

# pre- amplificador universal

- 1 características técnicas
- 2 descripción
- 3 ganancia en tensión
- 4 ¿qué es un dB?
- 5 circuito eléctrico
- 6 amplificadores con acoplamiento directo
- 7 amplificadores en emisor común
- 8 etapa final en colector común
- 9 parte mecánica
- 10 componentes



**C**on este dispositivo se ha intentado poner a disposición del aficionado un aparato que resolverá innumerables problemas que pueden surgir en un taller, cuya solución con métodos convencionales provocaría pérdidas de tiempo importantes. El montaje del aparato, por otra parte, enseñará muchas cosas interesantes acerca de los amplificadores; cosas que es importante conocer incluso poniendo la vista en el futuro.

La impedancia de entrada es lo suficientemente elevada para introducir escasas perturbaciones en el circuito al cual se conecte el amplificador. La curva de la amplificación es bastante plana y la banda suficientemente amplia para un gran número de aplicaciones. La salida puede conectarse a cargas muy variables. La variación de la tensión de salida con la carga no es excesiva, aunque de cualquier modo incluimos una tabla que permite conocer la evolución de esta tensión.

La ganancia en tensión es suficientemente constante, dependiendo de la carga y en potencia crece de manera muy uniforme al descender la resistencia de carga.

La salida puede ser cortocircuitada sin que se produzcan consecuencias nefastas para el amplificador.

**1**

Alimentación: 125 - 220 V c.a., conmutables con cambiador de tensiones.

Frecuencia de alimentación: 50 - 60 Hz.

Corriente continua consumida: 38 mA.

Ganancia en tensión: igual o mayor que 44 dB con carga de 300 ohmios.

Impedancia de entrada: mayor que 100 kilohmios.

Máxima señal de entrada con carga mayor que 270 ohmios: 30 mV.

Máxima señal de entrada con carga de 50 ohmios: 6 mV.

Semiconductores empleados: 4 transistores + 1 diodo zener + 4 diodos rectificadores.

**2**

En este artículo describiremos un amplificador que, sin pretender ser el mejor de cuantos pueda conocer el lector, permite resolver un buen número de problemas. Con él, siempre se tendrá al alcance de la mano un dispositivo que resolverá gran parte de los problemas que, en general, aparecen a diario en los laboratorios. Siguiendo atentamente la descripción del circuito, se verá que su utilidad es inmediata en gran número de aplicaciones.

El hecho de estar directamente alimentado por la red con un alimentador estabilizado, libera de una ulterior realización de alimentador en el laboratorio que, en el curso de un experimento, sería enojosa. La salida, con notable potencia a una baja resistencia, lo hace notablemente independiente de la carga. De cualquier modo, en este artículo se incluye una tabla que permitirá conocer en todo momento la tensión de salida en dependencia con la carga que existirá en los bornes. Sin pretender una elevada precisión, se podrá utilizar como amplificador de medida, aprovechando los datos que describiremos y que se podrán completar con las medidas personales. Esto se puede conseguir gracias a las excepcionales dotes de estabilidad de este amplificador.

La banda pasante es notablemente larga, por cuanto para la atenuación de 2 dB va de 30 Hz a 100 kHz. Por lo tanto, para señales de baja frecuencia no introducirá muchas distorsiones. Naturalmente, cuando se haya comprobado la posibilidad del fenómeno que se observe, se tendrá todo el tiempo para proyectar y construir el amplificador que mejor se adapte a las exigencias; para resistencias de carga muy reducidas, se observa un cierto aumento de la frecuencia de corte inferior. Por ejemplo, para  $R_L = 4$  ohmios, la frecuencia mínima será de 45 Hz.

La impedancia de entrada es muy elevada para un amplificador que no incorpore elementos de efecto de campo y, por

lo tanto, introduce perturbaciones despreciables en las características del aparato al cual deba conectarse.

La potencia proporcionada depende, naturalmente, de la carga, pero varía poco dentro de límites bastante amplios. En la antes citada tabla, se indican también las ganancias en decibelios tanto para la potencia como para la tensión; más tarde explicaremos cómo hemos desarrollado este cálculo. La tabla indica los valores máximos de la entrada, pero el amplificador trabaja en tramos lineales de la curva característica de los transistores, por lo que los valores son válidos con buena aproximación también para pequeñas señales. Supongamos que la resistencia de entrada sea de 100 kilohmios.

