

TEMA 6: Los transistores bipolares (BJT)**OBJETIVOS**

Toca experimentar ahora con estos componentes esenciales en la electrónica como son los transistores. Aprenderemos a comprobarlos, a polarizarlos, a estudiar su efecto amplificador, etc...

También vamos a montar y a experimentar con circuitos básicos a base de transistores como son los amplificadores de baja frecuencia (BF), osciladores y multivibradores, circuitos de estabilización y circuitos diferenciales entre otros.

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: 1 x 10 Ω ; 1 x 100 Ω ; 2 x 120 Ω ; 2 x 270 Ω ; 1 x 470 Ω ; 4 x 1 K Ω ; 2 x 2K2; 2 x 10 K Ω ; 1 x 22 K Ω ; 1 x 47 K Ω ; 1 x 68 K Ω ; 2 x 100 K Ω ; 1 x 270 K Ω ; 1 x 1M

Condensadores: 1 x 27pF; 1 x 47pf; 3 x 1 nF; 2 x 10 nF; 4 x 10 μ F/63V; 1 x 100 μ F/63V

Semiconductores: 2 x BC547; 1 x BC557; 1 x BZY5V6

Optoelectrónica: 1 x led rojo 5mm; 1 x led verde 5mm; 1 x BPW40

Varios: Bobina de 47 μ H; cuarzo de 4 MHz;

INDICE GENERAL**P1: COMPROBACIÓN DE LOS TRANSISTORES**

P1-1 Fundamentos

P1-2 Localización de la base

P1-3 Determinar si es NPN o PNP

P1-4 La función hFE de algunos polímetros

Ejercicio 1: Determinar las patillas y la ganancia

P2: CURVAS I_b/I_c Y RECTA DE CARGA DE UN TRANSISTOR

- P2-1 Curva I_b/I_c para un transistor NPN
- P2-2 Curva I_b/I_c para un transistor PNP
- P2-3 La recta de carga y puntos de trabajo
- P2-4 La curva de máxima potencia y la resistencia de carga mínima

P3: POLARIZACIÓN DE LOS TRANSISTORES

- P3-1 Polarización fija o en emisor común
- P3-2 Polarización con estabilización en el emisor
- P3-3 Polarización por divisor de tensión
- P3-4 El transistor en conmutación

P4: AMPLIFICADORES B.F.

- P4-1 Etapa pre amplificadora
- P4-2 Amplificador de B.F.
 - Ejercicio 2: Un experimento...
 - Ejercicio 3: Otro experimento...

P5: OSCILADORES

- P5-1 Oscilaciones en un circuito LC
- P5-2 Oscilador Colpitts
- P5-3 Oscilador por cristal de cuarzo

P6: MULTIVIBRADORES

- P6-1 Multivibrador biestable
- P6-2 Multivibrador inestable
- P6-3 Multivibrador monoestable

P7: OTROS CIRCUITOS

- P7-1 Trigger de Schmitt
- P7-2 Circuito básico de estabilización
- P7-3 Estabilización serie con un transistor
- P7-4 El amplificador diferencial

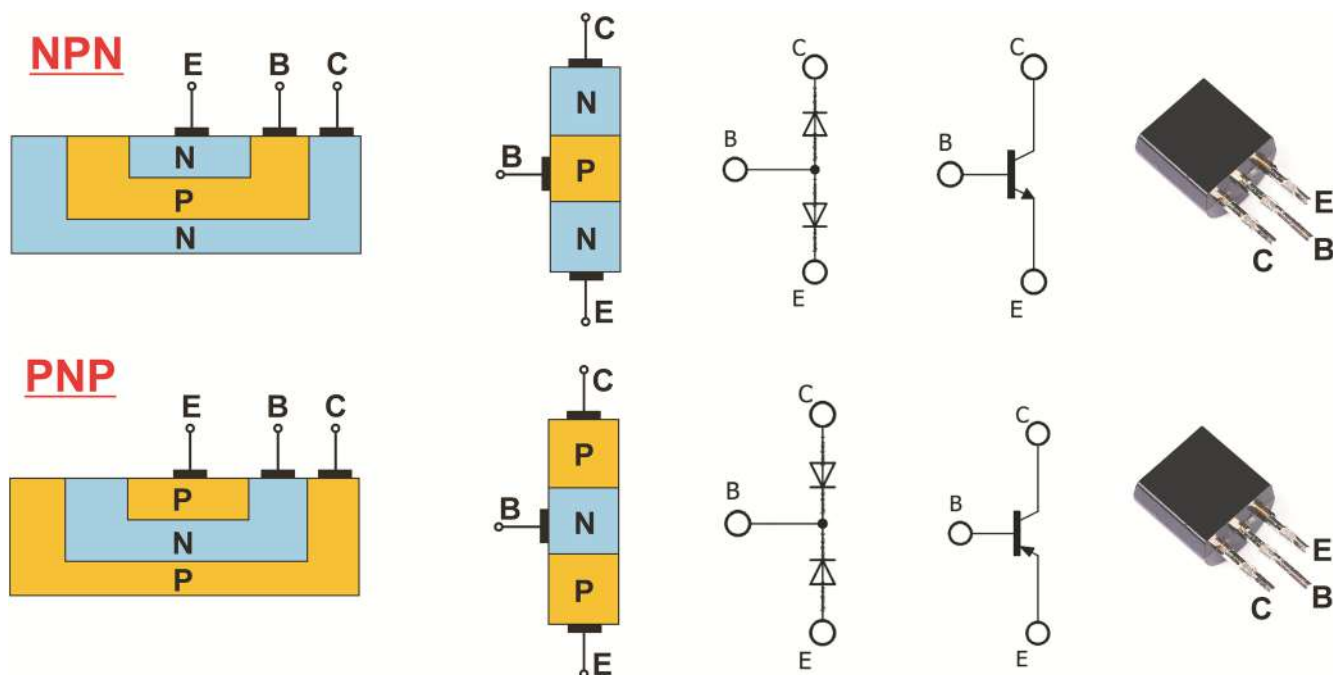
TEMA 6: Los transistores bipolares (BJT)

P1: COMPROBACIÓN DE LOS TRANSISTORES

La primera práctica de este tema trata de lo más obvio: aprender a comprobar el estado de los transistores, averiguar si son NPN o PNP, localizar la distribución de sus patillas b, e y c, y obtener el valor de su ganancia hFE o β .

P1-1 Fundamentos

Por lo que se estudia en teoría sabemos que los transistores se forman a partir de la unión de dos tipos cristales N y P. Así surgen los transistores NPN y PNP. En la figura puedes ver su estructura, su equivalencia a dos diodos en serie y en oposición, su símbolo y uno de los múltiples encapsulados en que te los puedes encontrar.

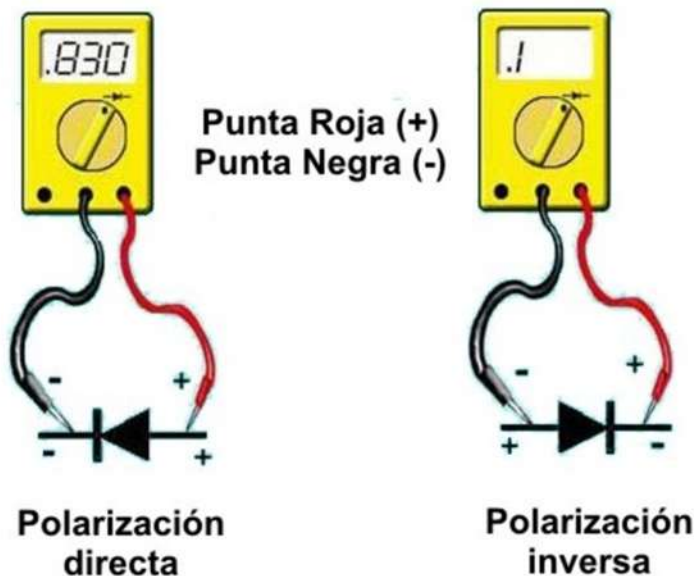


Sus electrodos o patillas reciben el nombre de base (b), emisor (e) y colector (c). Fíjate que equivales a dos diodos en serie y en oposición. En el caso del NPN la base se corresponde con la unión de los ánodos (P) de ambos diodos. En la caso del PNP se corresponde con la unión de los cátodos (N). Tenlo en cuenta pues este detalle es el fundamento de los experimentos que vas a realizar a continuación.

P1-2 Localización de la base

La base es la única de las tres patillas que forma un diodo con respecto a las otras dos. ¿Cómo comprobamos un diodo?. Pues bien, sabemos que cuando se le polariza directamente conduce, tiene poca resistencia. Si se le polariza inversamente no conduce, o lo que es lo mismo, presenta mucha resistencia.

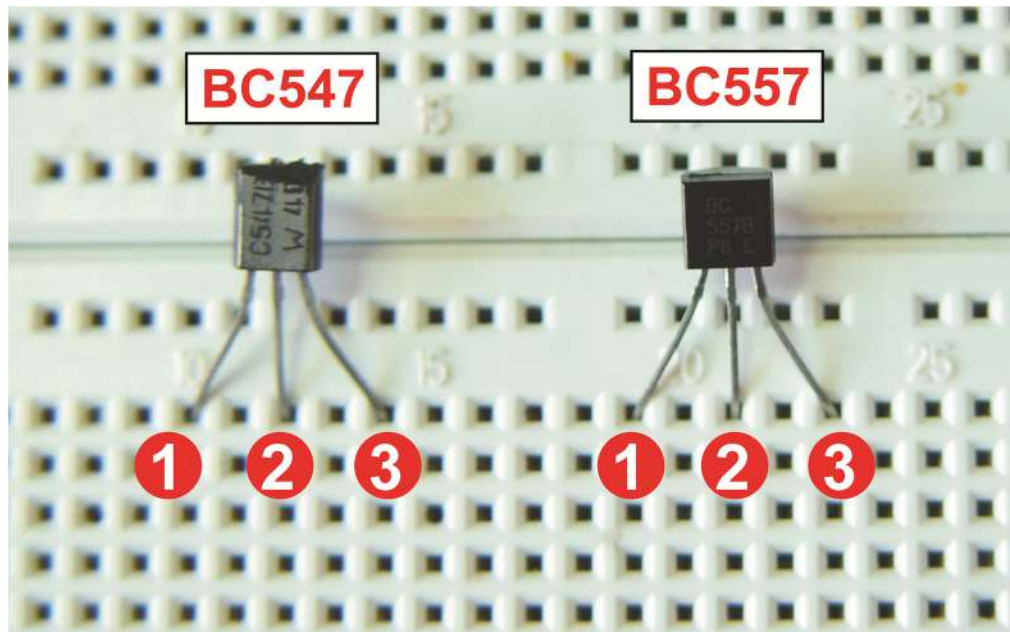
Podemos utilizar un simple polímetro en la escala de ohmios para comprobar su resistencia directa (baja) e inversa (alta). Mejor aún. La mayoría de polímetros tiene la opción de medir diodos. El que estamos usando en prácticas también. En este caso, cuando polarizamos directamente al diodo, el instrumento nos indica su tensión de umbral (0.6 - 0.8 V). Si se le polariza inversamente marca un valor infinito (1).



Esto se debe a que cuando seleccionas a tu polímetro como comprobador de diodos, sus propias puntas de prueba proporcionan una tensión que se aplica al diodo bajo prueba.

A la izquierda de la imagen la punta roja (+) toca al ánodo y la negra (-) al cátodo. Polarización directa. El instrumento marca un valor de 0.6 a 0.8. A la derecha sucede justo lo contrario.

Dicho esto inserta en el módulo board del entrenador dos de los transistores que dispones, un BC547 y un BC557, como puedes ver en la fotografía.



Con el polímetro vas a ir comprobando si hay diodo entre una patilla y las otras dos, pero recuerda que comprobar un diodo significa verificar sus dos estados posibles:

- **Polarización directa.** Presenta poca resistencia y su tensión umbral es de 0.6 a 0.8V.
- **Polarización inversa.** Presenta mucha resistencia y su tensión de umbral marca un valor infinito (1)

Completa la tabla:

MODELO DE TRANSISTOR	INDICAR SI HAY O NO DIODO ENTRE LAS PATAS...			LA BASE ES LA PATA...
	1-2	1-3	2-3	
BC547				
BC557				

La base es la única patilla que presenta el efecto diodo respecto a las otras dos, pero recuerda, comprobar un diodo significa verificar sus dos estados posibles:

ATENCIÓN: Si no consigues localizar la base de un transistor es porque se encuentra en mal estado. Puede que sus uniones estén cortadas, separadas, o que estén cortocircuitadas, en corto. DESCÁRTALO.

P1-3 Determinar si es NPN o PNP

Localizada la base, ahora vamos a determinar si es NPN o PNP. Para ello basta con fijarse qué punta del polímetro está en contacto con esa base cuando se le polariza directamente respecto a cualquiera de las otras dos patillas.

Si es la punta de prueba roja se trata de un transistor NPN. ¿Por qué? Porque por esa punta de prueba sale una tensión Positiva que al entrar en contacto con la base produce su polarización directa. Esa base tiene que ser por tanto un cristal tipo P así que el transistor será un NPN. No queda otra.

Si es la punta negra se trata de un PNP siguiendo un razonamiento similar. Por la punta de prueba negra sale una tensión Negativa que al entrar en contacto con la base produce una polarización directa. Esto quiere decir que esa base es un cristal de tipo N por lo que el transistor será PNP. Tampoco queda otra donde elegir.

Sobre los mismos transistores haz las comprobaciones necesarias e indica de qué tipo son.

TRANSISTOR	BC547	BC557
TIPO (NPN / PNP)		



P1-4 La función hFE de algunos polímetros

¿Qué más te interesa saber acerca del transistor? Se me ocurre que determinar qué patillas corresponden al emisor (e) y al colector (c) estaría muy bien, y si de paso podemos conocer la ganancia hFE o β , sería estupendo.

Todo esto se puede hacer con ayuda de ciertos polímetros, como el que venimos usando, que tienen esta prestación. Mira la imagen.



Nuestro modelo viene con un accesorio que se inserta en las clavijas "COM" (negra) y V Ω mA

El selector se pone en la posición hFE y la pantalla indicará la ganancia del transistor (p.e. 312) sólo si la orientación del transistor es la correcta. Es decir si el emisor (e) y el colector (c) los has insertado en los orificios correspondientes.

Si no fuera así no pasa nada. Simplemente el instrumento no mide la ganancia. Basta con insertar el transistor al revés de cómo lo hiciste.

En resumidas cuentas esta funcionalidad en ciertos polímetros resulta muy útil ya que puedes conocer la ganancia del transistor bajo prueba y ésto sólo es posible si:

- El transistor está en buen estado.
- Si lo has colocado correctamente en función de si es NPN o PNP.
- Si has orientado las patillas base (b), emisor (e) y colector (c) correctamente, en los correspondientes orificios.

Te preguntarás para qué puede servir todo esto si el fabricante te da esos datos y muchos más. Pues bien, el fabricante no te puede decir si tu transistor está estropeado o no. También puede ocurrir que caiga en tus manos un transistor cuya referencia o modelo desconoces, por lo que no puedes buscar su información técnica. Esta solución que acabamos de ver te puede sacar del apuro.

Por cierto, la forma de insertar el transistor a comprobar puede variar de un modelo de polímetro a otro. En nuestro caso había que insertar un accesorio. En otros modelos se facilitan una serie de cables a los que conectar las patillas del transistor a comprobar. Otros modelos, como el de la figura, incorporan un zócalo donde se inserta el transistor en el lugar apropiado según sea NPN o PNP. En fin, puede haber diferentes soluciones pero el objetivo es el mismo.



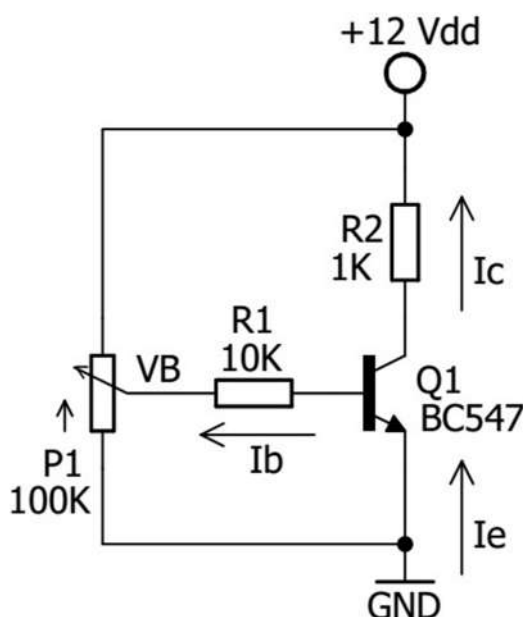
Ejercicio 1: Determinar las patillas y la ganancia

Con todo lo expuesto vamos a completar la siguiente tabla con todos los datos que hemos ido conociendo sobre nuestros transistores.

MODELO DE TRANSISTOR	ESTADO OK?	TIPO (NPN/PNP)	GANANCIA β o h_{FE}	PATILLAS (b, e y c)		
				Nº1	Nº2	Nº3
BC547						
BD547						
BC557						

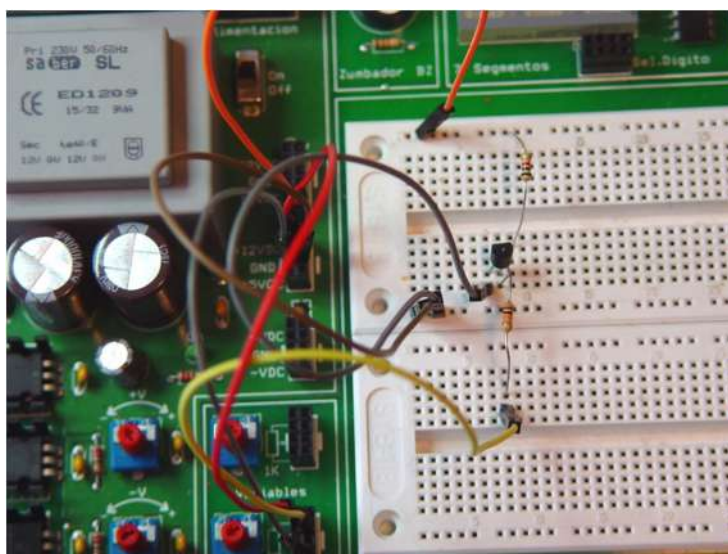
P2: CURVAS I_b/I_c Y RECTA DE CARGA DE UN TRANSISTOR

Básicamente se trata de comprobar el efecto amplificador de un transistor. Variando ligeramente una corriente de entrada por su base (I_b) observaremos una mayor variación de la corriente de salida por el colector (I_c).

P2-1 Curva I_b/I_c para un transistor NPN

El circuito experimental que vamos a usar es el del esquema. Móntalo sobre el entrenador. Al aplicar una tensión de base ($+V_B$) que polariza directamente la unión base-emisor y supera el valor de umbral de 0,7 V, el transistor empieza a conducir. Toda la corriente sale del emisor (I_e), una parte muy pequeña se va por la base (I_b) y el resto, la mayor parte, circula por el colector (I_c).

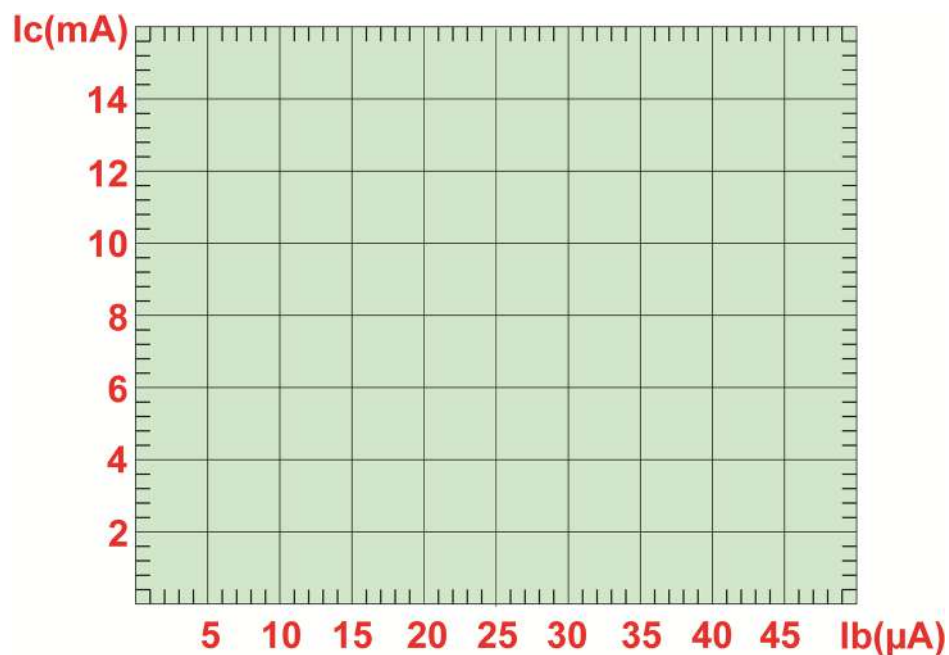
Mediante P1 aumentamos la tensión de base V_B . Como la tensión base-emisor siempre es la misma ($V_{be} = 0.7V$), lo que aumenta es la I_b y por tanto la caída de tensión en R1. Midiéndola podremos calcular el valor de esa I_b ($I_b = V_{R1} / R1$). La intensidad de colector la podemos calcular de la misma manera. Es más fácil y limpio. Medimos la tensión en R2 y dividimos entre su valor en ohmios ($I_c = V_{R2} / R2$).



