

---

# Enunciado de la Práctica del Laboratorio de Circuitos Electrónicos (LCEL)

Mando a distancia mediante infrarrojo

---

Plan 94. Curso 2010-2011

Álvaro de Guzmán Fernández  
Ángel Fernández Herrero

## Índice general

Índice de figuras .....	3
AVISO IMPORTANTE .....	4
Recomendaciones generales sobre el diseño y montaje .....	5
1 Introducción .....	6
2 Descripción general .....	7
2.1 Objetivo general .....	7
2.2 Esquema simplificado .....	7
2.2 Descripción funcional .....	8
3 Arquitectura .....	8
3.1 Arquitectura del emisor .....	8
3.2 Arquitectura del receptor .....	9
3.3 División en subsistema analógico y digital .....	10
4 Funcionamiento detallado .....	10
4.1 EL EMISOR (PARTE DIGITAL) .....	10
4.1.1 Pulsadores y circuito de activación de alimentación .....	10
4.1.2 Generación del código (trama) del emisor .....	11
4.2 EL EMISOR (PARTE ANALÓGICA) .....	12
4.2.1 Emisor IR .....	12
4.3 EL EMISOR (RESUMEN GENERAL) .....	12
4.4 EL RECEPTOR (PARTE DIGITAL) .....	13
4.4.1 Captura de la señal recibida .....	13
4.4.2 Sincronismo y funcionamiento del sistema .....	14
4.4.3 Visualización del código transmitido .....	15
4.4.4 Circuitos de inicialización .....	16
4.5 EL RECEPTOR (PARTE ANALÓGICA) .....	16
4.5.1 Recuperación de la señal recibida desde el emisor .....	16
4.5.2 Demodulación de la señal recibida .....	19
4.5.3 Conversor I/V .....	20
4.5.4 Filtro paso banda .....	20
4.5.5 Amplificador .....	21
4.5.6 Rectificador de precisión .....	21
4.5.7 Filtro paso bajo .....	22
4.5.8 Comparador .....	23
4.5.9 Ajuste del circuito .....	23
4.5.10 Medidas que deben realizarse sobre el circuito .....	24
4.5.11 Realización de diagramas de Bode .....	25
4.6 MONTAJE DE LA PRÁCTICA .....	25
4.7 ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO .....	26
5 Especificaciones del sistema .....	28
6 Memoria final .....	29
7 Posibles mejoras .....	30
7.1 Utilización de más de 3 pulsadores en el emisor (dificultad baja) .....	30
7.2 Implementación de un indicador de trama recibida (dificultad baja) .....	30
7.3 Implementación de un indicador de trama recibida no identificada (dificultad media) .....	31
7.4 Empleo de un teclado para la selección del código en el receptor (dificultad alta). .....	31
7.5 Uso de esquemas circuitales alternativos a los propuestos .....	31
7.6 Implementación en circuitos programables (dificultad alta) .....	31
7.7 Simulación con PSPICE (1 PUNTO) (dificultad alta) .....	32
7.8 Montaje en PCB (1,5 PUNTOS) (dificultad muy alta) .....	32
7.9 Lectura de un mando a distancia comercial (dificultad muy alta) .....	32
8 Desarrollo recomendado .....	33
Anexo I Empleo de microinterruptores .....	36
Anexo II El circuito integrado NE555 .....	37

## Índice de figuras

Figura 1 Esquema general del funcionamiento del sistema .....	7
Figura 2 Arquitectura del sistema emisor.....	8
Figura 3 Arquitectura del sistema receptor .....	9
Figura 4 Pulsadores y circuito de activación de la alimentación.....	10
Figura 5 Generador de trama del emisor .....	11
Figura 6 Estructura del oscilador de portadora, modulador, amplificador de potencia y LED de IR.....	12
Figura 7 Arquitectura del emisor completo, destacando las partes analógica y digital .....	13
Figura 8 Esquema del circuito de captura de trama del receptor .....	14
Figura 9 Diagrama de estados correspondiente al autómata de control del sistema de captura del receptor .....	14
Figura 10 Cronograma de funcionamiento del autómata que controla la captura de trama en el receptor. Cada línea vertical se corresponde con un periodo de 125 $\mu$ s (frecuencia = 8 KHz). .....	15
Figura 11 Visualización del código correspondiente al pulsador mediante un display de 7 segmentos.....	16
Figura 12 Diagrama en el tiempo y espectro en frecuencia de una señal formada por la trama 1010001.....	17
Figura 13 Diagrama en el tiempo y espectro en frecuencia de la trama modulada en amplitud sobre una portadora de 38 KHz. ....	17
Figura 14 Señal obtenida tras su paso a través de un filtro paso banda centrado en 38 KHz. ....	18
Figura 15 Señal obtenida tras el rectificador y espectro en frecuencia de la misma. ....	18
Figura 16. Señal de bits recuperada tras el filtro paso bajo.....	19
Figura 17 Esquema del demodulador completo. Se muestran también las formas de onda que deberían medirse a la salida de los diferentes módulos .....	19
Figura 18 Conversor corriente-tensión y detalles del fotodiodo empleado (SFH 225 FA).....	20
Figura 19 Esquema de un filtro paso banda de realimentación múltiple. ....	20
Figura 20 Amplificador no inversor .....	21
Figura 21 Esquema de un rectificador de precisión de media onda. ....	21
Figura 22 Filtro paso bajo de Sallen Key. ....	22
Figura 23 Señales obtenidas con frecuencias de corte incorrectas del filtro. En la gráfica superior la frecuencia es demasiado alta. En la inferior es demasiado baja.....	22
Figura 24 Circuito comparador LM311 y esquema del proceso de comparación.....	23
Figura 25 Ajuste del reloj del autómata para una correcta recepción de los bits.....	24
Figura 26 Esquema del circuito de medida de los filtros. Se muestra un ejemplo real de cómo calcular el módulo y la fase de la función de transferencia. ....	24
Figura 27 Etapas digitales del emisor y el receptor unidas para comprobar el funcionamiento de la parte digital antes de realizar la transmisión por IR.....	25
Figura 28 Condensadores de desacoplo en el receptor y en el emisor. En el caso del receptor, se muestra también la disposición de los LEDs que indican la presencia de cortocircuitos .....	26
Figura 29 Sugerencia para la distribución de las alimentaciones, de las líneas de masa, de los condensadores de desacoplo y de los LEDs de indicación de la alimentación .....	27
Figura 30 Forma correcta de emplear microinterruptores para obtener valores binarios 0 y 1. ....	36
Figura 31 Esquema interno del temporizador NE555 .....	37
Figura 32 Esquema del NE555 conectado como multivibrador astable .....	37
Figura 33 Niveles de tensión a la salida de algunas de las patillas del integrado NE555 configurado como multivibrador astable .....	38

## AVISO IMPORTANTE

Para realizar esta práctica se necesitan: un diodo LED de infrarrojo y un fotodiodo detector de IR. Para garantizar que todas las prácticas se llevan a cabo con los mismos elementos LED y detector, dichos dispositivos serán suministrados por el Departamento en el horario habitual de Secretaría de Alumnos. Cada pareja deberá pasar a recoger su conjunto LED/detector identificándose mediante algún documento oficial (DNI, pasaporte, tarjeta de residente, carnet de conducir, carnet de la Escuela, etc). A partir de este momento, los componentes permanecerán en poder de los alumnos hasta la finalización de la asignatura.

Solamente se entregará un conjunto LED/detector por pareja, por lo que deberá cuidarse especialmente el conectarlos adecuadamente para evitar que se deterioren.

De cualquier manera, si se siguen adecuadamente las recomendaciones de este enunciado, no debería ocurrir ningún problema con los citados componentes.

En caso de querer utilizar otros componentes diferentes a los suministrados por el Departamento, los alumnos deberán ponerse en contacto con el coordinador de la asignatura.

## Recomendaciones generales sobre el diseño y montaje

A continuación resumimos algunas de las recomendaciones más importantes para obtener buenos resultados en este laboratorio:

1. Como regla general utilice resistencias entre los valores de  $100\ \Omega$  y  $100\ \text{K}\Omega$  a excepción de los circuitos donde se indique lo contrario. Resistencias por debajo de  $100\ \Omega$  dan lugar a corrientes muy altas que pueden dañar los dispositivos que se emplearán para la realización de esta práctica. Las resistencias muy altas  $>100\ \text{K}\Omega$  producen mayor nivel de ruido y suelen causar problemas en las medidas con el osciloscopio si se utiliza la sonda en x1.
2. Realice el cableado de los componentes con calma, asegurándose que la función de las patillas de los integrados se corresponden correctamente con las hojas de características.
3. Utilice cables de la longitud adecuada, no emplee bucles largos de cable para unir puntos próximos. Esta suele ser una de las fuentes de ruido más habituales. Asimismo, corte las patillas de las resistencias y condensadores para que no sobresalgan demasiado por encima de la placa de inserción, así se evitarán posibles cortocircuitos entre ellas.
4. No deje conectada la alimentación mientras está haciendo algún cambio, ya que podría producirse algún cortocircuito y dañar permanentemente el circuito.
5. Asegúrese de alimentar siempre los circuitos integrados digitales con +5V y masa.
6. Asegúrese de alimentar siempre los amplificadores operacionales con tensión simétrica de +5V, -5V y masa.
7. Los condensadores de desacoplo en la alimentación son obligatorios y muy importantes. No haga funcionar el circuito nunca sin ellos.
8. No deje nunca entradas "al aire" (sin conectar) en los circuitos integrados digitales. Las entradas que no sea necesario emplear deberán conectarse a masa (por ejemplo el resto de los inversores que no emplee en un circuito integrado donde haya varios). IMPORTANTE: Esto solamente se aplica a las entradas, las salidas que no se empleen deberán quedar sin conectar. No conecte nunca una salida directamente a masa o a  $V_{cc}$ .
9. Realice los montajes de los circuitos y el cableado fuera del laboratorio. Utilice las sesiones para realizar medidas, comprobar el correcto funcionamiento, resolver problemas, realizar ajustes o hacer simulaciones.
10. Ponga especial atención a la polaridad de los condensadores electrolíticos ya que si se conectan con la polaridad invertida pueden explotar.
11. Si se detecta un fallo de funcionamiento, intente aislar el problema yendo módulo a módulo hacia atrás hasta encontrar la etapa que falla. Si no encuentra el fallo, pruebe las etapas por separado.
12. En general, no pierda el concepto global de lo que se está montando. Puede ocurrir que se ofusque con una etapa cuando el fallo se encuentra en otra parte completamente diferente del circuito.

## 1 Introducción

El objetivo del *Laboratorio de Circuitos Electrónicos* es que el alumno revise, amplíe, aplique y consolide de una manera práctica los conocimientos adquiridos en las asignaturas de segundo curso *Circuitos Electrónicos Analógicos* y *Circuitos Electrónicos Digitales*.

Para ello deberá seguir las instrucciones aquí incluidas, que implicarán diversas fases de diseño, análisis, montaje y medida de los circuitos o subsistemas propuestos. Igualmente se hará especial énfasis en que los alumnos adquieran una visión práctica de los problemas con los que se encuentra el diseño de circuitos analógicos y digitales en las implementaciones de prototipos reales de laboratorio.

El resultado del trabajo realizado **deberá quedar reflejado en una memoria escrita** que contenga los detalles del proceso, así como los resultados obtenidos y todas aquellas cuestiones específicas que se indiquen en el enunciado (ver Apartado 6).

Como documentación adicional, está disponible el libro *Aspectos Prácticos de Diseño y Medida en Laboratorios de Electrónica* [6], que podrá adquirir en el Servicio de Publicaciones de la Escuela, donde encontrará recomendaciones, criterios de diseño y comentarios de interés de carácter general, y cuyo contenido podrá ser objeto de pregunta en el examen oral.

La Práctica propuesta contiene las **especificaciones mínimas** que deben cumplir los circuitos realizados. Adicionalmente, se presentarán sugerencias de **mejoras opcionales**, dejando a los alumnos la libertad de añadir nuevas mejoras y montajes alternativos (ver Apartado 7). Podrá encontrar éste y otros documentos relacionados, así como información actualizada sobre la asignatura, en: <http://lcel.die.upm.es>

En particular, el documento <http://lcel.die.upm.es/public/docs/infolab1011.pdf> contiene la normativa de aplicación a la asignatura, si bien en este curso también habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

**1. Cada pareja deberá disponer de un cuaderno de prácticas**, donde dibujará los esquemas de los circuitos, detallará los cálculos y justificaciones realizados, tomará nota de todas las medidas efectuadas en el Laboratorio y, en general, recogerá cuantas observaciones e incidencias tengan lugar durante el desarrollo de la Práctica. Este cuaderno **será de gran utilidad a la hora de escribir la memoria final y tendrá que entregarse junto con ella cuando termine la asignatura**, antes del examen oral.

**2. Se publicará en el portal de la asignatura un modelo para la memoria final**, que deberá ser tenido en cuenta por todos los alumnos a la hora de escribirla.

Para cualquier consulta, puede dirigirse a Álvaro de Guzmán Fernández (B-107, [guzman@die.upm.es](mailto:guzman@die.upm.es)).

## 2 Descripción general

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

En esta práctica se desarrollará un sistema de mando a distancia por infrarrojo (IR) similar a los empleados para el control de los aparatos electrodomésticos. Estos sistemas gozan de gran popularidad gracias a la sencillez de su diseño y fabricación en comparación con otros sistemas de telemando mediante radiofrecuencia. El único inconveniente que presentan es la necesidad de dirigir el haz de IR hacia el detector dentro de un alcance limitado.

Normalmente, este tipo de mandos a distancia contienen muy diversas funciones que se manifiestan en una gran cantidad de pulsadores. Cada pulsador genera un código diferente que es transmitido por el mando a distancia. Junto con dicho código, generalmente se transmite también un código único que identifica el modelo de mando a distancia. De esta manera es posible controlar varios equipos con mandos diferentes sin que se interfieran entre sí. También es necesario que el emisor repita la emisión periódicamente mientras el pulsador sigue presionado.

La práctica que se propone consiste en el desarrollo de un mando a distancia mediante IR formado por **dos circuitos diferentes: un emisor con 3 pulsadores, y un receptor**. En el emisor se generará una trama formada por dos códigos que serán transmitidos mediante un haz IR: uno identificativo del pulsador presionado, y otro identificativo del mando a distancia. El receptor decodificará ambos códigos y presentará en un display el código asociado al pulsador presionado únicamente si el código del mando se corresponde con el programado. De otro modo, deberá ignorar la trama.

### 2.2 ESQUEMA SIMPLIFICADO

Un esquema simplificado que muestra el funcionamiento del sistema puede verse a continuación en la Figura 1.

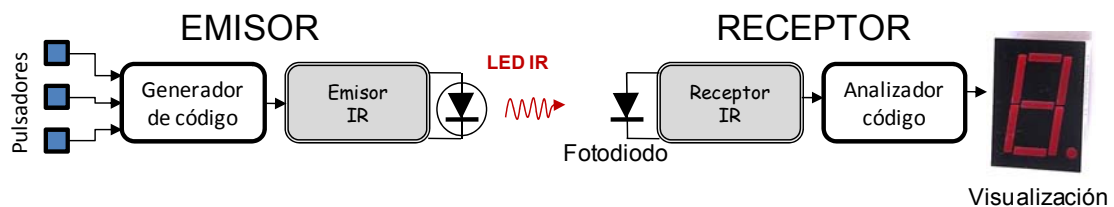


Figura 1 Esquema general del funcionamiento del sistema

Como puede verse, el sistema consta de dos circuitos diferentes **que deberán ser montados en placas independientes**.