Se habrá observado que algunas magnitudes son dadas por un número multiplicado por una cierta potencia de 10. Este sistema se llama «notación científica». En la práctica, se trata de multiplicar el número por 1 seguido por un número de ceros igual a la cifra de la exponente. Si la exponente es negativa, se necesita, en cambio, dividir el número por 1 seguido de una cantidad de ceros iguales a la cifra de la exponente.

Por ejemplo:

$$1,9 \times 10^{-7} = \frac{1,9}{10.000.000} = 0,00000019$$

$$1,9 \times 10^7 = 1,9 \times 10.000.000 = 19.000.000$$

Es lógico que para cifras muy pequeñas o muy grandes, este sistema resultará de gran comodidad.

### 3

Del examen de la tabla se llega a la conclusión de que la ganancia en tensión en dB para este amplificador es muy constante, mientras que la ganancia de potencia presenta una evolución decreciente al disminuir la carga.

Puesto que las medidas efectuadas para obtener los datos de la tabla se han conseguido gracias a un prototipo, y del mismo modo que existe la posibilidad de una cierta variación de las características en los transistores que se pueden adquirir aunque pertenezcan al mismo modelo, proporcionaremos a continuación el procedimiento para efectuar estas medidas y los cálculos correspondientes para el amplificador, de modo que el lector pueda realizar una tabla de servicios de confianza, en la cual es posible que varíen ligeramente los datos.

En primer lugar se necesita valorar la resistencia de entrada del amplificador. Para ello se conecta a la salida una resistencia de valor medio, por ejemplo 500 ohmios. A la entrada se conecta un generador de baja frecuencia.

Mediante un osciloscopio o un milivoltímetro electrónico, se medirá la tensión en la entrada del amplificador, con el generador conectado. Se habrá procedido anteriormente a introducir en el circuito (figura 1) una resistencia de valor conocido, por ejemplo 10 kilohmios.

Se medirá la tensión en los terminales de dicha resistencia. Llamaremos V1 a la tensión en los terminales de la resistencia de 10 kilohmios y V2 a la tensión en los terminales de entrada del amplificador. Bastará emplear la ley de Ohm para saber

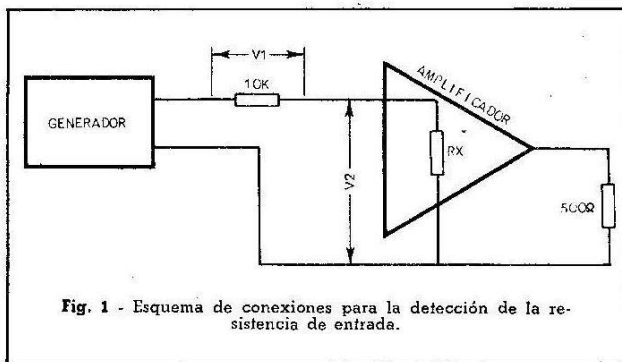


Fig. 1 - Esquemá de conexiones para la detección de la resistencia de entrada.

cuanto deseamos. En efecto, la corriente en el circuito estará dada por:

$$I = \frac{V1}{10.000}$$

Ahora, queremos conocer la resistencia Rx de entrada del amplificador. Esta estará dada por:

$$Rx = \frac{V2}{I}$$

Se efectuarán a continuación diversas medidas de la tensión de entrada y de la tensión de la salida para varias resistencias de carga, siguiendo la tabla 1. De este modo poseeremos una serie de tensiones de entrada a las cuales corresponderán una serie de tensiones de salida, como en la tabla.

Las correspondientes potencias se calculan con la conocida fórmula:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Disponiendo de las tensiones y las potencias de entrada y las tensiones y las potencias de salida, podremos calcular las correspondientes ganancias en dB.

