
Telemandos por ultrasonidos

Los sistemas de telemando por ultrasonidos han sido los primeros en sustituir los mandos por radio, cuando el desarrollo masivo de los telemandos domésticos (especialmente TV) ha comenzado a ser una amenaza seria para la "tranquilidad radioeléctrica".

Aunque los ultrasonidos están hoy todavía muy distantes de los infrarrojos, al menos en lo referente a telemandos de TV, su naturaleza puramente acústica les abre un vasto dominio de aplicaciones.

NOCIONES DE ELECTROACUSTICA

Comúnmente, se admite que el margen de frecuencias de los sonidos perceptibles por el oído humano va, aproximadamente, de 20 a 20000 Hz en el mejor de los casos. Esta banda de paso se reduce notablemente con la edad, aunque se revela muy superior para ciertos animales (especialmente los perros). Por tanto, es difícil fijar con precisión la frontera entre "el sonido" y los "ultrasonidos", definidos como "sonidos demasiado agudos para ser audibles".

Generalmente, se puede admitir que, más allá de 20 kHz, cualquier vibración del aire pertenece al campo de los ultrasonidos. Realmente, no existe límite superior, únicamente en lo que se refiere a las posibilidades de los equipos que producen estos ultrasonidos: frecuencias de varios megahertzios no son extrañas en ámbitos industriales, científicos o médicos.

Para producir y detectar los ultrasonidos, se utilizan los mismos principios que conciernen a los sonidos audibles: sencillamente, las soluciones tecnológicas usadas se adaptan a este margen particular de frecuencias.

4

Aunque ciertos altavoces de agudos (tweeters) son muy capaces de emitir ultrasonidos, el aficionado no emplea casi nunca los procedimientos *electromagnéticos*, sin embargo ampliamente utilizados por los profesionales (transductores de "magnetoestricción"). Realmente, es más sencillo y más económico utilizar las técnicas "piezoeléctricas".

Un material piezoeléctrico es, en general, una cerámica especial (un poco como las ferritas), que se pueden moldear en una gran variedad de formas, y metalizar en superficie para crear zonas conductoras. Este tipo de material presenta la particularidad de producir una tensión cuando se la somete a una contracción mecánica e, inversamente, se deforma cuando se le aplica una tensión. Es fácil, por tanto, comprender que delgadas arandelas de piezo-cerámica, capaces de vibrar fácilmente, puedan servir tanto de emisores como de receptores de ultrasonidos, del mismo modo que un altavoz o un micrófono en técnica de sonido. Tales componentes pueden construirse fácilmente para frecuencias muy elevadas, y además no son caros.

En la frontera de los ultrasonidos y los sonidos, se encuentran además los tweeters, auriculares, y micros "piezo", conocidos por su especial aptitud para reproducir sonidos agudos.

Sin embargo, los "transductores de US" a diferencia de los "transductores de audio", casi siempre se estudian para funcionar a una frecuencia muy determinada, o en una estrecha banda de frecuencias: la utilización óptima del fenómeno de *resonancia* mecánica permite obtener *rendimientos* muy elevados. Es decir, que lo esencial de la energía eléctrica se convertirá en energía acústica y viceversa. Por tanto, en general los sistemas ultrasónicos consumirán bastante poco, ofreciendo alcances muy interesantes.

Los fabricantes de transductores pueden añadir, al cristal piezo propiamente dicho, diferentes accesorios que permiten dar al producto acabado características muy particulares, especialmente en materia de *directividad*: se gana así en alcance, ya que la energía transmitida se encuentra concentrada en un verdadero "haz" poco divergente pero, evidentemente, habrá que "enfocar" el receptor con el transmisor...

Por tanto, el aficionado tiene que procurarse transductores de emisión y de recepción (casi idénticos) completos, más que trabajar con pastillas piezoeléctricas "desnudas", además difíciles de encontrar al por menor.

LOS ULTRASONIDOS EN EL AIRE

En el aire, los ultrasonidos se propagan exactamente igual que los sonidos audibles, y sufren los mismos fenómenos. Simplemente, las carac-

terísticas de directividad de los transductores son, a menudo, más marcadas que las de los altavoces y micrófonos utilizados en técnica de sonido.

