementando el voltaje V2, lo cual causa que el voltaje base-emisor del transistor Q2 se eleve debido a que Vz permanece fijo. Si Q2 conduce más corriente, hay menos en la base del transistor Q1, el cual entonces pasa menos corriente a la carga, reduciendo y manteniendo constante el voltaje de salida. Sucede lo opuesto si el voltaje de salida tiende a disminuir, lo que causa que más corriente se aplique a la carga para impedir que el voltaje disminuya.

El voltaje V2 proporcionado por las resistencias sensoras R1 y R2 debe ser igual a la suma del voltaje base-emisor de Q2 y el del diodo zéner, esto es:

$$V_{BE2} + V_Z = V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_O$$

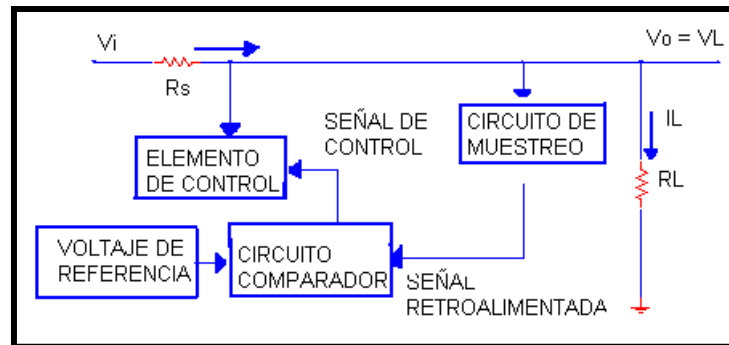
Resolviendo la ecuación anterior para el voltaje regulado de salida, Vo:

$$V_O = \frac{R_1 + R_2}{R_2} (V_Z + V_{BE2})$$

Tomando los datos de la figura anterior, el voltaje de salida regulado es 15 V

### REGULACIÓN DE VOLTAJE PARALELO

En un regulador de voltaje en paralelo, el elemento de control está en paralelo, y una parte de la corriente es consumida por los elementos de control para mantener el voltaje de salida regulado a través de la carga. Esto disminuye la eficiencia energética de esta fuente y el voltaje de salida será menor que en el regulador serie.

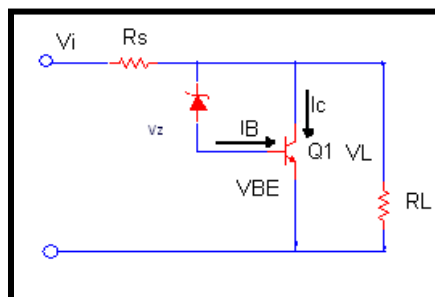


Si el voltaje de salida trata de cambiar debido a un cambio en la carga, el circuito de muestreo proporciona una señal de retroalimentación a un comparador, que a su vez proporciona una señal de control para variar la cantidad de la corriente consumida en paralelo de la carga.

Conforme el voltaje de salida trata de ser más grande, por ejemplo, el circuito de muestreo proporciona una señal de retroalimentación al circuito comparador, que a su vez proporciona una señal de control para obtener una corriente de derivación mayor, proporcionando menos corriente a la carga y, por lo tanto, evitando que el voltaje regulado se eleve.

### Regulador paralelo básico a transistor:

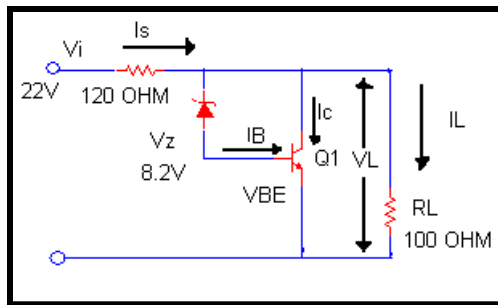
En la figura siguiente se muestra un circuito regulador en paralelo simple. La resistencia  $R_s$  disminuye el voltaje no regulado que depende de la corriente suministrada a la carga,  $R_L$ . El voltaje a través de la carga está fijado por el diodo zéner y el voltaje base-emisor del transistor. Si la resistencia de carga disminuye, da como resultado una corriente menor para la base de  $Q_1$ , derivando menos corriente de colector. La corriente de la carga será entonces mayor, manteniendo por tanto el voltaje regulado a través de la carga.



El voltaje de salida a la carga será, entonces:

$$V_L = V_Z + V_{BE}$$

Tomando como referencia el esquema anterior se ilustra el siguiente ejemplo para determinar el voltaje regulado y las corrientes del circuito para el regulador en paralelo de la figura siguiente:



Como se aprecia en el circuito el voltaje de carga es:

$$V_L = V_Z + V_{BE}$$

$$V_L = 8.2 + 0.7 = 8.9 \text{ V}$$

Para la carga dada:

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{8.9}{100} = 89 \text{ mA}$$

*x*

Con el voltaje no regulado en la entrada del circuito de 22 V, la corriente a través de Rs es:

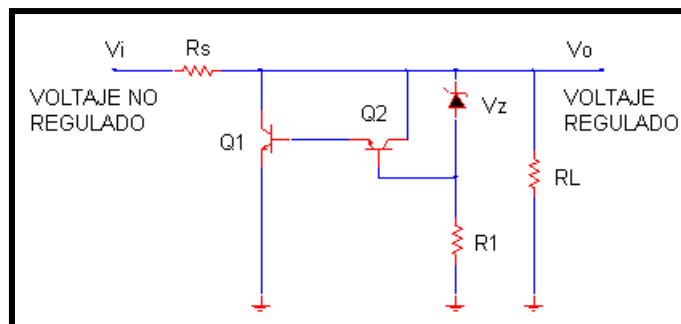
$$I_S = \frac{V_i - V_L}{R_s} = \frac{22 \text{ V} - 8.9 \text{ V}}{120 \Omega} = 109 \text{ mA}$$

Por lo que la corriente en colector es:

$$I_C = I_S - I_L = 109 \text{ mA} - 89 \text{ mA} = 20 \text{ mA}$$

### Regulador paralelo mejorado

El circuito de la figura muestra un circuito regulador de voltaje paralelo mejorado.



El diodo zéner proporciona un voltaje de referencia, por lo que el voltaje a través de R1 sensa el voltaje de salida. Cuando el voltaje de salida trata de cambiar, la corriente derivada por el transistor Q1 varía para mantener el voltaje de salida constante. El transistor Q2 proporciona una corriente de base más alta al transistor Q1 que en el regulador paralelo a transistor base, logrando con esto que el regulador maneje una corriente de carga más grande. El voltaje de

salida fija al voltaje zener y al que se encuentra a través de las dos uniones base- emisor de los transistores.

La ecuación siguiente nos da la solución para obtener un voltaje regulado en este tipo de circuito:

$$V_O = V_L = V_Z + V_{BE2} + V_{BE1}$$

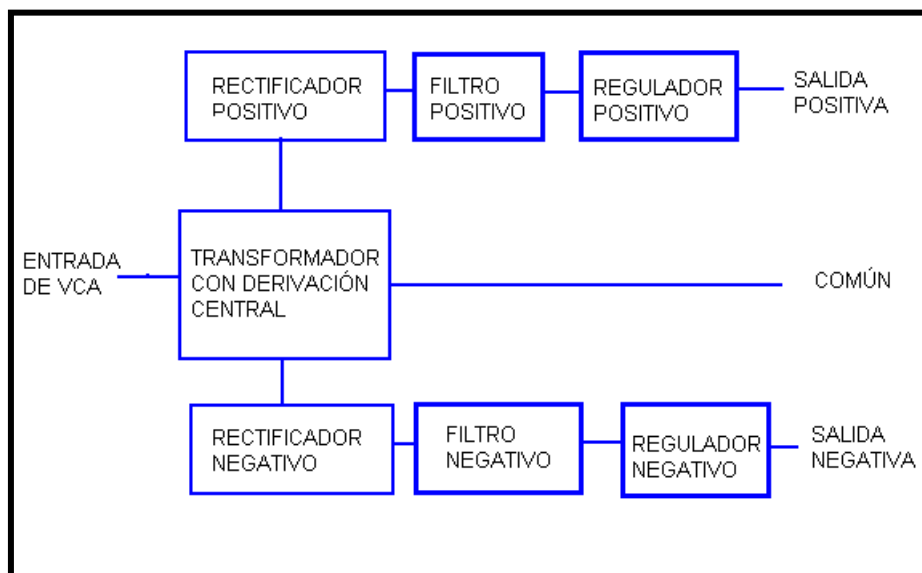
### FUENTE DE VOLTAJE SIMETRICA LINEAL.

Muchos de los dispositivos electrónicos que se usan en la vida diaria requieren para su correcto funcionamiento de tensiones de alimentación positivas y negativas, basta recordar que en amplificadores operacionales se hace necesarias este tipo de tensiones por la necesidad propia de dichos componentes electrónicos.

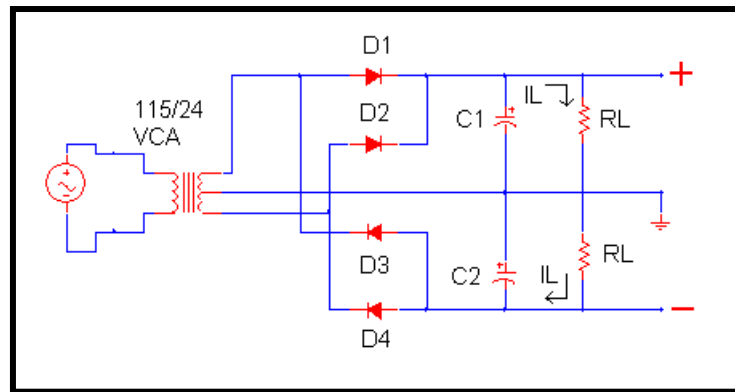
Dichas tensiones se miden con respecto a un tercer terminal común, o sea, masa.

