

# Reguladores de tensión lineales.

Cristina Palacios Camarero

## I. NECESIDAD DE LOS REGULADORES DE TENSIÓN

Todos los circuitos electrónicos requieren una o más fuentes de tensión estable de continua. Las fuentes de alimentación sencillas construidas con un transformador, un rectificador y un filtro (fuentes de alimentación no reguladas) no proporcionan una calidad suficiente porque sus tensiones de salida cambian con la corriente que circula por la carga y con la tensión de la línea, y además presentan una cantidad significativa de rizado a la frecuencia de la red. Por ello, no son generalmente adecuadas para la mayoría de las aplicaciones.

La función de un regulador de tensión es proporcionar una tensión estable y bien especificada para alimentar otros circuitos a partir de una fuente de alimentación de entrada de poca calidad; después del amplificador operacional, el regulador de tensión es probablemente el circuito integrado más extensamente usado. Además, deben ser capaces de proporcionar corrientes de salida desde unas cuantas decenas de miliamperios, en el caso de reguladores pequeños, hasta varios amperios, para reguladores grandes. También debe poseer una impedancia de salida adecuada, con el fin de que la tensión regulada a la salida se mantenga independiente de la carga, siempre que ésta varíe entre los límites exigidos del diseño.

Los reguladores de tensión se clasifican en:

*a) Reguladores lineales.* Controlan la tensión de salida ajustando continuamente la caída de tensión en un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada no regulada y la carga. Puesto que el transistor debe conducir corriente continuamente, opera en su región activa o lineal. Aunque son más sencillos de utilizar que los reguladores de conmutación, tienden a ser muy ineficientes debido a la potencia consumida por el elemento en serie. Su eficiencia es alrededor del 20% y solamente resultan eficaces para baja potencia (< 5 W). No generan interferencias causadas por transitorios de conmutación (que pueden ser problemáticos si se utilizan reguladores conmutados con una señal de entrada débil).

*b) Reguladores de conmutación.* Utilizan un transistor de potencia como conmutador de alta frecuencia, de tal manera que la energía se transfiere desde la entrada a la carga en paquetes discretos. Los pulsos de intensidad se convierten después a una corriente continua mediante un filtro inductivo y capacitivo. Puesto que, cuando opera como conmutador, el transistor consume menos potencia que en su región lineal, estos reguladores son más eficientes (hasta el 80%) que los lineales; además, son más pequeños y

ligeros. Estos reguladores se pueden diseñar para operar directamente sobre la tensión de la red rectificada y filtrada, eliminando la necesidad de utilizar transformadores voluminosos. El precio que se paga por estas ventajas es una mayor complejidad del circuito y un mayor ruido de rizado. Los reguladores de conmutación se utilizan especialmente en sistemas digitales, donde a menudo es mucho más importante una alta eficiencia y un peso bajo que un rizado de salida pequeño.

## II. ESTRUCTURA BÁSICA DE FUNCIONAMIENTO

En la figura 1 se presenta el diagrama de bloques típico de una fuente de alimentación regulada. La entrada es un transformador conectado a la red eléctrica (220V, 50Hz) con objeto de reducir su amplitud. Un rectificador de diodos rectifica la señal la cual es filtrada (generalmente a través de un condensador) para producir una señal de salida DC no regulada. El regulador de tensión proporciona una salida mucho más regulada y estable para alimentar a una carga.

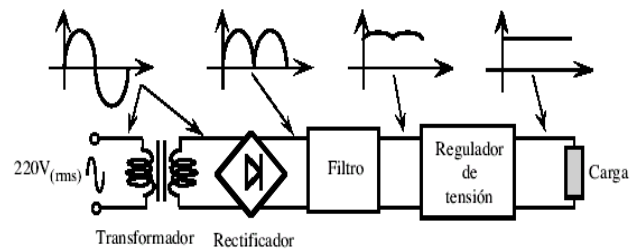


Figura 1. Diagrama de bloques de una fuente de alimentación regulada.

Nos centraremos en el estudio de los reguladores de tensión lineales, cuyo diagrama de bloques se puede ver en la figura 2.