Basta con que completes la siguiente tabla para desarrollar la práctica. Utiliza P1 para ajustar las tensiones en la resistencia de base V_{R1} a los valores que se van

indicando. Al mismo tiempo vas midiendo la tensión en la resistencia de colector VR2. Conocidas ambas tensiones y sus respectivos valores en ohmios podrás calcular las intensidades de base (Ib) y colector (Ic). Pasas los valores a la gráfica

VR1	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
VR2									
Ib									
Ic									



El efecto amplificador

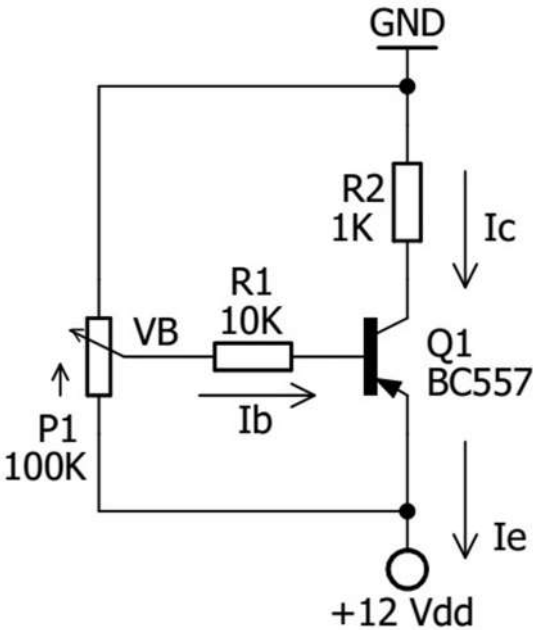
El efecto amplificador también conocido como β o hFE viene dado por la relación entre la corriente de salida y la de entrada:

Con los datos que tienes puedes calcular la β o el número de veces que amplifica tu transistor BC547. Calcula la media aritmética de las intensidades tanto de salida (Ic) como de entrada (Ib) y utiliza la siguiente fórmula empleando las mismas unidades (mA o μ A):

$$\beta = \frac{I_c}{I_b} = \text{—————} = \text{veces}$$

Debes obtener una ganancia β o hFE bastante parecida a la que nos marcaba el polímetro en la práctica anterior. **En lo sucesivo usaremos el valor $\beta = 300$.**

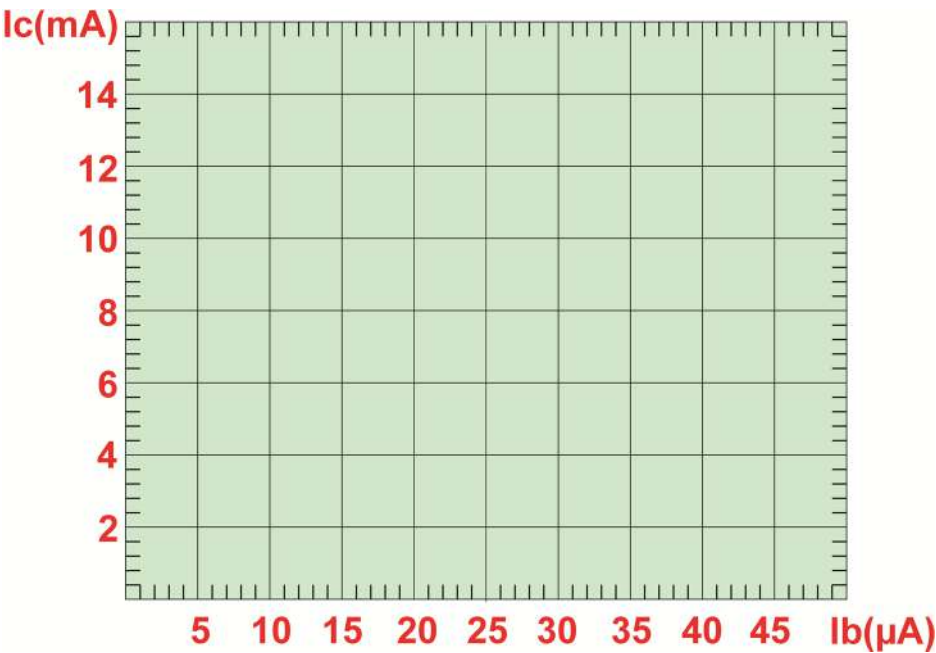
P2-1 Curva Ib/Ic para un transistor PNP



Vas a seguir el mismo proceso para obtener la curva Ib/Ic y la ganancia del transistor PNP BC557 propuesto en el material de prácticas. El esquema es el de la figura. En él puedes observar que lo único que cambia, aparte del propio modelo de transistor, es la polarización de la tensión de alimentación. En esta ocasión, es justo al revés de la empleada con el transistor NPN anterior.

De igual manera completa la tabla, lleva los valores medidos a la gráfica adjunta y calcula la ganancia.

VR1	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
VR2									
Ib									
Ic									



$$\beta = \frac{I_c}{I_b} = \text{-----} =$$

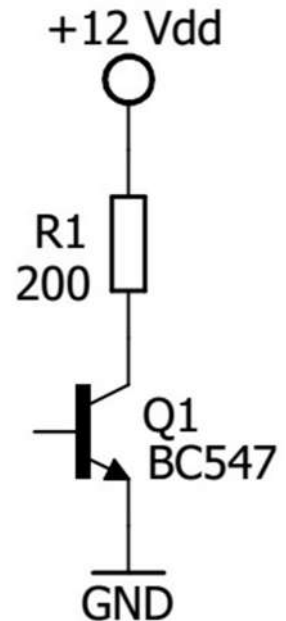
veces

P2-3 La recta de carga y puntos de trabajo

La recta de carga es una gráfica que representa todos los posibles puntos de trabajo de un transistor alimentado con una tensión y una resistencia de carga determinada.

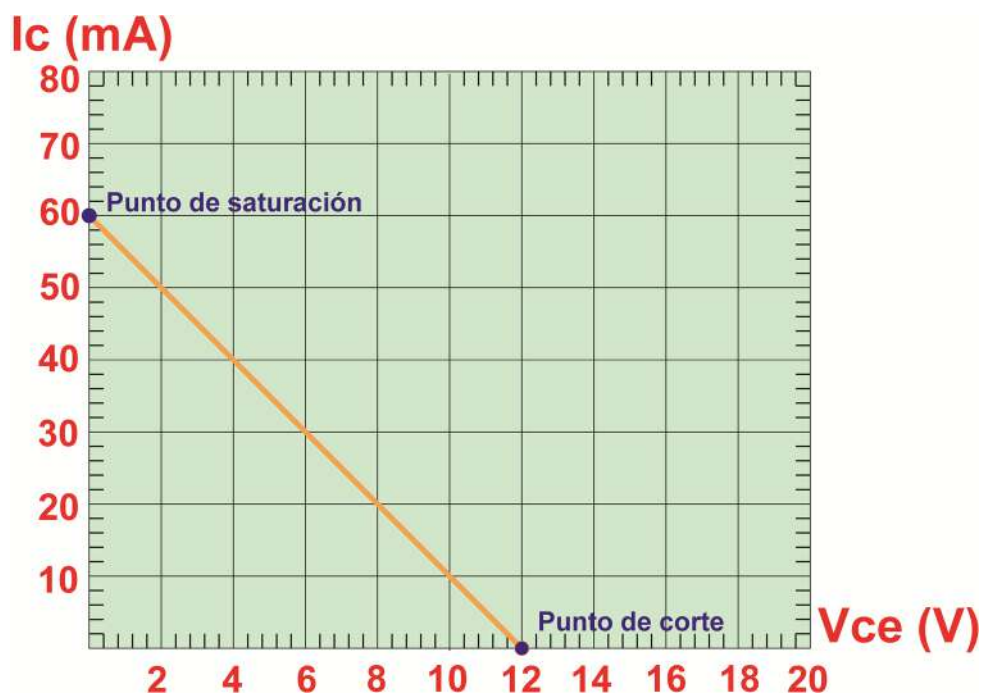
Mira el circuito de la figura. La recta siempre parte de un punto llamado "punto de corte" definido por $I_c = 0$ y $V_{ce} = V_{dd}$. Es cuando el transistor está bloqueado totalmente.

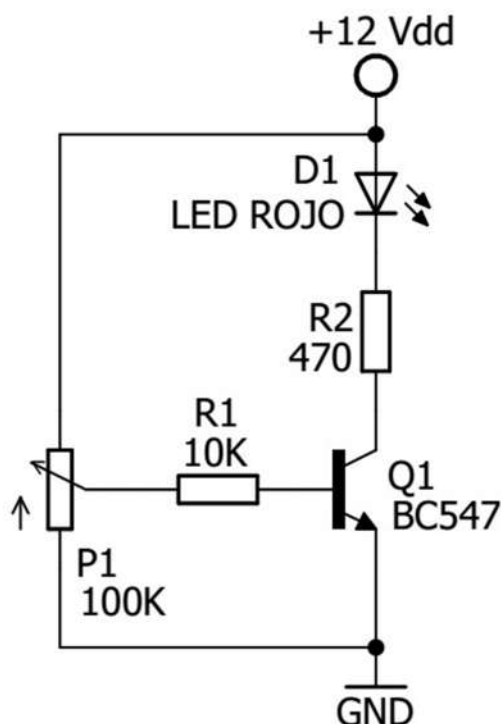
El punto extremo, el "punto de saturación", se define como un punto en el que la tensión colector-emisor $V_{ce} = 0$ V y la intensidad de colector I_c es la máxima posible. En este circuito, con una resistencia de carga (R_1) de 200Ω la intensidad máxima sería:



$$I_c = \frac{V_{dd} - V_{ce}}{R_1} = \frac{12 - 0}{200} = \frac{12}{200} = 0.06 \text{ A} = 60 \text{ mA}$$

Esta es la recta de carga para este circuito de ejemplo.





Vas a montar este circuito experimental que te va a permitir trabajar en diferentes puntos de la recta de carga.

Mediante el potenciómetro P1 se varía la intensidad de base (I_b) del transistor y con ello, gracias al efecto amplificador, la intensidad de salida por el colector (I_c).

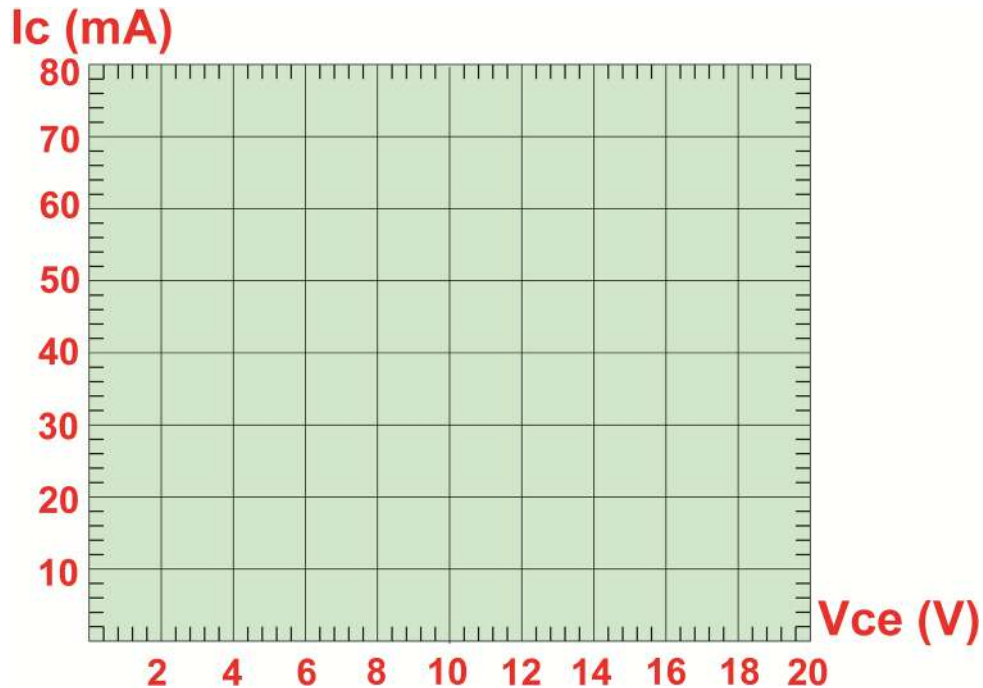
En esta ocasión el diodo led conectado en el colector (D1) lucirá más o menos en función de esa intensidad de colector (I_c) que, insistimos, a su vez depende de la intensidad de entrada por la base (I_b).

En este ejemplo se propone regular el brillo del led mediante P1 al tiempo que medimos la tensión colector-emisor (V_{ce}), la de base-emisor (V_{be}), la de la resistencia de base (V_{R1}) y la de colector (V_{R2}). Conocidas estas dos últimas tensiones es posible calcular la intensidad de base: $I_b = V_{R1} / R_1$ y la de colector: $I_c = V_{R2} / R_2$. Es más fácil y menos arriesgado hacer estos cálculos de las intensidades que el tener que andar midiéndolas.

PASO	BRILLO DEL LED	VALOR MEDIDO				VALOR CALCULADO	
		V_{ce}	V_{be}	V_{R1}	V_{R2}	I_c	I_b
1	APAGADO						
2	MINIMO						
3	MEDIO						
4	MAXIMO						

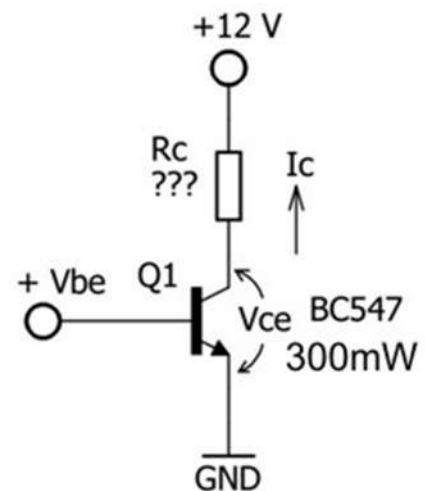
El punto de corte de la recta de carga sería cuando $I_c = 0$ y $V_{ce} = 12V$. Es decir. Cuando el led está apagado. Por su parte, el punto de saturación será cuando el led luce al máximo y la $V_{ce} = 0V$ y la $I_c =$ máxima calculada.

Con todo ello puedes dibujar sobre la siguiente gráfica la recta de carga, colocando sobre ella los diferentes puntos de trabajo (también llamados punto Q) en función del brillo del led: apagado, mínimo, medio y máximo.



P2-4 La curva de máxima potencia y la resistencia de carga mínima

En ocasiones tendrás que calcular la resistencia de carga mínima (R_c) que debes poner en un circuito como el de la figura, sin que se estropee el transistor. Para ello necesitas conocer la potencia máxima que es capaz de disipar y que la facilita su fabricante. Supongamos que la del transistor BC547 es de 300 mW (0.3W). Esto quiere decir que el producto de $I_c \times V_{ce}$, es decir la potencia, **NUNCA** debe superar este valor.

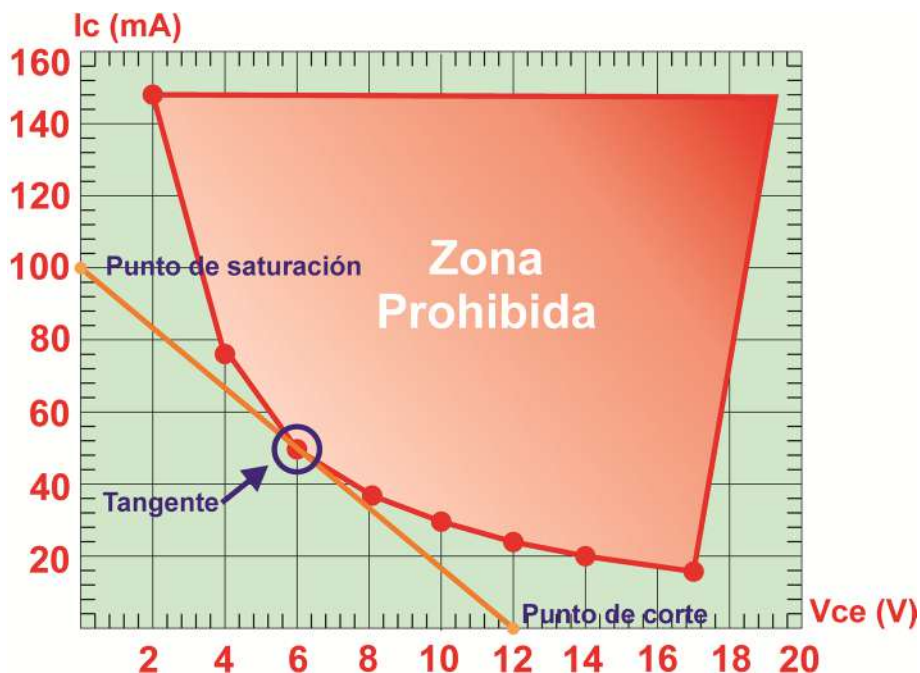


Puedes ir cogiendo valores arbitrarios de V_{ce} e I_c de forma que el producto de ambos sea igual o menor de los 300 mW. Por ejemplo, partiendo de un valor para V_{ce} es fácil calcular el valor de I_c máximo sin que se supere esa potencia:

$$P_{max} = I_{cmax} \times V_{ce}; I_{cmax} = \frac{P_{max}}{V_{ce}} = \frac{0.3}{V_{ce}}$$

Completa la tabla del ejemplo, luego trasladas los puntos a la gráfica y los unes. Ya tienes la curva de máxima potencia. Ningún punto Q de trabajo debe adentrarse en ella.

$P_{\text{máx.}} = I_c \times V_{ce}$	
V_{ce} (V)	I_c (mA)
17	17
14	21
12	25
10	30
8	37
6	50
4	75
2	150



El punto de corte sabes que se define por $I_c = 0$ y $V_{ce} = V_{dd}$ y ya lo conoces, 12 V. Desde él se inicia el trazado de la recta de carga que pasa tangente a la curva de máxima potencia. En la figura la recta alcanza el punto de saturación en $I_c = 100$ mA y $V_{ce} = 0$ V.

Ahora ya puedes calcular el valor mínimo de R_c :

$$R_c = \frac{V_{dd} - V_{ce}}{I_c} = \frac{12 - 0}{0.1} = \frac{12}{0.1} = 120 \, \Omega$$

Piensa y analiza lo que implica todo esto...

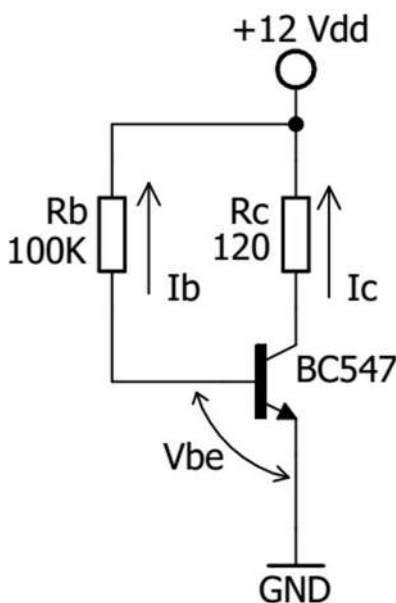
- Si pones un valor de R_c mayor de $120 \, \Omega$, la intensidad I_c máxima será menor. Por tanto la recta de carga será menos empinada y se aleja de la zona prohibida. **BIEN.**
- Si pones una resistencia menor de $120 \, \Omega$, la intensidad I_c máxima será mayor, la recta de carga aparecerá más empinada y habrá tramos de la misma que se adentra en la zona prohibida. **MAL.**



P3: POLARIZACIÓN DE LOS TRANSISTORES

La polarización de un transistor tiene por objeto conseguir que el transistor trabaje en el punto Q deseado dentro de la recta de carga.

P3-1 Polarización fija o en emisor común



Como puedes comprobar con el circuito del ejemplo es muy sencilla. La base recibe una tensión de polarización fija a partir de la misma tensión Vdd de alimentación. Vamos a calcular teóricamente el punto Q en el que se encuentra el circuito.

