

Para poder desempeñar correctamente su función, una fuente de alimentación que se precie de muy buena, debe satisfacer las exigencias siguientes:

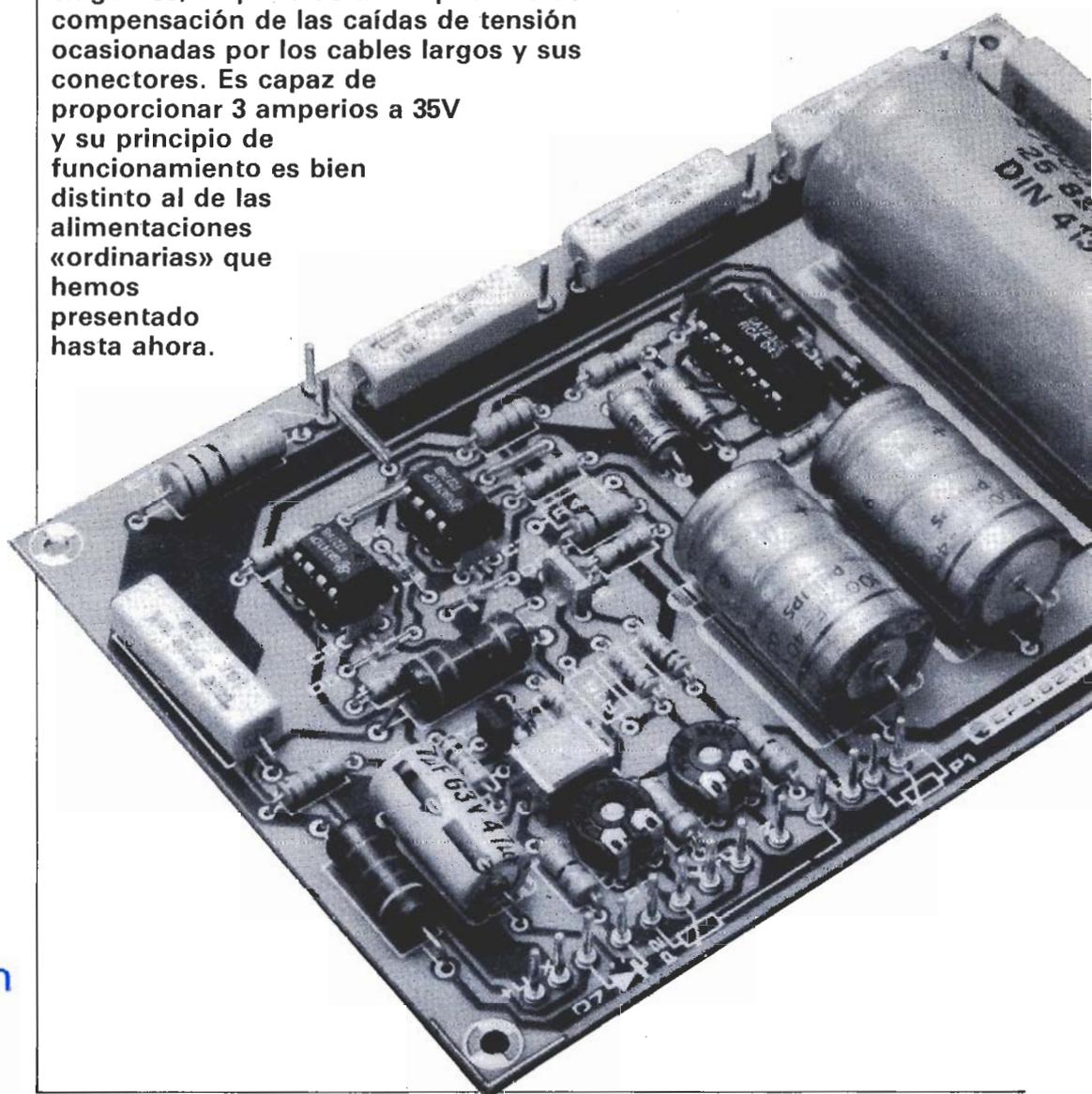
- Suministro de altas intensidades de corriente para tensiones de 24 V o superiores.
- Ha de ser completamente estable para todas las condiciones de entrada.
- Debe incluir protección frente a los cortocircuitos persistentes.
- Control de limitación de corriente hasta la salida máxima.
- Control de la tensión de salida completamente variable desde 0 al máximo.
- Lectura exacta de la corriente y de la tensión.
- Dispositivo de compensación de las pérdidas en el cableado.

¡Una fuente de alimentación de calidad profesional!

# alimentación para laboratorio

Las palabras claves de una buena alimentación son: estabilidad, regulación de corriente y protección frente a cortocircuitos.

Todo ello lo tiene esta fuente pero además, para los exigentes, dispone de un dispositivo de compensación de las caídas de tensión ocasionadas por los cables largos y sus conectores. Es capaz de proporcionar 3 amperios a 35V y su principio de funcionamiento es bien distinto al de las alimentaciones «ordinarias» que hemos presentado hasta ahora.



alimentación para laboratorio

Las dos últimas características son deseables, aunque no indispensables. La fuente de alimentación de precisión que presentamos cumple con las normas establecidas para los equipos comerciales e incluye todas las características anteriores. Tiene una gama variable de tensiones de salida de 0 a 35 V y una limitación de corriente continuamente variable hasta 3 amperios. Sus prestaciones son excelentes y tiene una óptima relación calidad/coste.

