

TEMA 5: Semiconductores; los diodos**OBJETIVOS**

Ya es el momento de que por nuestras manos pasen algunos de los dispositivos semiconductores que se suelen estudiar en teoría. Vamos a empezar con los más usados, los diodos rectificadores y sus aplicaciones habituales. A continuación seguiremos con los diodos zener, los diodos led y otros dispositivos opto-electrónicos. Finalizaremos trabajando los circuitos típicos basados en tiristores y TRIACS tanto en corriente continua (CC) como en corriente alterna (AC).

RELACIÓN DE MATERIALES

1 x Entrenador Universal Trainer V3 (o plataforma equivalente)

1 x Polímetro digital (o analógico)

1 x Osciloscopio (no es imprescindible pero sí aconsejable)

Cables de conexión

Resistencias de carbón de 1/4W: 3 x 220 Ω ; 1 x 470 Ω ; 1 x 1 K Ω ; 1 x 4K7 Ω ; 1 x 10 K Ω ; 1 x 22 K Ω ;

Condensadores: 1 x 680 nF; 2 x 1000 nF; 2 x 10 μ F; 1 x 100 μ F;

Semiconductores: 4 x 1N4007; 2 x zener BZY5V6 de 5.6 V; 1 x led rojo 5mm; 1 x led RGB 5 mm; 1 x Tiristor BT169G; 1 x TRIAC BT131;

Optoelectrónica: 1 x Foto detector BPW40 (o equivalente); 1 x Detector de corte H21A1 (o equivalente); 1 x sensor de reflexión CNY70 (o equivalente).

Varios: Lámpara 12V;

INDICE GENERAL**P1: EL DIODO RECTIFICADOR**

P1-1 Comprobación

P1-2 Polarización directa

P1-3 Polarización inversa

P1-4 Ejercicio 1: Curva característica

P1-5 El "efecto interruptor"

P1-6 Más cosas sobre la polarización

Ejercicio 2: Analizando polarizaciones

P2: RECTIFICACIÓN

P2-1 Media onda

Ejercicio 3: El rizado (1)

Ejercicio 4: El rizado (2)

P2-2 Doble onda

Ejercicio 5: El rizado (3)

P2-3 Doble onda con puente en Graetz

P2-4 Doblador y triplicador de tensión

P3: DIODOS ZENER

P3-1 Polarización directa/inversa

P3-2 Ejercicio 6: Curva característica de un zener

P3-3 Recorte de picos con zener

P4- DIODOS LED

P4-1 Polarización directa/inversa

Ejercicio 7: Cálculo de un circuito con led

P4-2 El Led RGB

P4-3 Display 7 segmentos

Ejercicio 8: Visualización de símbolos

P4-4 Foto detectores

P4-5 Sensor de corte

P4-6 Sensor de reflexión

P5-SEMICONDUCTORES ESPECIALES

P5-1 El Tiristor en corriente continua

P5-2 El Tiristor en corriente alterna

P5-3 El TRIAC en corriente continua

P5-4 El TRIAC en corriente alterna

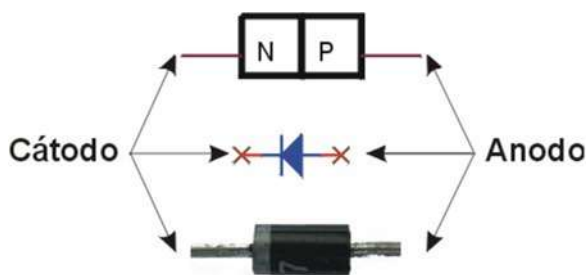
TEMA 5: Semiconductores

P1: EL DIODO RECTIFICADOR

Este tipo de diodos son los más habituales y se emplean fundamentalmente en los circuitos de rectificación. Se pueden considerar como un interruptor eléctrico. Si se le polariza directamente (ánodo positivo respecto al cátodo) deja pasar una fuerte corriente eléctrica, únicamente limitada por la resistencia o carga a la que está alimentando y/o por la potencia que el propio diodo es capaz de disipar. Se comporta como un interruptor en circuito cerrado. Si por el contrario, se le polariza inversamente, el paso de corriente eléctrica a su través es nulo. Se comporta entonces como un interruptor en circuito abierto. Vamos a verlo.

P1-1 Comprobación

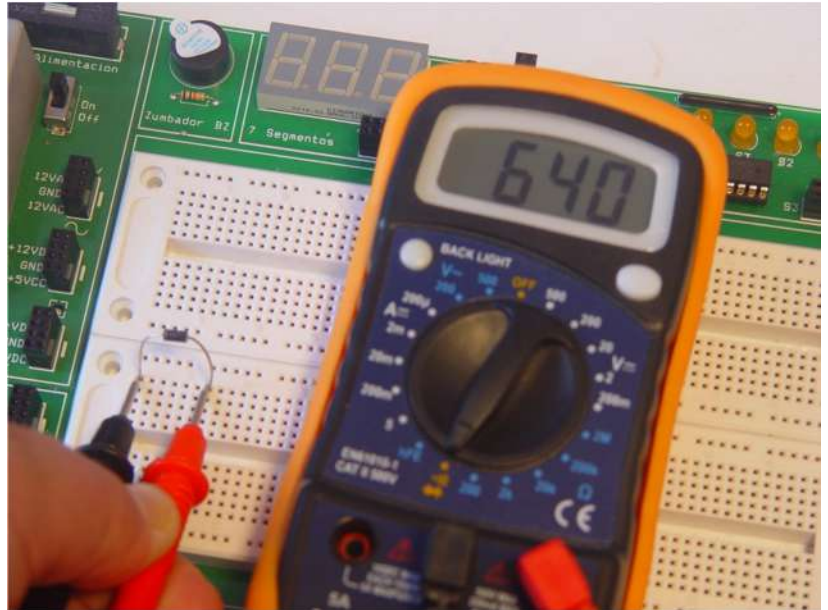
Lo primero es lo primero. Vamos a ver una forma muy sencilla de comprobar si el diodo está en buen estado, y cuál de sus dos patillas se corresponde con el cátodo. Esto último tiene cierto interés ya que aunque normalmente el cátodo viene indicado mediante una marca pintada junto a la patilla correspondiente, a veces ocurre que esa marca se borra.



Tal y como se resume en la figura, un diodo rectificador está compuesto de dos cristales de silicio (o germanio), uno de tipo N y otro de tipo P. El cristal de tipo N se corresponde con el cátodo y el P con el ánodo.

Pues bien, algunos polímetros, como el que estamos usando en estas prácticas, brindan la posibilidad de comprobar el estado de los diodos. Cuando se selecciona esta opción, basta con tocar las puntas de prueba con las patillas del diodo bajo prueba. El instrumento nos debe de indicar un valor comprendido entre unos 600 y 800. Si no lo ves a la primera, intercambia las puntas de prueba y lo vuelves a intentar. De aquí puedes sacar unas conclusiones:

1. Si al tocar con las puntas de prueba las patillas del diodo observas que el polímetro marca un valor comprendido entre 600-800 y al intercambiarlas marca un valor infinito (1), o viceversa, el diodo se encuentra en buen estado. En un caso conduce y en el contrario no. Es un semiconductor.



2. Además, si te fijas bien, puedes comprobar que el instrumento marca ese valor comprendido entre 600-800 justo cuando con la punta de prueba de color negro, la insertada en -COM, se toca la patilla correspondiente al cátodo. Curioso ¿no? Ya sabes cómo buscar la patilla cátodo aunque su marca estuviera borrada.
3. Si tocas con las puntas las patillas del diodo y el instrumento marca infinito (1), intercambias las puntas y sigue marcando infinito (1), el diodo está en mal estado. Está abierto o cortado. No conduce nunca, por lo que no es un semiconductor.
4. Si tocas con las puntas las patillas del diodo y el instrumento marca un valor bajo, intercambias las puntas y sigue marcando un valor bajo, el diodo está en mal estado. Está en corto o cortocircuitado. Conduce siempre, por lo que tampoco es un semiconductor.

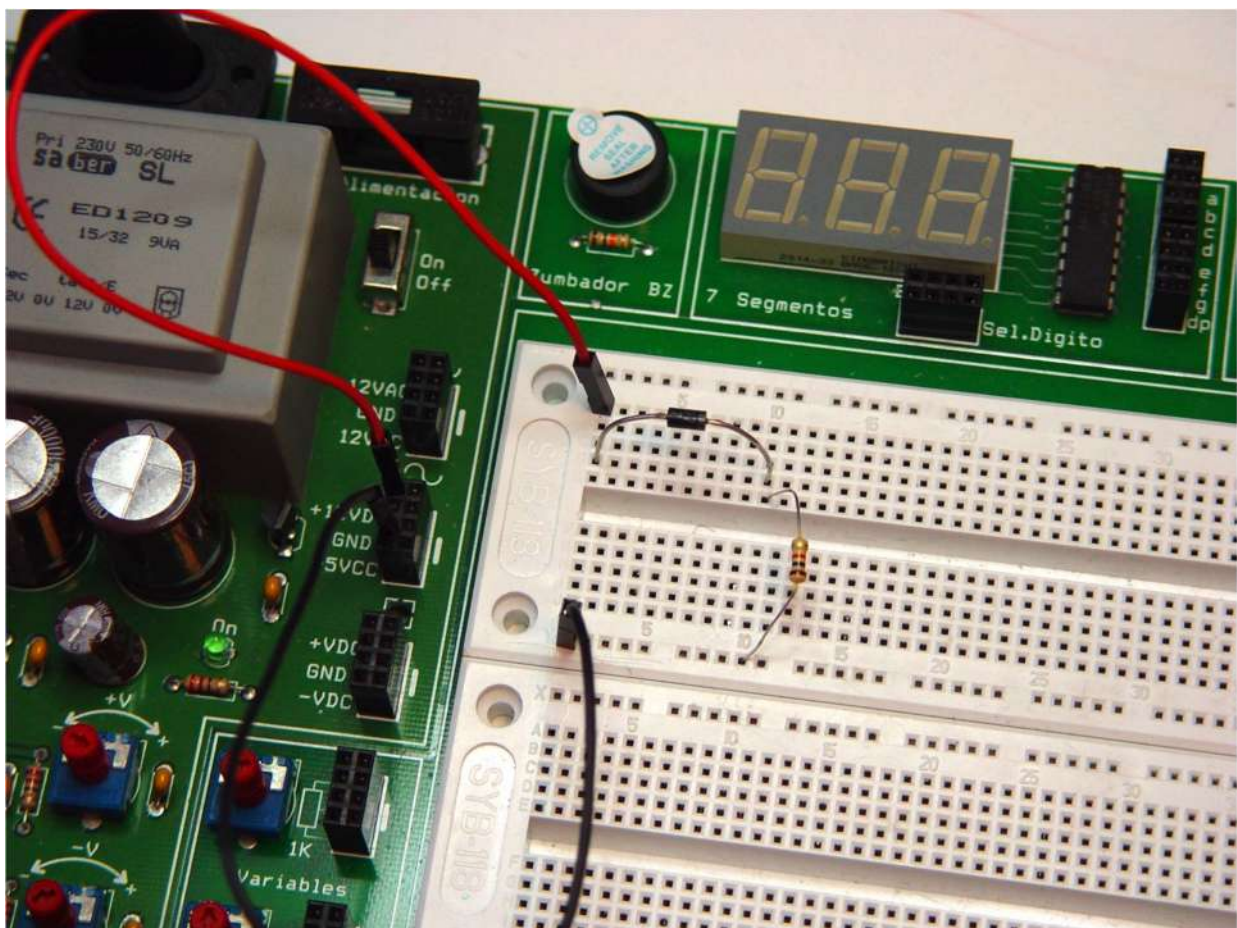
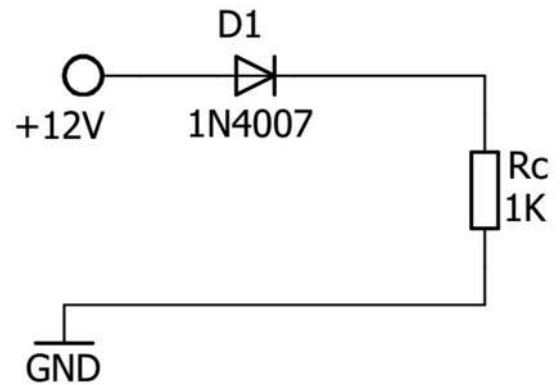


Si tu polímetro no tuviera la opción de comprobación de diodos puedes emplear una escala de ohmios, por ejemplo la de 2K, para obtener los mismos resultados. Al tocar las patillas con las puntas de prueba de una determinada manera indicará un valor más bien bajo, cuando la punta negra toque con el cátodo. Al intercambiarlas marcará un valor alto, infinito (1).

P1-2 Polarización directa

Monta el circuito del esquema. Se utiliza un diodo de silicio modelo 1N4007. Ya sabemos por tanto que su tensión de umbral es de unos 0.7V.

El ánodo está conectado con el positivo (+) de +12V del entrenador Universal Trainer y el cátodo, a través de una resistencia de carga de $1K\Omega$, con 0V o GND. Se trata por tanto de una polarización directa. Esta es la fotografía del montaje sobre el entrenador de prácticas.

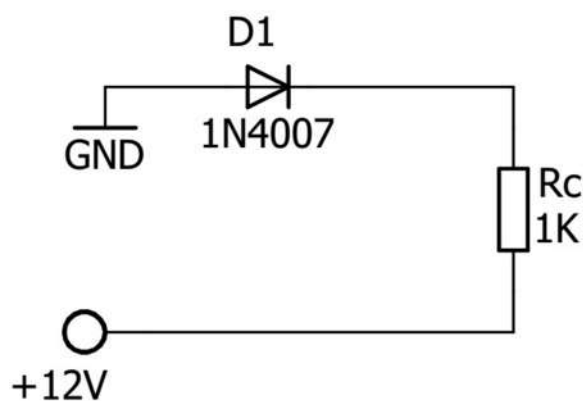


Con los datos de que dispones puedes realizar los cálculos teóricos que se proponen en la siguiente tabla y a continuación, con el polímetro, realizar las correspondientes medidas prácticas: **VT** = Tensión aplicada; **VD** = Tensión de umbral en el diodo; **VRc** = Tensión en la resistencia **Rc** de carga; **Ic** = Corriente que circula por la por la carga.

TEORICO				PRÁCTICO			
VT	VD	VRc	Ic	VT	VD	VRc	Ic

Conclusiones:

1. En polarización directa el diodo está activado (ON). En contra de lo que pudiera parecer, se queda prácticamente sin tensión, solo con la de su umbral (VD).
2. La práctica totalidad de la tensión aplicada al circuito (VT), excepto la de umbral, se queda en la resistencia de carga (VRc).
3. Esto es consecuencia del paso de la corriente (Ic) que recorre el circuito

P1-3 Polarización inversa

Fíjate en el circuito del esquema. Ahora, el ánodo se conecta con 0V o GND mientras que el cátodo se conecta con el positivo de +12V de la fuente de alimentación del entrenador. Se trata por tanto de una polarización inversa.

En estas condiciones vuelve a completar esta tabla similar a la anterior.

TEORICO				PRÁCTICO			
VT	VD	VRc	Ic	VT	VD	VRc	Ic

Conclusiones:

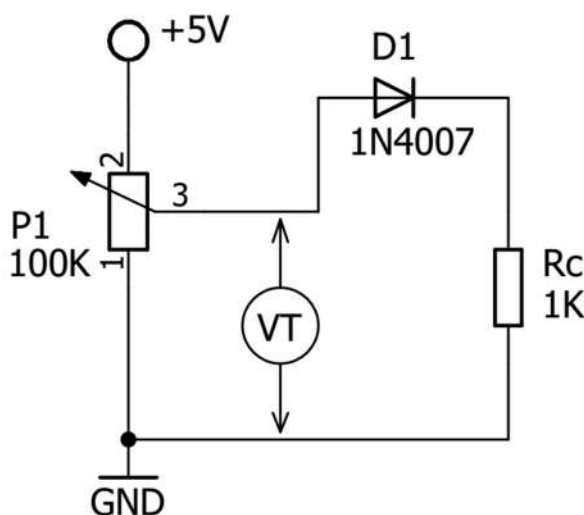
1. En polarización inversa el diodo está desactivado, en OFF. En contra de lo que pudiera parecer, se queda prácticamente con toda la tensión (VD).
2. De toda la tensión aplicada al circuito (VT), en la resistencia de carga no queda nada, (VRc = 0V)
3. Esto es consecuencia de que por el circuito no circula ningún paso de corriente (Ic = 0).

NOTA: Ya sabes que para medir la intensidad I_c es necesario abrir el circuito e intercalar el amperímetro en serie con la resistencia de carga R_c . Luego debes de volver a cerrar ese circuito. Pues bien, también la podrías calcular. Basta con medir la tensión (V_{Rc}) y luego simplemente aplicar la ley de ohm dividiéndola entre su valor en ohmios ($1K\Omega$), para obtener la intensidad (I_c). Es una práctica bastante habitual y evitas tener que andar abriendo y cerrando circuitos.

P1-4 Ejercicio 1: Curva característica

Con un poco de paciencia vamos a ver si somos capaces de obtener la curva característica del diodo rectificador. Para ello monta el circuito del siguiente esquema.

Mediante el potenciómetro de 100K del entrenador vamos a aplicar al circuito una tensión V_T que varía entre 0 y 5V aproximadamente en polarización directa.



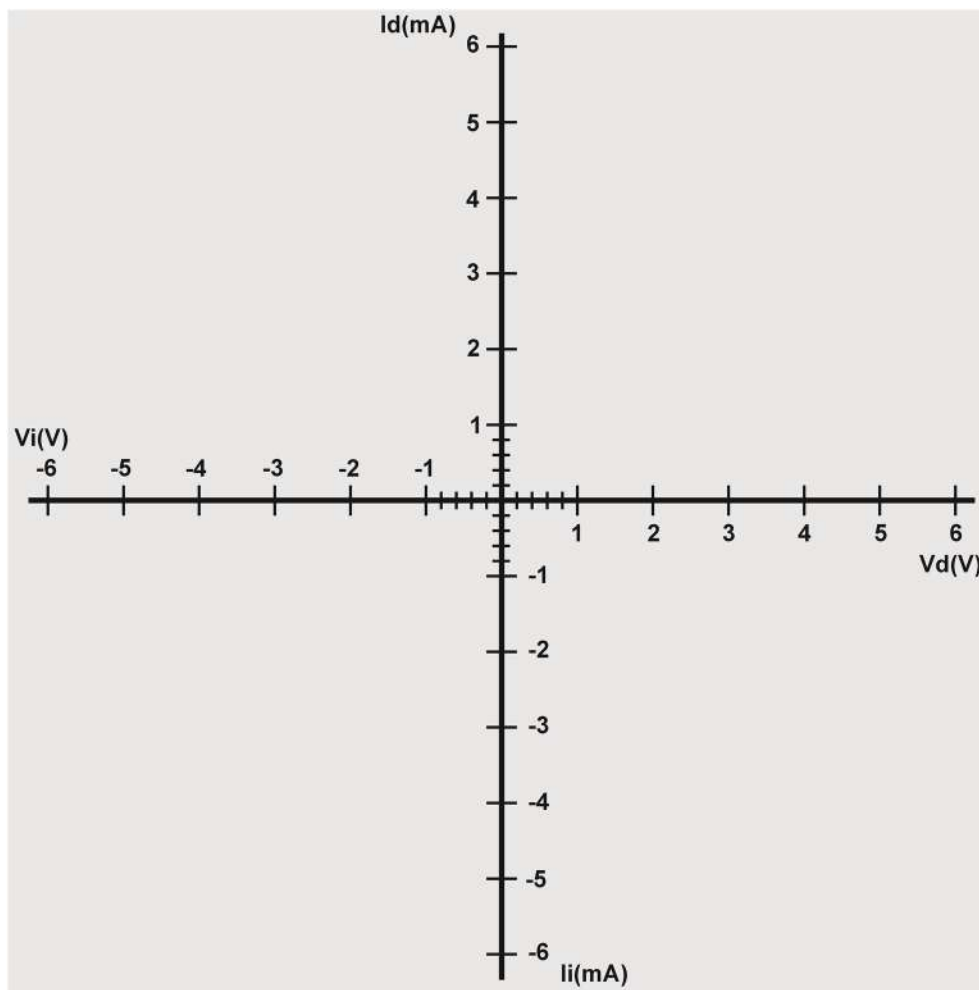
Irás ajustando los valores de V_T a los indicados en la tabla. Para cada uno de ellos debes de medir la tensión en el diodo (V_{D1}) y en la resistencia (V_{Rc}). También debes medir o calcular la intensidad (I_c) que pasa por el circuito en cada caso. Completa la siguiente tabla.

V_T	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
V_{D1}									
V_{Rc}									
I_c									

Ahora vas a repetir las mismas medidas pero en polarización inversa. Para ello cambia los cables de alimentación y lo que era positivo lo conectas al negativo y viceversa. También puedes darle la vuelta al diodo. Completa la tabla.

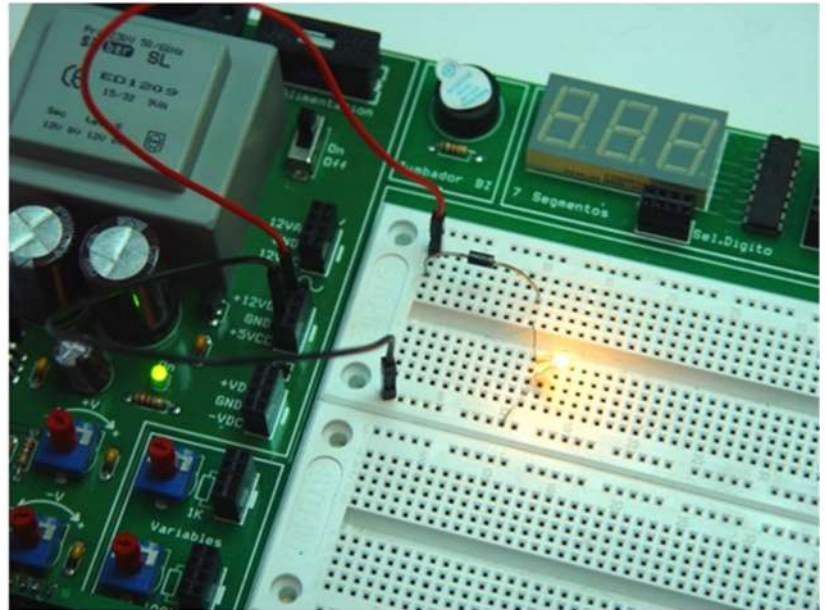
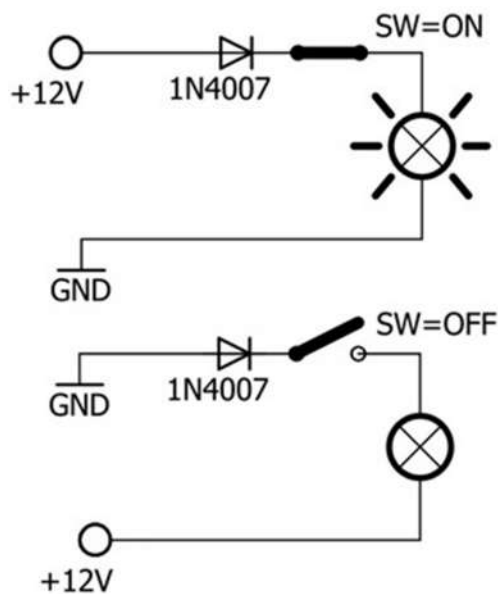
V_T	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
V_{D1}									
V_{Rc}									
I_c									

Acabamos. Sobre la gráfica de la figura vas a ir trasladando los puntos obtenidos en las tablas anteriores y a unirlos mediante una línea. En el cuadrante superior derecho, el que relaciona V_d/I_d , vas poniendo los puntos V_{D1} e I_c de la primera tabla. En el cuadrante inferior izquierdo, el que relaciona V_i/I_i , los valores V_{D1} e I_c de la segunda tabla. A ver qué te sale...



