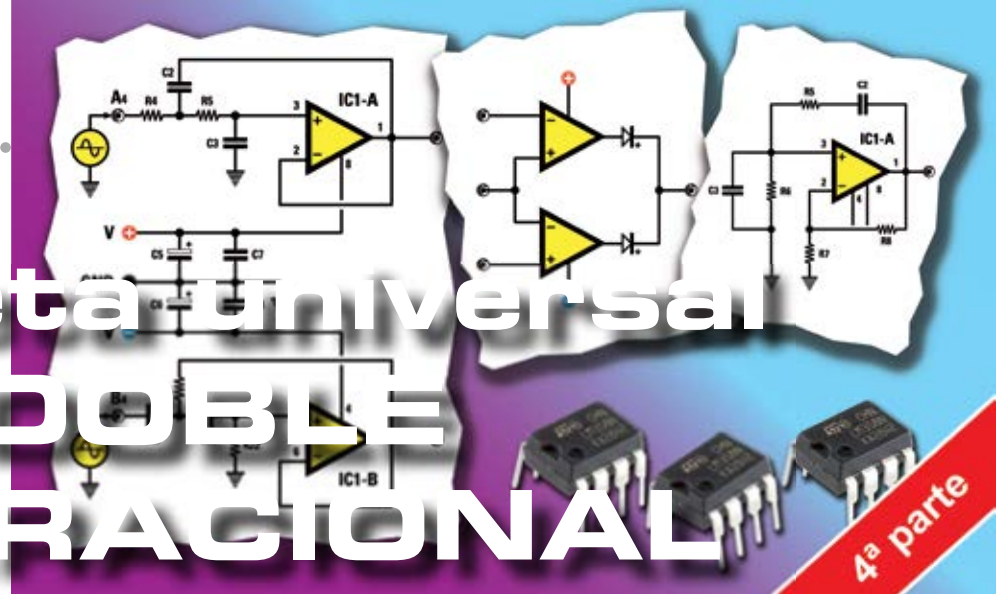


# Tarjeta universal con DOBLE OPERACIONAL



*Un kit, el LX 1788, un soldador y ya estamos listos para producir una miríada de circuitos útiles. Después de las respuestas positivas obtenidas con el artículo anterior aquí va la segunda parte dedicada a otros interesantes circuitos para poder experimentar y modificar a vuestro gusto.*

El interés suscitado por nuestra **tarjeta universal con doble operacional** que ya presentamos anteriormente en nuestra revista, nos ha convencido de la necesidad de continuar ese artículo proponiendo otros circuitos de aplicaciones interesantes. Una amplia gama de soluciones para resolver pequeños problemas en el campo profesional y de afición, en la práctica, una especie de "navaja suiza" electrónica!

En particular, se tendrá en cuenta:

- **comparador de ventana con alimentación dual**
- **amplificador diferencial con alimentación única**
- **sumador inversor y no inversor con doble fuente de alimentación**
- **convertor de tensión/corriente**

- **comparador trigger de Schmitt**
- **integrador de inversión**
- **diferenciador de inversión**
- **amplificador para DDS**

El kit ha sido utilizado con éxito también por estudiantes de institutos técnicos para desarrollar sus "tesis" finales.

#### ■ **El simulador LTSpice**

En la revisión anterior, por razones de espacio, no hablamos sobre el simulador de **LTSpice**. Este programa fue escrito por el famoso productor de circuitos integrados de **Linear Technology**. Es un **simulador** completo y rápido, que se pone a disposición de forma gratuita y sin limitaciones en el número de componentes y ni en los nodos del circuito a emular.

En el CD-Rom adjunto al kit **CDR1788** ponemos a disposición el programa **LTSpice** y todos los diagramas de circuito presentados.

Por tanto, se pueden simular diversos esquemas propuestos e introducir modificaciones y otras simulaciones para ver el efecto, incluso antes de pasar a la realización práctica.

#### **Fig. 1 Foto del circuito impreso de nuestra tarjeta universal LX.1788 serigrafiada.**

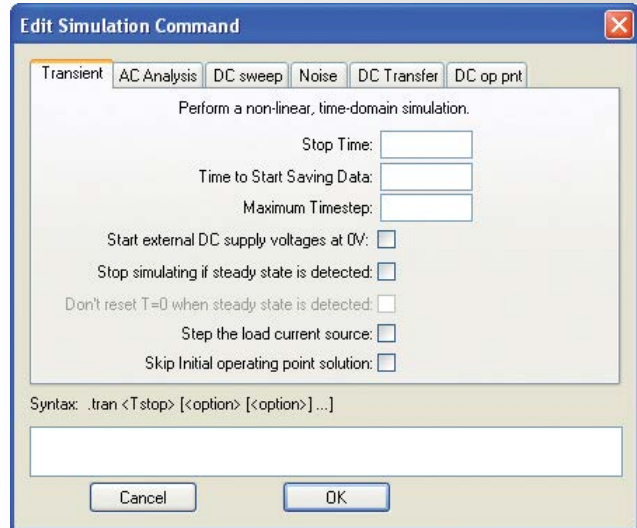
Si se utiliza adecuadamente, esta herramienta puede ahorrar tiempo, probando incluso las ideas más inverosímiles, si bien las pruebas previas siguen siendo indispensables.

Si se dedica al **LTSpice** un poco de tiempo y paciencia y se convertirá en un amigo inseparable para sus proyectos electrónicos. Este programa se ha convertido en un estándar para la comunidad de diseño electrónico, se ha extendido a la universidad y hay varios foros en la red.