### El fundamento

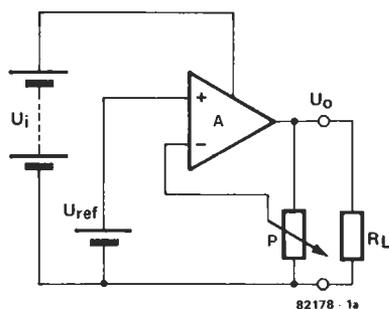
Para estabilizar una tensión, puede optarse entre dos procedimientos: la estabilización en serie o la estabilización en paralelo. En el primer caso, se monta un transistor de regulación en serie con la carga; mientras que en el segundo, el transistor se coloca en paralelo. El más extendido de ambos métodos es el primero y es el que adoptaremos en nuestro circuito. No hay, pues, nada nuevo hasta ahora. Es en el tipo de regulación en donde radica la novedad.

Comencemos por examinar el esquema de principio de la figura 1a, en donde se ilustra una regulación tradicional. Se trata, esencialmente, de un amplificador operacional con salida de potencia, que es la fuente de la corriente de carga, esto es, en serie con la carga  $R_L$ . La entrada no inversora del amplificador operacional se mantiene a una tensión de referencia,  $U_{ref}$ . La entrada inversora del amplificador operacional está a un nivel de tensión que es una parte proporcional de la tensión de entrada (derivada mediante el potenciómetro P).

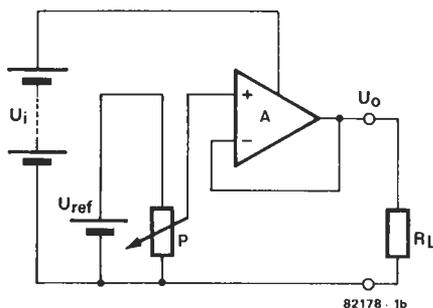
En estas condiciones, la salida del amplificador operacional se hará estable en el punto en donde es cero la diferencia de tensión entre las dos entradas. Es decir, el amplificador operacional mantendrá una condición en la que son iguales la tensión de referencia y la existente en el cursor del potenciómetro P. Será evidente, pues, que la tensión de salida dependerá de la posición de P. Con el potenciómetro en la oposición media, la salida será el doble de la tensión de referencia. Las desventajas de este sistema son que el factor de estabilidad es función de la posición del cursor del potenciómetro P, la salida nunca puede ser inferior a la tensión de referencia y el funcionamiento de P no será lineal. Además, una eventual señal parásita presente en  $U_{ref}$  se verá amplificada más o menos según la posición del potenciómetro, ya que las desviaciones de la tensión de salida son atenuadas por P antes de ser reinyectadas a la entrada inversora del amplificador operacional.

El diagrama de bloques de la figura 1b presenta otra solución. En este caso, el amplificador operacional se utiliza como un

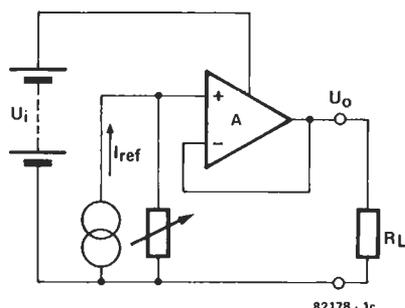
1



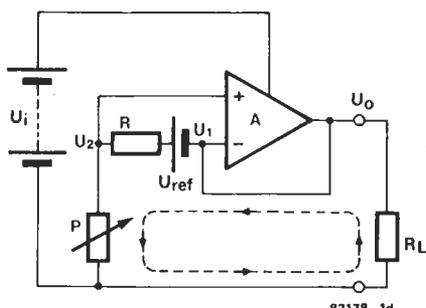
82178 - 1a



82178 - 1b



82178 - 1c



82178 - 1d

Figura 1. Ilustración de los diversos principios de estabilización en serie. En conjunción con el texto, se muestran las ventajas del empleo de una fuente de referencia de corriente constante con respecto a una tensión de referencia.

amplificador de ganancia unidad y P es, ahora, un divisor de tensión conectado a través de la tensión de referencia. La salida del amplificador operacional será, ahora, proporcional al nivel de tensión en el cursor de P. En esta configuración, el margen de salida estará comprendido entre 0 y la tensión de referencia. Ello suena mejor pero está todavía lejos de lo idóneo. Para obtener un margen que se extienda efectivamente hasta cero, es preciso alimentar simétricamente al amplificador operacional (es necesaria, pues, una tensión de alimentación negativa), lo que supone una nueva des-