1. Calcular el punto de corte ($I_c = 0$; $V_{ce} = V_{dd}$):

$$V_{dd} = V_{ce} + V_{Rc}; V_{ce} = V_{dd} - V_{Rc}; V_{ce} = V_{dd} - (I_c \times R_c);$$

$$V_{ce} = 12 - (0 \times 120) = 12 \text{ V}$$

2. Calcular el punto de saturación ($V_{ce} = 0\text{V}$):

$$I_c = \frac{V_{dd} - V_{ce}}{R_c} = \frac{12 - 0}{120} = 0.1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$$

3. Calcular la intensidad de base I_b :

$$V_{Rb} = V_{dd} - V_{be} = 12 - 0.7 = 11.3; I_b = \frac{V_{Rb}}{R_b} = \frac{11.3}{100000} = 0.113 \text{ mA} = 113 \mu\text{A}$$

4. Si la ganancia β del transistor BC547 es de 300, podemos calcular el valor de I_c en el punto Q de trabajo:

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}; I_c = \beta \times I_b = 300 \times 0.113 \text{ mA} = 33.9 \text{ mA} = 0.0339 \text{ A}$$

5. Conociendo I_c en el punto Q se puede calcular la tensión V_{ce} para ese mismo punto de trabajo:

$$V_{dd} = V_{ce} + V_{Rc}; V_{ce} = V_{dd} - V_{Rc}; V_{ce} = V_{dd} - (I_c \times R_c) = 12 - (0,0339 \times 120) = 12 - 4,06 = 7,932 \text{ V}$$

6. Con estos valores dibujamos la recta de carga y el punto Q de trabajo.



7. Por último montaremos el circuito sobre el laboratorio y realizamos las medidas oportunas. Completamos la siguiente tabla que refleja los valores teóricos calculados anteriormente y los prácticos que vamos a medir sobre el circuito real.

	V_{dd}	V_{be}	V_{Rb}	I_b	V_{Rc}	I_c	V_{ce}
TEORICO	12 V	0.7 V	11.3 V	113 μ A	4.06 V	33.9 mA	7.9 V
PRÁCTICO							

Debes de tener en cuenta que es muy difícil que los valores teóricos coincidan al 100% con los valores prácticos ya que...

1. La tensión de alimentación V_{dd} no será exactamente de 12 V.
2. Al hacer los cálculos no hemos usado todos los decimales y hemos redondeado.
3. Las resistencias empleadas tiene tolerancias y no son exactas.
4. El polímetro tampoco es 100% exacto y su precisión depende de la calidad y el precio.

Todos estos errores son acumulativos, pero aunque no sean idénticos, los valores teóricos se deben parecer bastante a los prácticos.

Quizás en ocasiones tengas que calcular los valores de las resistencias para que el transistor trabaje en un punto Q deseado dentro de la recta de carga. Vamos a hacer ahora los cálculos al revés. Sabemos las condiciones de trabajo:

- Ganancia del transistor $\beta = 300$ (lo da el fabricante)
- Punto Q deseado: $I_c = 0.0339$ A y $V_{ce} = 7.9$ V (u otro)
- Alimentación +12 Vdd (u otra)

1. Calcular el valor de la tensión en R_c (V_{Rc}) en el punto Q:

$$V_{dd} = V_{ce} + V_{Rc}; V_{Rc} = V_{dd} - V_{ce} = 12 - 7.9 = 4.1$$

2. Calcular el valor de la resistencia de carga (R_c):

$$I_c = \frac{V_{Rc}}{R_c}; R_c = \frac{V_{Rc}}{I_c} = \frac{4.1}{0.0339} = 120 \Omega$$

3. Calcular el valor de la intensidad de base (I_b):

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}; I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.0339}{300} = 0.000113 \text{ A} = 113 \mu\text{A}$$

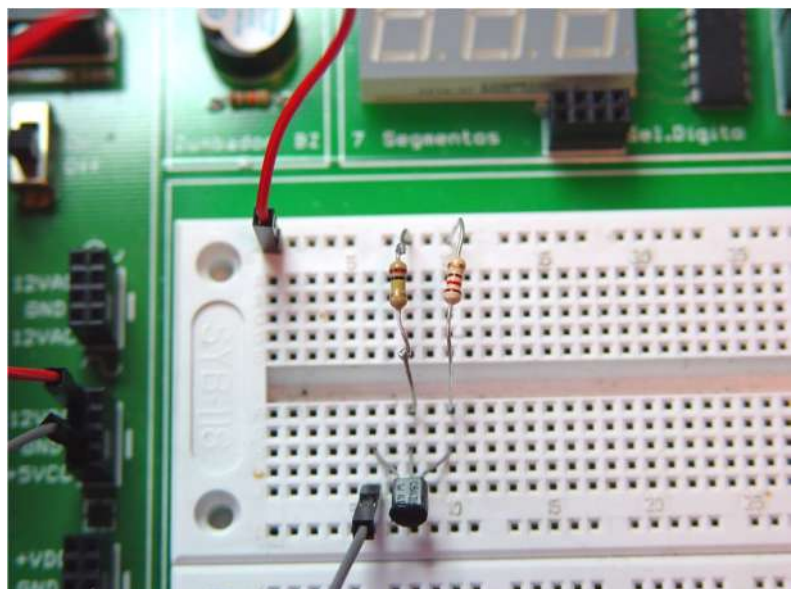
4. Calcular el valor de la tensión en R_b (V_{Rb}):

$$V_{dd} = V_{Rb} + V_{be}; V_{Rb} = V_{dd} - V_{be} = 12 - 0.7 = 11.3 \text{ V}$$

5. Calcular el valor de la resistencia de base (R_b):

$$R_b = \frac{V_{Rb}}{I_b} = \frac{11.3}{0.000113} = 100000 \Omega$$

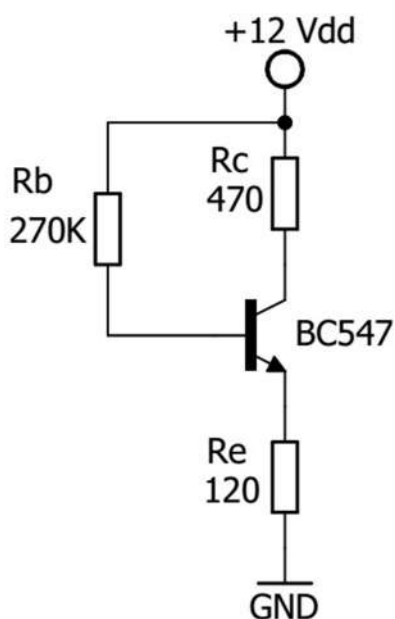
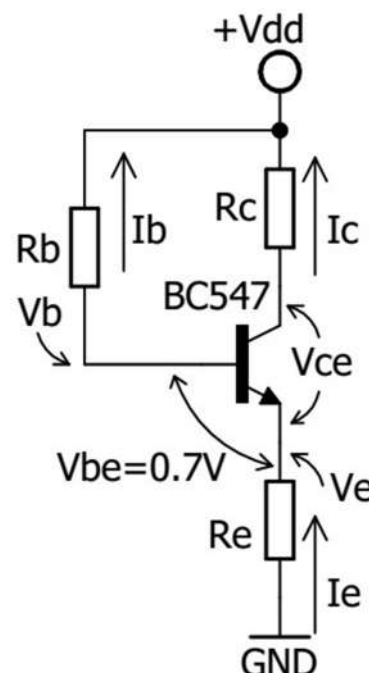
Obviamente los valores de las resistencias que ahora hemos calculado deben de ser los mismos que hemos empleado en el montaje del circuito.



P3-2 Polarización con estabilización en el emisor

Se añade una resistencia en el emisor, R_e , para conseguir una mayor estabilización en el punto Q de trabajo frente a variaciones producidas por la agitación térmica. En la figura tienes el esquema básico así como los parámetros principales con los que vas a trabajar:

- $I_e = I_b + I_c$; $I_e \approx I_c$
- $V_e = V_{Re} = R_e \times I_e = R_e \times I_c$
- $V_{be} = 0.7 \text{ V}$
- $V_b = V_e + V_{be}$
- $V_{Rb} = V_{dd} - V_b$
- $\beta = 300 = I_c / I_b$, luego $I_c = \beta \times I_b = 300 \times I_b$
- A la entrada: $V_{dd} = V_{Rb} + 0.7 + V_{Re}$
- A la salida: $V_{dd} = V_{Rc} + V_{ce} + V_{Re}$



A partir de un circuito práctico como el del esquema de la figura, vamos a calcular cuál es su punto actual de trabajo Q.

1.- Sabiendo que en el punto de saturación $V_{ce} = 0$ y que $I_e \approx I_c$, calculamos el valor de ésta en la salida:

- $V_{dd} = V_{Rc} + V_{ce} + V_{Re}$; luego... $V_{dd} = (I_c \times R_c) + V_{ce} + (I_e \times R_e)$
- Puesto que $I_e \approx I_c$, tenemos que $V_{dd} = (I_c \times R_c) + V_{ce} + (I_c \times R_e)$
- Ya que en saturación $V_{ce} = 0$, simplificamos y nos queda: $V_{dd} = I_c(R_c + R_e)$

d) Despejando I_c nos queda:

$$I_c = \frac{V_{dd}}{R_c + R_e} = \frac{12}{590} = 0.02 \text{ A} = 20 \text{ mA}$$

2.- Ahora vamos a calcular la intensidad de entrada por la base (I_b). Atención al desarrollo.

- $V_{dd} = V_{Rb} + 0.7 + V_{Re}$; luego... $V_{dd} = (I_b \times R_b) + 0.7 + (I_e \times R_e)$.
- Puesto que $I_e \approx I_c$, tenemos que $V_{dd} = (I_b \times R_b) + 0.7 + (I_c \times R_e)$.
- Ya que $I_c = \beta \times I_b$, entonces $V_{dd} = (I_b \times R_b) + 0.7 + (\beta \times I_b \times R_e)$.
- Simplificamos la ecuación: $V_{dd} = 0.7 + I_b(R_b + \beta \times R_e)$
- Despejando I_b nos queda:

$$I_b = \frac{V_{dd} - 0.7}{R_b + (\beta \times R_e)} = \frac{12 - 0.7}{270000 + (300 \times 120)} = \frac{11.3}{306000} = 0.0000369 \text{ A} = 36.9 \mu\text{A}$$

4.- La intensidad I_c en el punto Q de trabajo es de:

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}; I_c = \beta \times I_b = 300 \times 0.0000369 \text{ A} = 0.011 \text{ A} = 11 \text{ mA}$$

5.- También podemos conocer la tensión V_{ce} en el punto Q:

- $V_{dd} = V_{Rc} + V_{ce} + V_{Re}$; luego... $V_{dd} = (I_c \times R_c) + V_{ce} + (I_c \times R_e)$
- Simplificando $V_{dd} = V_{ce} + I_c(R_c + R_e)$. Despejando V_{ce} tenemos:

$$V_{ce} = V_{dd} - I_c(R_c + R_e) = 12 - 0.011(470 + 120) = 12 - 0.011 \times 590 = 5.51 \text{ V}$$

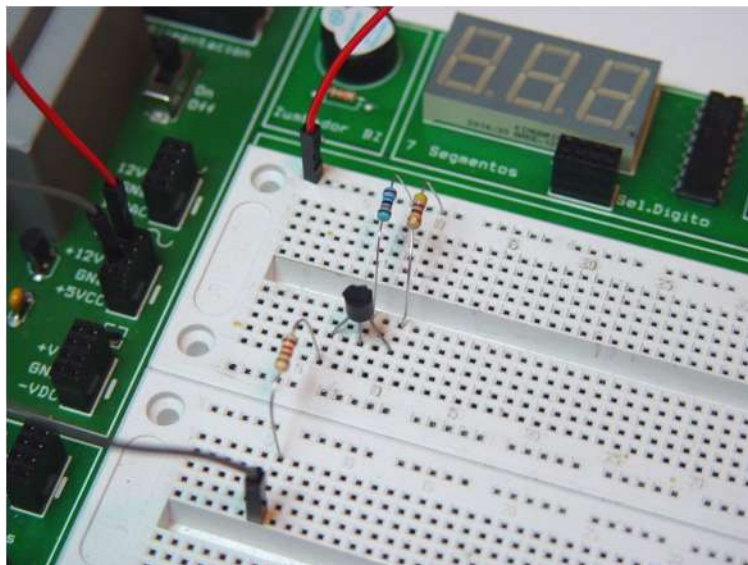
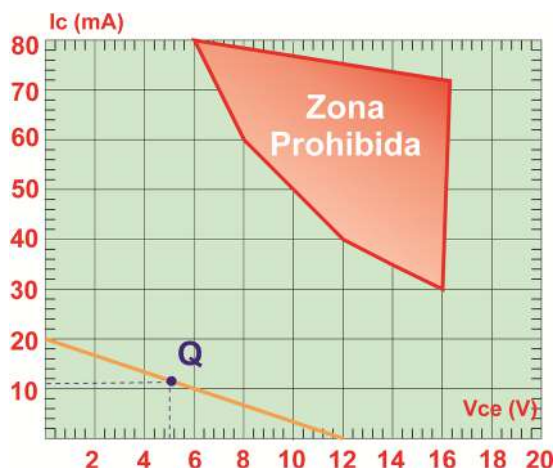
Resumiendo, el circuito se encuentra trabajando en un punto Q definido por $I_c = 11 \text{ mA}$ y $V_{ce} = 5.51 \text{ V}$. Es casi el punto central de la recta de carga anterior, un punto de trabajo bastante utilizado por los circuitos amplificadores.

Ahora manos a la obra. Monta el circuito anterior sobre el laboratorio y completa la tabla. En ella tienes los valores teóricos que acabamos de calcular. Añade los valores teóricos que tú mismo puedes deducir y, finalmente, realiza todas las medidas prácticas.

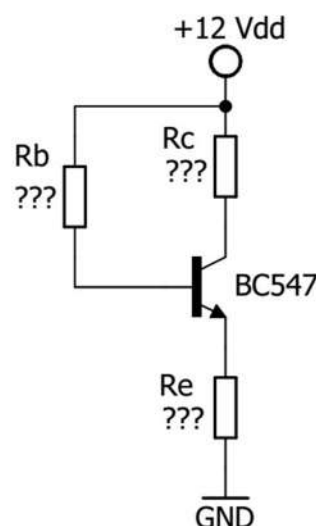
	Vdd	Vb	Vbe	VRb	Ib(μA)	Ve	Ie	VRc	Ic(mA)	Vce
TEORIA	12		0.7		36.9				11	5.51
PRACTICA										

Recuerda que lo teórico y lo práctico se parecen y mucho, pero no son idénticos. Ya se explicaron los errores acumulativos a los que hay que añadir que, para evitar cálculos complejos, estamos usando métodos aproximados (pero muy válidos). Por ejemplo, consideramos que $I_e \approx I_c$, aunque realmente $I_e = I_c + I_b$.

Aquí tienes la recta de carga y el montaje práctico sobre el laboratorio.



Nuevamente es posible que lo que necesitamos sea calcular los valores de las resistencias para que el circuito con polarización con resistencia de estabilización trabaje en un punto cualquiera de la recta de carga. Le vamos a dar la vuelta al ejemplo anterior de forma que calcularemos los valores de R_c , R_b y R_e necesarios para trabajar en el punto Q definido por $I_c = 11$ mA y $V_{ce} = 5.51$ V. El transistor BC547 tiene una ganancia $\beta = 300$ y el circuito se alimenta con $+V_{dd} = 12$ V.



1.- Como método de aproximación se considera que la tensión en la resistencia R_e , V_{Re} , sea una décima parte de V_{dd} . También consideramos que $I_e \approx I_c$. Podemos así calcular el valor de R_e .

$$V_{Re} = \frac{V_{dd}}{10} = \frac{12}{10} = 1.2 \text{ V}; R_e = \frac{V_{Re}}{I_e \approx I_c} = \frac{1.2}{0.011} = 109 \Omega$$

2.- Ahora podemos calcular el valor de R_c para el mismo punto Q. Sabemos que...

- a) $V_{dd} = V_{Rc} + V_{ce} + V_{Re}$, luego... $V_{Rc} = V_{dd} - V_{ce} - V_{Re}$.
- b) Como $R_c = V_{Rc} / I_c$ tenemos que...

$$R_c = \frac{V_{Rc}}{I_c} = \frac{V_{dd} - V_{ce} - V_{Re}}{I_c} = \frac{12 - 5.51 - 1.2}{0.011} = \frac{5.29}{0.011} = 480.9 \, \Omega$$

3.- También podemos calcular la intensidad de base I_b necesaria en el punto Q:

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}; I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{11}{300} = 0.0366 \, \text{mA} = 36.6 \, \mu\text{A}$$

4.- Por último calculamos la resistencia de base...

a) $V_{dd} = V_{Rb} + 0.7 + V_{Re}$, luego $V_{Rb} = V_{dd} - 0.7 - V_{Re}$

b) Como $R_b = V_{Rb} / I_b$ sustituimos y tenemos que...

$$R_b = \frac{V_{Rb}}{I_b} = \frac{V_{dd} - 0.7 - V_{Re}}{I_b} = \frac{12 - 0.7 - 1.2}{0.0000366 \, \text{A}} = 275956 \, \Omega$$

Ya tenemos los valores necesarios para montar el circuito: $R_e = 109 \, \Omega$; $R_c = 480.9 \, \Omega$; y $R_b = 275956 \, \Omega$. Como no son valores normalizados debes elegir los valores más aproximados. Los que usamos en nuestra práctica fueron: $R_e = 120 \, \Omega$, $R_c = 470 \, \Omega$ y $R_b = 270 \, \text{k}\Omega$.



Comprenderás ahora las pequeñas discrepancias que hay al comparar los valores teóricos con los prácticos. Si deseas trabajar con la mayor precisión posible, puedes hacer asociación de resistencias (serie, paralelo y mixto) para conseguir los valores exactos a partir de valores normalizados. También debes usar resistencias con la mínima tolerancia posible.

P3-3 Polarización por divisor de tensión

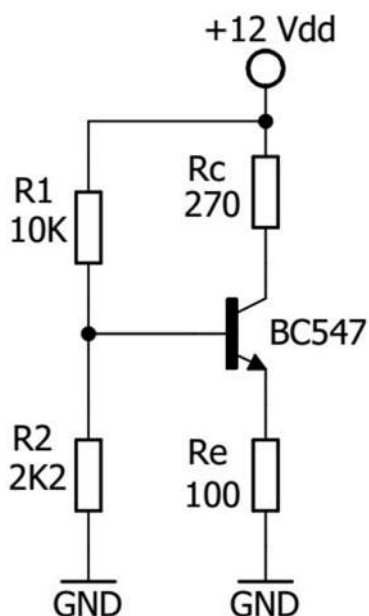
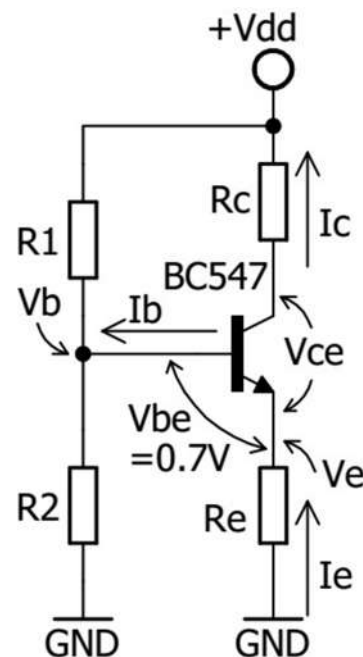
Es la forma de estabilización más estable pero algo más compleja. Su cálculo se complica un poco, pero partiendo de dos premisas se pueden simplificar notablemente al tiempo que ofrece resultados muy aceptables.

En la imagen tienes el circuito típico y unas consideraciones.

- R1 y R2 forman la polarización por divisor de tensión.
- Vb es la tensión de base en el punto medio del divisor
- En el divisor de tensión: $Vb = \frac{Vdd}{R1+R2} \times R2$
- Vb - Ve da lugar a Vbe que es de 0.7 V
- Se considera que Ve es una décima parte de Vdd
- Importante. Se debe cumplir que...

$$\beta \times Re \geq 10 \times R2$$

Es decir, la resistencia Re debe ser β veces mayor que 10 veces el valor de R2. De esta forma, la intensidad que consume el propio divisor no influye en la intensidad de emisor (Ie) y los cálculos se simplifican mucho.



Como hemos venido haciendo en los ejemplos anteriores, partimos de un circuito práctico en el que conocemos los valores de sus resistencias. Se trata por tanto de calcular el punto Q de trabajo en el que se encuentra.

1.- Determinar los puntos de corte y saturación.

