

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Laboratorio de Comunicaciones

(Manual de Prácticas)

Práctica 4:

Estudio de Modulación y Demodulación en Frecuencia

Curso 2007-2008

AUTORES:

Manel Martínez Ramón

Fernando Quesada Pereira

Pedro Vera Castejón

Alejandro Alvarez Melcón

Índice

1. Introducción	1
2. Medidas Sobre el Circuito	1
3. Demodulación no Coherente de Frecuencia	2
3.1. Limitador	2
3.2. Discriminadores por derivada en frecuencia	4
3.3. Discriminadores por derivada en tiempo	6

1. Introducción

En la primera sesión de la práctica del Modulador FM se ha construido el circuito modulador. En esta segunda sesión de la práctica vamos a realizar medidas sobre el circuito montado. La práctica se dividirá en dos actividades. En la primera vamos a realizar las medidas sobre el circuito montado. En la segunda revisaremos algunos circuitos demoduladores no coherentes para Frecuencia Modulada.

Haciendo uso del trabajo desarrollado por el alumno en las dos sesiones de prácticas, se deberá realizar un informe que responda a las cuestiones planteadas en este manual, y que recoja una descripción detallada de todo el trabajo realizado en las dos sesiones de prácticas.

2. Medidas Sobre el Circuito

En esta parte de la práctica vamos a realizar las medidas detalladas sobre el circuito montado en la primera sesión de la práctica. Para ello tenemos que alimentar el circuito mediante los dos pasos siguientes:

- Polarizar el circuito a $V_{cc} = +3V$ con la fuente de continua.
- Conectar a la entrada del circuito una señal moduladora sinusoidal de frecuencia 1KHz (utilizar el generador de señales). Su amplitud debe ser tal, que a la salida del amplificador (terminal 4 del circuito integrado), la amplitud de pico de la señal sea de 400mV.

Una vez polarizado el circuito de esta manera realice las siguientes medidas:

Ejercicio 1. Examinar la señal en tiempo y en frecuencia a la salida del oscilador a 10MHz (terminal 14 del circuito integrado). Dibujar las señales tanto en tiempo como en frecuencia. Medir la relación de amplitud de la frecuencia fundamental al 2^o y 3^{er} armónicos.

Ejercicio 2. Razonar la conveniencia o no de utilizar el tercer armónico de esa señal amplificado linealmente en lugar de utilizar un triplicador de frecuencia.

Ejercicio 3. Con la base de tiempos a $10\mu s$, medir la salida del primer triplicador (pata 11 del circuito integrado). Medir la amplitud a 30MHz. Medir la relación entre este armónico y los demás que aparecen en la DFT (asegúrese que el ancho de banda del osciloscopio sea completo). Comparar los resultados medidos con los simulados en PSPICE.

Ejercicio 4. Poniendo la base de tiempo a $2\mu s$, medir la salida del segundo triplicador (terminal 9 del circuito integrado). Medir la amplitud del armónico a 30MHz y a 90MHz. Comparar los resultados medidos con los simulados en PSPICE.

Ejercicio 5. Medir los armónicos a la salida de la antena. ¿Qué ocurre con los armónicos en relación a lo medido en el terminal 9 del circuito integrado?. En particular, ¿qué pasa con el armónico a 90MHz?, ¿porqué?.

Ejercicio 6. Con la base de tiempos a 20ms y el ancho de banda del osciloscopio a 20MHz, vea la réplica del espectro de la señal de 10MHz (señal en el terminal 14 del integrado). Al hacer submuestreo se observa un alias de la señal a 4.4KHz, lo que permite ver las bandas laterales con mucho más detalle. Comprobar que la modulación es de banda estrecha. ¿Porqué aparece como una modulación AM?. ¿Cual es la distancia entre armónicos?. Si la sensibilidad del VCO es de 10Hz/mV, ¿se cumple la condición de modulación de banda estrecha?. Para verificarlo utilice la amplitud de la señal moduladora que hay justo en la entrada de la reactancia variable. Comparar los resultados medidos con los simulados.

3. Demodulación no Coherente de Frecuencia

El esquema de bloques de un modulador no coherente de frecuencia puede verse en la Fig. 1. Como se aprecia consta de un limitador, de un discriminador, y de un detector de envolvente. A continuación describimos alguno de estos circuitos con detalle.