alimentación  
para  
laboratorio

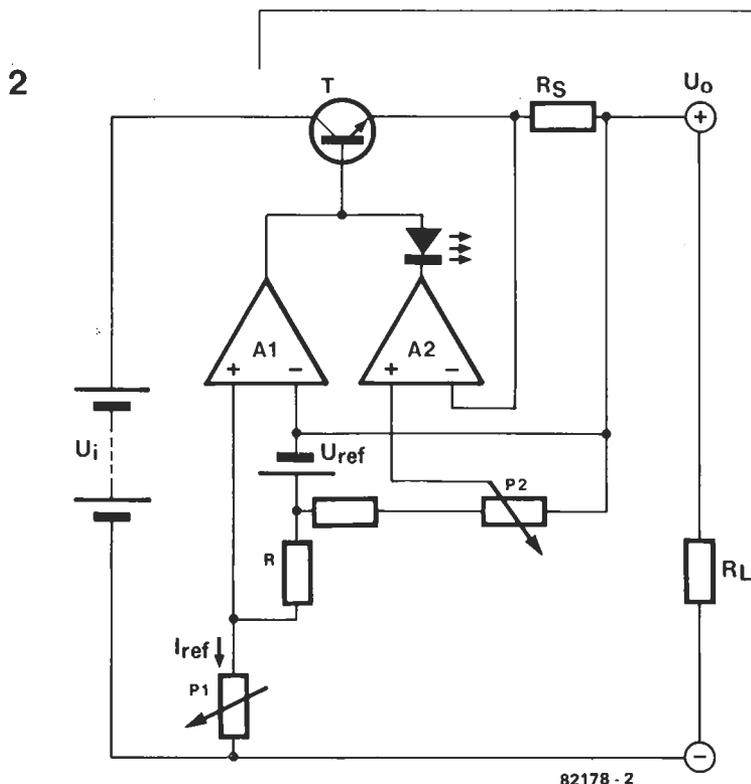


Figura 2. Diagrama de bloques de la fuente de alimentación para laboratorio. El amplificador operacional A1 proporciona la regulación de tensión mientras que A2 se encarga de la limitación de corriente.

ventaja. Y, por añadidura, la tensión de referencia debe ser, como mínimo, tan alta como la salida máxima requerida. No se trata, por lo tanto, de una solución ideal. El esquema de la figura 1c está basado en el mismo principio que el de la figura 1b, pero trata de resolver los problemas sustituyendo la tensión de referencia, en lo relativo al amplificador operacional, por una corriente de referencia. La tensión de salida viene determinada, ahora, por la corriente que pasa a través de P. La ventaja es que el circuito ya no es función del nivel de tensión de referencia.

Llegamos, ahora, al esquema de la figura 1d, en donde encontramos lo esencial del circuito de la figura 1c, pero la fuente de corriente cede, de nuevo, su lugar a una fuente de tensión  $U_{ref}$  con una resistencia R. La idea no es completamente nueva, pero el método aquí utilizado es un poco heterodoxo.

Como se indicó anteriormente, una fuente de corriente puede simularse colocando una resistencia en serie con una tensión de referencia derivada de la salida. Sin embargo, para que ello sea una realidad es preciso que el valor óhmico del potenciómetro P sea mucho menor que R. En la práctica, esta condición no es fácil de cumplir, por lo que será preciso buscar otra cosa.

Como ya hemos visto, el amplificador operacional tiende simplemente a anular la diferencia de potencial entre sus entradas, regulando la señal de salida reinyectada en la entrada inversora. Así, la tensión de salida es siempre igual a la tensión existente en la entrada no inversora.

La resistencia en serie está efectivamente colocada entre las dos entradas del amplificador operacional. Sin embargo, debido a la alta impedancia de las entradas, teóricamente, al menos, ninguna corriente puede

penetrar en el amplificador operacional. En efecto, entonces, la corriente derivada de la fuente de referencia sigue el recorrido mostrado por una línea de trazos en el diagrama de bloques. Puesto que  $U_1 = U_2$  (el amplificador operacional se encarga de que se cumpla) la corriente es constante, con independencia de la posición de P y del valor de la resistencia de carga. El valor de esta corriente es igual a  $U_{ref}/R$ . Con esta corriente aparece una tensión en el potenciómetro, que el amplificador se encarga de restituir en su salida, mientras que la corriente de referencia está compensada por medio de la carga. El resultado de todo esto es que el circuito es conforme con lo que estamos buscando, que no es otra cosa que una corriente de referencia constante (incluso a 0 voltios) con el empleo de una fuente de tensión de referencia y una resistencia.