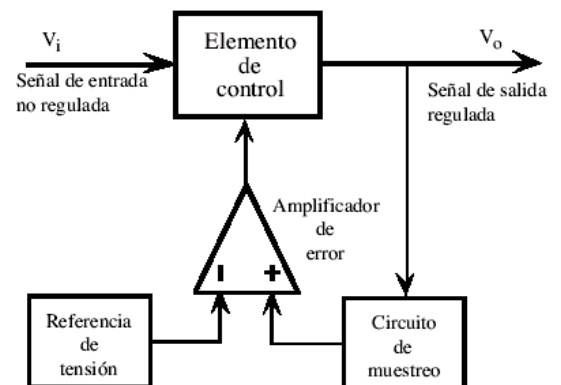


Figura 2. Diagrama de bloques de un regulador de tensión lineal.

La tensión de la señal de salida regulada  $V_o$  es prácticamente independiente de la corriente de carga

y de los cambios en la tensión de entrada  $V_i$ . La tensión de la cargase muestrea por el circuito de muestreo (puede ser un divisor de tensión formado por dos resistencias), y así obtenemos la entrada no inversora del amplificador. Esta entrada está conectada a una tensión continua de referencia  $V_{ref}$ , que idealmente debería estar libre de rizado de alterna y variaciones debidas a la temperatura. En la práctica, esta tensión se suele obtener mediante un diodo zéner.

### III. ESPECIFICACIONES DE LOS REGULADORES DE TENSION.

A continuación se describen algunas especificaciones de los reguladores de tensión que aparecen en las hojas de características:

- Regulación de línea (line regulation). La regulación de línea es una medida de la capacidad del circuito para mantener la tensión de salida bajo condiciones de variación de la entrada. En el caso de reguladores de tensión, la entrada se obtiene generalmente a partir de la señal de la red y tiene un rizado significativo. Si la tensión de entrada de baja calidad es  $V_i$  y la tensión de salida estabilizada es  $V_o$ , la regulación de línea (Regline) se define como:

$$Reg_{line} = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \text{ (mV/V)} \text{ o } Reg_{line} = \frac{\frac{\Delta V_o}{V_o}}{\frac{\Delta V_i}{V_i}} \text{ (\%/V)}$$

- Regulación de carga (load regulation). La regulación de carga es una medida de la capacidad del circuito para mantener la tensión de salida aunque cambie la corriente  $I_L$  absorbida por la carga. Si el circuito fuera una fuente de tensión ideal, su salida debería ser independiente de  $I_L$ . Por tanto, la regulación de la carga está directamente relacionada con la resistencia de salida equivalente del circuito. La regulación de carga (Regload) se define como:

$$Reg_{load} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{\Delta I_L} \text{ (mV/mA mV/A)} \text{ o } Reg_{load} = \frac{\frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}}}{\frac{\Delta I_L}{I_L}} \text{ (\%/mA \% / A)}$$

donde  $V_{NL}$  es la tensión de salida sin carga y  $V_{FL}$  es la tensión de salida a máxima carga.

- Tensión de referencia (reference voltage). Tensión de referencia del regulador utilizada para ajustar la tensión de salida.

- Corriente de ajuste (adjustment pin current). Corriente de salida por el terminal ADJUSTMENT.

- Corriente de salida mínima (mimum output current). Corriente mínima de salida por el terminal OUT. Esta corriente debe ser asegurada para el correcto funcionamiento del regulador de tensión.

- Corriente de salida máxima (current limit). Máxima corriente de salida que puede proporcionar el regulador antes que se active el circuito de protección.

- Tensión "Dropout" (dropout voltage). El voltaje de "dropout" es la mínima diferencia de tensión entre la entrada y la salida dentro de la cual el circuito es todavía capaz de regular la salida dentro de las especificaciones. Así, por ejemplo, para  $I_L=1A$ , el  $\mu A7805$  tiene un voltaje de "dropout" de 2V (typ), 2.5V (max). Esto significa que para una salida garantizada de 5V,  $V_i$  debe ser mayor que 7.5V. Los siguientes reguladores tienen un "dropout" de 0.6V: L487 y L4700 (SGS), LM2931 y LM2935 (National Semiconductor) y LT1020 (Linear Technology).

- Tensión máxima diferencial entrada-salida (Input-Output Voltage Differential). Los reguladores de tensión tienen limitado el máximo de tensiones de entrada y salida con que pueden operar. Por ejemplo, el LM117 tiene una tensión diferencial entrada-salida (Input-Output Voltage Differential) máxima  $V_i - V_o = 40V$ . Esto significa que si  $V_o = 1.25V$ , la tensión de entrada  $V_i$  no debe superar los 41.25V.