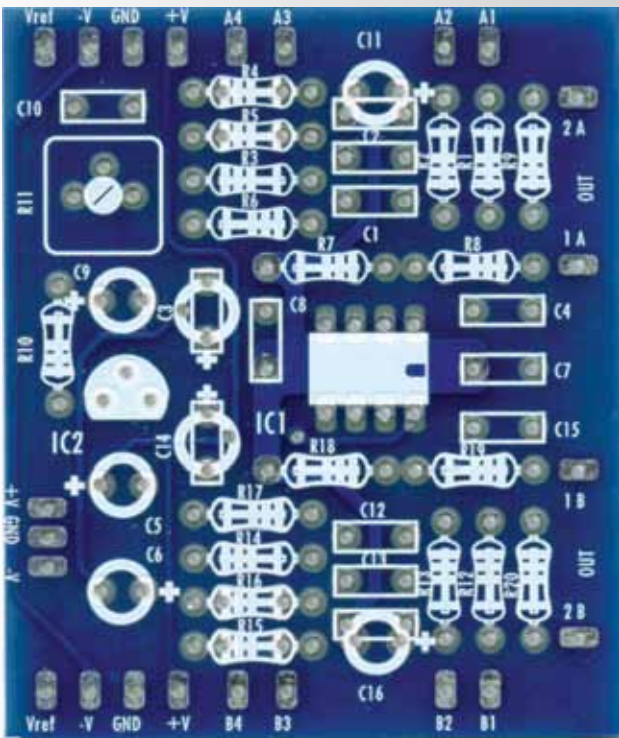
En realidad, **LTSpice** es descendiente de un programa conocido como **SPICE1**, construido en 1972 por la Universidad Berkley y usado para proyectar circuitos integrados.

El análisis de circuitos lineales en general se hace resolviendo las ecuaciones derivadas de las leyes de Kirkoff. La solución de circuitos lineales simples se pueden encontrar manualmente y se complica con el aumento del tamaño, si se requiere análisis de frecuencia y de transición. En este caso se hace necesario utilizar un programa.

Las simulaciones que hemos incluido en el CD-Rom son las básicas; el programa, en realidad, permite análisis tan sofisticados como la dispersión de los parámetros, el análisis de la distorsión. Los análisis básicos disponibles en **LTSpice** (visible en fig.2) son los siguientes:



**En la figura 2 se pueden ver las funciones de análisis básico del simulador más utilizadas.**

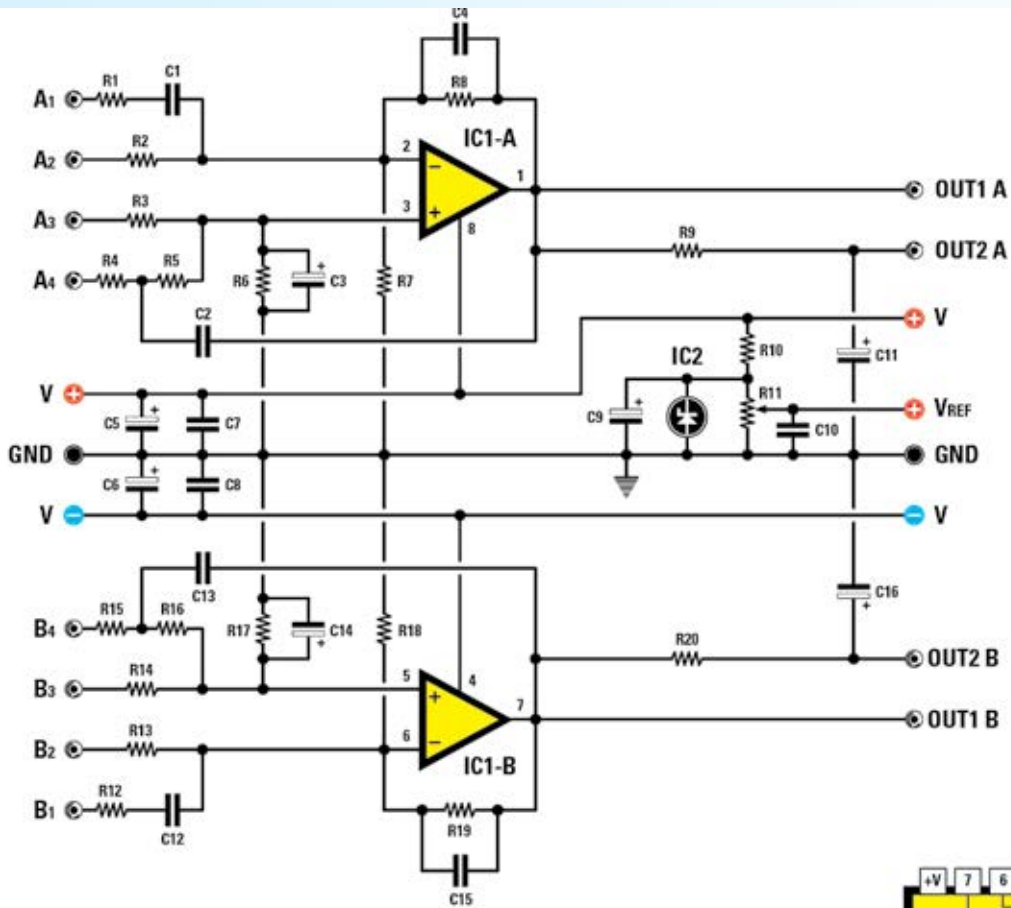


**Fig.1 Foto del circuito impreso de la tarjeta universal LX 1788.**

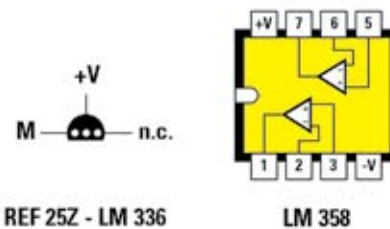
- **Transient:** Análisis transitorio.
- **Ac Analysis:** muestra el análisis de frecuencia y fase utilizando diagramas de Bode.
- **DC sweep:** realiza un análisis en continua con la posibilidad a variar con un "cepillado" un voltaje o una corriente.
- **Noise:** Análisis del ruido superpuesto a la señal en el dominio de la frecuencia.
- **DC Transfer:** se analiza la función de corrientes y voltajes para pequeñas variaciones de la señal.
- **DC op point:** calcula los puntos de trabajo estáticos en continua en el circuito.

También están disponible el clásico **análisis Spice** cuya lista se publica en el manual del simulador y que se usa añadiendo al diagrama las "directivas Spice".

En caso de que se quiera utilizar otro tipo de amplificador operacional, hay una amplia variedad en bibliotecas del programa.