### Fuente de alimentación de precisión

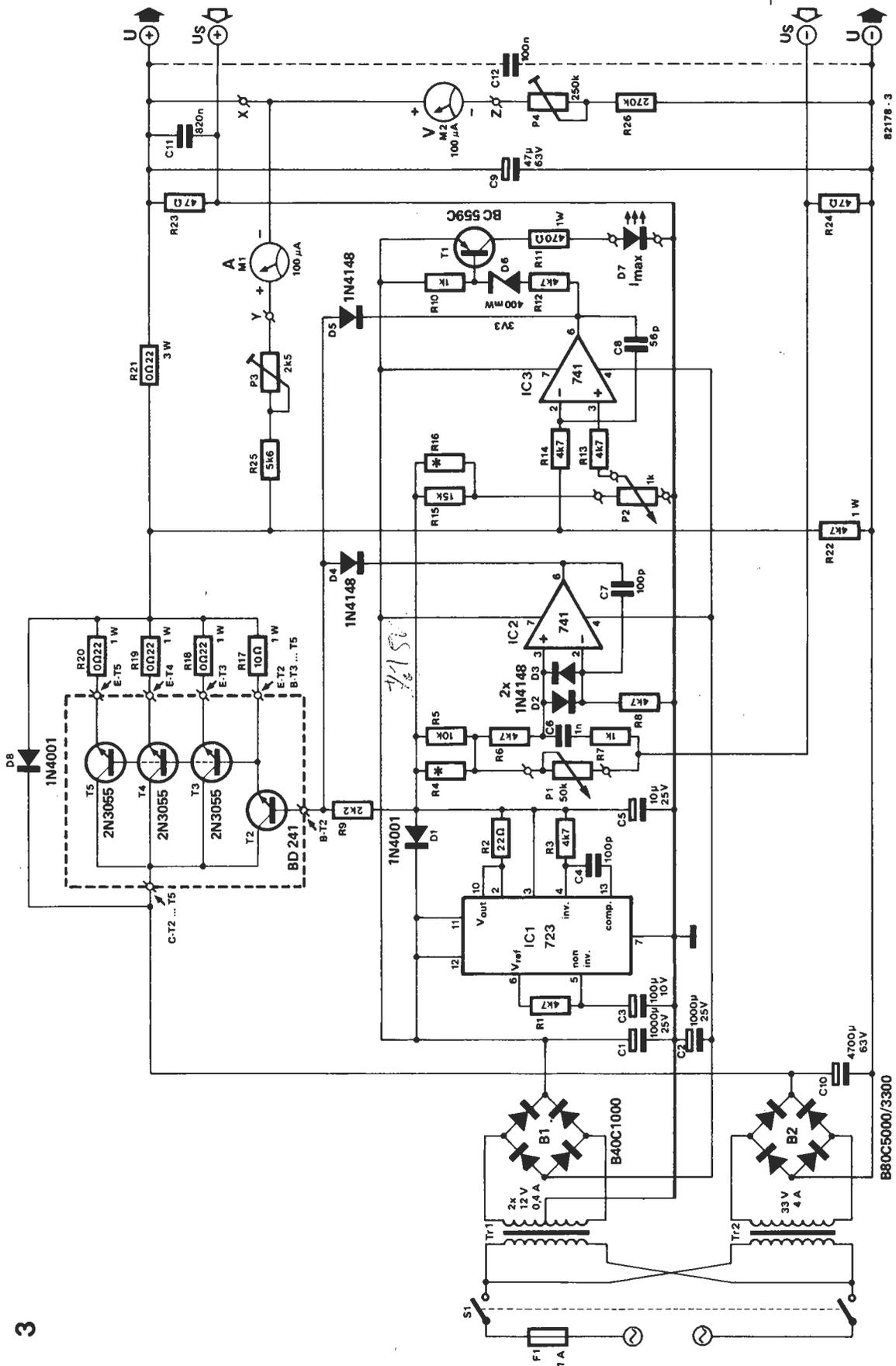
La principal diferencia entre el diagrama de bloques de la fuente de alimentación de precisión de la figura 2 y el de la figura 1d es el hecho de que se incluyen dos amplificadores operacionales y un transistor de potencia de paso en serie. La fuente de corriente ( $U_{ref}$  y R) y el potenciómetro P1 son muy similares.

El segundo amplificador operacional A2 es el responsable de la limitación de la corriente de salida. La tensión a través de la resistencia de emisor  $R_s$  del transistor T es proporcional a la corriente de carga de salida. Una parte proporcional de la tensión de referencia se deriva por la posición de P2 y se compara con la tensión a través de  $R_s$  mediante el operacional A2. Cuando la tensión en  $R_s$  se hace más alta que la establecida por P2, el amplificador operacional reduce la corriente de base de T hasta que se logre que la diferencia se haga cero. El diodo LED, situado en la salida de A2, funciona como un limitador de corriente.

### El circuito

Después de tanta teoría, vamos a abordar su aplicación práctica. El circuito de la fuente de alimentación, mostrado en la figura 3, tiene dos fuentes de alimentación independientes (¡si ello tiene sentido!). La potencia para la etapa de salida la proporciona el transformador Tr2. El transformador Tr1 proporciona potencia para la fuente de referencia y los amplificadores operacionales. Esta última alimentación está constituida por Tr1 un rectificador en puente B1 y dos condensadores C1 y C2. La tensión de referencia es suministrada por el inevitable estabilizador integrado del tipo 723 (IC1). Los componentes asociados a este circuito integrado se eligieron para proporcionar una tensión de referencia de 7,15 V. Esta última aparece en la unión de R1/R5, R15/R16 y R9. Para facilitar la comprensión, cabe destacar que R4/R5 representa a R e IC2 corresponde a A1 en el diagrama teórico de la figura 2.

Figura 3. Esquema circuitual de la fuente de alimentación de precisión, en su versión de 35V y 3A. Las resistencias R4/R5 corresponden a R en la figura 2, IC2 a A1, IC3 a A2 y R21 a  $R_s$ . De los dos transformadores, Tr1 proporciona la alimentación para la fuente de corriente de referencia, mientras que Tr2 suministra la potencia para la etapa de salida.



82178 .3

B80C5000/3300

Aspecto final del prototipo de nuestra fuente de alimentación para laboratorio.



La entrada inversora del amplificador operacional está conectada al cero de la alimentación auxiliar a través de R8. El cero de la alimentación auxiliar está conectado a la línea de salida positiva a través de R23. Las resistencias R6 y R8 y los diodos D2 y D3 protegen las entradas del amplificador operacional contra, por ejemplo, una sobretensión en las salidas de la alimentación.

La salida de IC2 controla la etapa de salida de potencia, que está constituida por los transistores T3, T4 y T5, proporcionando la corriente de excitación de base para el transistor T2.

Los transistores T3 ... T5 están conectados en paralelo y sus salidas están combinadas, a través de resistencias de emisor, para proporcionar la salida de la fuente de alimentación a través de R21. Esta última resistencia es la contrapartida práctica de  $R_s$  de la figura 2. El empleo de tres transistores 2N 3055, en esta configuración, proporciona una etapa de potencia económica que puede suministrar hasta 3 amperios... y con toda facilidad.