- Punto de corte: $Ic = 0$ y $Vce = Vdd = 12\text{ V}$
- Punto de saturación: $Ic = \text{máx.}$ y $Vce = 0\text{ V}$

$$Ic = \frac{Vdd}{Rc + Re} = \frac{12}{370} = 0.0324\text{ A} = 32.4\text{ mA}$$

2.- Verificamos que se cumple que β veces Re es igual o mayor que 10 veces R2:

$$\beta \times Re \geq 10 \times R2; 300 \times 100 \geq 10 \times 2200; 30000 \geq 22000; \text{OK}$$

3.- R1 y R2 forman un divisor de tensión. Calcular la tensión en su punto central Vb:

$$Vb = \frac{Vdd}{R1 + R2} \times R2 = \frac{12}{12200} \times 2200 = 2.16\text{ V}$$

4.- Ya podemos calcular Ve y por lo tanto Ie y, ya puestos, Ic ($Ie \approx Ic$) en el punto Q:

$$V_e = V_b - V_{be} = 2.16 - 0.7 = 1.46 \text{ V}; I_c \approx I_e = \frac{V_e}{R_e} = \frac{1.46}{100} = 0.0146 \text{ A} = 14.6 \text{ mA}$$

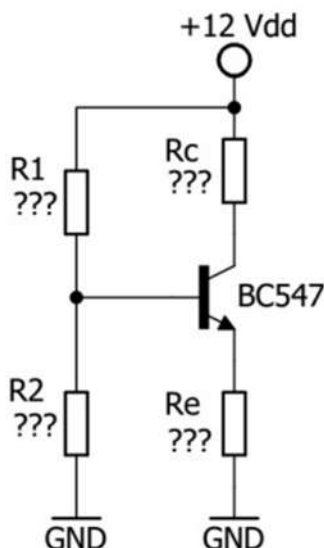
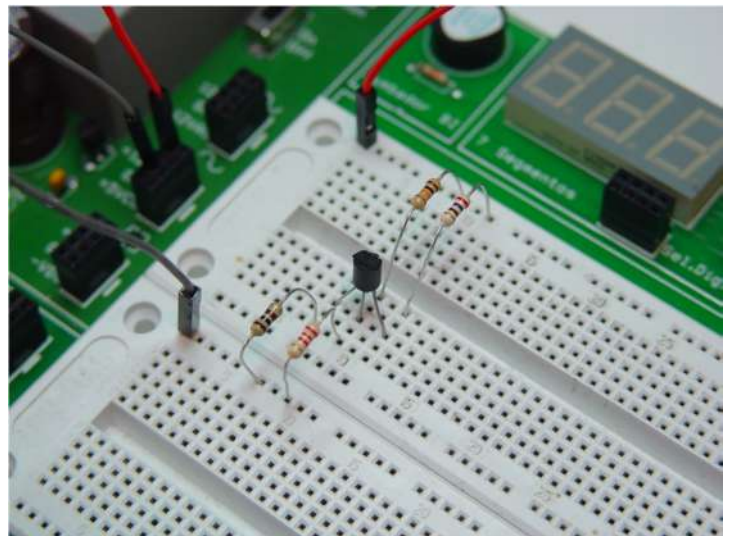
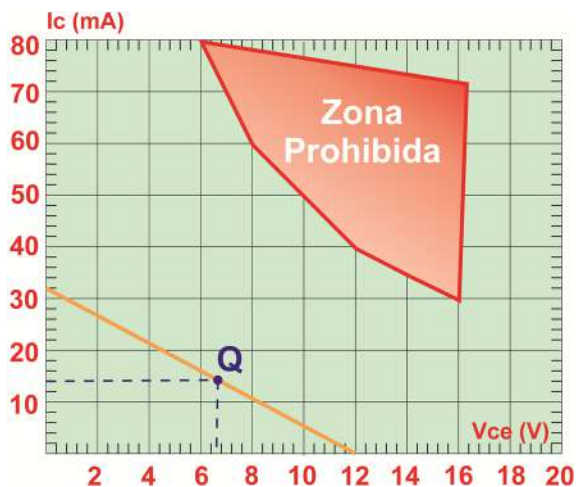
5.- También se puede calcular la tensión V_{ce} en el punto Q:

$$V_{ce} = V_{dd} - I_c(R_c + R_e) = 12 - (0.0146 \times 370) = 6.59 \text{ V}$$

6.- Por último monta el circuito anterior sobre el laboratorio y completa la tabla. En ella tienes los valores teóricos que acabamos de calcular. Añade los valores teóricos que tú mismo puedes deducir y, finalmente, realiza todas las medidas prácticas.

	Vdd	Vb	Ve	Vbe	VR1	VRc	Ic(mA)	Vce
TEORIA	12	2.16	1.46	0.7			14.6	6.59
PRACTICA								

Esta es la recta de carga del circuito y su montaje práctico.



El proceso contrario nos permitirá calcular los valores de las resistencias para que el circuito trabaje en el punto Q deseado. Suponiendo el caso anterior, el punto Q está definido por $I_c = 14.6 \text{ mA}$ y $V_{ce} = 6.59 \text{ V}$. Vamos a calcular las resistencias.

1.- En el cálculo aproximado consideramos que la tensión en el emisor V_e , la misma que V_{Re} , debe ser la décima parte de la de alimentación V_{dd} . Por aproximación también asumimos que $I_e \approx I_c = 14.6 \text{ mA}$ para el punto Q. Podemos por tanto calcular el valor de R_e :

$$V_{Re} = V_e = \frac{V_{dd}}{10} = \frac{12}{10} = 1.2 \text{ V}; R_e = \frac{V_e}{I_c} = \frac{1.2}{0.0146} = 82 \Omega$$

2.- Ahora podemos calcular el valor de R_c para el mismo punto Q. Sabemos que...

a) $V_{dd} = V_{Rc} + V_{ce} + V_{Re}$, luego... $V_{Rc} = V_{dd} - V_{ce} - V_e$.

b) Como $R_c = V_{Rc} / I_c$ tenemos que...

$$R_c = \frac{V_{Rc}}{I_c} = \frac{V_{dd} - V_{ce} - V_{Re}}{I_c} = \frac{12 - 6.59 - 1.2}{0.0146} = \frac{4.21}{0.0146} = 288 \Omega$$

4.- Por pura curiosidad... Conociendo el valor de R_c y R_e puedes calcular la I_c en saturación, y debe coincidir con la establecida en las condiciones de trabajo y en la recta de carga:

$$I_c = \frac{V_{dd}}{R_c + R_e} = \frac{12}{370} = 0.0324 \text{ A} = 32,4 \text{ mA} \dots \text{¡ Ok!}$$

5.- En este método de cálculo por aproximación se tiene que cumplir que β veces el valor de R_e debe ser igual o mayor que 10 veces el valor de R_2 del divisor. Podemos así calcular el valor de ésta:

$$\beta \times R_e \geq 10 \times R_2; R_2 \leq \frac{\beta \times R_e}{10} = \frac{300 \times 82}{10} = 2460 \Omega$$

6.- Con esto ya puedes calcular el valor de R_1 del divisor de tensión:

$$V_b = \frac{V_{dd}}{R_1 + R_2} \times R_2; R_1 = \frac{R_2 \times V_{dd}}{V_b} - R_2 = \frac{R_2 \times V_{dd}}{V_e + V_{be}} - R_2 = \frac{2460 \times 12}{1.2 + 0.7} - 2460 = 13076 \Omega$$

Ya tenemos los valores para nuestro circuito: $R_1 = 13076 \Omega$; $R_2 = 2460 \Omega$; $R_c = 288 \Omega$ y $R_e = 82 \Omega$. Recuerda. Debes elegir los valores más aproximados o asociar resistencias para conseguir el valor exacto. También debes de tener en cuenta las

tolerancias de las mismas. En nuestro circuito recuerda que pusimos: $R1 = 10K \Omega$; $R2 = 2K2$; $Rc = 270 \Omega$ y $Re = 100 \Omega$

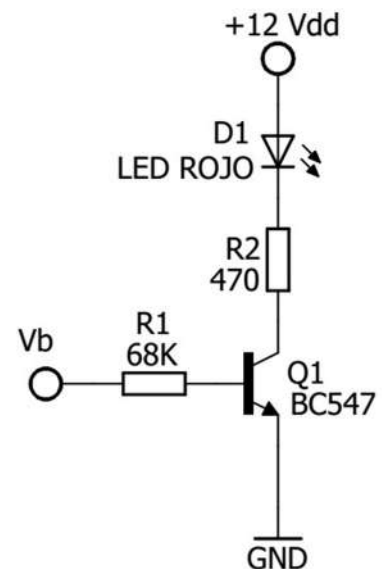
P3-4 El transistor en conmutación

Se dice que un transistor trabaja en conmutación cuando su punto de trabajo Q se encuentra en los puntos extremos de la recta de carga y en ningún otro. Estos puntos ya los conoces y se llaman:

- **Corte.** Cuando $I_c = 0 A$ y $V_{ce} = V_{dd}$. Transistor bloqueado.
- **Saturación.** Cuando $I_c = \text{máx.}$ y $V_{ce} = 0V$. Transistor conduciendo.

Trabajando en conmutación se le puede considerar como un interruptor. En el punto de corte está bloqueado y no deja pasar intensidad. Interruptor abierto. En el punto de saturación el transistor deja pasar la máxima intensidad posible. Interruptor cerrado.

Vamos a probar el siguiente circuito. Cuando se recibe una tensión de base (V_b) de +5V el transistor entra en saturación y el led se activa. Este precisa de una corriente de 20 mA (I_c) y una tensión de 2V entre ánodo-cátodo (V_{AK}). Estos valores pueden variar según el modelo.



El cálculo lo hemos realizado de la siguiente manera:

1.- Calculamos el valor de $R2$ para el punto Q en saturación:

$$V_{dd} = V_{AK} + V_{R2} + V_{ce}; V_{R2} = V_{dd} - V_{AK} - V_{ce} = 12 - 2 - 0 = 10 V$$

$$R2 = \frac{V_{R2}}{I_c} = \frac{10}{0.02} = 500 \Omega \text{ (470 } \Omega \text{)}$$

2.- Calculamos la I_b , la tensión en $R1$ (V_{R1}) y el valor de ésta ($R1$):

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}; I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.02}{300} = 0.000066 A = 66 \mu A; V_{R1} = 5 - 0.7 = 4.3 V$$

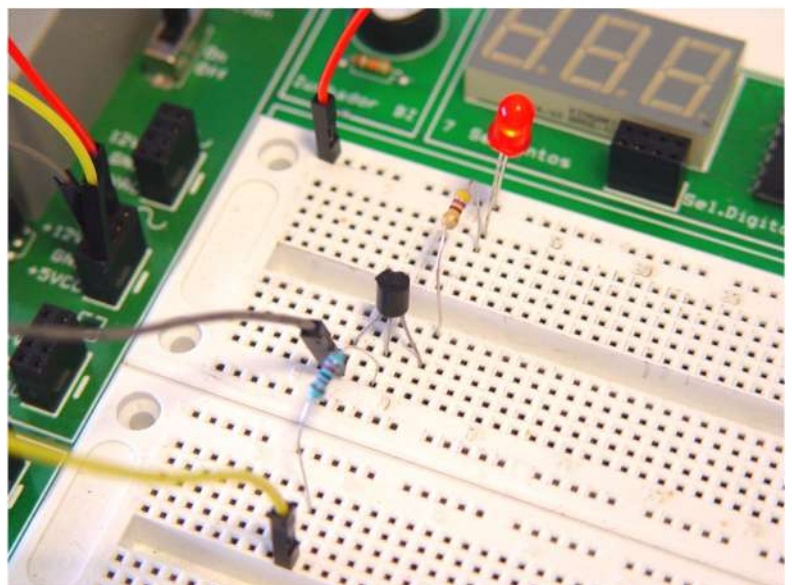
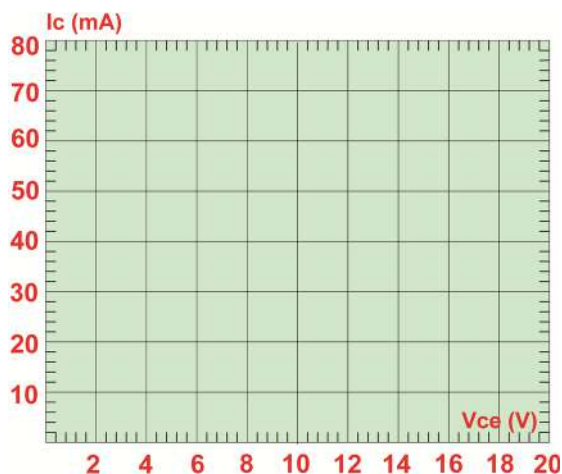
$$R1 = \frac{V_{R1}}{I_b} = \frac{4.3}{0.000066} = 65151 \Omega \text{ (68K)}$$

Una observación. Fíjate que la resistencia calculada es de 65151Ω y sin embargo en el circuito hemos usado una de 68K como valor normalizado. Aunque no lo hemos hecho en este ejemplo, en el caso particular de trabajar en conmutación, la resistencia de base se puede poner de menor valor que la calculada. Esto garantiza que el transistor entra en saturación sí o sí.

Dicho esto vamos a completar la siguiente tabla en la que se proponen el empleo de 3 valores diferentes para esa resistencia de base R1. Mide con el polímetro los valores de las tensiones y luego calcula las intensidades correspondientes

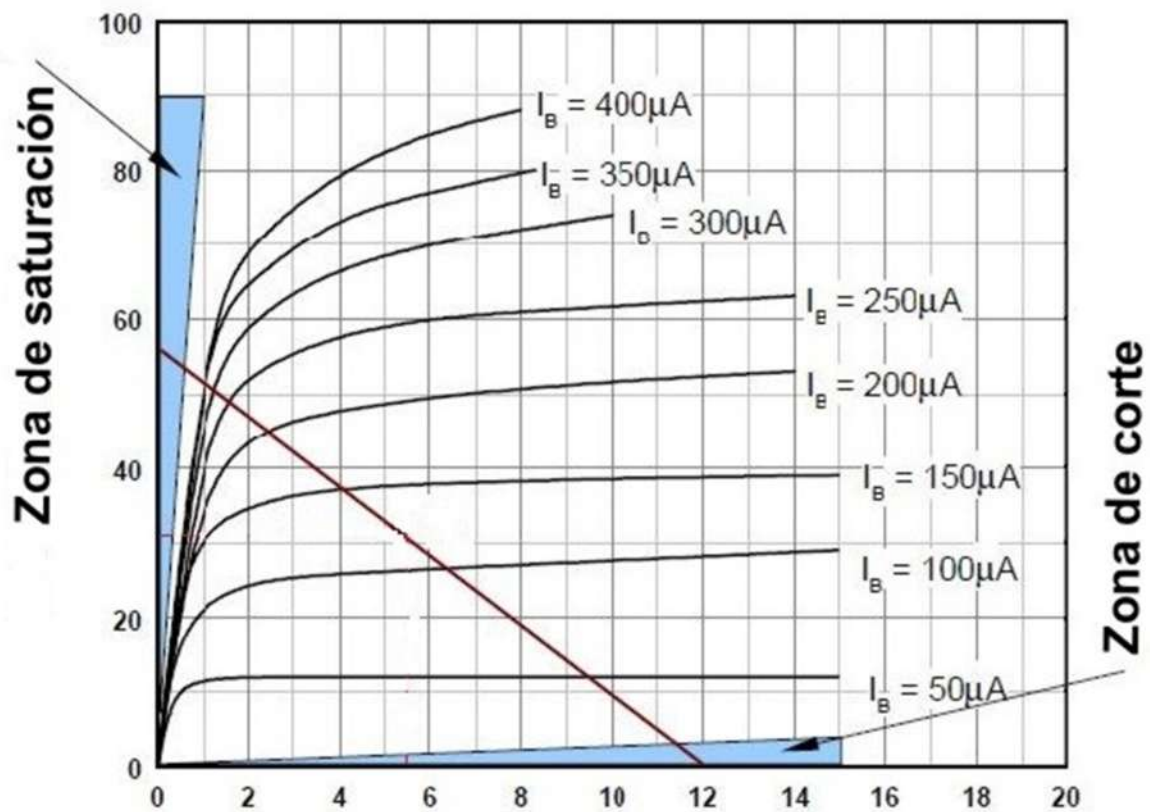
	CORTE; Vb se conecta con GND			SATURACIÓN: Vb se conecta con +5V		
	R1=68K	R1=47K	R1=22K	R1=68K	R1=47K	R1=22K
Vdd						
VAK						
VR2						
Vce						
VR1						
Ic						
Ic						

Representa ambos puntos sobre la gráfica.



Una precisión. Tanto en la teoría como en la práctica se suele considerar que el punto de corte coincide con $I_c = 0$ y $V_{ce} = V_{dd}$, y el punto de saturación cuando $V_{ce} = 0$ e $I_c = \text{máx.}$ Pues bien, a la vista de los resultados medidos y anotados en la tabla anterior,

se puede comprobar que esto no es exactamente así. Mira la recta de carga dibujada sobre una gráfica que relaciona la intensidad de base I_B con la intensidad de colector I_C .



Observa que en realidad existe lo que se llama una "zona de saturación" en la que V_{ce} no tiene por qué ser de 0 V, aunque por simplificar se suele usar este valor. También hay una "zona de corte" en la que I_C tampoco tiene por qué ser de 0 A exactamente, aunque se suele usar este valor como referencia.

En fin, es interesante que aprendas a distinguir entre lo teórico y lo práctico. Que comprendas a qué se deben esas pequeñas diferencias debidas a errores acumulativos por simplificación en los cálculos, redondeo con los decimales, tolerancias de los componentes, errores propios de los instrumentos de medida, etc... En definitiva que sepas dar por válidos los valores prácticos aunque no sean exactamente igual a los teóricos.

P4: AMPLIFICADORES B.F.

Llegados a este punto ya has polarizado a los transistores para que trabajen en un punto de la recta de carga y has comprobado el efecto de amplificación. En electrónica todo funciona con transistores. Vamos ahora a presentar una serie de circuitos típicos a base de ellos.

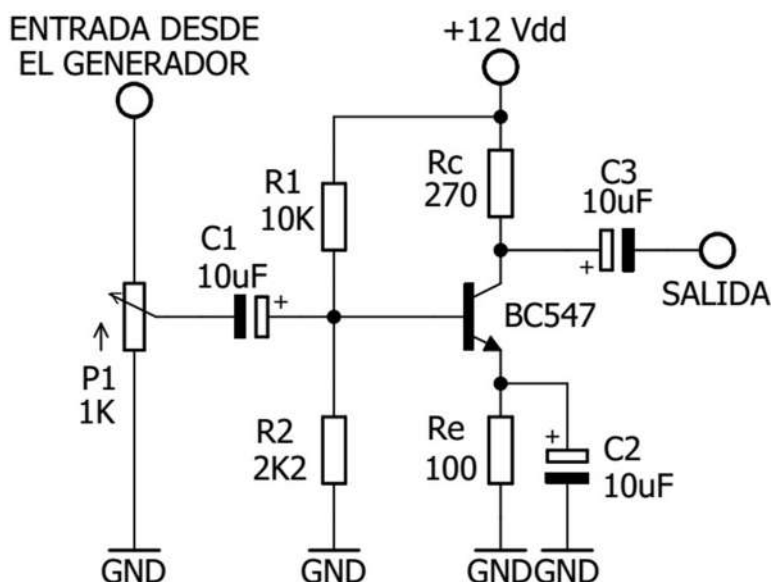
Uno de esos circuitos son, como no podía ser menos, los amplificadores. Los hay de diferentes tipos para diferentes aplicaciones. Hay amplificadores de corriente y de tensión. Hay amplificadores para señales de ultra alta frecuencia como las microondas y



también de radio frecuencia que amplifican las señales que llegan la antena de tu Radio y TV. Quizás los más usados y conocidos por todos sean los amplificadores de baja frecuencia (B.F.). Son los que amplifican señales audibles por el oído humano y los encuentras en tu equipo de música, en una radio, en un TV, conectados a un micrófono, a una guitarra, y un largo etcétera. Vamos a practicar con algunos sencillos amplificadores de B.F.

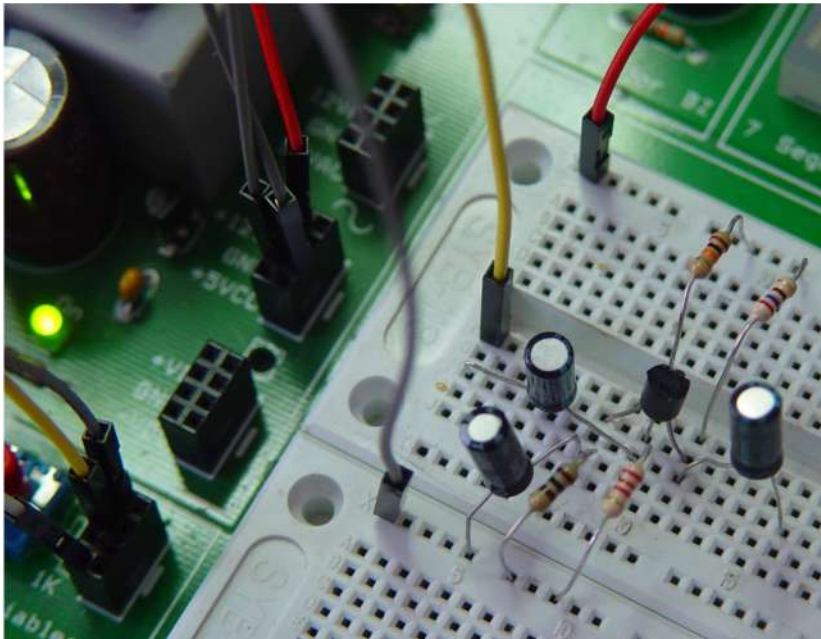
P4-1 Etapa pre amplificadora

En la imagen tienes el esquema eléctrico típico, seguro que te suena de algo. Se trata de una polarización por divisor de tensión con estabilización térmica. Se han añadido los condensadores de acoplo $C1$ y $C3$ que bloquean el paso de la tensión continua, y el de desacoplo $C2$ que desconecta la



resistencia de emisor R_e al paso de la corriente alterna.