El emisor está compuesto por 3 pulsadores que deben cumplir dos funciones: por un lado deben proporcionar la alimentación general al circuito y por el otro deberán ser identificados de forma independiente por el generador de código, el cual generará un código diferente para cada uno de ellos. Posteriormente, a dicho código se añadirá otro correspondiente al mando a distancia, formando de esta manera la trama a transmitir. Dicha trama se transmitirá mediante el bloque EMISOR IR de la figura. El elemento emisor del haz IR será un LED (*"Light Emitting Diode"*). Por tanto, **el emisor no deberá consumir corriente mientras los pulsadores están sueltos** (tal como sucede en los sistemas comerciales).

En cuanto al receptor, la señal IR se detectará mediante un fotodiodo que generará una corriente cada vez que reciba un haz de luz IR. Mediante un circuito de análisis de la trama recibida deberá ser capaz de separar el código correspondiente al mando del código correspondiente al pulsador. Finalmente, si el código del mando coincide con el programado en el receptor, se visualizará en un display de 7 segmentos el código correspondiente al pulsador. En caso contrario, el receptor ignorará la trama completa.

## 2.3 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

En el prototipo que vamos a diseñar, implementar y probar, trabajaremos con una señal IR modulada en amplitud (ASK, “*Amplitude Shift Keying*”) sobre una portadora de **38 KHz**.

**El emisor se alimentará con 4 pilas de 1,5V de tipo AA en serie (6V)** lo cual nos permitirá alejarlo del receptor cómodamente. Mientras no se presione ninguno de los pulsadores, se encontrará en un estado de reposo. En este estado, la alimentación estará desconectada del sistema evitando de esta forma el consumo de corriente. Cuando se presiona alguno de los pulsadores, se conecta la alimentación al sistema y se genera la trama que deberá transmitirse. Dicha trama estará compuesta por 7 bits: el primero (bit de inicio) será siempre 1, los tres bits siguientes identificarán de forma única al mando a distancia (M2 M1 M0), y los tres últimos identificarán el pulsador presionado (C2 C1 C0). La trama completa se modulará en amplitud sobre la portadora de 38 KHz y se transmitirá mediante el haz IR. **Esta trama se repetirá cada 500 ms mientras el pulsador siga presionado.**

El receptor, por el contrario, estará siempre recibiendo alimentación de la fuente del laboratorio (**+5 y -5 V en modo simétrico**). Mientras no reciba señal IR se encontrará en un estado de espera. Cuando reciba el 1 correspondiente al bit de inicio de una trama, entrará en un estado de captura en el que deberá almacenar los 6 bits que llegarán a continuación. Por último, si el código correspondiente al mando a distancia se corresponde con el que se encuentra programado en el receptor mediante unos microinterruptores, entonces presentará en un display de 7 segmentos el valor binario del código de 3 bits correspondiente al pulsador. En caso contrario ignorará la trama por tratarse de una señal procedente del mando de otro equipo.

Queremos insistir en que el emisor no recibe alimentación hasta que no se presiona alguno de los pulsadores. Esta característica es importante por tratarse de uno de los requisitos de los sistemas reales. De otra forma, las pilas se agotarían en pocos minutos.

## 3 Arquitectura

En este apartado refinaremos un poco más el esquema simplificado visto en el anterior. No se preocupe si no alcanza a comprender todos los términos, conceptos y detalles que se discuten, ya que se irán aclarando a medida que avance en la lectura del documento. Asuma que necesitará varias lecturas y una reflexión a fondo sobre todo ello.

Los valores y datos que vea escritos **en negrita y subrayados** son **especificaciones del sistema** que deberán ser cumplidas en el diseño final.

### 3.1 ARQUITECTURA DEL EMISOR

En la Figura 2 se encuentra el esquema más detallado del sistema emisor, que consta de los siguientes bloques:

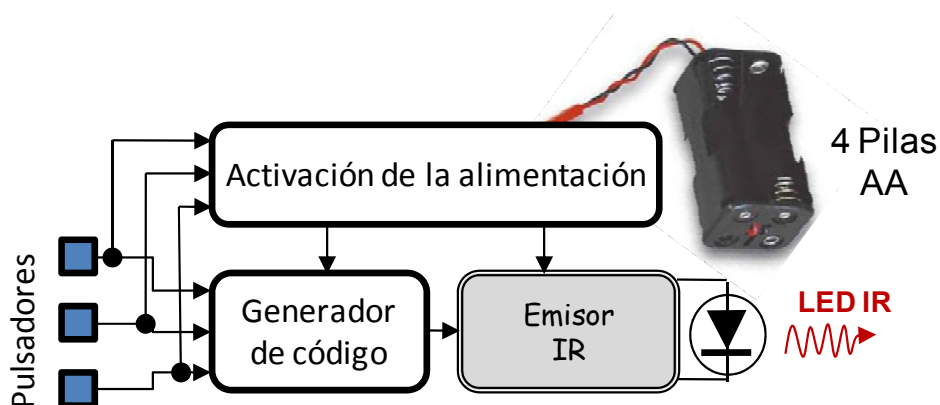


Figura 2 Arquitectura del sistema emisor



- Pulsadores: se necesitarán **tres pulsadores de circuito simple** (es decir con solamente dos contactos). Cuando el pulsador está en reposo, dichos contactos se encuentran aislados, mientras que cuando se presiona, dichos contactos se encuentran en cortocircuito.
- Activación de la alimentación: se encargará de suministrar la alimentación de la pila a todos los circuitos que componen el emisor cada vez que se presiona cualquiera de los pulsadores.
- Generador de código: este circuito deberá construir la trama digital de 7 bits correspondiente al pulsador presionado. Por tanto deberá ser capaz de distinguir cada pulsador independientemente. Además, se encargará de repetir la trama cada **500 ms** mientras el pulsador siga presionado.
- Emisor IR: este circuito realizará la modulación en amplitud de la trama generada sobre una portadora de **38 KHz**. Además, suministrará la potencia necesaria al LED de IR para obtener un alcance suficiente.

### 3.2 ARQUITECTURA DEL RECEPTOR

En la Figura 3 se encuentra el esquema más detallado del receptor que consta de los siguientes bloques:

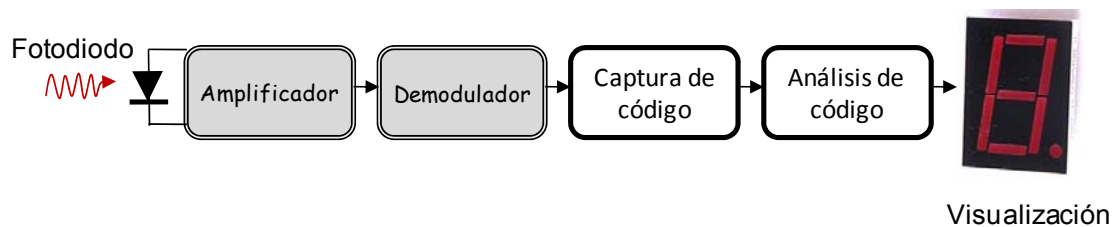


Figura 3 Arquitectura del sistema receptor

- Amplificador: la intensidad de la señal IR recibida dependerá de la potencia emitida por el emisor y la distancia a la que se encuentra este último. Este bloque deberá amplificar la señal recibida de modo que tenga amplitud suficiente para ser tratada por el demodulador.
- Demodulador: el demodulador extrae la señal digital contenida en la señal modulada. A la salida de este módulo se obtiene por tanto la trama de 7 bits.
- Captura de código: se trata de un circuito digital que almacena la trama de 7 bits en un registro de desplazamiento mediante una máquina de estados que deberá ser diseñada y construida.
- Análisis de código: mediante una lógica digital sencilla, se determinará si el código del mando corresponde con el programado en unos microinterruptores. Si es así, el valor binario del código del pulsador se visualizará en el display. Si no, la trama será ignorada.
- Display de 7 segmentos: permite visualizar el código correspondiente al pulsador presionado.

### 3.3 DIVISIÓN EN SUBSISTEMAS ANALÓGICO Y DIGITAL

Esta práctica está diseñada para que pueda ser construida en dos fases. En una primera fase, se montarán exclusivamente las etapas digitales del emisor y el receptor y se comprobará que funcionan correctamente. Posteriormente, en una segunda fase, se montará la parte analógica de ambos circuitos quedando de este modo concluida la práctica.

En detalle, la parte analógica está compuesta por los siguientes módulos (bloques sombreados en gris en las figuras):

- Emisor: modulador de amplitud y etapa de potencia para alimentar el LED IR.
- Receptor: amplificador de la señal recibida por el fotodiodo y demodulador de trama.

En la parte digital se utilizará en todo caso **lógica CMOS** (circuitos de la serie **74HCXXXX**). El subsistema digital se encuentra formado por los siguientes módulos (bloques en blanco en las figuras):

- Emisor: pulsadores, activación de la alimentación y generador de código.
- Receptor: captura de código, análisis y visualización.

## 4 Funcionamiento detallado

A continuación se describirán los módulos en todo el detalle para la construcción del sistema completo.

### 4.1 EL EMISOR (PARTE DIGITAL)

Antes de comenzar a describir las partes que componen este sistema queremos aclarar una serie de cuestiones **fundamentales** para el correcto desarrollo de la práctica:

1. El emisor deberá construirse en una placa separada de la del receptor. Como criterio general, el diseño debería caber en una placa de inserción pequeña.
2. Este circuito recibirá alimentación mediante 4 pilas de 1,5V tipo AA dispuestas en serie.

#### 4.1.1 Pulsadores y circuito de activación de alimentación:

Este sistema está formado por una serie de componentes además de los propios pulsadores (ver Figura 4).

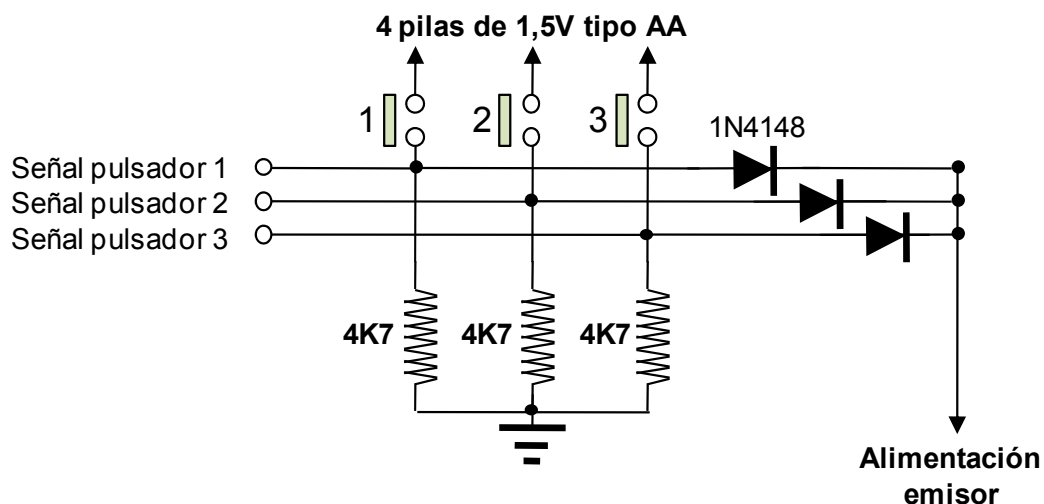


Figura 4 Pulsadores y circuito de activación de la alimentación

La alimentación proporcionada por las pilas se encuentra aislada del circuito cuando ninguno de los pulsadores está presionado. Cuando cualquiera de ellos se presiona, inmediatamente aparece una tensión en la línea marcada como “Alimentación emisor”. Dicha tensión será igual a la proporcionada por las pilas menos la caída de tensión propia de un diodo 1N4148 (entre 0,6 y 0,7 V). Esta línea de alimentación será la que se emplee para alimentar toda la electrónica del circuito emisor (circuitos integrados, LED, etc).

Por otro lado, en los terminales “Señal pulsador 1”, “Señal pulsador 2” y “Señal pulsador 3” se obtendrán las señales correspondientes a la pulsación del pulsador respectivo. Dichas señales se encuentran en reposo a un valor de 0V gracias a las resistencias de 4,7 K $\Omega$ . Cuando se presiona un pulsador, el valor de dicha señal conmuta a Vcc. Los diodos impiden que dicha señal de Vcc se propague hacia los terminales de señal de los otros pulsadores.

Como siempre que se utilizan pulsadores, es necesario evitar los transitorios de conmutación descritos en la referencia [6]. Para ello, a continuación (apartado 4.1.2) se describirá la forma en que deben eliminarse dichos transitorios.

#### 4.1.2 Generación del código (trama) del emisor:

Para la generación del código se empleará un registro de desplazamiento con entrada paralelo y salida serie **74HC165** y dos generadores de reloj. (ver Figura 5).

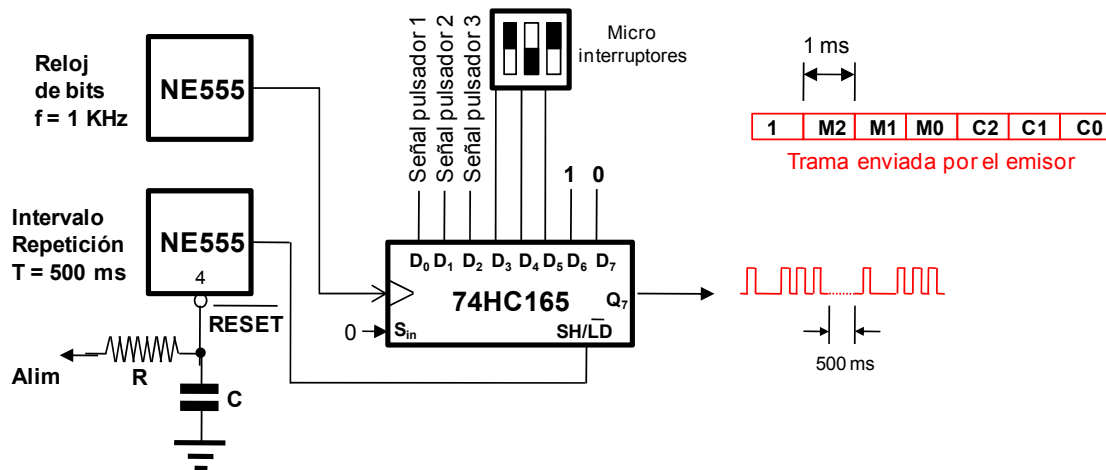


Figura 5 Generador de trama del emisor

Los generadores de reloj son osciladores de onda rectangular basados en el circuito integrado NE555, cuya descripción y configuración puede consultar en el anexo II de este documento.

Cuando los pulsadores no están presionados no hay alimentación y por lo tanto el generador de trama no funcionará. Cuando se pulsa cualquiera de ellos, la alimentación llega al sistema. El reloj de intervalo de repetición marcará los intervalos entre carga y desplazamiento del 74HC165. Este reloj generará una señal digital de periodo **500 ms** y un ciclo de trabajo entre 60 y 70%. En los ciclos en que se encuentre a nivel bajo se realizará la carga de la trama a enviar compuesta por el 1 inicial, el identificador del mando (M2 M1 M0), que podrá seleccionarse mediante microinterruptores (consulte anexo I para su correcto empleo), y el código correspondiente a la tecla pulsada (C2 C1 C0). En los intervalos en que se encuentre a nivel alto, se irán desplazando los bits según la cadencia marcada por el Reloj de bits. Dicha cadencia deberá ser de **1 KHz** con ciclo de trabajo del 60-70%, por lo que cada bit tendrá una duración de **1 ms**. De esta forma, a la salida del registro de desplazamiento (Q<sub>7</sub>) debería verse una señal como la que se indica en la misma figura.