### IV. REQUERIMIENTOS DE UN REGULADOR.

Dentro de lo posible, un regulador deberá:

- Mantener la tensión de salida constante independiente de las fluctuaciones de la entrada y la temperatura.
- Mantener la tensión constante de salida, a las exigencias de corriente de carga.
- El voltaje de salida no debe contener componentes alternos (ripple =0)
- La fuente debe poseer un sistema para limitar la corriente de salida (protección).

El circuito regulador debe mantener el voltaje ya sea sin carga (circuito abierto), en la cual no provee corriente, o a plena carga, entregando una corriente en la salida como lo indica la figura 3. Este circuito no presenta una perfecta regulación, pues no mantiene el voltaje  $v_{oc}$  mientras entrega corriente a la carga.

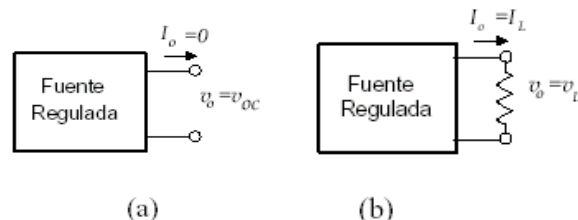


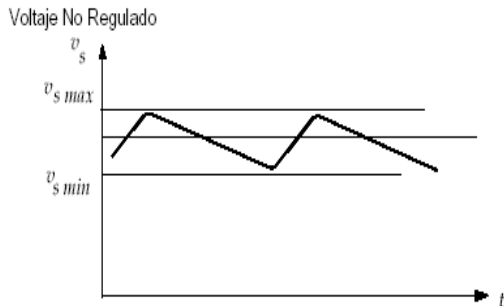
Figura 3. Voltaje de regulación. (a) Sin carga. (b) Con carga.

En un regulador ideal la diferencia entre el voltaje de salida sin carga y el voltaje de salida a plena carga es cero o sea  $v_{oc} - v_L = 0$ ,  $v_L$  es siempre menor. La relación presentada a continuación da cuenta de la cantidad de regulación en porcentaje, mientras menor sea, mejor es la regulación.

$$\% \text{regulación} = \frac{v_{oc} - v_L}{v_L} \times 100$$

Finalmente, se debe considerar que la salida de una fuente de tensión regulada es función del voltaje de entrada sin regular,  $V_s$  (lo podemos llamar  $V_{NR}$ , voltaje no regulado), indicado en la figura 4, la

corriente de carga y la temperatura. Es decir  $V_L = (V_s, I_L, T)$ .



**Figura 4. Comportamiento del Voltaje no regulado (VNR).**

De acuerdo a esto se definen los coeficientes razón de estabilización (factor de regulación de entrada) y coeficiente de temperatura, que respectivamente son:

$$S_v = \frac{\Delta V_L}{\Delta V_s} \quad S_T = \frac{\Delta V_L}{\Delta T}$$

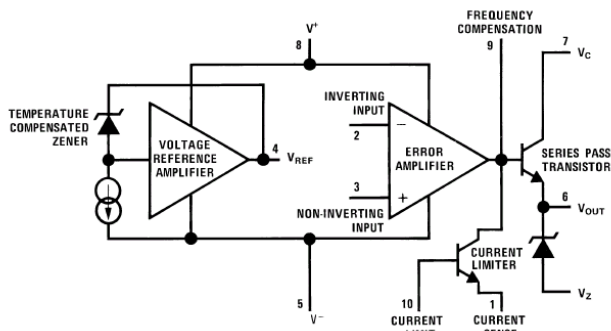
Cuanto más pequeños sean estos coeficientes, mejor será la regulación de la fuente de alimentación.

## V. CONFIGURACIONES REALES

Estudiaremos 3 casos de reguladores de tensión disponibles en el mercado.

### LM723- Regulador de tensión lineal

Dispone de 10 pines externos indicados y etiquetados. Su esquema circuital se puede apreciar en la figura 5.