**Fig. 2 Esquema eléctrico de la tarjeta Universal LX.1788.**



■ **COSTE DE EJECUCIÓN**

Todos los componentes necesarios para realizar con la tarjeta **LX.1788** las aplicaciones descritas en este artículo, incluyendo el circuito impreso y el CD-Rom **CDR1788** que contiene el simulador LTSpice y los circuitos que os presentamos: **22,00 euros**

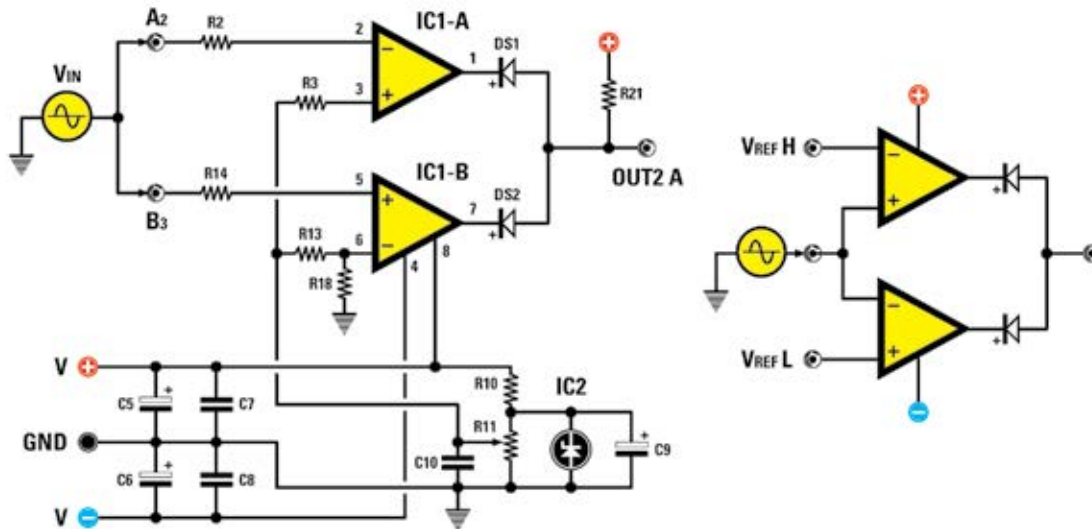
Sólo el CD-ROM **CDR1788**: **15,50 euros**

**Nota:** El software **LTSpice** es libre. El precio se refiere únicamente a los costes de desarrollo de la unidad de CD-Rom.

Sólo el circuito impreso **LX.1788**: **6,00 euros**

Los costes **no** incluyen el **IVA**, ni los gastos de envío a domicilio.

### 9 - Comparador de ventana con doble fuente de alimentación



Reproducimos el esquema de un comparador de ventana. Para comprender mejor el funcionamiento conviene observar el esquema simplificado que se muestra a la derecha.

El circuito, compuesto por dos amplificadores operacionales, compara la señal **V<sub>in</sub>** con las tensiones de referencia **V<sub>refH</sub>** y **V<sub>refL</sub>**; si **V<sub>in</sub>** queda entre estos dos umbrales la salida **OUT2A** sigue siendo alta.

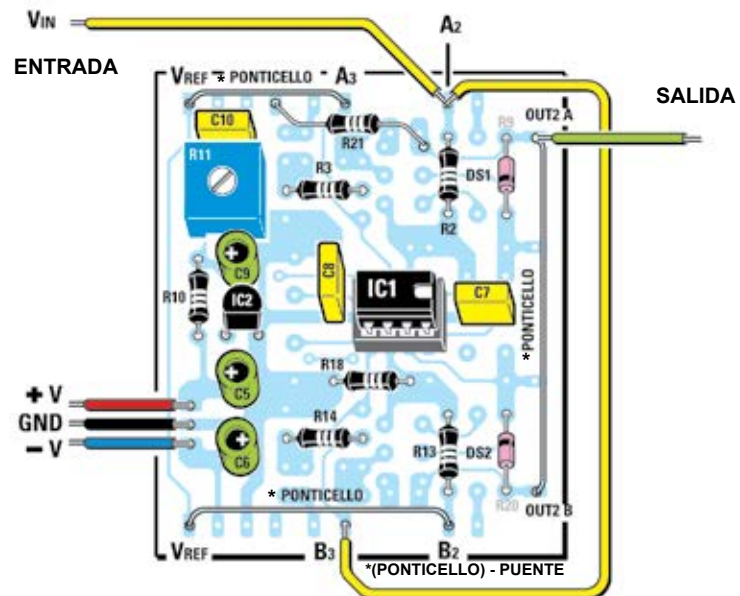
Si, por ejemplo, **V<sub>in</sub>** es superior a **V<sub>refH</sub>** o inferior a **V<sub>refL</sub>**, la señal de salida se lleva a un nivel bajo.

En nuestro esquema la tensión de **V<sub>refH</sub>** está determinada por **V<sub>ref</sub>**, mientras que el umbral inferior **V<sub>refL</sub>** lo determinan los divisores **R13** y **R18**.

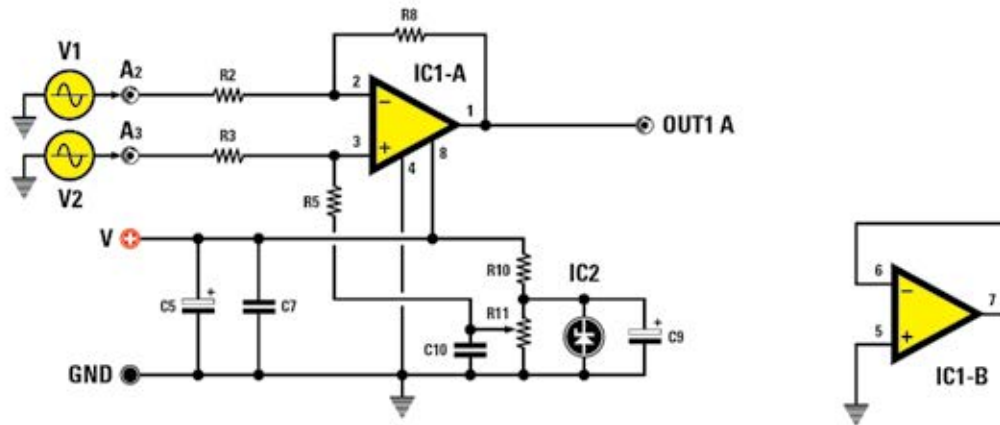
En los archivos que proporcionamos para la simulación hay un diagrama de un comparador de ventana que realiza la función inversa: la tensión de salida se mantiene en cero cuando el voltaje **V<sub>in</sub>** está entre los dos umbrales.

