

## ***Práctica B.2: Sistema de Comunicaciones con Enlace por Infrarrojos.***

### **Material**

Fuente de alimentación.

Generador de funciones.

Tarjetas IR Emitter e IR detector.

Multímetro.

Resistencias y condensadores varios.

Para una prueba completa de funcionamiento, es aconsejable que el alumno aporte un walkman, MP3 o similar con sus cascos.

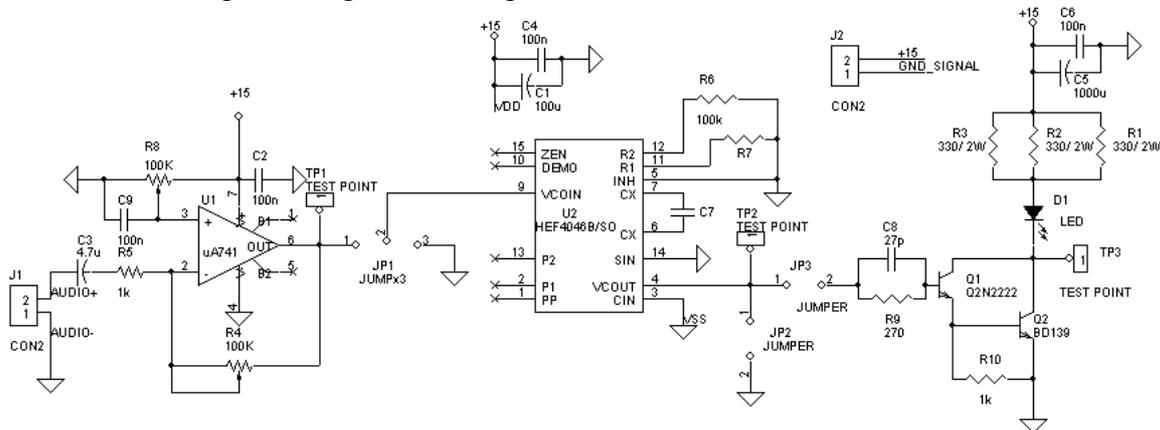
### **1. Descripción**

En esta práctica se va a implementar un sistema de comunicaciones con enlace por infrarrojos. Dicho sistema está constituido por un módulo emisor y otro receptor. En el módulo emisor se hace uso de modulación en frecuencia mediante el empleo de un oscilador VCO. La señal de audio a transmitir actúa como moduladora alrededor de la frecuencia central de oscilación del VCO. Esta señal modulada en frecuencia es emitida mediante el empleo de un IR LED.

Por otra parte, en el módulo receptor, un fotodiodo capta la señal de infrarrojos, la cual debe ser amplificada antes de poder ser demodulada mediante el empleo de un PLL y de esa forma poder extraer la señal moduladora original. Finalmente, la señal de salida es llevada a unos cascos.

#### **1.1. Módulo emisor.**

Está constituido por los siguientes bloques:



**Figura 1.-** Circuito emisor F.M. con IR LED.

**Etapa de acondicionamiento de la salida de audio al modulador F.M.:** Para amplificar la señal de audio de entrada se ha empleado un amplificador inversor con el A.O. uA741. Dado que la amplitud de la salida de audio es variable, el potenciómetro R<sub>4</sub> permite variar la ganancia del amplificador hasta un máximo de 100. Por otra parte el amplificador debe adecuar la señal de audio a la entrada del modulador. Para aprovechar la característica lineal del modulador, se ajusta el potenciómetro R<sub>8</sub> para que la tensión de salida del amplificador en ausencia de señal de audio (es decir, en continua) sea la mitad de tensión de alimentación del HEF4046. De esa forma, en tal caso el oscilador oscilará a la frecuencia central  $f_0$ .

**Modulador:** Su función es la de oscilar a una frecuencia que puede ser variada en función del valor de la amplitud de una señal moduladora, que es la salida del circuito amplificador de la

señal de audio. El C.I. HEF4046 se ha empleado como VCO. La frecuencia central del modulador se ajusta a  $f_0 = 50$  kHz mediante los componentes externos  $R_6$ ,  $R_7$  y  $C_7$ . La tensión de alimentación del integrado es de 15 V.

Si llamamos  $R_1$  a la resistencia conectada al pin 11 del HEF4046,  $R_2$  a la conectada al pin 12 y  $C_1$  al condensador entre los pines 6 y 7,  $R_1$  y  $C_1$  determinan la frecuencia máxima de oscilación ( $f_{max}$ ) y  $R_2$  y  $C_1$  la frecuencia mínima ( $f_{min}$ ), tal y como se observa en la siguiente figura:

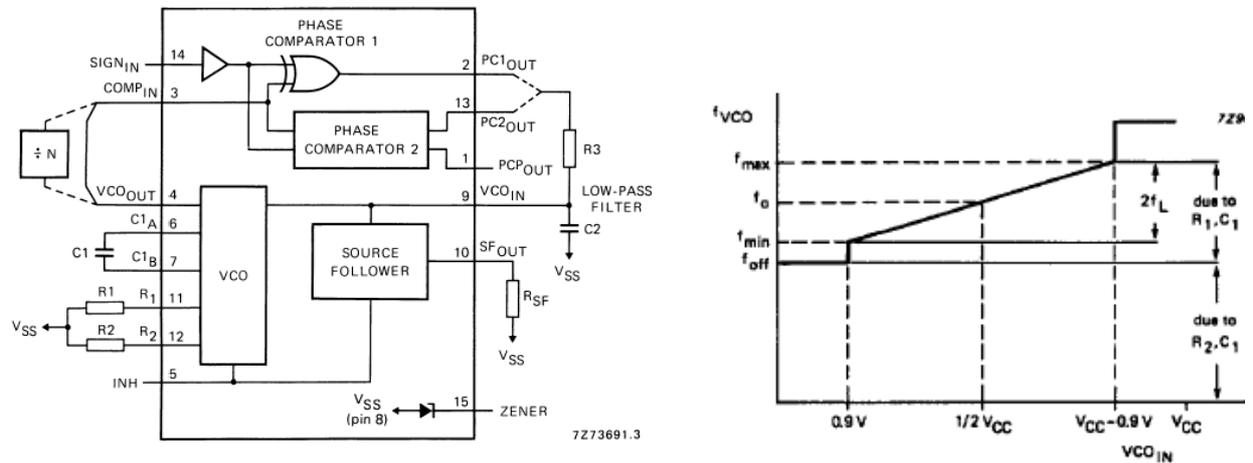


Figura 2.- Circuito integrado HEF4046 con posibles conexiones externas y frecuencia de oscilación del VCO en función de su tensión de entrada  $V_{CO\_IN}$ .

donde se puede observar que  $2 \cdot f_L = f_{max} - f_{min}$  con  $f_L = f_{max} - f_0 = f_0 - f_{min}$ .

Para diseñar el VCO con un offset en frecuencia ( $f_{min} \neq 0$ Hz y  $R_2 \neq \infty$ ) partiendo del conocimiento de  $f_0$  y  $f_L$  se calcula  $f_{min} = f_0 - f_L$  y, a partir de la siguiente figura, se determinan  $R_2$  y  $C_1$ :

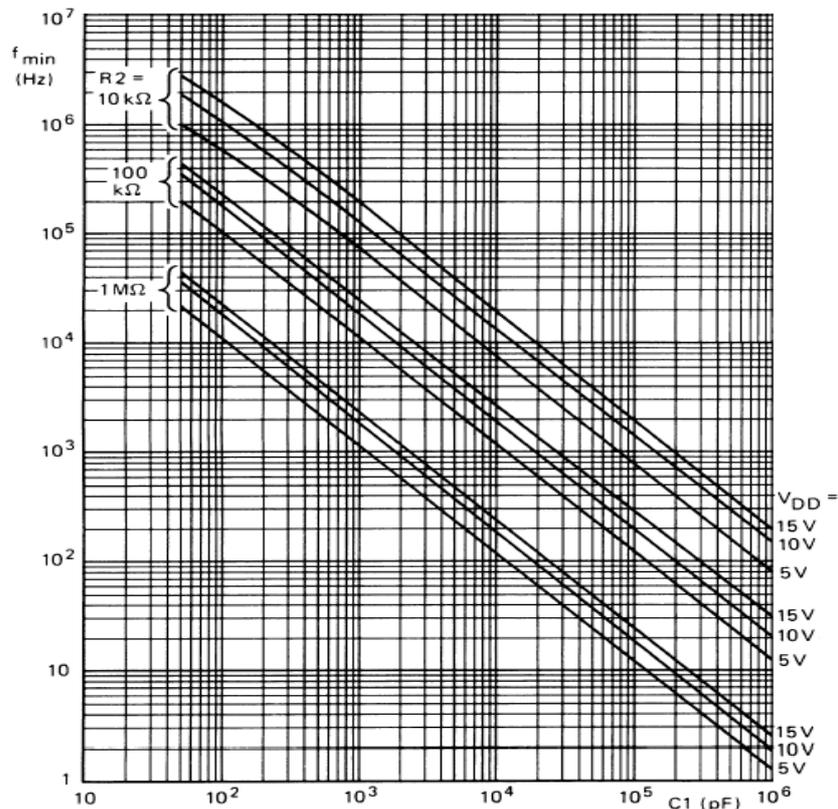


Figura 3.- Determinación de  $R_2$  y  $C_1$  a partir de  $f_{min}$ .

A continuación se determina  $\frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \frac{f_0 + f_L}{f_0 - f_L}$  para, haciendo uso de la siguiente figura determinar la relación  $\frac{R_2}{R_1}$  para obtener  $R_1$ .