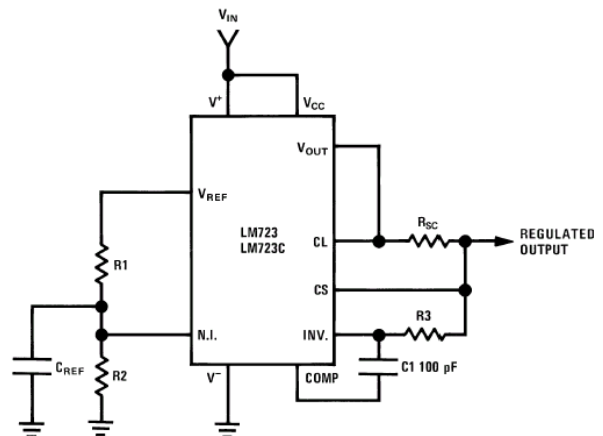
**Figura 5. Esquema circuital del LM723.**

El transistor Q1 es el transistor de paso. Sus terminales de colector y emisor están conectadas a pines etiquetados como Vc y Vo para conexiones externas. Puede ser usado para conducirlos a la base de un transistor de potencia externo, que se convertiría en el transistor de paso. La base del transistor limitador de corriente Q2 está conectado al pin limitador de corriente "CL", y su emisor está unido al pin sensor de corriente "CS". Una resistencia externa puede ser conectada entre estos dos pines, con la circuitería externa arreglada de modo que la corriente de carga pase a través de esta resistencia en cierta dirección haciendo el voltaje base-emisor positivo. Cuando el producto  $I_L \cdot R$  alcanza alrededor de 0.65 V, el transistor limitador de corriente se pone en corto o sea se satura, drena corriente de la base

del transistor de paso Q1, lo que causa que la salida de voltaje decaiga.

La corriente máxima, que ocurre cuando la salida es corto circuitada es aproximadamente  $(0.65 / R)$ . No es necesario hacer conexiones a los pines "CL" y "CS" si no se desea limitación de corriente interna.

Las terminales inversora y no inversora del amplificador de error han sido sacadas a pines para que puedan ser conectadas externamente a voltajes de muestreo y a voltajes de referencia. Dentro del amplificador de error existe una fuente constante de corriente que sirve como preregulador. El amplificador de referencia de voltaje contiene dos diodos zener, un diodo JFET regulador de corriente, un espejo de corriente y circuitería de amplificación. El voltaje de referencia es usualmente aplicado a alguna de las entradas diferenciales del amplificador de error. Esto puede ser hecho directamente, o a través de una resistencia seleccionada para minimizar el efecto de las corrientes "bias" de entrada, o a través de un divisor de tensión diseñado para reducir VR.



**Figura 6. Circuito de aplicación del LM723.**

En la figura 6 se puede observar un posible montaje de aplicación. Los voltajes de entrada deben estar entre 9,5 y 40 V, con una salida ajustable que va desde 2 hasta 37 V. Sin embargo, el voltaje de entrada debe ser más grande que el voltaje de salida en por lo menos 3V. La corriente de carga está restringida a 150 mA, pero el regulador puede ser usado para conducir a un transistor de potencia externo que empuje la corriente a algunos amperios. Se puede añadir una resistencia externa para limitar la corriente de salida a algún valor deseado. Con el voltaje de entrada incrementado de 12 a 40 V la regulación de carga para corrientes es típicamente 0.02 % y la regulación de carga para corrientes de salida dentro de un rango de 1 a 150 mA es de aproximadamente 0.03 %. Para rizado de entrada con frecuencias desde 50 hasta 10 kHz, la atenuación de salida es de aproximadamente 74 dB.

### L7805 - Regulador de tensión fijo positivo

Su esquema circuital se muestra en la figura 7.

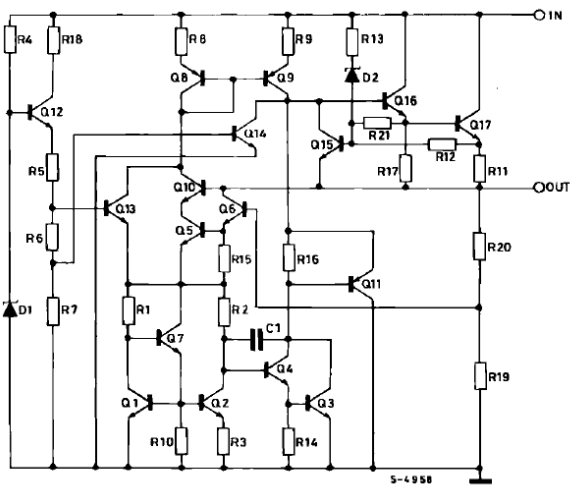


Figura 7. Esquema circuital del L7805.