Suele ser frecuente que el circuito de polarización esté calculado para que el transistor tenga su punto Q de trabajo aproximadamente en el centro de la recta de carga cuando está en reposo, sin señal a amplificar (amplificación en clase A).



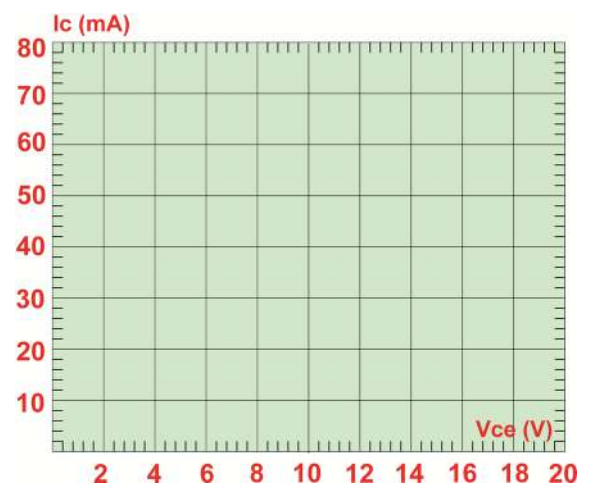
Cuando se le conecta a la entrada la señal a amplificar, se modifica la polarización y la conducción del transistor varía al ritmo de esa señal. A la salida se produce una señal de igual forma y frecuencia que la de entrada pero con mayor amplitud, es decir, amplificada.

Manos a la obra. Monta el circuito sobre el laboratorio tal y como puedes ver en la imagen.

1. Vamos a trabajar con el circuito en reposo, sin señal. Desconéctala soltando el cable que une el terminal (-) de C1 con el cursor del potenciómetro P1 de 1 K del laboratorio. Se trata de realizar las medidas y los cálculos necesarios en reposo, sin señal, para completar la siguiente tabla.

MEDIR	V_b	V_e	V_{be}	V_{ce}	V_{Rc}	I_e	I_c
VALOR							

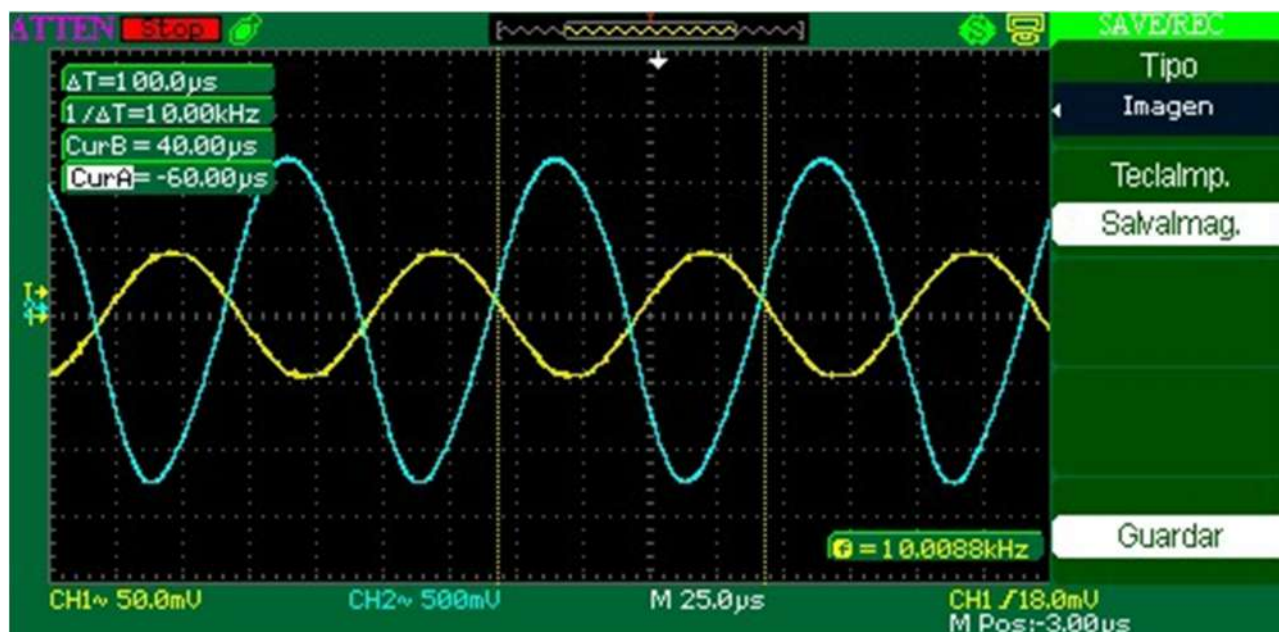
2. Dibuja la recta de carga y el punto Q de trabajo en reposo. Dicho punto Q quizá no sea el punto central de la recta de carga, pero estará próximo. Se trata por tanto de un amplificador en clase A.



- Lo ideal sería disponer de un osciloscopio. Ajustamos el generador del laboratorio para que suministre una señal sinusoidal de 10 KHz. El canal 1 se conecta en el cursor de P1, entrada de señal, y el canal 2 del osciloscopio en el extremo (-) de C3, salida.
- Mediante el potenciómetro, y con ayuda del canal 1 del osciloscopio, vamos a ajustar la amplitud de la señal de entrada (V_{in}) a unos 100 mVpp.
- Mediante el canal 2 del osciloscopio medimos la señal de salida (V_{out}). Anotar y calcular la amplificación:

$$V_{in} = \quad ; V_{out} = \quad ; \beta = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{veces}$$

Como posiblemente no dispongas de un osciloscopio, en la imagen te voy a presentar los resultados que hemos obtenido nosotros.



El canal 1 (CH1=50mV), en amarillo, mide la señal de entrada (V_{in}). El canal 2 (CH2=500mV), en azul, mide la señal de salida (V_{out}). Si contamos las cuadrículas podemos medir el valor pico a pico de ambas señales y calcular la amplificación:

$$V_{in} = 2 \times 50mV = 100mV ; V_{out} = 5 \times 500mV = 2500mV ; \beta = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2500}{100} = 25$$

Observa que la señal de salida tiene la misma forma y frecuencia que la de entrada. Lo único que varía es su amplitud. Eso sí, como se trata de una etapa

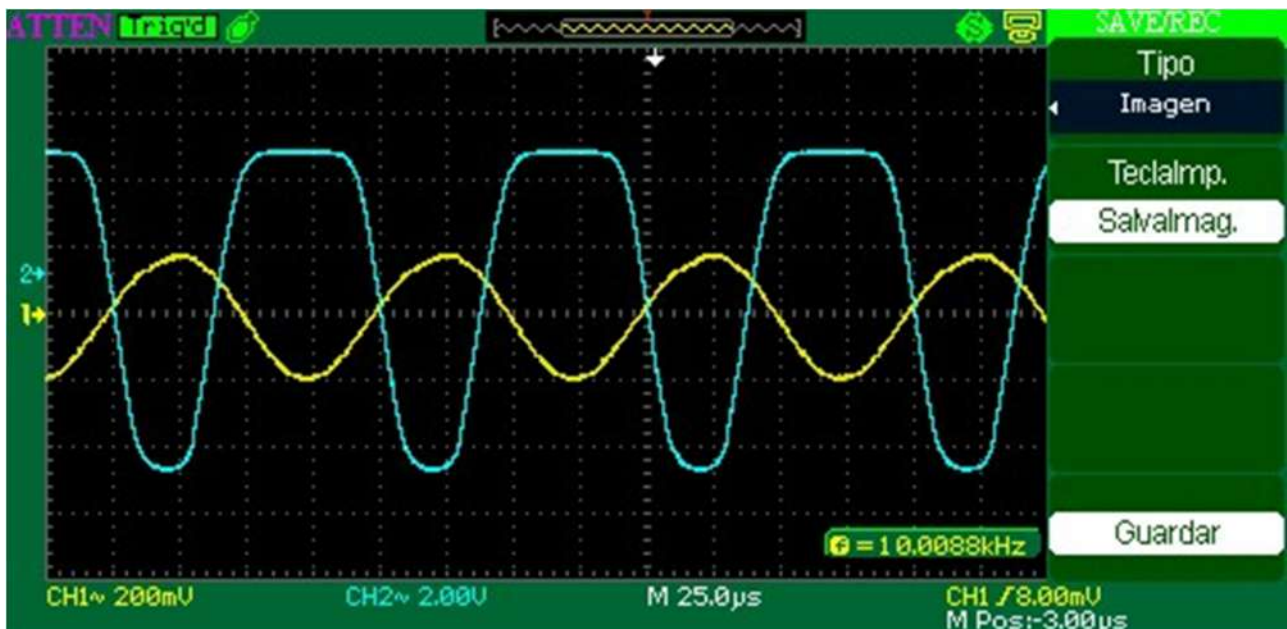
amplificadora en emisor común, esa señal de salida está desfasada 180° respecto a la de entrada.

Ejercicio 2: Un experimento...

El potenciómetro P1 se emplea para atenuar más o menos la señal de entrada que proporciona el generador del laboratorio. Equivale a lo que sería el mando de volumen de tu equipo de música.

Antes se te proponía que con él ajustaras la amplitud de la señal de entrada a un valor de 100mVpp. Ahora se te propone que vayas aumentando poco a poco esa amplitud hasta alcanzar el valor máximo que da el generador.

Si tuvieras un osciloscopio verías que en un momento dado la forma de la señal de salida se va deformando respecto a la forma de la señal de entrada. Esto se conoce como la "distorsión". La señal de salida ya no es igual a la de entrada. En tu equipo de música percibirías que la calidad del sonido disminuye. Mira la figura.



El canal 1 (CH1=200mV), en amarillo, mide la señal de entrada (V_{in}), que ha aumentado hasta los 400 mVpp (2×200 mV). El canal 2 (CH2=2V), en azul, mide la señal de salida (V_{out}) que aumenta hasta los 10 Vpp (5×2 V). La señal de salida tiene la misma frecuencia que la de entrada y está desfasada 180° , pero ha perdido la forma sinusoidal que tenía la señal original. Está distorsionada.

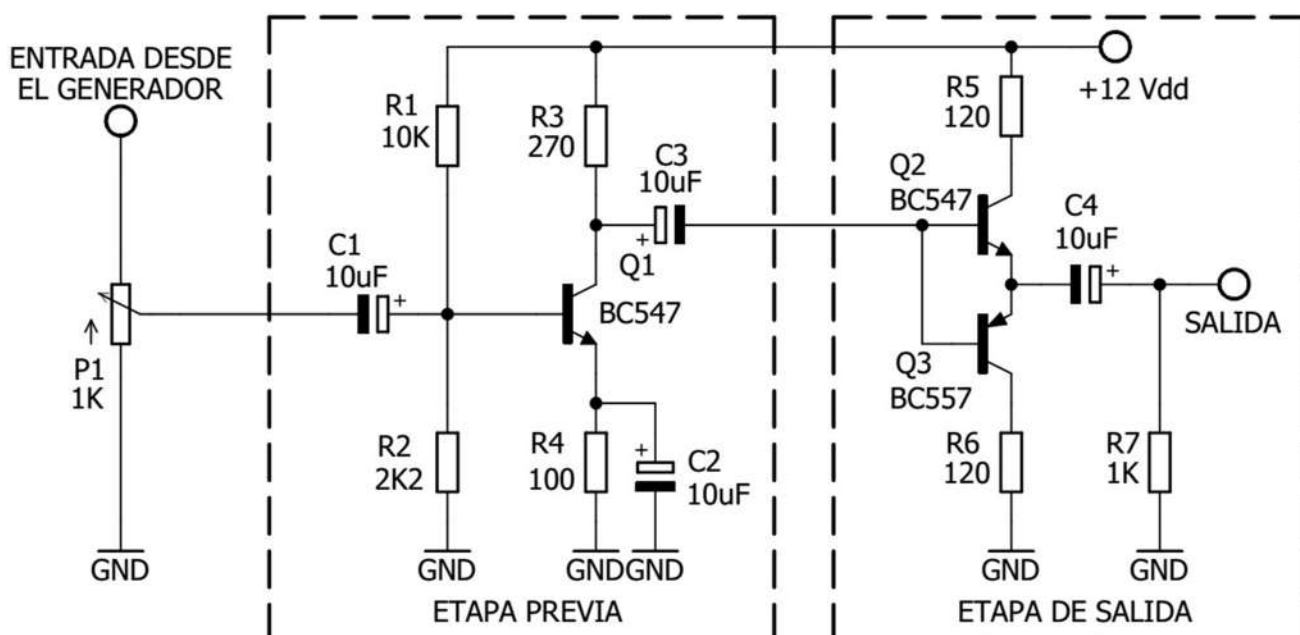
P4-2 Amplificador de B.F.

Un clásico amplificador de baja frecuencia (B.F.), como el de cualquier reproductor de audio, está compuesto como mínimo de una etapa amplificadora o previa y de una etapa de salida. Si además el equipo es estéreo, todas las etapas previas y de salida se duplican para cada canal.

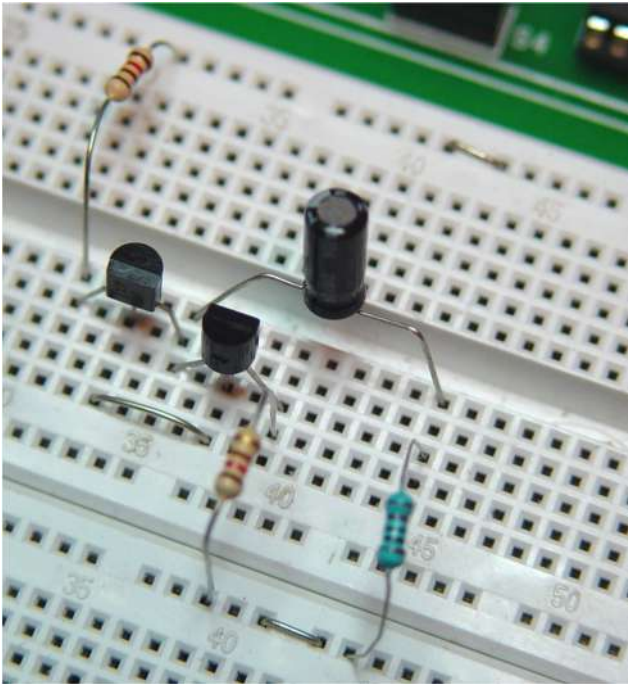


La etapa previa normalmente amplifica en tensión la amplitud de la señal de entrada. El circuito de la práctica anterior se puede considerar como una etapa preamplificadora de clase A. En un equipo comercial de audio puede haber varias etapas preamplificadoras conectadas entre sí en cascada.

La etapa de salida está más bien pensada para amplificar corriente en lugar de tensión. También se le conoce como "etapa de potencia". A su entrada se le aplica la señal procedente de una etapa previa y a su salida se conecta una carga como puede ser un altavoz, que precisa de una mayor energía para su activación. En el esquema de la figura tienes el esquema típico de un amplificador con una etapa preamplificadora y otra de salida. Vamos a estudiarlo y luego lo vas a montar para experimentar con él.



- **Etapa previa.** Está formada por el transistor Q1, sus resistencias de polarización (R1/R2), de carga (R3) y de estabilización (R4), así como por los condensadores de acoplo (C1/C3) y desacoplo (C2). Ya la conoces. Recibe la señal procedente del generador a través del potenciómetro P1 que permite ajustar la amplitud de la misma.
- **Etapa de salida o de potencia.** En este ejemplo está compuesta por dos transistores complementarios (Q2/Q3 - NPN/PNP) en montaje de colector común,

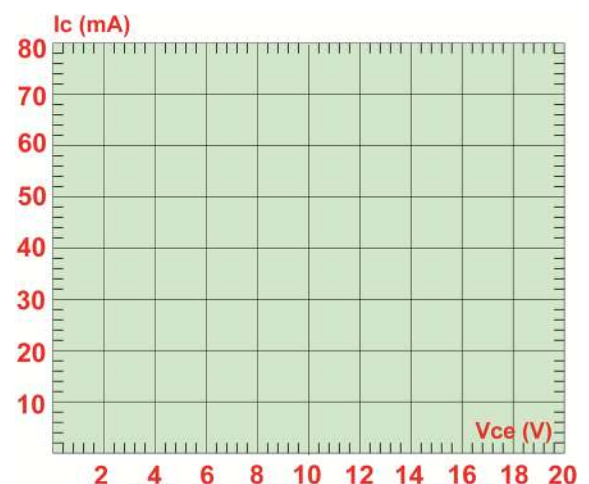


con lo que la amplificación de tensión es nula, pero la amplificación de intensidad es elevada. Se conoce como etapa en "push-Pull". Estos transistores no tienen polarización fija. Se polarizan mediante la propia señal de entrada procedente de la etapa previa, y que debe superar los 0.7V de la V_{be} . En el semiciclo positivo conduce Q2 (NPN) y en el negativo Q3 (PNP). Sin señal previa ambos transistores están bloqueados. Se trata de una amplificación en clase B.

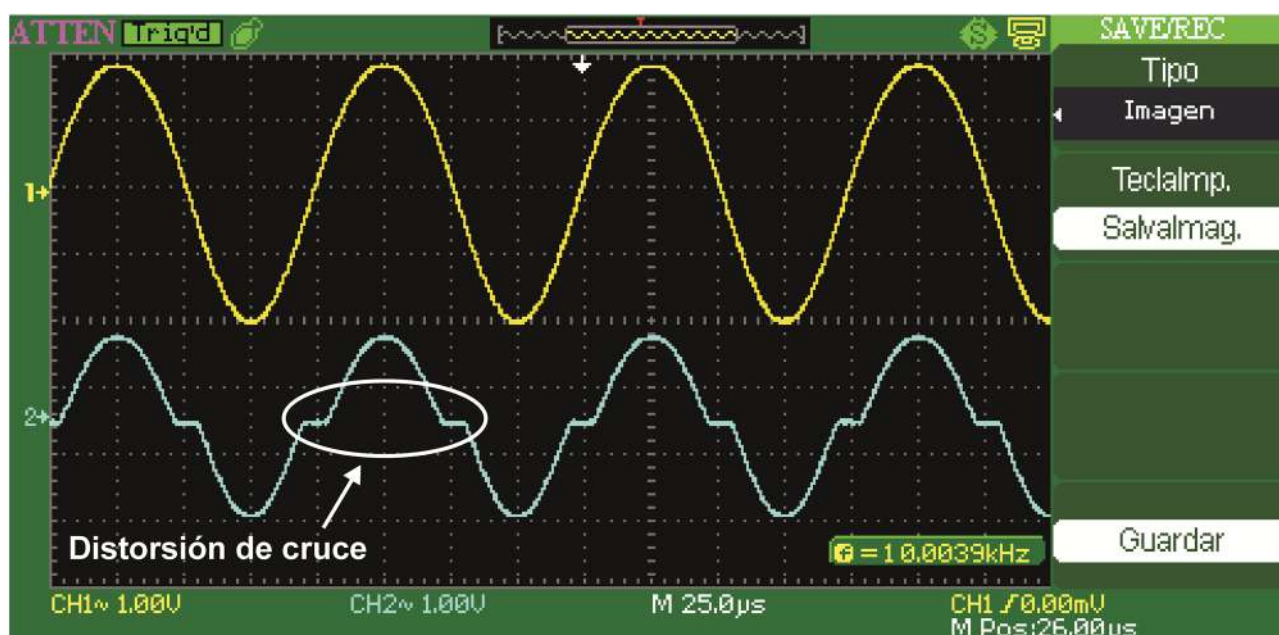
1. Vamos a trabajar con el circuito en reposo, sin señal. Desconéctala soltando el cable que une el condensador C3 con las bases de Q2 y Q3. Se trata de realizar las medidas y los cálculos necesarios para completar la siguiente tabla.