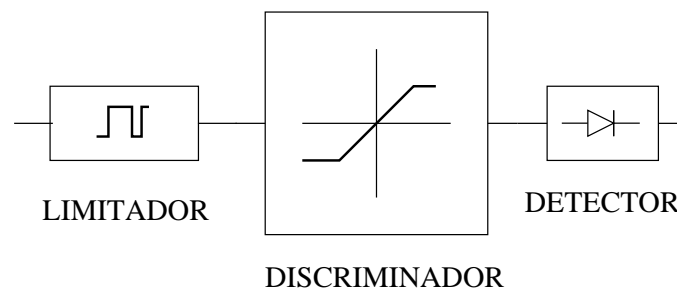


Figura 1: Esquema de bloques de un detector no coherente de FM.

3.1. Limitador

Como en la modulación FM no hay información en la amplitud de la señal, el limitador recorta dicha amplitud para evitar las variaciones de amplitud debidas al ruido. Una forma de realizar un limitador es utilizando un transistor, de manera que la amplitud de salida quede limitada por la entrada del transistor en las regiones de saturación y corte. A la salida se puede incorporar un filtro para extraer la señal FM eliminando los armónicos generados en el proceso de corte.

El esquema mas sencillo de limitador puede verse en la Fig. 2. Como se ve consta de dos diodos con dos generadores de tensión continua. Los generadores de tensión, junto con la característica I-V de los diodos, fijan la tensión a la que limita el circuito. Con el modelo más sencillo del diodo, el funcionamiento del circuito quedaría como sigue: cuando el diodo está en inversa es un circuito abierto, y no afecta a la tensión de salida; cuando el diodo está en directa se comporta como un cortocircuito, y la fuente de tensión continua quedaría conectada a la salida, con lo que la tensión de salida estará forzada por dicha fuente de tensión continua.

Ejercicio 7. Simular el circuito con PSPICE. Dibujar en una misma gráfica la tensión de entrada y la tensión de salida. Indicar el valor de amplitud a la que está limitando el circuito.

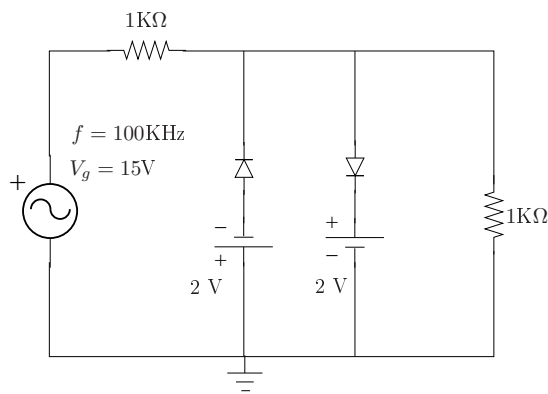


Figura 2: Limitador basado en diodos.

Otro esquema de limitador más complejo se presenta en la Fig. 3, donde como filtro se ha utilizado un transformador de Radiofrecuencia doblemente sintonizado. Además, el transistor ofrece amplificación a la señal de entrada. Interesa que el transistor pase de corte a saturación para conseguir el efecto de limitación.

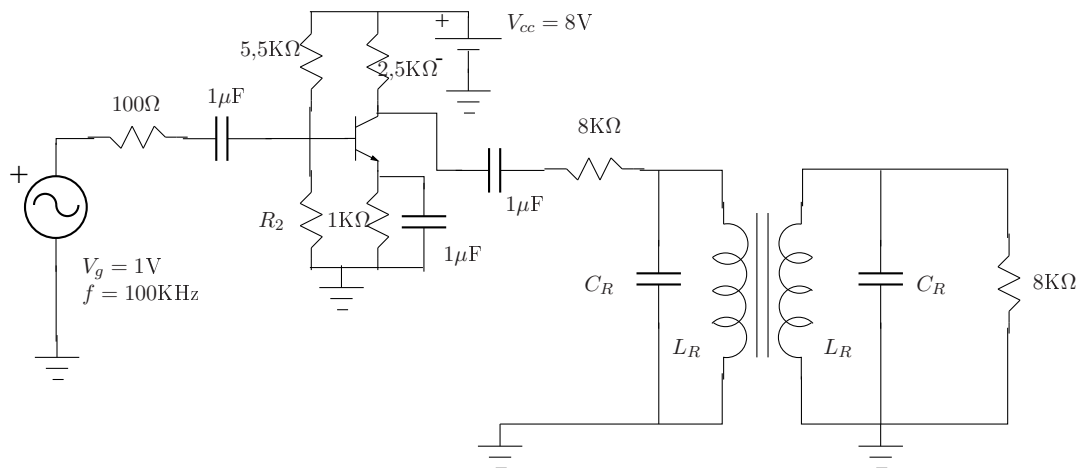


Figura 3: Circuito limitador con transistor.