La *velocidad de propagación* de los ultrasonidos es la... del sonido; es decir, 300 metros por segundo aproximadamente; es *muy lenta* con relación a la de una onda de radio, de un rayo luminoso o infrarrojo, o de una corriente por un hilo (300.000 kilómetros por segundo, es decir, 1 millón de veces más rápida).

Para alcances de algunos metros, el retardo de ejecución de una orden de telemando no es revelador, pero hay que contar con el *efecto Doppler* si el transmisor o el receptor es *móvil*. Todos conocemos este célebre fenómeno físico, responsable especialmente de las variaciones de la intensidad del sonido de las sirenas de coches de bomberos según se aproximan o se alejan del observador.

Es necesario tener en cuenta esta anomalía de transmisión, cuando la codificación de un telemando por ultrasonidos descansa sobre la frecuencia de la señal transmitida (generadores y detectores de tonos): la frecuencia recibida corre el riesgo de ser diferente de la frecuencia transmitida, si el transmisor y el receptor están en movimiento uno con relación al otro.

Paralelamente a este fenómeno, se tendrán presentes las reglas habituales de la propagación acústica: no más que el sonido "audible", los ultrasonidos no pueden atravesar un tabique o un vidrio o, por el contrario, lo hacen con tal atenuación que el alcance es tan sólo de algunos milímetros. Sin embargo, esta restricción constituye una ventaja en lo que concierne a la seguridad y a la discreción de un sistema de telemando: las órdenes transmitidas no abandonarán la habitación donde se sitúe el transmisor, y no existirá el temor de la intrusión de órdenes de origen exterior.

LOS ULTRASONIDOS EN EL AGUA

Aunque las ondas de radio y la luz penetran muy difícilmente en espesores apreciables de agua, por el contrario, los ultrasonidos se propagan por ella muy bien. Generalmente, se utiliza una frecuencia del orden de los 200 kHz (frente a 40 en el aire), lo que permite alcances de algunos centenares de metros para una potencia transmitida de algunas decenas de vatios de pico.

La velocidad de propagación es pequeña, aunque supera netamente a la que se obtiene en el aire: alrededor de 1500 metros por segundo, aunque susceptible de variaciones notables en función de la temperatura, la salini-

4

dad, o la presión del agua. Es, sobre todo, en las *sondas* de profundidad donde el aficionado utiliza los transductores de ultrasonidos submarinos, aunque son posibles aplicaciones de telemando, especialmente para los adeptos a la inmersión.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS ULTRASONIDOS

Acabamos de pasar revista a las principales propiedades de los ultrasonidos en el campo del telemando. Según la aplicación en perspectiva, algunas de ellas pueden constituir ventajas o inconvenientes. Durante el estudio de un proyecto de telemando, se deberán pesar cuidadosamente los pros y los contras de los diferentes procedimientos concurrentes.

Se podrá dejar de lado la solución "ultrasonidos" si el sistema de transmisión debe funcionar frecuentemente en presencia de animales domésticos, ya que se corre el riesgo de que reaccionen ruidosamente durante cada transmisión de una orden.

De forma general, un sistema de transmisión que utiliza un principio físico dado, presenta una fuerte inmunidad a las perturbaciones de alguna otra naturaleza. Los sistemas de ultrasonidos resisten muy bien las influencias radioeléctricas, incluso violentas, y no se dejan perturbar por las iluminaciones más intensas, incluso pulsadas (lámparas fluorescentes o de gas).

Por el contrario, hay que evitar la proximidad de fuentes de ruido: todos los sonidos audibles contienen infrasonidos y ultrasonidos. Aunque no los percibamos, estos últimos pueden influir desfavorablemente en un sistema de telemando de "US": un receptor que no disfrute de una codificación de calidad corre el riesgo de ponerse en funcionamiento inoportunamente, mientras que un sistema con codificación muy segura tiene el riesgo de no reconocer las órdenes que le están destinadas, si el entorno es demasiado ruidoso.

UN CONJUNTO TRANSMISOR-RECEPTOR DE ULTRASONIDOS

Para utilizar cómodamente los transductores transmisores y receptores de ultrasonidos disponibles en el comercio, nos hacen falta dos circuitos

especiales: uno capaz de suministrar cuando se pida una señal alterna de 40 kHz con una amplitud generosa, y el otro susceptible de proporcionar una información "todo o nada" cuando recibe esta misma frecuencia, pero con un nivel muy débil.