La tensión a través de R21 se compara en IC3 con un nivel de tensión determinado por la posición de P2; esta última tensión es obtenida mediante R15/R16, a partir de la tensión de referencia. La salida del amplificador operacional IC3 está conectada, como la de IC2, a la base de T2 a través de un diodo D5. Cuando la corriente de salida supere el valor ajustado con la ayuda de P2,

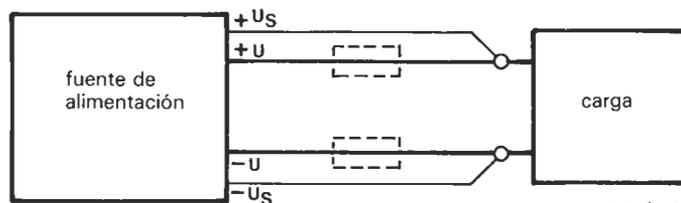
IC3 reduce la corriente de base de T2 hasta que se restablezca el equilibrio. El circuito basado en T1 indica la puesta en funcionamiento del dispositivo limitador de corriente (con la iluminación del diodo LED D7). La salida de potencia propiamente dicha es alimentada a partir de un transformador distinto, con un rectificador y un condensador propios. Hay también un circuito de visualización con dos galvanómetros y algunas resistencias.

Dicho esto, quedan todavía algunos puntos de detalle a dilucidar. Comencemos por el condensador C3. Este componente sirve para dos funciones. Reduce cualquier ruido producido por el diodo Zener interno del 723 y también proporciona un «arranque lento» para la alimentación de la tensión de referencia. Ello significa que cuando se ponga bajo tensión, es preciso dejar un cierto tiempo para que se «equilibren» los amplificadores operacionales (741) antes de que se les exija cualquier prestación. Gracias al alto valor capacitivo de C3, la tensión de referencia suministrada por IC1 sólo aparece gradualmente, de manera que no haya riesgo en la salida de la alimentación.

Los diodos D1 a D8, localizados en diversas zonas del circuito, se incluyen para proteger contra la posibilidad de conexión accidental de una tensión externa a los terminales de salida de la fuente de alimentación cuando está desconectada. Por ejemplo, ello podría ocurrir bastante fácilmente

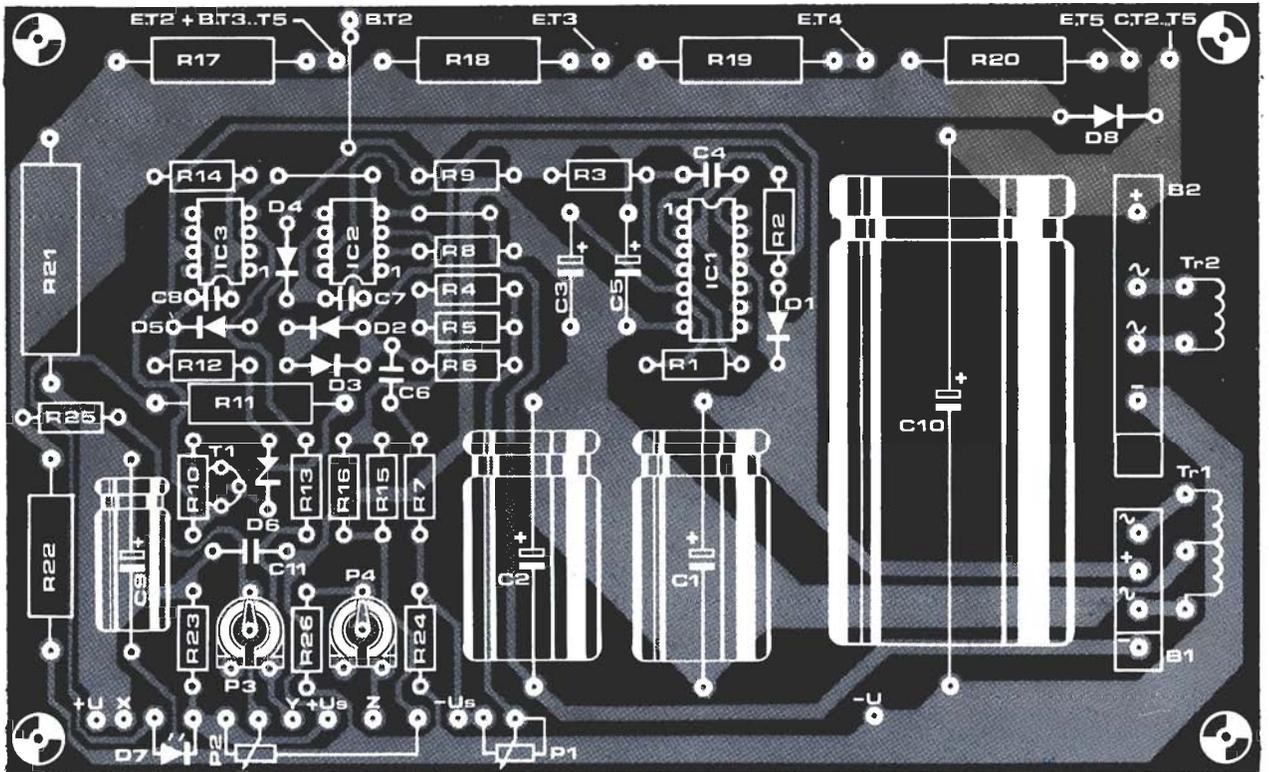
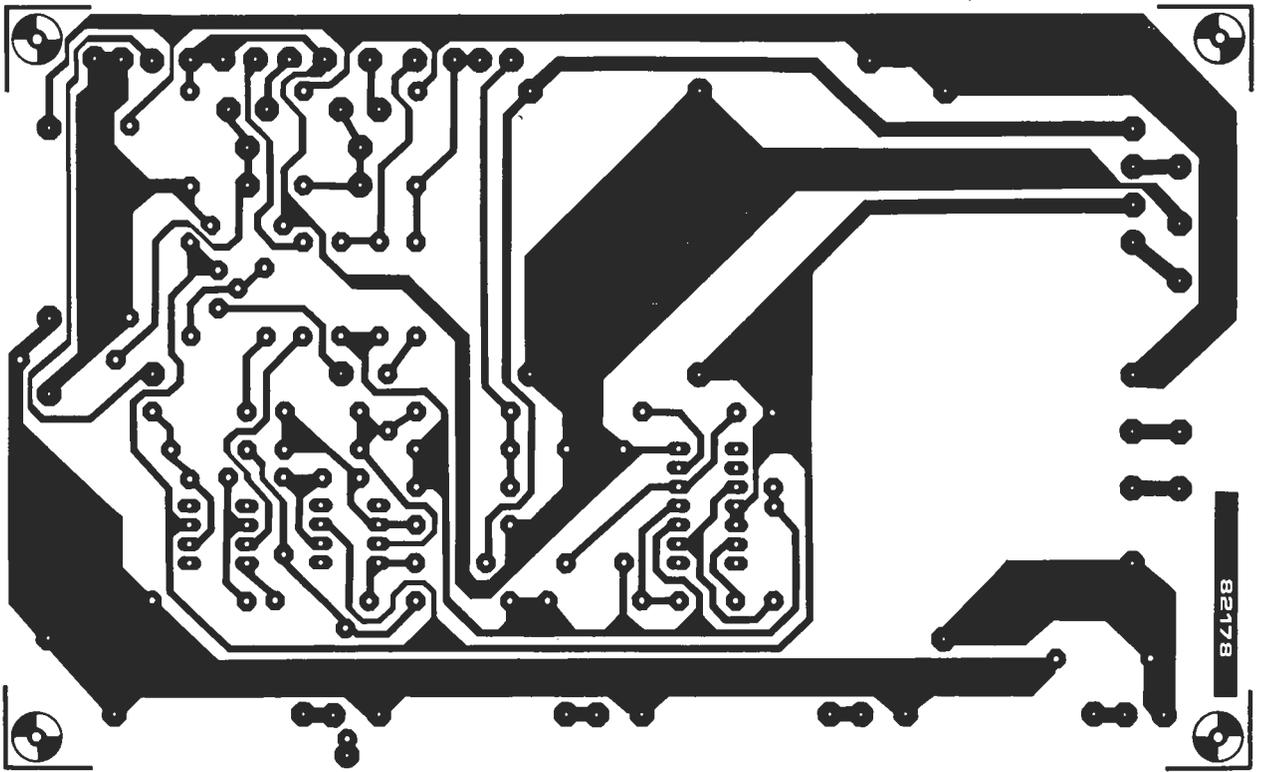
Figura 4. Principio del dispositivo de compensación de las caídas de tensión parásitas ocasionadas por el cableado.

