

PRÁCTICA 4**COMPONENTES OPTOELECTRÓNICOS Y ELECTROMECAÑICOS**

Duración estimada: 3 semanas

Objetivos de la práctica:

1. Utilizar elementos optoelectrónicos en un montaje práctico.
2. Realizar un proyecto completo de control remoto.

4.1. Conmutador basado en relé

Un relé es un interruptor/conmutador mecánico controlado por voltaje o corriente. Consta de un electroimán y uno o varios contactos. Cuando se alimenta el electroimán el campo magnético generado provoca un movimiento de un brazo móvil, lo que a su vez provoca la conmutación. Existen múltiples tipos de relés, según el número de contacto y si éstos están abiertos o cerrados cuando el electroimán está en reposo. En la **Figura 1** se muestra la representación esquemática de un relé, en particular del tipo del que se va a utilizar en esta práctica. Se trata de un relé bipolar de doble vía (*DPDT – double pole – double throw*). Cuando la bobina del electroimán no está excitada cada polo de la entrada (*in*) está conectado al correspondiente polo de la salida 1 (*out 1*). Cuando se coloca la tensión adecuada en bornes de la bobina los contactos se desplazan uniendo la entrada (*in*) con la salida 2 (*out 2*). Puede observarse que la señal de control del electroimán y la señal que se desea conmutar pueden estar desacopladas (usar distintas referencias). Los fabricantes nos proporcionan cuál debe ser el voltaje en bornes de la bobina para que se produzca la conmutación así como la resistencia asociada a dicha bobina, que a su vez nos indica qué corriente debe atravesarla para que efectivamente conduzca. En esta práctica van a utilizar relés de 12 V.

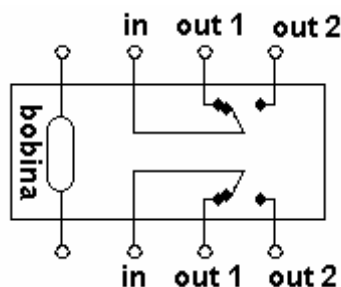


Figura 1: Esquema de un relé DPDT

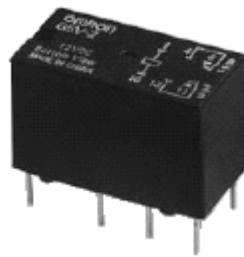


Figura 2: Fotografía del relé DPDT empleado en la práctica

Una de las maneras más comunes de activar un relé es mediante un transistor funcionando entre corte y saturación, según puede observarse en la **Figura 3** utilizando un transistor NPN. Cuando el transistor está en corte se comporta como un circuito abierto entre colector y emisor. Por tanto por la bobina del relé no circulará corriente y éste se encontrará en la posición correspondiente a relajación. Cuando el transistor pasa a saturación, éste puede verse como un cortocircuito entre colector y emisor, cerrando el circuito de excitación de la bobina y provocando la conmutación del relé. El paso de corte a saturación se controla mediante alguna determinada señal de control. En la **Figura 3** dicha señal se crea manualmente mediante la manipulación de un pulsador. En un caso más complejo el voltaje de control sería resultado de algún tipo de circuito lógico que respondiera a determinados eventos activando o desactivando el relé. El diodo que está en paralelo con la bobina protege el resto del circuito de las sobretensiones producidas en ésta cuando se corta la alimentación o el transistor pasa de saturación a corte.

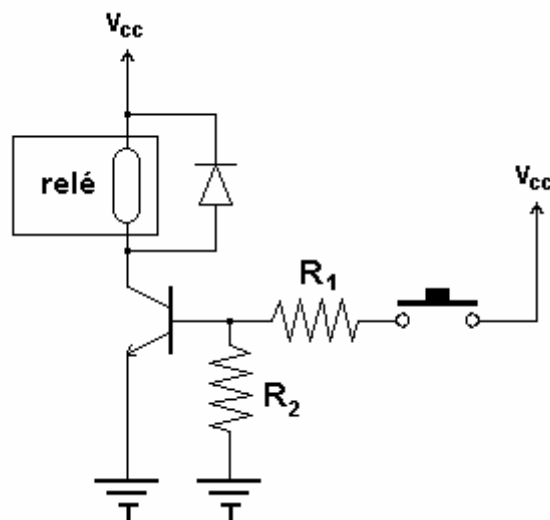


Figura 3: Relé controlado mediante transistor

El funcionamiento del circuito de la **Figura 3** es muy sencillo. Cuando el pulsador está abierto la base del transistor está conectada a través de R_2 a tierra, el mismo voltaje que tiene en el emisor. Por tanto