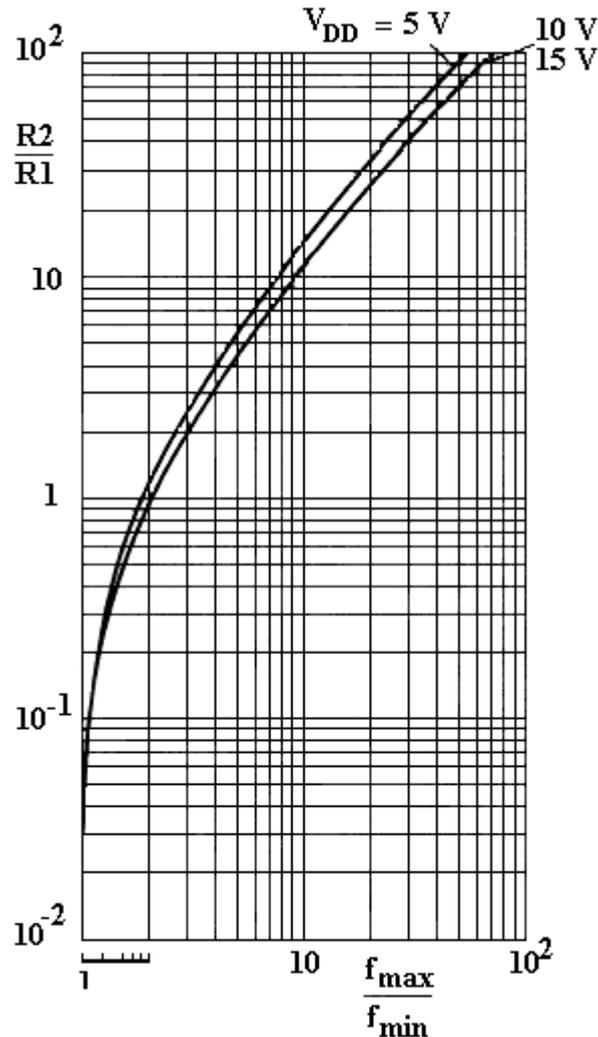


Figura 4.- Determinación de  $R_1$  a partir de  $R_2$  y el cociente  $f_{\max}/f_{\min}$ .

**Emisor de infrarrojos:** El C.I. HEF4046 proporciona a su salida una señal cuadrada (entre 0 V y  $V_{DD}$ , en nuestro caso, 15 V) modulada en frecuencia en su patilla  $VCO_{OUT}$ . Esta señal es empleada para excitar un diodo LED de infrarrojos mediante el empleo de una configuración Darlington de transistores NPN.

El diodo LED empleado es el HIRL5040 que presenta una corriente directa máxima de 100 mA. La potencia radiada a 50 mA es de 40 mW/sr para una longitud de onda de pico de emisión a  $\lambda_p = 940$  nm. Hay que tener en cuenta además la directividad del diodo IR LED en el eje longitudinal del encapsulado con un ángulo del haz de  $60^\circ$ .

## 1.2. Módulo receptor.

El receptor, cuyo esquema se muestra en la Figura 5, se compone de los siguientes bloques:

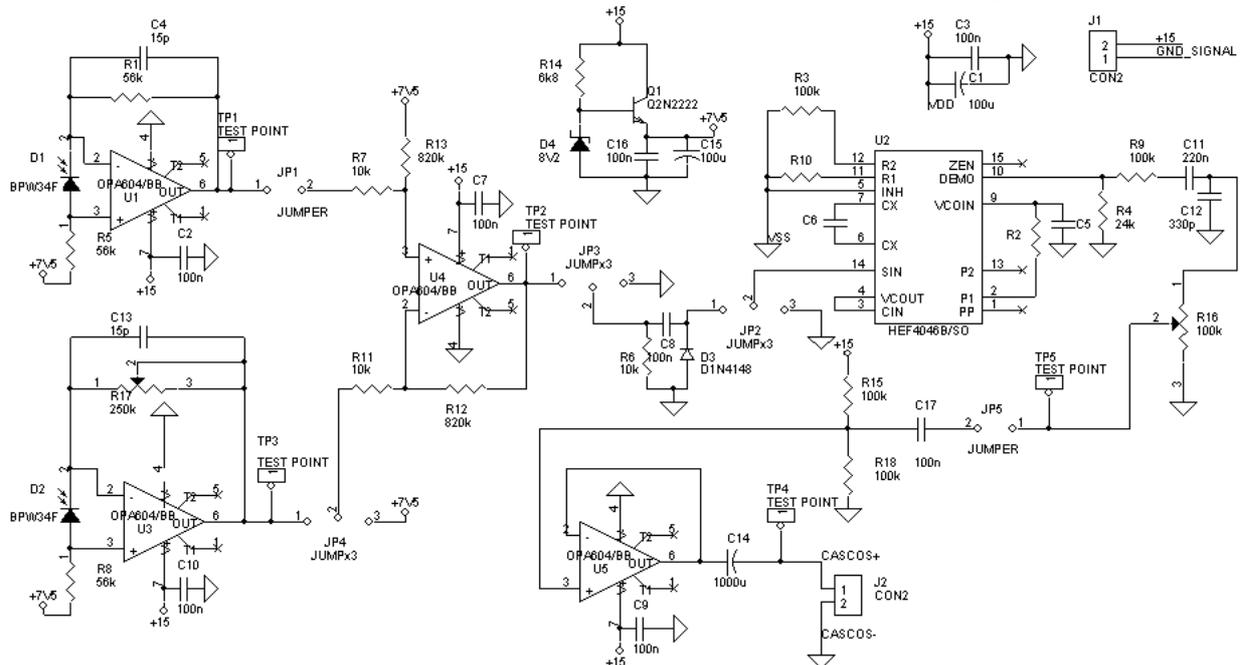


Figura 5. - Receptor F.M. con fotodiodo de infrarrojos.