4



82178 - 4

5



cuando se trabaja con un circuito que tenga una reserva de batería incorporada. Los diodos D4 y D5, a la salida de IC2 y de IC3, constituyen una puerta OR discreta, que permite a los dos dispositivos trabajar de forma aislada o en conjunción. Los componentes R7 y C6 aumentan el tiempo de reacción del circuito cuando se

cambian los niveles de tensión de salida, mientras que los condensadores C7 y C8 eliminan la posibilidad de oscilación de los amplificadores operacionales. Para un funcionamiento estable del circuito, se requiere una resistencia de carga de salida mínima. Esta función es desempeñada por R22.

Figura 5. Placa de circuito impreso y disposición de los componentes de la fuente de alimentación para laboratorio.

## Lista de componentes:

## Resistencias:

R1,R3,R6,R8,R12,R13,R14 = 4k7  
 R2 = 22  $\Omega$   
 R4,R16 = ver texto  
 R5 = 10 k  
 R7,R10 = 1 k  
 R9 = 2k2  
 R11 = 470  $\Omega$ /1 W  
 R15 = 15 k  
 R17 = 10  $\Omega$ /1 W  
 R18,R19,R20 = 0,22  $\Omega$ /3 W  
 R22 = 4k7/1 W  
 R23,R24 = 47  $\Omega$   
 R25 = 5k6  
 R26 = 270 k  
 P1 = 50 k potenciómetro  
 P2 = 1 k potenciómetro  
 P3 = 2k5 ajustable  
 P4 = 250 k ajustable

## Condensadores:

C1,C2 = 100  $\mu$ /25 V  
 C3 = 100  $\mu$ /10 V  
 C4 = 100 p  
 C5 = 10  $\mu$ /25 V  
 C6 = 1 n  
 C7 = 100 p  
 C8 = 56 p  
 C9 = 47  $\mu$ /63 V  
 C10 = 4700  $\mu$ /63 V  
 C11 = 820 n  
 C12 = 100 n

## Semiconductores:

B1 = puente rectificador B40C1000  
 B2 = puente rectificador BB0C5000/3300  
 D1,D8 = 1N4001  
 D2...D5 = 1N4148  
 D6 = 3V3 400 mW zener  
 D7 = LED rojo  
 T1 = BC 559C  
 T2 = BD 241  
 T3,T4,T5 = 2N3055  
 IC1 = 723  
 IC2,IC3 = 741