Por supuesto, podríamos utilizar los generadores y detectores de tonos del capítulo 2, pero estos montajes no tienen una rapidez de reacción suficiente para permitir el empleo de los circuitos de codificación y decodificación, tan necesarios cuando se desea la mayor seguridad de transmisión.

Por tanto, hemos estudiado un *modulador* y un *demodulador* rápidos, especialmente calculados para la frecuencia de 40 kHz y, por tanto, perfectamente adaptados a los transductores del comercio (MURATA), los cuales podrán conectarse directamente. Además de esta aplicación de base, volveremos a utilizar ampliamente estos dos módulos en los próximos capítulos. En efecto, la frecuencia de 40 kHz es también muy adecuada para muchos otros medios de transmisión. Por tanto, estos dos montajes merecen algunos desarrollos técnicos, con el fin de que nuestros lectores comprendan perfectamente su funcionamiento en profundidad.

Comencemos entonces por estudiar el *modulador*. A pesar de la sencillez del esquema de la figura 4.1, éste es bastante universal: en efecto, suministra dos señales cuadradas a 40 kHz en *oposición de fase*, lo que permite cuadruplicar la potencia en caso de utilización de un transductor de ultrasonidos.

La conexión a masa de la entrada del montaje inhibe inmediatamente la transmisión de la portadora, la cual es fácil de modular para "todo o nada".

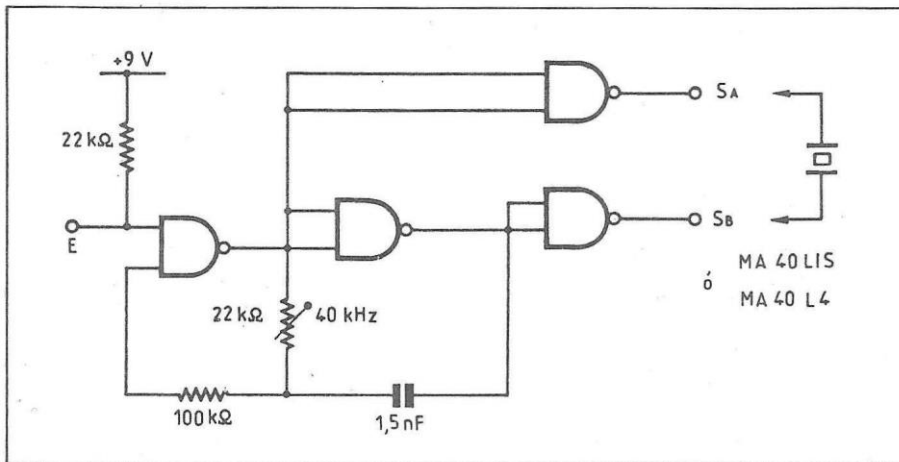
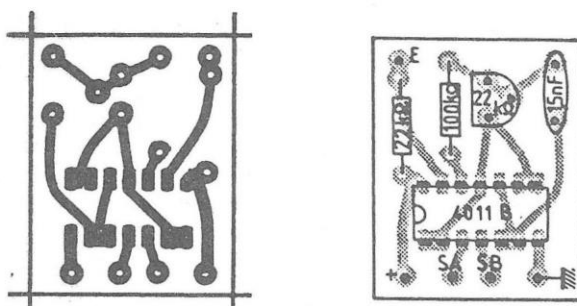


Fig. 4.1. Un muy sencillo generador de ultrasonidos (modulador 40 kHz).

4

En la práctica, se conectará muy sencillamente la entrada del modulador a la salida del codificador de la figura 2.25. Para el buen funcionamiento del sistema, será importante ajustar exactamente la frecuencia generada a 40 kHz. Por tanto, habrá que disponer de un osciloscopio o de un frecuencímetro digital. Llegado el caso, este ajuste se podrá retocar ligeramente durante la puesta a punto final del sistema completo.

El modulador se cablea sobre un pequeño circuito impreso, cuyo trazado se da en la figura 4.2. Después del cableado de los componentes según la figura 4.3, se dispone de un módulo que, asociado al codificador, ocupará muy poco espacio en un aparato portátil provisto de una pila de 9 V miniatura.