Para obtener una tensión positiva y otra negativa se utiliza un transformador con dos devanados secundarios o en su defecto, un transformador que posea devanado secundario con derivación central, esto es, un bobinado secundario con toma para un tercer terminal en la mitad de su arrollamiento.

En el esquema a bloques de la figura, se observa la configuración básica de una fuente de tensión de estas características a la que se le denomina fuente de tensión simétrica del tipo lineal, o simplemente fuente bipolar.



En la figura se muestra un esquema electrónico de una fuente bipolar rectificada y filtrada, según el circuito se puede apreciar que los diodos D1 y D2 hacen que el terminal 1 sea positivo respecto a la derivación central del transformador, mientras que los diodos D3 y D4 hacen que el terminal 2 sea negativo con respecto a la derivación central.

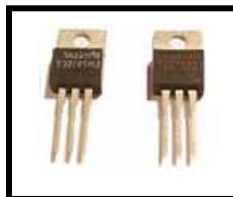


### FUENTE DE ALIMENTACIÓN CON REGULADOR DE VOLTAJE C.I.

El desarrollo alcanzado en las técnicas de integración de componentes ha hecho posible que en la actualidad se pueda encontrar una gran cantidad de reguladores de tensión encapsulados, esto ha hecho por consiguiente que se pueda construir de una manera relativamente fácil una fuente de alimentación muy completa la cual llevaría un gran número de componentes, con tan solo un circuito integrado diseñado para este fin, unas cuantas resistencias y una fuente básica.

Veamos un poco de historia al respecto del tema que nos ocupa, como se anotó en el párrafo anterior, mediante un amplificador operacional, un diodo zéner, dos resistencias o un potenciómetro y algunos transistores se puede construir un excelente regulador de tensión de DC. En 1968 la división de semiconductores de Fairchild puso todos los componentes antes nombrados en un circuito integrado al que llamó regulador de voltaje monolítico  $\mu A723$ . Gracias a su flexibilidad sobrevivió hasta la fecha. Sin embargo, requiere de diversos componentes de apoyo, sus circuitos internos de protección son mínimos y exige que el usuario lo complemente con transistores para obtener una mayor capacidad de corriente, así como de una resistencia para limitar la corriente de cortocircuito.

A partir de esto, se inició una gran competencia por ver quien era el primero en lograr construir un regulador de voltaje fijo de tres terminales. El ganador fue *National Semiconductor* con su producto LM309, seguido muy de cerca por la serie 78XX de Fairchild. El LM309 y el  $\mu A7805$  cuentan con tres terminales (figura). Para utilizarlos, basta con conectar una fuente no regulada entre sus terminales de entrada y tierra. Ya que está completo el diseño, se conecta una carga entre la salida y tierra. Para mejorar el funcionamiento se conecta un condensador de desacoplamiento entre las terminales de entrada y salida, además, estos dispositivos cuentan con circuitos de protección internos de los cuales se hará una breve explicación más adelante.



El éxito obtenido con los reguladores de +5 V cambió la filosofía de diseño. Ya no era necesario el regulador central mediante el que se alimentaba cada una de las tablillas de

circuito impreso del sistema, ni tampoco había pérdidas considerables por efecto de la potencia disipada.

Ahora, cada tablilla de circuito impreso tenía su propio regulador local. Este también servía para proteger los circuitos integrados de los transitorios del voltaje de línea.

Después del éxito del regulador de +5 V apareció toda una diversidad de reguladores de tres terminales (considerados como de segunda generación): de 6, 8, 9, 12, 15, 18 y 24 V, así como sus contrapartes de valor negativo.

Los reguladores lineales integrados tuvieron tanta aceptación que crearon serios problemas a los fabricantes de equipo original, la pregunta era ¿Cómo hacer para abastecer tantos tamaños y como fabricar tantas variedades que lleguen a satisfacer una mayor diversidad de especificaciones de voltaje?

El LM117 fue la respuesta a la cuestión anterior (figura), era el primer regulador integrado de voltaje positivo ajustable con un funcionamiento superior. Le siguió el regulador de voltaje negativo ajustable LM137.

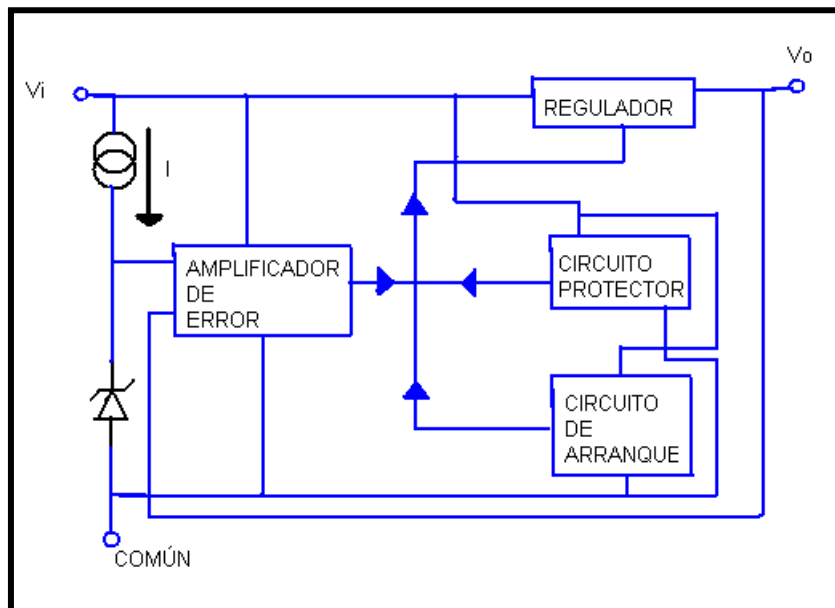


En la figura siguiente se puede observar el diagrama a bloques de un regulador monolítico integrado común, y en seguida se describe cada uno de los bloques:

- El bloque formado por el diodo zéner y el generador de intensidad constante se utilizan para generar una tensión de referencia muy estable.
- El circuito de arranque es un sistema que se encarga de anular la tensión a la salida mientras que la tensión de entrada no sea superior en unos dos volts promedio a la de salida, en este momento desbloquea la salida y el circuito empieza a funcionar correctamente.
- El circuito protector es un sistema que integra tres protecciones: contra cortocircuitos, contra disipación de potencia excesiva y contra exceso de temperatura de trabajo, cabe mencionar que desconectan la salida.
- El amplificador de error es un sistema de realimentación que compara la tensión de salida con la de referencia y, en función de estas señales, proporciona una señal, la cual controla al regulador haciendo que la tensión de salida tenga el nivel adecuado.



- Por último, el regulador es el elemento de potencia que controla la tensión a la salida simplemente variando la caída de tensión entre sus extremos en función de la señal proporcionada por el amplificador de error.



Como se menciona en la descripción del diagrama a bloques, los reguladores integrados monolíticos cuentan también con circuitos internos que detectan automáticamente la corriente de carga. Si esta rebasa un valor determinado, se limita automáticamente la corriente de salida hasta que se elimina la sobrecarga. Estos circuitos también miden la diferencia del voltaje y de la corriente de entrada y de salida para comprobar que no exista ninguna combinación no permitida. De haberla, el regulador se apaga. A esta característica se conoce como protección de área segura. Además, estos reguladores también son capaces de medir su propia temperatura para verificar que cuentan con una adecuada disipación de calor. Si su temperatura interna es mayor a un rango de 150 a 175°C, se apagan. Al eliminar la falla, el regulador vuelve a trabajar.

No obstante que cuentan con circuitos de protección interna bien diseñados, los reguladores pueden dañarse por un uso inadecuado, principalmente, someterlo a parámetros de trabajo muy por encima de especificaciones de fábrica (como todo dispositivo electrónico) o determinadas fallas que se produzcan en los circuitos externos. Las medidas a adoptar contra estas eventualidades es sujetarse a las especificaciones de la hoja de datos de cada regulador.

Los fabricantes de los reguladores de circuito integrado especifican su funcionamiento de ca mediante un parámetro denominado rechazo de rizado. Es el cociente entre el voltaje de rizado de entrada pico a pico  $\Delta V_{o \text{ noreg}}$  y el voltaje de rizado de salida pico a pico,  $\Delta V_{o \text{ reg}}$ . Su valor característico es de 60 dB, o más, lo que implica una reducción en el voltaje de rizado de por lo menos 1000 : 1. Por ejemplo, si a la entrada del regulador existe un voltaje de rizado de 5 V, en la carga aparecen menos de 5mV.

### APLICACIONES BÁSICAS PARA UN REGULADOR INTEGRADO LINEAL.

Seguidamente se va a explicar una serie de montajes típicos de estos reguladores, los cuales nos darán ideas sobre posibles aplicaciones, como se ha venido mencionando, dada la facilidad para construir una fuente de voltaje con este tipo de dispositivos, la toma de voltaje de entrada no regulado se puede obtener de una fuente de tensión simple que como sabemos se compone de transformador reductor, rectificador y filtro.