## Varios:

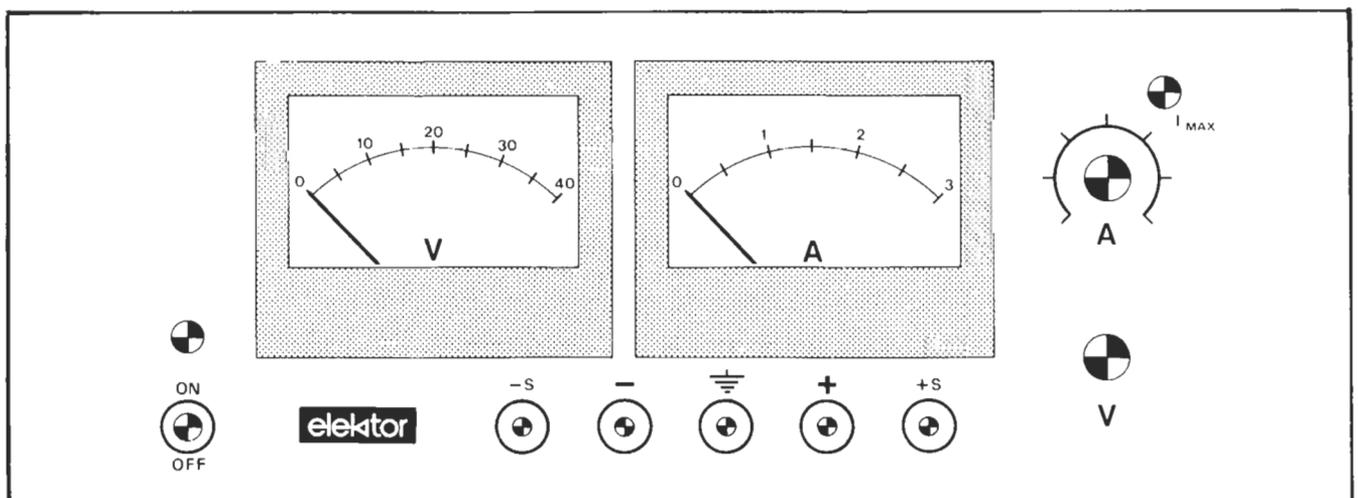
S1 = interruptor doble  
 M1, M2 = galvanómetro de 100  $\mu$  A  
 Tr1 = transformador de red 2 x 12 V/400 mA  
 Tr2 = transformador de red 33 V/4 A  
 F = fusible de 1 A

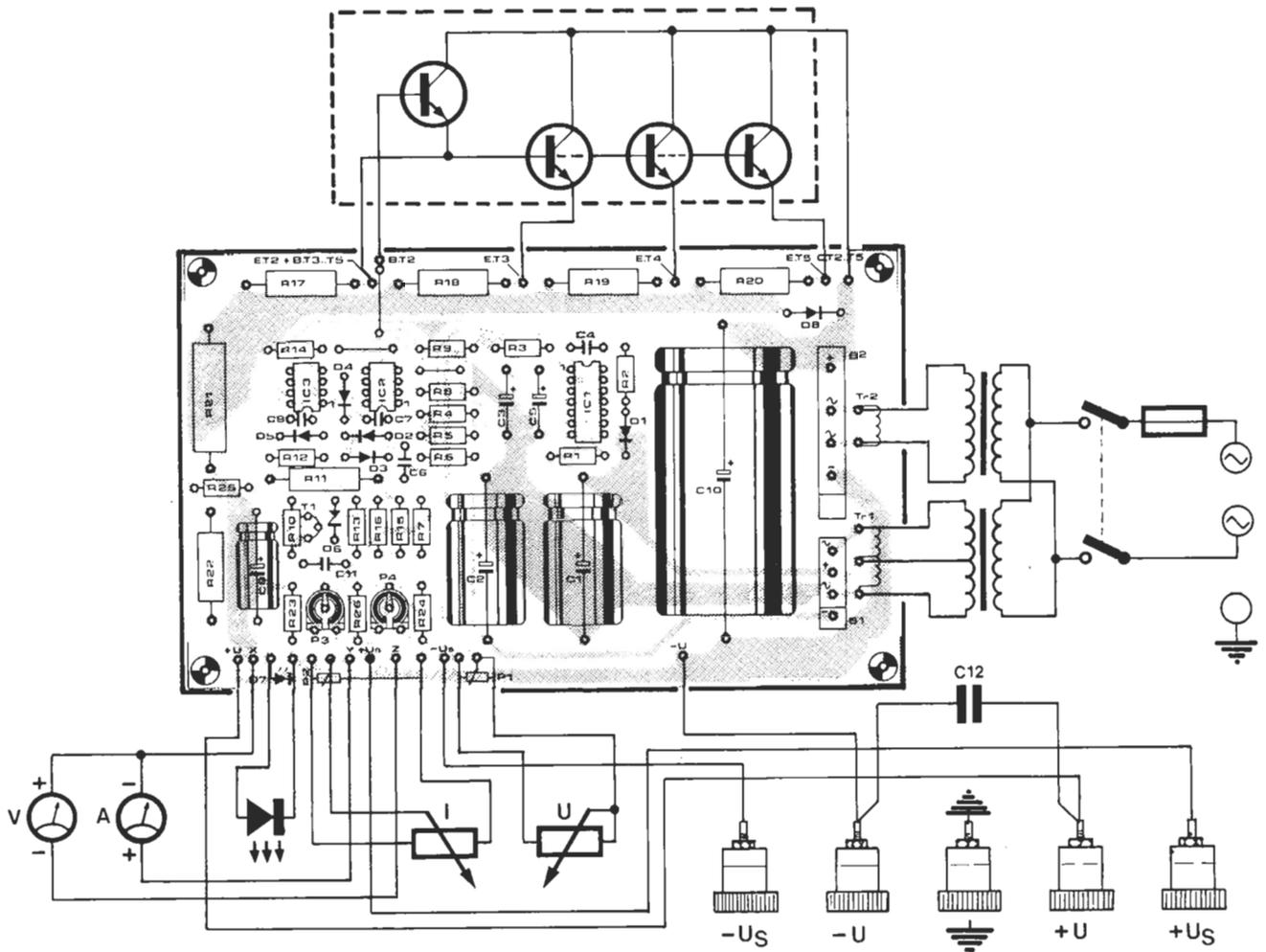
Y para acabar, veamos el dispositivo de compensación de pérdidas, realizado con las líneas  $+U_s$  y  $-U_s$ . Estas entradas, denominadas «de sentido», se utilizan para permitir la compensación de la caída de tensión cuando se trabaja con largos cables de conexión entre la fuente de alimentación y su carga. En la figura 4 se ilustra cómo se emplean las entradas. Hay dos hilos adicionales que están conectados, como se indica, entre la carga y las entradas antes citadas. En consecuencia, el nivel de tensión de la alimentación se mide, ahora, efectivamente en la carga y no en los terminales de salida de la fuente. Ello permite que el circuito tenga una compensación por cualquier caída de tensión que resulte de la resistencia en los cables de la alimentación principal. Debe señalarse que si la resistencia total de los dos cables de alimentación principal es de 1 ohmio, al nivel de corriente de 1 A, la caída de tensión será de 1 voltio. En condiciones normales, y al no ser absolutamente indispensable este dispositivo en multitud de aplicaciones, se podrá sustituir conectando  $+U_s$  a  $+U$  y  $-U_s$  a  $-U$ . Si se dejara de efectuar esta conexión no ocurriría nada grave, puesto que R23 y R24 garantizan la reinyección de la información «U» en las líneas  $U_s$ .