Figs. 4.2 y 4.3. Realización práctica del modulador 40 kHz.

NOMENCLATURA DEL GENERADOR DE ULTRASONIDOS (Fig. 4.3)

Resistencias

(5% 1/4 W salvo que se diga lo contrario)

22 k Ω
100 k Ω
pot. ajustable 22 k Ω

Condensadores

1.5 nF

Semiconductores

CD4011B

Varios

módulo codificador

Se podrá conectar directamente un transmisor de ultrasonidos (MA40LIS, por ejemplo) entre las salidas SA y SB, o bien no utilizar más que una de estas salidas para cualquier otro uso.

Interesémonos ahora por el *demodulador*. El esquema de la figura 4.4 utiliza un circuito integrado que ha sido desarrollado por SIEMENS durante los primeros pasos de los telemandos por infrarrojos, el TDA4050.

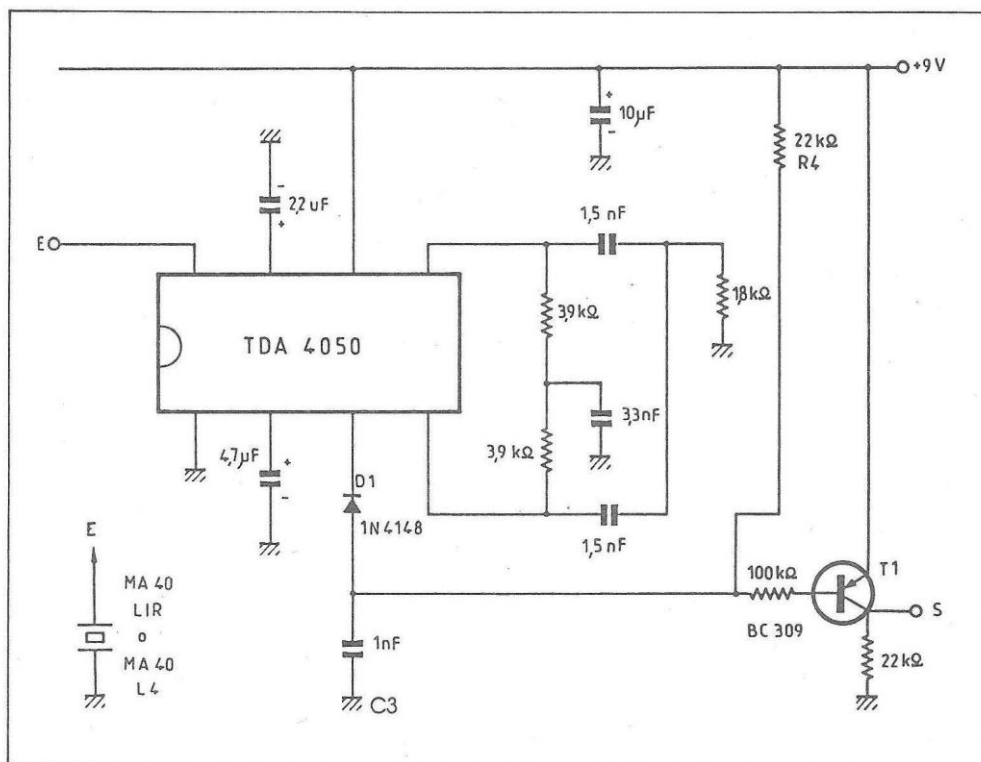


Fig. 4.4. Un demodulador 40 kHz capaz de servir de receptor de ultrasonidos debido a su gran ganancia.

De hecho, se trata de un componente derivado de los circuitos integrados que equipan los receptores de radio. Hereda de ellos una ganancia muy grande, adaptándose automáticamente a las variaciones de nivel de entrada gracias a un CAG (Control Automático de Ganancia), y un funcionamiento de *amplificador selectivo*. Sin embargo, se han introducido simplificaciones: una red RC (doble T) que sirve para sintonizar el montaje (y no una bobina), mientras que la salida suministra directamente niveles lógicos.