Son circuitos diseñados con protección por sobrecarga térmica, de forma que se desconectan si son sujetos a unas condiciones excesivas de potencia. El "Internal Short-circuit Protection" limita la máxima corriente que pasará por el circuito, y el "Output transistor Safe-Area Compensation" que reduce la corriente de salida a medida que el voltaje en el transistor de paso se incrementa.

Un circuito típico de aplicación se muestra en la figura 8.

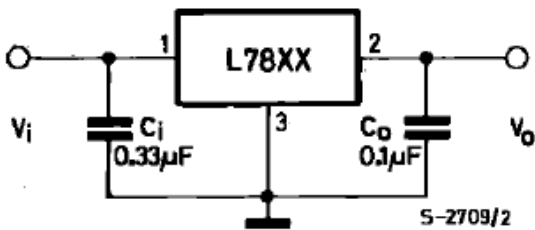


Figura 8. Circuito de aplicación del L7805.

Para aplicaciones de baja corriente, no son necesarios los condensadores de compensación. De todas formas, es recomendable que la entrada del regulador pase por un condensador tanto si el regulador está conectado a una fuente de alimentación con longitudes grandes de cable, como si la capacidad de salida de la carga es elevada.

### LM117 - Regulador de tensión ajustable positivo

Es un regulador de tensión positivo ajustable entre 1.2V y 37V. Solo requiere de 2 resistencias externas para establecer el voltaje de salida. Ofrece protección de sobrecarga, protección de sobrecarga térmica y corriente límite. Un esquema típico es el mostrado en la figura 9. El condensador de paso previene de que el rizado sea amplificado cuando aumenta el voltaje de salida. Con un condensador de 10µF conseguimos un rechazo al rizado de unos 80dB. Aumentar el valor del condensador no produce mejoras apreciables. Si se usa el condensador, a veces es necesario incluir

diodos de protección para prevenir que el condensador se descargue a través de caminos de corriente bajos. Las resistencias fijan el valor del voltaje de salida. La resistencia de 240Ω consigue que el voltaje de salida se mantenga constante. Se puede usar un condensador de salida de forma opcional para mejorar la respuesta transitoria.

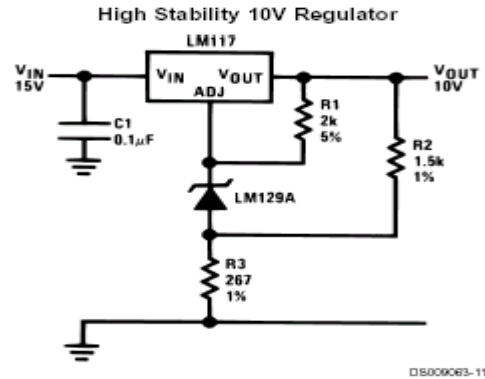


Figura 9. Circuito de aplicación del LM117.

### Comparativa de circuitos integrados comerciales

En el apéndice I se muestra una tabla comparado las principales características de los reguladores de tensión de algunos modelos de reguladores de tensión disponibles en el mercado. Existen reguladores de tensión tanto positiva como negativa. La mayoría dispone de circuitos adicionales de control de temperatura, y disponen de algún mecanismo para desconectar el circuito en caso de sobrepasar un umbral de potencia consumida, para evitar estropear el circuito. Todos disponen de un alto rechazo al rizado (entre 60 y 80 dB). Existen modelos que proporcionan una tensión fija (en cuyo caso la columna correspondiente al rango de la tensión de salida se marca como FIJO), y existen reguladores de tensión en los que el propio usuario puede fijar la tensión de salida dentro de un rango de posibles voltajes dado en las hojas de especificaciones). Todos disponen de un voltaje de referencia fijo, que será el valor que introduciremos en la entrada inversora del amplificador. Su precio oscila entre los 0.13€ y los 0.72€, dependiendo de múltiples factores, tales como la precisión del circuito, los componentes utilizados, la aplicación a la que está destinado, etc.

### VI. ERRORES ASOCIADOS A UN SISTEMA DE MEDIDA.

Medir significa determinar experimentalmente el valor de una magnitud física con instrumentos o dispositivos adecuados y verificar cuantas veces es mayor este valor que la unidad de la magnitud en cuestión. Cualquier sistema de medida consta, genéricamente, de los siguientes elementos:

a) Captador del parámetro a medir. Este elemento detecta directamente la magnitud a medir y genera una señal.

b) Acondicionador de la señal generada por el captador.

c) Sistema indicador y/o de registro. El sistema indicador permite leer el valor de la medida, utilizando en general los siguientes sistemas:

**Analógicos:** Indican los valores de la medida mediante una aguja o una marca luminosa en una escala numerada, dotada de rayas divisoras. La desviación de la aguja, es decir su desplazamiento, promovido por la magnitud a medir desde su posición de reposo (punto cero de la escala), es entonces análoga a la magnitud que se mide.