la unión base-emisor estará en corte. Igual sucede con la unión base-colector. Por consiguiente el transistor se encuentra en la zona de corte y por la bobina del relé no circula corriente. Si activamos el pulsador estaremos inyectando una corriente en la base que si es suficientemente grande polarizará el transistor en saturación. En este momento entre colector y emisor se tiene un cortocircuito, permitiendo el paso de la corriente por la bobina y activando por tanto el relé. Que la corriente inyectada sea suficiente para polarizar en saturación el transistor depende del valor de R_1 escogido. Una forma de calcularlo es tener en cuenta que, en la zona activa, el transistor se comporta como un amplificador de corriente que cumple la relación:

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad (1)$$

donde I_C es la corriente de colector, I_B es la corriente de base y β es una constante que depende del transistor. La corriente inducida en el colector según (1) implicará una caída de tensión en el elemento que carga el colector, en este caso en la resistencia de la bobina del relé. Es evidente que dicha caída de tensión no puede ser mayor que el voltaje de alimentación del circuito (V_{cc} en la **Figura 5**), así que la máxima corriente de colector que puede obtenerse está limitada por el voltaje de alimentación y la carga que se coloque. Si inyectamos una corriente demasiado grande en la base no se cumplirá la relación (1) sino que obtendremos en el colector la mencionada corriente máxima, pasando el transistor a encontrarse en la zona de saturación.

- 4.1.a) En este ejercicio va a calcular los valores de los elementos del circuito de la **Figura 3** para que éste funcione correctamente. En primer lugar, ¿el transistor BC548 de que dispone puede ser utilizado en este montaje? ¿Por qué? Calcule, utilizando dicho transistor, cuál debe ser el valor de R_1 para que al pulsar el botón aquél pase a saturación. Para ello calcule primero la corriente de colector en saturación. A partir de este dato, y utilizando la ganancia de corriente continua del transistor, obtenga la corriente de base mínima que debe inyectarse para conducir el transistor a saturación. Es conveniente diseñar el circuito de manera que se disponga de suficiente corriente de base para que el transistor siga en saturación ante cambios en la ganancia (que depende de la temperatura y de las corrientes en bornes del transistor) y/o las condiciones del circuito. Una heurística es utilizar una corriente de base entre ocho y diez veces superior a la mínima que ha calculado anteriormente (aunque en esta elección se deberían tener en cuenta criterios de consumo que nosotros vamos a despreciar). Suponiendo que R_2 va a ser muy grande elija un valor de R_1 que tenga en cuenta todo lo visto hasta ahora.
- 4.1.b) Monte el circuito de la **Figura 3** con la resistencia R_1 calculada en el ejercicio 4.1.a) y $R_2 = 100K$. **No olvide colocar un diodo 1N4007 en paralelo con la bobina del relé.** Para simular el pulsador basta con que utilice un cable que dejará al aire o pondrá a la tensión de alimentación según desee que el interruptor esté abierto o cerrado respectivamente. Haga que un led se encienda cuando el relé está excitado. Compruebe que el circuito funciona correctamente.