Ejercicio 8. Utilizando el programa SPICE, obtener la función de transferencia del filtro de salida. Ajustar los valores de los componentes para obtener una banda de paso centrada en 100KHz, tomando $C_R = 1\text{nF}$. Ajustar el acoplo del transformador para que los resonadores estén ligeramente sobrecoplados. Dibujar la función de transferencia obtenida, indicando el valor de los componentes.

Ejercicio 9. Diseñar el limitador de la Fig. 3 utilizando el transistor $Q2N2222$ de SPICE. Ajustar los componentes hasta obtener en el colector del transistor (después del condensador de paso) una tensión recortada a unos $\pm 3\text{V}$ aproximadamente. Indicar el valor de los componentes elegidos.

Ejercicio 10. Dibujar en tiempo y frecuencia las señales obtenidas a la salida del colector (después del condensador de paso) y a la salida del filtro diseñado.

3.2. Discriminadores por derivada en frecuencia

Ya sabemos que este tipo de discriminadores se basan en realizar la derivada de la señal, utilizando el dominio de la frecuencia (multiplicando por una función de transferencia del tipo: $j\omega$). El primer discriminador de este tipo consiste en utilizar un circuito resonante sintonizado en uno de los flancos de la respuesta. Este flanco del resonador se comporta aproximadamente de forma lineal ($j\omega$). Un esquema de un modulador de este tipo puede verse en la Fig. 4.

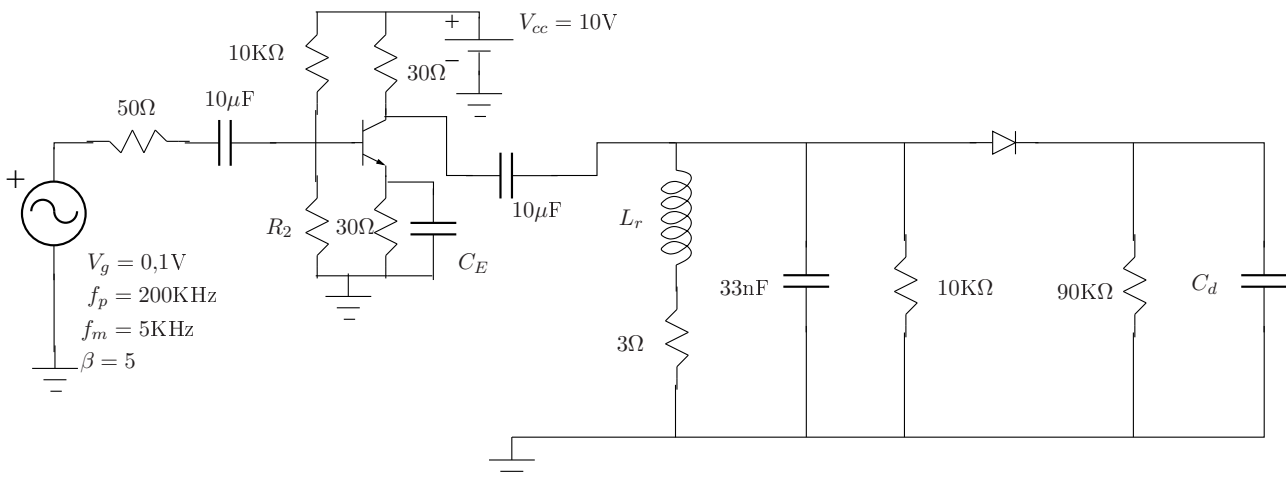


Figura 4: Esquema de un demodulador FM basado en técnicas en el dominio de la frecuencia.