**Digitales:** Indican los valores de la medida en cifras, generalmente en forma de números decimales

**Registradores:** Los sistemas de registro permiten almacenar una medida en general variable con el tiempo. Estos registros son útiles para la comprobación posterior de procesos de servicio y de perturbaciones

### **Errores e incertidumbre en las medidas**

#### **Cualidades de los aparatos de medida**

- **Fidelidad:** Decimos que un aparato de medida es "fiel", cuando realizando diversas medidas de una misma magnitud en las mismas condiciones, los resultados obtenidos son idénticos.

- **Exactitud:** Un aparato de medida es exacto cuando la medida realizada con él nos da justamente el valor de la magnitud física.

- **Precisión:** Es la mínima variación de una magnitud física que un instrumento de medida puede determinar.

- **Sensibilidad:** Un aparato de medida es tanto mas sensible, cuanto mayor capacidad tiene para medir unidades muy pequeñas, es decir, cuando aprecia menores variaciones en el valor de la magnitud a medir.

#### **Errores de medida**

La precisión necesaria de una medida física depende,

tanto de la naturaleza de la magnitud a medir, como de su tamaño.

- **Error absoluto:** es la diferencia entre la medida exacta de una magnitud y la medida obtenida experimentalmente.

- **Error relativo:** es el cociente del error absoluto ( $\epsilon$ ) entre el valor exacto de la magnitud (M)

$E = \epsilon / M$  Su significado es el tanto por uno del error.

Los errores pueden ser: **sistemáticos** y **accidentales**.

Los *sistemáticos* son derivados, casi siempre, de una construcción defectuosa del aparato de medida, y se evitan en cierto modo, realizando las medidas con aparatos diversos y hallando la media aritmética de los resultados obtenidos.

Los errores *accidentales* dependen de las condiciones fisiológicas, y aun psíquicas, del observador, así como de la iluminación de los aparatos y demás circunstancias de ambiente que rodean al experimentador. Se disminuye el valor de este error realizando numerosas medidas, por distintos observadores, y obteniendo la media aritmética de ellas.

### **REFERENCIAS**

- [1] <http://www.samsungelectronics.com>
- [2] <http://www.ti.com>
- [3] <http://www.micropik.com>
- [4] <http://www.national.com>
- [5] <http://www.diotronic.com/>
- [6] <http://www.durhamradio.com/parts.htm#vr>
- [7] [http://www.crownhill.co.uk/cat29\\_1.htm](http://www.crownhill.co.uk/cat29_1.htm)
- [8] <http://www.fairchildsemi.com>
- [9] HAMBLEY A.R. : Electrónica 2º edición. Prentice-hall 2000.
- [10] PALLAS ARENY, R.: Transductores y acondicionadores de señal. Marcombo, 1989.
- [11] HOROWITZ P., Hill W.: The arts of electronics. Cambridge University Press, 1989, Second Edition.

### **APENDICE 1. TABLA COMPARATIVA DE CIRCUITOS COMERCIALES**

MODELO	REF VOLTAJE (V)	REG. LINEA (%/V)	REG.CARGA (%/V)	DISIPACIÓN DE POTENCIA (mW)	ESTABILIDAD TEMPERATURA (%/Cº)	RECHAZO AL RIZADO(DB)	RANGO VOLT. SALIDA(V)	FABRICANTE	PRECIO APROX (\$)
KA723	7.15	0.01	0.01	1000	0.003	80	2-37	Fairchild	0.3
KA78L05	5	8 mV	11mV	750	0.15	80	FIJO	fairchild	0.13
LM117	1.25	0.01	0.1	Limitada internamente	1	80	1.2-37	National Semiconductor	0.45
LM723	7.15	0.01	0.03	800	0.002	74	2-37	National Semiconductor	0.31
MC7805	5	0.01	0.002	Limitada internamente	0.3	68	FIJO	Motorola	0.45
µA7905	5	-----	-----	15000	0.4	60	FIJO	Texas Instruments	0.72