Además, deberán eliminarse los transitorios de arranque de la alimentación y de pulsación en los pulsadores. Para ello, deberá mantenerse el 74HC165 en modo carga durante un cierto periodo suficiente para eliminar dichos transitorios. El modo carga inicial se asegura manteniendo a 0 la patilla 4 del NE555 mediante un circuito de inicialización como el que se muestra en la figura. Dirijase al anexo II para conocer en detalle el funcionamiento de esta patilla en el integrado NE555.

## 4.2 EL EMISOR (PARTE ANALÓGICA)

### 4.2.1 Emisor IR:

El emisor IR comprende el oscilador de portadora (38 KHz), el modulador de amplitud y un amplificador de potencia para alimentar el LED IR que transmitirá la señal.

En la Figura 6 se muestra el esquema general de esta etapa, junto con la polaridad del LED:

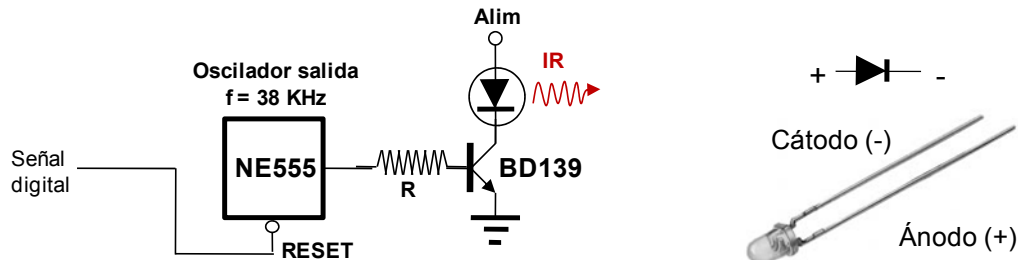


Figura 6 Estructura del oscilador de portadora, modulador, amplificador de potencia y LED de IR.

El generador de portadora está compuesto por un integrado NE555 configurado como generador de onda rectangular. Deberá diseñarse para obtener una señal cuadrada de **38 KHz** de frecuencia con un ciclo de trabajo entre el 60 y el 70%. Dicha portadora deberá ser modulada en amplitud por la señal digital a transmitir. Para ello puede aprovecharse la patilla 4 (RESET) del NE555. Cuando la señal digital es 0, la salida del NE555 se pone a nivel bajo, mientras que cuando la señal digital es 1, la salida del NE555 es la portadora de 38 KHz. De esta forma queda modulada en amplitud.

Posteriormente se añadirá una etapa de potencia consistente en un transistor bipolar NPN de potencia del tipo BD139. Se conectará la salida del 555 (patilla 3) directamente al citado transistor a través de la resistencia R (en este caso no es necesario utilizar la resistencia de pull up de 4K7). Comience utilizando un valor de resistencia  **$R=1\text{ K}\Omega$** , con ello se consigue un alcance razonable. Con este valor de R, y teniendo en cuenta el valor de  $\beta$  del transistor que aparece en las hojas de características del mismo, **deberá calcular la corriente que circula por el LED.**

Para ello, mida la tensión a la salida del 555 (patilla 3), mida también la tensión en la base del transistor. Con estos valores podrá estimar la corriente que fluye a través de la resistencia R. Dado el valor de esta corriente y el valor de  $\beta$  del transistor, podrá calcular la corriente que fluye a través del LED. Tenga en cuenta que cuando mida estas tensiones lo que observará son pulsos. Se trata de medir el nivel de tensión en el máximo del pulso en ambos casos.

## 4.3 EL EMISOR (RESUMEN GENERAL)

El emisor en conjunto puede verse en la Figura 7. En dicha figura se muestran las partes correspondientes a las etapas analógicas y digitales. También se muestran las formas de onda que deberá observar en alguno de los puntos.

La característica fundamental debe ser que no consuma corriente mientras no se presionen los pulsadores, por lo tanto **la línea etiquetada como "Alim" deberá utilizarse para suministrar la Vcc a todos los circuitos integrados, así como al circuito de inicialización, al transistor y al LED. Este es uno de los requisitos fundamentales de esta práctica y deberá ser cumplido. No se permiten esquemas donde las pilas estén alimentando alguna parte del circuito continuamente.**

En el esquema de la figura, la etiqueta Vcc se refiere a las 4 pilas de 1,5V dispuestas en serie. Para ello puede utilizar un portapilas similar a los que contienen en su interior algunos equipos electrónicos.

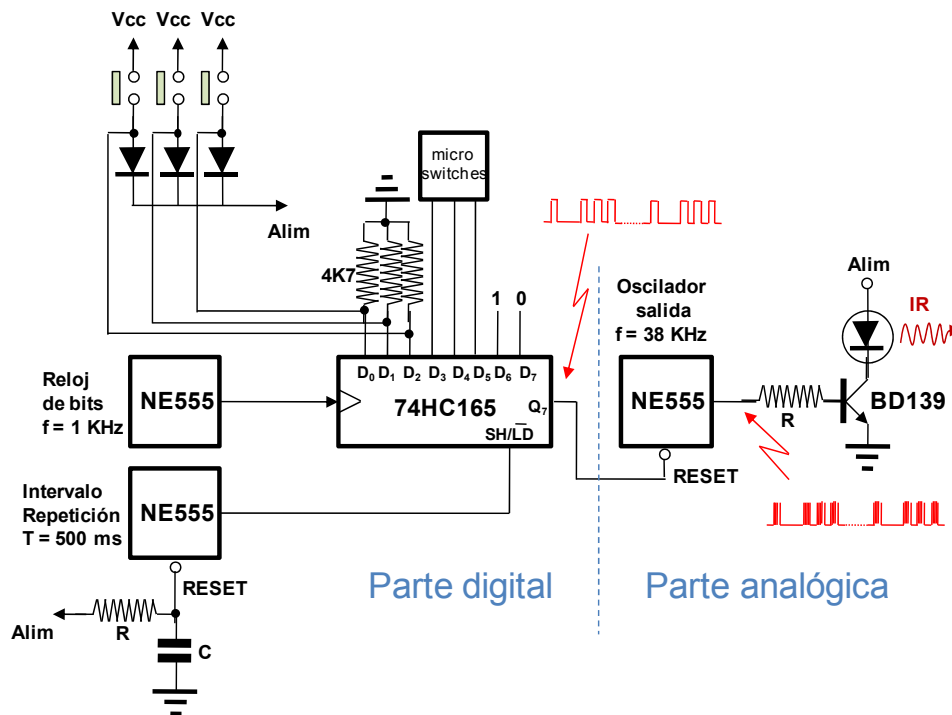


Figura 7 Arquitectura del emisor completo, destacando las partes analógica y digital

#### 4.4 EL RECEPTOR (PARTE DIGITAL)

Antes de comenzar a describir las partes que componen este sistema queremos aclarar una serie de cuestiones **fundamentales** para el correcto desarrollo de la práctica:

1. El receptor deberá construirse en una o varias placas separadas de la del emisor. Si se disponen los componentes de forma ordenada, el diseño debería caber en una placa de inserción grande.
2. Este circuito recibirá alimentación de la fuente del laboratorio en modo simétrico con +5 y -5 V. La parte digital solamente necesitará alimentación positiva, mientras que la parte analógica necesitará también la alimentación negativa para los amplificadores operacionales.

##### 4.4.1 Captura de la señal recibida:

La señal recibida, tras ser detectada por la parte analógica del receptor, estará formada por una trama digital de 7 bits idéntica a la emitida por el emisor. Dicha trama se capturará bit a bit empleando un registro de desplazamiento de entrada serie y salida paralelo del tipo 74HC164. Cuando se recibe una trama completa, se compara el código de 3 bits correspondiente al mando a distancia con el programado en unos microinterruptores situados en el receptor empleando un comparador 74HC688. Si el código coincide, entonces se captura la trama completa en un registro del tipo 74HC273. Si no coincide, la trama es ignorada y no se captura. (ver Figura 8).

La sincronización del sistema se llevará a cabo construyendo una **máquina de estados de tipo MOORE** que funcionará con un reloj cuya frecuencia debe ser **8 veces superior a la del emisor, es decir 8 KHz**. Esta característica, denominada sobremuestreo, permite detectar la trama de forma muy precisa haciendo que el sistema capture los bits de forma segura. **La realización de la máquina de estados es obligatoria y no se permitirán otro tipo de diseños.**

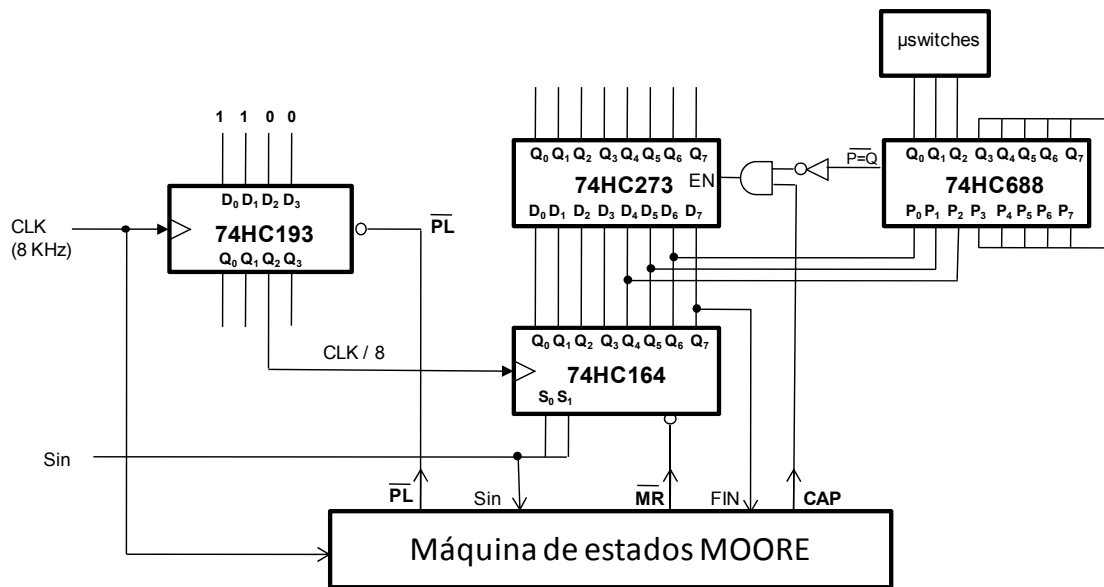


Figura 8 Esquema del circuito de captura de trama del receptor

#### 4.4.2 Sincronismo y funcionamiento del sistema:

El reloj del autómatas (**8 KHz**) se realizará nuevamente con un integrado NE555 funcionando en modo generador de onda rectangular. Utilice un ciclo de trabajo de entre 60 y 70%. Para asegurar que la frecuencia sea exactamente 8 veces la frecuencia del emisor, **utilice un potenciómetro en lugar de la resistencia R1** (anexo II). Con este potenciómetro podrá ajustar más tarde el circuito, tal y como se describe en el apartado 4.5.9. Dicho potenciómetro deberá tener un valor razonable para poder hacer un ajuste fino de la frecuencia. Una buena aproximación puede ser emplear un potenciómetro del valor comercial más cercano por exceso a 3 veces la resistencia calculada. (Por ejemplo: para una resistencia calculada de 3K se emplearía un potenciómetro de 10K, para una resistencia calculada de 12 K, se emplearía uno de 50 K).

En primer lugar, será necesario dividir la frecuencia del reloj del autómatas por 8 para poder capturar los bits que llegan con un tiempo de bit de 1 ms. Para realizar esta división se empleará un contador 74HC193 en el modo de cuenta hacia arriba. La entrada de reloj del contador se conectará a la señal de reloj de 8 KHz obteniéndose en la salida Q<sub>2</sub> una señal de frecuencia 8 veces inferior. Esta señal es la que se emplea para la captura de los bits en el 74HC164 tal y como se ve en la Figura 8. Dichos bits correspondientes a la trama entran por la línea marcada como Sin.

El autómatas posee una serie de entradas y salidas, las cuales se muestran también en la misma figura. Las señales con flecha entrante son entradas (Sin y FIN), las señales con flecha saliente son salidas (PL, MR y CAP). El funcionamiento de dicho autómatas se resume mediante su diagrama de estados, el cual se presenta en la Figura 9.

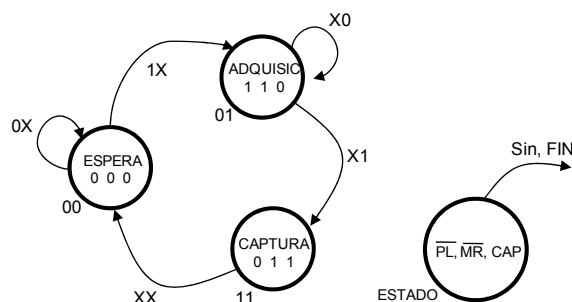


Figura 9 Diagrama de estados correspondiente al autómatas de control del sistema de captura del receptor

De forma resumida, el funcionamiento es el siguiente:

- Mientras no llega ninguna trama, la señal Sin es 0 y el autómata se encuentra en el estado 00 de ESPERA. En este estado, las tres salidas son 0, por lo que el contador se encuentra cargando constantemente el valor binario 0011 (decimal 3), el registro de desplazamiento se está poniendo a 0 constantemente, y la señal CAP que permite la captura de la trama en el registro, también es 0.
- Cuando aparece un 1 en Sin (bit de inicio), significa que hay una trama disponible para ser capturada. En este caso el autómata conmuta al estado 01 de ADQUISICIÓN. Las salidas PL y MR se ponen a 1, lo que permite al contador comenzar a contar y al registro de desplazamiento comenzar a capturar datos. El primer valor que alcanza el contador es 0100 (ya que estaba cargando 0011), por lo tanto aparece un flanco positivo en el reloj del registro de desplazamiento que captura el primer bit. A partir de este momento, la señal generada por el contador se encarga de capturar los bits con el periodo adecuado. El autómata se encuentra en este estado hasta que la señal FIN llega a 1. Esto sucede cuando el primer bit (bit de inicio), llega a la patilla Q<sub>7</sub> del registro de desplazamiento, momento en el que tendremos la trama completa cargada en el mismo.
- Cuando la señal FIN se activa, el autómata conmuta al estado 11 (CAPTURA DE TRAMA). En este estado se vuelve a poner a 0 PL para parar el reloj de captura de bits y se pone a 1 la señal CAP. Dicha señal, activará el registro 74HC273 solamente en el caso de que el comparador 74HC688 detecte que el código correspondiente al mando es igual que el programado en los microinterruptores. En caso contrario, la señal CAP es ignorada, ya que la salida del comparador será 1.
- Incondicionalmente, el autómata vuelve al estado de espera al siguiente ciclo de reloj.

El cronograma que indica la temporización de las distintas señales se encuentra detallado en la Figura 10. Cada línea vertical se corresponde con un ciclo del reloj del autómata (125 µs).