### 4

Este término toma el nombre del conocido físico americano Alexander Graham Bell, inventor del teléfono y estudioso de la acústica. Así como la variación de la intensidad del sonido que percibimos con el oído como lineal, depende en realidad del cuadrado de la variación efectiva de la potencia sonora, para no tener que escribir cifras excesivamente largas se ha convenido en utilizar una unidad logarítmica para la medida de la unidad sonora. Bastará consultar un manual que contenga las tablas de los logaritmos, para ver que el logaritmo de un determinado número se compone de dos partes: una, a la izquierda de la coma, demuestra la potencia a la cual se ha elevado el número 10 en la notación científica de la que hemos hablado antes, o sea que es un número igual al número de la cifra a la izquierda de la coma en el número inicial disminuido en uno. La parte a la derecha de la coma se llama mantisa y define el valor efectivo de la cifra significativa. Existen logaritmos con bases distintas: para nuestras medidas utilizaremos los logaritmos naturales, cuya base es el número llamado «e» y que vale 2,718281828...

Para simplificar, diremos que la definición del logaritmo de un número es la siguiente:

Se llama logaritmo de un número al exponente que se necesita elevar la base para obtener el mismo número.

El empleo de los logaritmos permite simplificar notablemente cálculos complejos. La regla de cálculo, basada en los logaritmos, es un ejemplo de ello.

Volvamos ahora a los decibelios, hablando con el claro lenguaje de las fórmulas.

T A B L A 1

Tensión de entrada V	Potencia de entrada W	Resistencia de carga ohmios	Tensión de salida V	Potencia de salida W	Ganancia de tensión dB	Ganancia de potencia dB
0,03	9 · 10 <sup>-4</sup>	1 kΩ	5,12	0,026	44,6	34
0,0115	1,32 · 10 <sup>-4</sup>	100	1,8	0,032	43,9	43,8
0,009	8,1 · 10 <sup>-7</sup>	68	1,4	0,028	43,8	45,3
0,0068	4,62 · 10 <sup>-7</sup>	50	1,08	0,023	44,0	46,9
0,0024	5,76 · 10 <sup>-8</sup>	16	0,37	0,008	43,7	51,4
0,0011	1,21 · 10 <sup>-4</sup>	8	0,169	0,0035	43,7	54,6
0,00052	2,7 · 10 <sup>-9</sup>	4	0,074	0,00136	43,1	57,0

Para las tensiones:

$$\text{ganancia en dB} = 20 \times \log_{10} \frac{\text{tensión de salida}}{\text{tensión de entrada}}$$

para las potencias:

$$10 \times \log_{10} \frac{\text{potencia de salida}}{\text{potencia de entrada}}$$

Esto puede parecer enojoso, pero si se piensa que una ganancia de tensión de 100.000.000, por ejemplo, se escribe 160 dB, todo cambia de aspecto y con ello se sabe todo o casi todo.

**5**

El circuito del amplificador (figura 2) está formado por dos etapas en cascada con acoplamiento directo, TR1 y TR2, y por una etapa adaptadora de impedancia en colector común, TR3. La alimentación se estabiliza por el transistor TR4, después de haber sido rectificada en onda completa por un puente formado por 4 diodos (D1, D2, D3 y D4).

En primer lugar examinemos la etapa de acoplamiento directo, estudiando por qué ha sido elegido.

Debiendo hacer pasar una cierta potencia en corriente alterna de frecuencia muy baja mediante el condensador utilizado para el acoplamiento entre las etapas en cascada, dicho condensador asumiría valores tan elevados que lo harían prohibitivo. La primera ventaja del acoplamiento directo, por lo tanto, es la obtención de una baja frecuencia de corte con un mínimo empleo de medios. Además, el empleo de condensadores de valor muy elevado implica la presencia de transitorios muy largos, que no permiten el paso de frentes de onda muy rápidos.

**6**

Los amplificadores con acoplamiento directo pueden ser muy prácticos incluso para frecuencias altas. Por ejemplo, en amplificadores verdaderamente de larga banda, el volumen físico de los condensadores de acoplamiento puede causar serios problemas a causa de las inevitables capacidades parásitas con los otros elementos del circuito. No es éste nuestro caso, pero conviene saberlo. Otra importante razón para el empleo del acoplamiento directo es que los condensadores de acoplamiento, si se desea una frecuencia de corte muy baja, ocupan mucho espacio. En esta época de miniaturización el espacio es una cosa importante.

Afortunadamente, la buena estabilidad a largo plazo de las características en corriente continua de los transistores de silicio, ha hecho no sólo posible sino muy atractivo, el poder utilizar amplificadores en corriente continua incluso en aquellos casos donde, en teoría, no son necesarios.

Esto es particularmente cierto en los casos de los circuitos integrados, donde complicados circuitos son construidos en un pequeño fragmento de silicio.