#### Sistemas con tensión de salida fija.

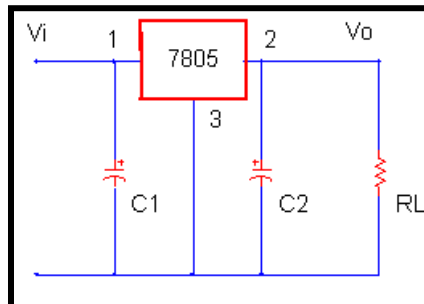
En la figura siguiente se ve la aplicación más simple de estos reguladores, o sea, la que usa solamente dicho regulador. En esta aplicación la tensión de salida será la que propiamente entregue el regulador integrado, es decir:

$$V_L = V_S$$

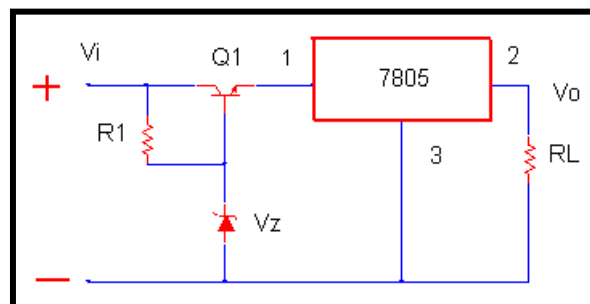
Donde:

- $V_L$ : voltaje en la carga.
- $V_S$ : voltaje de salida.

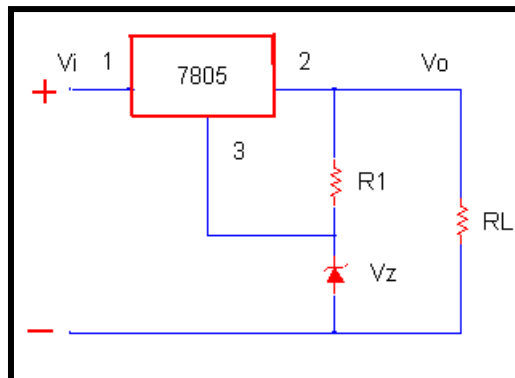
La tensión de salida en el circuito de la figura será de 5 V, pues se utiliza un 7805. Para cambiar este valor de salida solo se necesita cambiar dicho regulador por otro de la tensión fija que se requiera siempre y cuando se trate de un valor comercial. Los condensadores C1 y C2 son de .22 $\mu$ F y .1 $\mu$ F polarizados del tipo de tantalio respectivamente, para eliminar los transitorios tal como lo recomienda el fabricante en su hoja de datos.



En la figura siguiente se muestra una forma de hacer que un regulador pueda trabajar con una tensión de entrada superior al límite del voltaje que admiten en su entrada. Como a la entrada del regulador no se puede superar este límite de tensión, lo que se propone es colocar en esta un estabilizador tipo serie cuya misión no es más que provocar una caída de tensión y de esta forma reducir el valor de la tensión que llega al regulador.



La figura siguiente nos muestra una aplicación donde es posible cambiar la tensión de salida con tan solo una resistencia y un diodo zéner.



El regulador está construido de tal forma que la tensión entre la terminal de salida (2) y la terminal común (3) siempre sea la tensión nominal, o sea, el voltaje de salida para el cual fue diseñado, por lo que la tensión de salida en este caso será la de la salida del regulador más la tensión zener :

$$V_L = V_Z + V_S.$$

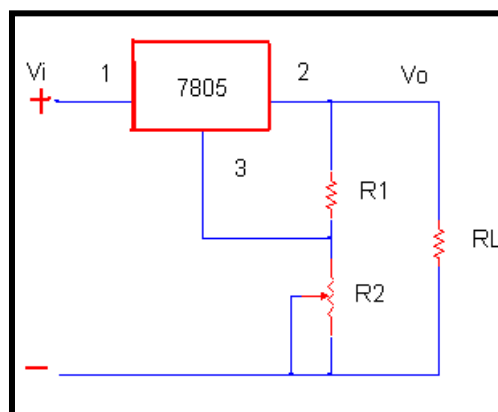
Donde:

- $V_L$ : voltaje en la carga.
- $V_Z$ : voltaje zener.
- $V_S$ : voltaje de salida en regulador.

Si el diodo zéner fuera de 6.2 V y utilizamos el regulador 7805, la tensión de salida será de 11.2 V.

#### Sistemas con tensión de salida variable.

Otra posibilidad es la del circuito de la figura siguiente, donde además del regulador se utilizan dos resistencias: una fija y otra variable.



Si se tiene en cuenta que la tensión entre la salida y el común es fija, por ejemplo, en el regulador 7805  $V_S = 5$  V, se puede entonces calcular el valor de la intensidad  $I_S$ :

$$I_S = \frac{V_S}{R_1}$$

Si se supone despreciable el valor de la intensidad que circula por la salida común que es alrededor de 0.8 mA, entonces haremos que la intensidad  $I_S$  sea superior diez veces a dicha intensidad, tendremos entonces que el valor de la tensión en la resistencia  $R_2$  valdrá:

$$V_2 = I_S R_2$$

Y por lo tanto, el valor de la tensión de salida en la carga  $V_L$  será la tensión de salida del regulador  $V_S$  más la tensión en la resistencia  $R_2$ . Este valor se puede calcular empleando la siguiente formula:

$$V_L = \frac{V_S}{R_1} (R_1 + R_2)$$

Este montaje puede utilizarse para tensiones de salida fijas simplemente sustituyendo la resistencia ajustable  $R_2$  por una resistencia fija y así establecer una tensión deseada para alimentar un circuito dado,  $R_1$  se puede colocar de un valor de hasta  $470\Omega$  ( $I_S = 10.6\text{mA}$ ) si se utiliza un regulador de 5 V., el valor mínimo viene condicionado por la intensidad, ya que si es un valor de intensidad muy alto, se calentará el regulador integrado innecesariamente.

Se ha concluido la parte correspondiente a los sistemas electrónicos del tipo lineal, como se pudo observar, existe una gran variedad de configuraciones las cuales son de gran utilidad dependiendo de la aplicación o uso que se requiera, actualmente estos tipos de circuitos han empezado a ceder el paso dentro de la industria electrónica a los sistemas de los que nos ocuparemos en el capítulo siguiente: los sistemas conocidos como fuentes de alimentación conmutadas.

### *3. Fuentes de alimentación conmutadas*

En una fuente de alimentación lineal se reduce la tensión mediante un transformador, y seguidamente se rectifica con diodos.

Para que la corriente sea menos oscilante se filtra con condensadores electrolíticos, y en muchos casos se añaden estabilizadores para que la tensión de salida tenga un valor exacto.

Este tipo de fuentes tiene una gran pérdida de energía en el transformador.

Además, para conseguir corrientes de salida muy altas, el transformador debe tener estar bobinado con hilo de cobre muy grueso, lo que hace que sea muy grande y pesado.

Las fuentes de alimentación conmutadas utilizan un principio similar, pero con diferencias muy importantes.

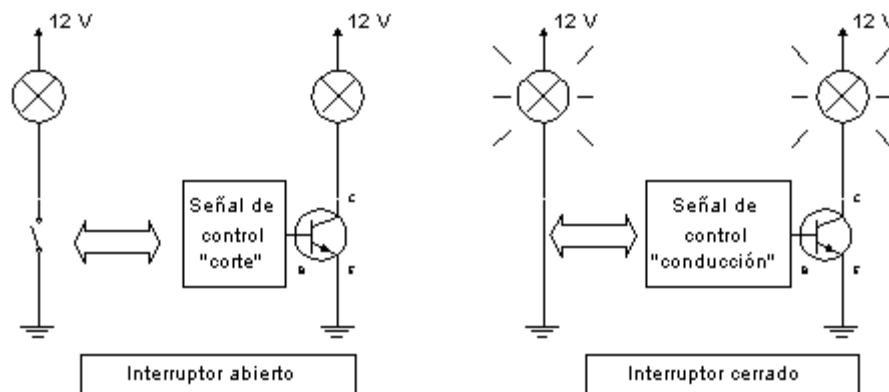
Las fuentes conmutadas suponen una mejora con respecto a la fuente transformador-rectificador-filtro en cuanto a peso y tamaño.

Estas fuentes funcionan a frecuencias mucho mayores, por lo que el transformador de corriente puede fabricarse con mucho menos material central (las láminas magnéticas que hay dentro del transformador). Como resultado se obtiene un transformador de menor peso y volumen.

El origen del término transistor viene del inglés *TRANSfer-reSISTOR*, que indica un cambio en la resistencia del componente como consecuencia de otra señal. En sus inicios, esto se refería al transistor bipolar o BJT (Bipolar Junction Transistor).

Sin embargo, actualmente como dispositivos de conmutación se emplean mayormente transistores MOSFET, por su mayor velocidad de respuesta.

La conmutación se produce gracias al cambio de estado cíclico y constante de una determinada tensión a la salida del transistor, haremos que dicho transistor pase de la saturación (conducción) al corte (abierto), coincidiendo aproximadamente con las variaciones en la tensión de alimentación, como indica la figura.