En resumen, si se aplican a la entrada (pata 8) impulsos de amplitud muy pequeña pero más definida, se les recupera en la pata 3 con una amplitud

4

de 9 V, cuando la frecuencia de la señal sea del orden de 30 a 40 kHz, aproximadamente. Señales de frecuencia muy diferente (especialmente 50 a 100 Hz) no se tendrán en cuenta, incluso si son de nivel alto. Además del esquema de base, directamente inspirado en las especificaciones del fabricante, nuestro montaje está provisto de componentes suplementarios encargados de *demodular* las señales a 40 kHz amplificadas por el TDA4050.

En reposo, el condensador C3 se mantiene descargado por el diodo D1, mientras que la salida del TDA4050 queda en estado bajo. Eventuales parásitos de muy corta duración no cambiarán en nada esta situación, pero crestas positivas regulares dejarán cargarse C3 a través de R4.

Si la relación cíclica de las señales es del orden del 50%, C3 no tiene tiempo de descargarse entre dos periodos, y el transistor T1 conduce de forma ininterrumpida. Se entiende entonces, que si el montaje recibe impulsos a 40 kHz modulados en todo o nada por un mensaje digital, se reencontrará esta información intacta a la salida del *demodulador* (colector de T1).

¡Sin comprender esto bien, no podemos pasar a la práctica! Una primera prueba se puede realizar equipando al demodulador con un transductor de ultrasonidos (MA40LIR), y añadiéndole nuestro módulo *decodificador* de la figura 2.27.

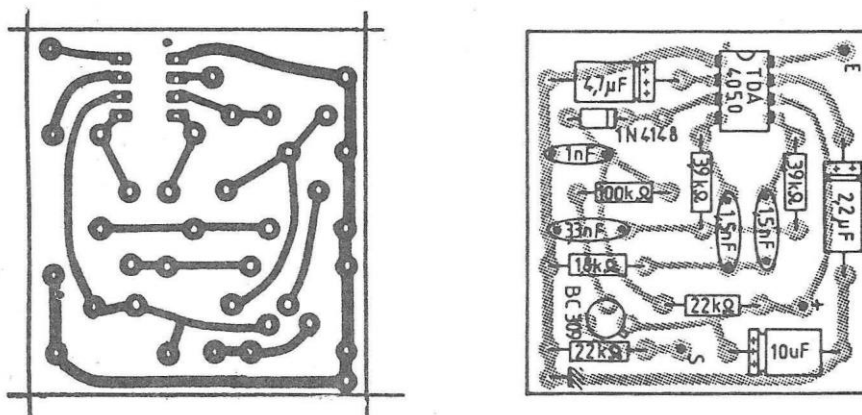
Como ya habíamos equipado el demodulador con un transductor transmisor, no queda más que conectarle al módulo *codificador* para obtener un sistema completo de telemando por ultrasonidos. Sin embargo, es todavía necesario proceder a dos ajustes:

- Llevar la frecuencia de reloj del codificador y el decodificador a aproximadamente 4.5 kHz (multiplicar por diez el valor del condensador de origen), ya que la transmisión por ultrasonidos sufre una cierta "inercia".
- Ajustar el modulador a la frecuencia de resonancia exacta de los transductores. Para esto, lo ideal es controlar con un osciloscopio la forma de las señales suministradas por el demodulador. Cuando se reencuentre la forma presentada a la salida del codificador, el ajuste es bueno (y además, el relé del decodificador debe cerrarse).

Según la precisión de los ajustes, el alcance útil puede variar entre uno y tres o cuatro metros. No se perderá de vista el hecho de que es necesario accionar el transmisor de uno a tres segundos sin interrupción para que el receptor se ponga en funcionamiento.

El circuito impreso de la figura 4.5 lleva una pastilla suplementaria, no indicada en la figura 4.6, y que da acceso a la pata 3 del TDA4050: en ella

se dispone de las señales recibidas, extraídas *antes de la demodulación*. Este punto de prueba podrá ser muy apreciado para afinar los ajustes, o para futuras aplicaciones.



Figs. 4.5 y 4.6. Realización práctica del demodulador 40 kHz.