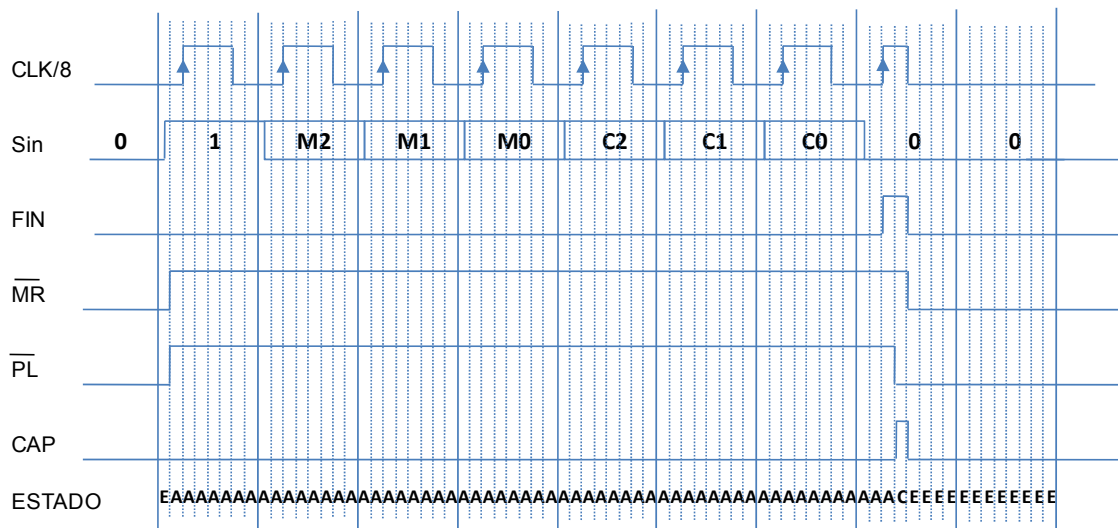


Figura 10 Cronograma de funcionamiento del autómata que controla la captura de trama en el receptor.  
Cada línea vertical se corresponde con un periodo de 125 µs (frecuencia = 8 KHz).

Para la realización de este autómata puede emplear biestables tipo D (74HC74). Tenga en cuenta que para simplificar las funciones lógicas se recomienda utilizar la numeración de estados que se muestra en la Figura 9.

#### 4.4.3 Visualización del código transmitido:

Si finalmente el código del mando (M2 M1 M0) coincide con el programado en los microinterruptores del receptor, entonces el registro 74HC273 capturaré la trama completa.

A continuación deberá visualizarse el código decimal correspondiente al pulsador en un display de 7 segmentos. Dado que los pulsadores generan respectivamente los códigos binarios: 100, 010 y 001, los valores decimales a visualizar en el display serán 4, 2 y 1. Utilice para ello un display de cátodo común y un decodificador de 7 segmentos del tipo 74HC4511. Necesitará emplear unas resistencias para limitar la corriente que llega al display de tal forma que no se deteriore el decodificador (véase la Figura 11). Puede emplear resistencias individuales o bien un array de resistencias.

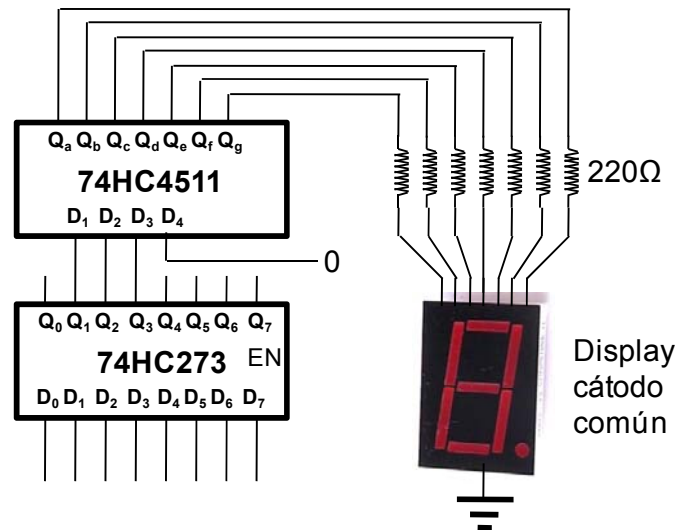


Figura 11 Visualización del código correspondiente al pulsador mediante un display de 7 segmentos.

#### 4.4.4 Circuitos de inicialización:

Inicialmente, cuando se conecta la alimentación, los biestables del autómata deben arrancar en estado 00 (estado de espera). Para ello será necesario colocar un circuito de inicialización que asegure dicha condición de arranque. El circuito de inicialización consistirá en una resistencia y un condensador conectados de forma similar al descrito en el apartado 4.1.2.

**El 74HC273 también deberá ser inicializado para que al arrancar la alimentación ponga todas sus salidas a 0 lógico, visualizándose inicialmente un 0 en el display.** Para ello deberá colocar igualmente un circuito de inicialización en la patilla MR.

Para más información sobre circuitos de inicialización se recomienda leer la referencia [6].

#### 4.5 EL RECEPTOR (PARTE ANALÓGICA)

En esta parte se recomienda el empleo de amplificadores operacionales **TL082**, los cuales contienen dos amplificadores en cada circuito integrado.

##### 4.5.1 Recuperación de la señal recibida desde el emisor:

La señal que llega desde el emisor es una señal modulada en amplitud sobre una portadora de 38 KHz. Por tanto estará formada por ráfagas de pulsos a 38 KHz cuando se transmite un 1, e intervalos de oscuridad (no transmisión) cuando se transmiten 0 o cuando no se transmite nada.

En la Figura 12, se muestra la señal en el tiempo y el espectro en frecuencia de una trama en banda base, cuya secuencia de bits es: 1010001 (mando=010, pulsador=001). Como el reloj de bits del emisor tiene una frecuencia de 1 KHz, el tiempo de cada bit es de 1 ms.



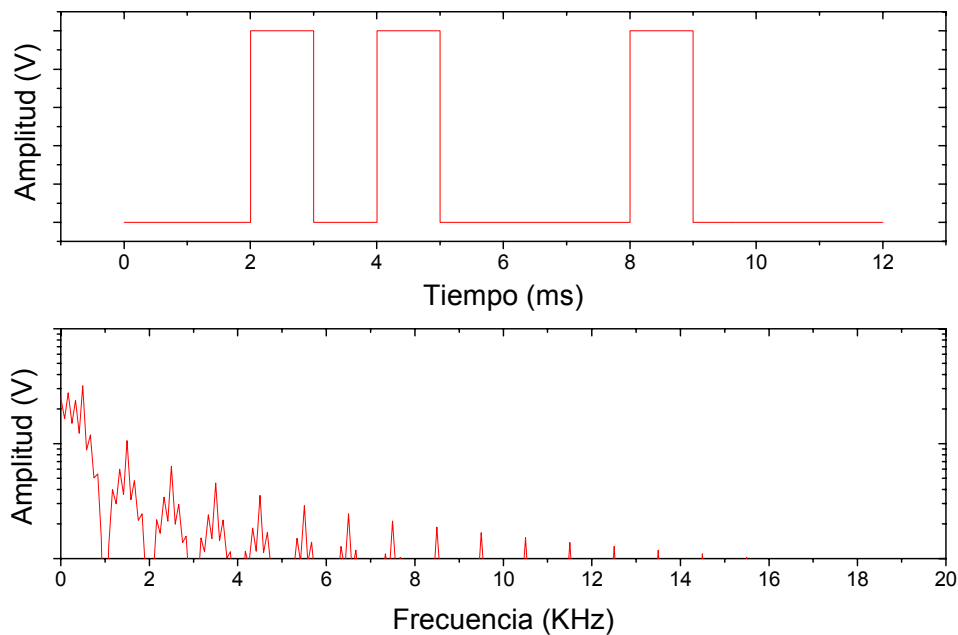


Figura 12 Diagrama en el tiempo y espectro en frecuencia de una señal formada por la trama 1010001.

Se trata por tanto de una señal paso bajo con un espectro en frecuencia que se extiende hasta los 15 KHz aproximadamente. Por encima de esta frecuencia, las componentes tienen intensidad muy baja y pueden despreciarse.

Esta señal es modulada en amplitud en el emisor sobre una portadora de 38 KHz. La señal binaria modulada y su espectro en frecuencia son mostradas en la Figura 13. Como puede verse, se mantienen las componentes paso bajo, aunque aparece también un espectro centrado alrededor de la frecuencia de la portadora por efecto de la modulación.

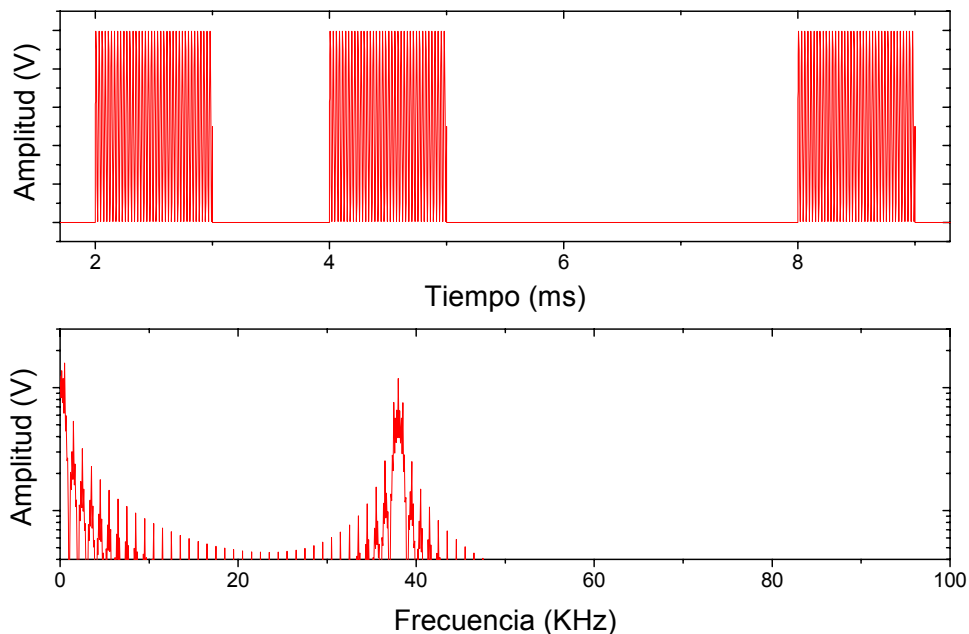


Figura 13 Diagrama en el tiempo y espectro en frecuencia de la trama modulada en amplitud sobre una portadora de 38 KHz.

La parte paso bajo de la señal no es interesante porque puede estar afectada por el ruido de baja frecuencia ambiente (influencia de la luz infrarroja solar, influencia de otras fuentes infrarrojas que puedan estar presentes). La señal modulada, cuyo espectro está centrado en 38 KHz debería ser inmune a estos ruidos y es la que nos interesa extraer.

De hecho, esta es la razón fundamental por la que se transmite la señal modulada en amplitud. Si se emiten directamente pulsos IR sin modular, correspondientes a la señal en banda base,

cualquier influencia externa de baja frecuencia como una fuente IR continua dirigida al receptor o un destello, afectarían a la transmisión. Mediante la modulación, podemos prácticamente asegurar que la señal que nos llega modulada sobre una portadora de 38 KHz proviene del mando a distancia, ya que los ruidos son señales aleatorias y la portadora es periódica.

Por tanto, para eliminar las componentes paso bajo y quedarse únicamente con la señal modulada, es necesario pasar la señal a través de un filtro paso banda centrado en 38 KHz. En la Figura 14 puede verse la señal obtenida tras dicho filtro. Se puede observar cómo la señal ha perdido todas las componentes en banda base, quedando exclusivamente un espectro centrado en 38 KHz. Con este proceso se eliminan, por tanto, todas las interferencias fuera de la banda de paso del filtro.

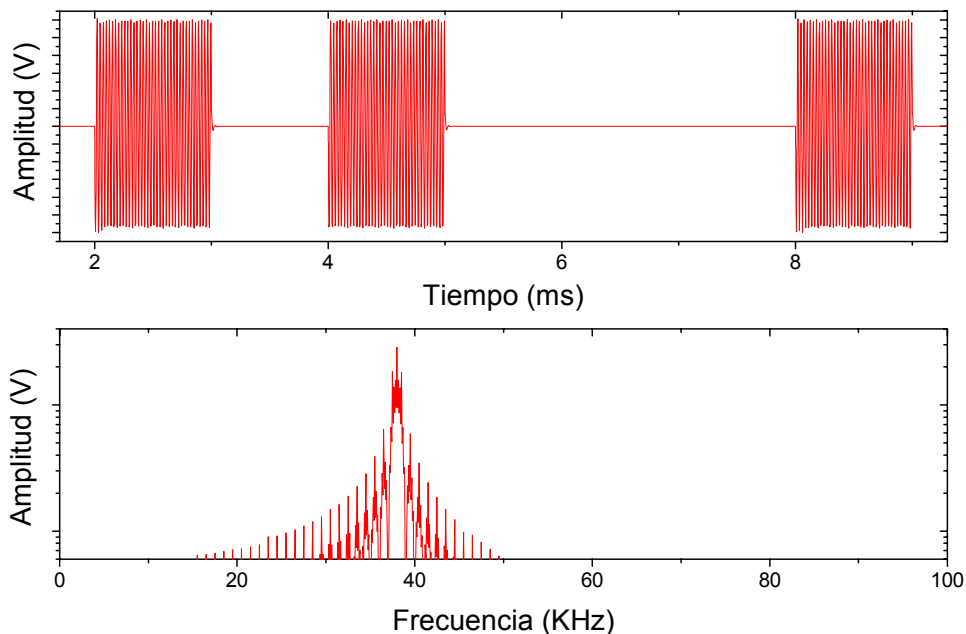


Figura 14 Señal obtenida tras su paso a través de un filtro paso banda centrado en 38 KHz.

Tras este primer paso, es necesario devolver la señal a la banda base para poder recuperar los bits. Para ello se empleará un rectificador, el cual producirá a su salida una señal como la que se muestra en la Figura 15.

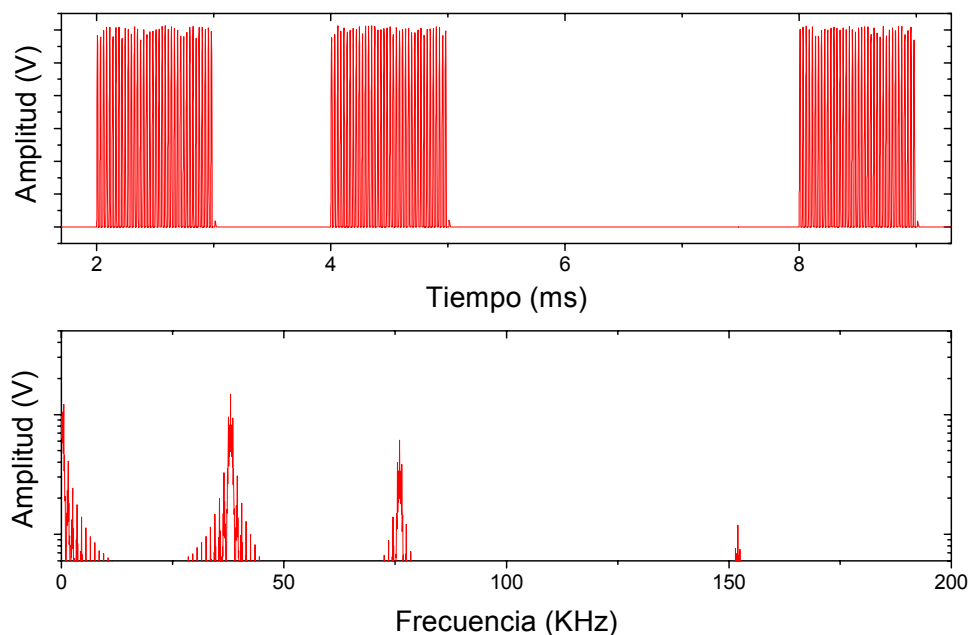


Figura 15 Señal obtenida tras el rectificador y espectro en frecuencia de la misma.