*Ilustración 19. El transistor bipolar como interruptor controlado.*

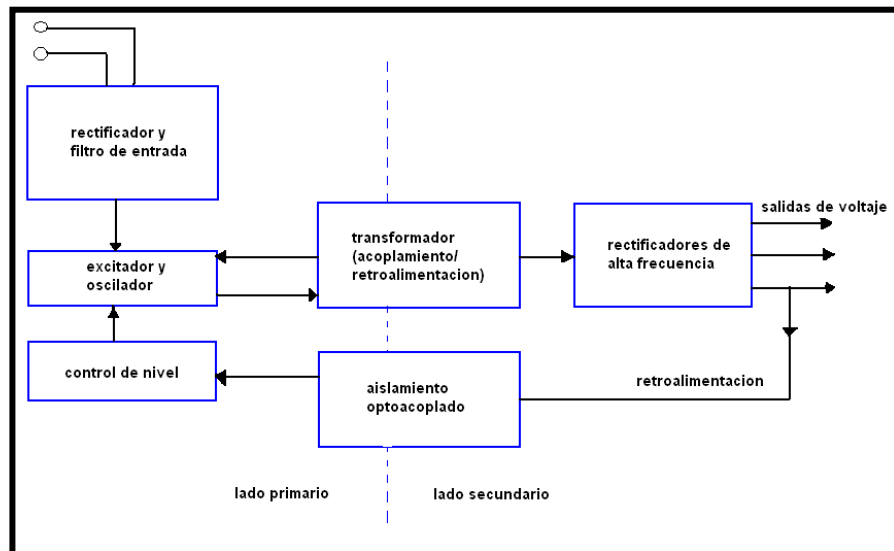
Al provocarse la conducción por el primario del transformador, circulará una corriente importante a través de él, que inducirá otra corriente proporcional en su secundario. Luego ésta será rectificada, filtrada y utilizada por el equipo.

Se han desarrollado diversas topologías y circuitos de control. A continuación, se hace una descripción general de cada una de las etapas que conforman una fuente conmutada. También, más adelante se verán los distintos tipos de configuración de circuitos de fuentes de uso común para aplicaciones diversas.

En aplicaciones electrónicas pasando por las de tipo domestico hasta las industriales se llegan a emplear varios tipos de fuentes; las principales son las de tipo PAM (en ingles modulación por amplitud de pulso) y las PWM (en ingles modulación por ancho de pulso) cada una de ellas posee ciertas características que las hace ideales para ciertas aplicaciones, aunque sin

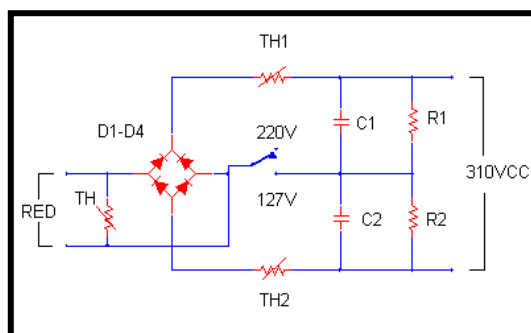
duda alguna, las fuentes tipo PWM han alcanzado mayor aceptación entre los distintos fabricantes.

El siguiente diagrama de bloques (figura) representa las secciones que componen una fuente de tipo conmutada.



### 1) Rectificación y filtro de entrada.

Las fuentes conmutadas son esencialmente convertidores CC-CC, por lo que la red debe ser previamente rectificada y filtrada con una amplitud de rizado razonable. La mayoría de las fuentes utilizan el circuito de la figura siguiente para operar desde 90 a 132 VCA o de 180 a 260 VCA según sea la posición del conmutador.



En la posición de abierto se configura como rectificador de onda completa obteniéndose aproximadamente 310 VCC desde una red de 220 VCA. En la posición de cerrado el circuito funciona como rectificador doblador de tensión, obteniéndose también 310 VCC a partir de 110 VCA.

Para evitar sobrecalentamientos los condensadores electrolíticos de filtro (C1 y C2) deben ser de la tensión adecuada y del tipo *MKP* para mejor desacoplo de alta

frecuencia de conmutación. Los rectificadores deben soportar una tensión inversa de 600 V.

#### Pico de arranque:

Al arrancar una fuente conmutada, la impedancia presentada a la red es muy baja al encontrarse los condensadores descargados, sin una resistencia en serie adicional la corriente inicial sería excesivamente alta. En la fig. 65 TH1 y TH2 son resistencias NTC, que limitan esta corriente a un valor aceptable. Las fuentes de media y gran potencia disponen de circuitos activos con resistencia limitadora que se cortocircuita por medio de relés o de conmutadores estáticos cuando ya están los condensadores cargados. En el caso de las fuentes de MAV se utiliza un transistor MOSFET de potencia.

#### Protección contra transitorios

Además del filtrado de ruidos reinyectados a la red que incorporan las fuentes conmutadas, es aconsejable la utilización de un *varistor*<sup>†</sup> conectado a la entrada para proteger contra picos de tensión generados por la conmutación en circuitos inductivos en las proximidades o por tormentas eléctricas.

#### 2) Excitador y oscilador.

Este bloque generalmente se compone de un dispositivo de estado sólido discreto como por ejemplo un transistor del tipo MOSFET, aunque, recientemente se ha incrementado el uso de este bloque en forma de circuito integrado. El propósito de esta sección es tomar la tensión que ha sido rectificada por la etapa anterior y aplicarla al primario del transformador pero en forma de una señal pulsante (recordemos que un transformador es inútil ante señales de DC continuo). Uno de los bobinados del transformador retroalimenta una tensión fuera de fase para que el excitador inicie la oscilación.

#### 3) Transformador.

El transformador cuenta con un devanado primario y uno o varios devanados secundarios además de un devanado de realimentación, las funciones de este último son:

- Realimentación. Entrega una señal de realimentación al transistor excitador/oscilador con el objeto de llevarlo a corte y generar una situación inestable que provoque la oscilación, lo que lleva a que el conmutador se encienda y apague a muy alta velocidad. Como esta situación se lleva a cabo en un ciclo de trabajo muy pesado, debe emplearse un transistor con características apropiadas que le permitan manejar la potencia adecuada.
- Acoplamiento. El circuito de acoplamiento sirve para proporcionar al extremo primario una referencia del comportamiento de los voltajes en el secundario, con el objeto de que las tensiones de salida de la fuente estén siempre dentro de sus especificaciones correctas. También provee un aislamiento eléctrico entre el circuito del primario y el circuito secundario.

Este transformador es pequeño y más ligero si se le compara con uno de los utilizados en fuentes lineales, su núcleo está construido con ferrita pues el hierro de los

---

<sup>†</sup> El varistor o VDR (Voltage Controlled Resistor) es un dispositivo protector contra sobretensiones en baja tensión (hasta 1000 V).

transformadores convencionales no es capaz de transferir energía de un devanado a otro cuando se utilizan frecuencias elevadas.

#### 4) Rectificadores de alta frecuencia.

Estos diodos rectificadores son de potencia debido a las elevadas corrientes y de alta velocidad ya que el secundario del transformador entrega corriente alterna de alta frecuencia, de ahí que un rectificador común sea inútil en este caso.

#### 5) Aislamiento optoacoplado.

La tensión del secundario más importante (B+) es tomada y enviada en realimentación al circuito primario. Esta tensión se emplea para controlar la salida que va hacia el transformador por el excitador de realimentación. Dicha muestra de tensión es enviada de regreso al primario del circuito por medio de un optoacoplador con el fin de aislar la sección del primario de la sección del circuito secundario.

#### 6) Control de nivel.

Con la reducción de la polarización de la base del transistor excitador/oscilador, se reduce también la amplitud de la señal entregada en su colector. Y dado que este efecto se presenta en todas las tensiones secundarias, puede decirse que la polarización del oscilador se reduce para mantener en estado de regulación a la fuente conmutada.

### CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES CONMUTADAS.

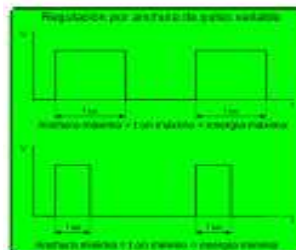
#### - Según el tipo de regulación

Reguladas a menudo mediante la modulación por anchura de impulsos o variando la frecuencia de la señal.

##### 1. Variando la duración de los pulsos.

La tensión de salida puede utilizarse para ajustar las tolerancias variando el factor de trabajo (la modulación por anchura de impulso) de la onda cuadrada producida por el transistor de conmutación.

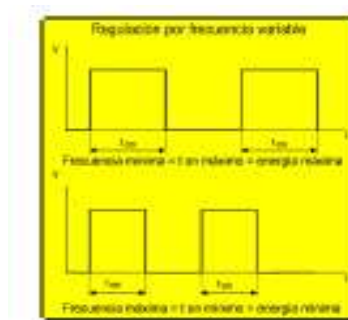
Cuanto mayor es el factor de trabajo, mayor será la tensión de salida generada por los rectificadores.