TRANS.	V_{be}	V_c	VR5	VR6	I_c
Q2					
Q3					

2. Dibuja la recta de carga y el punto Q de trabajo. Se trata de una amplificación en clase B.



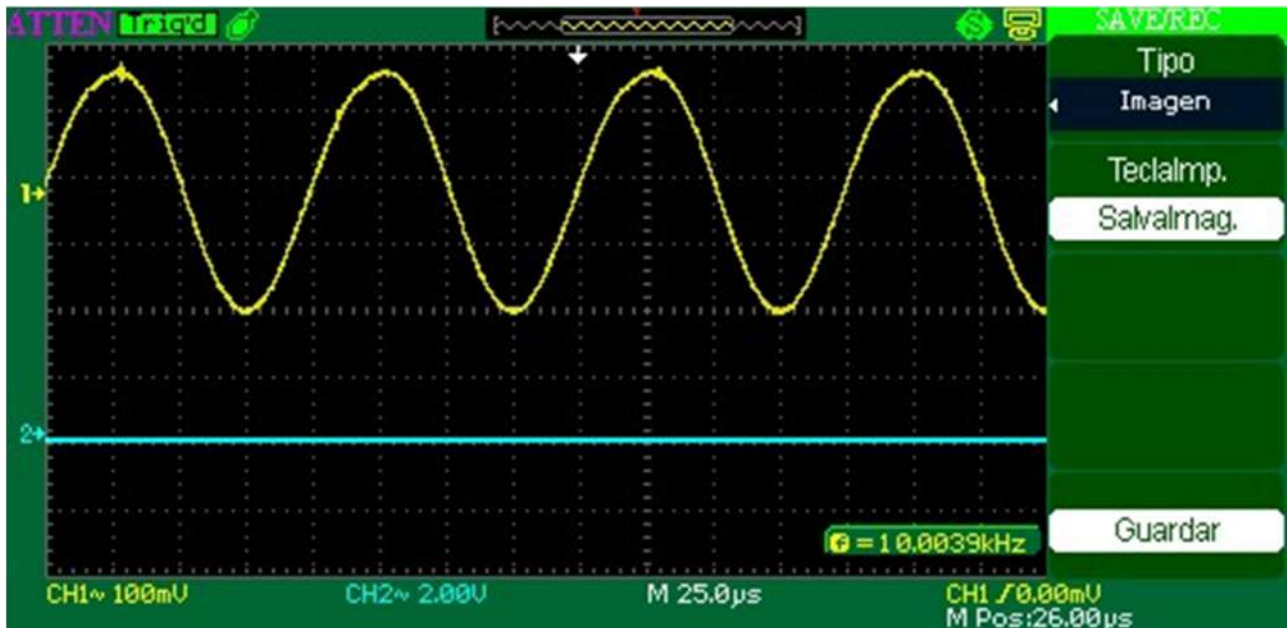
3. Con ayuda de un osciloscopio ajusta el generador del laboratorio para que suministre una señal sinusoidal de 10 KHz y una amplitud de 100 mVpp medida en el cursor del potenciómetro P1.
4. Ahora conecta el canal 1 (CH1) en las bases de Q2/Q3. Mide la señal a la entrada del push-pull y que procede de la salida de la etapa previa. El canal 2 (CH2) se conecta en la salida (R7). Mide la señal de salida de la etapa de potencia. Mira la imagen.



5. Analicemos. En amarillo se muestra la señal de entrada a la etapa de potencia y procedente de la salida de la etapa previa. Tiene una amplitud de unos 3.8 Vpp. Si la señal del generador se ajustó en 100 mVpp, la amplificación ha sido de unas 38 veces. En azul tenemos la señal de salida de la etapa de potencia con una amplitud de unos 2,8 Vpp. No hay amplificación de tensión, incluso la señal de salida es menor que la de entrada, pero sí de intensidad. No hay desfase entre la señal de entrada y la de salida. Son características propias del montaje en colector común.
6. En la imagen se señala la "distorsión de cruce" que se produce siempre en etapas de salida en push-pull. Es debido a que cada transistor se queda con unos 0.7 V en su base-emisor (V_{be}) de cada semiciclo de la señal de entrada.

Ejercicio 3: Otro experimento...

Con cuidado vas a desconectar la salida de la etapa previa (C3) de las bases de los transistores Q2/Q3 de la etapa de potencia en push-pull. Dichas bases las vas a conectar directamente con la salida del generador del laboratorio. Si dispones de un osciloscopio esto es lo que verías, ¿por qué?



El canal CH1, en amarillo, está conectado con la entrada de la etapa de potencia que recibe directamente la señal de salida del generador del laboratorio. La amplitud máxima de esa señal es de unos 360 mVpp. Este valor no supera los 0.7 V que necesitan los transistores en su base-emisor (V_{be}) para conducir. La etapa de salida de potencia en push-pull está bloqueada y no hay amplificación. Por este motivo la señal del canal CH2, en azul, nos muestra un oscilograma plano.

P5: OSCILADORES

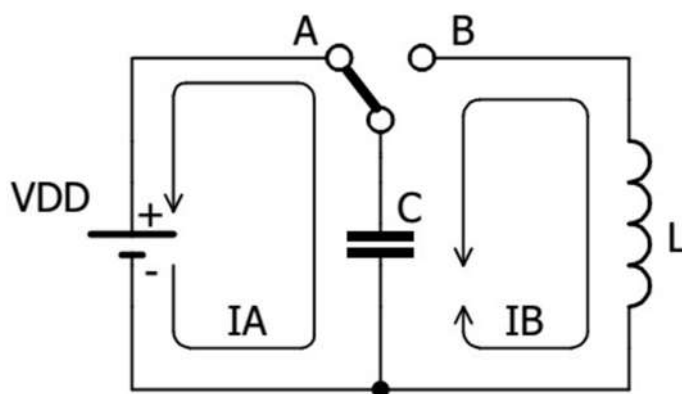
Hablar de osciladores, tanto en el plano teórico como en el práctico, precisaría de todo un curso monográfico dedicado a ellos. En esta área de prácticas vamos a dar unas ideas generales y proponer unos circuitos básicos que al menos te sirvan como base para que puedas profundizar por tu cuenta si te interesa el tema.



El funcionamiento de un péndulo como el de la figura nos puede servir como introducción. Basta con darle un ligero empujón a la bola para que esta oscile de un extremo al otro de su recorrido.

¿Esta oscilación será perpetua? **NO**. Debido al rozamiento que existe en el sistema de sujeción de la bola, e incluso el rozamiento de ésta con el aire, la oscilación se va poco a poco amortiguando hasta que finalmente desaparece. La bola se detendrá a no ser que cada cierto tiempo le ayudes con un nuevo empujón.

El equivalente eléctrico del péndulo sería un circuito formado por una bobina L y un condensador C . Mira el esquema de la figura. Inicialmente ponemos el conmutador en la posición A la intensidad I_A hace que el condensador C se cargue con la tensión V_{dd} . Equivale al empujón inicial del péndulo.



Ahora ponemos el conmutador en la posición B. El condensador se descarga por la bobina produciendo la intensidad I_B en un sentido. En esa bobina, por efecto de la ley de Lenz, se autoinduce una tensión opuesta a la causa que la produce (I_B). En la medida que esa tensión aumenta I_B disminuye.

En un momento dado el condensador se queda vacío mientras que la bobina se queda con la tensión autoinducida. Como el conmutador sigue en la posición B, la tensión en la bobina sirve ahora para recargar nuevamente al condensador apareciendo nuevamente una IB pero en sentido contrario.

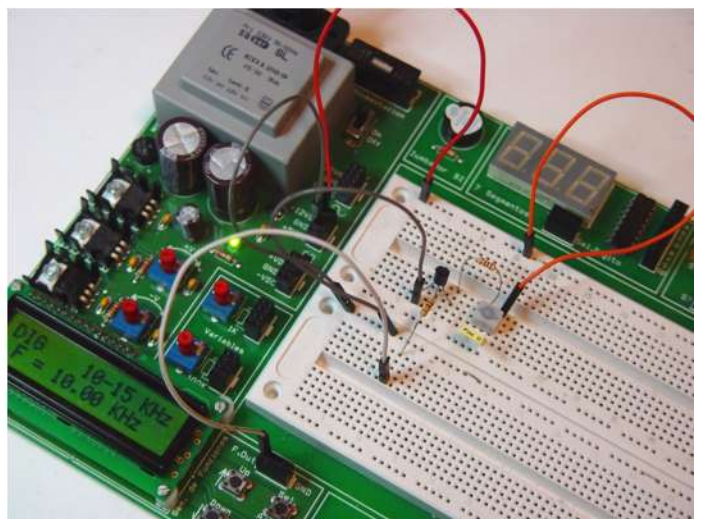
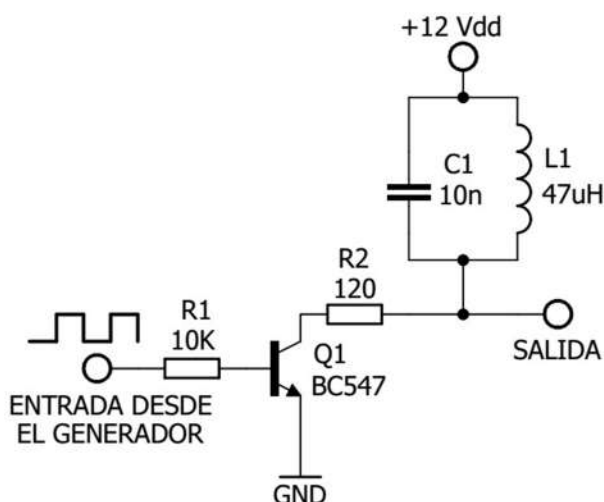
Llega un momento en que la bobina ha cedido toda su tensión autoinducida, IB desaparece y el condensador se ha vuelto a cargar pero con la polaridad opuesta. El ciclo se repite y la intensidad IB oscila en un sentido y luego en el contrario.

¿Esta oscilación es perpetúa? **NO**. En todo circuito eléctrico siempre se producen pérdidas de energía en forma de calor, por lo que finalmente la intensidad IB que oscilaba en un sentido y en el contrario, dejará de circular totalmente, a no ser que cada cierto tiempo pongas el conmutador a la posición A, recargues el condensador y lo pongas nuevamente en la posición B.

P5-1 Oscilaciones en un circuito LC

Vamos a demostrar todo esto montando el siguiente circuito experimental, al que se le aplica desde el generador del laboratorio una señal de onda cuadrada de 10 KHz.

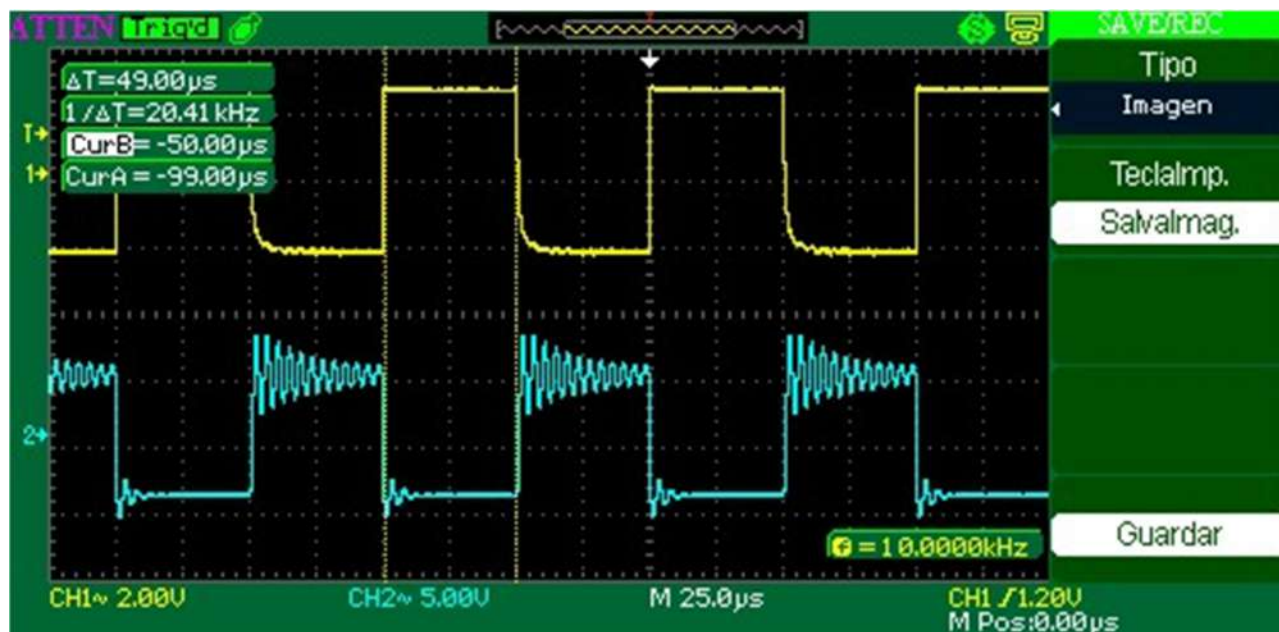
En el esquema, L1 y C1 forman lo que se llama el "circuito resonante" sobre el que se van a producir las oscilaciones a una frecuencia conocida como frecuencia de "resonancia".



Por su parte la señal de onda cuadrada activa/desactiva al transistor Q1. En el semiciclo positivo Q1 conduce y recarga el condensador C1. Es como aquel conmutador

que poníamos en la posición A. En el semiciclo negativo de la onda cuadrada el transistor se bloquea. El circuito resonante LC comienza a oscilar. Equivale a poner ese conmutador en la posición B.

Como siempre en estos casos, lo ideal sería disponer de un osciloscopio que nos permita ver las señales producidas como en la imagen.



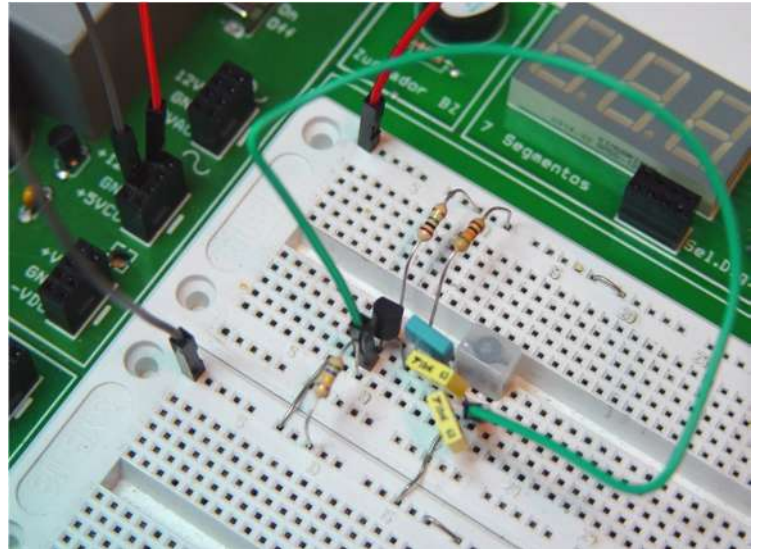
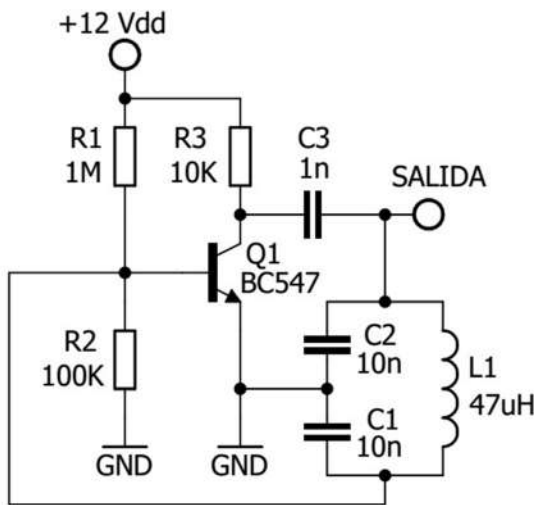
El canal CH1, en amarillo, está conectado con la señal de entrada que suministra el generador del laboratorio. El canal CH2, azul, visualiza la señal en el colector.

Cuando la señal de entrada es positiva Q1 conduce en saturación, el condensador se recarga y la tensión en el colector cae a 0V (conmutador en posición A). Cuando la señal de entrada es negativa el transistor se bloquea, su tensión colector sube a +Vdd y comienzan las oscilaciones (conmutador en posición B). Con el paso del tiempo las oscilaciones se van amortiguando tendiendo a desaparecer, hasta que llega el siguiente ciclo de recarga del condensador.

P5-2 Oscilador Colpitts

Dentro de los múltiples tipos de osciladores quizás sea uno de los más usados. En la imagen puedes ver su esquema típico. R1 y R2 forma el divisor de tensión para la polarización de Q1 y R3 es la resistencia de carga.

El circuito resonante LC está formado por la bobina L1 y la capacidad equivalente de C1 y C2.



La clave de este circuito es que parte de la señal de salida en el circuito LC se reintroduce a la base del transistor. Es lo que se conoce como el "lazo de realimentación", típico de los osciladores. Cada vez que la base recibe un semiciclo positivo, el transistor (NPN) conduce y refresca el circuito resonante de forma periódica. Siendo así seguro que te has dado cuenta de que las oscilaciones nunca cesarán.

La frecuencia a la que oscila el circuito resonante se llama frecuencia de resonancia (**Fo**) y depende de los valores de L y de C. Se puede calcular según la siguiente fórmula simplificada:

$$F_o = \frac{0.159}{\sqrt{LC}}; \text{ donde } C = \frac{(C1 \times C2)}{(C1 + C2)}; \text{ ya que están en serie}$$

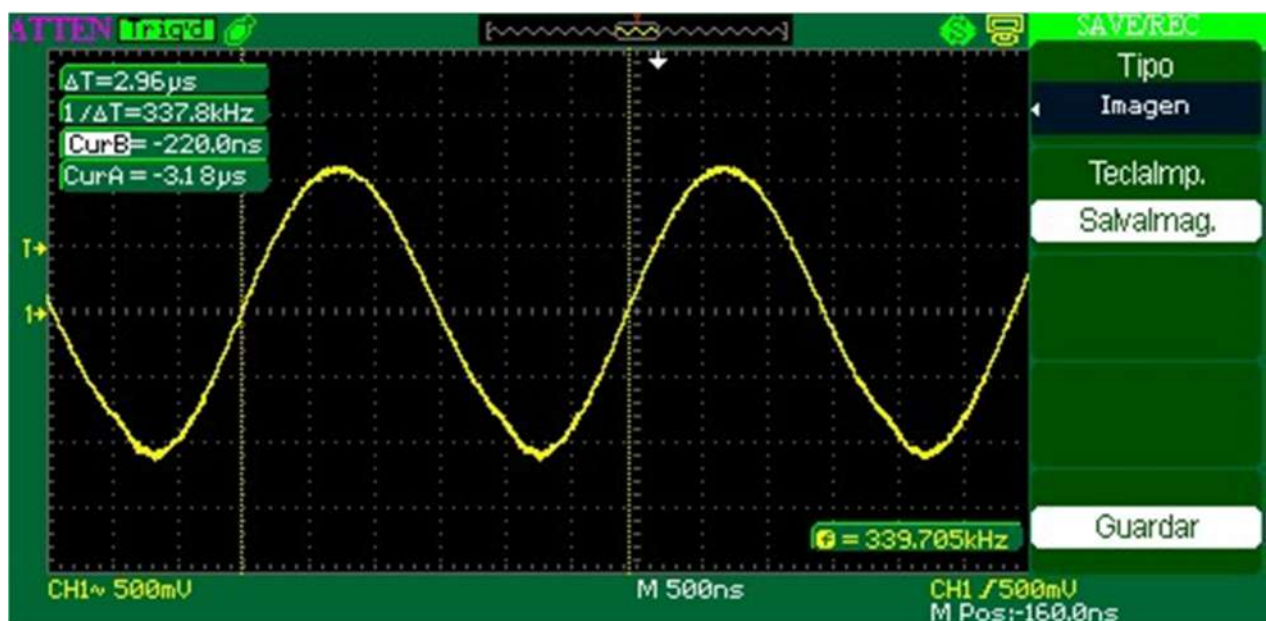
Fo = Frecuencia en Hz; **L** = Inductancia en Henrios y **C** = en faradios. Con todo ello en el circuito del esquema:

$$F_o = \frac{0.159}{\sqrt{LC}} = \frac{0.159}{\sqrt{47 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-9}}} = 327991 \text{ Hz} = 328 \text{ KHz}$$

Podemos modificar los valores de los condensadores (es más fácil que variar el valor de la bobina) para variar así la frecuencia de salida. Prueba a calcular las frecuencias según los condensadores propuestos en la tabla.

C1	C2	C	Fo
1 nF	1 nF		
10 nF	1 nF		
1 nF	10 nF		

Según los valores del esquema original, mi osciloscopio me muestra esta señal de 339705 Hz, frente a los 327991 Hz calculados teóricamente. Si tenemos en cuenta las tolerancias de la bobina y de los condensadores el resultado no está nada mal del todo ¿no te parece?