#### LISTA DE COMPONENTES

- R2-R3 = 10.000 ohmios
- R10 = 10.000 ohmios
- R11 = 10.000 ohmios trimmer
- R13-R14 = 10.000 ohmios
- R18 = 10.000 ohmios
- R21 = 10.000 ohmios
- C5 = 100 microF. electrolítico
- C6 = 100 microF. electrolítico
- C7 = 100000 pF de poliéster
- C8 = 100.000 pF poliéster
- C9 = 10 microF. electrolítico
- C10 = 100.000 pF de poliéster
- DS1 = diodo de tipo 1N4150
- DS2 = diodo de tipo 1N4150

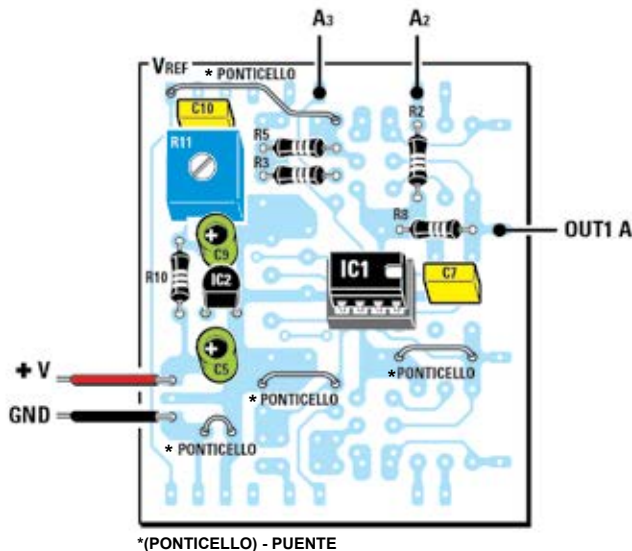


**10 - Amplificador de diferencial con alimentación simple**



El dibujo muestra el esquema de un amplificador diferencial con sola fuente de alimentación. Este tipo de amplificación tiene la limitación de que las señales de entrada no pueden ser negativas con respecto a tierra. Este circuito puede ser utilizado para amplificar la caída de voltaje en los extremos de una resistencia de "sense" para medir la corriente.

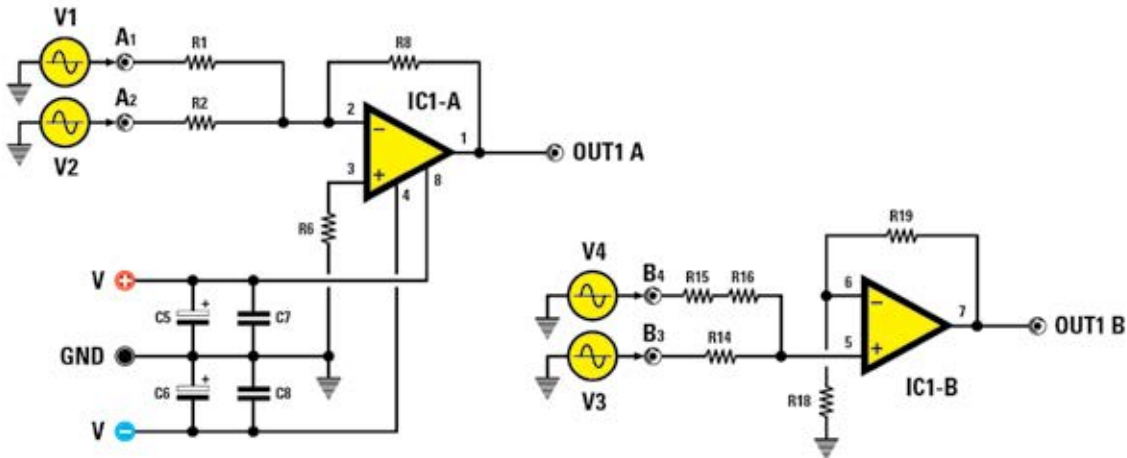
Si la resistencia de "sense" está sobre la alimentación positiva, se deben introducir dos divisores de tensión para evitar que la tensión máxima en las entradas supere la tensión de alimentación del amplificador operacional.



**LISTA DE COMPONENTES**

- R2 = 10.000 ohmios
- R3 = 10.000 ohmios
- R5 = 100.000 ohmios
- R8 = 100.000 ohmios
- R10 = 10.000 ohmios
- R11 = 10.000 ohmios trimmer
- C5 = 100 microF. electrolítico
- C7 = 100000 pF de poliéster
- C9 = 10 microF. electrolítico
- C10 = 100.000 pF de poliéster

### 11 - Sumador inversor y no inversor con doble fuente de alimentación



El sumador es uno de los pilares fundamentales de las computadoras analógicas y de los mixer. En la figura se puede ver cómo hacer un sumador inversor alrededor de IC1/A que sigue la combinación lineal de los generadores de entrada **V1** y **V2**.

La tensión de salida es:

$$V_u = - (R_8 : R_1 \times V_1) + (R_8 : R_2 \times V_2)$$

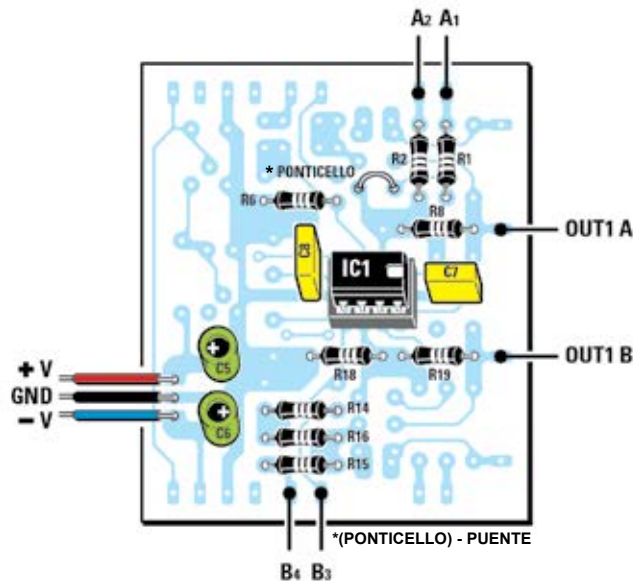
El signo “-” indica la inversión de fase; en nuestro esquema gana **10**.

El sumador no inversor se lleva a cabo alrededor de **IC1/B**, donde los generadores **V3** y **V4** se suman a la entrada no inversora del amplificador operacional.