Naturalmente, existen muchísimos sistemas de efectuar amplificadores con acoplamiento directo (basta pensar en el conocido circuito Darlington).

La misión es facilitada también por la existencia de los transistores con polaridad opuesta (PNP y NPN), que multiplican la posibilidad del acoplamiento directo.

La posibilidad de acoplamiento directo para el silicio, depende del hecho de que la ICBO es virtualmente despreciable. Puede utilizarse una superficial capa de óxido en la placa, que permite una óptima estabilidad en el tiempo y una buena constancia en los parámetros en la serie producida.

Además, es posible disponer de elevadas ganancias en corriente con bajas corrientes de colector. Naturalmente, existen también inconvenientes, por ejemplo  $h_{fe}$  dependiendo en gran medida de la temperatura, pero para reducirlo existen también

ciertas precauciones. El cálculo de las polarizaciones no puede efectuarse etapa por etapa, como en los normales amplificadores acoplados por condensador, pero todo el dispositivo debe tomarse en consideración por cuanto la señal y la polarización están mezcladas y el nivel de salida sin señal de una etapa representa el nivel de entrada sin señal de la etapa sucesiva, y así sucesivamente.

Sería bastante posible obtener también resultados estables sin contrarreacción, obteniendo así la máxima amplificación posible, por cuanto la característica de entrada de los transistores de silicio es suficientemente lineal también con reducidas polarizaciones. Nosotros hemos preferido renunciar a buena parte de la amplificación posible, en favor de la máxima estabilidad contrarreaccionando fuertemente la etapa de entrada, tanto mediante la resistencia de emisor  $R_1$ , privada de by-pass, como tomando del colector de TR2 parte de la tensión amplificada por la segunda etapa y llevándola de nuevo al emisor de TR1 por medio de la resistencia  $R_4$ . La fase resulta opuesta a la presente en el emisor y, por lo tanto, se tiene también una contrarreacción. La estabilización para las variaciones de temperatura se efectúa sólo para las dos etapas con emisor común, tomando una tensión de contrarreacción en corriente continua del centro del divisor formado por  $R_5$  y  $R_6$  y enviándola a la base de TR1 en oposición a la presente.

**7**

Para los amplificadores en emisor común, las consideraciones de fase deben efectuarse del siguiente modo.

Si la corriente aumenta en la base, aumenta también la tensión en el diodo base-emisor. Disminuye la resistencia ofrecida por el transistor y, por lo tanto, disminuirá la tensión en el terminal de colector y aumentará la del terminal de emisor. La tensión en el terminal de colector estará en oposición de fase con la de entrada, mientras que la tensión presente en el terminal de emisor estará acordada en fase con la tensión de entrada.

La contrarreacción provocada por la resistencia de emisor requiere otro razonamiento. El transistor conduce mayormente cuanto mayor es la diferencia de potencial entre base y emisor. Por lo tanto (siempre en el caso NPN) siendo la base en un cierto grado positiva, el emisor debe ser más negativo para aumentar la conducción. Pero la presencia de la resistencia de emisor lo hace en cambio más positivo al disminuir la resistencia del transistor. De aquí, el efecto de contrarreacción. Si existe un condensador de cruce, el efecto vale sólo para la corriente continua; si éste no existe, el efecto se tiene también para la corriente alterna.

Otro efecto de la resistencia de emisor es el de aumentar la resistencia de entrada del circuito a un valor igual al de la resistencia multiplicada por la  $h_{fe}$  del transistor; por otra parte, cualquier contrarreacción aumentará la resistencia de entrada, por cuanto será necesaria una mayor tensión para provocar el paso de la misma corriente; de aquí la ley de Ohm, que dice que la resistencia aumenta.