4.2. Control mediante IR del relé

Como un primer contacto con los dispositivos optoelectrónicos desde el punto de vista práctico, van a modificar el circuito anterior para que la conmutación del relé esté asociada a la introducción de un obstáculo entre un led de infrarrojos y un fototransistor. Un posible circuito para este propósito se muestra en la **Figura 4**. Cuando no hay ningún obstáculo entre el emisor y el receptor la radiación del primero induce una corriente en el segundo. Si se diseña adecuadamente el circuito, dicha corriente puede ser suficiente para llevar el fototransistor a saturación de manera que tenemos en R_1 la tensión de alimentación V_{cc} , activando el relé como se explicó en el apartado anterior. Si colocamos un obstáculo entre los dos dispositivos optoelectrónicos, por el contrario, el fototransistor se encontrará en corte al no existir ninguna corriente de base. En este caso el relé quedaría desactivado siguiendo la explicación del apartado 4.2. La resistencia R_2 ahora no es estrictamente necesaria ya que siempre va a existir un contacto óhmico con la tierra del circuito, pero se ha incluido para identificar el circuito con el visto en la **Figura 3**.

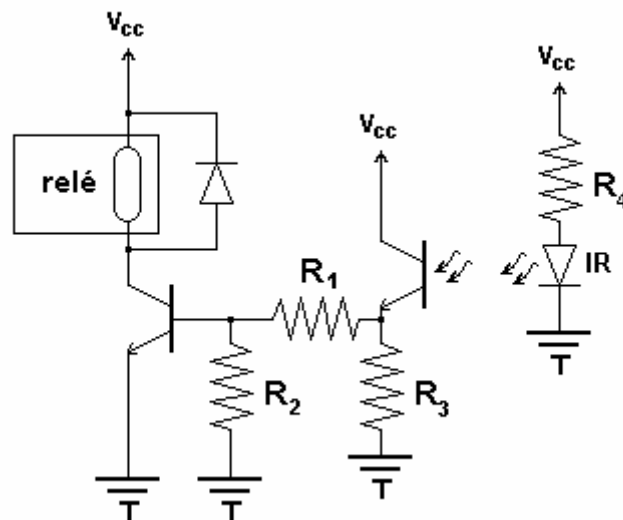


Figura 4: Relé controlado mediante IR

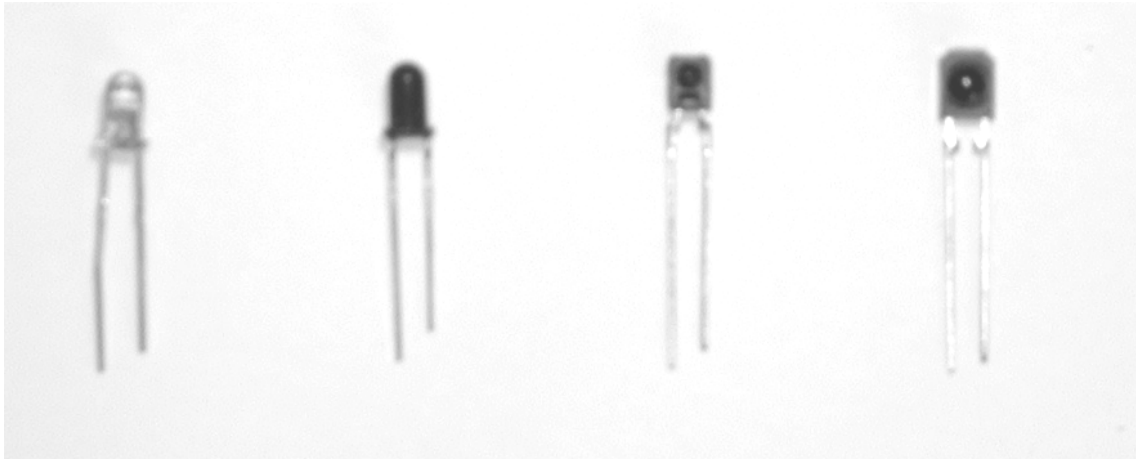


Figura 5: LED de IR GL380 , fototransistor PT381F, fototransistor PT481F y fotodiodo PD410PI empleados en la práctica

4.2.a) Calcule los valores de las resistencias R3 y R4 para que el circuito de la **Figura 6** funcione correctamente. Los aspectos importantes que debe tener en cuenta son la corriente máxima que puede soportar el led de IR y la corriente que se induce en el fototransistor. En este montaje podría alinear con precisión el emisor con el receptor, así que elija el fototransistor con menor apertura de haz de los dos que se han suministrado. Monte el circuito dejando poco espacio entre el led y el fototransistor y compruebe que funciona introduciendo un objeto metálico entre ambos (pinzas, tijeras,...). Pruebe a alejar ambos componentes entre sí. ¿Sigue funcionando?