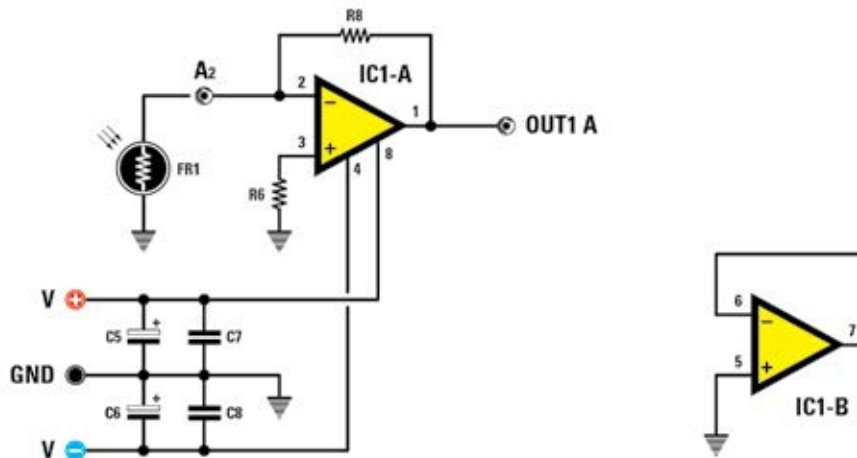
La ganancia la determinan **R19** y **R18**, en este caso se aplica 3.

#### LISTA DE COMPONENTES

- R1 = 10.000 ohmios
- R2 = 10.000 ohmios
- R6 = 10.000 ohmios
- R8 = 100.000 ohmios
- R14 = 20.000 ohmios
- R15-R16 = 10.000 ohmios
- R18 = 10.000 ohmios
- R19 = 20.000 ohmios
- C5 = 100 microF. electrolítico
- C6 = 100 microF. electrolítico
- C7 = 100000 pF de poliéster
- C8 = 100.000 pF poliéster



## 12 - Conversor de tensión/corriente



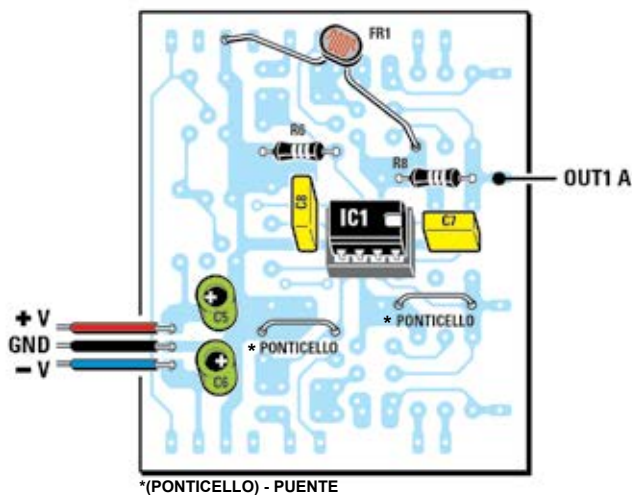
La figura reproduce el integrado **IC1/A** conectado como convertidor de corriente/voltaje para convertir la **corriente** que atraviesa **FR1** en un **voltaje**.

Este circuito se utiliza con los transductores que proporcionan una corriente variable, desacoplándolos de la carga.

Tomemos como ejemplo práctico una fotorresistencia que tiene las siguientes características:

**Rs(max) = 1 Mohm** en condiciones de **oscuridad**. En este caso vamos a tener de salida unos pocos cientos de **mV**. **Rs(min) = 2,2 KOhm** en condiciones de **iluminación ambiental**. En este caso vamos a tener **11 voltios** de salida.

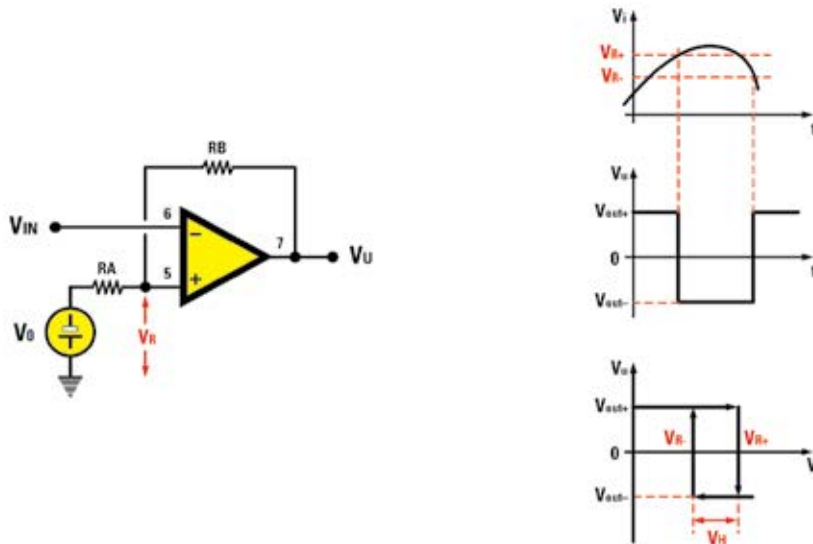
El mismo circuito también se puede usar para fotodiodos adaptando adecuadamente el valor de **R8**.



### LISTA DE COMPONENTES

- FR1 = fotores. 2.200 ohmios
- R6 = 20.000 ohmios
- R8 = 20.000 ohmios
- C5 = 100 microF. electrolítico
- C6 = 100 microF. electrolítico
- C7 = 100000 pF de poliéster
- C8 = 100.000 pF de poliéster

### 13 - Comparador trigger de Schmitt



En la imagen se representa el circuito teórico de un comparador trigger de Schmitt, donde el generador referencia  $V_0$  es un generador de voltaje ideal.

Como se puede ver, en el esquema de la aplicación práctica, el divisor **R3-R6** conectado a  $V_+$  sustituye al generador  $V_0$ .

Denotemos genéricamente  $|Vu|$  como valor absoluto de la tensión de salida, lo que sería  $V_{out+}$  con la salida en saturación positiva y  $V_{out-}$  con la salida saturación negativa.