Advertencia. Los circuitos osciladores son bastante delicados. Cualquier problema en el lazo de realimentación (mala conexión, interferencias, etc..) impide la oscilación. Los componentes de este tipo de circuitos se suelen conectar mediante soldadura y los módulos board como los del laboratorio no son el mejor soporte. Si ves que el circuito no oscila ten paciencia y prueba a mover ligeramente las conexiones y/o a cambiar la orientación de los componentes

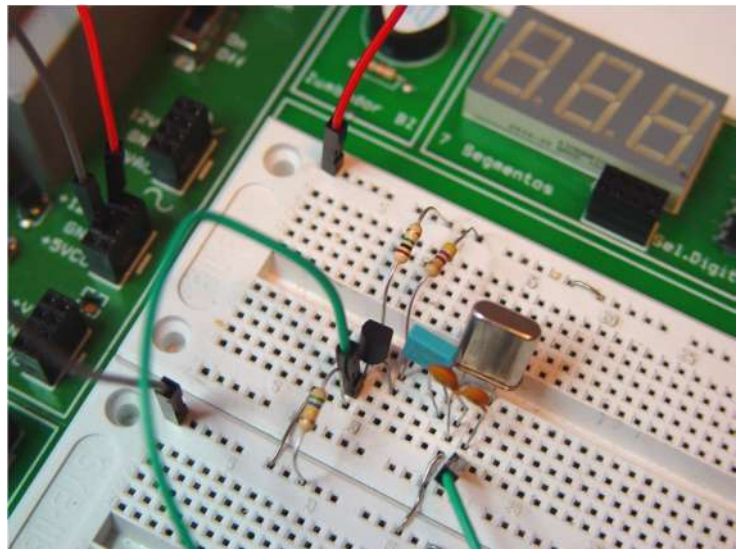
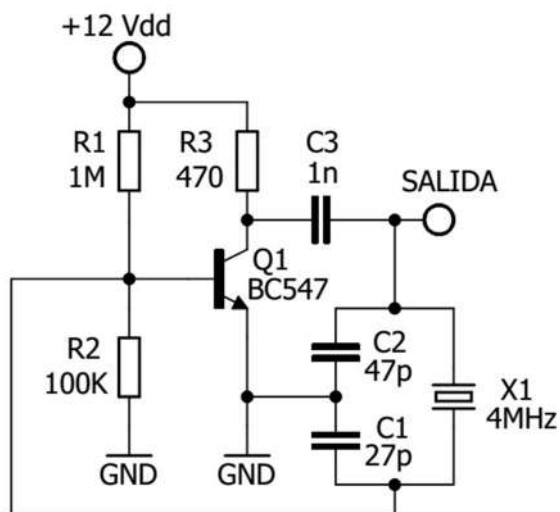
P5-3 Oscilador por cristal de cuarzo

Se trata de una versión del oscilador anterior en la cual se emplea un cristal de cuarzo en lugar de la bobina. Este tiene la propiedad piezoeléctrica de producir oscilaciones a la frecuencia de resonancia (F_0) para la que está construido. Tiene mucha

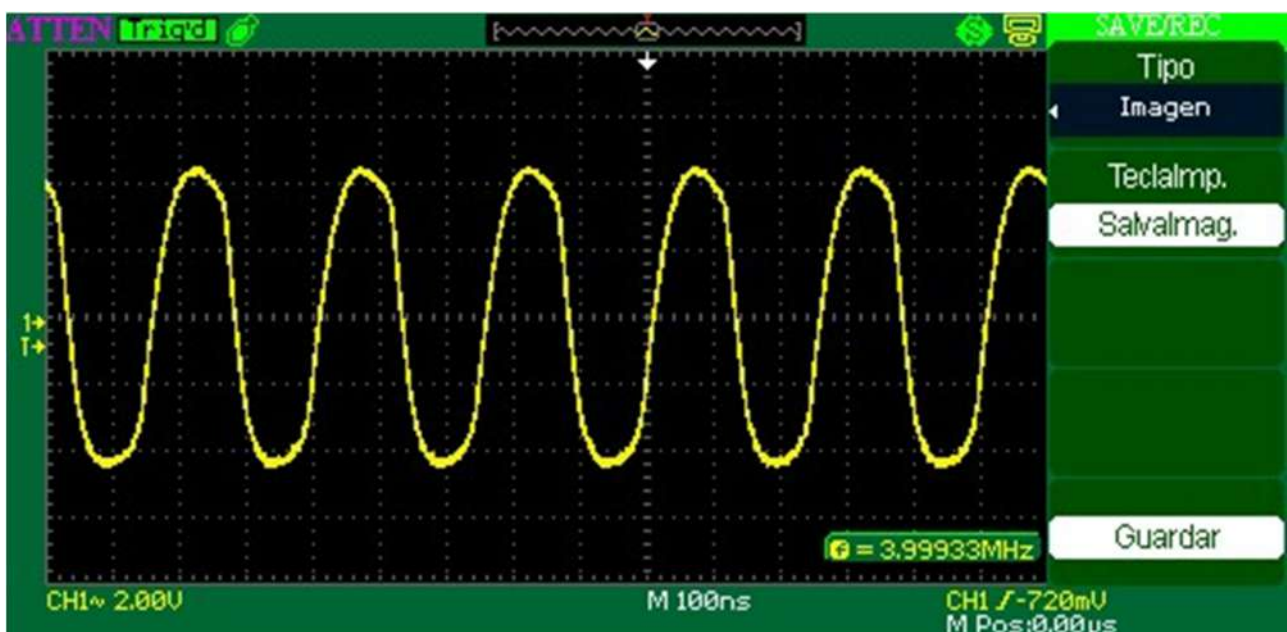


mayor precisión que la bobina por lo que la frecuencia que genere es mucho más precisa.

Realiza el montaje del esquema siguiente que es casi el mismo que el del oscilador Colpitts anterior. Se sustituye la bobina por un cristal de cuarzo de 4 MHz y los valores de algunos condensadores y resistencias.



El experimento consiste simplemente en montar el circuito y, con ayuda de un osciloscopio y/o un frecuenciómetro, visualizar y medir la frecuencia de salida. En nuestro laboratorio y con nuestro osciloscopio los resultados obtenidos los tienes en el siguiente oscilograma: 3.99933 MKHz. No está pero que nada mal.

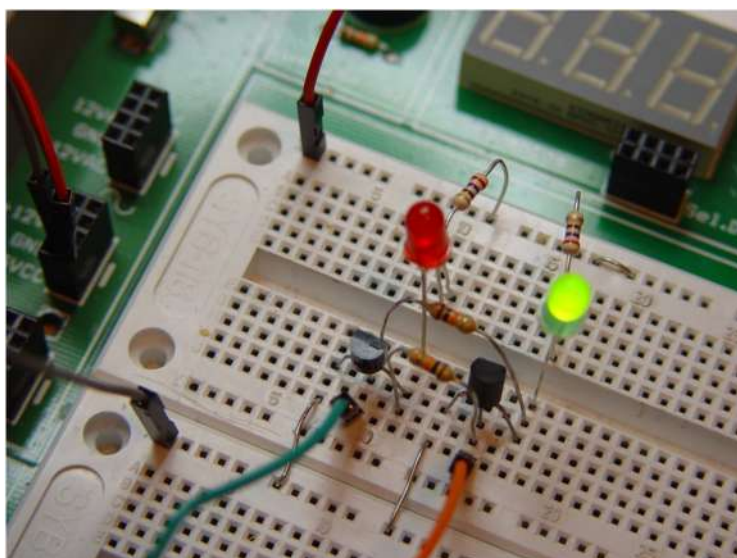
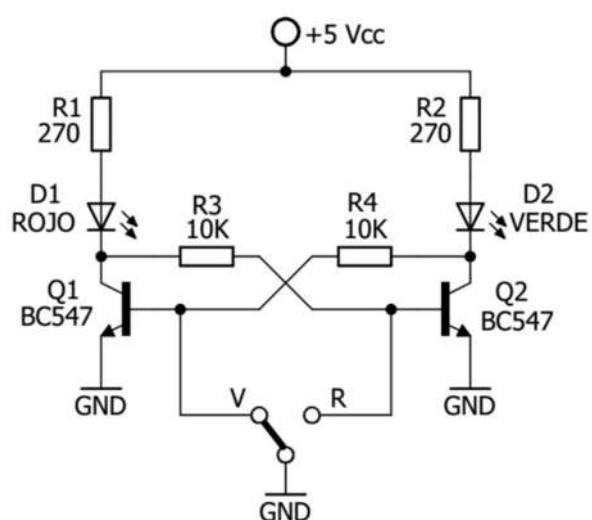


P6: MULTIVIBRADORES

Se pueden considerar como otro tipo de osciladores. Quizás una diferencia importante es que los transistores que los forman trabajan en conmutación, esto es, o están saturados o están bloqueados. Trabajan en los extremos de la recta de carga: corte y saturación. Las señales que producen tienen por tanto forma de onda cuadrada.

P6-1 Multivibrador biestable

En el mundo digital también se le conoce como "*Flip-Flop*". Está compuesto de dos transistores trabajando en conmutación. La conducción de uno de ellos provoca el bloqueo del otro y viceversa. La situación de conducción/bloqueo se consigue mediante dos señales externas, una por cada transistor, y se mantiene de forma estable hasta que se aplique la señal externa correspondiente. Este es el circuito con el que vas a experimentar.



Cuando montes el circuito y le conectes la tensión de alimentación se encenderá uno de los leds. No te puedo decir cuál, es aleatorio. Lo que sí te puedo decir es qué ocurrirá si los cables verde (V) o rojo (R) los conectas durante un breve instante con GND (uno cada vez).

Cable verde (V) a GND: La base de Q1 pasa a 0V por lo que éste se bloquea. Su tensión de colector sube al máximo (corte) y la base de Q2, a través de R3, queda polarizada. Q2 conduce al máximo, el led verde (D2) se enciende y su tensión de colector cae al

mínimo (saturación). Esta ausencia de tensión en el colector de Q2 mantiene bloqueado a Q1 aunque desconectes el cable verde (V) de GND. El led rojo (D1) se apaga.

Cable rojo (R) a GND: Es justo lo contrario. La base de Q2 pasa a 0V por lo que éste se bloquea. Su tensión de colector sube al máximo (corte) y la base de Q1, a través de R4, queda polarizada. Q1 conduce al máximo, el led rojo se enciende y su tensión de colector cae al mínimo (saturación). Esta ausencia de tensión en el colector de Q1 mantiene bloqueado a Q2 aunque desconectes el cable rojo (R) de GND. El led verde (D2) se apaga.

Todo esto se puede demostrar de forma sencilla, con un simple polímetro, haciendo las siguientes medidas y completando las tablas adjuntas.

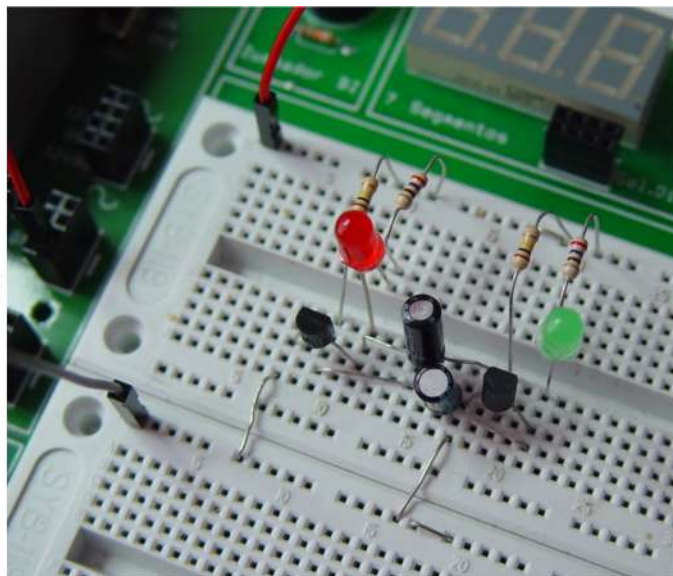
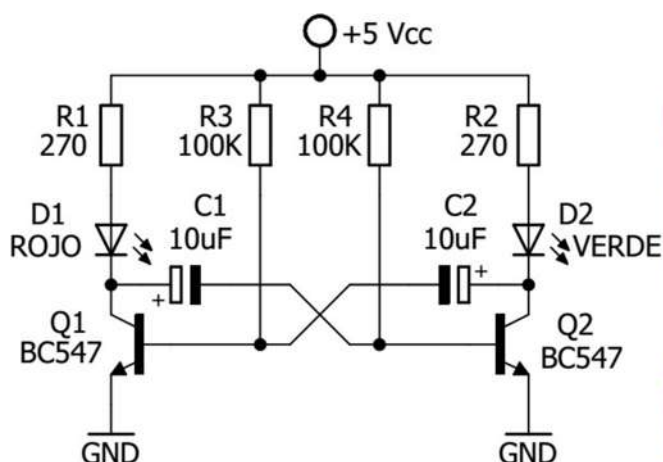
CONECTAR CABLE VERDE (V) CON GND						
TRANS.	V _{be}	V _{ce}	V _{Rc}	I _c	D1 (ON/OFF)	D2 (ON/OFF)
Q1						
Q2						

CONECTAR CABLE ROJO (V) CON GND						
TRANS.	V _{be}	V _{ce}	V _{Rc}	I _c	D1 (ON/OFF)	D2 (ON/OFF)
Q1						
Q2						

P6-2 Multivibrador inestable

También llamado "*astable*" y su funcionamiento es similar al biestable anterior en cuanto a que los transistores conducen alternadamente y la conducción de uno produce el bloqueo del otro. La diferencia radica en que no hace falta de ningún estímulo o señal externa para cambiar el estado de los transistores. Estas señales se generan automática y periódicamente mediante un circuito RC.

A continuación tienes el esquema teórico y su montaje práctico sobre el laboratorio Universal Trainer.



Por tener un punto de partida imagina que Q1 está activado, conduce y D1 (rojo) se ilumina. La corriente de base de Q1 va cargando a C2 hasta que adquiere una tensión negativa suficiente como para provocar que Q1 se auto bloquee (es NPN). Al mismo tiempo C1 se va descargando a través de R4. Al vaciarse completamente la base de Q2 queda polarizada.

En este momento Q1 está bloqueado y Q2 conduciendo. El led verde D2 se ilumina. Sin embargo la corriente de base de Q2 va cargando poco a poco a C1 hasta que adquiere la suficiente tensión negativa como para auto bloquear a Q2. Al mismo tiempo C2 se ha ido descargando a través de R3. En un momento dado Q1 vuelve a conducir y Q2 a bloquearse. Estamos como al principio y el ciclo se repite constantemente.

El tiempo de bloqueo de Q1 depende de lo que tarda en descargarse C2 a través de R3, y el de Q2 depende de C1 y R4. La frecuencia de la señal de salida en onda cuadrada en cualquiera de los dos colectores se puede calcular:

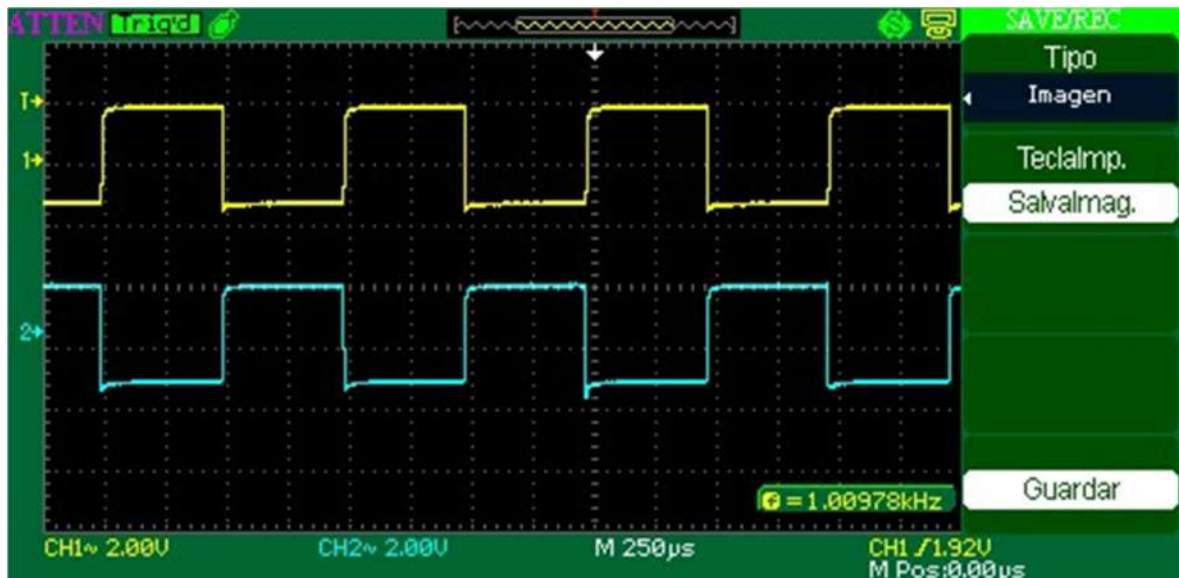
$$F = \frac{1}{1.4(R \times C)}; \text{Donde } R \text{ y } C \text{ es una de las parejas } R3 - C2 \text{ o bien } R4 - C1$$

$$F = \frac{1}{1.4(100000 \times 0.00001)} = 0.714 \text{ Hz}$$

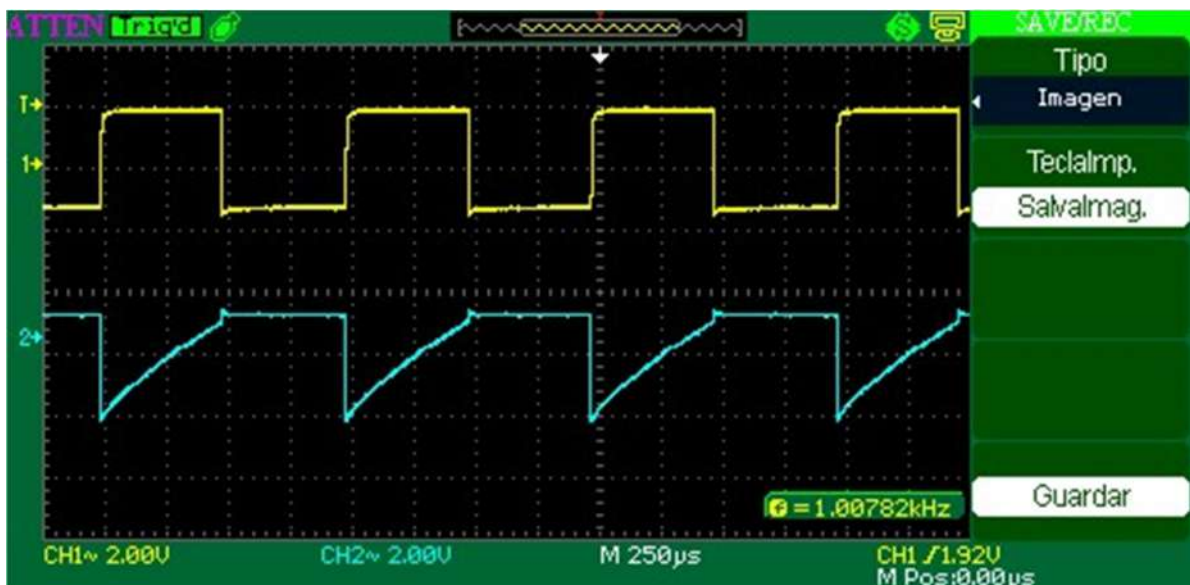
Cambiar los condensadores C1 y C2 de 10 μF por otros de 10 nF y calcular:

$$F = \frac{1}{1.4(R \times C)} = \frac{1}{1.4(100000 \times 0.00000001)} = 714,28 \text{ Hz}$$

Obviamente, a esa frecuencia, la retina de tus ojos es incapaz de distinguir el parpadeo de los leds, pero desde luego que se produce. Nuevamente debemos echar mano del osciloscopio para visualizar las señales y medir su frecuencia. Esto es lo que muestra el nuestro.



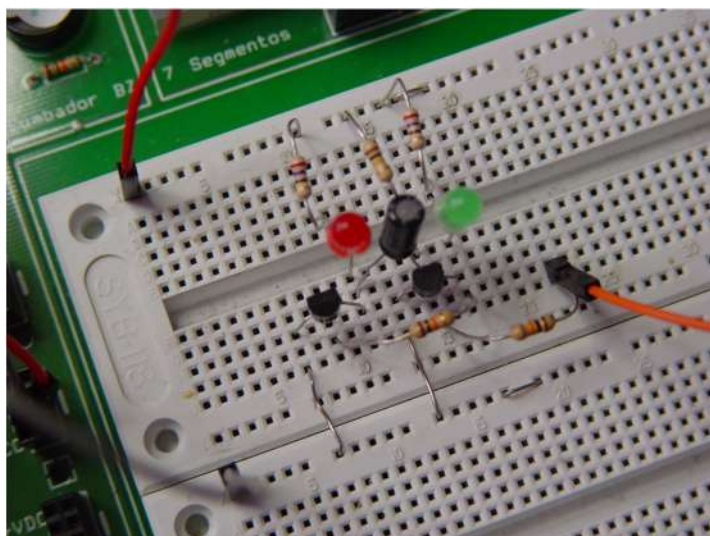
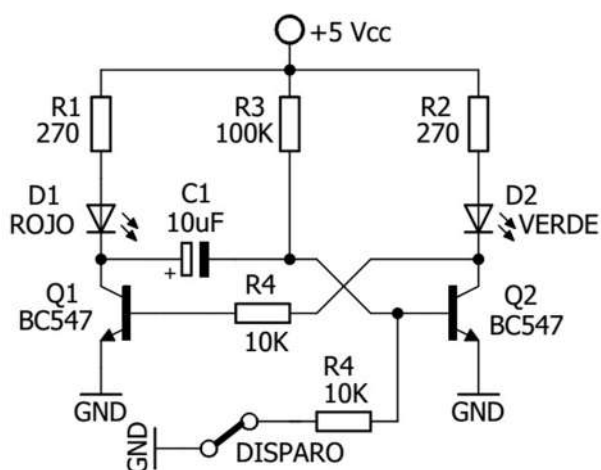
En este primer oscilograma se muestra las señales de onda cuadrada en ambos colectores: en CH1 (amarillo) la de Q1 y en CH2 (azul) la de Q2. Ambas señales tienen la misma forma pero están desfasadas 180° . Recuerda, Cuando Q1 conduce Q2 está bloqueado y viceversa. También tienen la misma frecuencia de 1 KHz. Teniendo en cuenta las elevadas tolerancias de las resistencias y condensadores, se aproxima bastante a los 714 Hz calculados.