P1-5 El "efecto interruptor"

Me gustaría que consideraras al diodo como si fuera un interruptor. Cuando se le polariza directamente se comporta como un interruptor en circuito cerrado, en ON. Toda la tensión, menos la de umbral, se entrega a la carga y la intensidad que circula por el circuito sólo está limitada por esa carga y por la potencia que el propio diodo es capaz de disipar. Cuando se le polariza inversamente se comporta como un interruptor en circuito abierto, en OFF. A la carga no le entrega ninguna tensión y la intensidad que circula es nula. Experimenta con los circuitos de la figura.



Completa la tabla midiendo con el polímetro la tensión aplicada (VT), la tensión de umbral en el diodo (VD), la tensión en la lámpara (VC) y la intensidad que circula (IC). Verás que es más de lo mismo.

DIRECTO (ON)				INVERSO (OFF)			
VT	VD	VC	IC	VT	VD	VC	IC

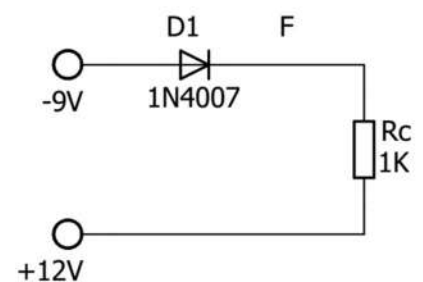
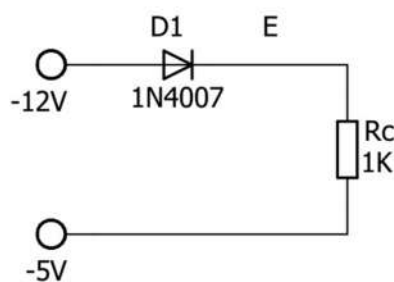
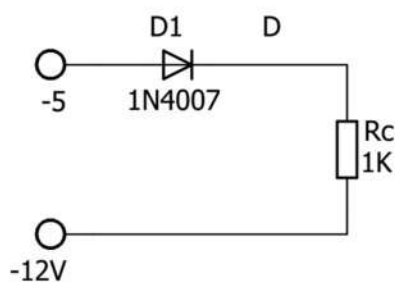
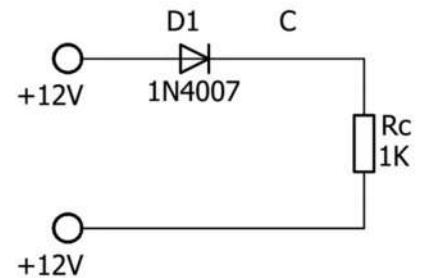
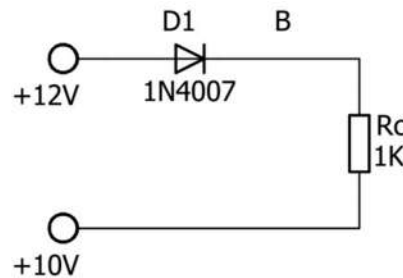
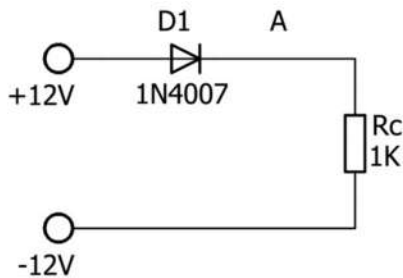
P1-6 Más cosas sobre la polarización

Vamos a tratar de afianzar conceptos. La polarización directa de un diodo supone que el cátodo debe ser negativo **RESPECTO** al ánodo, o viceversa, el ánodo debe ser positivo **RESPECTO** al cátodo.

Ahora bien, pregunto... ¿si al cátodo le aplicas una tensión positiva de +5V y al ánodo otra tensión positiva de +12V, el diodo conduciría? Pues sí, ya que el cátodo, a pesar de sus +5V, es negativo en 7V **RESPECTO** al ánodo que tiene +12.

De la misma manera, si al ánodo le aplicas una tensión negativa de -3V y al cátodo otra de -9V, el diodo también estará directamente polarizado ya que el ánodo, con sus -3V, es positivo en 6V **RESPECTO** al cátodo que tiene -9.

Analizando los siguientes circuitos anota si están en polarización directa o inversa indicando si hay o no paso de intensidad y porqué.



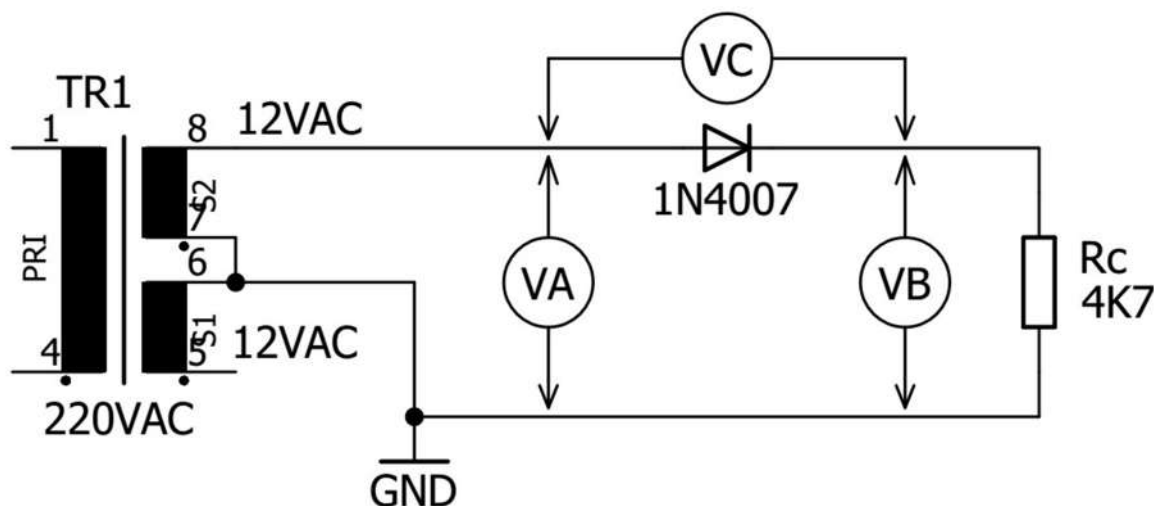
CIRCUITO	CONDUCE (SI/NO)	¿POR QUÉ?
A		
B		
C		
D		
E		
F		

P2: RECTIFICACIÓN

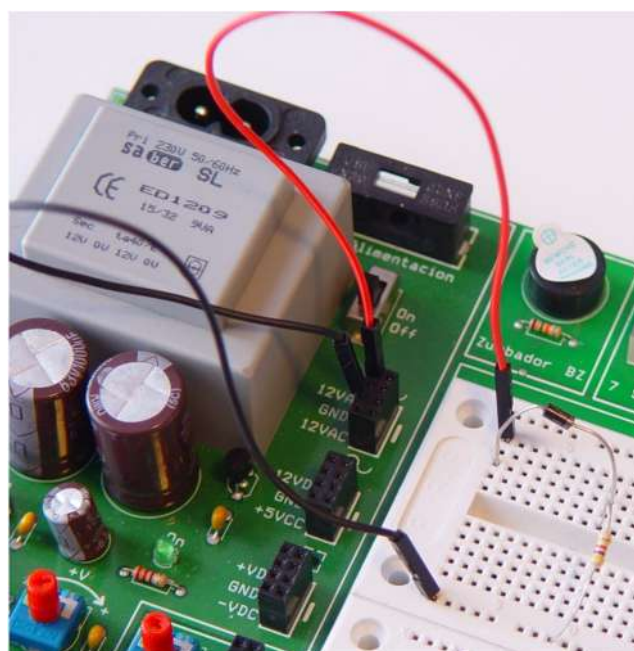
Una consecuencia práctica de todo lo anterior es lo que se conoce como la rectificación. Hasta ahora hemos analizado el funcionamiento del diodo sometiéndolo a una corriente continua (DC), pero... ¿qué pasará si le sometemos a una corriente alterna (AC)? Vamos a verlo.

P2-1 Media onda

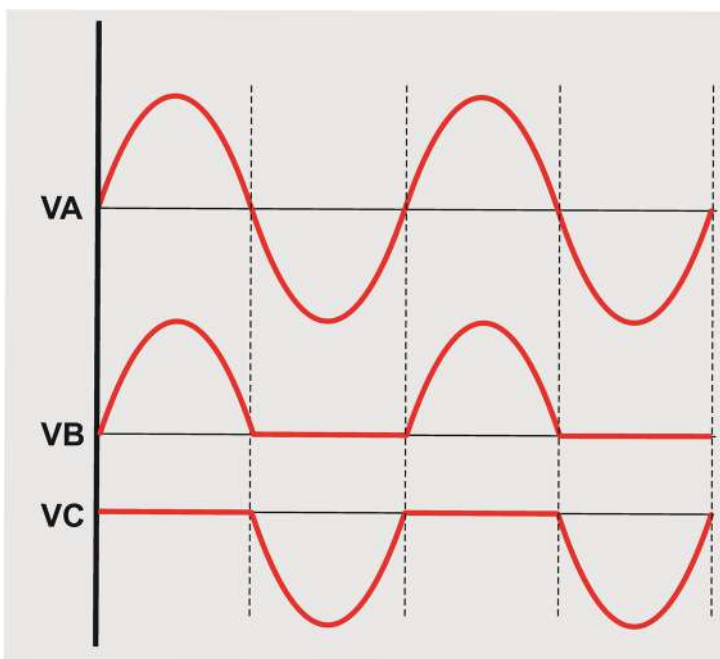
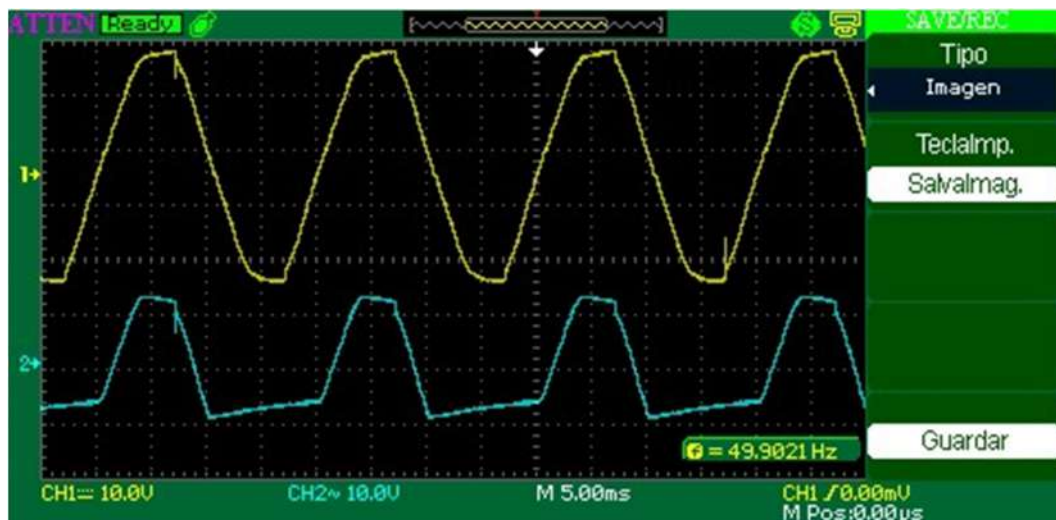
El circuito de rectificación más sencillo es el que tienes en el esquema y que te invito a que montes sobre el entrenador de prácticas.



Se le aplica una tensión alterna de 12VAC (eficaces) procedente del secundario del transformador del entrenador Universal Trainer, entre sus terminales GND / 12VAC. Es fácil de suponer que uno de los semiciclos de la tensión alterna polarizará directamente al diodo, por lo que éste conducirá y entregará a la resistencia de carga R_c la práctica totalidad de la tensión de entrada. El diodo se queda únicamente con su tensión de umbral (unos 0.7V). El semiciclo contrario lo polarizará inversamente. El diodo se bloquea quedándose con la totalidad de la tensión aplicada. No hay paso de intensidad y por tanto en R_c no hay caída de tensión (0V).



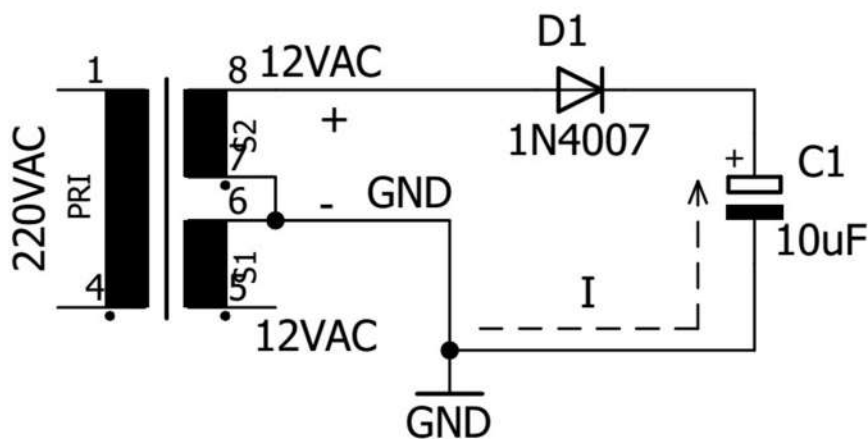
Lo ideal sería disponer de un osciloscopio para analizar las señales. Si este instrumento fuera de doble trazo podrías ver simultáneamente la tensión en los puntos VA, la tensión de entrada aplicada, y en VB, la tensión del semiciclo positivo en la resistencia de carga Rc cuando el diodo conduce. Mira la imagen que hemos capturado con nuestro osciloscopio.



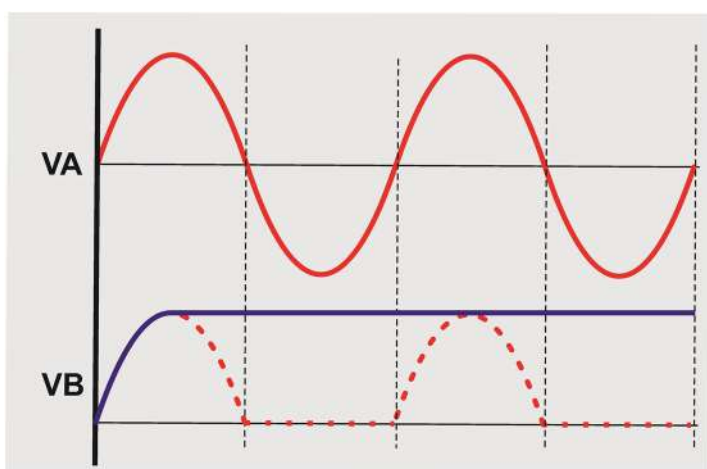
Si el osciloscopio dispusiera de un tercer trazo podríamos visualizar la tensión en el punto VC. Correspondería con el semiciclo negativo de la tensión aplicada, cuando el diodo está bloqueado y se queda con toda la tensión. Mira la figura.

Si empleas un polímetro para medir estas tensiones, recuerda que este instrumento mide la tensión eficaz de uno de los semiciclos.

Quita la resistencia de carga RC de 4K7 y en su lugar pon un condensador de $10\ \mu\text{F}$ (C1). Ten en cuenta que es electrolítico y que por la tanto tiene polaridad. El polo negativo debe conectarse con GND y el positivo con el cátodo del diodo. Se le conoce como "condensador de filtro". Mira el esquema.



A estas alturas ya tienes claro que el diodo solo conducirá en aquellos semiciclos que le polarizan directamente, los positivos. La corriente (I) fluye desde GND (-), recorre y carga el condensador C1, entra por el cátodo del diodo y llega hasta 12VAC (+). En el semiciclo contrario la polaridad cambia: GND = + y 12VAC = -. El diodo queda inversamente polarizado y no hay paso de corriente a su través.



Ahora bien, recuerda que un condensador es como un almacén que se carga con la tensión máxima que se le aplica en un momento dado y la mantiene mientras no se descargue. Más o menos nos quedaría una gráfica como la siguiente. En el primer semiciclo positivo, el condensador se carga con la tensión máxima o de pico y se mantiene constante (de momento).

¿Te has dado cuenta? Acabas de convertir una tensión alterna, la del secundario del transformador (VA), en una tensión continua en extremos del condensador C1 (VB). Has construido la Fuente de Alimentación (F.A.) más sencilla posible. Por la entrada VA se aplica una tensión alterna (VAC) y a su salida VB aparece una tensión continua (VDC).



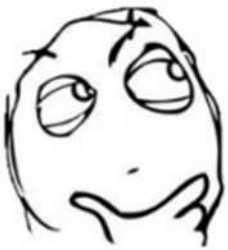
Con el voltímetro en alterna mide y anota la tensión de entrada VA. Luego, en continua, mide la tensión de salida VB en las patillas del condensador. Anótalas.

VA = _____ VB = _____

¿A qué se debe la notable diferencia entre ambas tensiones? Pues bien, cuando mides con un polímetro en alterna, lo que se mide es la tensión eficaz que, nominalmente, en el secundario de nuestro transformador es de 12VAC (VA). Sin embargo, el condensador se carga con la tensión máxima o valor de "pico" (Vp) del semiciclo positivo (VB). Al medirla en continua con nuestro polímetro nos medirá, nominalmente:

$$V_p = V_{ef} * 1.4142 = 12 * 1.4142 = 16.97 \text{ V}$$

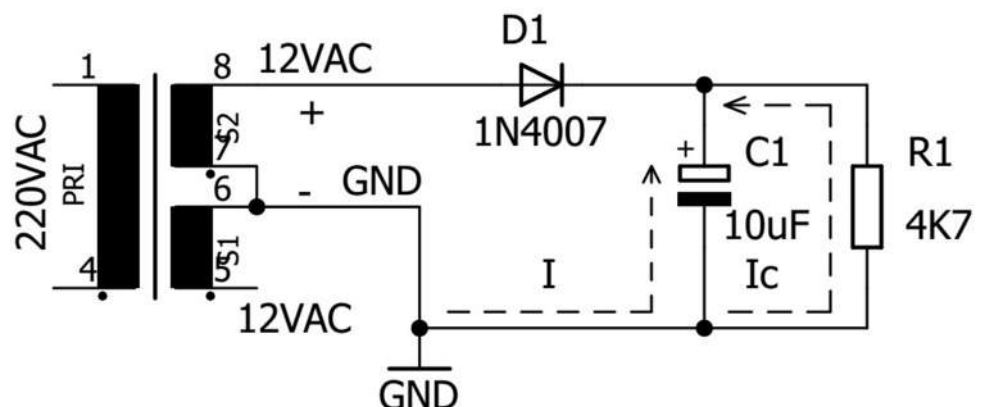
La mayor parte de los equipos electrónicos precisan de una tensión continua para su funcionamiento. Sin embargo nuestro proveedor de energía eléctrica nos suministra tensión alterna...

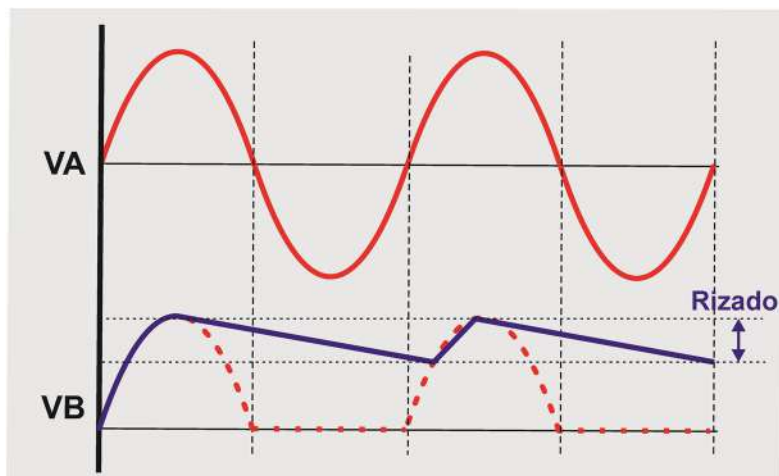


Una Fuente de Alimentación convierte una tensión de corriente alterna (VAC) en otra tensión de corriente continua (VDC) que podemos usar para alimentar a los equipos electrónicos que lo precisen

Ejercicio 3: El rizado (1)

Por desgracia nada es tan sencillo. A la salida de nuestra Fuente de Alimentación (FA), en las patillas del condensador, tenemos una tensión continua (VB), ¿pero qué pasa cuando le conectamos la carga que queremos alimentar que, en definitiva, es para lo que sirve una FA? Pues bien, ahora vamos a conectar nuevamente la resistencia de 4K7 que hace las veces de carga. Así nos quedará el nuevo esquema de montaje.





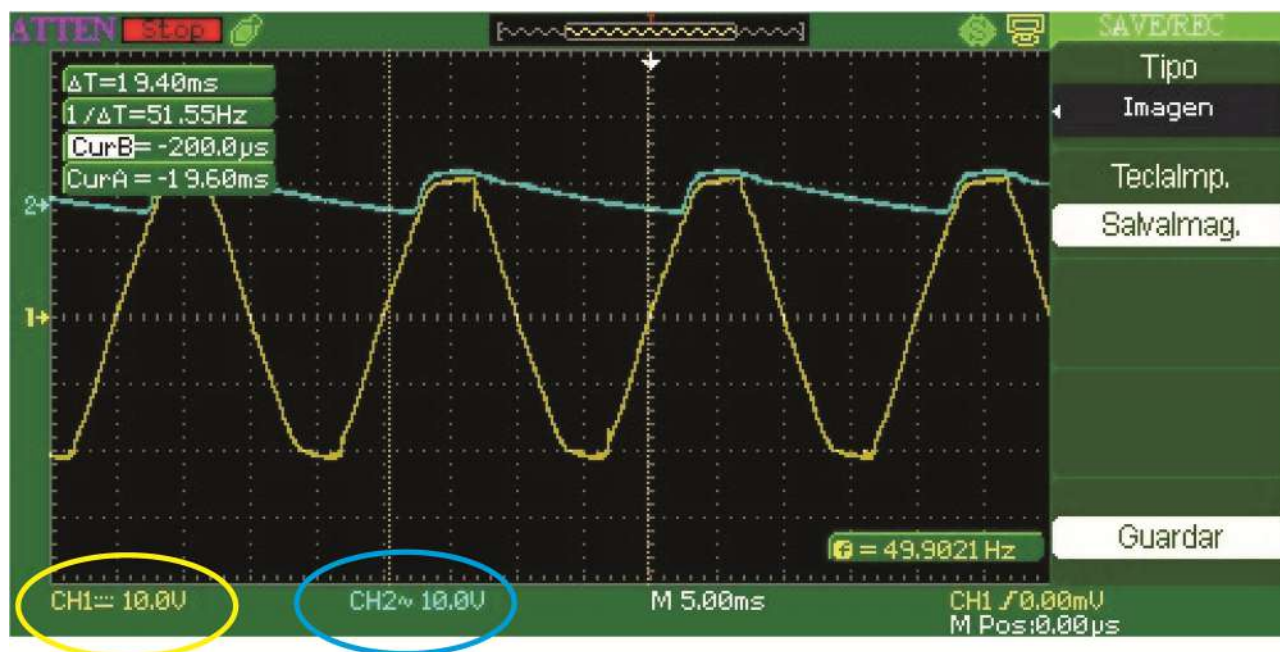
Para deducir qué es lo que ocurre vamos a analizar las señales de la siguiente figura.