Esta señal ya posee componentes en banda de base correspondientes a los bits, además de armónicos del espectro de modulación. Para recuperar dichos bits es necesario eliminar todas las componentes de alta frecuencia, quedándose exclusivamente con la parte paso bajo del espectro. Esto se realiza mediante un filtro paso bajo que elimine las componentes por encima de 15 KHz (ancho de banda original de la señal banda base tal como se muestra en la Figura 12). Si se utiliza un filtro con dos polos, no será posible eliminar completamente todas las componentes de frecuencia superior a la de corte, por lo que la señal recuperada tendrá flancos exponenciales y un rizado adicional. Tomando un filtro de orden 2 se obtienen las señales que se muestran a continuación en la Figura 16.

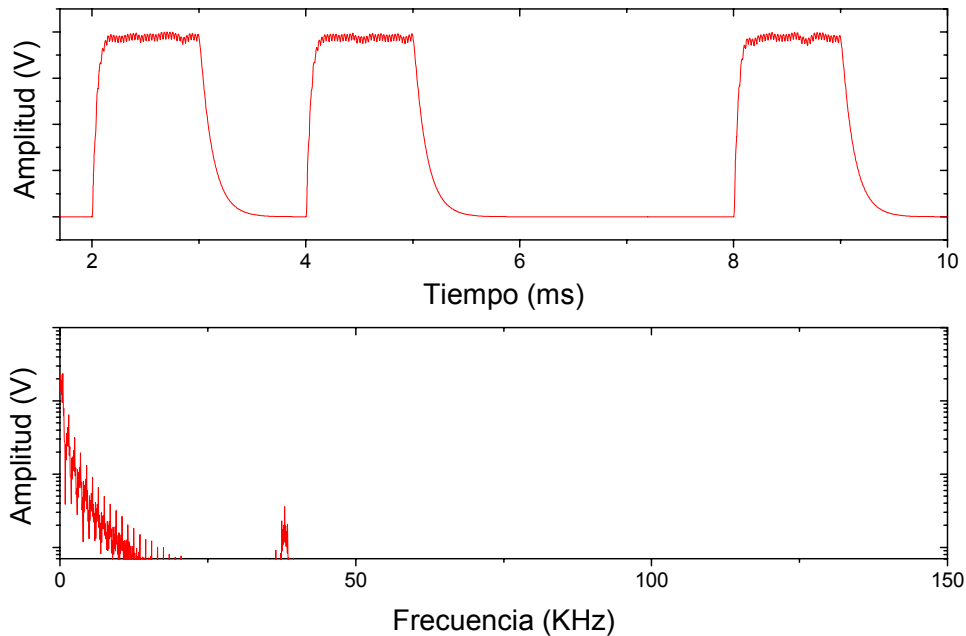


Figura 16. Señal de bits recuperada tras el filtro paso bajo

#### 4.5.2 Demodulación de la señal recibida:

El procesado descrito en el apartado anterior se conoce como demodulación. En nuestro caso, tal como se ha detallado, vamos a construir un demodulador de amplitud muy sencillo basado en un filtro paso banda, un rectificador, un filtro paso bajo, y un comparador (vea la Figura 17).

Inicialmente, será necesario incluir un convertor I/V para convertir la señal de corriente entregada por el fotodiodo en una señal de tensión. También se incluye un amplificador tras el filtro paso banda. El comparador final permitirá convertir la señal con flancos exponenciales en una señal digital limpia, con lo que se termina el proceso de recuperación.

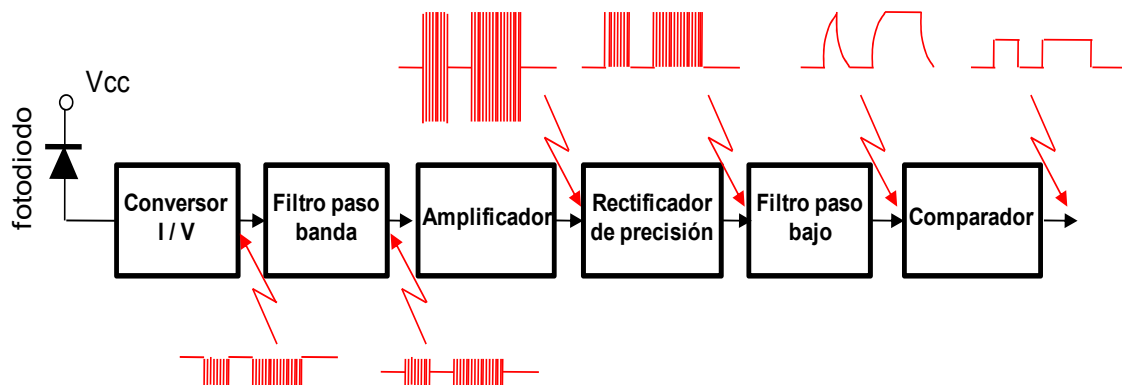


Figura 17 Esquema del demodulador completo. Se muestran también las formas de onda que deberían medirse a la salida de los diferentes módulos

#### 4.5.3 Conversor I/V:

El fotodiodo que se empleará en esta práctica (SFH 225 FA) entrega una señal en corriente que es función de la señal luminosa que le llega. Para obtener una sensibilidad adecuada, deberá ser polarizado en inversa con una tensión de 5 V. La primera etapa del demodulador será por tanto un amplificador de transimpedancia o conversor corriente-tensión que convertirá la corriente entregada por el fotodiodo en una señal de tensión que será procesada por las etapas posteriores.

En la Figura 18 se muestra el esquema de dicho conversor. La ganancia está fijada por la resistencia R. El cortocircuito virtual existente entre las entradas + y - del operacional asegura que la tensión en el fotodiodo sea de 5 V en inversa. **Tenga mucho cuidado en conectarlo debidamente porque puede dañarse si lo conecta con la polaridad invertida.**

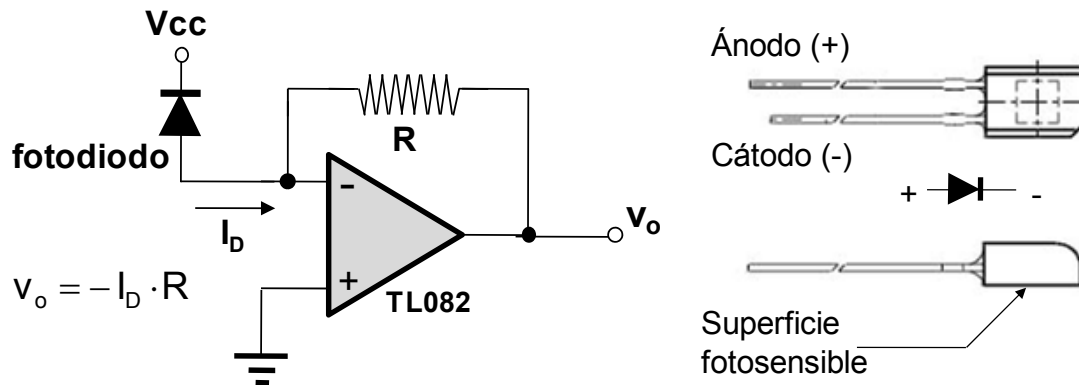


Figura 18 Conversor corriente-tensión y detalles del fotodiodo empleado (SFH 225 FA).

La resistencia R deberá ser suficiente para asegurar un nivel de tensión de 100 mV de amplitud en  $V_o$  cuando el emisor se encuentre a una distancia de 60 cm. Haga pruebas con varias resistencias teniendo en cuenta que será necesario emplear resistencias mayores de 100 KΩ.

#### 4.5.4 Filtro paso banda:

El filtro paso banda se realizará con un esquema de realimentación múltiple como el que se muestra a continuación en la Figura 19.

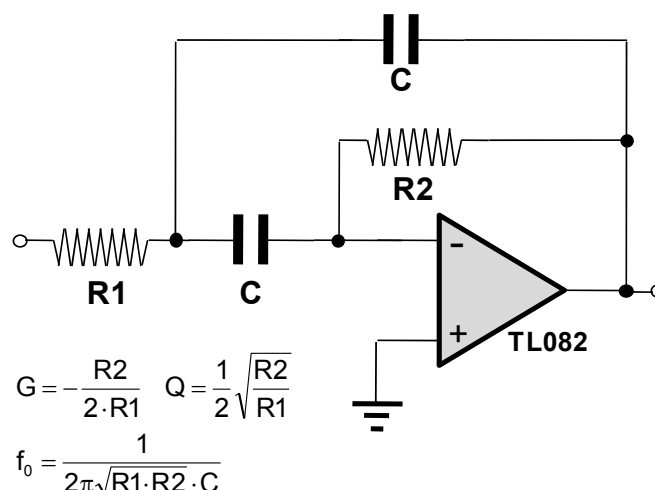


Figura 19 Esquema de un filtro paso banda de realimentación múltiple.

Deberá diseñarse para que **la frecuencia central  $f_0$  sea la correspondiente a la portadora.** G es el valor de ganancia en el centro de la banda de paso. El valor de Q indica la selectividad del filtro, de tal modo que el ancho de banda a 3 dB (B) cumple la expresión:  $B = f_0/Q$ . No

obstante, los valores de G y de Q están relacionados entre sí, como puede verse en las expresiones. Deberá por tanto hallar un compromiso entre ganancia y selectividad. Se aconseja emplear valores de Q entre 1,5 y 2.

Este filtro **deberá ser convenientemente caracterizado en la memoria** tal y como se describe en el apartado 4.5.10

#### 4.5.5 Amplificador:

El amplificador permite aumentar el nivel de tensión de la señal que se obtiene tras el filtro paso banda. Deberá realizarse empleando un esquema de amplificador no inversor como el que se muestra en la Figura 20.

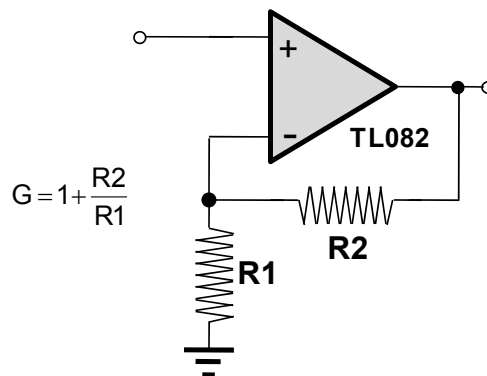


Figura 20 Amplificador no inversor

La condición de diseño será que **el nivel de tensión a la salida de dicho amplificador sea de 3 Vp (6 Vpp) cuando el emisor se encuentra separado del receptor una distancia de 60 cm.** Es importante que calcule bien los valores de las resistencias y no ponga ganancias muy elevadas que saturen el amplificador.

#### 4.5.6 Rectificador de precisión:

El elemento necesario para recuperar la señal es un rectificador. En otras condiciones sería suficiente colocar un diodo en serie con la señal recibida para quedarnos con los semiciclos positivos de la señal. El problema de este esquema es que para que el diodo conduzca es necesario que dicha señal supere los 0,6 V (tensión de conducción del diodo), cosa que no siempre ocurrirá (para distancias entre emisor y receptor grandes, la señal de entrada al rectificador puede caer por debajo de este umbral).

Por tanto es necesario recurrir a un rectificador de precisión, circuito construido a partir de un amplificador operacional que es capaz de rectificar una señal desde 0V. El esquema de dicho rectificador se muestra en la Figura 21. Para entender su funcionamiento y poder diseñarlo adecuadamente se recomienda consultar las referencias [4] o [5].

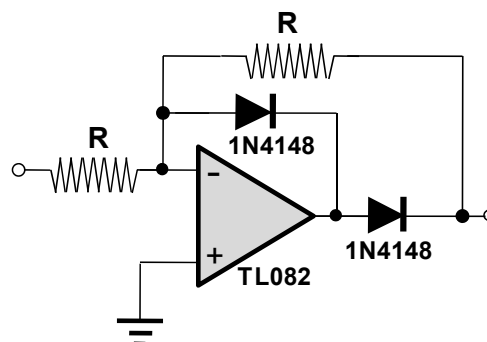


Figura 21 Esquema de un rectificador de precisión de media onda.

#### 4.5.7 Filtro paso bajo:

El filtro paso bajo se construirá según un esquema Sallen-Key. Dicho esquema, conforma un filtro paso bajo de orden 2 cuya ganancia, selectividad y frecuencia de corte pueden ser diseñadas en función de los componentes del mismo. La Figura 22 muestra el diagrama eléctrico, así como las principales ecuaciones de diseño para este filtro.

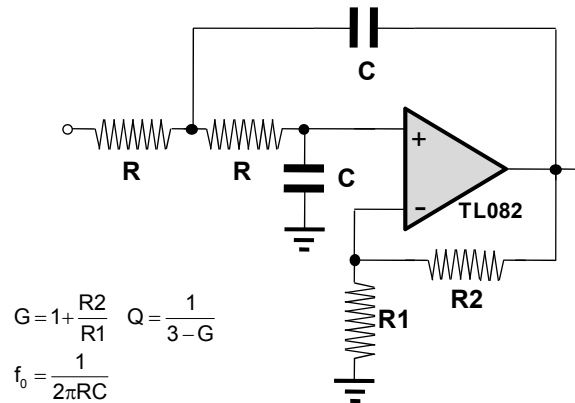


Figura 22 Filtro paso bajo de Sallen Key.

Para su diseño deberá tener en cuenta que la frecuencia de corte (frecuencia donde la ganancia del filtro cae 3 dB) coincide con el valor  $f_0$  solamente en el caso de que  $Q = 1/\sqrt{2}$ . La secuencia de diseño deberá ser entonces la siguiente (como recomendaciones generales, se aconseja utilizar resistencias entre las décadas de 100  $\Omega$  y 100 K $\Omega$ ):

1. Calcule la ganancia que hace que el filtro tenga  $Q = 1/\sqrt{2}$
2. A continuación elija unos valores para R1 y R2 que permitan conseguir dicha ganancia.
3. Por último, escoja valores para R y C que sitúen la  $f_0$  en el valor de frecuencia de corte que necesite.

Al igual que en el caso del filtro paso banda, este filtro **deberá ser convenientemente caracterizado en la memoria** tal y como se describe en el apartado 4.5.10

Tenga en cuenta que la frecuencia de corte del filtro deberá ser diseñada adecuadamente. Valores muy altos de dicha frecuencia harán que el rizado sea muy grande, mientras que valores muy bajos harán que las caídas exponenciales sean tan largas en el tiempo que no pueda distinguirse un bit de otro. En la Figura 23 se muestran dos ejemplos extremos con frecuencias de corte muy alta y muy baja respectivamente. El valor correcto es el que permite obtener una señal como la de la Figura 16.