Las tensiones de umbral  $V_{R+}$  y  $V_{R-}$  están dadas por las relaciones (lo cual es posible demostrar):

$$1) V_{R+} = V_{\beta} + |V_u| \times (RA : (RB + RA))$$

$$2) V_{R-} = V_{\beta} - |V_u| \times (RA : (RB + RA))$$

donde:

$$3) V_{\beta} = V_0 \times (RB : (RB + RA))$$

El voltaje de histéresis sin embargo vale:

$$4) V_H = 2 \times |V_u| \times (RA : (RB + RA))$$

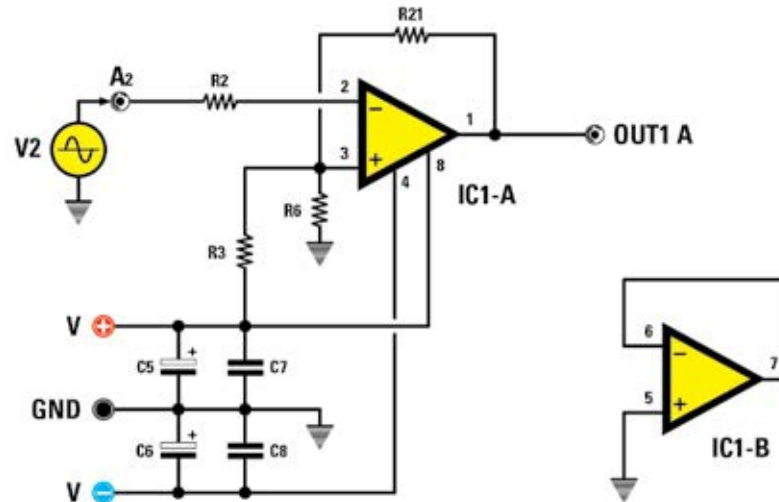
El valor de histéresis  $V_H$  en la práctica es independiente de  $V_0$  y es posible modificar el valor de la atención **VR+** y **VR-** sin intervenir en la histéresis.

En general, la tensión de referencia se obtiene mediante la conexión de un divisor de la alimentación positiva y, por tanto, para aplicar las fórmulas anteriores basta con poner:

$$5) V_0 = V_+ \times (R6 : (R6 + R3))$$

$$6) RA = [(R3 \times R6) : (R3 + R6)]$$





Ahora vamos a considerar una aplicación práctica. El comparador con histéresis se utiliza cuando a la señal de entrada se suma algún ruido.

Supongamos que se tiene un sensor de alarma que indica una “infracción” cuando se superan los **5 voltios** en presencia de una señal de ruido de **0,5 voltios**.

Para evitar conmutaciones no deseadas, se usa un comparador con histéresis realizado con una **LM358** y una doble fuente de alimentación de **± 15V**.

La tensión de saturación es  $V_{out+} = 13V$  y  $V_{out-} = -13V$ , por tanto,  $|V_u| = 13V$

Con los requisitos del proyecto, el umbral de conmutación de subida será:

$$V_{R+} = 5V$$

La histéresis deberá exceder sustancialmente el ruido. Para tener un buen margen fijamos:

$$V_H = 1V$$

El comparador se realizará de acuerdo con el esquema que reproducimos aquí.

La fórmula **4)** se puede reescribir como:

$$(R_A : (R_B + R_A)) = V_H : (2 \times |V_u|) = 1 : 26 = 0,04$$

El valor de  $V_\beta$  lo podemos recabar fácilmente de la fórmula **1)**:

$$V_\beta = V_{R+} - (R_A : (R_B + R_A)) \times |V_u| = V_{R+} - 0,04 \times |V_u|$$

Sustituyendo los símbolos con los valores obtenemos:

$$V_\beta = 5 - 0,04 \times 13 = 4,48 V$$

Observando las fórmulas **3)**, **5)**, y **6)** se puede recabar que:

$$V_o = V_+ \times (RA : R3)$$

Fijamos **R4 = 100K**

Reescribiendo la expresión de  $V_\beta$  en función de **R3** y **R6** tenemos:

$$V_\beta = (V_+ : R3) \times [(RA \times RB) : (RA + RB)]$$

Poniendo  $Rb = [(RA \times RB) : (RA + RB)]$  obtenemos:

$$Rb = (R4 \times V_\beta) : V_+ = (100.000 \times 4,48) : 15 = 30K$$

Se sabe que:

$$(RA : (RA + RB)) = Rb : RB = 0,04$$

$$RB = Rb : 0,04 = 30.000 : 0,04 = 750K$$

Siendo **RB = R21 = 750K**, escogemos un valor de **820K**.

Recabamos **RA**:

$$RA = (Rb \times RB) : (RB - Rb) = 31,25K$$

La resistencia **RA** está constituida por el de **R3** y **R6**; por tanto, obtenemos **R6**:

$$R6 = (RA \times R3) : (R3 - RA) = 45,5K$$

### LISTA DE COMPONENTES

R2 = 10.000 ohmios

R3 = 100.000 ohmios

R6 = 47.000 ohmios

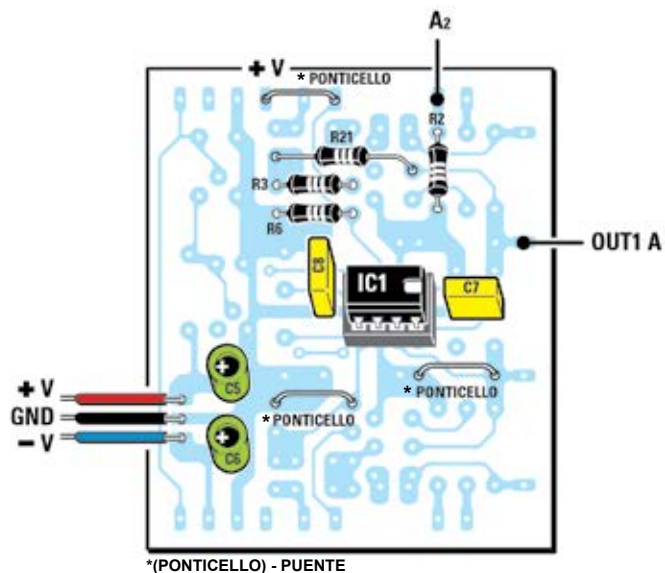
820.000 ohmios R21 =

C5 = 100 microF. electrolítico

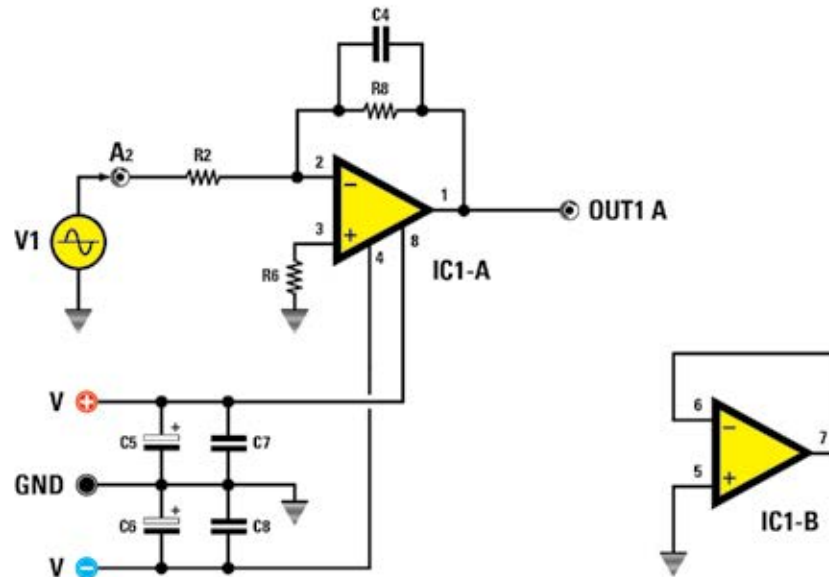
C6 = 100 microF. electrolítico

C7 = 100000 pF de poliéster

C8 = 100.000 pF poliéster



## 14 - Integrador de Inversión



Este circuito sigue la integral matemática en el tiempo de la señal de entrada que, en nuestro caso, se aplica sobre **A2**.

Supongamos que se aplica una entrada de onda cuadrada con amplitud:

$$V = +/- 2V, f = 100 \text{ Hz}$$

Sabiendo que el condensador **C4** es de **100.000 pF**, veamos cómo obtener el valor de **R2** para obtener una señal de salida triangular.

Para evitar que el amplificador operacional sature, se aplica la regla práctica por la que la constante de tiempo de integración es igual a:

$$T = R2 \times C4$$

debe ser del mismo orden de magnitud que el período de la onda que se integra.

En nuestro caso, el período es:

$$T = 1 : f = 10 \text{ mS}$$

Por lo tanto, se debe verificar la condición:

$$T = R2 \times C4 = 10 \text{ mS}$$

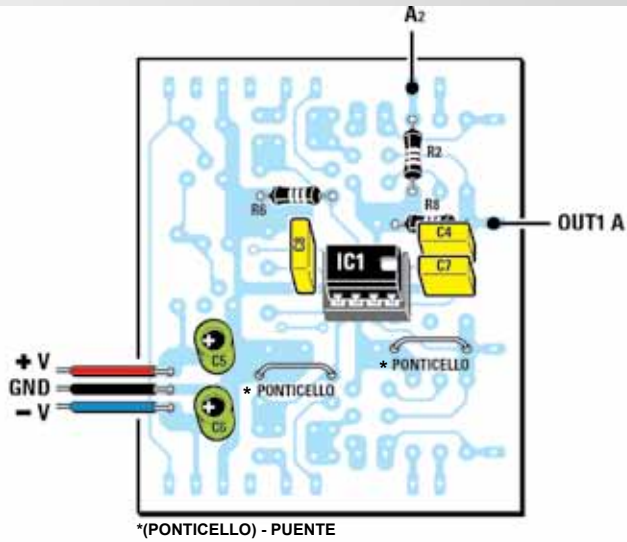
La resistencia se recaba de la fórmula:

$$R2 = T : C = 10 \times 10^{-3} : 0,1 \times 10^{-6} = 100 \text{ K}$$

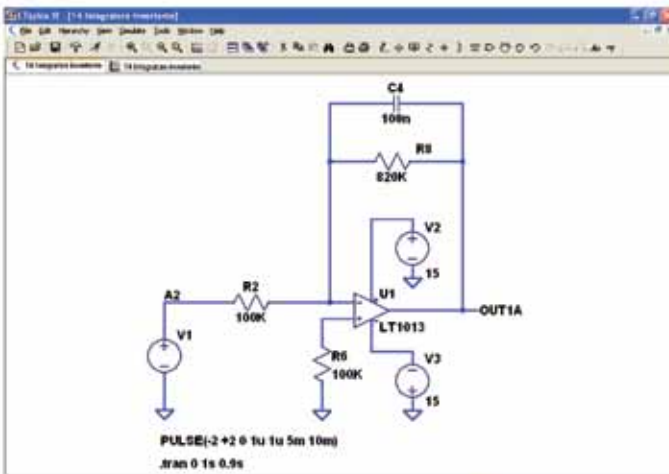
Observando el circuito se puede notar la presencia de la resistencia **R8**, que sirve para reducir la ganancia a bajas frecuencias y para evitar los efectos de del offset. Generalmente se elige **R8 = 10 x R2**.

**LISTA DE COMPONENTES**

- R2 = 100.000 ohmios
- R6 = 10.000 ohmios
- R8 = 820.000 ohmios
- C4 = 100.000 pF poliéster
- C5 = 100 microF. electrolítico
- C6 = 100 microF. electrolítico
- C7 = 100000 pF de poliéster
- C8 = 100.000 pF poliéster