En el primer semiciclo positivo el condensador adquiere la tensión máxima de pico (V_B). Durante el semiciclo negativo es el condensador quien entrega su tensión a la carga que estamos

alimentando (R_1). Dicha carga produce una corriente de consumo que tiende a vaciar el condensador (I_c). Su tensión va disminuyendo hasta que llega el siguiente semiciclo positivo que lo vuelve a recargar. El proceso se repite constantemente.

Cuando conectamos una carga (p.e. R_1) a nuestra FA la tensión de salida ya no es una continua pura, sin más bien es una señal triangular conocida como **RIZADO**. Obviamente el rizado es indeseable. Cuanto menor sea mejor será la calidad de la FA.

Con un osciloscopio puedes ver perfectamente la relación de la tensión alterna de entrada (V_A) con el rizado que se produce a la salida de nuestra fuente cuando alimenta a una carga (V_B). Mira la figura.



La señal en amarillo se corresponde con la tensión alterna de entrada (VA). Tiene un valor de pico a pico de unos 40 Vpp, con lo que la tensión de pico es de 20 Vp y se corresponde con los 14 V eficaces ($20/1.4142$) que proporciona el transformador del laboratorio (aunque nominalmente es de 12 V).

La señal en azul se corresponde con la señal de rizado en la tensión de salida (VB). La hemos superpuesto sobre la amarilla para que te hagas una idea mejor. Su valor de pico a pico es de unos 8 V_{rpp} y la de pico de unos 4 Vp.

Sin necesidad de disponer de un osciloscopio, vamos a ver cómo podemos calcular la tensión eficaz del rizado, en una fuente de alimentación con rectificación a media onda. Una fórmula simplificada puede ser la siguiente:

$$V_r = \left(\frac{I}{C} \right) \times 5.78$$

Donde...

- **V_r** es la tensión eficaz del rizado a calcular (en voltios)
- **I** es la intensidad en **mA** consumida por la carga. La puedes obtener: $I = \frac{V_B}{R_1}$, Siendo V_B la tensión continua de salida que mediste anteriormente sin carga.
- **C** es el valor del condensador en micro faradios (μF).
- **5.78** es una constante empleada en la rectificación de media onda.

También puedes calcular la tensión de pico de rizado (V_{rp}) que, por tener forma triangular, se emplea $\sqrt{3}$. De igual manera puedes calcular la de pico a pico del rizado (V_{rpp}) que es la que coincide con la que mide el osciloscopio:

$$V_{rp} = V_r \times \sqrt{3} = V_r \times 1.73; V_{rpp} = V_{rp} \times 2$$

Con todo ello calcula y anota la tensión eficaz de rizado (V_r), la de pico (V_{rp}) y la de pico a pico (V_{rpp}) de nuestra fuente de alimentación cuando se le conecta una carga de 4k7 Ω (R1).

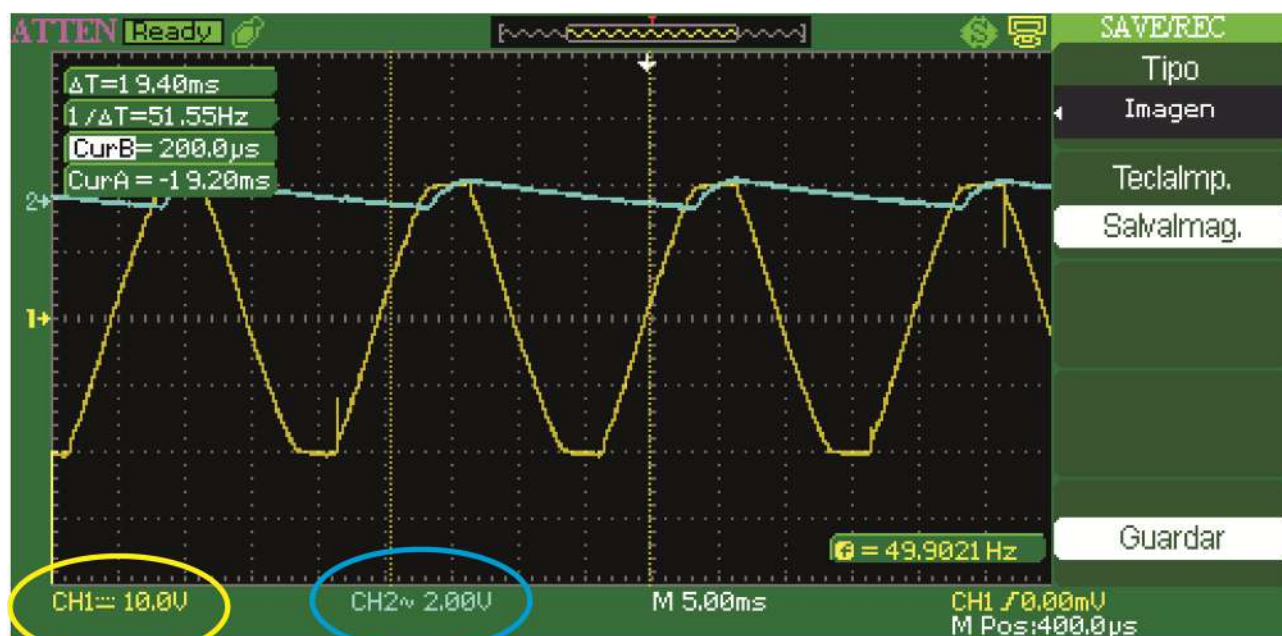
V_r= _____ ; V_{rp}= _____ ; V_{rpp}= _____

Ejercicio 4: El rizado (2)

Hablando de rizado vamos a "rizar el rizo". En este ejercicio se te propone que vayas cambiando los valores tanto del condensador de filtro $C1$ como los de la resistencia de carga $R1$, al tiempo que calculas la tensión de rizado para cada caso.

VALORES		CALCULOS			
R1	C1	$I=V_B/R1$	Vr	Vrp	Vrpp
22 K	10 μF				
4K7 K	100 μF				
22 K	100 μF				

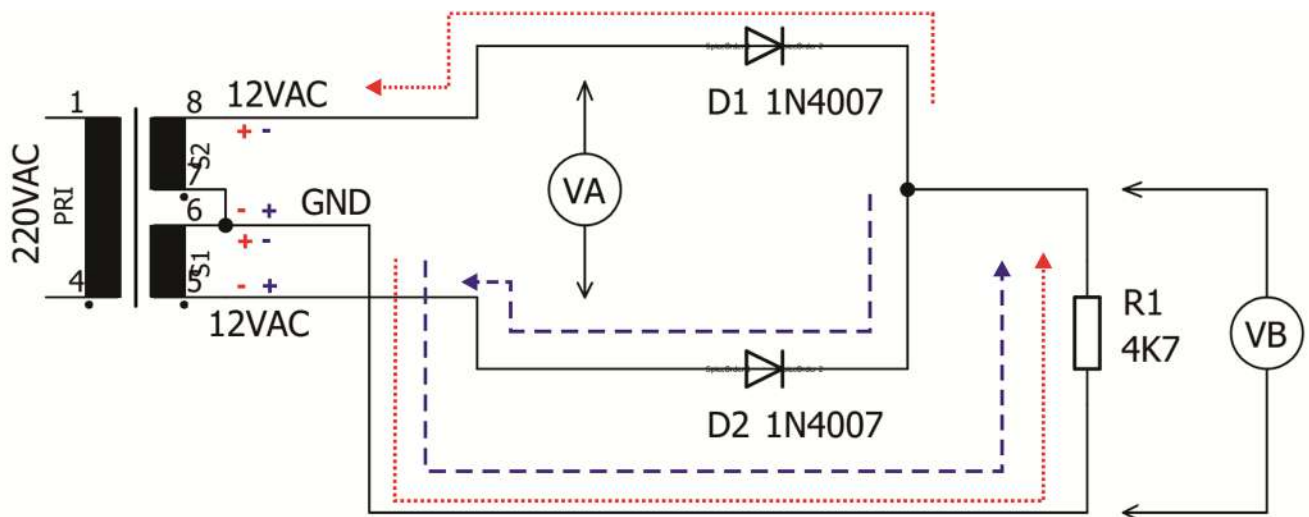
Si eres uno de los afortunados que dispone de un osciloscopio, podrás contrastar los valores V_{rpp} calculados, con los que mide el osciloscopio y verás que son muy parecidos. La siguiente imagen ofrecida por nuestro osciloscopio se corresponde al rizado producido cuando $R1 = 4K7$ y $C1 = 100 \mu F$.



El mando VOLTS/DIV del canal CH2 está en 2.00V por división. El rizado, la señal azul, ocupa aproximadamente 0.4 divisiones, por lo que su valor pico a pico es de unos 0.8 V_{rpp} . Puedes concluir que al aumentar el valor del condensador de filtro el valor del rizado disminuye. También disminuye si aumentas el valor de la resistencia de carga, ya que de esta forma disminuye el consumo o corriente que circula por la misma.

P2-2 Doble onda

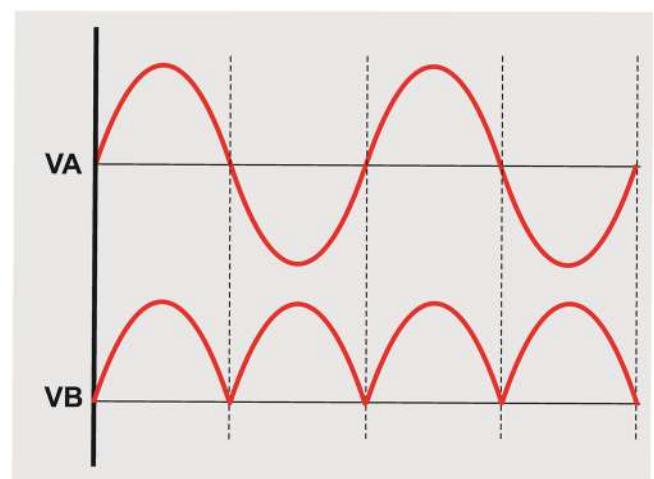
Estudia y monta el circuito del siguiente esquema. Fíjate en el sentido de las flechas que representan a la corriente eléctrica y en los signos de la polaridad en el secundario del transformador.



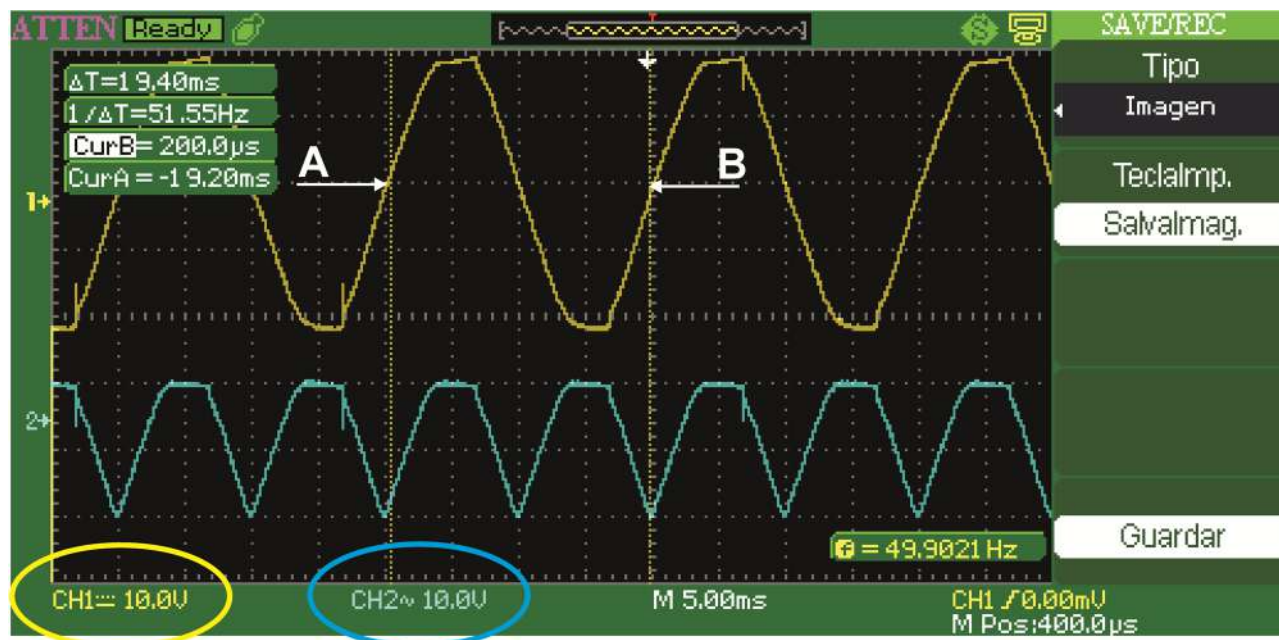
Supongamos que en el semiciclo positivo (rojo) el signo (+) se encuentra en el extremo superior de 12VAC del transformador. La intensidad (en rojo) sale desde GND, recorre la resistencia de carga (R1) y llega hasta 12VAC atravesando el diodo D1 que es el único que está directamente polarizado.

En el semiciclo negativo (azul) el signo (+) se encuentra en el extremo inferior de 12VAC del transformador. La intensidad (en azul) sale nuevamente desde GND, recorre **TAMBIEN** la resistencia de carga (R1), y llega hasta 12VAC atravesando el diodo D2, que es el único que ahora está polarizado directamente.

En resumidas cuentas por la resistencia R1 circula corriente en **AMBOS** semiciclos y en el **MISMO** sentido. Se dice que esta fuente de alimentación tiene una rectificación de "doble onda". Mira en la siguiente gráfica la relación de la tensión de entrada (VA) entre uno de los extremos de 12VAC y GND, con la de salida (VB).



Este es el resultado que nos muestra nuestro osciloscopio.



En amarillo tenemos la tensión de entrada (VA). El mando VOLTS/DIV del canal CH1 está en la escala 10V y la señal ocupa cuatro divisiones de pico a pico. Su tensión es por tanto de 40 Vpp.

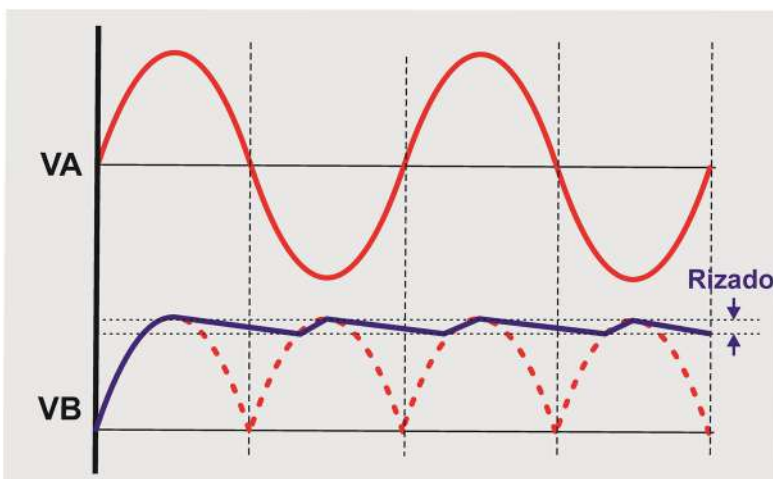
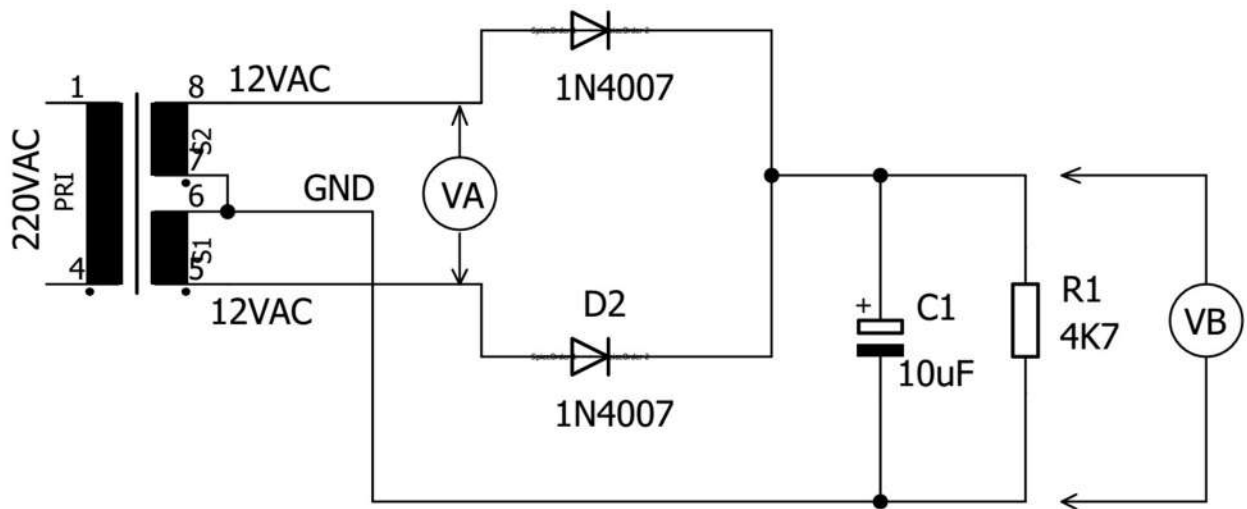
En azul se representa la señal de salida (VB). El mando VOLTS/DIV del canal CH2 también se encuentra en la escala de 10V y la señal ocupa dos divisiones por lo que su tensión de pico es de 20 Vp

También quiero que te fijes en la duración de cada ciclo y delimitada por los cursores A y B. Si el mando TIME/DIV se encuentra en la escala de 5 mS, el periodo T de la señal amarilla, VA, ocupa cuatro divisiones y es de 20 mS. Su frecuencia es de 50 Hz. Por su parte el periodo T de la señal azul, VB, ocupa dos divisiones y es de 10 mS, por lo que su frecuencia es el doble, 100 Hz.

Podemos repetir los mismos pasos que hicimos con la rectificación en media onda. Sustituye R1 por un condensador de filtro de $10\text{ }\mu\text{F}$. Entre sus extremos tienes una tensión de corriente continua (VDC) pura. Con el voltímetro en alterna mide y anota la tensión de entrada VA, entre GND y cualquiera de los extremos 12VAC. Luego, en continua, mide la tensión de salida VB en las patillas del condensador. Anótalas.

VA = _____ VB = _____

Ahora añades la resistencia de carga R1 de 4K7. Tendrás un circuito similar al del siguiente esquema.



Aquí tienes una imagen que representa el rizado producido. En esta ocasión como son los dos semiciclos los que refrescan al condensador, la descarga que produce la propia resistencia de carga (R1) es menos acusada que en la rectificación en media onda.

Puedes calcular el rizado empleando una fórmula simplificada muy parecida a la anterior:

$$V_r = \left(\frac{I}{C} \right) \times 2.89$$

Donde...

- **V_r** es la tensión eficaz del rizado a calcular (en voltios)
- **I** es la intensidad en **mA** consumida por la carga. La puedes obtener: $I = \frac{V_B}{R_1}$, Siendo V_B la tensión continua de salida que mediste anteriormente sin carga.

- C es el valor del condensador en micro faradios (μF).
- **2.89** es una constante empleada en la rectificación de doble onda.

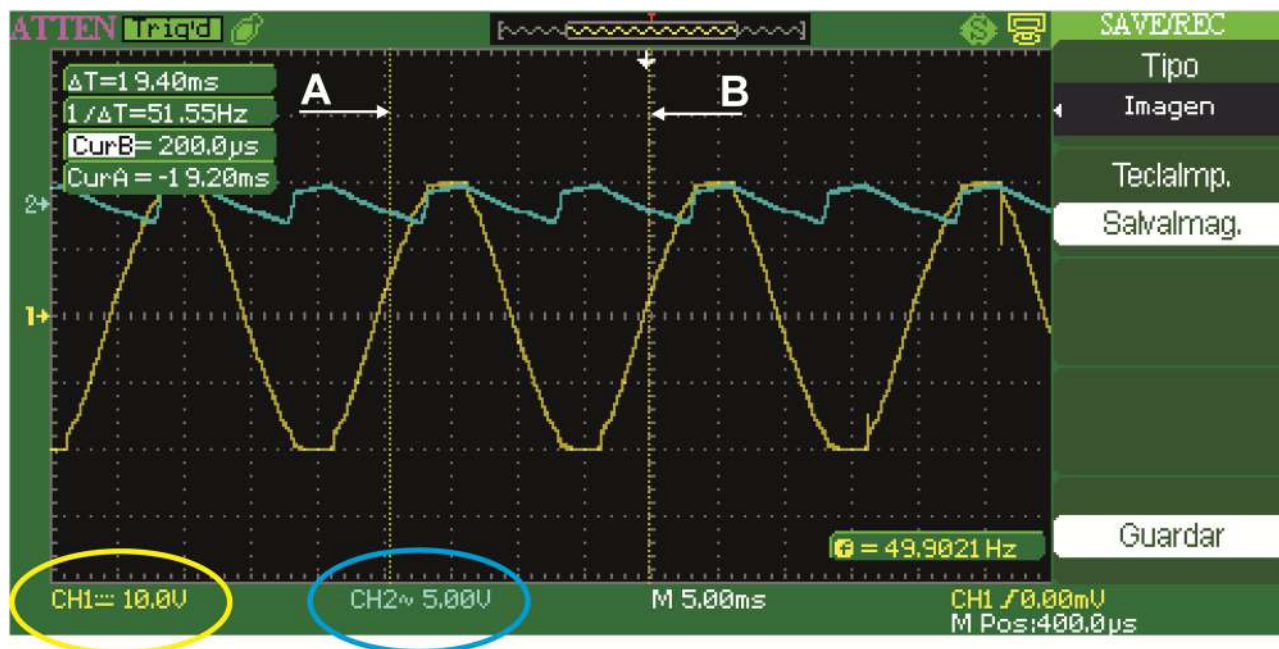
Igualmente puedes calcular la tensión de pico de rizado (V_{rp}) que, por tener forma triangular, se emplea $\sqrt{3}$. También puedes calcular la de pico a pico del rizado (V_{rpp}) que es la que coincide con la que mediría el osciloscopio:

$$V_{rp} = V_r \times \sqrt{3} = V_r \times 1.73; V_{rpp} = V_{rp} \times 2$$

Con todo ello calcula y anota la tensión eficaz de rizado (V_r), la de pico (V_{rp}) y la de pico a pico (V_{rpp}) de nuestra fuente de alimentación de doble onda cuando se le conecta una carga de $4k7 \Omega$ ($R1$).