NOMENCLATURA DEL DEMODULADOR DE 40 kHz (Fig. 4.6)

Resistencias

(5% 1/4 W salvo que se diga lo contrario)

1.8 k Ω k
 2 \times 3.9 k Ω
 2 \times 22 k Ω
 100 k Ω

Condensadores

1 nF
 2 \times 1.5 nF
 3.3 nF
 2.2 μ F
 4.7 μ F
 10 μ F

Semiconductores

BC309
 TDA4050 SIEMENS
 1N4148

Varios

módulo decodificador

4

UN TELEMANDO ACUSTICO

Rigurosamente hablando, el montaje de la figura 4.7 no pertenece a la familia de los telemandos por ultrasonidos. En efecto, puede ser puesto en funcionamiento simplemente dando palmadas: una primera orden pone bajo tensión el dispositivo alimentado por el relé, y una segunda palmada lo para.

En efecto, se encuentra en la parte superior del esquema del montaje de la figura 2.3 asociado a un micrófono ordinario. Reemplacemos esta etapa de amplificador por un receptor de ultrasonidos cualquiera, y obtendremos un telemando por ultrasonidos *biestable*.

En muchos casos, sin embargo, se podrá trabajar en el dominio audible, lo que dispensa de construir un aparato transmisor. En efecto, no hay necesidad de codificación de alta seguridad para controlar la luz del comedor, o la televisión. Además, en este montaje se ha previsto un sistema de seguridad, que evita las vacilaciones del aparato controlado: cualquier recepción de órdenes nuevas está inhibida durante los cinco segundos que siguen a la ejecución de la precedente.

Esta parte "lógica" del montaje podrá, por supuesto, volverse a utilizar con otros receptores de telemando: en la figura 4.7, basta con eliminar todos los componentes situados entre el micro y el segundo BC318, ambos inclusive. Las órdenes de telemando recibidas deberán, simplemente, poner a masa durante un instante la entrada del 4011 así liberada.

La realización de este montaje se hace sobre un circuito impreso, cuyo trazado se da en la figura 4.8. Después del cableado según la figura 4.9, basta con conectar un micrófono dinámico de baja impedancia y una alimentación de 12 V para proceder a las pruebas; en este momento, se regulará el potenciómetro ajustable según la sensibilidad que se desee dar al montaje.