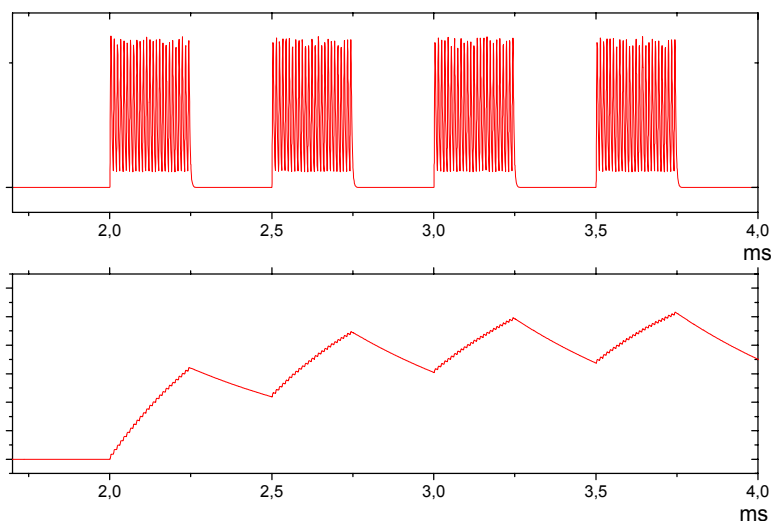


Figura 23 Señales obtenidas con frecuencias de corte incorrectas del filtro. En la gráfica superior la frecuencia es demasiado alta. En la inferior es demasiado baja.

#### 4.5.8 Comparador:

El comparador nos permite obtener una señal digital a partir de la señal obtenida tras el filtro paso bajo. Es la etapa que separa físicamente la parte analógica de la digital.

Generalmente la señal que se obtiene tras el filtro no tiene amplitud suficiente para ser utilizada en un circuito digital. Además, los flancos exponenciales no son apropiados para la aplicación que se propone en esta práctica. Es necesario convertir estos bits en una señal digital cuadrada.

Para ello vamos a utilizar un comparador del tipo LM311 (vea Figura 24). Este circuito actúa como un operacional en bucle abierto. Es decir, cuando la tensión en  $V+$  supera a la tensión en  $V-$  entrega  $+V_{cc}$  a la salida. Cuando sucede lo contrario entrega  $0V$ . **Es imprescindible colocar una resistencia de pull up de 4,7K entre  $V_{cc}$  y la salida del LM311 para que funcione correctamente.**

Se seleccionará una tensión umbral como la que se ve dibujada en el centro de la gráfica de la Figura 24. El comparador convertirá entonces la señal con flancos exponenciales en una señal digital idéntica a la original transmitida por el emisor (cuadrada en la figura). La tensión umbral **debe obtenerla con un potenciómetro** conectado entre  $V_{cc}$  y masa.

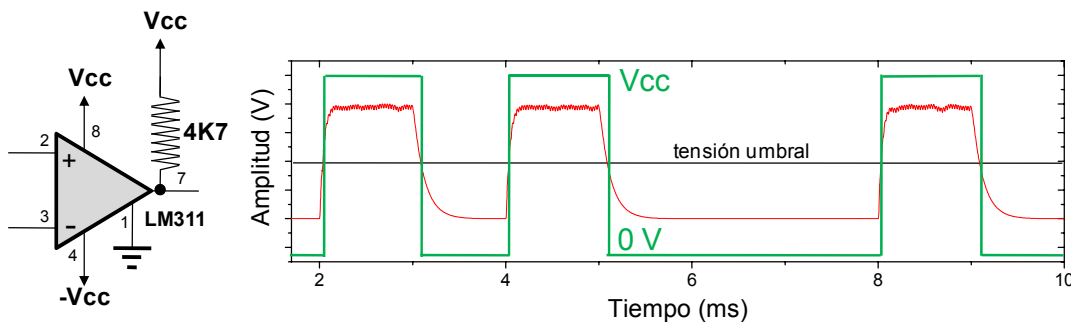


Figura 24 Circuito comparador LM311 y esquema del proceso de comparación.

#### 4.5.9 Ajuste final del circuito:

Para el ajuste final del circuito se **permiten únicamente dos potenciómetros: uno para controlar la frecuencia del reloj del autómata** tal como se describe en el apartado 4.4.2 **y otro para seleccionar el umbral de comparación** tal como se describe en el apartado 4.5.8.

La secuencia de ajuste deberá ser la siguiente:

1. Con el emisor transmitiendo (manteniendo apretado alguno de los pulsadores), ajuste el potenciómetro del umbral de comparación hasta que vea que la duración de los pulsos a nivel alto y a nivel bajo a la salida del comparador es la misma.
2. A continuación visualice en el osciloscopio simultáneamente la señal de datos obtenida a la salida del comparador, junto con la señal de reloj dividida por 8 obtenida a la salida de la patilla  $Q_2$  del contador 74HC193.
3. Coloque el código del mando (emisor) en el valor 010 y mantenga presionado el pulsador que hace que la trama transmitida termine con el valor 1 (1 0 1 0 0 0 1). De esta forma podrá sincronizar fácilmente el reloj de captura.
4. Ajuste entonces el potenciómetro de control de la frecuencia del autómata, hasta que vea que los flancos positivos de captura se sitúan en la parte estable de todos los bits. Especialmente compruebe que el último se captura con precisión.

La Figura 25 muestra la forma en que debe ajustar el reloj del autómata para una correcta recepción de los bits.

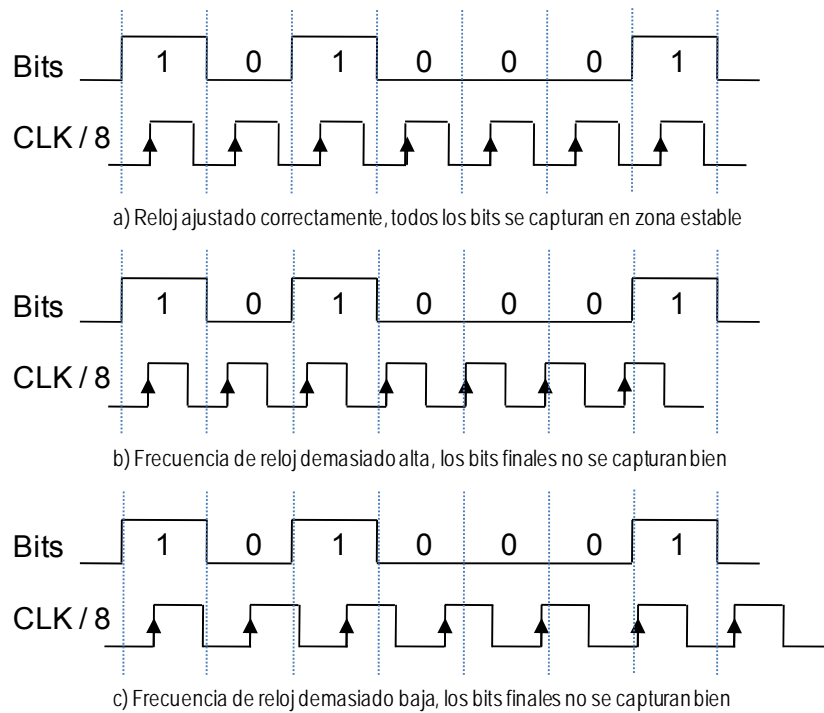


Figura 25 Ajuste del reloj del autómata para una correcta recepción de los bits.

#### 4.5.10 Medidas que deben realizarse sobre el circuito:

En el receptor, **deberá llevarse a cabo la caracterización detallada de los filtros paso banda y paso bajo, la cual deberá figurar en la memoria final.** Para realizar esta caracterización se necesitan dos sondas de osciloscopio además del cable coaxial terminado en pinzas que se suministra con el equipamiento del puesto. La sonda adicional deberá solicitarla a los instructores.

Cada uno de los filtros se mide de la siguiente forma:

Se mide la salida del generador de funciones en vacío (sin cargar con el filtro). Debe ajustarse para observar una senoide de 0,5 Vp de amplitud (1 Vpp).

A continuación se montará el circuito mostrado en la Figura 26, y se irá variando la frecuencia del generador de funciones (periodo T) para obtener la función de transferencia (módulo y fase) del filtro. **Los filtros deben medirse aisladamente**, es decir, deberá desconectar la entrada y salida del circuito para poder medirlos individualmente. Asegúrese de medir varios puntos por década para conseguir una curva fiable. Para dibujar la gráfica de la fase utilice valores de  $\Phi$  entre  $-180^\circ$  y  $+180^\circ$ . Es decir, si mide un desfase mayor de  $180^\circ$ , considere el valor negativo  $\Phi - 360^\circ$ .

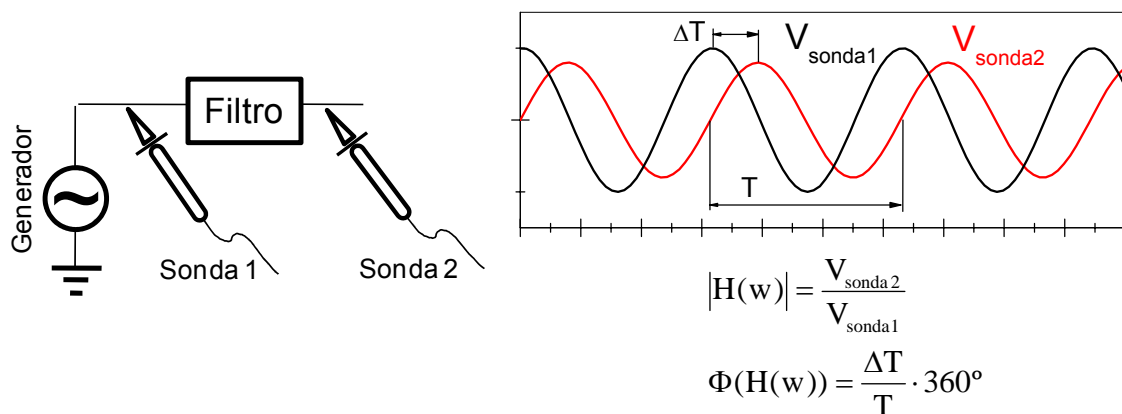


Figura 26 Esquema del circuito de medida de los filtros. Se muestra un ejemplo real de cómo calcular el módulo y la fase de la función de transferencia.



#### 4.5.11 Realización de diagramas de Bode:

En el receptor, se pide también la realización de los diagramas de Bode de módulo y fase correspondientes a los filtros paso banda y paso bajo. Se recuerda que el diagrama de Bode es un diagrama asintótico aproximado del comportamiento del filtro, que se obtiene como resultado del análisis de los polos y los ceros de las funciones de transferencia. Para más información consulte la referencia [3].

En este caso, se indican a continuación las funciones de transferencia de ambos filtros para la realización de los citados diagramas de Bode:

Filtro paso banda de realimentación múltiple correspondiente a la Figura 19:

$$H(j\omega) = \frac{-j\omega \cdot \frac{1}{R_1 C}}{-\omega^2 + j\omega \frac{2}{R_1 C} + \frac{1}{R_1 R_2 C^2}}$$

Filtro paso bajo de Sallen-Key correspondiente a la Figura 22:

$$H(j\omega) = \frac{G \frac{1}{R^2 C^2}}{-\omega^2 + j\omega \frac{3-G}{RC} + \frac{1}{R^2 C^2}}$$

#### 4.6 MONTAJE DE LA PRÁCTICA

La práctica está pensada para ser montada en dos fases. En la primera fase se montarán las etapas digitales de ambos circuitos (emisor y receptor) y se probarán de forma conjunta. Para ello deberán unirse físicamente emisor y receptor con un cable, tal y como se muestra en la Figura 27.

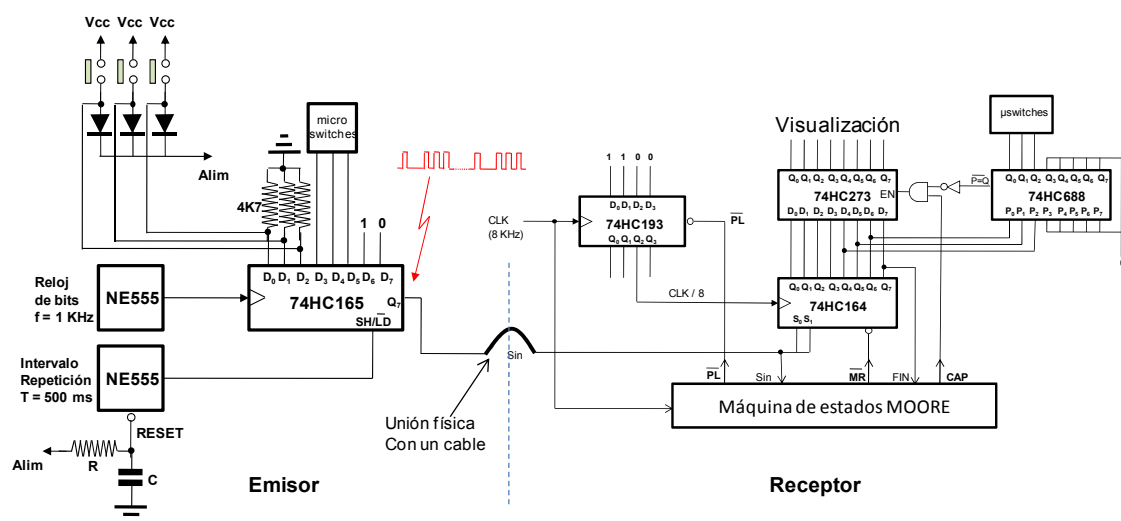


Figura 27 Etapas digitales del emisor y el receptor unidas para comprobar el funcionamiento de la parte digital antes de realizar la transmisión por IR.

Cuando se compruebe que la parte digital funciona correctamente, entonces se montarán las partes analógicas separando físicamente los circuitos y quedando unidos únicamente por el enlace infrarrojo. De esta forma podrá ir probando la práctica por partes, asegurando el funcionamiento de la captura de bits antes de enfrentarse a la transmisión.

#### 4.7 ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO

La alimentación del circuito es fundamental. **Se utilizarán 4 pilas de 1,5V en serie para alimentar al emisor. Se utilizará la fuente del laboratorio a +5 y -5 V para alimentar al receptor. Además, se utilizarán condensadores de desacoplo en ambos circuitos para reducir el ruido que pueda producirse en los circuitos de conmutación. Estos condensadores son fundamentales para el correcto funcionamiento de la práctica. Se utilizarán 3 en cada una de las alimentaciones: 100  $\mu$ F, 100 nF y 100 pF para cada uno de los intervalos de frecuencia (bajas, medias y altas respectivamente). Tenga especial cuidado con la polaridad de los condensadores electrolíticos en el caso de 100  $\mu$ F.**

Es importante también distribuir la línea de masa a lo largo de varios puntos del circuito desde la borna de la placa de inserción. Esto estabiliza la masa haciendo que desaparezcan ruidos.

Por otro lado, en el caso del receptor, es recomendable añadir dos LEDs (rojo y verde) junto con dos resistencias, conectados a cada una de las líneas de alimentación (+5 y -5) para saber que dichas líneas están funcionando correctamente y que no hay cortocircuitos. En caso de producirse alguno, el LED correspondiente a esa alimentación se apagará advirtiendo del hecho. Observe la Figura 28 para la correcta conexión de estos elementos. **Repetimos que debe prestar especial atención a la polaridad de los condensadores electrolíticos.**

Por otro lado, en la Figura 29 se reproduce la placa de inserción con una sugerencia de cómo se puede distribuir la alimentación. La justificación de la necesidad de condensadores de desacoplo, así como su función, se describen en detalle en la referencia [6].