$V_r =$ _____ ; $V_{rp} =$ _____ ; $V_{rpp} =$ _____

Mira la imagen que proporciona nuestro osciloscopio. En azul puedes ver la señal de rizado superpuesta sobre la señal de la tensión de entrada (en amarillo).



El mando VOLTS/DIV del canal CH2 se encuentra en la escala de 5V y la señal ocupa aproximadamente 0,6 divisiones, por lo que V_{rpp} es de unos 3 V. Compárala con los cálculos que hiciste previamente.

Ejercicio 5: El rizado (3)

Nuevamente vas a ir cambiando los valores tanto del condensador de filtro $C1$ como los de la resistencia de carga $R1$, al tiempo que calculas la tensión de rizado para cada caso.

VALORES		CALCULOS			
R1	C1	$I=VB/R1$	Vr	Vrp	Vrpp
22 K	10 μF				
4K7 K	100 μF				
22 K	100 μF				

Sería perfecto disponer de un osciloscopio para poder comprobar de forma práctica los resultados de estos cálculos teóricos.

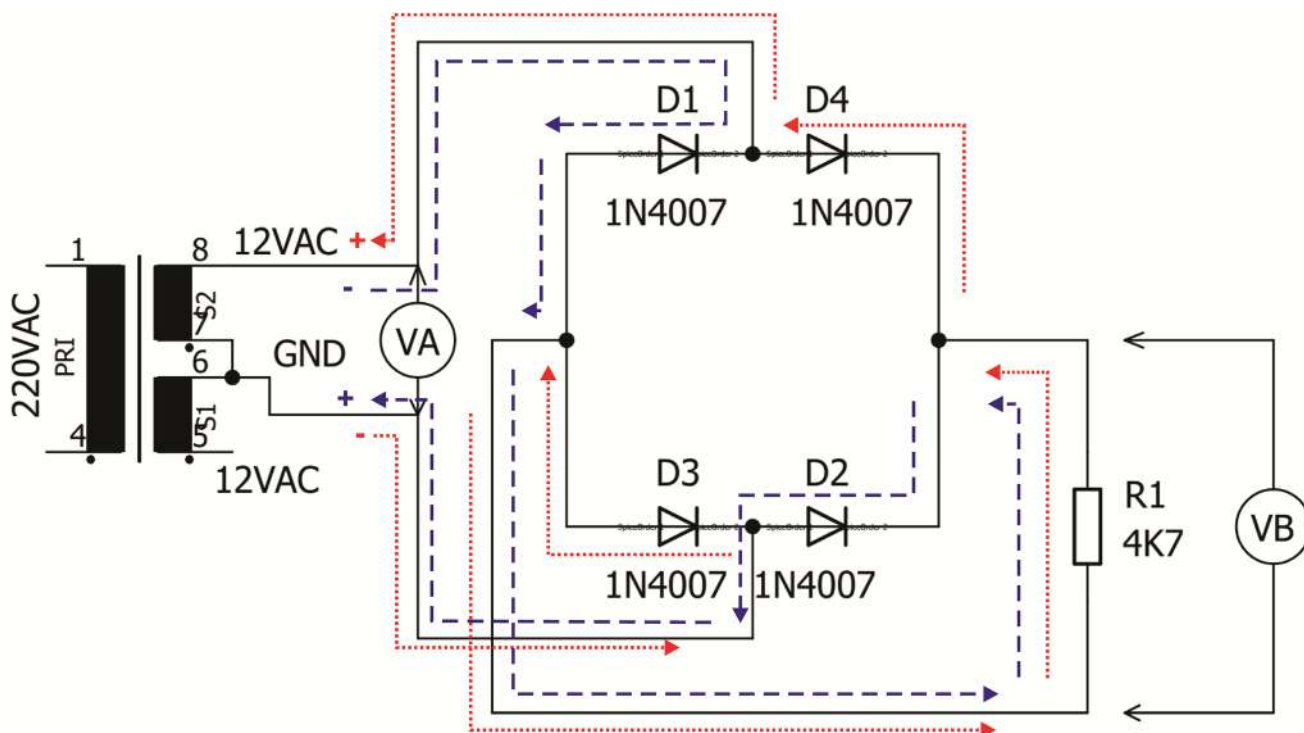
P2-3 Doble onda con puente en Graetz

El circuito rectificador de doble onda que acabas de estudiar emplea necesariamente dos diodos y un transformador cuyo secundario debe disponer de una toma intermedia. En ocasiones este transformador puede ser caro y/o voluminoso. Para evitarlo, tenemos que emplear cuatro diodos rectificadores en lugar de dos. La configuración de estos diodos recibe el nombre de "Puente de Graetz" en honor a Leo Graetz (1856-1941) quien popularizó su uso.



Mira el siguiente esquema. Se trata del clásico circuito de rectificación que emplea un puente de Graetz. Este se forma mediante cuatro diodos idénticos de rectificación. A su entrada se aplica la tensión alterna a rectificar (V_A) que puede proceder del secundario de un transformador. La ventaja es que este transformador no tiene por qué tener una toma intermedia, con lo que se reduce su precio, volumen y peso. En nuestro caso estamos empleando simplemente uno de los terminales 12VAC y el terminal GND.

Para facilitar el seguimiento del circuito hemos representado el flujo de la corriente mediante flechas discontinuas. Presta un poco de atención (y paciencia).



Supongamos que en el semiciclo positivo el polo (+) aparece en el extremo 12VAC y el polo (-) en GND. Lo vamos a representar en rojo. Desde GND la corriente fluye por el diodo D3, recorre la resistencia de carga (R1) y retorna a 12VAC atravesando el diodo D4.

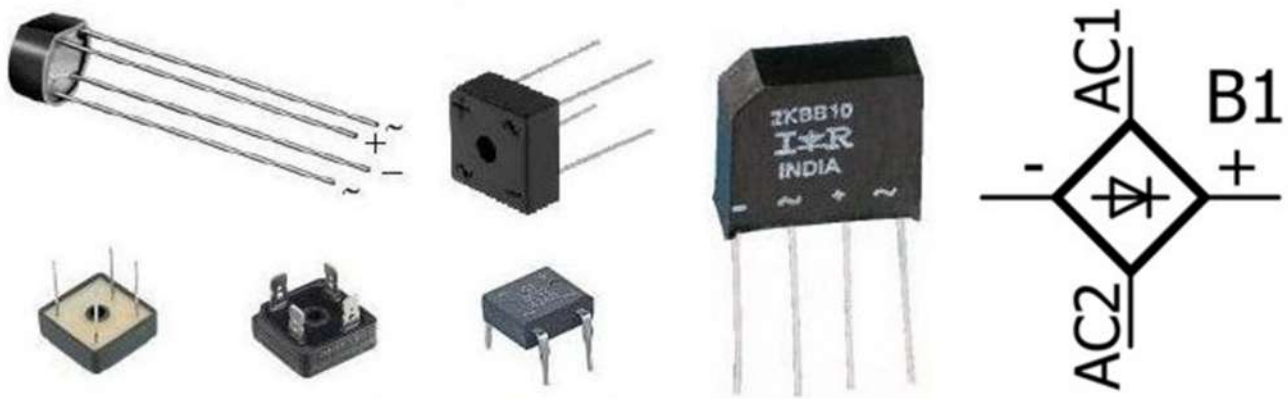
En el semiciclo negativo el polo (-) aparece en el extremo 12VAC y el polo (+) en GND. Se representa en color azul. Desde 12VAC la corriente fluye ahora atravesando D1, nuevamente recorre la resistencia de carga (R1) y retorna a GND atravesando el diodo D2.

En resumidas cuentas. Durante un semiciclo se polarizan directamente la pareja de diodos D1/D2 y en el semiciclo contrario la pareja D3/D4. Lo importante es que en AMBOS semicilos la resistencia de carga (R1) es recorrida por la corriente eléctrica.

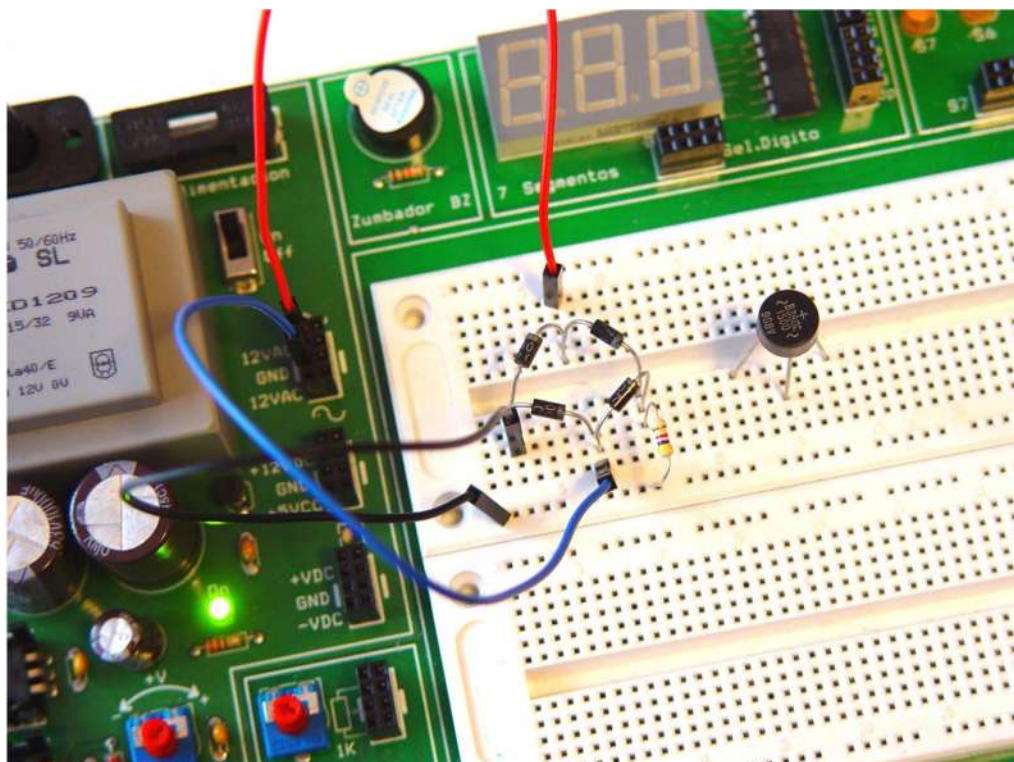
Si lo deseas puedes realizar los mismos cálculos que hiciste con el anterior circuito rectificador de doble onda, empleando la misma ecuación:

$$V_r = \left(\frac{I}{C} \right) \times 2.89$$

A lo mejor te parece un "rollo" tener que hacer la conexión de los cuatro diodos que conforman un puente de Graetz. Que sepas que este tipo de puente es tan utilizado que en la práctica muy poca gente usa los cuatro diodos por separado. Lo que más se emplea es un puente de Graetz "integrado". Esto es, en una misma cápsula se integran los cuatro diodos debidamente conectados entre sí. En la imagen puedes ver diferentes tipos de encapsulados así como el símbolo eléctrico.

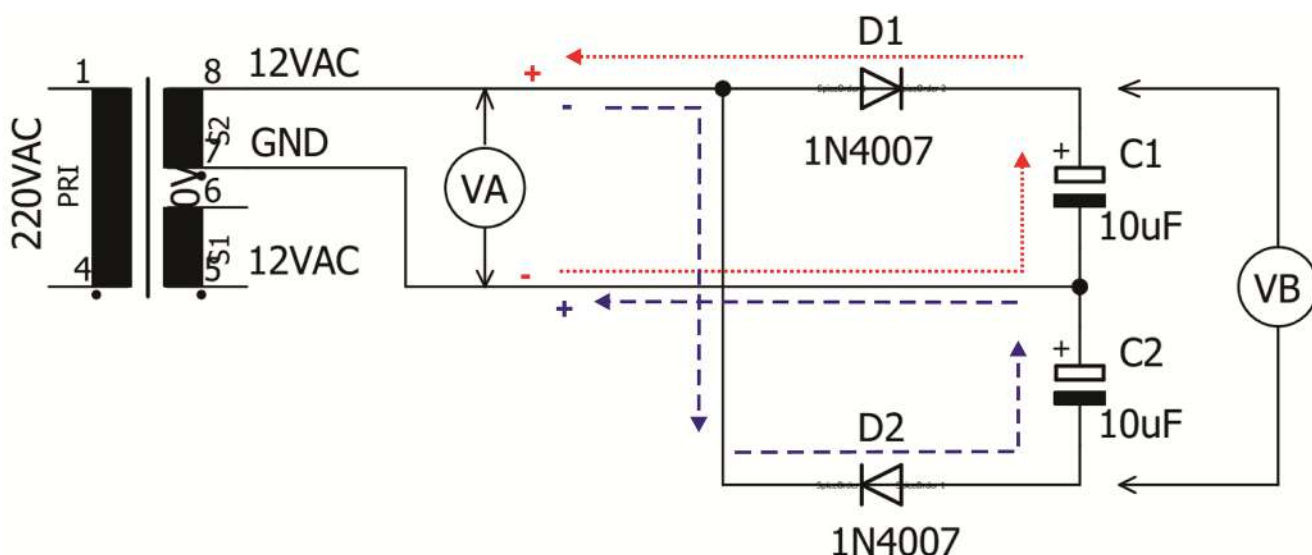


Esas cápsulas sólo tienen cuatro patillas: AC1/AC2 por la que aplicas la tensión alterna de entrada (VA) y +/- por la que obtienes la tensión rectificada de salida (VB). En la fotografía tienes el montaje de un rectificador en puente de Graetz sobre el entrenador Universal Trainer. A la derecha de la imagen puedes ver un puente de Graetz integrado.



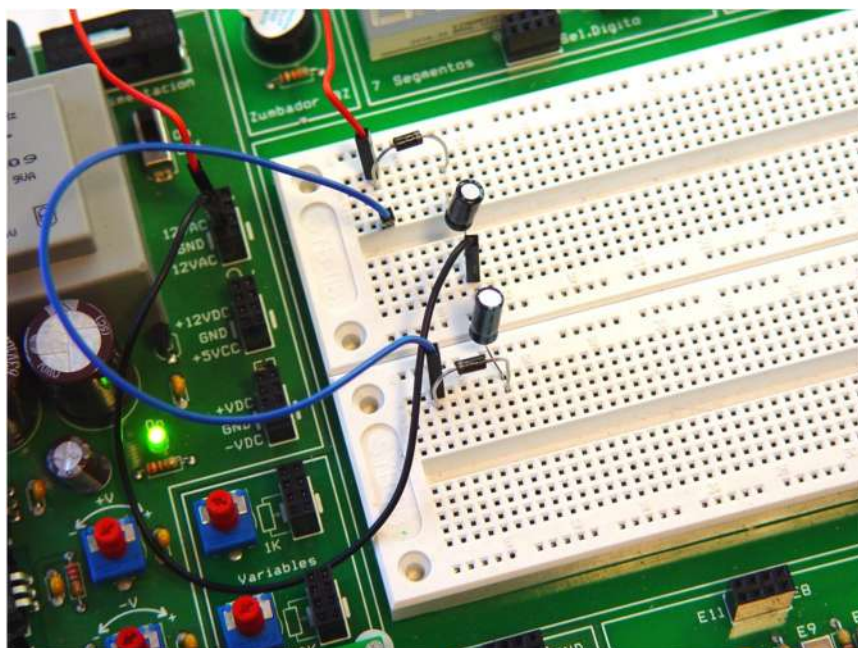
P2-4 Doblador y triplicador de tensión

Otra consecuencia directa de todo lo visto hasta ahora son los circuitos capaces de doblar, e incluso triplicar, la tensión alterna de entrada presente en el secundario del transformador. Este es el esquema de un circuito doblador de tensión.



Supongamos el semiciclo positivo (en rojo). D1 está polarizado directamente, conduce y permite la carga de C1 con el valor de la tensión de pico de entrada (VA). En el semiciclo negativo, en azul, es D2 quien queda directamente polarizado, conduce y permite la carga de C2 también con el valor de la tensión de pico de entrada (VA).

Es decir C1 se carga con el valor de la tensión de pico de VA en su semiciclo positivo, y C2 en el semiciclo negativo. Sin embargo, C1 y C2 están conectados en serie entre sí, por lo que la tensión de salida (VB) es la suma de la tensión de ambos (2Vp).



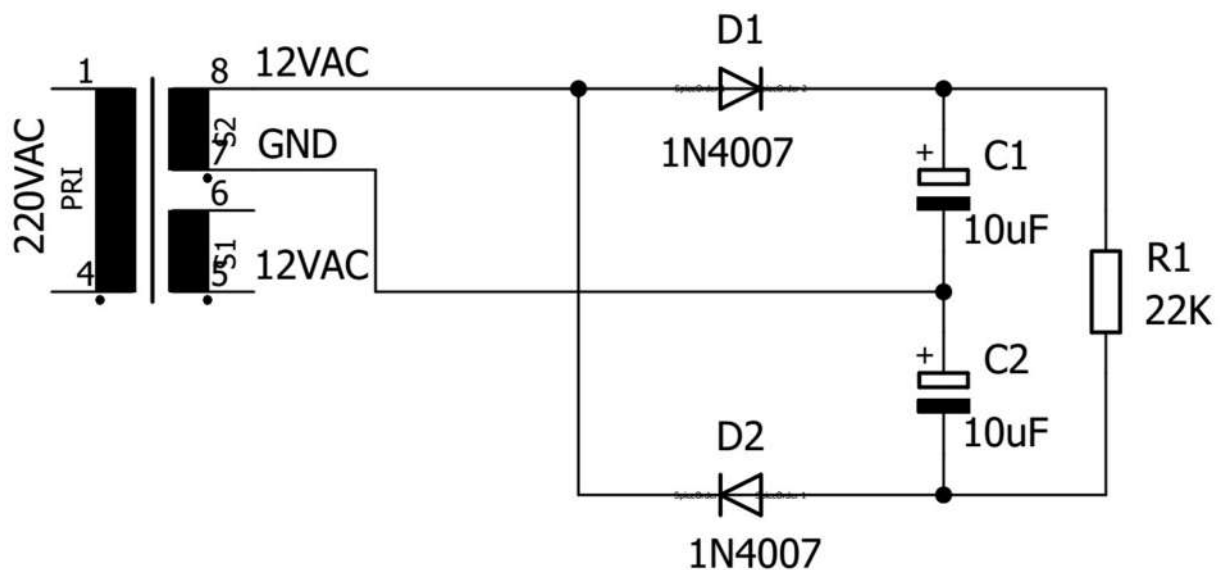
Monta el circuito. Con el polímetro en voltios en alterna (ACV) mide y anota la tensión alterna de entrada (VA) al circuito doblador. Calcula también su tensión de pico (VAp).

$V_A =$ _____; $V_{Ap} =$ _____

Ahora, con el polímetro en voltios en continua (DCV), mide y anota la tensión en:

$V_{C1} =$ _____; $V_{C2} =$ _____; $V_B =$ _____

Al conectar una carga en nuestro circuito doblador de tensión también se produce el indeseado efecto del rizado. Puedes probar con el circuito del esquema, al que se le ha añadido una resistencia de carga (R1) de 22K Ω .



Para calcular el valor eficaz de la tensión de rizado (V_r), su tensión de pico (V_{rp}) y de pico a pico (V_{rpp}), puedes emplear las ya conocidas fórmulas...

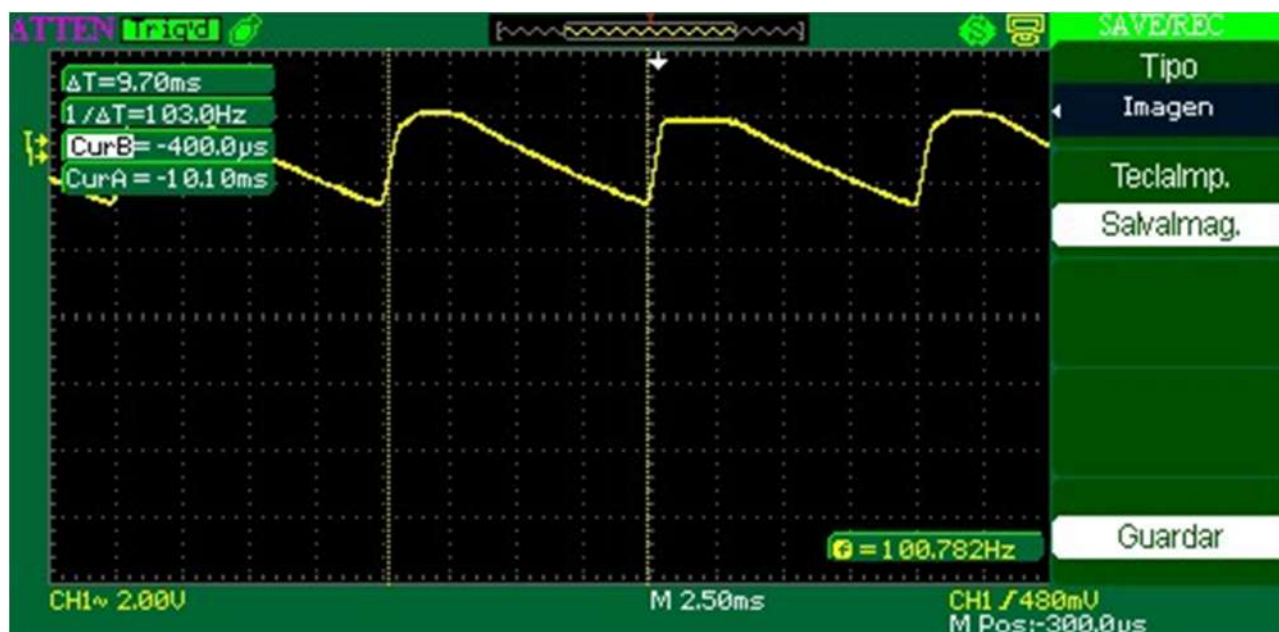
$$V_r = \left(\frac{I}{C}\right) \times 2.89; V_{rp} = V_r \times \sqrt{3} = V_r \times 1.73; V_{rpp} = V_{rp} \times 2$$

...pero atención:

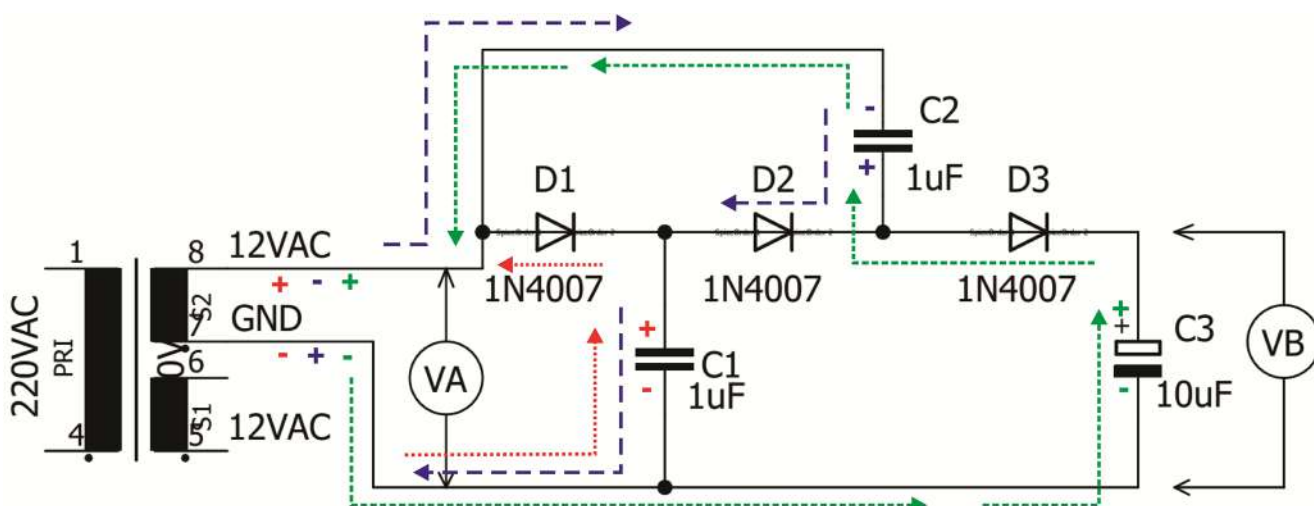
- $I = \frac{V_B}{R_1}$ Se expresa en mili amperios (mA)
- $C = \frac{(C_1 \times C_2)}{(C_1 + C_2)}$ Se expresa en micro faradios (μF) y es la capacidad equivalente de C1 y C2 ya que están conectados entre sí en serie.