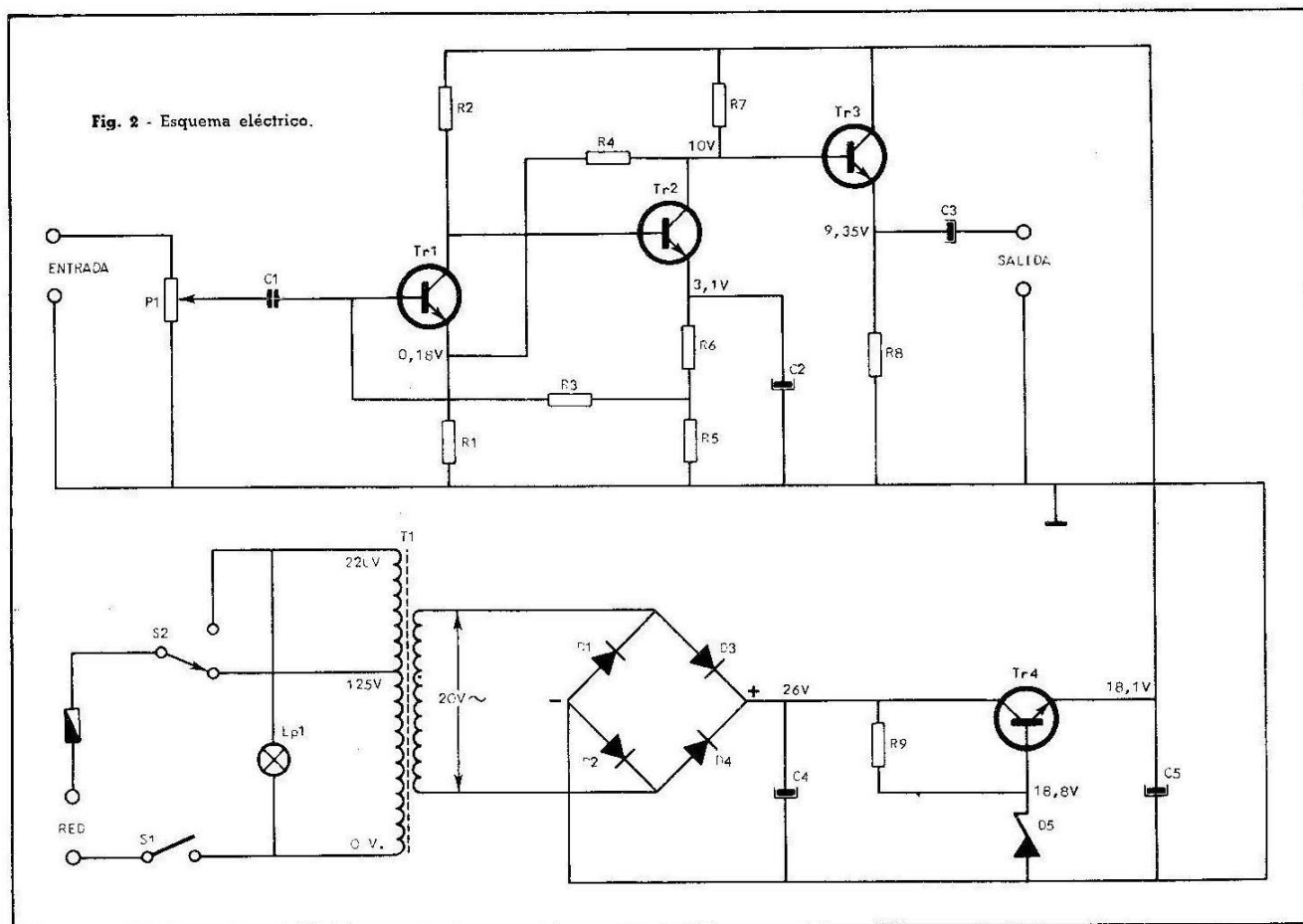
**8**

Nos extenderemos ahora sobre la etapa final en colector común. En este sistema de conexión, la señal se aplica a la base y se toma en el emisor. Por las consideraciones antes desarrolladas, la señal de salida estará en fase con la de entrada. Por la ausencia de la resistencia de colector, la contrarreacción de la resistencia de emisor será más importante que en el montaje en emisor común, por lo que la resistencia de entrada será elevada mientras que la de salida será baja, por cuanto en ella no influirán las variaciones de la resistencia del transistor. La fórmula de la resistencia de salida, aparte términos despreciables, será:

$$R_o = \frac{R_s + R_{\pi}}{h_{fe} + 1}$$

para la corriente continua o, sea como fuere, de bajísima frecuencia. De otro modo sería preciso razonar en términos de impedancia, con lo que los cálculos se llevarían muy lejos.