##### 2. Variando la frecuencia de la señal.



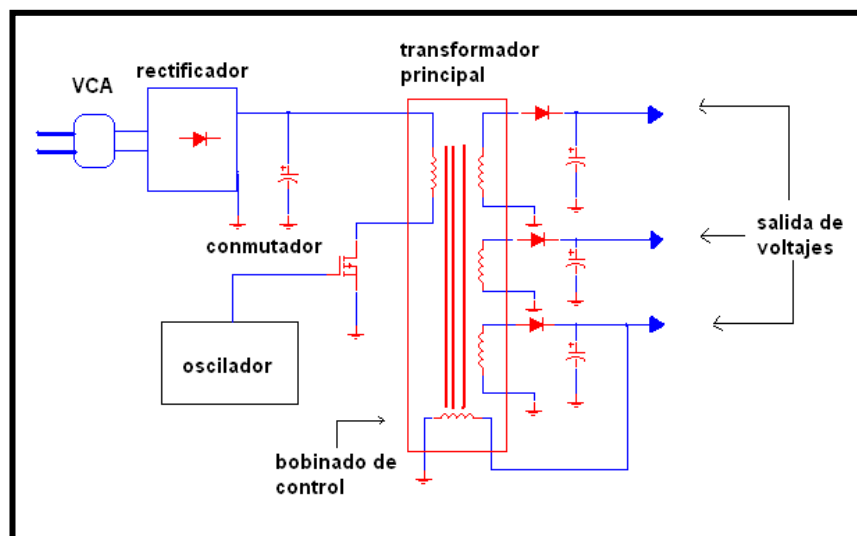
Si aplicamos una señal de frecuencia variable al conmutador, estaremos modificando la cantidad de energía que se inyecta al transformador.



Estas, se clasifican, según el tipo de modulación en fuentes PAM

### 2.1. Fuentes conmutadas tipo PAM:

Las fuentes conmutadas tipo PAM se basan en el control de la amplitud de los pulsos a su salida; esta función la realizan mediante un conjunto de circuitos y dispositivos especiales que les permite variar la salida de voltaje de un transformador con una configuración muy particular de bobinados (figura siguiente).



En este transformador existe un bobinado especial denominado “de control”, en cuyas espiras circula una corriente que es proporcional al voltaje de alguno de los secundarios del transformador principal. Si se observa con atención el esquema de la figura anterior se puede notar que dicho bobinado está en contrasentido con respecto al bobinado del primario.

A través del bobinado de control circula tal cantidad de corriente que, al restar la inducción magnética de este con la del primario principal, la magnitud de campo magnético que llega a los secundarios del transformador es suficiente

para generar los voltajes adecuados en su salida, lo cual se traduce en un estado de operación estable.

Por el contrario, si el voltaje de los secundarios comienza a disminuir, la corriente que circula por el bobinado de control también disminuye, esto provoca una menor resistencia para que la inducción magnética del primario llegue a los secundarios y se mantenga así un voltaje adecuado en su salida.

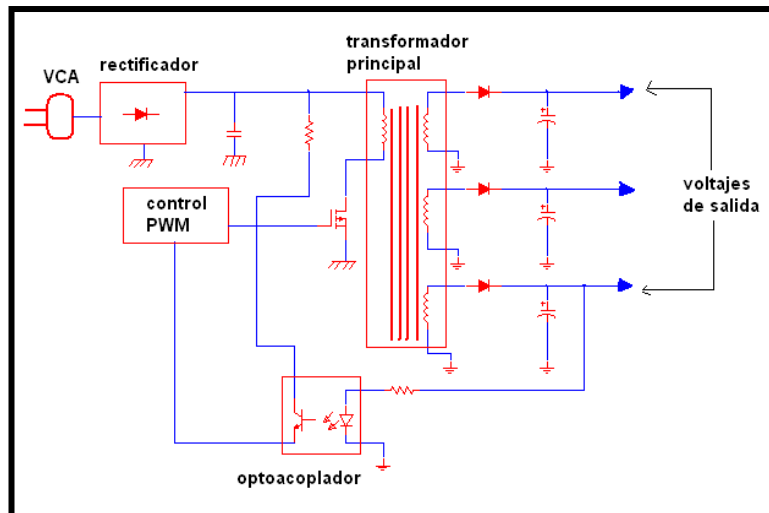
Por otra parte, cuando las tensiones a la salida del transformador comienzan a crecer por encima de las especificaciones, a través del bobinado de control circula más corriente, lo que provoca mayor oposición a la inducción del primario y por consiguiente, una reducción en las tensiones de los secundarios.

Como se puede observar, gracias a este ingenioso método, este tipo de fuente es autorregulable, en la medida que modifica sus condiciones de operación para garantizar que sus voltajes de salida se mantengan ideales. Una vez obtenido, el voltaje del transformador es rectificado, filtrado y enviado al circuito de switcheo, de donde sale una señal pulsante; la altura de dichos pulsos queda determinada por la amplitud de la tensión del transformador, y como la duración de los pulsos siempre es constante, controlando el nivel de voltaje que se obtiene del transformador es posible generar casi cualquier voltaje a la salida del circuito conmutador; y no solo eso, debido a las características de realimentación con las que cuenta, el circuito es capaz de detectar y corregir los desniveles que pudieran presentarse en el voltaje de alimentación de corriente alterna.

## 2.2. Fuente conmutadas tipo PWM

Las fuentes conmutadas tipo PWM son las que mayor aplicación han alcanzado en muy diversos campos de la electrónica, las fuentes PWM son más flexibles, sobre todo por su mayor capacidad de absorción a variaciones bruscas del voltaje de entrada. También su construcción es más sencilla y su principio de operación es más fácil de entender; además, por lo general no necesitan elementos especiales (como varistores o bobinados en contrasentido) para realizar su función reguladora.

Básicamente lo único que se necesita para obtener voltajes regulados de una fuente de este tipo, es un circuito que detecte constantemente el nivel de alguna de las salidas, para que al momento que se registre alguna variación se envíen las ordenes adecuadas al conmutador y el nivel vuelva a la normalidad. En la figura siguiente se puede apreciar el esquema general de una fuente de tipo PWM.



En las fuentes conmutadas aún se requiere un bloque rectificador que convierta la señal de CA en una tensión de DC y por supuesto, también debe incluirse un filtro para obtener una tensión de DC lo más uniforme posible; es decir, sin las ondulaciones resultantes del rectificado. Esta tensión se dirige al primario de un transformador de alta frecuencia, que por lo general, tiene varios secundarios encargados de brindar las diferentes tensiones que precisa el aparato al cual se va a energizar. Enseguida aparece un dispositivo de conmutación capaz de conectar el voltaje de DC resultante hacia el nivel de referencia GND del primario.

El dispositivo que se encarga de controlar la anchura de los pulsos de encendido al conmutador y por consiguiente los niveles de voltaje en los secundarios del transformador, es un controlador PWM, el cual recibe la referencia de alguno de los bobinados secundarios y de esa forma determina el ancho correcto del pulso. Actualmente la incorporación en los circuitos de control PWM de la tecnología digital, los ha transformado en sistemas cada vez más económicos y precisos.

En la salida del conmutador se deben conectar algunas etapas de filtrado (en la figura anterior se representa simplemente un diodo y un condensador, aunque la mayoría de los circuitos también emplean bobinas para minimizar el rizado a la salida); en esta etapa, se convierte la señal pulsante obtenida del switcheo en un voltaje de DC perfecto. Aquí es conveniente hacer algunas observaciones relevantes sobre la operación de este conjunto:

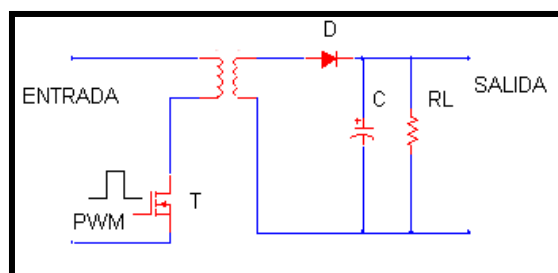
- Encontramos un puente de diodos conectado directamente a la línea de AC, sin transformador intermedio. Esta configuración requiere que los diodos empleados sean de una tensión más alta que los normales, por lo general que soporten por encima de 500 V. además la tensión de operación del filtro a la salida del rectificador debe ser del orden de los 350 V como mínimo para que pueda soportar sin problemas la carga cuando el sistema se conecta en una línea de 110 V de tensión alterna.
- El dispositivo conmutador debe ser capaz de manejar tensiones y corrientes elevadas, en la actualidad es posible encontrar muy diversos

dispositivos que hacen la función de conmutador (transistores bipolares, darlington, MOSFET e incluso circuitos integrados).

- El bloque controlador consiste, por lo general, en un circuito integrado que incluye casi toda la circuitería necesaria para el control del conmutador. En la mayoría de los casos, lo único que se añade es la referencia de voltaje y el reloj oscilador. La función de este bloque consiste en detectar que el voltaje en la salida de la fuente cumpla con las especificaciones requeridas; por lo tanto, precisa de una línea para alimentar una muestra de dicho voltaje y compararlo con sus referencias para determinar que variación se debe hacer en el ancho del pulso de control. Esta línea en la actualidad se envía, casi siempre, por medio de un optoacoplador pues este dispositivo garantiza el aislamiento que existe entre el primario de la fuente y el secundario, el aislamiento es además recomendable para evitar que cualquier ruido en la línea de CA pueda perjudicar los circuitos del equipo y también para impedir que el ruido electromagnético producido por sus circuitos salga hacia la línea de CA e interfiera con otros aparatos.
- La etapa de filtrado es la encargada de obtener el valor promedio de voltaje de los pulsos a la salida del transformador. Por lo general, tan solo se trata de un arreglo de diodos y condensadores conectados en configuración rectificador- filtro para obtener el voltaje de DC requerido, aunque en ocasiones se incluyen bobinas en serie con los diodos para reducir aun más el rizado en la salida.

### 2.2.1. De retroceso (fly-back)

Dada su sencillez y bajo costo, es la topología preferida en la mayoría de los convertidores de baja potencia (hasta 100 W). En la figura siguiente se muestran los principios de esta configuración de fuente conmutada.