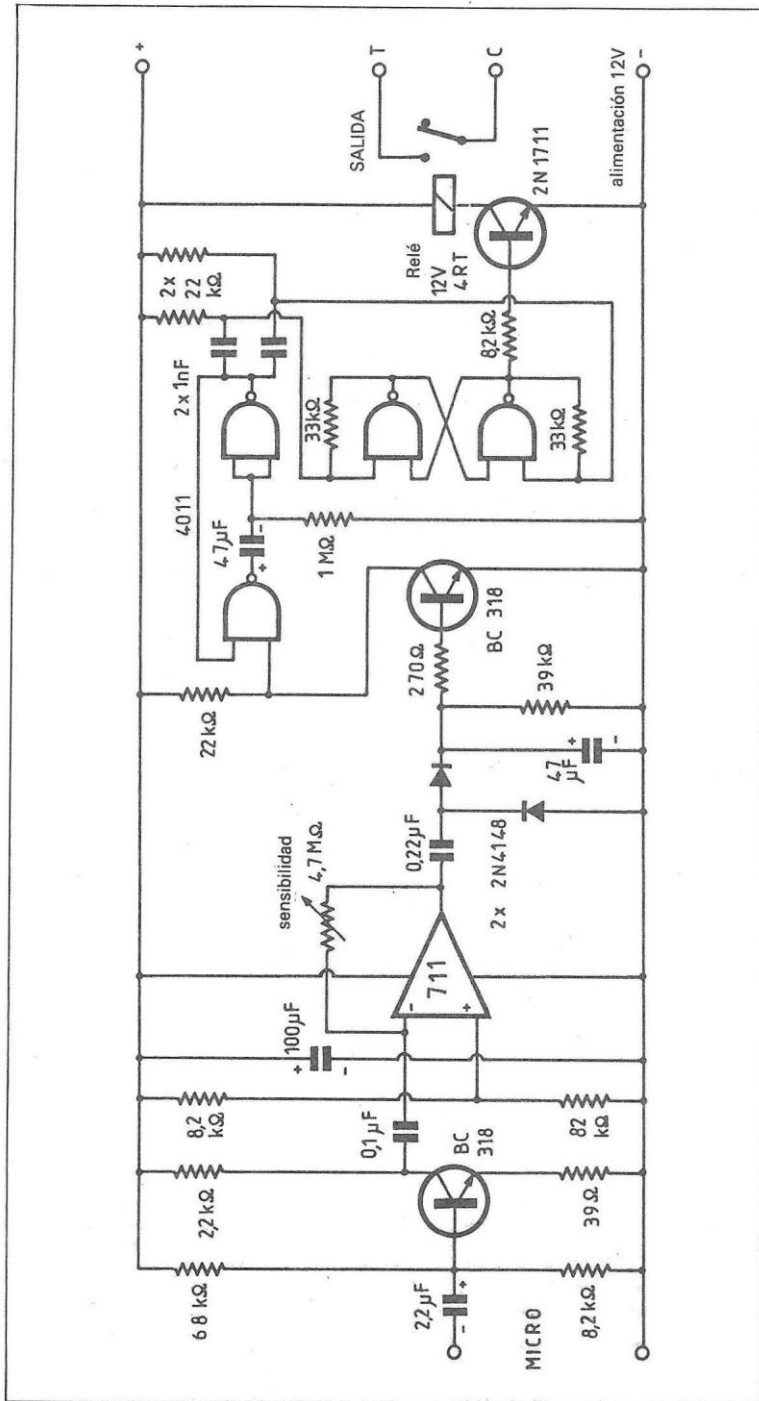
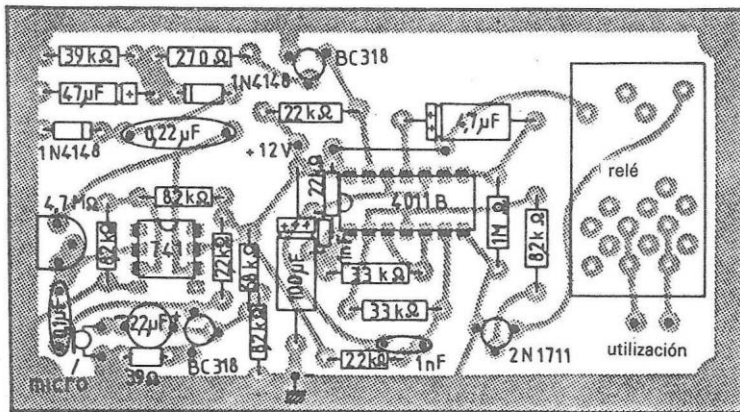
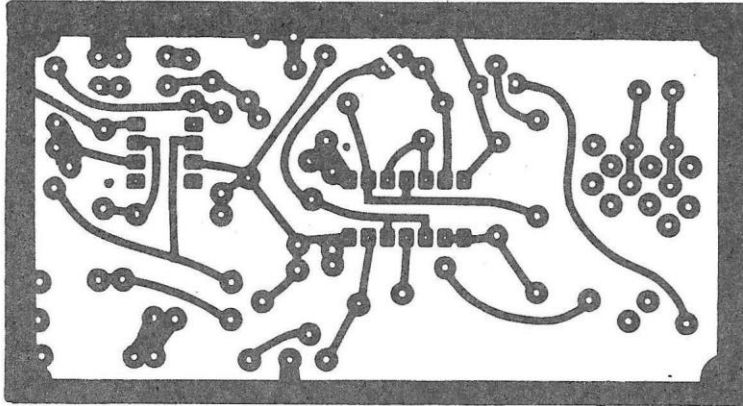


Fig. 4.7. Un telemando acústico "llave en mano".



Figs. 4.8 y 4.9. Realización práctica del telemando acústico.

NOMENCLATURA DEL TELEMANDO ACUSTICO (Fig. 4.9)

Resistencias

(5% 1/4 W salvo que se diga
lo contrario)
39 k Ω
270 Ω
22 k Ω
22 k Ω
2.2 k Ω

Condensadores

2 \times 1 nF
0.1 μ F
0.22 μ F
2.2 μ F
10 μ F
4.7 μ F
47 μ F

68 k Ω
39 Ω
4 \times 8.2 k Ω
22 k Ω
2 \times 33 k Ω
1 M Ω
pot. ajustable 4.7 M Ω

Semiconductores

LM741
CD4011B
2 \times 1N4148
2 \times BC318 o similar
2N1711

Varios

relé europeo 12 V 4
inversores
alimentación 12 V
micro dinámico de baja
impedancia