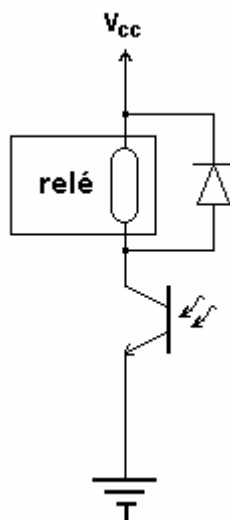


Figura 6: Relé alimentado directamente por fototransistor.

- 4.2.b) ¿Cree que hubiera sido adecuado excitar la bobina del relé directamente con el fototransistor (como se muestra en la **Figura 6**) en lugar de utilizar el BC548? ¿Por qué?
- 4.2.c) Mida la corriente que atraviesa el fototransistor con distintas distancias entre el transmisor y receptor. Construya una tabla con los valores obtenidos. Realice una gráfica en la que se visualicen mejor los resultados.
- 4.2.d) Indique qué cambios introduciría en el circuito de la **Figura 4** tuviera un comportamiento inverso, es decir, que en ausencia de obstáculos el relé estuviera relajado y fuera al interrumpir el la iluminación cuando conmutara.

Realmente el comportamiento que se desea conseguir es el de un conmutador. Si suponemos que va a ser activado mediante la pulsación de un único botón, debemos lograr de alguna manera que cada vez que se pulse dicho botón el relé cambie de estado y permanezca en su nueva posición hasta que aquél sea pulsado de nuevo. Se trata de un circuito secuencial muy sencillo que puede ser implementado de múltiples maneras.

Como ya se ha comentado en el laboratorio durante las sesiones anteriores, muchas veces es muy conveniente emplear el osciloscopio en modo digital para visualizar correctamente la salida. Debido a la naturaleza de las señales que estamos manejando en esta práctica, emplee el modo digital en aquellas medidas en que usted crea que pueda resultar beneficioso.

- 4.2.e) Utilizando el flip-flop tipo D 4013 que se ha suministrado diseñe un circuito que realice la función que se acaba de explicar. Debe lograr que cada vez que se interrumpe el flujo luminoso entre el led y el fototransistor el relé cambie de estado. Monte el circuito y compruebe que funciona correctamente.