Ejercicio 11. Usando el programa SPICE calcular la función de transferencia del circuito resonante del circuito de la Fig. 4. Ajustar los componentes del circuito resonante para sintonizar la frecuencia de portadora ($f_p = 200\text{KHz}$) en el flanco inferior de la campana del circuito resonante. Dibujar la función de transferencia e indicar el valor de los componentes.

Ejercicio 12. Usando el programa SPICE polarizar el transistor para que trabaje como amplificador lineal. Medir la ganancia en tensión del diseño efectuado, e indicar los valores de los componentes del circuito.

Para diseñar el demodulador, el programa SPICE dispone del componente: VSFFM. Este componente es un generador sinusoidal de la frecuencia portadora ($f_c = f_p = 200\text{KHz}$), modulado en frecuencia por una señal moduladora sinusoidal de frecuencia ($f_m = 5\text{KHz}$), con un índice de modulación para moduladora sinusoidal de ($\text{MOD} = \beta = 5$).

Ejercicio 13. Utilizando como generador el modulador FM: VSFFM, diseñar en SPICE el demodulador de la Fig. 4 sin incluir el detector de envolvente. Representar la señal en tiempo y en frecuencia, en el terminal del generador y a la salida del circuito resonante. ¿Cómo es el espectro de la señal modulada FM?. ¿Está la información en la envolvente de la señal obtenida a la salida?.

Ejercicio 14. Incorporar el diodo (tipo D1N914) y diseñar el filtro paso bajo del detector de envolvente. Representar en tiempo y frecuencia la señal obtenida a la salida del detector de envolvente. ¿A qué es debida la distorsión en la señal de salida?. ¿Cómo podría reducirla?.

El funcionamiento del demodulador deja de ser correcto cuando el índice de modulación es muy grande, porque nos desplazamos demasiado del punto de trabajo que se ha marcado en los 200KHz, y con ello se pierde la linealidad necesaria en el discriminador. Podría comprobarse como con un índice de modulación igual a 20, la señal detectada empieza a mostrar distorsión.

Una variante del demodulador anterior corresponde al discriminador balanceado presentado en la Fig. 5, también llamado discriminador de sintonía escalonada. En este discriminador hay dos circuitos

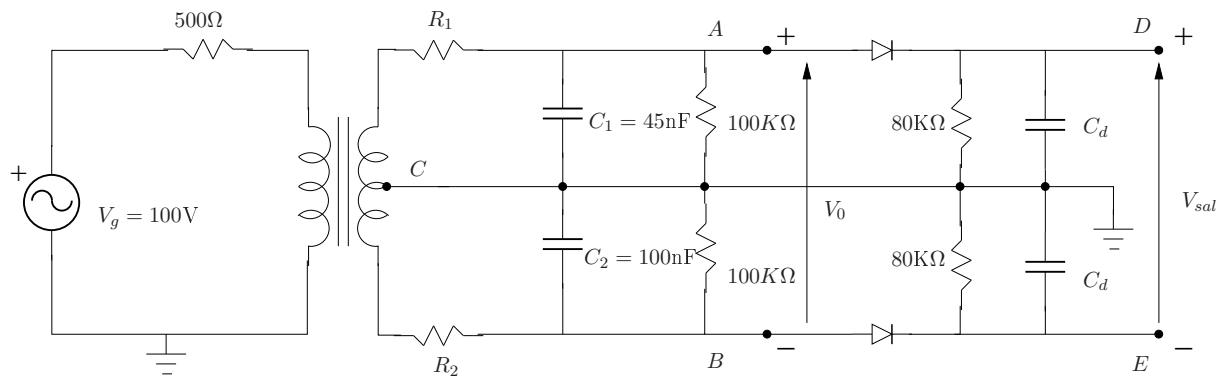


Figura 5: Discriminador FM balanceado o de sintonía escalonada.

resonantes, y cada uno de ellos se sintoniza para que la frecuencia de la portadora esté centrada en sus flancos inferior y superior respectivamente. Para realizar los siguientes ejercicios simular el circuito de la Fig. 5 sin incluir los detectores de envolvente.

Ejercicio 15. Obtener las respuestas en frecuencia del circuito tomando como salida las tensiones en los puntos A y B respecto masa. Ajustar los valores del circuito para que la frecuencia de la portadora ($f_p = 200\text{KHz}$) quede centrada en el flanco inferior y superior respectivamente. Indicar los valores de los componentes.