**Receptor de infrarrojos y acondicionamiento:** El fotodiodo  $D_1$  recibe la radiación infrarroja modulada en frecuencia portadora de la información y la convierte en una corriente eléctrica proporcional a la radiación recibida. El amplificador  $U_1$  actúa como amplificador de transimpedancia convirtiendo la corriente eléctrica del fotodiodo en una tensión de salida. Dado que cuanto mayor es la ganancia ( $|V_{out}/I_{in}| = R_1$ ) del amplificador, menor es el ancho de banda de éste, se ha escogido una resistencia de 56 k $\Omega$  para tener un funcionamiento adecuado en el rango de frecuencias de trabajo. El amplificador  $U_4$  constituye una etapa amplificadora posterior que permite aumentar la amplitud de la señal recibida.

El fotodiodo  $D_2$  no recibe la radiación infrarroja portadora de la información sino únicamente la parte del espectro contenido en el infrarrojo que es emitido por los tubos fluorescentes del laboratorio y que constituye una señal de baja amplitud y de periodo 100 Hz. Esta señal es también captada por el fotodiodo  $D_1$  por lo que es amplificada y si no se elimina puede ocasionar la presencia de un molesto ruido de baja frecuencia en los cascos. El amplificador  $U_4$  actúa como un amplificador restador pudiendo de esa forma eliminar el ruido de 100 Hz presente en la señal captada por  $D_1$ . Para ello se ha de variar el potenciómetro  $R_{17}$  hasta que a la salida de  $U_4$  el ruido de 100 Hz se haya reducido al máximo.

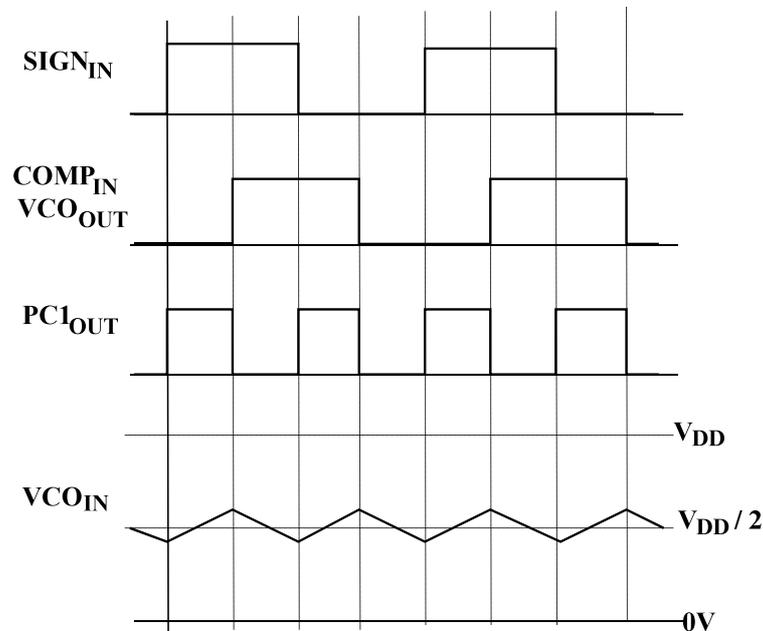
**Demodulador:** Su función es extraer la señal moduladora a partir del tren de pulsos, y se realiza de nuevo con el CI HEF4046 pero esta vez actuando como PLL. La señal correspondiente al tren de pulsos modulado en frecuencia es acoplada al pin 14 ( $SIGN_{IN}$ ) de forma capacitiva para conseguir que dicha señal esté entre los niveles lógicos de entrada del integrado. En la explicación del funcionamiento vamos a llamar  $V_{DD}$  a la señal de alimentación del integrado (15V).

En la Figura 2 se muestra el diagrama interno del HEF4046. El comparador de fase 1 (PC1) está constituido por una red con puerta XOR. En ausencia de señal en la entrada  $SIGN_{IN}$  la salida del comparador de fase 1  $PC1_{OUT}$  y también  $VCO_{IN}$  es  $V_{DD}/2$  lo que provoca que a la salida del oscilador  $VCO_{OUT}$  se tenga una oscilación a la frecuencia central  $f_0$ .

Una característica típica del PLL cuando se emplea el comparador de fase 1 es que, en función de la frecuencia de la entrada  $SIGN_{IN}$ , el desfase entre dicha señal y la salida del

oscilador  $VCO_{OUT}$ , que es a su vez la otra entrada al comparador  $COMP_{IN}$ , varía entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , siendo  $90^\circ$  para la frecuencia central  $f_0$ .

Si en la entrada  $SIGN_{IN}$  hay presente una señal que oscila a una frecuencia que coincide con la frecuencia central de oscilación del VCO,  $f_0$ , en la salida  $VCO_{OUT}$  (unido a  $COMP_{IN}$ ) se tiene la misma señal de entrada aunque con un desfase de  $90^\circ$ . El resultado es que la señal en el pin 9 ( $VCO_{IN}$ ) después de atravesar un filtro pasa-baja es una señal en forma de doble rampa cuyo valor promedio es  $V_{DD}/2$ .