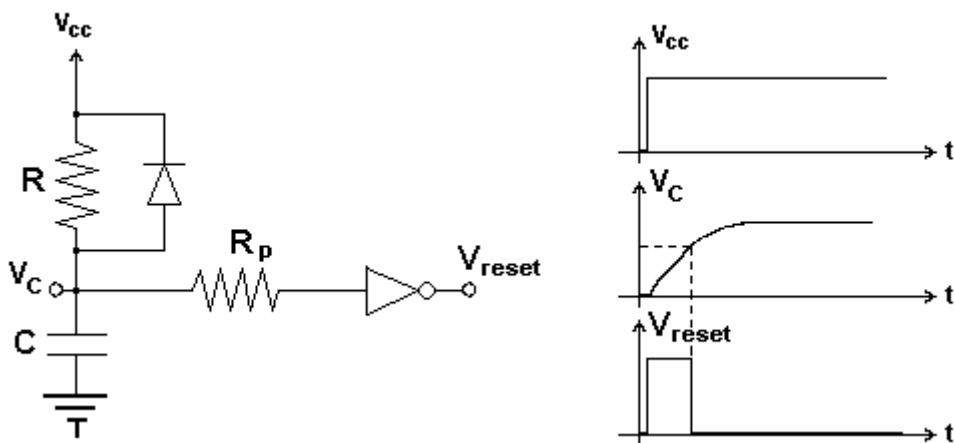


Figura 7: Circuito de reset y señales asociadas

Aunque en la aplicación que nos interesa no es fundamental, muchas veces es necesario controlar el estado inicial de las memorias, contadores, etc. al conectar la alimentación. Este tipo de dispositivos suele incluir una o varias entradas asíncronas para resetear, siendo el problema cómo generar una señal de reset adecuada, normalmente un pulso de una cierta duración. En la **Figura 7** se muestra un circuito con tal finalidad. Al alimentar el circuito el condensador C comienza a cargarse a través de R, con más o menos rapidez según los valores que se haya escogido para ambos componentes. Durante los primeros momentos de la carga el voltaje en el condensador V_C es muy pequeño y se interpreta como un “0” lógico en el inversor, obteniendo un “1” lógico a la salida. Pero cuando V_C supera un cierto valor el inversor cambiara de estado y pondrá un “0” lógico a su salida, manteniéndose así mientras que el circuito esté alimentado. De esta manera obtenemos un pulso de una determinada longitud que puede ser utilizado para controlar el estado inicial de los dispositivos lógicos secuenciales.

El diodo y la resistencia R_p que se muestran en la **Figura 7** tienen una función de protección. La resistencia R_p es fundamental cuando se utilizan dispositivos CMOS y sirve para limitar la corriente que entra en la puerta cuando se desconecta la alimentación ya que una corriente demasiado grande podría dañar el integrado. El diodo en paralelo con R posibilita que el condensador se descargue al dejar de alimentar el circuito.

4.2.f) Teniendo en cuenta que la alimentación necesaria para el relé son 12 V, ¿podría utilizar un inversor 74HC04 en el circuito de reset de la **Figura 7**? Suponga que únicamente dispone de una fuente de alimentación.

4.2.g) **(OPTATIVO)** Monte el circuito utilizando los 4011 suministrados. Calcule el valor de R_p para que la corriente que pueda entrar en el integrado no supere los 10 mA. Elija R y C de manera que el tiempo que la señal de reset se mantiene activa sea suficiente para inicializar el 4013.

4.2.h) **(OPTATIVO)** Utilice la señal de reset obtenida para asegurar un determinado estado inicial en el circuito que ha realizado en el ejercicio 4.2.e).

El montaje 4.2.e) debe ser evaluado por el profesor.

4.3. Recepción de un tono mediante IR

Para realizar las pruebas pueden utilizar el generador de funciones actuando directamente sobre el led, como puede verse en la **Figura 8**. En esta figura se ha incluido la resistencia de salida de 50Ω del generador de funciones, ya que habrá que tenerla en cuenta si la resistencia R_{led} es muy pequeña.