A la vista de la imagen que nos ofrece nuestro osciloscopio, se puede ver que la tensión pico a pico de rizado (V_{rpp}) es aproximadamente de 2,8 V $_{rpp}$ (1,4 divisiones * 2

Volts/Div), lo que equivale a 1,4 Vrp o a 0,8 Vr. Su periodo $T = 10 \text{ ms}$ (4 divisiones * 2,5 ms en Time/Div) y su frecuencia $F = 100\text{Hz}$.



Ahora vamos a estudiar el circuito triplicador de tensión experimental que se presenta en el siguiente esquema. Procura no liarte con las flechas que representan el sentido de la corriente y estate atento a las polaridades de los condensadores.

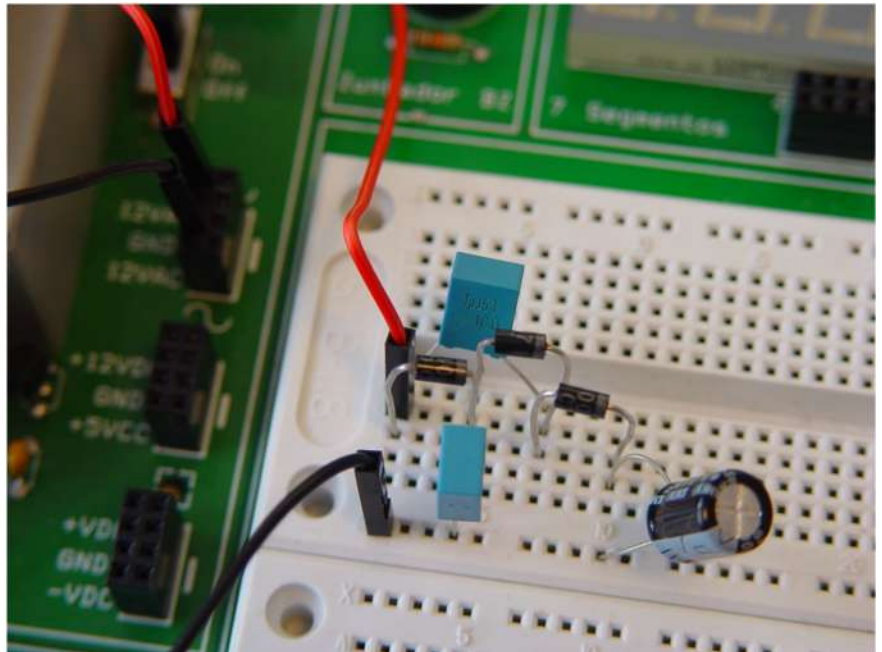


1. En el primer semiciclo positivo (rojo) D1 conduce y C1 se carga con la tensión de pico (V_p) de la tensión de entrada VA. No hay nada nuevo.
2. En el semiciclo negativo (Azul) conduce D2. C2 se carga con la tensión de pico del semiciclo más la tensión que tenía C1, que está en serie con la de ese semiciclo. C2 se carga por tanto con $V_p + V_p$ ($2V_p$).

3. En el siguiente semiciclo positivo (verde) la tensión de $C2$ ($2V_p$) queda en serie con la del nuevo semiciclo. $C3$ se carga por tanto con $2V_p + V_p$ ($3V_p$) a través del diodo $D3$.

Monta el circuito. La fotografía de la siguiente imagen te puede ayudar.

Con el polímetro en voltios en alterna (ACV) Mide y anota la tensión alterna de entrada (VA) al circuito triplicador. Calcula también su tensión de pico (V_p).



$V_A =$ _____; $V_{Ap} =$ _____

Ahora, pon el polímetro para medir voltios en continua (DCV), mide y anota la tensión en:

$V_{C1} =$ _____; $V_{C2} =$ _____; $V_{C3} (V_B) =$ _____

Se trata de un circuito puramente experimental. La tensión de salida (V_B) en extremos del condensador $C3$ solo es capaz de alimentar cargas de muy bajo consumo. El circuito se puede mejorar si aumentamos la capacidad de $C1$ y $C2$.

Atención, estos condensadores NO pueden tener polaridad.

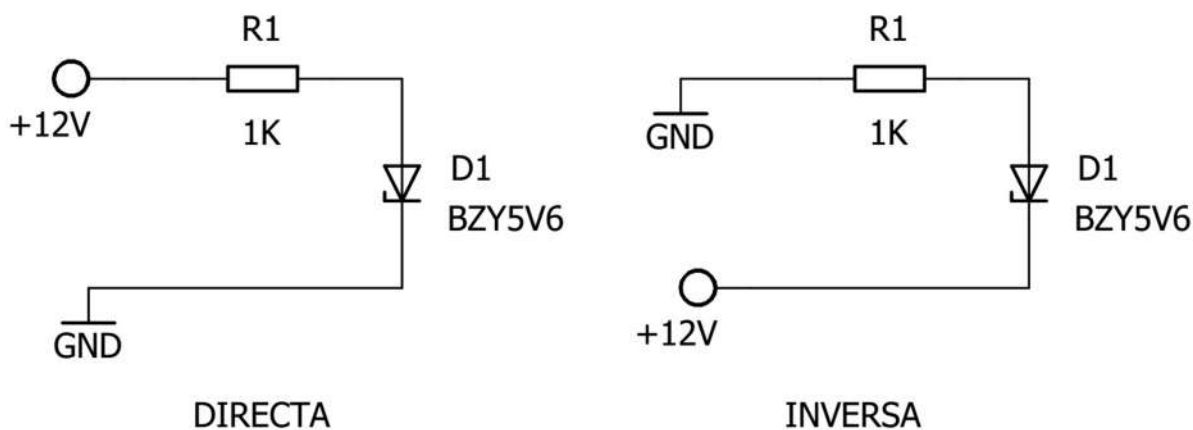
P3: DIODOS ZENER

El comportamiento de este tipo de diodos difiere notablemente respecto al de los diodos rectificadores. Polarizándolo directamente se comporta como un diodo convencional. Se queda con su tensión de umbral (unos 0.8 V) y deja pasar el máximo de intensidad a su través.

Sin embargo, cuando se le polariza inversamente no deja pasar intensidad alguna hasta que la tensión inversa que le aplicas alcance un determinado valor conocido como "tensión zener" (V_z). Superada el valor de esta el diodo se queda con su tensión zener entre sus extremos, comienza a conducir y el resto de la tensión se aplica a la resistencia de absorción. Estos dispositivos son muy usados en circuitos de estabilización de tensión y recorte de picos.

P3-1 Polarización directa/inversa

El circuito más sencillo es el mostrado en la figura. A la izquierda tienes una polarización directa y a la derecha una polarización inversa. Se emplea un modelo cuya tensión zener es de 5.6V (BZY5V6).

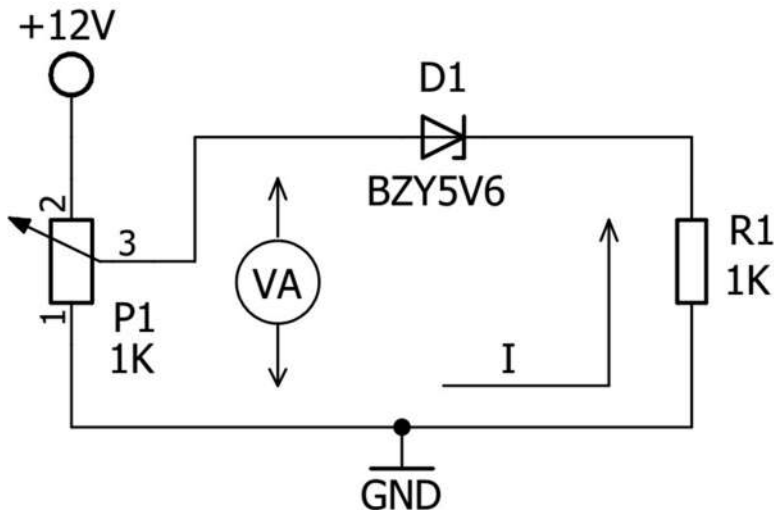


Con los datos de que dispones ya puedes realizar los cálculos teóricos. Luego monta el circuito tanto en polarización directa como en inversa y realiza las medidas oportunas con el polímetro. Completa la tabla.

	TEORICO			PRÁCTICO		
	VR1	VD1	I	VR1	VD1	I
DIRECTA						
INVERSA						

P3-2 Ejercicio 6: Curva característica de un zener

Ahora ármate de paciencia. Se trata de obtener la curva característica del diodo zener. Para ello debes de montar el siguiente circuito en polarización directa.



Mediante el potenciómetro P1 (del laboratorio) podrás ir ajustando la tensión de entrada VA que vas aplicando al circuito. Para cada valor en VA debes de medir la tensión en D1 y en R1.

La intensidad I no es necesario que la midas con el polímetro ya que es una tarea lenta y delicada. Si

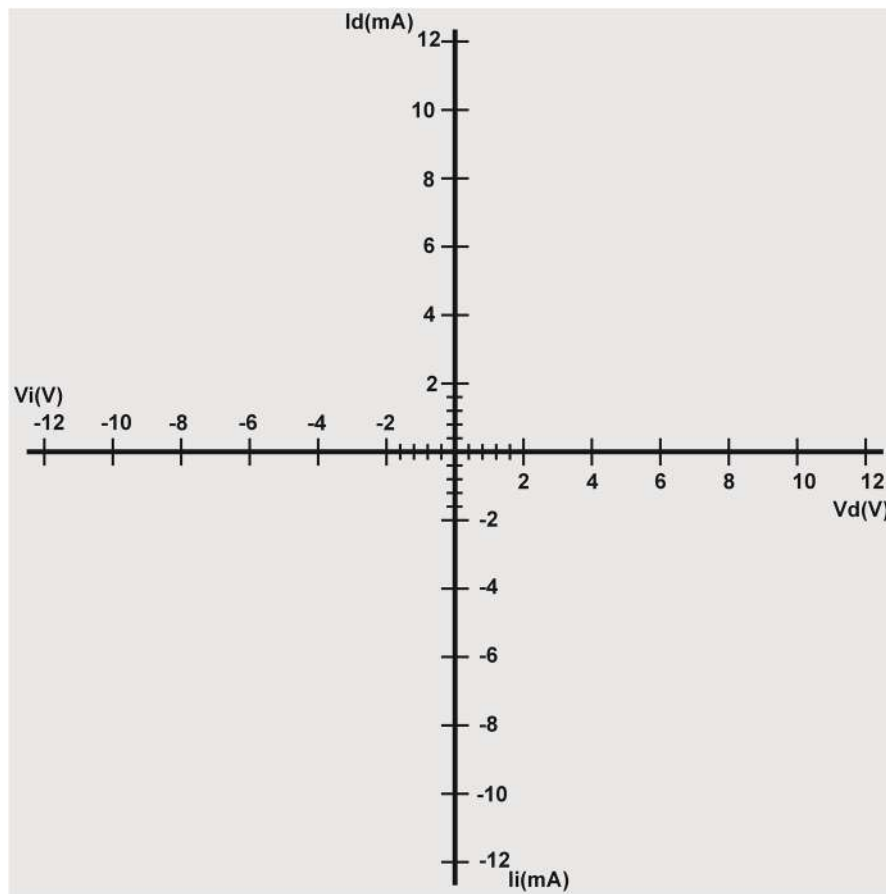
conoces el valor de la tensión en R1 (VR1) y también su valor en ohmios (1K) puedes calcular el valor de I. Es más rápido y seguro. Completa la siguiente tabla.

POLARIZACIÓN DIRECTA DEL ZENER																	
VA	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VD1																	
VR1																	
I																	

Ahora cambia la polarización. Puedes dar la vuelta al diodo o bien cambiar los terminales de alimentación. Completa nuevamente la tabla.

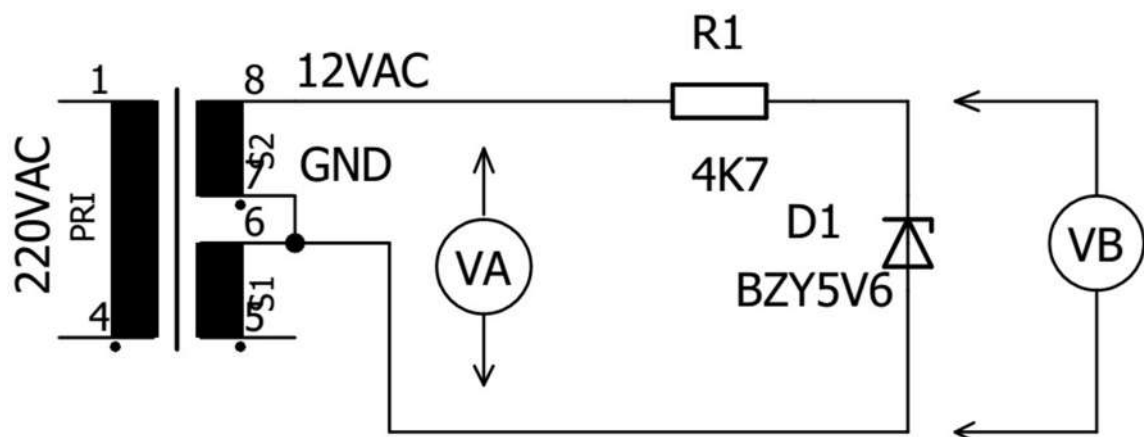
POLARIZACIÓN INVERSA DEL ZENER																	
VA	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VD1																	
VR1																	
I																	

Los valores obtenidos en ambas tablas los puedes trasladar a la gráfica siguiente. Los de polarización directa los pones en el cuadrante superior derecho y los de polarización inversa en el cuadrante inferior izquierdo. Une los puntos y obtendrás la curva característica del diodo zener.



P3-3 Recorte de picos con zener

Con los dos circuitos anteriores queda comprobado el efecto estabilizador de un diodo zener cuando se le aplica una tensión de corriente continua (DCV). ¿Qué pasa si le aplicamos una tensión de corriente alterna (ACV)? Vete montando el circuito de la figura.

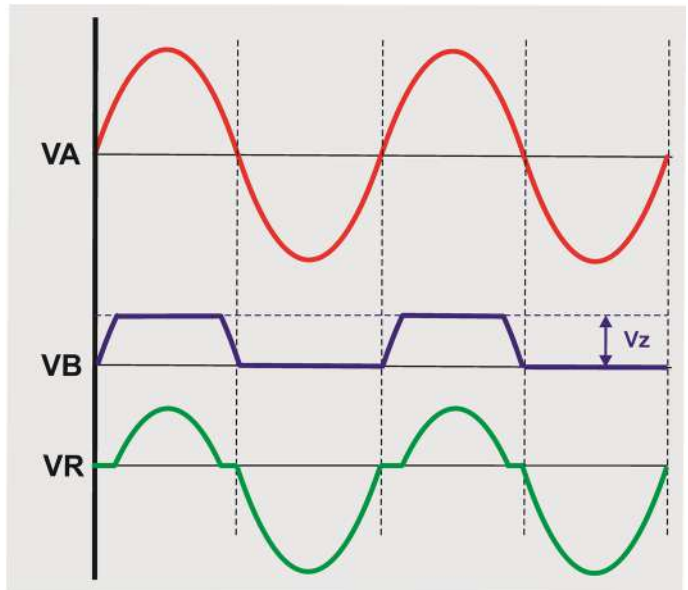


En este caso el diodo zener tiene un efecto "recortador" de los picos de esa tensión alterna. Cuando llega el semiciclo que polariza al zener directamente, éste se

comporta como un diodo normal, conduce, se queda con su tensión de umbral de unos 0.8V, y el resto se queda en la resistencia de absorción.

En el semiciclo contrario el zener queda inversamente polarizado. Se mantiene bloqueado hasta que la tensión alterna supera la de zener. A partir de este momento conduce, se queda con su tensión de zener y el resto de la tensión se entrega a la resistencia de absorción. A ver si la gráfica de la figura te ayuda a comprender la idea.

Resumiendo. En la imagen, el semiciclo positivo de la tensión de entrada (V_A) polariza inversamente al zener. En la salida (V_B), en las patillas del mismo, se queda toda la tensión aplicada mientras esta sea inferior a la tensión zener (V_Z). Cuando se supera, el diodo conduce, se queda con esa tensión (V_Z) y la tensión restante, el pico, se queda en la resistencia de absorción (V_R).

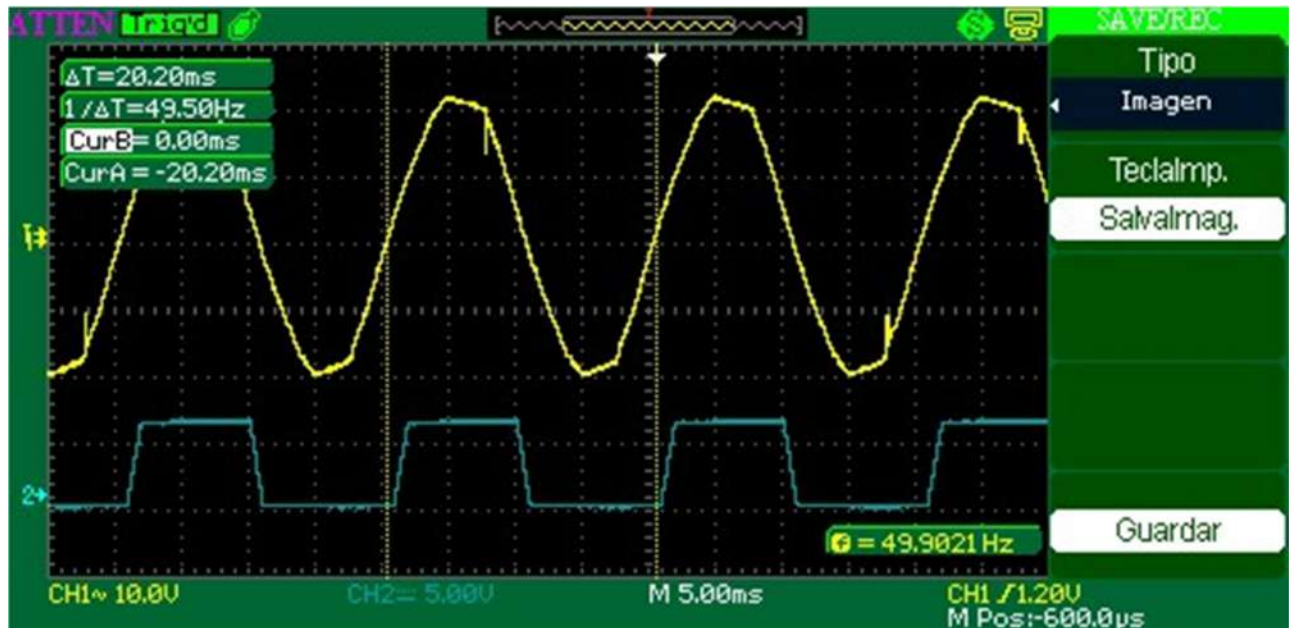


En el semiciclo negativo de la imagen el diodo está directamente polarizado. Superada la tensión de umbral, de tan solo unos 0.8V, el diodo conduce y prácticamente todo el semiciclo se lo queda la resistencia de absorción (V_R).

La tensión alterna de entrada en V_A queda recortada en la salida V_B . Mira la imagen que nos ofrece nuestro osciloscopio. El trazo amarillo se corresponde con la señal de la tensión alterna de entrada (V_A). El mando VOLTS/DIV de CH1 se encuentra en 10.0 V/división. Como la señal ocupa 4 divisiones la tensión de entrada es de 40 Vpp.

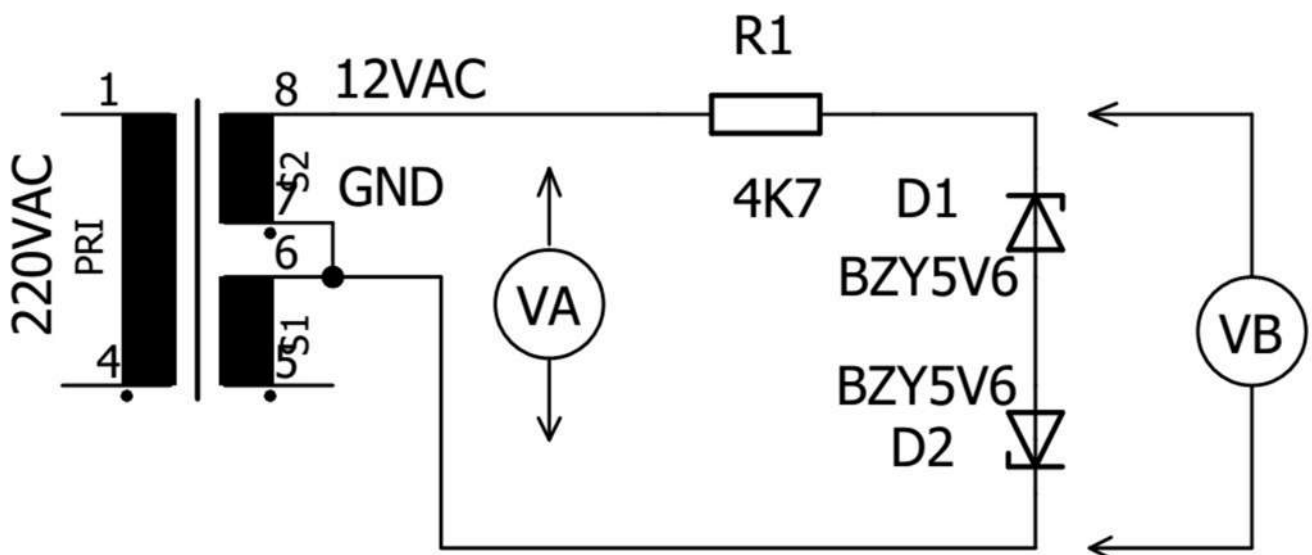
El trazo azul es la señal recortada de salida en las patillas del diodo zener (V_B). El mando VOLTS/DIV de CH2 se encuentra en 5.0 V/división. Como la señal ocupa aproximadamente 1,2 divisiones, su valor es de unos 6Vpp. Recuerda que el zener era de 5.6V.