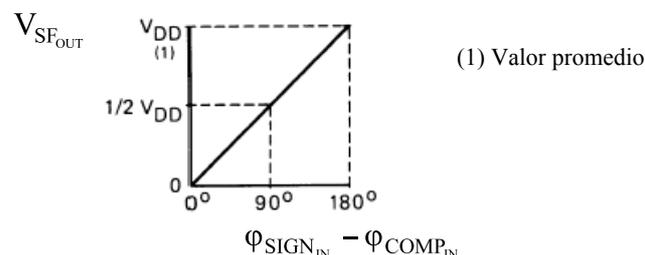
**Figura 6.-** Formas de onda del HEF4046 cuando en la entrada  $SIGN_{IN}$  hay presente una señal que oscila a una frecuencia que coincide con la frecuencia central de oscilación del VCO,  $f_0$ .

Esto provoca que el oscilador oscile a su frecuencia central  $f_0$ . De esa forma el oscilador queda “enganchado” a dicha frecuencia.

El valor promedio de  $VCO_{IN}$  varía con el desfase entre la señal de entrada  $SIGN_{IN}$  y la entrada al comparador  $COMP_{IN}$  de la forma:

$$VCO_{IN} = V_{SFOUT} = \frac{V_{DD}}{\pi} \cdot (\varphi_{SIGN_{IN}} - \varphi_{COMP_{IN}}) \quad (1)$$

donde  $V_{SFOUT}$  es la salida del emisor seguidor (pin 10 del HEF4046).

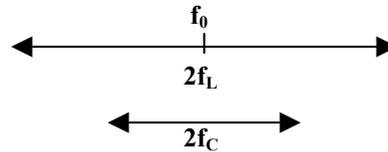


**Figura 7. –** Valor promedio de la tensión  $V_{SFOUT} = VCO_{IN}$  del HEF4046.

Como el desfase es función de la frecuencia de la entrada  $SIGN_{IN}$  el oscilador puede “engancharse” a una serie de frecuencias alrededor de su frecuencia central  $f_0$ . De igual forma otra característica del PLL es que puede “engancharse” a frecuencias próximas a armónicos o sub-armónicos de la frecuencia central  $f_0$ .

Si partimos de que el PLL no está inicialmente enganchado y variando la frecuencia de la señal  $SIGN_{IN}$  nos acercamos a la frecuencia central  $f_0$  bien desde frecuencias inferiores bien

desde frecuencias superiores existe un rango de frecuencias en las que el PLL quedará enganchado. Ese rango es llamado rango de captura ( $2f_c$ ) y es simétrico alrededor de la frecuencia central  $f_0$ . Una vez enganchado el PLL podemos aumentar o disminuir la frecuencia fuera del rango de captura manteniéndose el PLL enganchado. El rango de frecuencias a las que el PLL se engancha si se parte de que el PLL ya estaba enganchado es el rango de enganche ( $2f_L$ ) y también es simétrico alrededor de  $f_0$ . El rango de captura es menor o igual que el rango de enganche.



**Figura 8.** – Rango de captura y rango de enganche del PLL.

En toda esta explicación se ha supuesto que el PLL no se ha enganchado previamente a un armónico o sub-armónico de la frecuencia central, lo cual podría suceder al desplazarse en frecuencia por encima o por debajo de  $f_0$ .

Para el diseño del PLL conocidos  $f_0$  y  $f_L$  se siguen los mismos pasos que en el caso anterior. Si llamamos  $R_1$  a la resistencia conectada al pin 11 del HEF4046,  $R_2$  a la conectada al pin 12 y  $C_1$  al condensador entre los pines 6 y 7 sus valores se obtienen de igual forma que para el caso del VCO. El rango de captura depende del filtro pasa-baja ( $R_2$ - $C_5$  en Figura 5):

$$2 \cdot f_c \approx \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot f_L}{\tau}} \quad \text{con } \tau = R_2 \cdot C_5 \quad (2)$$

En nuestro caso debemos suponer que partimos de que el PLL no está inicialmente enganchado y el rango de captura debe ser escogido de forma que el ancho de banda sea el adecuado para dejar pasar la señal moduladora.

**Seguidor:** Para llevar la señal a los cascos es suficiente con el empleo de un circuito seguidor, aunque previamente la amplitud de la señal de salida del circuito demodulador debe reducirse a una amplitud relativamente baja (del orden de 150 mVp) actuando sobre el potenciómetro  $R_{16}$  de 100 k $\Omega$  dada la baja impedancia que presentan los cascos.