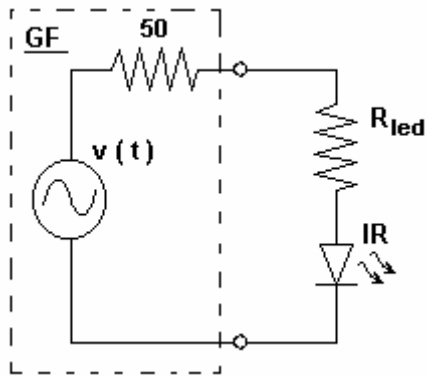


Figura 8: Polarización del led de IR mediante el generador de funciones

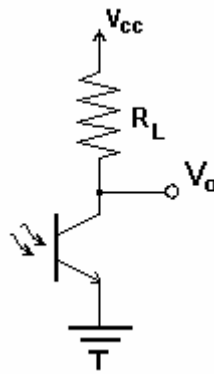


Figura 9: Receptor con fototransistor

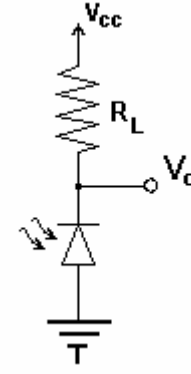


Figura 10: Receptor con fotodiodo

- 4.3.a) Calcule cuál debe ser R_{led} en la **Figura 8** para que, utilizando una señal cuadrada entre 0 y 5 V, la corriente que atraviese el led de IR sea como máximo 30 mA. Monte dicho circuito y también el circuito de la **Figura 9** (con el fototransistor PT481F, $R_L = 470\Omega$ y $V_{cc} = 5$ V) como receptor, situándolo cerca del emisor. Configure el generador de funciones para obtener una señal cuadrada de 5 V pico a pico y 2,5 V de componente continua a una frecuencia de 445 Hz. Visualice con el osciloscopio simultáneamente la señal del generador de funciones y el voltaje V_o obtenido en el colector del fototransistor. Dibuje los resultados aproximadamente.
- 4.3.b) Realice el mismo experimento con distintas resistencias de carga. Pruebe con $R_L = 470\Omega$, 100 Ω , 1K y 5K6 ¿Con cual se obtiene un comportamiento mejor?
- 4.3.c) Con la resistencia que amplitud máxima pruebe con distintas distancias entre el emisor y receptor. ¿A qué distancia deja de distinguirse la señal cuadrada?
- 4.3.d) Con la máxima separación entre el emisor y el receptor, y utilizando la resistencia R_L para la cuál ha obtenido la máxima amplitud en dicha posición, pruebe de nuevo con frecuencias 4.5 kHz, 45.5 kHz y 455 kHz. Comente los resultados.
- 4.3.e) Vuelva a utilizar 445 Hz y la resistencia R_L con la que usted considere que ha obtenido un mejor resultado en dicha frecuencia para todas las distancias. Cambie el fototransistor PT481F por el PT381F y pruebe de nuevo para los distintos alejamientos de emisor y receptor. Comente los resultados en comparación con los obtenidos con el PT481F.
- 4.3.f) Ahora va a utilizar un fotodiodo como elemento detector, según se muestra en la **Figura 10**. Puesto que los fotodiodos tienen mucha menos sensibilidad que los fototransistores (y muchísima menos que los fotodarlingtonos que ha utilizado hasta ahora) debe usar resistencias de carga R_L mucho mayores. Realice varias medidas para diferentes frecuencias y distancias y comente los resultados.

4.3.g) A la vista de los ejercicios anteriores indique, a su parecer, para qué tipo de aplicaciones utilizaría fotodiodos y para cuáles fototransistores (o fotodarlingtonos). En particular ¿qué tipo de fotodetector utilizaría en un sistema de transmisión de información, como puede ser el mando a distancia de un electrodoméstico, un teclado por infrarrojos o la comunicación entre dos calculadoras?

4.4. Amplificación de la señal

En el apartado anterior ha podido comprobar que es difícil obtener formas de onda *limpias* a la vez que de una amplitud elevada. Por esta razón se hace necesario la amplificación tras la detección. En esta práctica van a utilizar la configuración de la **Figura 11**, que se basa en un amplificador operacional. Este circuito también puede verse como un convertidor de corriente a voltaje. La corriente generada en el fotodiodo I_{PD} atraviesa las resistencias R_1 y R_2 provocando una caída de tensión a la salida del amplificador $V_o = I_{PD} \cdot (R_1 + R_2)$.

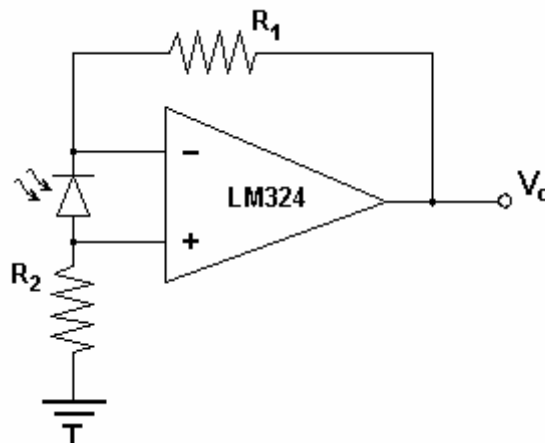


Figura 11: Amplificación de la señal recibida

- 4.4.a) Monte el circuito de la **Figura 11** alimentando el amplificador con 5V y con $R_1 = R_2 = 1M$ (al menos). Compruebe que efectivamente funciona.
- 4.4.b) Aparentemente el funcionamiento del circuito que acaba de montar no se diferencia conceptualmente del receptor sencillo de la **Figura 10**: ambos toman la señal de voltaje generada por la fotocorriente al atravesar una resistencia. ¿Cuál cree que es la ventaja de utilizar un amplificador operacional?