Cuando “T” conduce, la corriente crece linealmente en el primario del transformador, diseñado con alta inductancia para almacenar energía a medida que el flujo magnético aumenta.

La disposición del devanado asegura que el diodo “D” está polarizado en sentido inverso durante este período, por lo que no circula corriente en el secundario. Cuando “T” se bloquea, el flujo en el transformador cesa generando una corriente inversa en el secundario que carga el condensador a través del diodo alimentando la carga. Es decir, en el campo magnético del

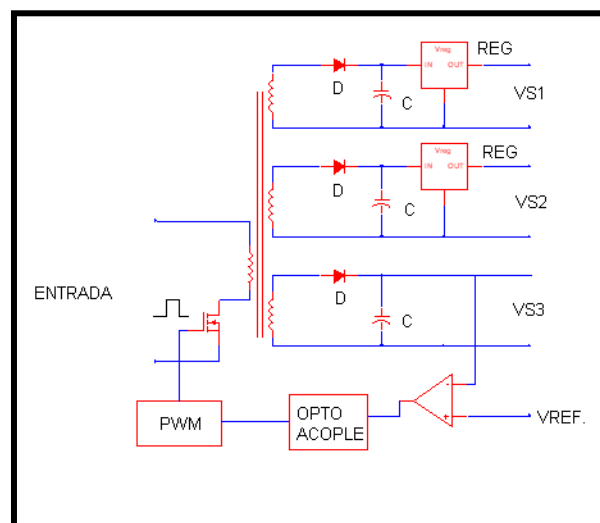
transformador se almacena la energía durante el período “ON” del transistor y se transfiere a la carga durante el período “OFF” (FLYBACK). El condensador mantiene la tensión en la carga durante el período “ON”.

La regulación de tensión en la salida se obtiene mediante comparación con una referencia fija, actuando sobre el tiempo “ON” del transistor, por tanto la energía transferida a la salida mantiene la tensión constante independientemente del valor de la carga o del valor de la tensión de entrada.

La variación del período “ON” se controla con modulación de ancho de pulso (PWM) o en algunos sistemas más sencillos por autooscilación variando la frecuencia en función de la carga.

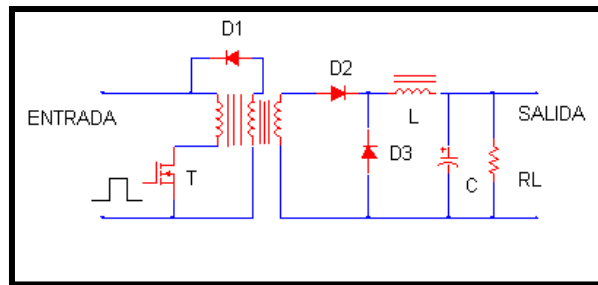
### 2.2.2. Fly-back de salidas múltiples

La figura siguiente muestra la simplicidad con que pueden añadirse salidas aisladas a un convertidor flyback. Los requisitos para cada salida adicional son un secundario auxiliar, un diodo rápido y un condensador. Para la regulación de las salidas auxiliares suele utilizarse un estabilizador lineal de tres terminales a costa de una pérdida en el rendimiento. Se observa también, que para poder regular se utiliza una de las salidas de voltaje para compararse con un voltaje de referencia el cual se envía al circuito de control por ancho de pulso mediante un optoacoplador para así poder lograr dicha regulación.



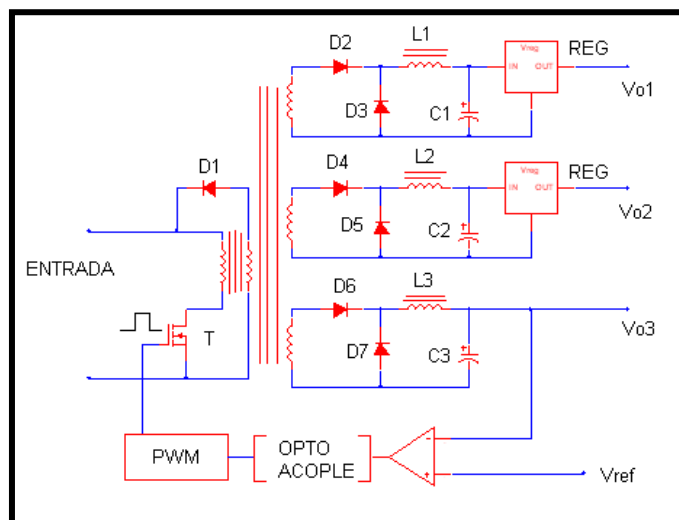
### 2.2.3. Directo (FORWARD)

Esta configuración es algo mas compleja que el sistema flyback (figura) aunque razonablemente más sencilla y rentable en cuanto a costo para potencias de 100 a 250 W.



#### 2.2.4. Forward de salidas múltiples

Por cada salida adicional es necesario un secundario auxiliar, dos diodos rápidos, una inductancia y un condensador de filtro tal como se ve en la figura. Esto hace que sea más costoso que el flyback. Para mejorar la regulación en las salidas auxiliares se utilizan estabilizadores lineales.

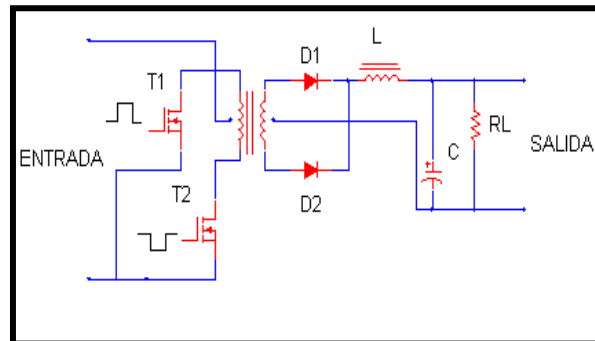


#### 2.2.5. Contrafase (PUSH-PULL)

Esta topología se desarrolló para aprovechar mejor los núcleos magnéticos. En esencia consisten en dos convertidores Forward controlados por dos entradas en contrafase. Los diodos “D1” y “D2” en el secundario, actúan como dos diodos de recuperación. Idealmente los períodos de conducción de los transistores deben ser iguales, el transformador se excita simétricamente y al contrario de la topología Forward no es preciso prever entrehierro en el circuito magnético, ya que no existe asimetría en el flujo magnético y por tanto componente continua. Ello se traduce en una reducción del volumen del núcleo del orden del 50% para una misma potencia.

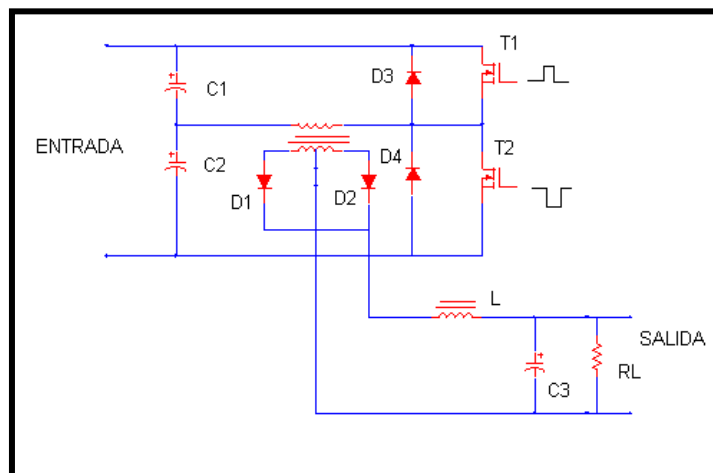
Una precaución que debe tenerse en cuanto a este tipo de circuitos es que las características de conmutación de los transistores deben ser iguales, y los devanados tanto en primario como en secundario han de ser perfectamente simétricos, incluso en su disposición física en el núcleo. También se ha de

tener en cuenta, que los transistores conmutadores soportan en estado “OFF” una tensión doble de la tensión de entrada, dicho sistema se observa en el circuito de la figura siguiente:



#### 2.2.6. Semipuente

Es la topología más utilizada para tensiones de entrada mayores (de 200 a 400 V) y potencias de hasta 2000 W. En la figura siguiente se aprecia que el primario del transformador está conectado entre la unión central de los condensadores del desacoplo de entrada y la unión de la fuente de “T1” y el drenador de “T2”. Si se dispara alternativamente los transistores “T1” y “T2” conecta el extremo del primario a +300 V y a 0 V según corresponda, generando una onda cuadrada de 155 V de valor máximo, la cual con una adecuada relación de espiras, rectificada y filtrada se obtiene la tensión de salida deseada.