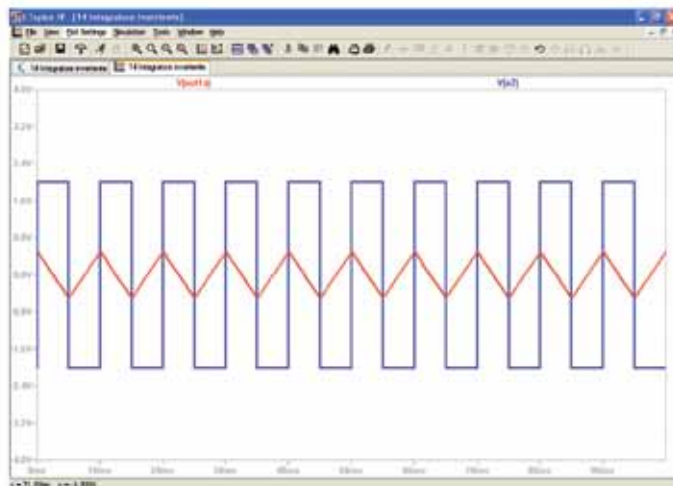


\*(PONTICELLO) - PUENTE

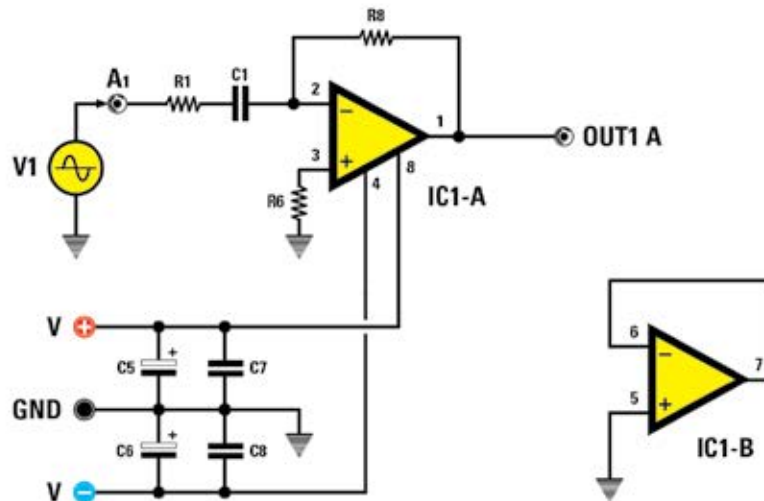


Al lado se reproduce el circuito utilizado para la simulación. Usted puede ver la configuración según el generador y el tipo simulación.

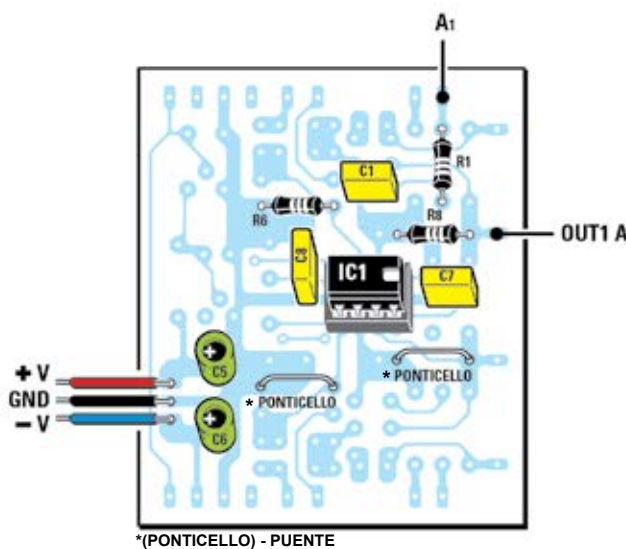
En la figura se puede ver el resultado de la simulación. En rojo, la forma de onda de entrada y en verde la de salida.



**15 - Derivador de inversión**



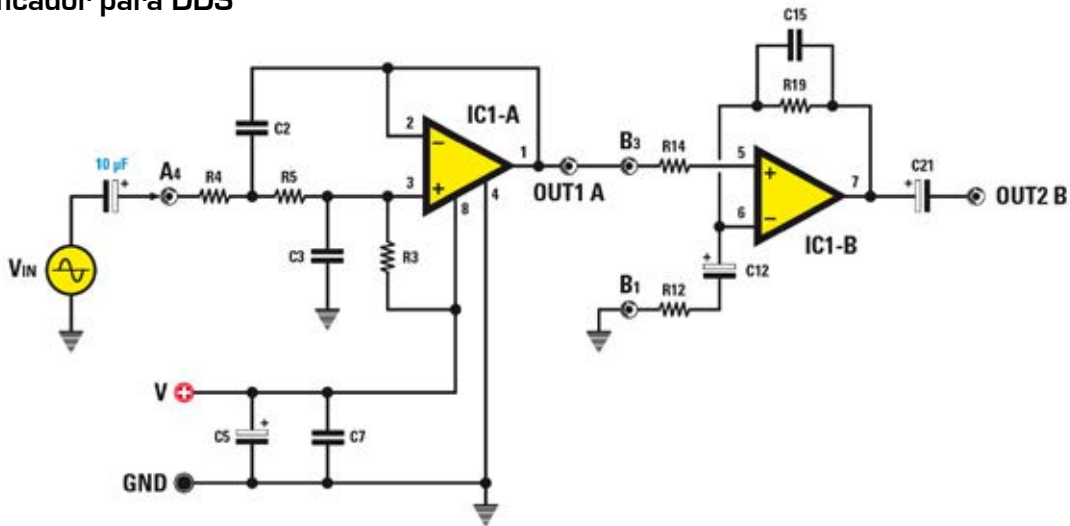
Este circuito realiza la operación matemática de derivación en el tiempo de la señal aplicada en la entrada. Puede ser utilizado para transformar una señal de onda triangular en una señal cuadrada.



**LISTA DE COMPONENTES**

- R1 = 1.000 ohmios
- R6 = 1,000 ohmios
- R8 = 100.000 ohmios
- C1 = 100.000 pF de poliéster
- C5 = 100 microF. electrolítico
- C6 = 100 microF. electrolítico
- C7 = 100000 pF de poliéster
- C8 = 100.000 pF poliéster

### Amplificador para DDS



Como hemos mencionado en el artículo anterior, se propone un ejemplo de aplicación de cómo filtrar y amplificar la salida **BF** del generador **LX.1788**. Obviamente los componentes utilizados en este caso no se incluyen en el kit.

Los requisitos del proyecto son los siguientes:

- Alimentación simple;
- Filtrado de tipo de paso bajo a **100/120 KHz**;
- Amplificador con ganancia de **15**.

El resultado es el diagrama en la figura. La sección IC1/A del operacional **NE5532** hace de filtro de paso bajo con frecuencia de corte de **120 KHz**.

La resistencia R3 polariza el operacional a **6V**; se ha elegido un valor alto para evitar una carga de la señal.

El amplificador inversor lo hace IC1/B.

### LISTA DE COMPONENTES

- R3 = 47.000 ohmios
- R4 = 22.000 ohmios
- R5 = 22.000 ohmios
- R12 = 10.000 ohmios
- R14 = 15.000 ohmios
- R19 = 150.000 ohmios
- C2 = 100 pF cerámico
- C3 = 47 pF cerámico
- C5 = 100 microF. electrolítico
- C7 = 100000 pF. poliéster
- C12 = 10 microF. electrolítico
- C15 = 47 pF cerámico
- C21 = 100 microF. electrolítico