Si utiliza colores identificativos para las alimentaciones, le será más sencillo después seguir el curso de los errores de montaje. Se sugiere negro para la masa, rojo para la alimentación positiva (+5) y azul para la negativa (-5).

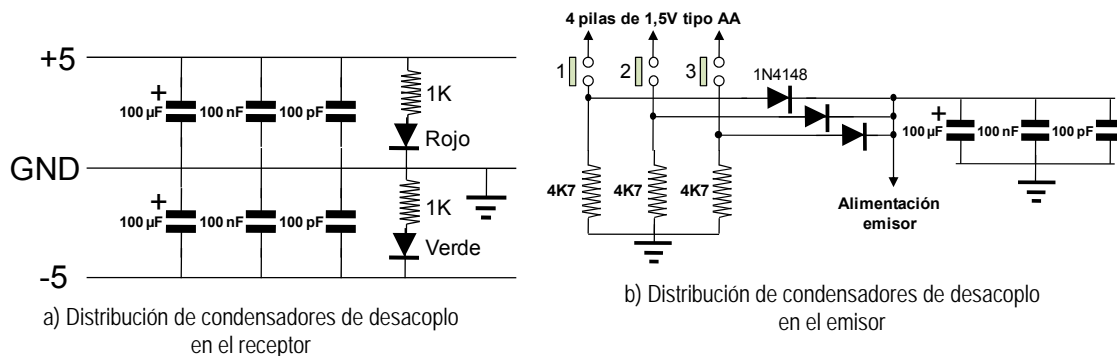


Figura 28 Condensadores de desacoplo en el receptor y en el emisor. En el caso del receptor, se muestra también la disposición de los LEDs que indican la presencia de cortocircuitos

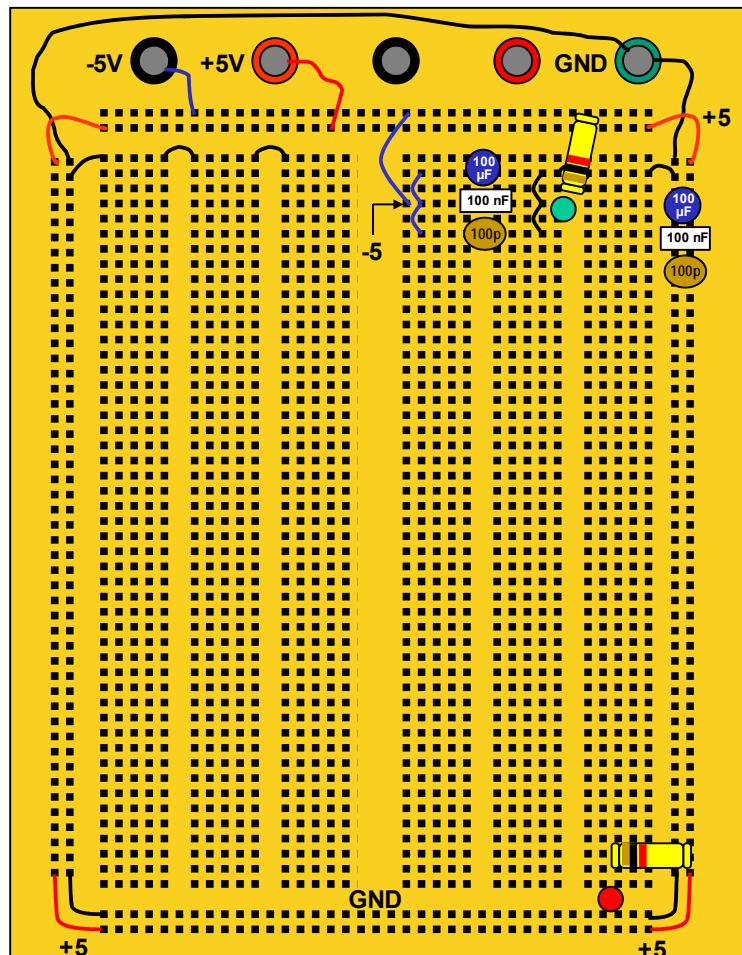


Figura 29 Sugerencia para la distribución de las alimentaciones, de las líneas de masa, de los condensadores de desacoplo y de los LEDs de indicación de la alimentación

## 5 Especificaciones del sistema

El sistema que se diseñe deberá cumplir las siguientes especificaciones:

Emisor:

1. Alimentación con 4 pilas de 1,5V en serie.
2. El emisor solamente consumirá corriente cuando se presione alguno de los pulsadores. En reposo la alimentación deberá estar aislada del sistema.
3. Se transmitirá una trama de 7 bits (1 M2 M1 M0 C2 C1 C0). Un bit de inicio siempre a 1, tres bits identificativos del mando seleccionables mediante microinterruptores y tres bits identificativos del pulsador.
4. Duración de cada bit: 1 ms. Repetición de trama cada 500 ms.
5. Frecuencia de la portadora para la transmisión IR: 38 KHz.

Receptor:

1. Alimentación simétrica con +5 y -5 V procedente de la fuente de alimentación del laboratorio.
2. Recepción síncrona mediante máquina de estados con un reloj de funcionamiento de 8 KHz.
3. El receptor deberá comparar el código correspondiente al mando recibido con otro seleccionable mediante microinterruptores en el propio receptor. Si son iguales, entonces visualizará en un display de 7 segmentos el código correspondiente al pulsador.
4. Se utilizará exclusivamente lógica CMOS tipo 74HCXXXX

Además:

1. El nivel de tensión a la salida del amplificador del apartado 4.5.5 debe ser de 3 Vp (6 Vpp) cuando el emisor se encuentra separado del receptor una distancia de 60 cm.
2. Será suficiente con entregar la práctica montada sobre placa de inserción. No obstante recuerde que el emisor y el receptor deberán estar físicamente separados en placas distintas.

## 6 Memoria final

La memoria que se entregue al final deberá ajustarse al formato que se suministre en la página web de la asignatura, y deberá contener **obligatoriamente** como mínimo las siguientes medidas y datos:

1. Una portada indicando: nombre de la asignatura, título de la Práctica, nombre completo de los autores y código correspondiente (día de la semana, número de turno y puesto).
2. Diseño **detallado y razonado** de cada una de las etapas que integran el diseño, explicando las razones de la elección de los valores de los componentes utilizados.
3. Respecto al emisor:
  - Medida de la tensión de alimentación que se obtiene tras los diodos en el circuito de activación de la alimentación
  - Corriente que circula por el LED calculada a partir de las medidas sobre la resistencia de 1 K $\Omega$  en la base del transistor.
  - Captura de pantalla de la señal correspondiente a un periodo del reloj de intervalo de repetición (500 ms).
  - Captura de pantalla de la señal correspondiente a un periodo del reloj de bits (1 ms).
  - Captura de pantalla de la señal correspondiente a una trama completa (7 bits).
  - Captura de pantalla de la señal correspondiente a una trama completa tras la modulación de amplitud (salida del oscilador de portadora) (7 bits).
4. Respecto al receptor:
  - Captura de pantalla de las señales correspondientes a una trama completa (7 bits) junto con la señal de captura (CLK/8) visualizadas simultáneamente.
  - Función de transferencia medida del filtro paso banda en módulo y fase.
  - Función de transferencia medida del filtro paso bajo en módulo y fase.
  - Diagramas asintóticos de Bode (módulo y fase) del filtro paso banda y del filtro paso bajo.
5. Esquema eléctrico completo de ambos circuitos (emisor y receptor), independientemente de que se hayan ido explicando por etapas.

**Las versiones en formato electrónico de los documentos generados (memoria, simulaciones, etc.) deberán entregarse a través del portal de la asignatura.**

**Documente sus diseños, cálculos, justificaciones, esquemas, medidas, observaciones, dificultades, etc., a medida que los realiza, semana por semana, módulo a módulo. De este modo le será sencillo componer finalmente la memoria.**

## 7 Posibles mejoras

En los apartados precedentes se ha hecho una descripción bastante detallada de los subsistemas a diseñar, así como de alguno de los esquemas circuitales utilizables. Salvo que se haya indicado lo contrario, lo descrito corresponde a las especificaciones mínimas que deberá cumplir el diseño realizado (la Práctica Básica), y constituirá el requisito mínimo para aprobar la asignatura.

Por otro lado, la puntuación máxima alcanzable con la Práctica Básica es de 8 puntos, partiendo de la base de que el funcionamiento es correcto y de que se han comprendido los fundamentos teórico-prácticos de todo ello, lo que será verificado a través de la memoria y el examen oral a realizar.

Para incrementar la calificación puede abordarse alguna realización opcional, como las que se plantean a continuación o cualquier otra que se le ocurra (consulte con un profesor). En todo caso, no se trata de multiplicar innecesariamente el número de circuitos integrados en su prototipo, ni de replicar módulos idénticos.

Recomendamos encarecidamente a los alumnos que antes de abordar cualquier mejora hagan un estudio pormenorizado de las implicaciones de la misma. Tómense el tiempo necesario en la fase de diseño y no ataquen el montaje de forma impulsiva. Una mejora en apariencia sencilla puede volverse sumamente engorrosa, bien debido al número de pastillas a interconectar o por incluir detalles y complicaciones no suficientemente previstos.

Dicho esto, se proponen a continuación algunas mejoras que se pueden realizar:

### 7.1 Utilización de más de 3 pulsadores en el emisor (dificultad baja)

La ventaja de utilizar solamente 3 pulsadores es que cada uno de ellos puede ser codificado con 1 bit. Si se utilizan más pulsadores es necesario utilizar un codificador de prioridad para poder extraer un código binario diferente de cada uno de los pulsadores.

Se propone como mejora la utilización de más de 3 pulsadores añadiendo un codificador de prioridad que proporcione un código de 3 bits diferente para cada pulsador presionado. De esta manera, en el display del receptor deberá aparecer el código binario correspondiente al pulsador.

En este caso debe mantenerse la especificación referente al consumo de energía. Es decir, los pulsadores adicionales deben ser conectados con diodos de la misma manera que los de la práctica básica, de tal manera que suministren alimentación exclusivamente cuando son pulsados. El circuito por tanto solamente deberá consumir corriente cuando se presione alguno de los pulsadores.

El número máximo de pulsadores que pueden colocarse son 8, ya que el código binario transmitido tiene 3 bits.

### 7.2 Implementación de un indicador de trama recibida (dificultad baja)

Se trata de construir un circuito en el receptor que indique que se ha recibido una trama. Para ello debe encenderse un LED durante 200 ms cada vez que una trama nueva es recibida.

Esto se llevará a cabo mediante un monoestable que genere un pulso de 200 ms que será conectado a un LED. La señal de disparo del monoestable deberá ser la propia trama entrante (señal Sin). Cuando se recibe un flanco positivo en dicha señal es porque está llegando una trama nueva. Por tanto, si se emplea este flanco para disparar el monoestable, se obtendrá un pulso por cada trama.

El integrado 74HC123 es un monoestable que puede ser empleado para realizar esta mejora.

### **7.3 Implementación de un indicador de trama recibida no identificada (dificultad media).**

En este caso se propone la realización de un circuito en el receptor que sea capaz de identificar la llegada de una trama cuyo código de mando no coincide con el programado en los microinterruptores. Esto se hará encendiendo un LED que deberá quedar encendido hasta la recepción de una nueva trama.

Para ello se empleará un flip-flop a cuya salida se conectará el LED. Dicho flip-flop deberá ponerse a 0 cada vez que llega una nueva trama. Para poner su salida a 1 y hacer que de esta manera se encienda el LED, será necesario emplear de algún modo la salida del comparador 74HC688.

Se recomienda utilizar un flip-flop tipo D (74HC74). Empleando la entrada asíncrona RD#, puede poner a 0 la salida en cualquier momento. La entrada D y la entrada de reloj (CP) pueden ser empleadas para conmutar el flip-flop a 1 cuando sea necesario.

### **7.4 Empleo de un teclado para la selección del código en el receptor (dificultad media).**

El código correspondiente al mando seleccionado en el receptor, el cual es comparado con el que llega desde el emisor, se selecciona por medio de microinterruptores. Es posible utilizar dos pulsadores que permitan seleccionar dicho código mediante pulsaciones consecutivas. Uno de ellos permitirá incrementar la cifra, mientras que el otro permitira decrementarla. Para visualizar el valor que se está seleccionando se deberá emplear 1 display de 7 segmentos.

En este caso, se recomienda utilizar contadores UP/DOWN (74HC193) con posibilidad de contar en ambos sentidos.

Deberán asimismo emplearse circuitos antirrebotes en los pulsadores (consultar referencia [6])

### **7.5 Uso de esquemas circuitales alternativos a los propuestos**

Se valorará positivamente la inclusión de circuitos distintos a los propuestos, siempre que:

- Impliquen una mayor dificultad o una novedad interesante
- No se limiten a duplicar subsistemas ya construidos

DIFICULTAD: en función del esquema alternativo, atendiendo tanto a la complejidad conceptual como de implementación.

### **7.6 Implementación en circuitos programables (dificultad alta)**

La Práctica Básica asume el montaje de los circuitos haciendo uso de integrados MSI (Medium Scale Integration), de modo que se valorará positivamente la realización del diseño utilizando otro tipo de tecnología, como cualquiera de las familias de dispositivos programables disponibles en el mercado, tanto analógicos como digitales (CPLDs, FPGAs, etc.), con el objetivo de minimizar el tamaño del circuito final y adquirir conocimientos en el empleo de nuevas tecnologías.

Para ello, los alumnos interesados deberán contar con herramientas software adecuadas (muchas de ellas disponibles de forma gratuita y accesibles a través de Internet), así como consultar con el coordinador de la asignatura la disponibilidad del programador correspondiente para el integrado a utilizar, caso de ser necesario.

No se considera aquí ningún tipo de microprocesador o microcontrolador, que serán materia de una asignatura posterior.

### **7.7 Simulación con PSPICE (1 PUNTO) (dificultad alta)**

En este curso se propone una mejora puntuada consistente en la realización mediante el programa PSPICE de diversas simulaciones del montaje, de forma similar a como se llevaría a cabo durante un diseño realista en un entorno profesional.

Para obtener la puntuación indicada será necesario incluir lo siguiente:

- Simulaciones temporales (análisis transitorio) del circuito, que incluya los siguientes elementos: filtro paso banda, amplificador de precisión y filtro paso bajo (Apartados 4.5.4, 4.5.5, 4.5.6 y 4.5.7) utilizando como excitación a la entrada de la cadena una portadora de 38 KHz modulada en amplitud por la señal de 4 bits 1010.
- Simulaciones en AC (barrido en frecuencia) del filtro paso banda y del filtro paso bajo por separado. Se piden las gráficas de respuesta en amplitud (dB) y fase (°).

En la memoria será necesario incluir los diagramas esquemáticos utilizados, así como las gráficas de las simulaciones obtenidas, discutiendo la adecuación de dichos resultados a las previsiones teóricas y a las medidas experimentales.

Los ordenadores del Laboratorio disponen del software necesario para realizar las simulaciones descritas anteriormente.

### **7.8 Montaje en PCB (1,5 PUNTOS) (dificultad muy alta)**

En la Práctica Básica se exige el montaje, como requisito mínimo, en placa de inserción, de modo que se valorará positivamente la construcción de los prototipos en placa de circuito impreso. En este caso, considere la utilización de zócalos para facilitar el cambio de integrados.