## Realización del montaje

Antes de lanzarse al montaje hay que determinar la potencia deseada. La versión propuesta suministra 3 amperios hasta 35 V. En principio, cualquier otra configuración es permitida con tal de que la tensión no sobrepase la tensión colector-emisor de T2... T5. Con los transistores 2N3055 se puede llegar hasta 60 V. Los condensadores C9 y C10 deben adaptarse también a las circunstancias funcionales. Para determinar la tensión de salida del transformador se podrá hacer referencia al «teorema» siguiente: la tensión de salida máxima a plena potencia es casi igual a la tensión nominal efectiva en el secundario del transformador. Para un transformador de 33 V, se puede contar con una tensión de salida má-

Figura 6. Diseño del panel frontal de la alimentación de laboratorio.





82178 - 6

xima de unos 35 V. Para la corriente, se calcula que el transformador debe proporcionar una corriente alterna igual al producto de  $\sqrt{2}$  por la intensidad de la corriente de salida máxima. Para una corriente de 3 A, el transformador habrá de suministrar unos 4 A.

El número de transistores a poner en paralelo varía según la disipación de potencia. Nuestra experiencia con los transistores 2N3055 nos permite afirmar que estos transistores pueden disipar hasta 50 W. Habida cuenta de que la tensión de salida de la alimentación puede llegar a ser de 0 V, la disipación máxima en la etapa de potencia será igual a la tensión rectificadora multiplicada por la corriente máxima. Para una alimentación de 35V/1A, sólo se precisa un 2N3055. Se pueden instalar hasta cinco transistores en paralelo sin que haya necesidad de modificar el circuito. No hay que olvidar proveer a cada transistor de una resistencia de emisor.

Por cada transistor se precisa un radiador de unos 2° C/W o si se utiliza un solo radiador para dos transistores, habrá de ser de 1° C/W. El condensador C12 está dispuesto directamente en los bornes de salida de la alimentación, como se puede ver en la figura 7. Las resistencias R4 y R16 se montan durante el procedimiento de ajuste, pues sus valores dependerán de las

magnitudes máximas de la tensión y corriente de salida.

Por este motivo, no deberá montarse la placa de circuito impreso en la caja del aparato hasta que se haya realizado la prueba y la calibración. Coloque P1 en su posición máxima, alimente el circuito y conecte un polímetro en la salida. Por el método de aproximaciones sucesivas, o de tanteo, determine el valor de R4 en paralelo con R5 que proporciona la tensión de salida máxima requerida.

Cuando se haya conseguido el valor correcto, puede soldarla en su lugar reservado en la placa. Repita la experiencia con P2 y R16 (en paralelo con R15) hasta que encuentre el nivel de corriente máximo.

La etapa siguiente consiste en poner la alimentación en cortocircuito y «abrir» P2 a fondo; una vez más, se procede por aproximaciones sucesivas para calcular R16. Sólo nos resta calibrar el galvanómetro con la ayuda de P4 y P3. Es posible construir la fuente de alimentación con un solo galvanómetro. En este caso, se requiere un conmutador bipolar para efectuar la conmutación entre los puntos X, Y y Z.

Una vez realizada la puesta a punto, dispondrá de una alimentación fiable, de nivel profesional y a un precio muy accesible... ¡No se puede pedir más!

Figura 7. Esquema de cableado del circuito de la fuente de alimentación y de los componentes periféricos.

alimentación  
para  
laboratorio