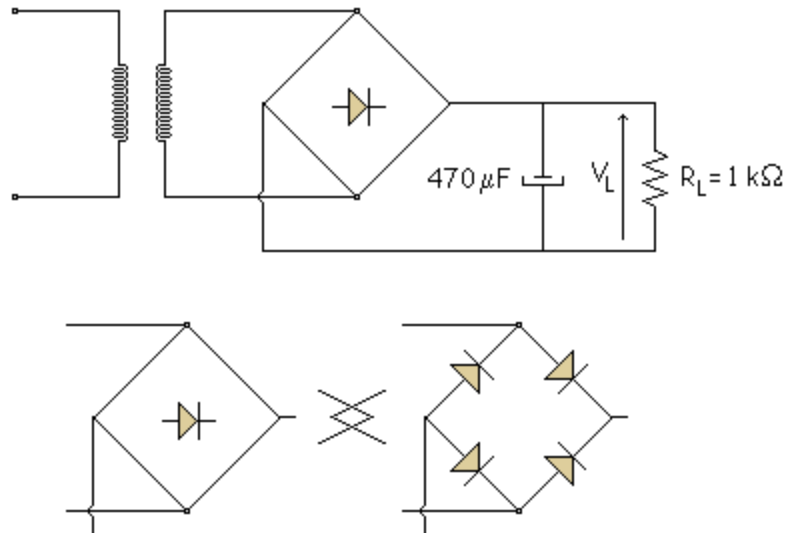
Una ventaja de este sistema es que los transistores soportan como máximo la tensión de entrada cuando están en “OFF”, mientras que en los sistemas flyback, push-pull y forward, esta tensión es cuando menos el doble. Ello permite, cuando la tensión de entrada es la red rectificada, la utilización de transistores de 400 a 500 V, mientras que en las otras configuraciones se

requerirían transistores de 800 a 1000 V. la regulación se logra comparando una muestra de la salida con una tensión de referencia para controlar el ancho del estado de conducción de los transistores.



## Anexo 1. Detección de averías en fuentes lineales

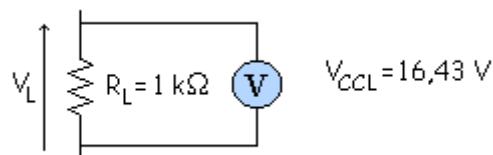
Para analizar las averías típicas de una fuente de alimentación lineal, primeramente vamos a calcular los valores teóricos para el circuito de la figura:



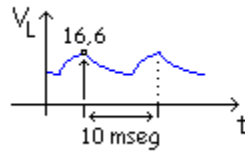
Si calculamos los valores teóricos de ese circuito, aplicando las formulas vistas anteriormente, obtenemos estos valores:

$$\begin{aligned}
 V_{p1} &= 220 \cdot \sqrt{2} = 311 \text{ V} \\
 V_{p2} &= 311 \cdot \frac{1}{17,32} = 18 \text{ V} \\
 V_{pL} &= 18 - 2 \cdot 0,7 = 16,6 \text{ V} \\
 V_{CCL} &= V_{pL} \cdot \frac{V_R}{2} = 16,6 - \frac{V_R}{2} \\
 I_{CCL} &= \frac{V_{CCL}}{R_L} = \frac{16,6 - \frac{V_R}{2}}{1000}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 V_R &= \frac{I_{CCL}}{f \cdot C} = \frac{\frac{16,6 - \frac{V_R}{2}}{1000}}{1000 \cdot 470 \cdot 10^{-6}} \\
 V_R &= 0,349 \text{ V} \\
 V_{CCL} &= 16,6 - \frac{0,349}{2} = 16,43 \text{ V} \\
 I_{CCL} &= \frac{V_{CCL}}{R_L} = \frac{16,43}{1000} = 16,43 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Si se pone un voltímetro en la resistencia de carga RL éste marcaría lo siguiente:



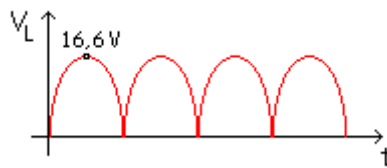
Si colocamos un osciloscopio en esa resistencia de carga RL, tendríamos:



Con esto se podrían ver las averías, los ejemplos típicos son:

#### a) C abierto

Se vería en el osciloscopio esta forma de onda (el osciloscopio es el mejor aparato para ver este tipo de averías):



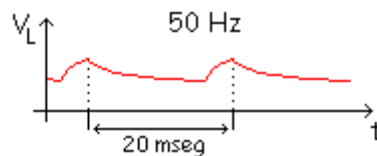
Pero si no se tuviese un osciloscopio y si un voltímetro el valor que tendríamos sería:

$$V_{CCL} = \frac{2 \cdot V_{pL}}{\pi} = \frac{2 \cdot 16,6}{\pi} = 10,57 \text{ V VOLTÍMETRO}$$

Se ve que hay una gran diferencia entre 16.43 V y 10.57 V con esto se detectaría que hay una falla.

#### b) D abierto

Al abrirse un diodo un semiciclo no funciona, esto lo vemos claramente con el osciloscopio :



Con el voltímetro se comprobaría un valor de tensión de carga:

$$V_{CCL} = 16,6 - \frac{V_R}{2} \quad I_{CCL} = \frac{16,6 - \frac{V_R}{2}}{1000}$$

$$V_R = \frac{\frac{16,6 - \frac{V_R}{2}}{1000}}{50 \cdot 470 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow V_R = 0,6916 \text{ V}$$

$$V_{CCL} = 16,6 - \frac{0,6916 \text{ V}}{2} = 18,254 \text{ V VOLTÍMETRO}$$

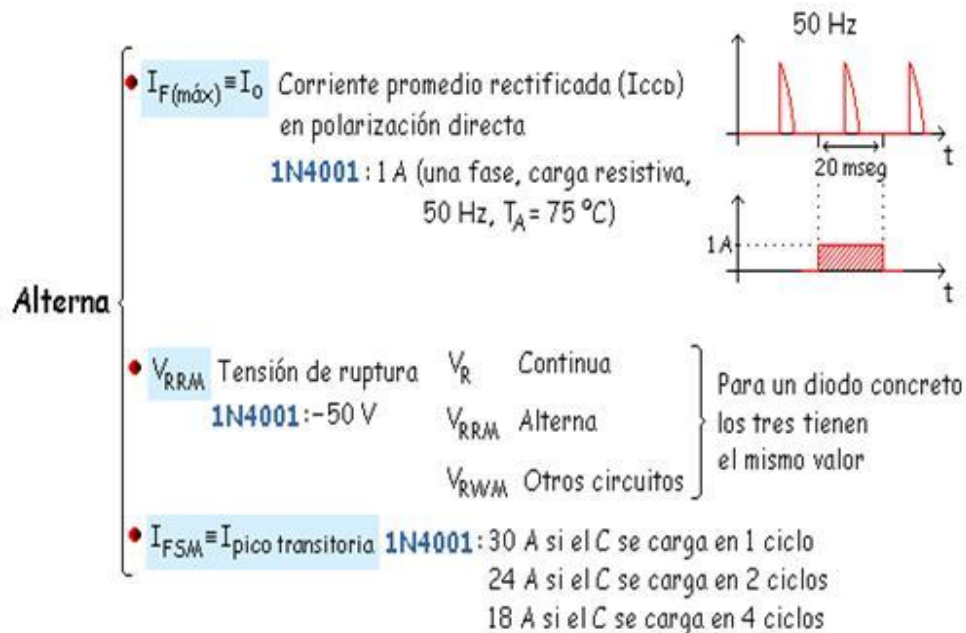
$$I_{CCL} = 16,254 \text{ mA}$$

Hoja de características del diodo

Antes teníamos:

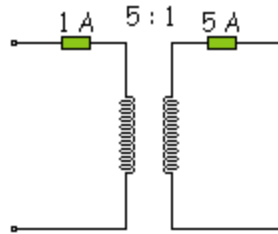
$$\text{Continua} \left\{ \begin{array}{l} \bullet V_R \\ \bullet I_{F(\text{máx})} \equiv I_o \end{array} \right.$$

Ahora tenemos alterna y nos interesa:

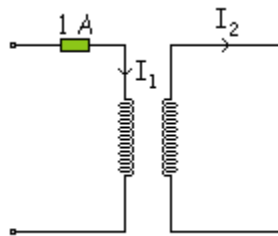


### c) Fusibles

Se hacen necesarios los fusibles de protección en las fuentes de alimentación. Se pueden insertar en la malla del primario o del secundario ¿Donde es mejor?



Como es más barato el fusible de 1 A, lo mejor será insertar el fusible en el primario.



¿Que valor de corriente interesa? En un transformador ideal, las corrientes están relacionadas por la fórmula:

$$\frac{I_1}{N_2} = \frac{I_2}{N_1}$$

Es necesario tener cuidado porque se puede estropear por el calor. La fórmula anterior para ondas senoidales es:

$$\frac{I_{1_{ef}}}{N_2} = \frac{I_{2_{ef}}}{N_1}$$

Pero la onda que tenemos no es senoidal su forma es la siguiente:



Si se usara la fórmula anterior para calcular la intensidad, habría un 40 % de error, pero esto no es tan importante porque después de conseguir es valor, se suele añadir un margen mayor al fusible para que no falle. Así calcularemos para un valor mucho mayor del que nos salga con esa fórmula (Ejemplo: Si sale 0,167 A tomaremos un fusible de 0.25 A).

Entonces aplicaremos la fórmula. Para medir valores eficaces tenemos el amperímetro. Tomamos un amperímetro especial que solo mide valores eficaces de senoidales, un "Amperímetro de Verdadero Valor Eficaz", que se basa en muestreo, que es lo siguiente: coger un periodo y aplicarle la definición de valor eficaz.

$$I_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

Que es la suma de los cuadrados de la onda que va sacando, esto es una integral dividida entre el periodo y todo dentro de una raíz cuadrada, es la definición de valor eficaz.