## PREAMPLIFICADOR UNIVERSAL



$R_s$  es la resistencia del manantial de alimentación;

$R_{\pi}$  es la resistencia de la unión base-emisor polarizada directamente y es muy pequeña, del orden de un centenar de ohmios;

$h_{fe}$  es el coeficiente de amplificación de corriente en emisor común, con salida en cortocircuito.

En el circuito en colector común no se tiene ganancia en tensión, sino sólo ganancia en corriente, por cuanto es lógico que, a no ser que se produzca una pequeña caída, tendremos la misma tensión tanto en la base como en  $R_8$ .

Para información del lector añadiremos que para la base común subsiste la situación inversa, o sea que se tiene ganancia en tensión pero no en corriente, mientras que en el circuito en emisor común se tiene ganancia, tanto en tensión como en corriente.

Pasemos ahora a las partes restantes del amplificador.

La entrada de la señal a amplificar se tiene a través de  $P1$  y de  $C1$ . El valor de este condensador no es muy elevado, dado el pequeño nivel de la señal.

La salida se obtiene a través del condensador  $C3$ , de elevadísima capacidad.

La misión de este condensador consiste en permitir la puesta en cortocircuito de la salida, sin que se produzcan daños en los transistores finales. En efecto, el cortocircuito se produce sólo para la corriente alterna, y las diversas contrarreacciones presentes no permiten que los niveles en corriente alterna para varias etapas asuman valores peligrosos.

La alimentación se obtiene a través del transformador  $T1$  con primario de dos tensiones, lámpara piloto, fusible de protección e interruptor general. El secundario llega al puente de diodos, del cual sale la corriente de impulsos unidireccionales, que es nivelada por  $C4$  y a continuación estabilizada por  $TR4$ , por lo que el circuito formado por  $R9$  y el zener  $D5$  constituyen el generador de la tensión de referencia. A la salida tenemos

un ulterior nivelado efectuado por  $C5$ . La tensión estabilizada de salida es de 18,1 V.

**9**

Todo el aparato se situará dentro de una caja de dimensiones reducidas. Las entradas y las salidas de las señales no son coaxiales, dado el modesto valor de las frecuencias en juego. Sin embargo, se aconseja efectuar las conexiones con los aparatos a través de cable blindado, ya que de no ser así éste podría recoger disturbios inductivos que, dada también la elevada impedancia de entrada, podrían alterar la señal transmitida.

En la parte frontal de la caja se situarán el interruptor general, el potenciómetro de la regulación de la ganancia y la lámpara piloto indicadora del funcionamiento del aparato.

Por los lados saldrán el cordón de alimentación de la red, el borne de conexión para la entrada y la salida, el fusible y el cambia-tensiones.

En la parte interna se situarán el panel de montaje del circuito, el transformador de alimentación y las diversas conexiones.

La caja debe ocupar un mínimo espacio en el banco de trabajo. Es aconsejable que dicha caja sea de aluminio barnizada en colores que le otorguen un agradable aspecto.

**10**

$R1 = 1.000$  ohmios  
 $R2 = 120.000$  ohmios

## PREAMPLIFICADOR UNIVERSAL

R3 = 150.000 ohmios  
R4 = 180.000 ohmios  
R5 = 220 ohmios  
R6 = 680 ohmios  
R7 = 2.200 ohmios  
R8 = 270 ohmios  
R9 = 2.700 ohmios

Todas las resistencias de  $\frac{1}{3}$  W  $\pm$  10 %

C1 = 220.000 pF poliester  
C2 = 125  $\mu$ F/16 V electrolítico  
C3 = 400  $\mu$ F/16 V electrolítico  
C4 = 2.000  $\mu$ F/35 V electrolítico  
C5 = 250  $\mu$ F/25 V electrolítico  
P1 = potenciómetro logarítmico deslizante de 1 Meg-ohmio  
TR1 - TR2 = transistores NPN tipo BC109C, BC149C, SC109C  
TR3 - TR4 = transistores NPN tipos MC140  
D1 - D2 - D3 - D4 = diodos rectificadores tipos BY126, BY127  
D5 = diodo zener de 18 V 400 mW tipo BZY94/C18  
T1 = transformador con primario para 125-220 V y secundario para 20 V/150 mA  
Lp1 = lamparita piloto de neón de 220 V  
S1 = interruptor unipolar de bola  
S2 = conmutador de tensiones de 125-220 V  
1 fusible de 100 mA