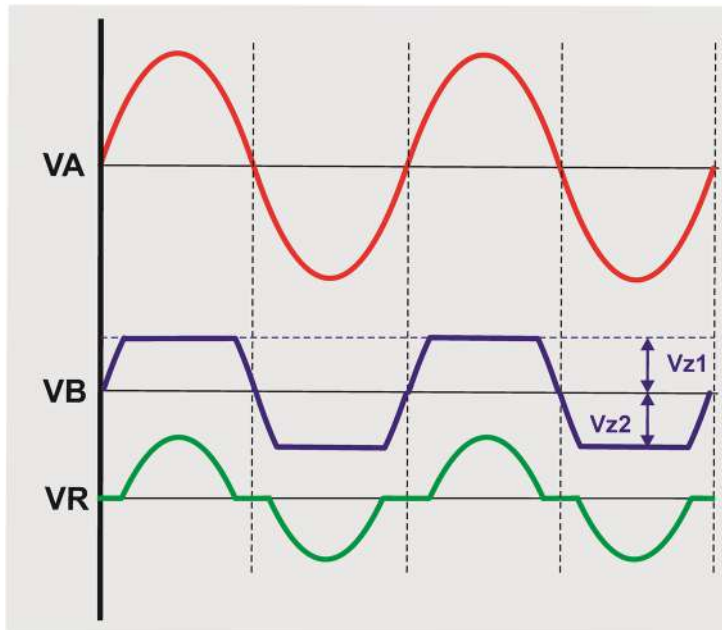
El mando TIME/DIV se encuentra en 5.0 ms/división. Como ambas señales ocupan 4 divisiones, el periodo T de las mismas es de 20 ms y su frecuencia F de 50 Hz, la de la red eléctrica.



Casi sin quererlo hemos convertido una señal sinusoidal en otra señal cuadrada similar a la que se usa en los circuitos digitales.

Vamos a experimentar ahora con el siguiente circuito en el que se emplean dos diodos zener en serie pero en oposición.

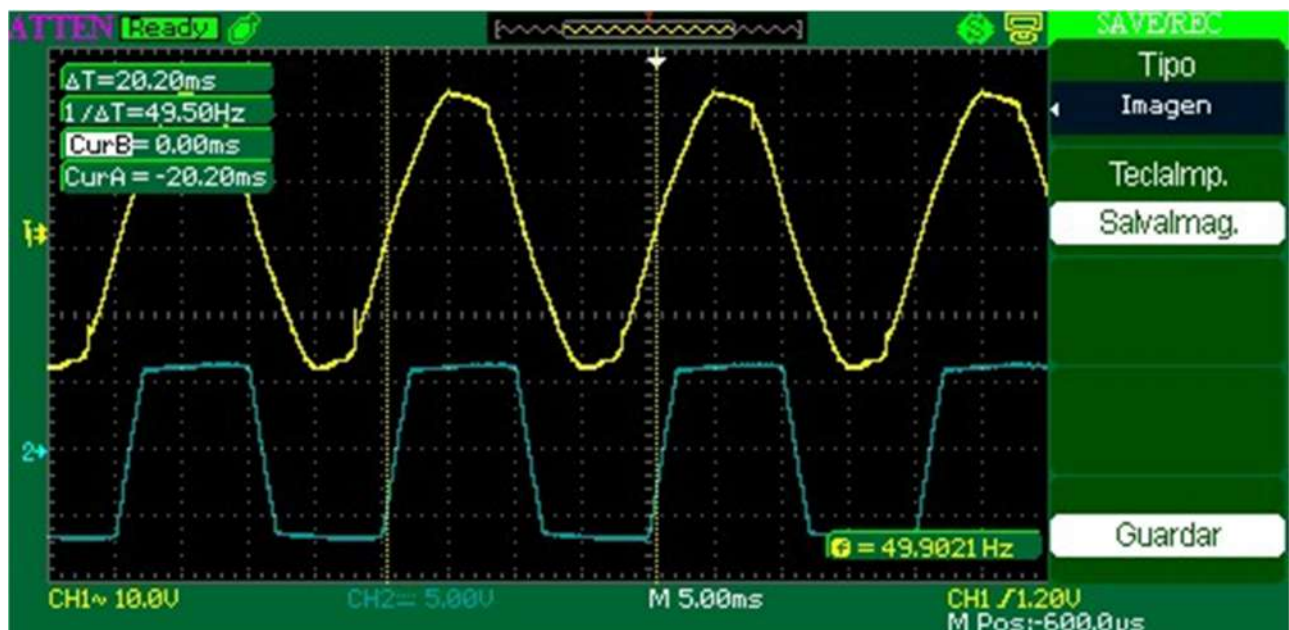




Su funcionamiento es fácil de deducir y no queremos abusar de tu paciencia. Cada semiciclo será recortado por uno de los dos diodos zener cuando se alcance la correspondiente tensión V_z . En la resistencia de absorción aparecerán los picos de los dos semiciclos con la tensión restante.

En la imagen tienes el resultado que nos muestra nuestro osciloscopio al

medir las señales de las tensión de entrada en V_A y la de salida en V_B .

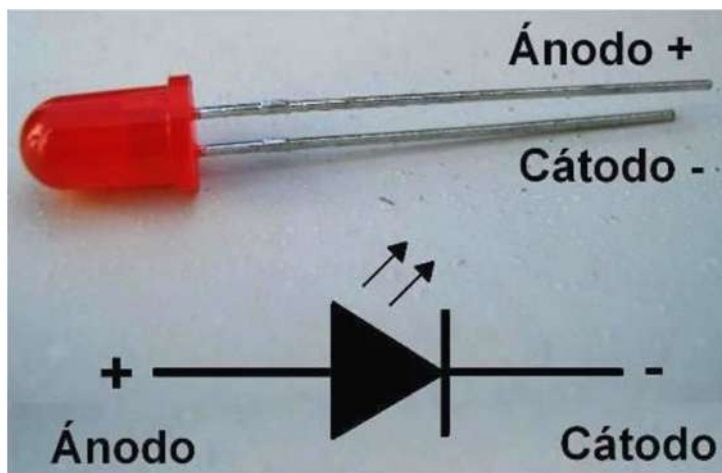


Teniendo en cuenta que los mandos VOLTS/DIV y TIME/DIV tienen la misma selección, compara este oscilograma con el anterior para que veas la diferencia.

P4: DIODOS LED

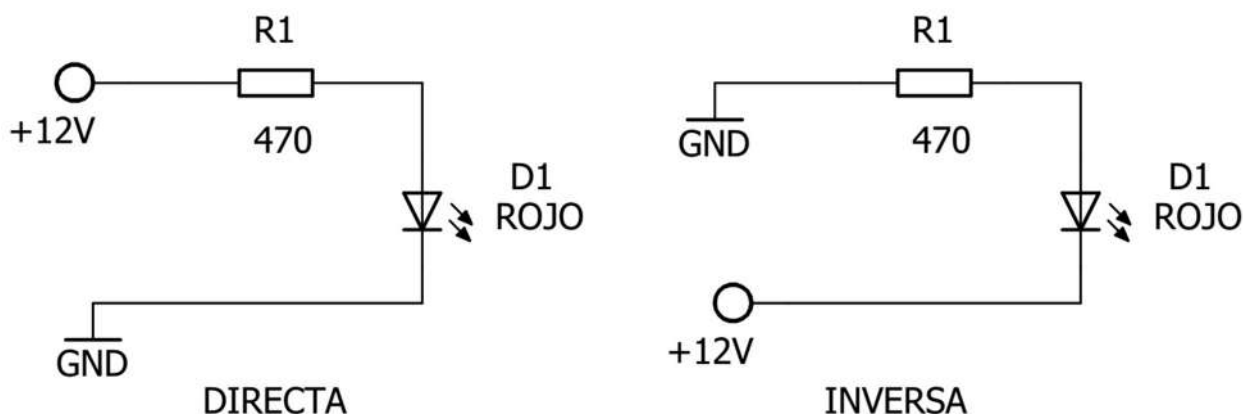
Son diodos semiconductores capaces de emitir luz (Light Emitting Diode) cuando se les polariza directamente. Se comercializan de diferentes formas, tamaños y colores, así como en diferentes espectros: luz visible, infrarrojo, ultravioleta y láser.

En la imagen puedes ver el símbolo y su aspecto clásico. De una u otra forma el fabricante siempre nos indica cuál de las dos patillas se corresponde con el cátodo. En el modelo de la imagen, la patilla más corta se corresponde con él, y debe tener un potencial negativo respecto al ánodo.



P4-1 Polarización directa/inversa

Aquí tienes el esquema típico de montaje de un led de color rojo (o de cualquier otro). A la izquierda lo puedes ver en polarización directa (encendido) y a la derecha en polarización inversa (apagado). Monta el circuito y completa la tabla midiendo VR1, VD1 y calculando la intensidad I , tanto en directa como en inversa.



	TEORICO			PRÁCTICO		
	VR1	VD1	I	VR1	VD1	I
DIRECTA						
INVERSA						

Ejercicio 7: Cálculo de un circuito con led

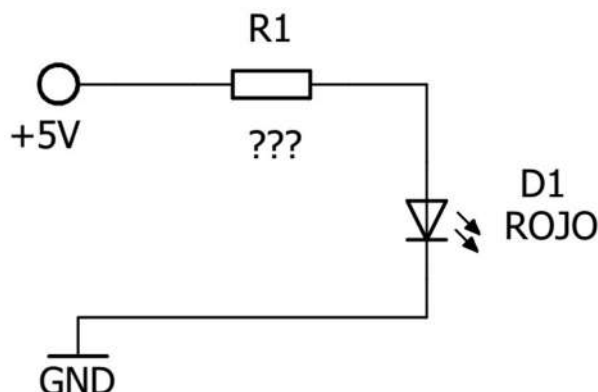
De la misma forma que en el circuito anterior el led se alimenta a partir de una tensión de +12V, se puede alimentar con cualquier tensión. Lo único que cambia es el valor de la resistencia de absorción (R1), que habrá que calcularla para cada caso. Para ello necesitamos conocer:

- Tensión de alimentación que se va a usar (VDD)
- Tensión de umbral que precisa el diodo entre su ánodo y cátodo (VAK). Este valor lo proporciona el fabricante del led y puede variar en función del tamaño y color.
- Intensidad que atraviesa el led para que luzca con un determinado brillo (I). Este valor lo proporciona el fabricante del led y puede variar en función del tamaño y color.

Para calcular el valor de R, basta con aplicar la siguiente ecuación:

$$R = \frac{VDD - VAK}{I} = \text{-----} = \Omega$$

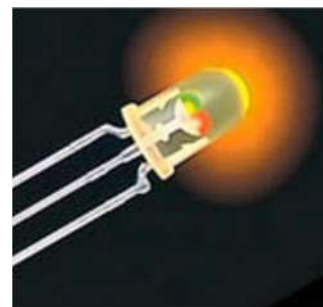
Con todo ello, supongamos un diodo led rojo cuya VAK = 1,5V e I = 25 mA. Calcula el valor de R1 según el circuito de la figura. De entre todas las que dispongas elige la resistencia cuyo valor sea el inmediato superior al calculado. Se hace por seguridad. Monta el circuito y Pruébalo. Completa la tabla adjunta.



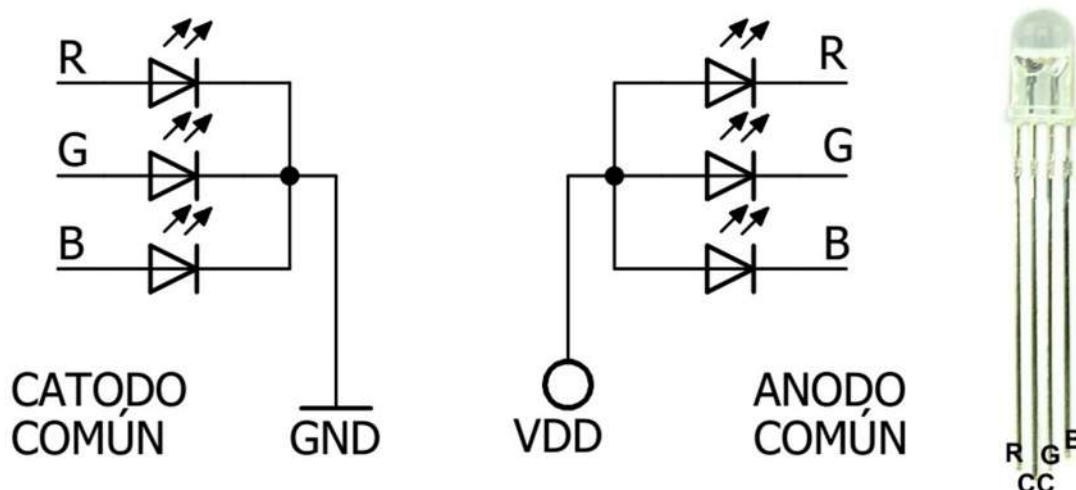
	TEORICO			PRÁCTICO		
	VR1	VD1	I	VR1	VD1	I
DIRECTA						

P4-2 El Led RGB

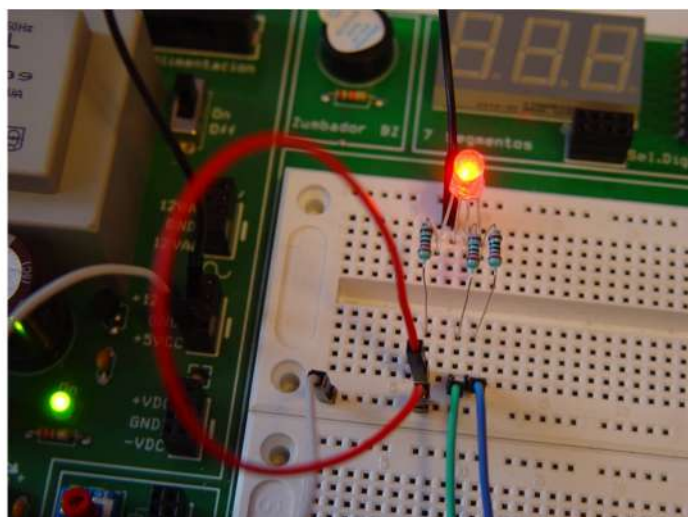
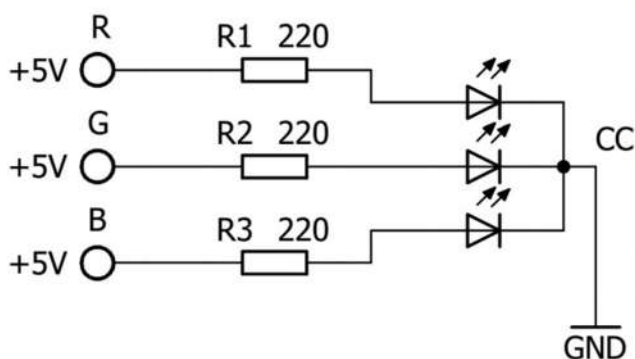
Puedes encontrar leds de diferentes colores: rojo, ámbar, verde, azul o blanco. Incluso puedes encontrar varios leds integrados en una misma cápsula: rojo/verde, rojo/azul o rojo/verde/azul. Vamos a practicar con estos últimos, los conocidos como leds RGB (**R**ed/**G**reen/**B**lue).



Los puedes encontrar en configuración de cátodo común (CC), a la izquierda de la imagen, o en ánodo común (AC), en el centro. El que se propone en prácticas es de cátodo común y la distribución de sus patillas dentro de su encapsulado la tienes a la derecha de la imagen: R-CC-G-B.



Monta el circuito del esquema.

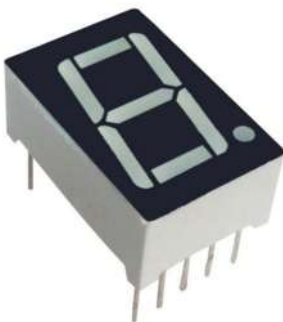


Te sugiero que emplees un cable de color negro para conectar el cátodo común con GND. Con tres cables de colores rojo, verde y azul irás conectando secuencialmente cada uno de los ánodos R, G y B a la tensión de +5V a través de las resistencias de 220 Ω .

Completa la siguiente tabla. Para ello vas a ir conectando/desconectando (ON/OFF) cada uno de los ánodos a la tensión de +5V según se indica. Anota el color que ves en cada caso.

CONEXIÓN DE LOS ÁNODOS A +5V			COLOR VISIBLE
R (rojo)	G (verde)	B (Azul)	
OFF	OFF	OFF	
ON	OFF	OFF	
OFF	ON	OFF	
ON	ON	OFF	
OFF	OFF	ON	
ON	OFF	ON	
OFF	ON	ON	
ON	ON	ON	

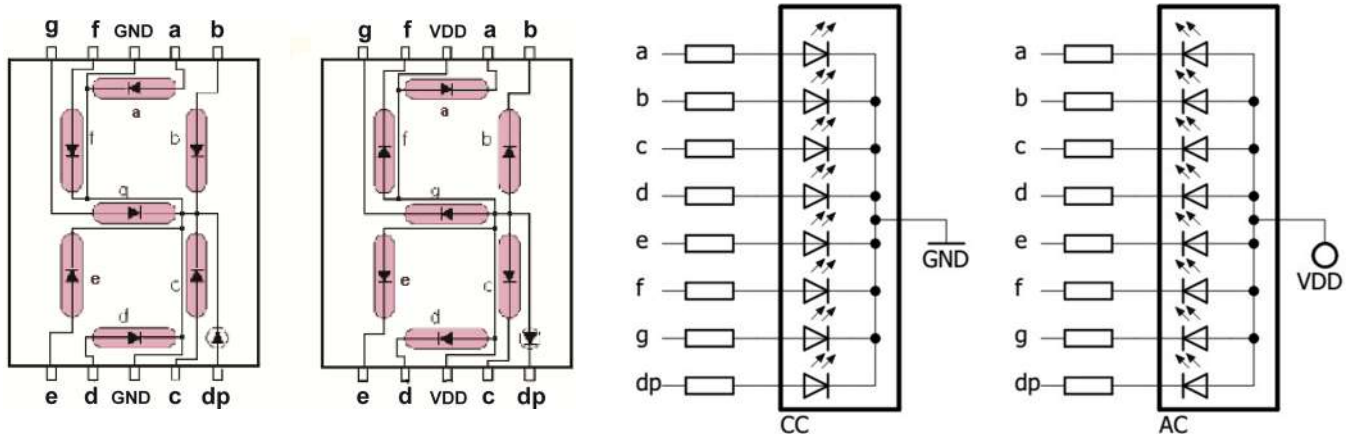
P4-3 Display 7 segmentos



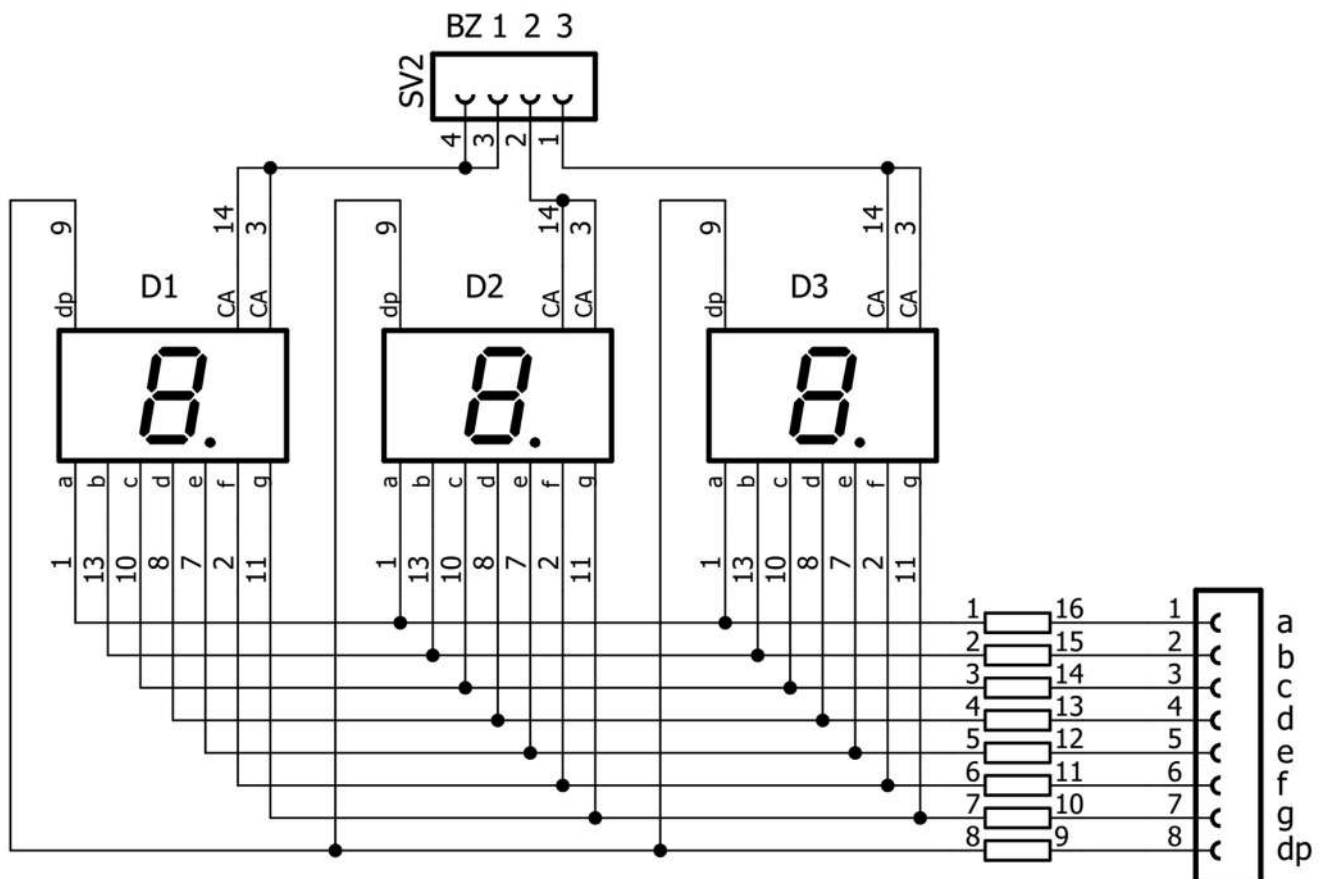
Consiste en un dispositivo en cuyo interior se integran 7 u 8 diodos leds en forma de raya o segmento y distribuidos de forma estratégica, como puedes ver en la imagen. Combinando el encendido/apagado de cada segmento el dispositivo puede representar cualquier dígito del 0 al 9 e incluso algunos símbolos y letras.