En el segundo oscilograma CH1 muestra la señal en el colector de Q1 y CH2 la señal en su base. Cuando está tiene un valor negativo (C2 cargado) Q1 está bloqueado y la tensión en su colector sube al máximo (corte). C2 se va descargando a través de R3 y la tensión negativa de base va disminuyendo hasta hacerse positiva. Q1 conduce y su tensión en el colector cae al mínimo valor (saturación).

P6-3 Multivibrador monoestable

También llamado de "disparo único". Cuando se aplica una señal de entrada (conexión a GND) la salida de Q2 cambia de estado durante un cierto tiempo. Luego vuelve al punto inicial de reposo. Este es su esquema y su montaje.



Inicialmente Q2 conduce polarizado por R3 y el led verde se ilumina. La corriente de base carga a C1 y su nula tensión de colector (saturación) mantiene bloqueado a Q1. Esto se mantiene de forma indefinida.

Al aplicar una señal de disparo conectando la base con GND durante un breve instante, Q2 se bloquea, el led verde se apaga y la elevada tensión en su colector (corte) polariza a Q1. Este conduce y se ilumina el led rojo.

Sin embargo C1 se empieza a descargar a través de R3. Cuando esto ocurre Q2 vuelve a conducir bloqueando a Q1. El sistema queda en el estado inicial. El tiempo T que Q2 está bloqueado depende del tiempo que tarda en descargarse C1 a través de R3 y se puede calcular:

$$T = 0.7 \times R \times C = 0.7 \times 100000 \times 0.00001 = 0.7''$$

Prueba a cambiar el valor de $C1$ de $10\ \mu\text{F}$ por otro de $100\ \mu\text{F}$, calcula y comprueba nuevamente el tiempo.

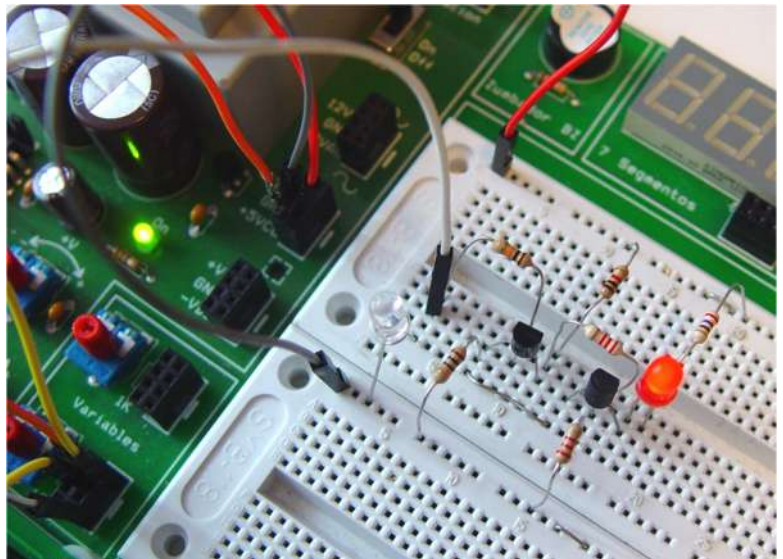
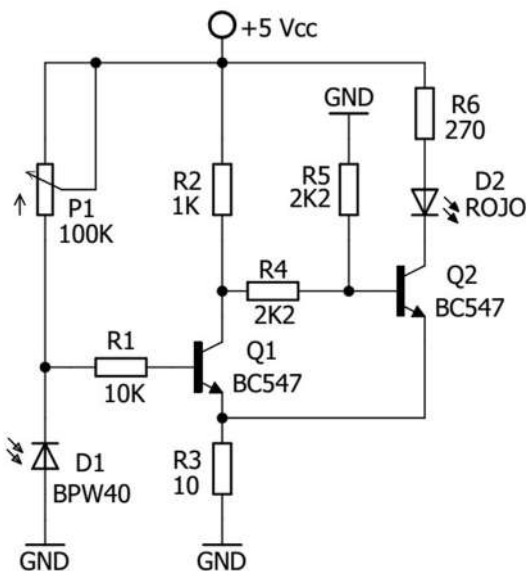
$$T = 0.7 \times R \times C = 0.7 \times 100000 \times 0.0001 = 7''$$

P7: OTROS CIRCUITOS

Te puedes imaginar que hay infinidad de circuitos prácticos contruidos a base de transistores. Como no podemos mostrarlos a todos, vamos a ver algunos bastante representativos. Lo importante es que te familiarices con el funcionamiento de esos transistores en diferentes situaciones y aplicaciones.

P7-1 Trigger de Schmitt

También conocido como "*circuito de disparo*", su salida se mantiene en un estado siempre y cuando la señal en su entrada alcance un determinado valor. Si ese valor no se da la salida pasa al estado contrario. En la imagen tienes su esquema básico y su montaje sobre el entrenador Universal Trainer.



A modo de ejemplo hemos empleado un fotodiodo BPW40 que, como sabes, al polarizarlo inversamente deja pasar una intensidad proporcional a la luz que incide sobre él. Se emplea para polarizar a Q1 de forma que, cuando recibe luz, disminuye la tensión base-emisor y Q1 deja de conducir, se bloquea (punto de corte), y su elevada tensión colector-emisor polariza a Q2. Este conduce en saturación y led rojo (D2) se ilumina.

Si lo ponemos a oscuras el fotodiodo deja de conducir y su tensión entre ánodo-cátodo aumenta, aumentando con ello la tensión base-emisor de polarización de Q1. Este conduce de forma próxima a la saturación por lo que su tensión colector-emisor disminuye drásticamente al igual que la tensión de polarización base-emisor de Q2. Este se bloquea y el led rojo (D2) se apaga. Resumiendo. Cuando hay luz ambiente suficiente, Q2 se mantiene activado y el led iluminado. En ausencia de luz Q2 cambia de estado y el led se apaga.

Mediante el potenciómetro P1 puedes regular el umbral de luz necesario para provocar los cambios de estado en Q2. Una vez que montes el circuito puedes realizar las siguientes medidas y cálculos para completar la tabla adjunta.

BPW40	Vb1	Vc1	VR2	Ic1	Vb2	Vc2	VR6	Ic2
ILUMINADO								
A OSCURAS								

P7-2 Circuito básico de estabilización

La mayor parte de los circuitos electrónicos se alimentan mediante tensión de corriente continua (DCV). Esta se obtiene mediante una fuente de alimentación (FA) que convierte la tensión alterna de la red que nos suministra el proveedor.

Como sabes y has experimentado en el tema anterior, la conversión de una tensión alterna en otra continua se realiza mediante diodos rectificadores y condensadores de filtro. En la figura tienes el esquema por bloques de una FA.

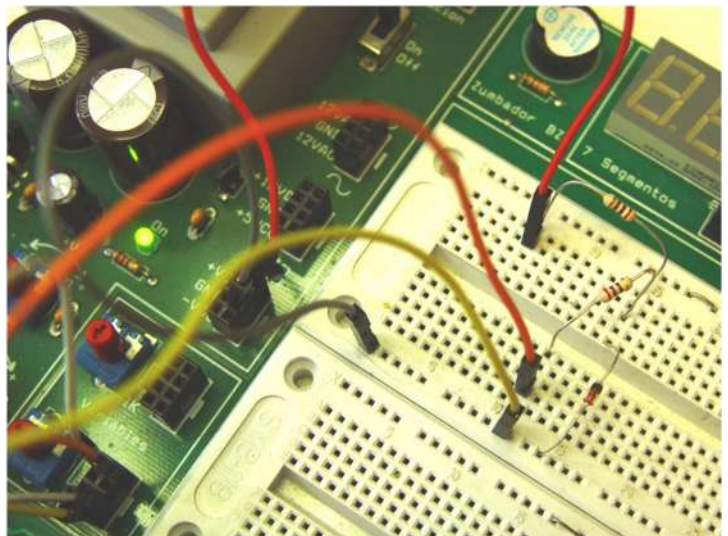
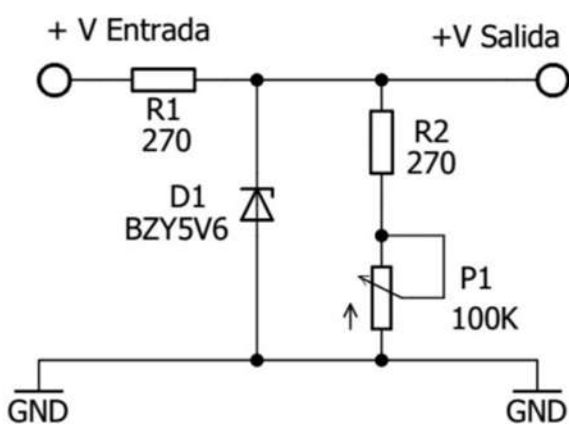


Sin embargo la tensión continua que suministra esa FA está sujeta a una serie de variaciones indeseables:

1. Si la tensión de entrada del suministro de red aumenta también lo hace la de salida de la FA, y esto podría dañar al circuito o carga que queremos alimentar.

- Si el consumo de ese circuito o carga aumenta, la tensión que proporciona la FA tiende a disminuir, con lo que el funcionamiento de ese circuito puede ser defectuoso.

Vamos a dar un paso adelante y a esa fuente de alimentación le vamos a añadir un sistema de estabilización para que la tensión aplicada a la carga trate de mantenerse constante. La estabilización más sencilla se consigue mediante un diodo zener como se muestra en el esquema y montaje de la figura. Seguro que te "suena" de algo.



Se trata de un circuito muy experimental que nos permitirá entender y comprobar qué se pretende con la estabilización. La tensión **+V Entrada** al circuito estabilizador se toma desde la tensión variable +V del entrenador. Así podemos simular variaciones en la tensión procedente del suministro de red y de la FA.

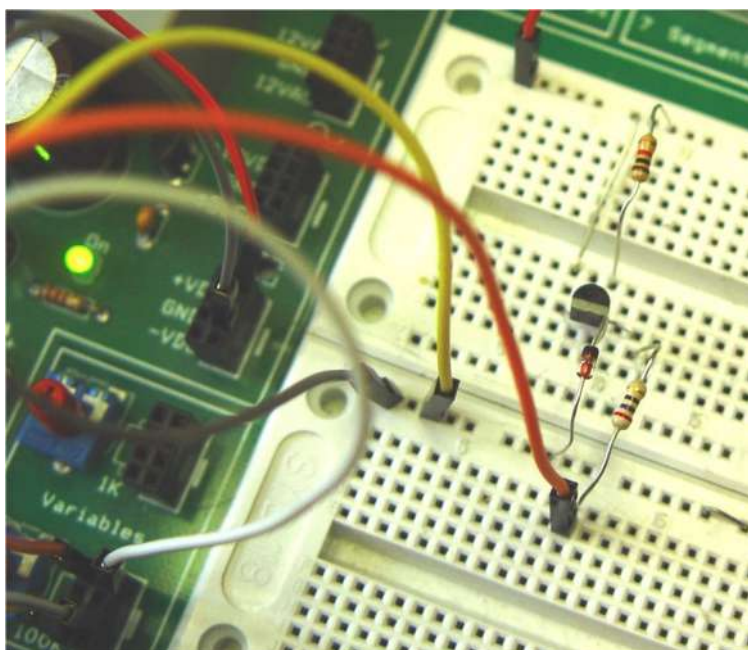
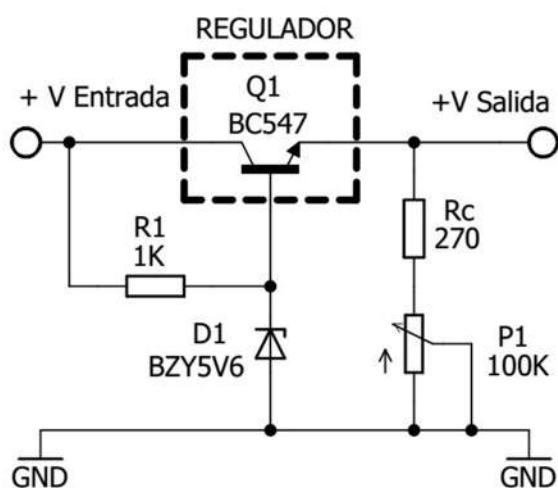
En **+V Salida**, a modo de la carga que deseamos alimentar, hemos colocado a R2 y P1. Variando P1 variamos el valor de la resistencia total de carga y con ello simulamos variaciones en el consumo. Mide, calcula y completa la siguiente tabla.

	+V Entrada	3	5	7	9	11	13	15
P1	VR2							
Tope Izdo.	IR2							
	+V Salida							
P1	VR2							
Tope Dcho.	IR2							
	+V Salida							

En definitiva se trata de comprobar que una vez que **+V Entrada** supera la tensión del zener (5.6V) la tensión **+V Salida** se mantiene estable incluso aunque la de entrada aumente hasta los 15V. La estabilización también se observa cuando el consumo es el mínimo (P1 en un extremos), o el máximo (P1 en el extremo opuesto).

P7-3 Estabilización serie con un transistor

Un sistema de estabilización más sofisticado consiste en emplear uno o más transistores que producen un efecto "regulador". En la figura tienes el esquema y el montaje del circuito más simple que proponemos.



El regulador se coloca en serie respecto a la carga que se desea alimentar, que en este ejemplo experimental está formada por Rc y P1. **+V Entrada** se reparte y parte queda en el propio regulador y el resto se entrega en **+V Salida**. El funcionamiento de ese regulador se puede resumir así:

1. Si la tensión **+V Entrada** tiende a aumentar como consecuencia de un aumento en el suministro de red, el regulador debe absorber más tensión para que **+V Salida** se mantenga constante.
2. Si el consumo de la carga que estamos alimentando aumenta, la tensión **+V Salida** tiende a disminuir. El regulador debe reaccionar absorbiendo menos tensión de forma que **+V Salida** se mantenga constante.

El regulador está formado por el transistor Q1 y en su base tiene una tensión de referencia fija proporcionada por el diodo zener D1. Es de 5,6 V. Vamos a ver cómo reacciona ese transistor ante los dos casos anteriores:

1. El suministro de red aumenta y con ello **+V Entrada**. La tensión **+V Salida** en el emisor tiende a aumentar, pero como la de base es fija (5.6V), la polarización V_{be} disminuye. El transistor conduce menos, su V_{ce} aumenta y **+V Salida** tiende por tanto a disminuir. Efecto estabilizador.
2. El consumo aumenta y **+V Salida** tiende a disminuir, pero como la de base es fija (5.6V), la polarización V_{be} aumenta. El transistor conduce más, su V_{ce} disminuye y por tanto **+V Salida** tiende a aumentar. Efecto estabilizador.

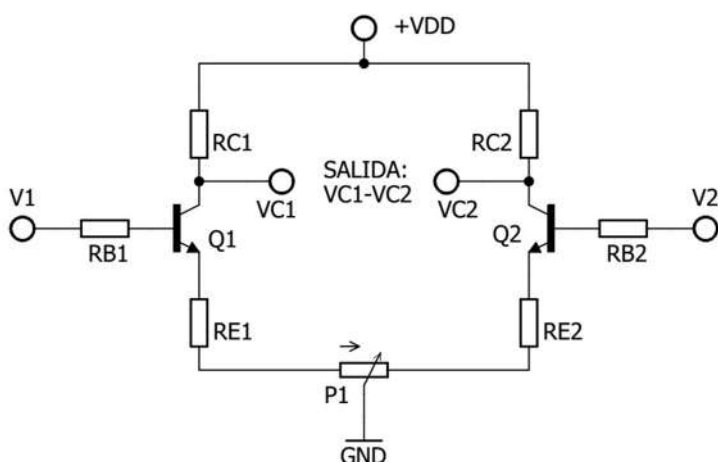
Para experimentar con estas ideas completa la tabla y recuerda:

1. **+V Entrada** se obtiene de la tensión variable +V que proporciona el laboratorio. Simulamos variaciones en el suministro de la tensión de red.
2. Con P1 en un extremo u otro variamos la resistencia de la carga y con ello simulamos variaciones en su consumo.

	+V Entrada	3	5	7	9	11	13	15
P1 Tope Izdo.	VRc							
	IRc							
	Vce							
	+V Salida							
P1 Tope Dcho.	VRc							
	IRc							
	Vce							
	+V Salida							

P7-4 El amplificador diferencial

De la infinidad de circuitos con transistores existentes, hemos elegido el amplificador diferencial para acabar este tema. Se trata de un circuito formado por dos transistores simétricos y muy empleado en la construcción de los Amplificadores Operacionales usados en la electrónica analógica. Su esquema básico lo puedes ver en la figura. Emplea dos transistores idénticos con idénticos circuitos de polarización, estabilización y carga.

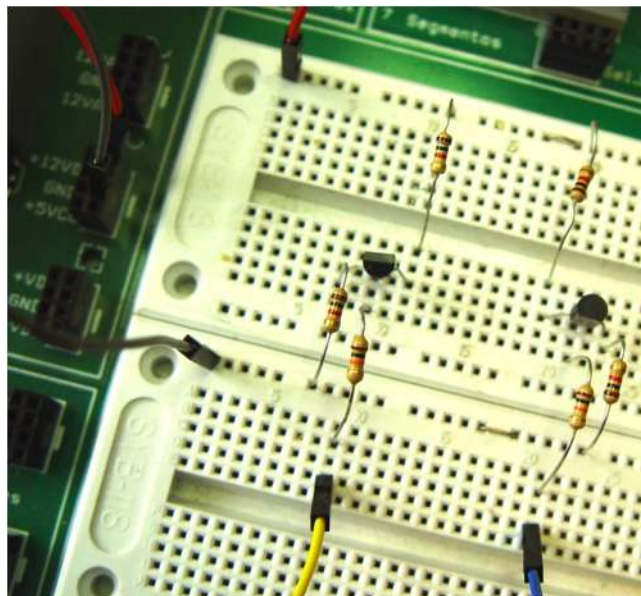
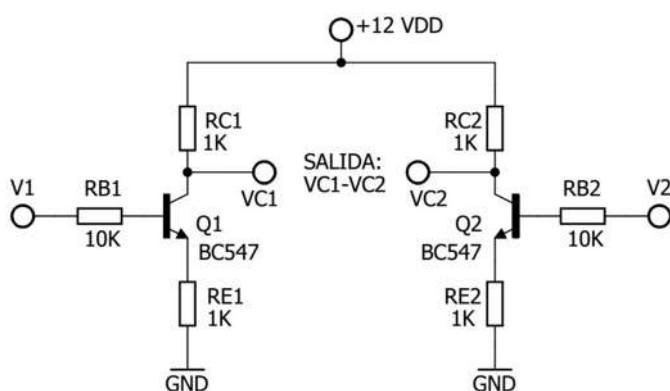


Se cumple que $Q1=Q2$, $RC1=RC2$, $RB1=RB2$ y $RE1=RE2$. En estas condiciones, si las tensiones de entrada $V1$ y $V2$ también son iguales, ambos transistores deberían conducir lo mismo, $VC1 = VC2$ y por lo tanto la diferencia de potencial entre $VC1$ y $VC2$ será de 0V. El potenciómetro $P1$ se emplea para compensar las pequeñas diferencias debidas a las

tolerancias de los componentes.

Si las tensiones de entrada $V1$ y $V2$ son diferentes, uno de los dos transistores conducirá más que el otro y aparecerá una diferencia de potencial entre $VC1$ y $VC2$. El signo o polaridad de esta diferencia de potencial viene determinada por $V1$ y $V2$. Por ejemplo, si $V1 > V2$, $Q1$ conduce más y $VC1$ será menor y con signo negativo respecto a $VC2$.

Este es el esquema práctico con el que vas a experimentar y su montaje.



Para hacer la práctica se propone que conectes $V2$ con la tensión fija de +5V que te suministra el entrenador. La entrada $V1$ la vas a conectar con la tensión variable +V. Podrás así ir comparando una tensión variable (+V) con otra fija (+5V) al tiempo que realizas las medidas oportunas y completas la tabla.

V2	Fija a +5 V							
V1	2	3	4	5	6	7	8	9
VC1								
VC2								
VC1-VC2								

Puedes comprobar que cuando $V1 = V2 (+5V)$ la tensión de salida en VC1-VC2 es de 0 V. En cualquier otro caso siempre tendremos una diferencia de potencial cuya polaridad denota cuál de las dos tensiones de entrada es mayor.

Y así llegamos al final de este tema 6. Se trata de otro tema muy denso y agotador, con muchas prácticas y circuitos diferentes. La verdad es que los transistores se merecen esto y mucho más. Piensa que todos, absolutamente todos los circuitos electrónicos, desde un sencillo circuito para encender un led, hasta el computador más complejo, está construido a base de transistores.



Tómate un respiro antes de continuar con el siguiente y último tema y ánimo, que seguro que puedes con él.