## **2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:**

### **2.1. Modulo emisor**

- 1) Diseñar adecuadamente el oscilador VCO para una frecuencia central  $f_0 = 50$  kHz y  $2 f_L = 20$  kHz. Para el diseño fijar  $R_6 = 100$  k $\Omega$  con  $V_{DD} = 15$  V:

$$R_7 = \dots\dots \text{ k}\Omega$$

$$C_7 = \dots\dots \text{ pF}$$

- 2) Introducir a través del conector J2 una tensión de alimentación  $V_{DD} = 15$  V para el módulo emisor y ajustar los diferentes puentes de dicho módulo de la siguiente forma:

<b>JP<sub>1</sub></b>	<b>JP<sub>2</sub></b>	<b>JP<sub>3</sub></b>
Puente entre 2 y 3	Sin puente	Sin puente

Introducir a través del conector J1 una señal senoidal (150 mV<sub>p</sub>, 1 kHz) con el generador de funciones la cual se empleará como tono de test. Regular convenientemente el potenciómetro  $R_4$  para obtener en TP<sub>1</sub> a la salida del uA741 una señal senoidal de amplitud máxima sin distorsión (sin saturar), que deberá tener un valor DC de aproximadamente  $V_{DD}/2$  que se ajustará con el potenciómetro  $R_8$ . Una vez ajustado, apagar la alimentación y el generador de funciones.

- 3) Ajustar los diferentes puentes del módulo emisor de la siguiente forma:

<b>JP<sub>1</sub></b>	<b>JP<sub>2</sub></b>	<b>JP<sub>3</sub></b>
Señal continua entre los pines 2 (+) y 3 (-)	Sin puente	Sin puente

Alimentar el módulo con  $V_{DD} = 15$  V en J2 e introducir en VCO<sub>IN</sub> (entre los pines 2 y 3 de JP<sub>1</sub>) una tensión continua variable entre  $V_{DD}$  y 0 V comprobando como la frecuencia de oscilación del VCO (VCO<sub>OUT</sub>, medida en TP<sub>2</sub>) varía entre  $f_{max}$  y  $f_{min}$ , siendo  $f_0$  para  $V_{DD}/2$ .

Comprobar la linealidad del VCO. Para ello variar el valor de la tensión VCO<sub>IN</sub> para rellenar la siguiente tabla:

<b>VCO<sub>IN</sub></b>	<b>f</b>	<b><math>\Delta f/\Delta VCO_{IN}</math></b>
2,5 V		-
5 V		
7,5 V		
10 V		
12,5 V		

Una vez realizadas las medidas desconectar la tensión continua introducida entre los pines 2 y 3 de JP1.

- 4) Ajustar los diferentes puentes del módulo emisor de la siguiente forma:

<b>JP<sub>1</sub></b>	<b>JP<sub>2</sub></b>	<b>JP<sub>3</sub></b>
Puente entre 1 y 2	Sin puente	Sin puente

Alimentar el módulo y verificar como al introducir un puente entre 1 y 2 de JP<sub>1</sub> a la salida del circuito modulador (TP<sub>2</sub>) se obtiene una señal de frecuencia  $f_0$  en ausencia de tono de test.

Utilizar el generador de funciones para introducir una señal senoidal (150 mVp, 1 kHz) como tono de test. Verificar como a la salida del modulador (TP<sub>2</sub>) se obtiene la señal modulada en frecuencia por el tono de test. Variar la frecuencia del tono de test entre 1 Hz y 10 kHz y comprobar su efecto a la salida. Al finalizar desconectar la alimentación y el generador de funciones.

5) Ajustar los diferentes puentes del módulo emisor de la siguiente forma:

JP <sub>1</sub>	JP <sub>2</sub>	JP <sub>3</sub>
Puente entre 1 y 2	Sin puente	Con puente

Conectar de nuevo la alimentación y el generador de funciones y comprobar el correcto funcionamiento del circuito de excitación con transistor midiendo en TP<sub>3</sub>, es decir en los colectores de los transistores en configuración Darlington.

## 2.2 Modulo receptor

6) Diseñar adecuadamente el PLL para una frecuencia central  $f_0 = 50$  kHz,  $2 f_L = 50$  kHz y  $2 f_c = 20$  kHz. Para el diseño fijar  $R_3 = 100$  k $\Omega$  con  $V_{DD} = 15$  V:

$$R_{10} = \dots\dots \text{ k}\Omega; C_6 = \dots\dots \text{ nF}$$

$$\text{FPB: } R_2 = \dots\dots \text{ k}\Omega; C_5 = \dots\dots \text{ nF}$$

7) Alimentar a través del conector J1 el módulo receptor con  $V_{DD} = 15$  V y colocar los distintos puentes de dicho módulo de la siguiente forma:

JP <sub>1</sub>	JP <sub>2</sub>	JP <sub>3</sub>	JP <sub>4</sub>	JP <sub>5</sub>
Sin puente	Puente entre 2 y 3	Puente entre 2 y 3	Puente entre 2 y 3	Sin puente

8) Al colocar el puente entre los pines 2 y 3 de JP<sub>2</sub> la tensión en el pin 14 del CI 4046, SIN = 0 V, con lo que en VCO<sub>OUT</sub> (pin 4) debe haber presente una oscilación a  $f_0 = 50$  kHz. Comprobarlo y al finalizar la comprobación apagar la fuente de alimentación.

9) Colocar los distintos puentes del módulo receptor de la siguiente forma:

JP <sub>1</sub>	JP <sub>2</sub>	JP <sub>3</sub>	JP <sub>4</sub>	JP <sub>5</sub>
Sin puente	Puente entre 1 y 2	Señal cuadrada entre 2 (+) y 3 (-)	Puente entre 2 y 3	Sin puente

Alimentar el módulo receptor a través de J1 e introducir entre 2 y 3 de JP<sub>3</sub> una señal cuadrada con un ciclo de trabajo del 50% entre 0 V y 5 V. Variando la frecuencia de dicha señal, comprobar el rango de frecuencias de captura y de enganche.