De forma similar a los leds RGB, nos podemos encontrar con displays de ánodo común (AC) o de cátodo común (CC) y de diferentes tamaños y colores. Por otra parte a cada segmento individual se le identifica mediante letras que va desde la "a" hasta "dp" ("decimal point").

En la imagen puedes ver la conexión interna de todos los segmentos dentro de un display tanto de cátodo común como de ánodo. También puedes ver una representación simplificada de los mismos.



En el esquema siguiente tienes las conexiones de los tres displays del entrenador Universal Trainer. Aunque los segmentos de los tres están conectados en paralelo, cada display se controla individualmente mediante su correspondiente ánodo: D1, D2, D3. Al ser de ánodo común cada ánodo se conecta con una tensión positiva respecto a los cátodos.



Para experimentar de forma sencilla con ellos te propongo que conectes los interruptores E7-E0 del entrenador con los segmentos dp - a de los displays. Como estos segmentos se corresponden con los cátodos, debes orientar hacia abajo el interruptor

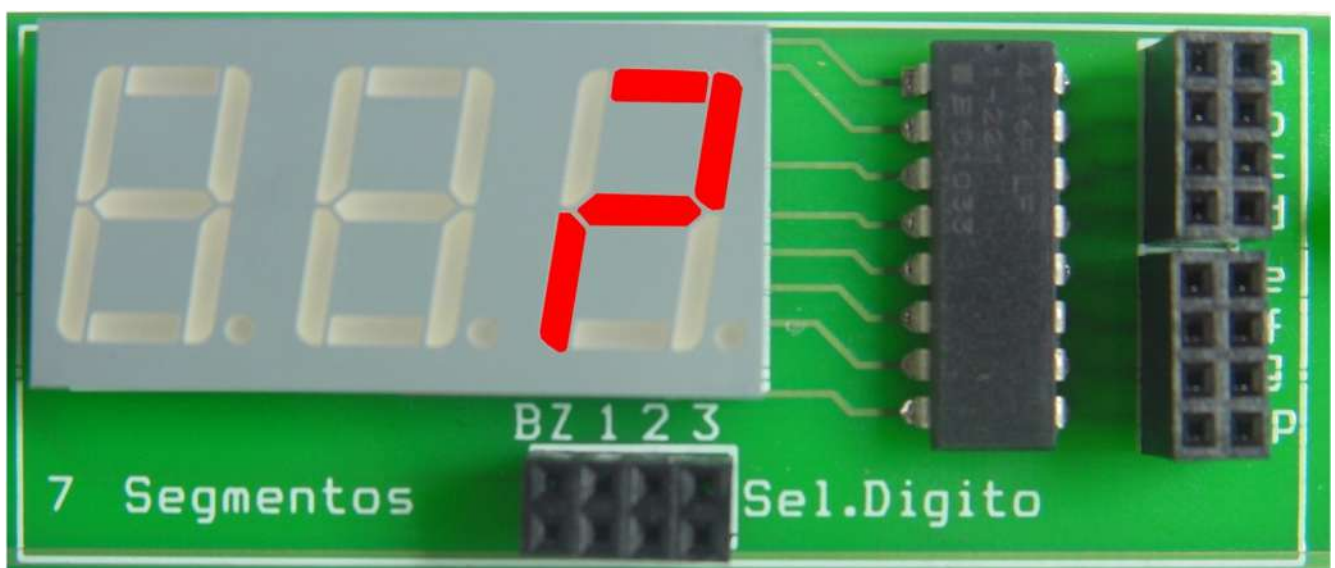
cuyo segmento deseas iluminar para que le aplique así una tensión negativa respecto al ánodo. Recuerda. Interruptor hacia abajo segmento activado (ON).

El ánodo común del display con el que vayas a experimentar (1, 2 o 3) lo debes conectar con la tensión positiva de +5V.

Ejercicio 8: Visualización de símbolos

Con ayuda de los interruptores combina el encendido/apagado (ON/OFF) de los segmentos de cualquiera de los tres displays para que muestre los símbolos propuestos en esta tabla.

SIMBOLO	INTERRUPTORES / SEGMENTOS							
	E7 (dp)	E6 (g)	E5 (f)	E4 (e)	E3 (d)	E2 (c)	E1 (b)	E0 (a)
4								
A								
8								
6								
b								
1								
-								
o								
c								
?								



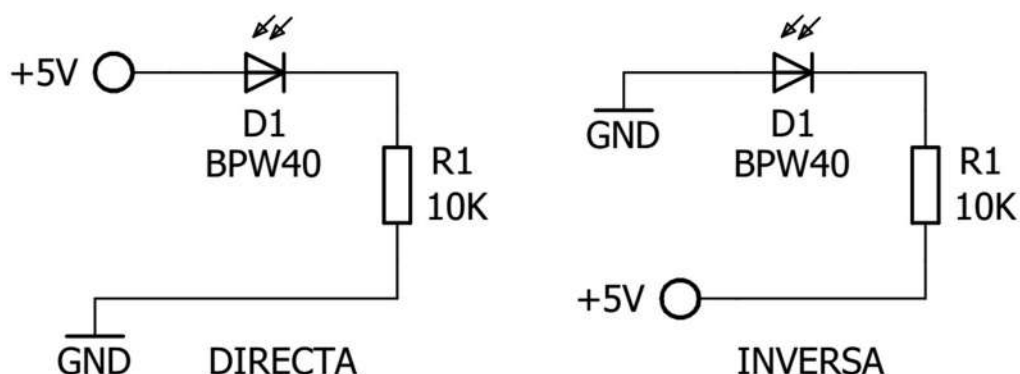
P4-4 Foto detectores



De la misma manera que un led es un dispositivo que emite luz, también hay dispositivos que son sensibles a la luz. Los vamos a llamar "foto detectores". La luz es una forma de energía. Cuando incide sobre uno de estos dispositivos provoca una rotura de enlaces, aumenta el número de portadores libres y con ello la intensidad que circula a su través.

Los puedes encontrar en forma de foto diodos o foto transistores de diferentes formas, tamaños y sensibles a diferentes tipos de luz: visible, infrarroja, ultravioleta y láser. Hoy en día los puedes encontrar sustituyendo a las antiguas células LDR ya que tienen una mayor velocidad de respuesta.

En esta ocasión vamos a usar el modelo BPW40 o equivalente. Aunque realmente se trata de un foto transistor, a efectos prácticos lo vamos a tratar como si fuera un foto diodo pero con un detalle importante: **polarizado directamente** apenas conduce, independientemente de la luz existente. Cuando se le **polariza inversamente** el paso de intensidad a su través depende de la cantidad de luz visible que incide sobre él. Monta el siguiente circuito experimental. Utiliza una linterna o similar para iluminar el dispositivo y completa la tabla.



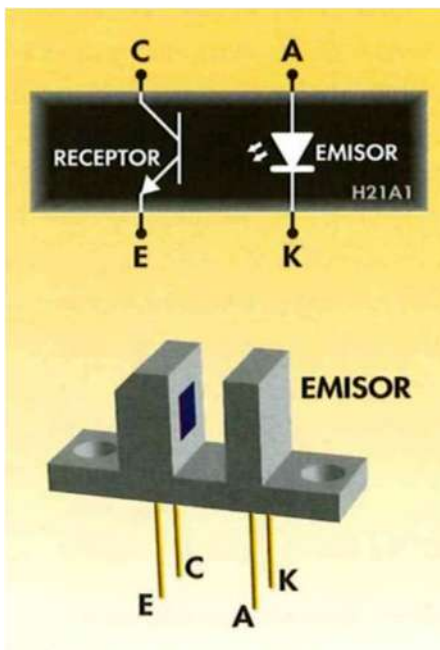
	CON LUZ			SIN LUZ		
	VR1	VD1	I	VR1	VD1	I
DIRECTA						
INVERSA						

Observarás que en polarización directa la luz o su ausencia apenas producen variaciones. En polarización inversa las variaciones con luz o sin ella, en oscuridad, son muy notables.

P4-5 Sensor de corte

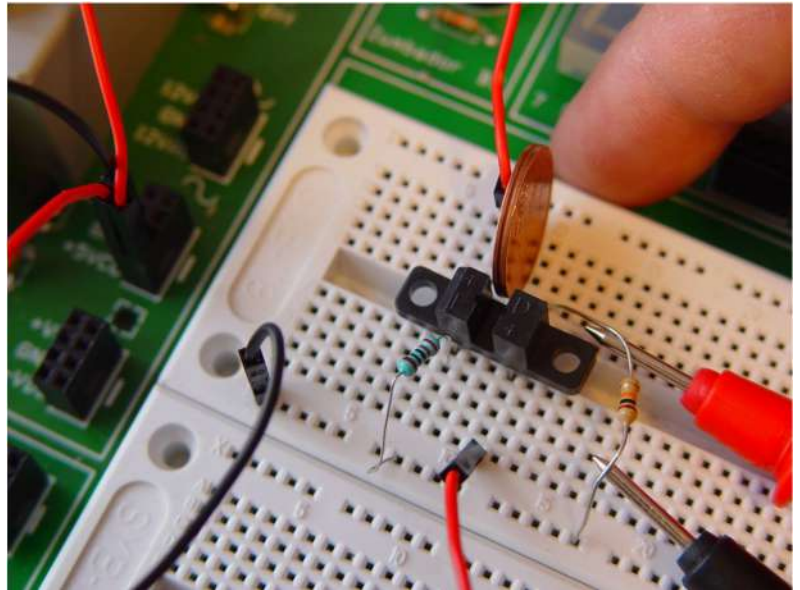
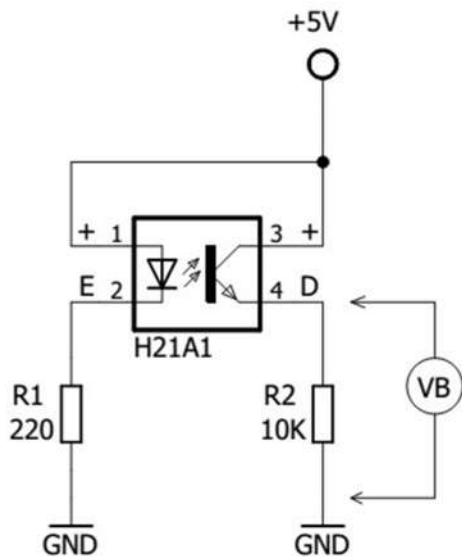
Si por un lado tenemos emisores de luz (led) y por otro tenemos receptores (foto detectores), juntando ambos podemos crear dispositivos que en términos generales se les conoce como "sensores opto electrónicos".

Los puedes encontrar en infinidad de formas y tamaños según la utilidad a la que estén destinados, pero su funcionamiento es similar. En este apartado vamos a hablar de los sensores de corte, concretamente del conocido modelo H21A1 o equivalente.



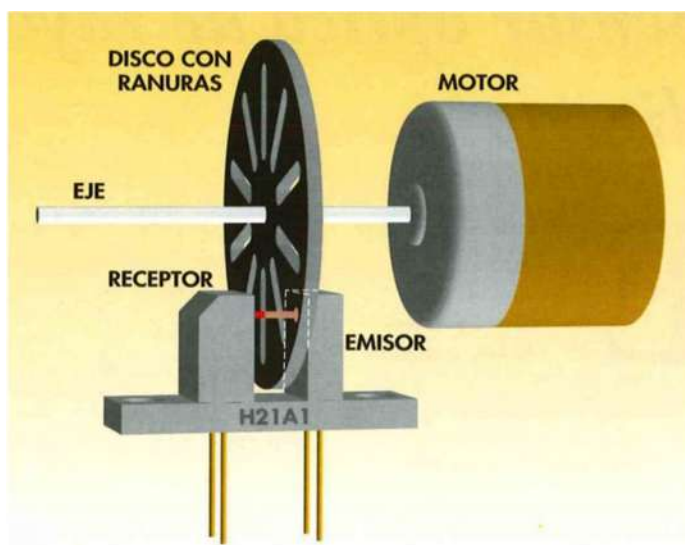
Consta de un diodo emisor de luz (normalmente infrarrojo) y un foto detector (también infrarrojo). Funciona como un interruptor accionado por la luz. Efectivamente, el emisor emite luz que es recogida por el receptor. Este conduce dejando pasar una fuerte intensidad a su través. Interruptor en ON. Si el haz de luz es interrumpida mediante un objeto opaco insertado entre el emisor y el receptor, este se bloquea cesando el paso de intensidad. Interruptor en OFF.

Este puede ser el esquema de un montaje práctico con el sensor de corte H21A1 (o similar). No hay grandes novedades. El diodo emisor está polarizado directamente a través de la resistencia de absorción R1. Emite luz. Si esa luz llega al foto detector, se produce un fuerte paso de intensidad a través de él y de la resistencia R2 (ON). En sus extremos aparece una tensión VB próxima a los +5V. Si un objeto se interpone entre el emisor y el receptor éste se bloquea (OFF), desaparece el paso de intensidad a su través y la tensión en VB cae a 0V. Monta el circuito y pruébalo.



Cuando hagas el montaje realiza las medidas y cálculos sugeridos en la tabla. Utiliza una moneda u otro objeto para cortar o no el paso de luz entre el emisor y el detector. Prueba con un objeto opaco y otro transparente.

TIPO DE OBJETO	NO SE INTERRUMPE		SE INTERRUMPE	
	VR2	I	VR2	I
OPACO				
TRANSPARENTE				



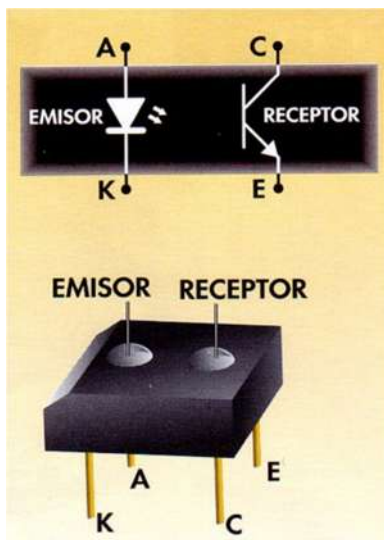
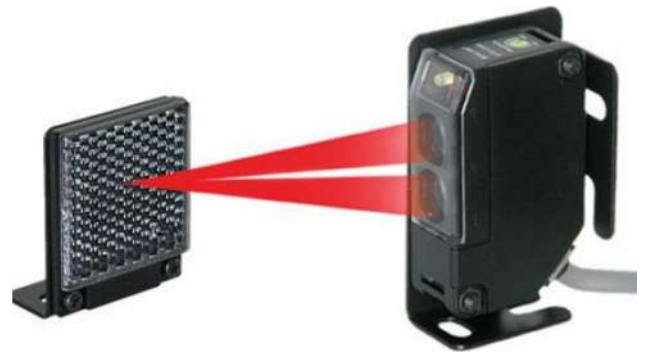
Una aplicación típica de un sensor de corte es la conocida como "encoder". En el eje de un motor se coloca un disco con ranuras que se introduce sobre el detector de corte.

Cuando el motor gira el sensor genera una señal compuesta de los pulsos que se producen por cada ranura que deja pasar la luz.

Con el tratamiento apropiado de esa señal a base de pulsos, es posible determinar cuánto a girado el eje del motor y a qué velocidad.

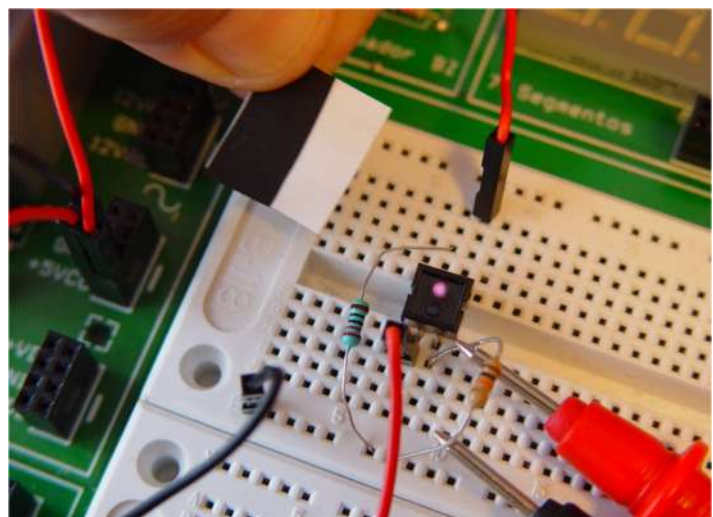
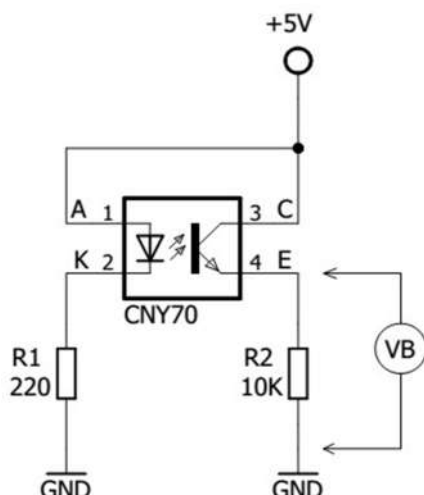
P4-6 Sensor de reflexión

Acabamos con los dispositivos optoelectrónicos presentando los sensores de reflexión. Al igual que los anteriores constan de un emisor de luz (normalmente infrarroja) y de un receptor. Cuando la luz emitida se refleja sobre un objeto, rebota y retorna al detector. Seguro que los has visto en el control de apertura/cierre de puertas de ascensor, garajes, alarmas, etc., para detectar el paso de objetos u objetos y un largo etcétera.



Como viene siendo habitual con todos los dispositivos, puedes encontrar sensores de reflexión de múltiples formas y tamaños que se adaptan a todo tipo de aplicaciones. En nuestro caso vamos a usar el popular sensor de reflexión modelo CNY70 o equivalente.

Mira el esquema de montaje y verás que es prácticamente lo mismo que el anterior.



Si frente al sensor no pones objeto alguno o bien pones un objeto oscuro, la luz emitida se dispersa o bien es absorbida. No reflexiona ni retorna por tanto al receptor. La intensidad que circula es muy pequeña y la tensión de salida en VB se aproxima a 0V.

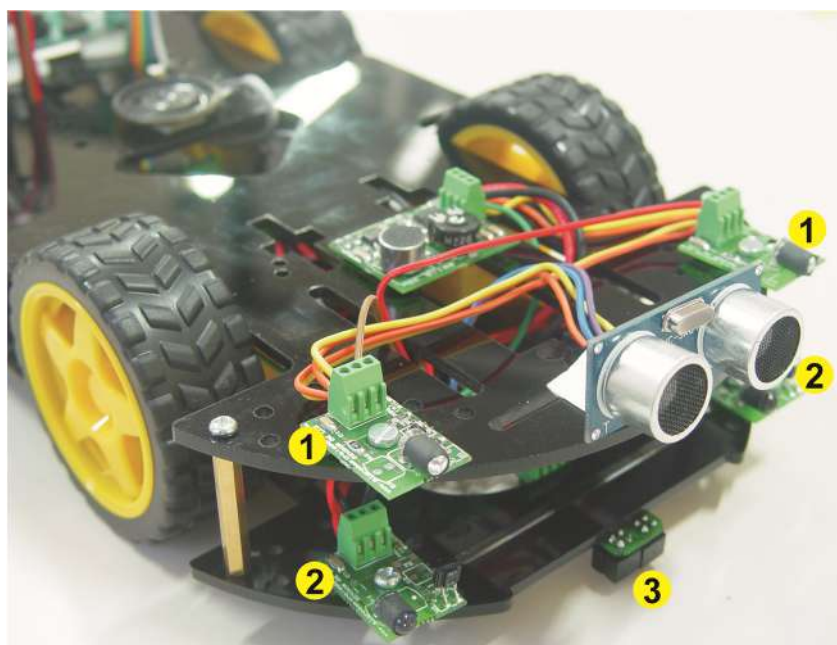
Al colocar un objeto claro la luz emitida se refleja y retorna al receptor. Se produce un fuerte paso de corriente y la tensión en la resistencia R2 (VB) se aproxima a la máxima, +5V.

Monta el circuito y, con ayuda de una cartulina negra/blanca o similar, prueba su funcionamiento, realiza las medidas oportunas y completas la tabla.

OBJETO BLANCO		OBJETO OSCURO		SIN OBJETO	
VR2	I	VR2	I	VR2	I

Atención. Este sensor es muy pequeño y de poco alcance por lo que la distancia máxima respecto al objeto no debe ser superior a unos 5 mm.

En la imagen tienes una aplicación real, el robot Ardubot de MKE (www.mkelectronica.com), que emplea diferentes sensores opto electrónicos.



1. Sensores de luz basados en el foto detector BPW40.

2. Sensores de reflexión para detectar obstáculos. Cada uno consta de un emisor y un receptor de luz infrarroja.

3. Sensor de reflexión basados en el dispositivo CNY70. Son capaces de detectar que el robot se desplaza siguiendo una línea negra sobre fondo blanco (o viceversa).

P5: SEMICONDUCTORES ESPECIALES

Aunque no son diodos propiamente dichos, vamos a tratar con dispositivos que por su funcionamiento y/o tipo de aplicaciones a la que están dirigidos, se parecen bastante. Estamos hablando de los Tiristores y TRIACS.

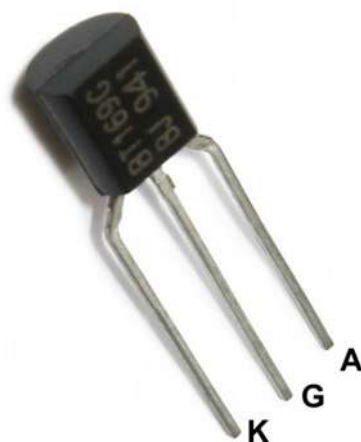
P5-1 El Tiristor en corriente continua

También se le conoce como SCR (Silicon Controlled Rectifier) o rectificador controlado de silicio. Al igual que un diodo dispone de dos electrodos: el ánodo (A) y el cátodo (K), pero además dispone de un tercero llamado "Puerta" de disparo o "Gate" (G).

Para que un tiristor conduzca no basta con aplicar una tensión de polarización directa entre el ánodo y el cátodo (VAK), también hay que aplicar una tensión positiva de unos 0.8 V por la patilla G de disparo (VG). En ese momento conduce (ON), deja pasar el máximo de intensidad, y entre ánodo y cátodo se queda con una pequeña parte de la tensión directa aplicada (VAK). El resto, la mayor parte, se entrega a la carga.