No se puede tomar como salida directamente la tensión entre los puntos A y B (marcada como V_0 en el esquema), porque la función de transferencia en este punto no nos daría una relación lineal en torno a la frecuencia portadora, tal y como esperamos. Ello es debido a que las tensiones en los puntos A y B van a tener en general diferentes fases, y su resta no producirá la relación lineal esperada. Para obtener la relación lineal esperada deberemos restar únicamente los módulos, eliminando la información de fase.

Ejercicio 16. Para darnos cuenta de lo que sucede, representar la tensión: $|V_0| = |V_A| - |V_B|$. ¿Obtiene la respuesta en frecuencia esperada?.

El modulador funcionará correctamente, ya que los detectores de envolvente se quedan con el módulo de las tensiones. Por tanto la resta de los módulos se hará correctamente, tal y como se muestra en el ejercicio anterior.

Ejercicio 17. Realizar una simulación en el tiempo usando un generador sinusoidal de frecuencia la portadora ($f_p = 200\text{KHz}$). Representar las tensiones en los puntos A y B respecto masa. Ajustar la frecuencia del generador hasta que la amplitud de las dos tensiones sea la misma. Indicar el valor

obtenido para la frecuencia del generador.

Ejercicio 18. Repetir el ejercicio anterior desplazando la frecuencia del generador en: $\pm 20\text{KHz}$. Dibujar las tensiones en los puntos A y B respecto masa. Indicar qué amplitud es mayor en cada caso.

Cuando las dos señales anteriores son de la misma amplitud, la frecuencia corresponde al punto de cruce de los flancos de los resonadores. Sabemos que a esta frecuencia la señal total detectada por los detectores de envolvente (V_{sal}) debe ser cero.

Ejercicio 19. Añadir al circuito los detectores de envolvente (diodos D1N914). Obtener la señal de salida (V_{sal}), y las tensiones en los puntos D y E (respecto de masa) para la frecuencia central calculada anteriormente. Dibujar las señales en dichos puntos. ¿Obtiene una señal nula a la salida (V_{sal})?

Si ahora desplazamos la frecuencia del generador en $\pm 20\text{KHz}$, deberemos obtener dos señales continuas de diferentes valores, de manera que la resta ya no da un valor nulo. El valor de continua obtenido será proporcional a la diferencia de frecuencias. De esta manera, cuando la señal de entrada varía su frecuencia, la señal de salida varía su amplitud proporcionalmente.

Ejercicio 20. Sustituya el generador sinusoidal por el generador modulado en frecuencia (VSFFM). Tomar como frecuencia de moduladora $f_m = 5\text{KHz}$ (portadora $f_p = 200\text{KHz}$), e índice de modulación $\beta = 5$. Dibujar las tres tensiones indicando si se recupera correctamente la señal moduladora. Obtener el espectro de la señal de salida.

3.3. Discriminadores por derivada en tiempo

Existen discriminadores basados en realizar la derivada de la señal directamente en el dominio del tiempo. Un circuito popular que trabaja según este principio es el discriminador de Foster-Seeley mostrado en la Fig. 6.