4.5. Transmisión de un tono mediante IR

Un esquema sencillo de un emisor de tono mediante IR es el que se muestra en la **Figura 12**. La señal de cuadrada se logra mediante un oscilador de relajación como el que realizaron en la práctica 3 (habría servido cualquier otro tipo de oscilador). La salida de este oscilador alimenta un transistor llevándolo de corte a saturación. Cuando el transistor está en corte no circula corriente a través del led de IR y por tanto no hay señal radiada. Por el contrario, cuando el transistor se encuentra en saturación hay una corriente a través del led que implica una emisión infrarroja. Aunque la onda generada por el oscilador podría haberse utilizado directamente para polarizar el led, mediante la utilización del transistor se puede excitar éste con una corriente mayor que la que podría proporcionar por sí solo el oscilador, logrando así una mayor intensidad de radiación y por tanto un alcance más lejano. La utilización de lógica CMOS nos permite trabajar con un voltaje bajo. En este caso 3V, que pueden conseguirse con 2 pilas comunes de 1,5V.

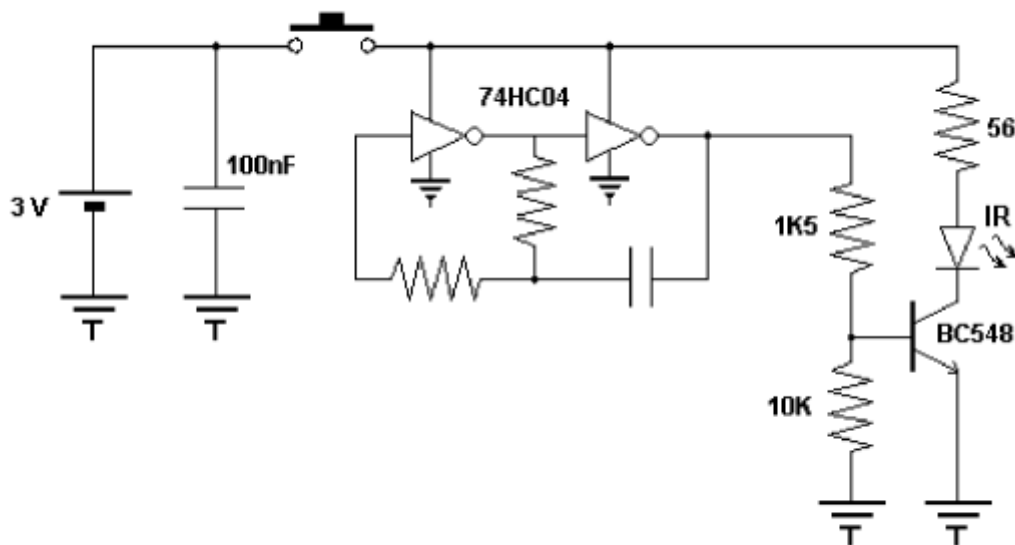


Figura 12: Emisor de un tono de 445 Hz mediante infrarrojos

4.5.a) Diseñe y monte el circuito de la **Figura 11** para que emita un tono IR de 300 Hz. Este montaje tiene que ser evaluado por el profesor.

4.7. Comentarios y sugerencias

Indiquen aquí aspectos que se podrían mejorar, nuevas ideas o propuestas (que se valorarán especialmente), o aportaciones que consideren de interés.

*“Lo que con mucho trabajo se adquiere, más se
ama”*

Aristóteles