Estará enganchado cuando las frecuencias de las señales del generador y de la señal de salida VCO<sub>OUT</sub> (pin 4) coincidan.

Rango de captura		Rango de enganche	
Valores teóricos	Valores experimentales	Valores teóricos	Valores experimentales
$f_{\max} = f_0 + f_c = \dots\dots \text{ kHz}$		$f_{\max} = f_0 + f_L = \dots\dots \text{ kHz}$	
$f_{\min} = f_0 - f_c = \dots\dots \text{ kHz}$		$f_{\min} = f_0 - f_L = \dots\dots \text{ kHz}$	

10) A continuación se va a emplear la salida del modulador del módulo emisor como señal de test y verificar la correcta demodulación comparando la frecuencia de la señal demodulada con la del tono de test. Para ello conectar los puentes de ambos módulos de la forma indicada a continuación:

<u>MÓDULO EMISOR</u>				
<b>JP<sub>1</sub></b>	<b>JP<sub>2</sub></b>	<b>JP<sub>3</sub></b>		
Puente entre 1 y 2	Señal de salida entre 1(+) y 2(-)	Sin puente		

<u>MÓDULO RECEPTOR</u>				
<b>JP<sub>1</sub></b>	<b>JP<sub>2</sub></b>	<b>JP<sub>3</sub></b>	<b>JP<sub>4</sub></b>	<b>JP<sub>5</sub></b>
Sin puente	Puente entre 1 y 2	Señal entre 2 (+) y 3 (-) proveniente de JP2 del módulo emisor	Con puente entre 2 y 3	Con puente

Alimentar ambos módulos e introducir a través del conector J1 del módulo emisor una señal senoidal (150 mVp, 1 kHz) con el generador de funciones. Midiendo con el osciloscopio en AC en TP<sub>4</sub>, comprobar que dicho tono de test llega al receptor y ajustar la amplitud de la señal a 150 mVp con el potenciómetro R<sub>16</sub>. Si la señal senoidal presenta distorsión (saturación por arriba o por abajo) reajustar R4 del módulo emisor.

Al finalizar desconectar las alimentaciones.

11) A continuación se va a verificar que la señal modulada llega correctamente al modulo receptor. Para ello conectar los puentes de ambos módulos de la siguiente forma:

<u>MÓDULO EMISOR</u>				
<b>JP<sub>1</sub></b>	<b>JP<sub>2</sub></b>	<b>JP<sub>3</sub></b>		
Puente entre 1 y 2	Sin puente	Con puente		

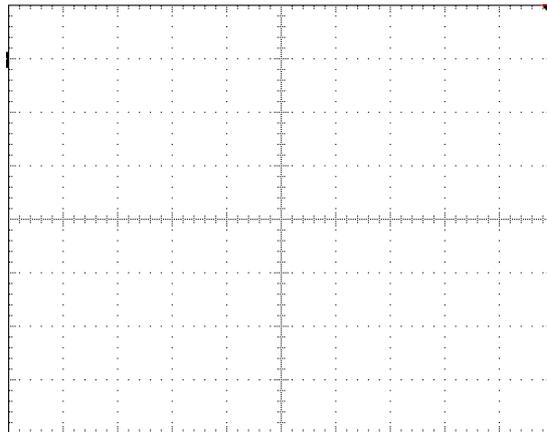
<u>MÓDULO RECEPTOR</u>				
<b>JP<sub>1</sub></b>	<b>JP<sub>2</sub></b>	<b>JP<sub>3</sub></b>	<b>JP<sub>4</sub></b>	<b>JP<sub>5</sub></b>
Sin puente	Puente entre 2 y 3	Puente entre 2 y 3	Puente entre 2 y 3	Con puente

El fotodiodo D<sub>1</sub> recibe la radiación infrarroja modulada en frecuencia portadora de la información y la convierte en una corriente eléctrica proporcional a la radiación recibida. Dicha corriente eléctrica se convierte en una tensión de salida teniendo en cuenta la ganancia ( $|V_{out}/I_{in}| = R_1$ ) del amplificador de transimpedancia. Alimentar ambos módulos e introducir a través del conector J1 del módulo emisor una señal senoidal (150 mVp, 1 kHz) con el generador de funciones. Verificar que en TP<sub>1</sub> del módulo receptor se tiene una señal que presenta un nivel DC y, superpuesto a éste, una señal modulada en frecuencia cuya amplitud depende de la radiación recibida y, en consecuencia, de la proximidad de los módulos emisor y receptor. Otro factor a tener en cuenta es la alta directividad del IR LED en el eje longitudinal del encapsulado, con lo que, como podemos comprobar, al alejarnos de dicho eje perdemos información.