Una vez activado (ON), la tensión de disparo en la patilla G (VG) ya no es necesaria. Se puede eliminar ya que mientras se mantenga la polarización directa VAK el tiristor seguirá activado.

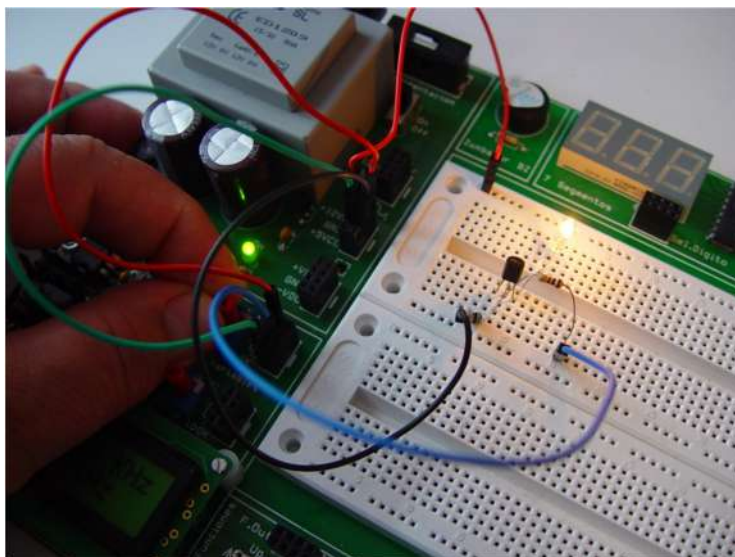
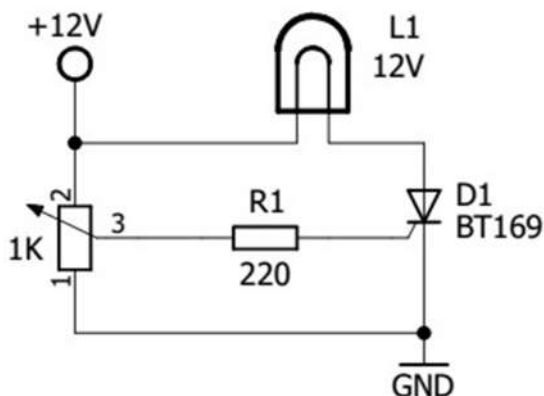


Puedes imaginar que en el mercado hay infinidad de modelos de tiristores que se adaptan a todo tipo de necesidades. En nuestro caso vamos a trabajar con un muy económico como es el modelo BT169G (o equivalente) cuyo patillaje tienes en la imagen. Sus características más relevantes son:

- Tensión de ruptura directa/inversa (VDRM/VRRM) = 600 V
- Corriente (IT) = 0.8 A

- Corriente de disparo (IGT) = 15 - 50 μA
- Corriente de mantenimiento (IH) = 0,4 mA

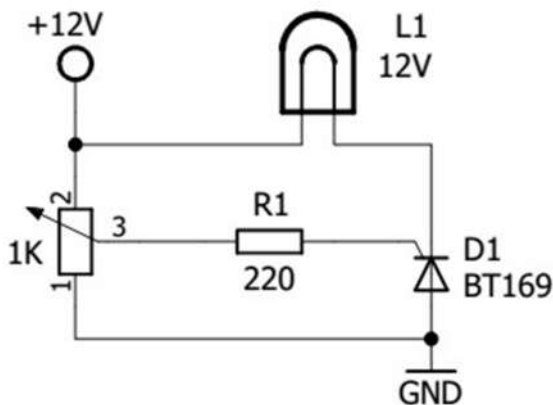
Este sencillo circuito en polarización directa te permitirá experimentar y comprobar el funcionamiento del tiristor en corriente continua.



Sigue en orden y con cuidado los pasos que se indican. Realiza las medidas en cada uno de ellos y luego analízalos. Sacarás tus propias conclusiones.

PASO	DESCRIPCIÓN	VG	VAK	VL1
1	Mueve el potenciómetro de 1K a un extremo o al otro de forma que al conectar la alimentación del entrenador la lámpara quede apagada. El tiristor está bloqueado (OFF). Haz las medidas			
2	Mueve muy suavemente el potenciómetro justo hasta el punto en el que se enciende la bombilla. Hay tensión VG de disparo y el tiristor está conduciendo (ON). Repite las medidas.			
3	Mueve el potenciómetro a la posición inicial para eliminar la tensión VG de disparo. El tiristor se debe mantener activado (ON) y la bombilla encendida. Repite nuevamente las medidas.			
4	En esta situación apaga el entrenador y vuélvelo a encender. El tiristor aparece ahora bloqueado (OFF) y la bombilla apagada. Al apagar el entrenador eliminamos también la polarización directa VAK. En esta situación medir nuevamente			

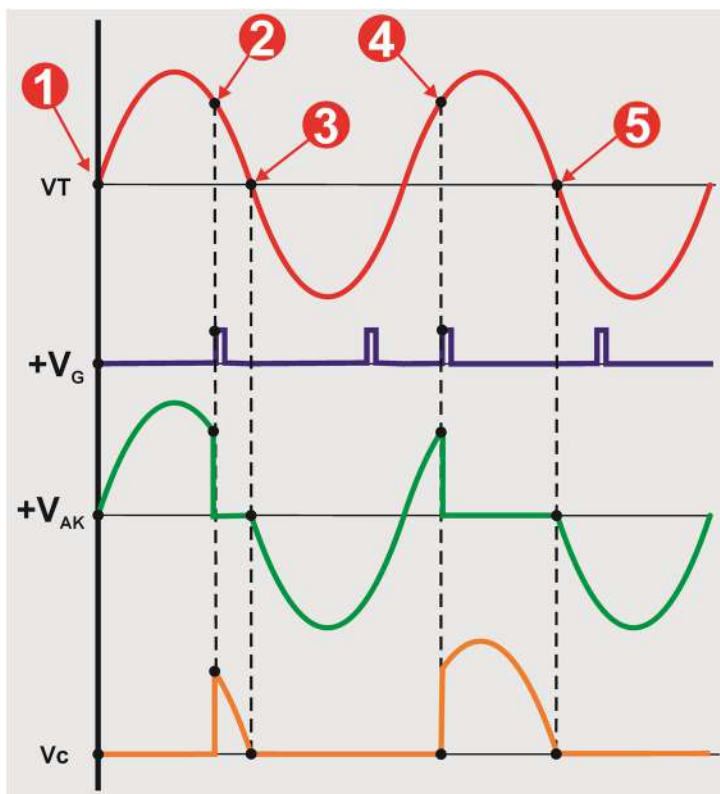
El tiristor no se activará hasta que no reciba una nueva señal de disparo V_G .



Presta atención al siguiente esquema. El tiristor ahora está polarizado de forma inversa. Pues bien, móntalo y vuelve a repetir los mismos pasos de la tabla anterior (o al menos inténtalo).

P5-2 El Tiristor en corriente alterna

Es la forma más habitual de emplear a un tiristor. Ya sabemos que en polarización inversa no conduce nunca, luego rectifica. Por otra parte en polarización directa conduce cuando se aplica una tensión de disparo o cebado por la puerta (V_G). Esto se resume en la siguiente gráfica.



1. Empieza el semiciclo positivo. Polarización directa. El tiristor se mantiene en OFF. La tensión en la carga (V_c) es nula.

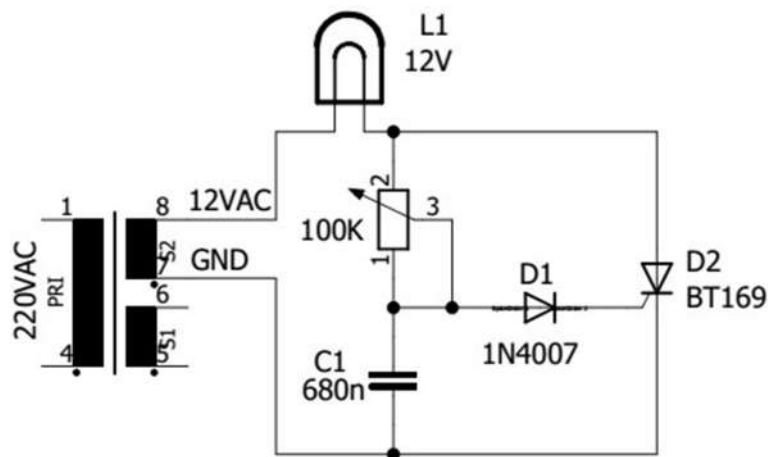
2. Se aplica señal de disparo (V_G). El tiristor se activa (ON) y a la carga se le aplica la parte restante del semiciclo.

3. Comienza el semiciclo negativa. Polarización inversa y tiristor en OFF.

4. Nuevo semiciclo positivo que coincide con señal de disparo. El tiristor conduce y la carga recibe una mayor parte de ese semiciclo.

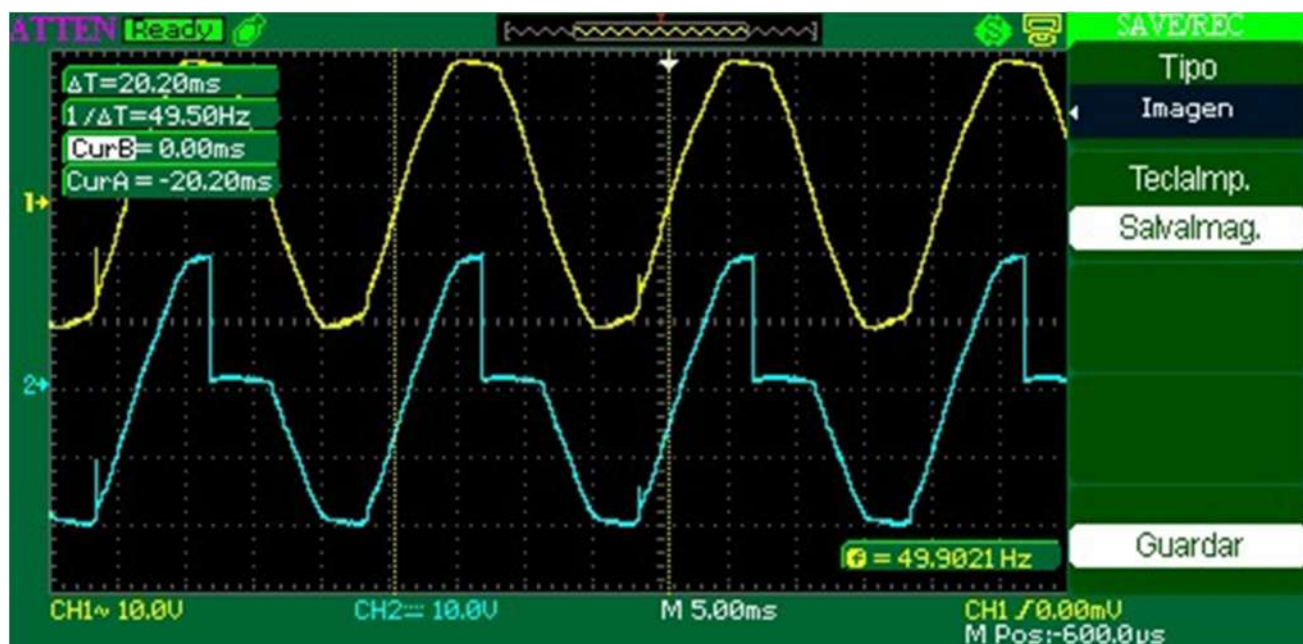
5. Polarización inversa

Monta el circuito según el esquema. El potenciómetro y el condensador C1 forman un circuito capacitivo RC. La carga del condensador se adelanta más o menos respecto a la tensión alterna de entrada (12VAC), en función del valor de la resistencia R del potenciómetro. La señal para el disparo del tiristor (VG) se produce



en cualquier punto del semiciclo positivo, entre los 0° y los 90° , regulando por tanto el momento en el que se activa y con ello la tensión aplicada a la bombilla.

En resumidas cuentas. Moviendo el potenciómetro el disparo se adelanta o retrasa y con ello se regula la potencia aplicada a la bombilla. Esta lucirá más o menos.



En la imagen que muestra nuestro osciloscopio se puede ver en amarillo la tensión alterna aplicada al circuito y en azul la tensión entre el cátodo y el ánodo del tiristor (VAK). Se aprecia claramente que a esta última le falta la mitad del semiciclo positivo. Esto es porque el tiristor está conduciendo en ese punto y se lo está entregando a la bombilla.

P5-3 El TRIAC en corriente continua

Puedes considerar que un TRIAC está formado a partir de dos tiristores en paralelo y en oposición, con una puerta de disparo G en común. Ya no hablamos de ánodo y

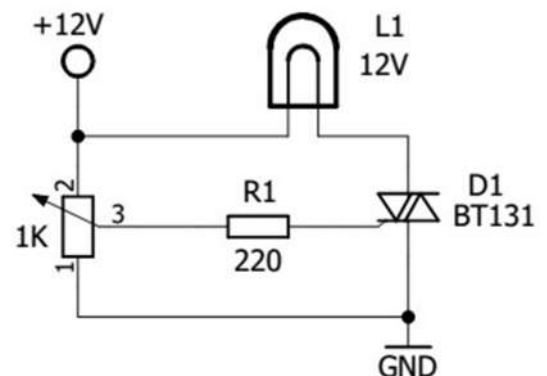
cátodo. La consecuencia inmediata es que un TRIAC puede conducir en ambos sentidos, desde el terminal $A1$ al $A2$ o viceversa, cuando haya señal de disparo V_G y se mantenga la tensión de polarización.

No hay rectificación.

Al igual que con los tiristores, en el mercado puedes encontrar con gran cantidad de modelos diferentes de TRIACs. Nosotros hemos elegido el modelo BT131 que puedes ver en la imagen y cuyas características más relevantes son las siguientes:

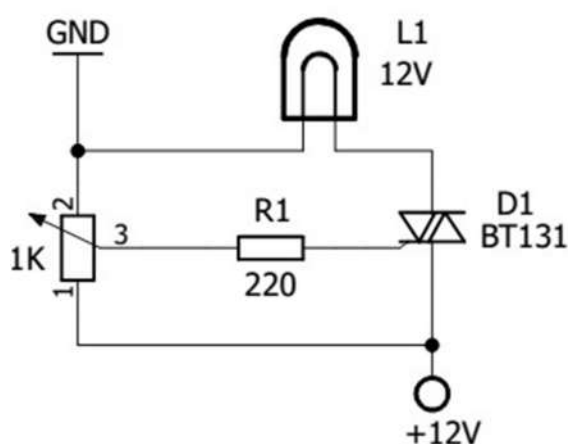
- Tensión de ruptura directa (V_{DRM}) = 600 V
- Corriente (I_T) = 1 A
- Corriente de disparo (I_{GT}) = 3-7 mA
- Corriente de mantenimiento (I_H) = 1.3 mA

El circuito para comprobar el funcionamiento del TRIAC en continua es idéntico al del tiristor. Móntalo y completa la siguiente tabla:



PASO	DESCRIPCIÓN	V_G	V_{AK}	V_{L1}
1	Mueve el potenciómetro de 1K a un extremo o al otro de forma que al conectar la alimentación del entrenador la lámpara quede apagada. El TRIAC está bloqueado (OFF). Haz las medidas			
2	Muy suavemente mueve el potenciómetro justo hasta el punto en el que se enciende la bombilla. Hay tensión V_G de disparo y el TRIAC está conduciendo (ON). Repite las medidas.			

3	Mueve el potenciómetro a la posición inicial para eliminar la tensión V_G de disparo. El TRIAC se debe mantener activado (ON) y la bombilla encendida. Repite las medidas.			
4	En esta situación apaga el entrenador y vuélvelo a encender. El TRIAC aparece ahora bloqueado (OFF) y la bombilla apagada. Al apagar el entrenador eliminamos también la polarización V_{A1-A2} . Repetir las medidas en esta situación.			



Ahora cambia la polaridad de la alimentación como se muestra en el esquema. Donde estaba GND conectas +12V y viceversa, o bien dale la vuelta al TRIAC. Vuelve a completar la tabla y presta atención a alguna posible diferencia en el funcionamiento del circuito.

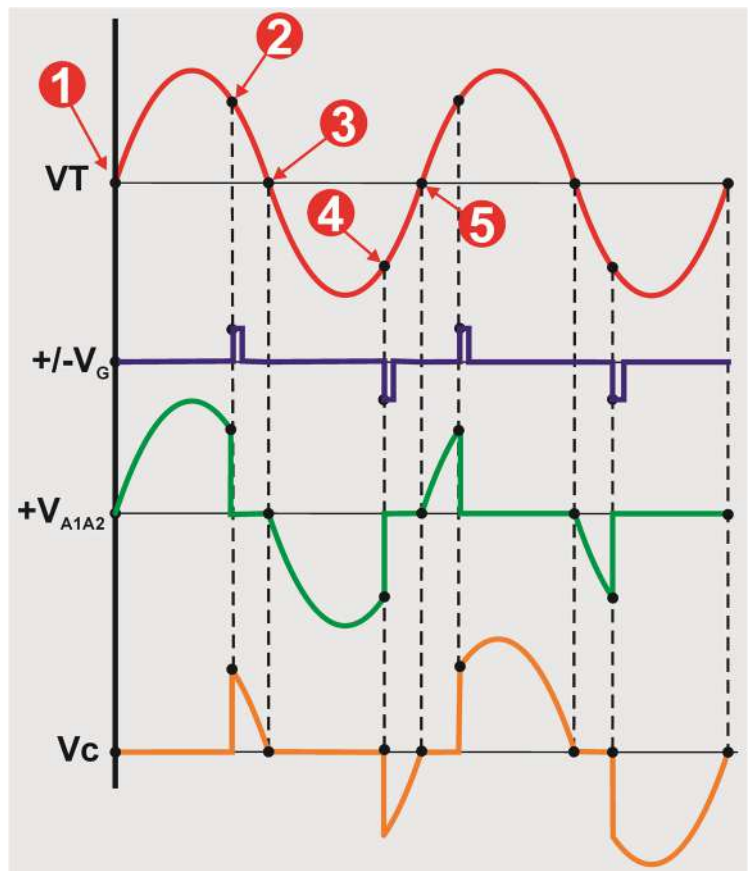
PASO	DESCRIPCIÓN	V_G	V_{AK}	V_{L1}
1	Mueve el potenciómetro de 1K a un extremo o al otro de forma que al conectar la alimentación del entrenador la lámpara quede apagada. El TRIAC está bloqueado (OFF). Haz las medidas			
2	Muy suavemente mueve el potenciómetro justo hasta el punto en el que se enciende la bombilla. Hay tensión V_G de disparo y el TRIAC está conduciendo (ON). Repite las medidas.			
3	Mueve el potenciómetro a la posición inicial para eliminar la tensión V_G de disparo. El TRIAC se debe mantener activado (ON) y la bombilla encendida. Repite.			
4	En esta situación apaga el entrenador y vuélvelo a encender. El TRIAC aparece ahora bloqueado (OFF) y la bombilla apagada. Al apagar el entrenador eliminamos también la polarización directa V_{A1-A2} . Repetir las medidas en esta situación.			

¿Notas la diferencia entre ambas tablas? El potenciómetro funciona a la inversa. En el paso 1º, para mantener la lámpara apagada cuando se conecta el entrenador, en un caso el potenciómetro tiene que estar en un extremo y en el otro en el opuesto. En el paso 2, para producir la señal de disparo V_G y encender la bombilla, en un caso se gira en un sentido y en el otro en el sentido opuesto.

P5-4 El TRIAC en corriente alterna

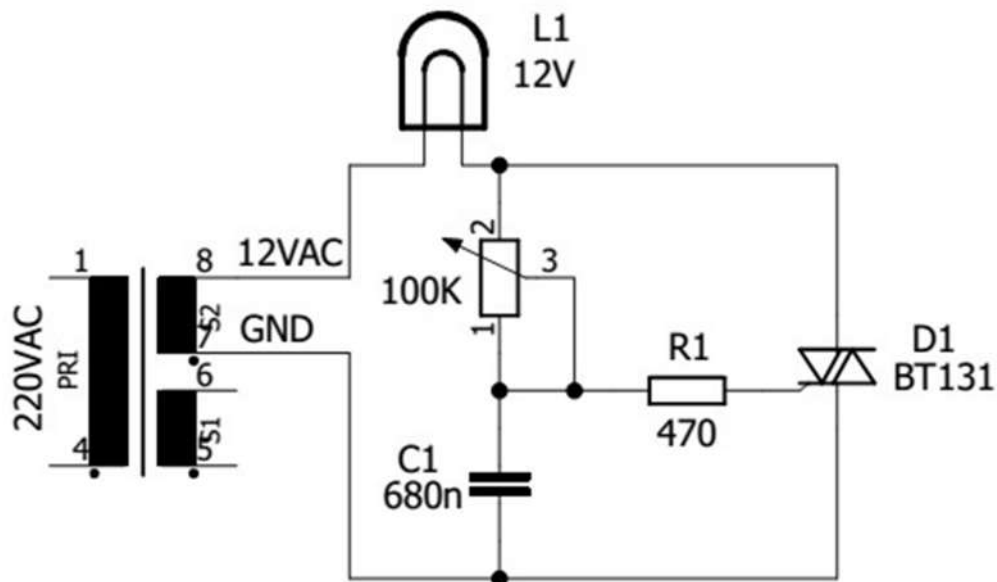
Es la forma habitual de usar un TRIAC. Controlando el momento en el que se produce la señal de disparo respecto a la tensión alterna de entrada, se consigue regular la potencia aplicada a la carga en ambos semiciclos. No hay rectificación como ocurriría con el Tiristor. Estudia la siguiente gráfica.

1. Empieza el semiciclo positivo. El TRIAC se mantiene en OFF. La tensión en la carga (V_c) es nula.
2. Se aplica señal positiva de disparo ($+V_G$). El TRIAC se activa (ON) y a la carga se le aplica la parte restante del semiciclo positivo (V_c).
3. Desaparece la tensión de polarización V_{A1-A2} . El TRIAC se bloquea y empieza el semiciclo negativo.
4. Se aplica señal negativa de disparo ($-V_G$). El TRIAC se activa (ON) y a la carga se le aplica la parte restante del semiciclo negativo (V_c).
5. Comienza un nuevo ciclo. La secuencia se repite con la diferencia de que ambas señales de disparo, $+V_G$ y $-V_G$, se producen antes que en el ciclo previo con lo que la tensión o potencia aplicada a la carga (V_c) es mayor en ambos semiciclos.



Imagina que superpones las tensiones V_{A1A2} y V_c . Obtienes la total aplicada (VT).

Como circuito experimental para comprobar el efecto regulador de un TRIAC en alterna, prueba con el siguiente. Según mueves el potenciómetro de un extremo a otro el brillo de la bombilla varía.



Con esto acabamos el área de prácticas del Tema 5. Ha sido la más larga, laboriosa y quizás agotadora de las vistas hasta el momento. Sin embargo esperamos que haya sido de utilidad y que te sirva como base para ampliar tus conocimientos en esta carrera de fondo que es la tecnología. De todas formas gracias por tu infinita paciencia.