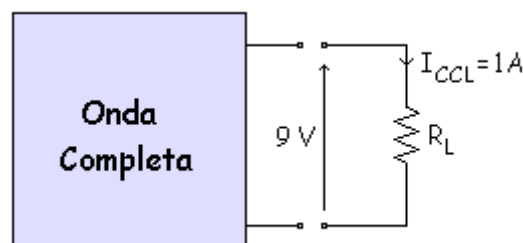
Y se obtiene un valor para la corriente en el secundario de 1,5 A rms (en valor eficaz, root means square = raíz cuadrada de la media de los cuadrados). Si nos dicen que la relación de espiras es de 9 : 1, el valor eficaz de la intensidad por el primario vale:

$$I_{\text{ef}} = \frac{1}{9} \cdot 1,5 = 0,167 \text{ A rms}$$

Como se ha dicho anteriormente ahora hay que coger un valor mayor, por ejemplo se podría coger el de 0,25 A.

### Sugerencias para el diseño de fuentes de alimentación

Nos dicen que tenemos un rectificador de onda completa con una VL (VCCL = 9 V) y IL(ICCL = 1 A).



Primero se elige el rizado (VR), que se toma aproximadamente:

$$V_R = 10 \% \quad V_{CCL} = 0,9 \text{ V}$$

Una vez que se tiene el rizado se saca la capacidad:

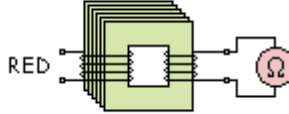
$$V_R = \frac{I_{CCL}}{f \cdot C} \Rightarrow C = \mu F$$

Ahora hay que ver si es  $C < 1000 \mu F$  o  $C > 1000 \mu F$  para ver si se carga el C con uno o más ciclos.

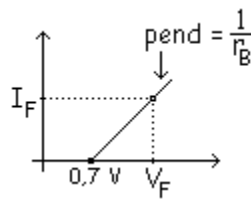
Si  $C < 1000 \mu F$ , el C se carga en 1 ciclo, en el transitorio inicial.

Si  $C > 1000 \mu F$ , el C se carga en más de 1 ciclo.

Si es el segundo caso:

$$I_{\text{pico (inicial)}} = \frac{V_{p2}}{2r_B - \frac{R_{\text{Bobinado}}}{2r_{\text{rio}}}}$$


Se calcula con un ohmetro el valor de la resistencia del bobinado secundario, y la  $r_B$  se saca del catálogo, con los valores de  $I_F$  y  $V_F$ .



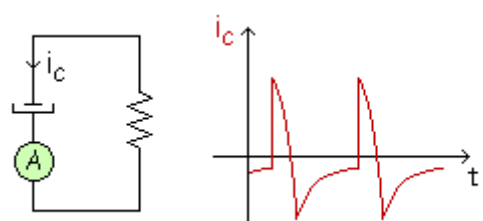
Se saca  $I_{\text{pico inicial}} = I_{\text{FSM}}$  y se elige un diodo adecuado viendo en el catálogo. Después se elige un transformador, etc...

Suelen haber problemas en circuitos que absorben mucha corriente porque suele salir una capacidad muy grande.

$$I_{CCL} \uparrow \Rightarrow C \uparrow$$

Por ello se tendrá que coger mayor rizado como, por ejemplo, un 20 % para que no haya problemas.

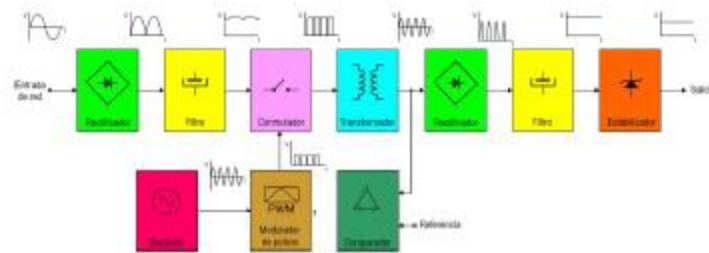
El condensador se calienta, si la corriente por el condensador es muy grande se puede destruir el C. Para elegir el condensador se mide el verdadero valor eficaz con un amperímetro.



## Anexo 2. Detección de averías en fuentes conmutadas

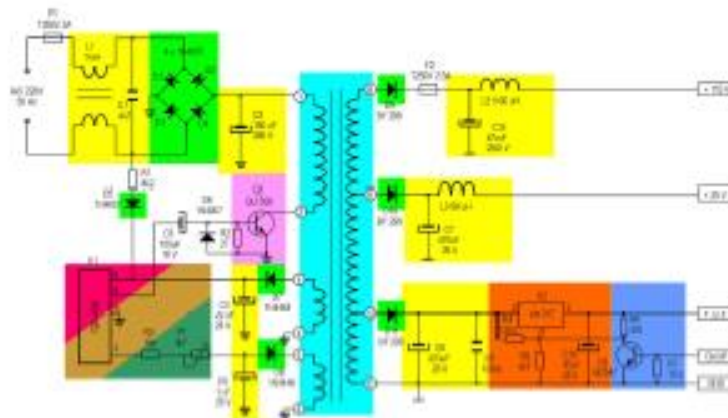
Hay que partir de un esquema de bloques y un esquemático ejemplo.

El esquema de bloques tratado es:



*Ilustración 20. Diagrama de bloques de una fuente conmutada ejemplo.*

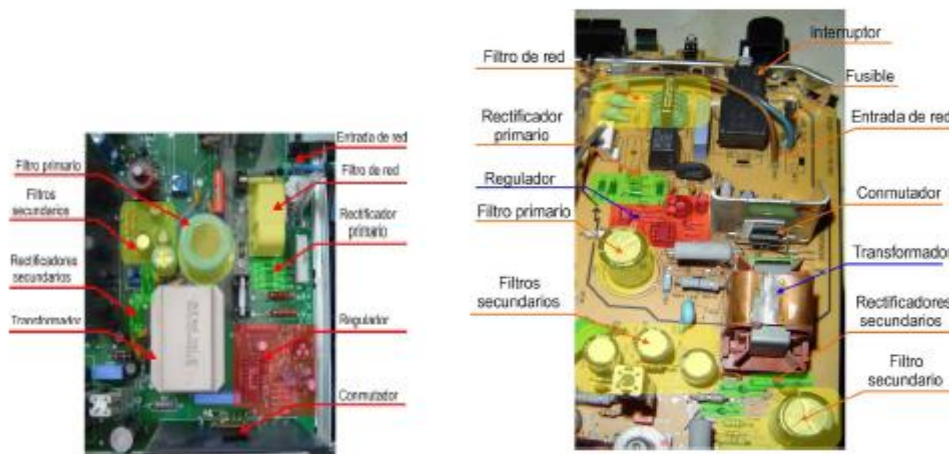
Se suele partir de un esquemático concreto para el análisis de la detección de averías. Por ejemplo, podría ser el de la figura siguiente:



*Ilustración 21. Esquemático ejemplo de una fuente conmutada.*

El detalle de los componentes de la fuente se observa en la figura siguiente:





*Ilustración 22. Detalle de elementos en la fuente conmutada*

Las averías más típicas son:

- Fallas en el regulador de conmutación reductor.

El funcionamiento normal del diodo de descarga protege al transistor de picos de tensión potencialmente perjudiciales durante el ciclo de descarga del inductor. Si este diodo se abre, provocará también una falla en el transistor de conmutación.

Si el condensador de filtro de la salida tiene una sobrecarga, puesto que el regulador intentará compensar la exigencia de mayor corriente, grandes cantidades de ésta serán impulsadas al condensador en cortocircuito. Si el transistor de conmutación entrara en cortocircuito, toda la entrada de CC de la tensión de alimentación será dirigida a la carga. Esto, probablemente, dañará la carga debido a la sobretensión.

- Fallas en el regulador de conmutación elevador

El transistor empleado en un regulador elevador debe ser conmutado a la posición “OFF” antes de que el inductor se sature. Si se deja que el inductor se sature, la alta corriente resultante puede abrir el transistor. Una falla en el transistor debería, por tanto, ser razón suficiente para comprobar la circuitería de control de base del transistor. Si se abre el diodo serie que va a la carga, el transistor estará sujeto a una tensión mucho mayor de la normal en el colector, y probablemente se producirá una falla en el transistor.

- Fallas en el regulador de conmutación inversor de la polaridad.

Una falla en el transistor o en el diodo empleado en este circuito podría provocar una sobrecarga de la fuente de entrada si uno de los dos o ambos entraran en

cortocircuito. Si uno de los dos se abriera, simplemente dejarían de funcionar sin dañar la carga ni la **fuentes** de alimentación.

## Bibliografía

- Malvino, Albert; Bates, David (2007). *Principios de electrónica* (7ª edición). Madrid: Mac Graw-Hill.

## Referencias

- [1] Varios autores. *Electrónica Básica. Curso de Electrónica Básica en Internet*. Euskal Herria Unibertsitatea. Consultado en enero de 2011 en [http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec\\_basica/tema4/Paginas/Pagina1.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema4/Paginas/Pagina1.htm)
- [2] Varios autores (1999). *Fundamentos de electrónica: circuitos y dispositivos electrónicos*. Barcelona: Lluís Prat Viñas/ Edicions UPC.
- [3] Angulo del Otero, Carlos, et al. (1989). *Prácticas de electrónica. Semiconductores básicos: diodo y transistor*. Madrid: Mac Graw-Hill.
- [4] Gutiérrez Cabrera, José Florentino (2005). *Desarrollo y evolución en las fuentes de alimentación de los sistemas electrónicos*. Tampico: Universidad Grupo CEDIP.
- [5] Profesor Farfán. *Fuentes de alimentación*. Consultado en enero de 2015 en [https://es.slideshare.net/keydak11/fuente-de-alimentacin-13049744?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/keydak11/fuente-de-alimentacin-13049744?from_action=save)