12) Comprobar el efecto de introducir el amplificador U<sub>3</sub>. Para esto último, en ausencia de señal en el módulo emisor, colocar los distintos puentes del módulo receptor de la siguiente forma:

<b>JP<sub>1</sub></b>	<b>JP<sub>2</sub></b>	<b>JP<sub>3</sub></b>	<b>JP<sub>4</sub></b>	<b>JP<sub>5</sub></b>
Con puente	Puente entre 2 y 3	Puente entre 2 y 3	Con puente entre 1 y 2	Con puente

Alimentar el módulo receptor y visualizar la señal en TP<sub>2</sub> en AC y Base de Tiempos de 10 ms/div. Dibujar la forma de onda que se obtiene:



CH1: V<sub>TP2</sub> .....V/div (AC) B.T.: 10 ms/div

Razónese el porqué el periodo de la señal obtenida es de 100 Hz (Ayuda: la iluminación del laboratorio procede de tubos fluorescentes).

.....

.....

.....

.....

.....

Actuar sobre R<sub>17</sub> (POT de 250 kΩ) para disminuir al máximo la amplitud de dicha señal.

13) A continuación se va a comprobar la correcta demodulación de la señal transferida con enlace por infrarrojos. Para ello alimentar el módulo emisor e introducir a través del conector J1 de dicho módulo una señal senoidal (150 mVp, 1 kHz) con el generador de funciones. Colocar los distintos puentes del módulo receptor de la siguiente forma:

JP <sub>1</sub>	JP <sub>2</sub>	JP <sub>3</sub>	JP <sub>4</sub>	JP <sub>5</sub>
Con puente	Puente entre 1 y 2	Puente entre 1 y 2	Puente entre 1 y 2	Con puente

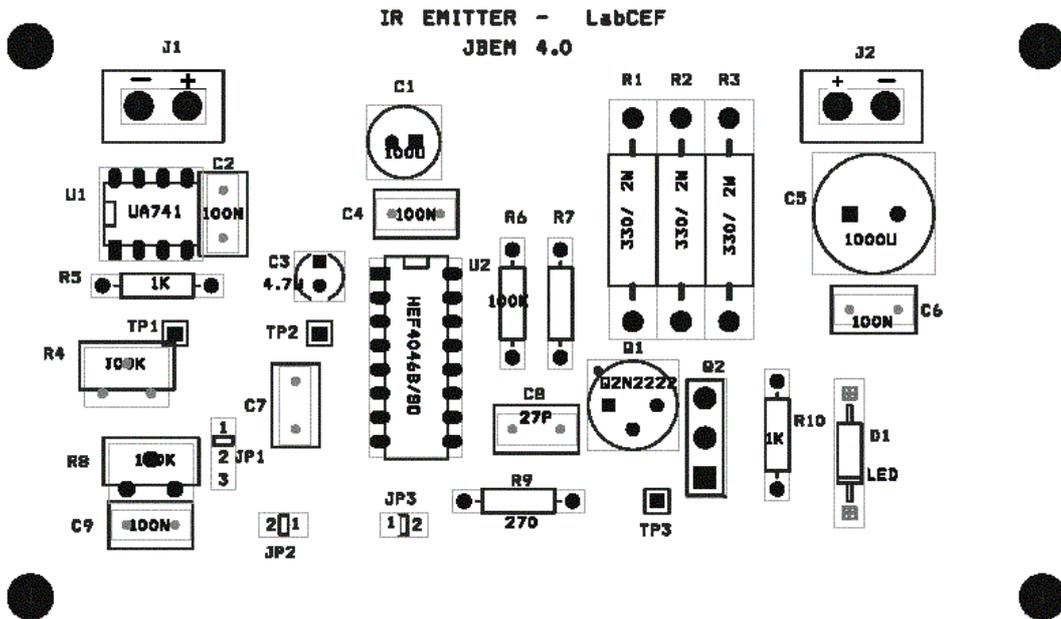
Seguir los siguientes pasos:

- Alimentar el módulo receptor y verificar que en TP<sub>2</sub> se tiene la misma señal que en TP<sub>1</sub> aunque muy amplificadas. La amplitud de dicha señal dependerá de la proximidad entre los módulos emisor y receptor. Se ha de evitar que estén excesivamente próximos pues, en dicho caso y, dada la gran ganancia del amplificador U<sub>4</sub>, su salida podría saturarse (colocar los módulos emisor y receptor encarados y cada uno en un extremo de la mesa o bien más próximos pero no encarados).
- Comprobar que la demodulación se ha producido de forma correcta observando la señal en AC en TP<sub>5</sub>.

- Comprobar midiendo con el osciloscopio en TP<sub>4</sub> que la amplitud de la señal es de aproximadamente 150 mV<sub>p</sub>, tal y como se había ajustado previamente. Si no es así ajustarla con el potenciómetro R<sub>16</sub>. Variando la frecuencia del tono de test del módulo emisor comprobar como varía de la misma forma la frecuencia de la señal en TP<sub>4</sub>.
- Conectar los cascos entre 1 (+) y 2 (-) del conector J2 y comprobar como el tono de test es audible y cómo su sonido varía al variar la frecuencia.

14) Finalmente sustituir el generador de funciones conectado a J1 del módulo emisor por la salida de audio de un walkman, MP3 o similar y con los cascos conectados entre 1 (+) y 2 (-) del conector J2 del módulo receptor, verificar el funcionamiento del sistema de comunicaciones via infrarrojos.

### EMISOR



### RECEPTOR