Para que esta mejora se considere válida bastará con presentar dos circuitos PCB distintos: el emisor y el receptor. Será imprescindible presentar igualmente el prototipo previo (placa de inserción), como también los documentos generados durante el empleo de las herramientas software necesarias para el diseño.

### **7.9 Lectura de un mando a distancia comercial (dificultad muy alta)**

En lugar de construir el emisor que se especifica en este enunciado, se puede utilizar un mando a distancia comercial. En este caso será necesario leer previamente la información que transmite dicho mando utilizando el demodulador y el osciloscopio, y adecuar posteriormente el receptor para la captura del código transmitido. Dada la enorme variedad de códigos empleados en los mandos comerciales, la dificultad de esta práctica puede resultar inabordable en algunos casos. Consulte al coordinador si tiene interés en esta mejora.



## 8 Desarrollo recomendado

Este apartado constituye una guía para la realización de la Práctica, si bien la planificación real puede diferir puesto que es difícil tener en cuenta todos los contratiempos posibles. Sirva de ayuda para que cada grupo pueda organizar el tiempo de acuerdo a su situación particular.

Desde el comienzo, realice todas las tareas sobre el prototipo con el máximo cuidado. Por ejemplo, montaje de la alimentación, emplazamiento de los componentes, pelado y conexión de los cables, etc. Aunque al principio parezca que todo es manejable, a medida que el montaje crece perderá el control sobre el mismo si empiezan a aparecer incertidumbres en la fiabilidad de las conexiones, falta de espacio para nuevos circuitos, amontonamiento de componentes que dificultan el empleo de las sondas del osciloscopio, etc.

Tenga en cuenta que el laboratorio debería servirle para medir y buscar y solucionar problemas, no para montar circuitos. Se recomienda realizar el montaje de circuitos fuera de las horas de laboratorio.

Como ya se ha dicho anteriormente (Apartado 4.6), la práctica está pensada para que pueda montarse en dos fases, probando primeramente la parte digital en ambos circuitos y después la analógica.

Se recomienda entonces, seguir la siguiente distribución del trabajo en semanas:

### 8.1 Semana 1 – EMISOR (PARTE DIGITAL)

- Familiarización con los instrumentos del laboratorio
- Instalación de los 3 pulsadores con sus diodos y resistencias.
- Instalación de los condensadores de desacoplo.
- Reloj de repetición de trama de 500 ms de periodo y circuito de inicialización,

OBJETIVO: Comprobar el funcionamiento del reloj de repetición de trama. Debe generar la señal cada vez que se presiona cualquiera de los pulsadores.

### 8.2 Semana 2 – EMISOR (PARTE DIGITAL)

- Reloj de bits.
- Registro de desplazamiento 74HC165
- Instalación de los microinterruptores.

OBJETIVO: Verificar que cada vez que se presiona un pulsador se genera la trama correcta a la salida del registro de desplazamiento y se repite con la cadencia adecuada.

HITO: La parte digital del emisor debería estar terminada en esta etapa.

### 8.3 Semana 3 – RECEPTOR (PARTE DIGITAL)

- Colocación de los condensadores de desacoplo y LEDs de la alimentación
- Reloj del autómata (8KHz).
- Divisor de frecuencia 74HC193
- Registro de desplazamiento 74HC164
- Registro 74HC273
- Microinterruptores, comparador 74HC688

OBJETIVO 1 : verificar que se genera correctamente la señal del reloj del autómata.

OBJETIVO 2 : verificar que a la salida del divisor de frecuencia se obtiene una señal de frecuencia 8 veces inferior cuando la entrada PL se mantiene a 1 intencionadamente.

#### **8.4 Semanas 4 y 5 – RECEPTOR (PARTE DIGITAL)**

- Máquina de estados, incluyendo flip-flops (74HC74) y lógica de control.
- Lógica para enmascarar la señal CAP con la salida del comparador
- Unión física entre el emisor y el receptor por medio de un cable (Figura 27).
- Depuración y prueba de la máquina de estados

OBJETIVO 1: Verificar que a la salida de los 74HC74 se obtiene la secuencia correcta de estados (Figura 10).

OBJETIVO 2: Verificar que en las salidas MR, PL y CAP se obtienen las señales correctas (Figura 10), ajuste de la frecuencia del reloj del autómata.

#### **8.5 Semana 6 – RECEPTOR (PARTE DIGITAL) y EMISOR (PARTE ANALÓGICA)**

- Finalización y ajuste del autómata.
- Visualización: 74HC4511 y display.

OBJETIVO: asegurarse que el código visualizado en el display se corresponde con el código binario transmitido.

HITO 1 : Las partes digitales del emisor y del receptor deben funcionar adecuadamente unidas por un cable.

- Oscilador de portadora de 38 KHz y modulador.
- Etapa de potencia (transistor y LED IR)

OBJETIVO 1: comprobar que a la salida del modulador se obtiene la señal ASK (Figura 7).

OBJETIVO 2: Medir la corriente que circula por el LED. (apartado 4.2.1).

HITO 2 : El emisor completo debería estar terminado en esta etapa.

#### **8.6 Semana 7 – RECEPTOR (PARTE ANALÓGICA)**

- Conversor I/V.
- Filtro paso banda.
- Amplificador

OBJETIVO 1 : Comprobar el nivel de señal a la salida del conversor I/V para que cumpla las especificaciones (apartado 4.5.3).

OBJETIVO 2: Medir el filtro paso banda (apartado 4.5.10).

OBJETIVO 3: Comprobar que el nivel de señal a la salida del amplificador cumple las especificaciones (apartado 4.5.5).

#### **8.7 Semana 8 – RECEPTOR (PARTE ANALÓGICA)**

- Rectificador de precisión
- Filtro paso bajo
- Comparador y umbral de comparación.

OBJETIVO 1: Medir el filtro paso bajo.

OBJETIVO 2: Verificar que a la salida del comparador se obtiene la señal digital recuperada.

OBJETIVO 3 : Ajuste final del circuito mediante los dos potenciómetros (apartado 4.5.9)

HITO – La práctica básica debería estar terminada en esta etapa

### **8.8 Semana 9 – RECEPTOR Y EMISOR**

- Realización de posibles mejoras
- Capturas de pantalla para la memoria

OBJETIVO: Finalización de la práctica básica, las medidas y las mejoras.

### **8.9 Semana 10**

OBJETIVO: Preparación del examen.

### **8.10 Semana 11**

Sesión extra que puede ser utilizada en caso de ser necesario.

## Anexo I Empleo de microinterruptores

Los microinterruptores que se emplearán en esta práctica, permiten seleccionar los valores de los bits correspondientes al mando que se transmiten desde el emisor y los valores de los bits con que son posteriormente comparados en el receptor.

Dado que el dibujo que aparece en las figuras puede dar lugar a confusión, a continuación se detalla la forma correcta de utilizar microinterruptores para la selección de valores binarios 1 y 0. (Ver Figura 30)

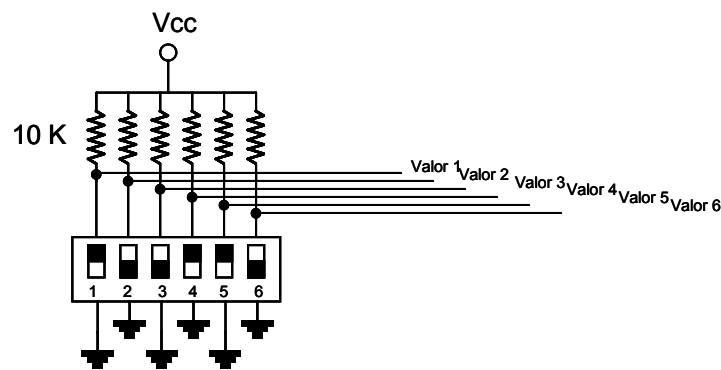


Figura 30 Forma correcta de emplear microinterruptores para obtener valores binarios 0 y 1.

## Anexo II El circuito integrado NE555

El circuito integrado NE555 es un temporizador muy versátil que puede ser empleado en multitud de aplicaciones. Su esquema interno se muestra a continuación en la Figura 31.

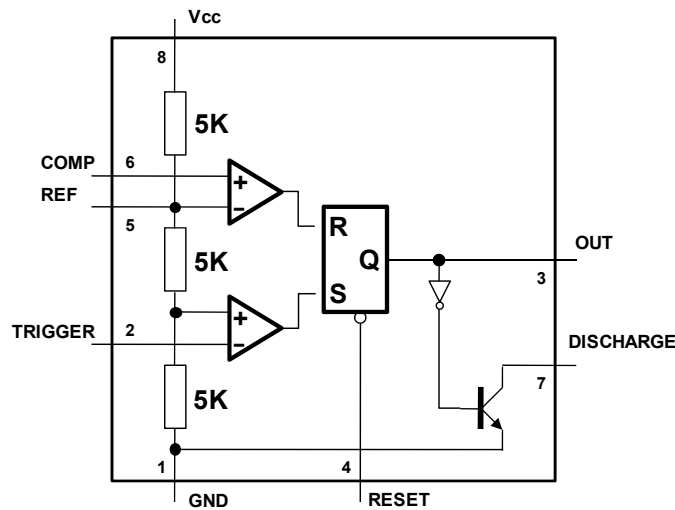


Figura 31 Esquema interno del temporizador NE555

El circuito está formado por dos comparadores de tensión. Uno de ellos compara la tensión en la patilla 2 con el valor de tensión  $1/3 \cdot V_{cc}$  (en virtud del divisor de tensión formado por las 3 resistencias de 5K y siempre que la patilla 5 se deje sin conectar). El otro compara la tensión en la patilla 6 con el valor de tensión  $2/3 \cdot V_{cc}$  (en las mismas condiciones anteriores). Las salidas de dichos comparadores se conectan a las entradas R y S de una báscula RS que conmuta el nivel de tensión de salida (patilla 3) entre 0 y  $V_{cc}$ . Adicionalmente, existe un transistor que proporciona un camino de baja impedancia a masa en la patilla 7 cuando la salida 3 está a nivel bajo. Por último, la patilla 4 (RESET) es una patilla de control: cuando se encuentra a masa, la salida 3 está a nivel bajo incondicionalmente. Cuando se encuentra a nivel alto, la báscula RS funciona adecuadamente.

Existen multitud de aplicaciones de este integrado, pero una de las más empleadas es la de multivibrador astable, para la generación de señales de reloj de periodo conocido y ciclo de trabajo controlable. Para ello se suele emplear el siguiente montaje (Figura 32):

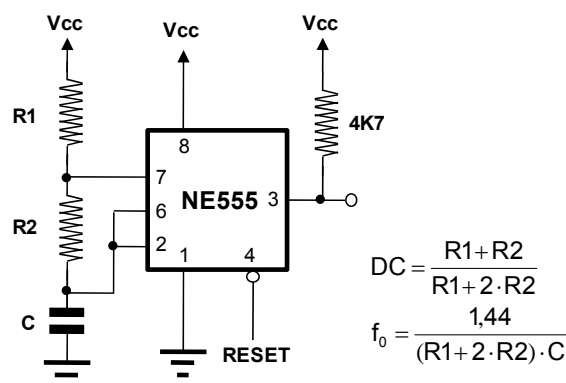


Figura 32 Esquema del NE555 conectado como multivibrador astable

Con esta configuración, al conectar la alimentación el condensador C se encuentra inicialmente descargado, por lo que la tensión en las patillas 2 y 6 del NE555 es 0. El comparador interno con  $1/3 \cdot V_{cc}$  coloca la báscula RS en posición S generando un 1 a su salida, por lo que el transistor de descarga se encontrará en estado de corte. En este momento el condensador comienza a cargarse exponencialmente a través de las resistencias R1 y R2. Cuando la tensión en las patillas 2 y 6 llega al valor de  $2/3 \cdot V_{cc}$ , el segundo comparador conmuta la báscula al estado 0 a través de la entrada R. El transistor interno conectado a la patilla 7 proporciona entonces un camino de baja impedancia a masa, que hace que el condensador se

descargue a través de R2, por lo que los ciclos de carga (T1) y descarga (T2) tienen necesariamente constantes de tiempo diferentes. Cuando la tensión en bornas del condensador alcanza la tensión  $1/3 \cdot V_{cc}$  comienza a repetirse un ciclo, obteniéndose de esta manera una salida rectangular entre 0 y  $V_{cc}$  en la patilla 3, y una salida con flancos exponenciales entre  $1/3 \cdot V_{cc}$  y  $2/3 \cdot V_{cc}$  en las patillas 2 y 6 (véase Figura 33).

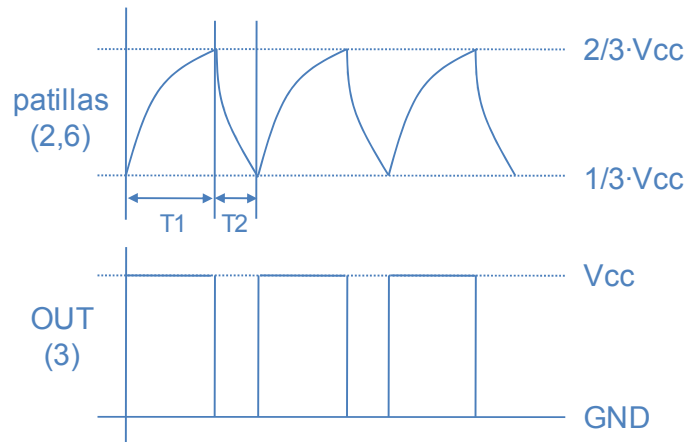


Figura 33 Niveles de tensión a la salida de algunas de las patillas del integrado NE555 configurado como multivibrador astable

Tenga en cuenta que para esta configuración se genera una señal rectangular de periodo (frecuencia) dependiente de R1, R2 y C, pero no es posible obtener un ciclo de trabajo (DC) del 50%. Las expresiones para la frecuencia de oscilación y el ciclo de trabajo se encuentran detalladas en la Figura 32.

Con respecto a la patilla 4 (RESET), debe mantenerse a 1 para que el multivibrador astable funcione correctamente. Si en cualquier momento la patilla 4 se pone a 0, la salida (patilla 3) será 0 independientemente del resto de tensiones en el integrado.

Por último es importante destacar que es necesario colocar una resistencia de pull up de  $4,7K\Omega$  entre la alimentación y la patilla 3 para conseguir que la salida alcance realmente los valores 0 y  $V_{cc}$ . Si no se coloca, el valor de tensión a nivel alto se quedará ligeramente por debajo de  $V_{cc}$ , lo cual puede interferir en el funcionamiento de algunos de los circuitos integrados CMOS.

## Bibliografía

- [1] Alan V. Oppenheim y Alan S. Willsky, Señales y Sistemas, 2ª edición, Prentice-Hall, 1998.
- [2] A. Bruce Carlson, Communication systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication, 3ª edición, McGraw-Hill, 1986.
- [3] Norbert R. Malik, Circuitos Electrónicos: Análisis, Diseño y Simulación, Prentice-Hall, 1996.
- [4] Sergio Franco, Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits, 2ª edición, McGraw-Hill, 1997.
- [5] Sergio Franco, Diseño con Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Analógicos, 3ª edición, McGraw-Hill, 2005.
- [6] Aspectos Prácticos de Diseño y Medida en Laboratorios de Electrónica, 2ª edición, Dpto. de Publicaciones de la ETSIT (UPM), 2002.