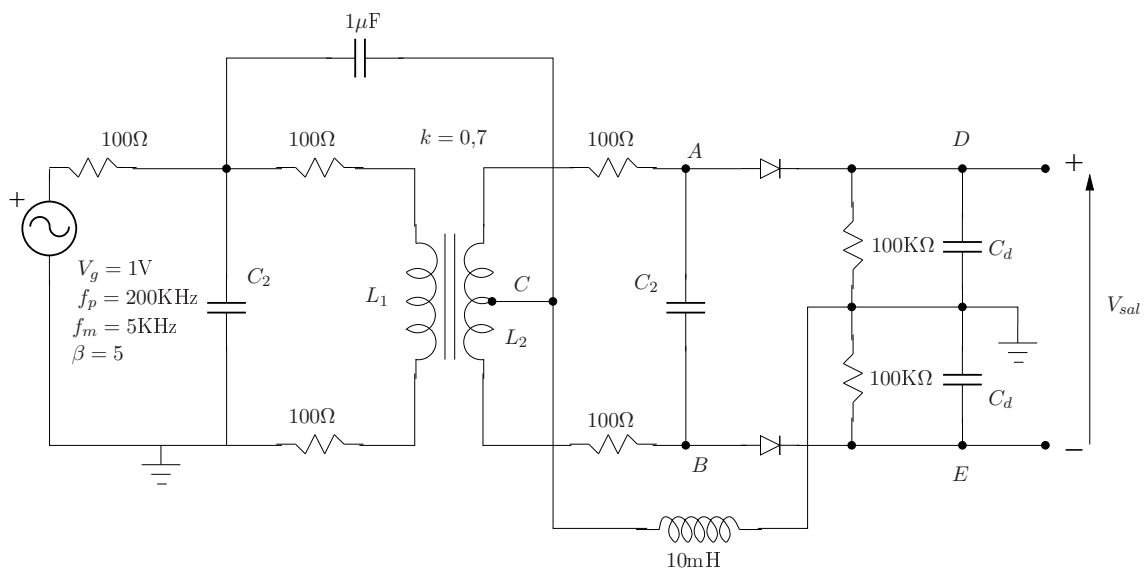


Figura 6: Esquema del discriminador de Foster-Seeley.

Para estos ejercicios simular con PSPICE el generador, y el transformador con los componentes asociados (condensador C_2 , resistencias en serie con el transformador de 100Ω y una resistencia de carga de $100K\Omega$).

Ejercicio 21. Diseñar el transformador con toma intermedia, doblemente sintonizado a la frecuencia portadora ($f_c = 200\text{KHz}$). Tomar el transformador con acoplamiento débil entre primario y secundario ($k = 0,7$), para asegurar el defasaje de $(\pi/2)$ entre la tensión del primario y del secundario. Tomar la inductancia de las bobinas $L_1 = L_2 = 1\text{mH}$, y ajustar el valor de los condensadores (C_2) para obtener la resonancia a $f_c = 200\text{KHz}$. Dibujar la función de transferencia del circuito diseñado.

Ejercicio 22. Realizar una simulación del transformador en el dominio del tiempo, tomando un generador sinusoidal de frecuencia $f_c = 200\text{KHz}$. Representar las señales en el primario y secundario del transformador. ¿Ha obtenido el defasaje esperado de $(\pi/2)$ entre las dos señales?

Ejercicio 23. Repetir el ejercicio anterior dando un desplazamiento a la frecuencia del generador de: $\pm 20\text{KHz}$. Representar las señales en el primario y secundario en cada caso. Medir en cada caso el defasaje entre las dos señales.

Ejercicio 24. Simular en el tiempo el circuito discriminador sin incluir los detectores de envolvente. Tomar un generador sinusoidal de frecuencia portadora: $f_c = 200\text{KHz}$. Dibujar la señal en el punto C con respecto de masa, y las señales diferenciales entre los puntos $A-C$ (V_{AC}) y $B-C$ (V_{BC}). Medir el defasaje entre las señales y representar el diagrama fasorial de las tres tensiones.

Ejercicio 25. Repetir el ejercicio anterior dando un desplazamiento a la frecuencia del generador de: $\pm 20\text{KHz}$. En cada caso medir el defasaje entre las señales y representar el diagrama fasorial.

Ahora vamos a estudiar el demodulador completo.

Ejercicio 26. Simular el discriminador completo en el tiempo añadiendo los detectores de envolvente (diodos D1N914). Tomar un generador sinusoidal de frecuencia: $f_c = 200\text{KHz}$. Representar las señales en los puntos D y E (respecto a masa), y la señal de salida V_{sal} . ¿Ha obtenido una señal de salida nula?. Ajustar el valor de la capacidad C_2 hasta obtener una tensión lo más próxima a cero posible. Indicar el valor de la capacidad obtenido.

Ejercicio 27. Repetir el ejercicio anterior dando un desplazamiento a la frecuencia del generador de: $\pm 20\text{KHz}$. Dibujar las tres señales anteriores en los dos casos. ¿Qué señal obtiene a la salida (V_{sal}) en cada caso?. ¿Funciona correctamente el discriminador?

Ejercicio 28. Sustituya el generador sinusoidal por el generador modulado en frecuencia (VSFFM). Tomar como frecuencia de moduladora $f_m = 5\text{KHz}$, e índice de modulación $\beta = 5$. Dibujar la tensión de salida indicando si se recupera correctamente la señal moduladora.