

PRÁCTICA 1: COMUNICACIONES ANALÓGICAS.

Índice de la práctica

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	2
1.1 TEORÍA NECESARIA.....	2
1.2 INICIO DE LA APLICACIÓN	2
3. MODULACIÓN DBL	4
3.1 COHERENCIA DE OSCILADORES.....	4
3.2 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN DBL	5
4. MODULACIÓN AM.....	7
4.1 INDICE DE MODULACIÓN.....	7
4.3 DEMODULACIÓN Y SNR	9
5. MODULACIÓN FM	12
5.1 TIEMPO Y FRECUENCIA.....	12
5.2 DEMODULACIÓN EN PRESENCIA DE RUIDO	14

1. Introducción y objetivos

El objetivo de la práctica es analizar el comportamiento de las principales modulaciones analógicas. En concreto se pretende estudiar sus formas de onda en el dominio del tiempo, su espectro, sus parámetros fundamentales y sus procedimientos de demodulación.

La práctica está pensada para desarrollarse a lo largo de dos horas, incluyendo los 10 minutos para el cambio de aula y los 15 minutos para el test final. La práctica está dividida en tres partes:

1.- Modulación DBL (máximo 25 minutos). Ilustra el aspecto de esta modulación en el tiempo y en la frecuencia, así como el importante concepto de demodulación coherente.

2.- Modulación AM (máximo 35 minutos). Se muestra el efecto del índice de modulación sobre la forma de onda, el espectro y la eficiencia de potencia. Se analizan distintas técnicas de demodulación.

3.- Modulación FM (máximo 30 minutos). Se muestra el efecto sobre la forma de onda y el espectro de los diferentes parámetros. Se analiza también la demodulación en presencia de ruido y el efecto umbral.

Los tiempos máximos indicados contemplan 5 minutos adicionales para repasar los resultados, antes del test.

1.1 Teoría necesaria

La teoría necesaria para la realización de la práctica es la contenida en el Tema 3 de los apuntes de la asignatura, disponibles en el servidor moodle de la misma.

1.2 Inicio de la aplicación

La práctica se realiza ejecutando una aplicación codificada en Matlab. El código de la aplicación se encuentra en un disco compartido en la red del laboratorio. Para ejecutar la aplicación será necesario copiarse todos los archivos a un directorio local. Al inicio de la clase se explicará el procedimiento para realizar esta operación, por lo que es conveniente acudir puntual al laboratorio.

Una vez copiado el software al disco local, la práctica se realiza iniciando Matlab y posteriormente tecleando, en la ventana de comandos:

>> Practical

Aparecerá la siguiente ventana en la que en la parte superior se despliegan los diferentes menús que dan acceso a cada una de las partes de la práctica, y que se describen en los capítulos posteriores de este manual.



Figura 1. Interfaz gráfica del programa principal

3. Modulación DBL

Tiempo máximo: 25 minutos

3.1 Coherencia de osciladores

El objetivo de esta parte de la práctica es comprender el concepto de coherencia entre osciladores, imprescindible para abordar la demodulación coherente, necesaria en la DBL.

En la pantalla del programa principal seleccione en la barra de menú: Modulación *DBL* > *Coherencia de osciladores*. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:

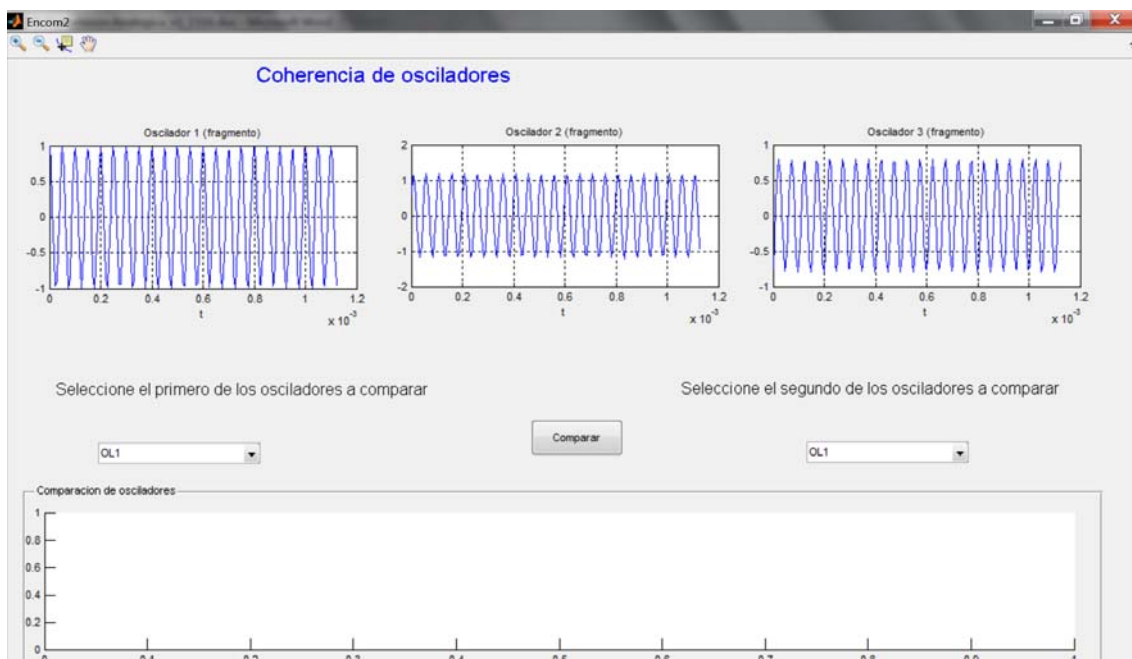


Figura 4. Interfaz gráfica del experimento “Coherencia de Osciladores”

La práctica analiza la señal de tres osciladores diferentes, todos de 20 KHz, y amplitudes similares. Estos tres osciladores se utilizarán luego para modular y demodular una señal en DBL. El objetivo de este experimento es determinar si los osciladores son coherentes entre sí.

Para ello debe seleccionar un oscilador en el menú desplegable de la izquierda y otro en el de la derecha. Pulsando el botón “Comparar” los presentará ambos simultáneamente en la gráfica de abajo. Para poder observarlos adecuadamente deberá hacer zoom sobre un fragmento suficientemente pequeño de la gráfica. Utilizando la herramienta “mano” desplácese por la gráfica y observe la relación de fases entre los dos osciladores a comparar.

Rellene el cuadro siguiente indicando:

P: Los dos osciladores comparados son coherentes en fase

F: Los dos osciladores comparados son coherentes sólo en frecuencia (es decir, mantienen una diferencia de fases constante entre ellos)

X: Los dos osciladores comparados no son coherentes entre sí

	OL2	OL3
OL1		
OL2		

3.2 Modulación y demodulación DBL

En la **pantalla** del programa principal seleccione ahora Modulación *DBL* > *Modulación y demodulación*. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:

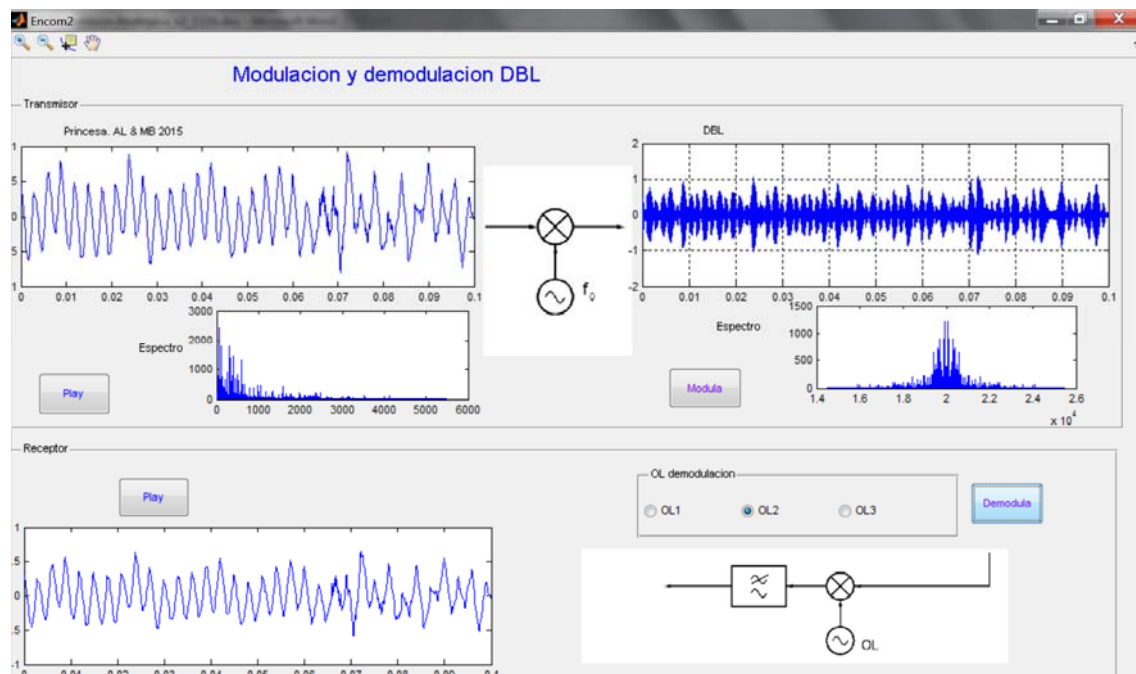


Figura 5. Interfaz gráfica del experimento “Modulación y Demodulación. DBL”

Al igual que antes, al iniciar la ventana, muchas de las gráficas aparecerán vacías.

La señal de arriba a la izquierda es la señal mensaje, la información que se desea transmitir. Se trata de una señal de audio, que puede escuchar con unos auriculares, pulsando el botón “Play”. Es interesante que lo haga para poder comparar con la calidad subjetiva obtenida tras la demodulación.

A continuación pulse el botón “Modular” y se generará una señal modulada en DBL. Para generar esta modulación se utiliza uno de los osciladores analizados en el experimento anterior. Sobre esta señal haga lo siguiente:

1.- Observación en el dominio del tiempo. Haga zoom sobre un mismo intervalo de 0.01 s de duración, tanto en la señal mensaje como en la señal DBL. Observe la relación que existe entre las formas de onda de ambas señales.

2.- Inversiones de fase. Busque un punto en el que la señal mensaje cruce por cero y haga zoom en la señal modulada en torno a ese instante de tiempo. Haga zoom hasta que cada ciclo de la portadora ocupe aproximadamente una división temporal. Observe la situación de los máximos y los mínimos de la señal en cada división temporal, antes y después del instante del nulo de la señal mensaje. Observe cómo se produce una inversión en la fase de la señal al producirse ese cruce por cero.

3.- Observación del espectro. Observe el espectro de la señal original y de la señal DBL y determine la relación entre ambos. En particular haga zoom en torno a la frecuencia cero de la señal de audio y en torno a la frecuencia central de la DBL. Observe que la señal de audio no tiene componente de DC ni en frecuencias muy bajas, lo que provoca un cierto “vacío” en el espectro DBL en torno a la frecuencia de portadora. Observe también como es una DBL pura, sin ninguna presencia de portadora.

En la parte de debajo de la ventana se observa el típico receptor coherente. El programa permite demodular la señal utilizando cualquiera de los tres osciladores OL1, OL2 y OL3, estudiados en el experimento anterior. Pruebe con cada uno de ellos a demodular la señal. A la izquierda puede observar la forma de onda obtenida y también (pulsando el botón Play) escuchar la señal demodulada.

Observe y escuche la señal demodulada con cada uno de los tres posibles OLs. Observe tanto la calidad de la reproducción como el nivel de la misma. Deduzca cuál fue el oscilador utilizado en la generación:

Oscilador utilizado para modular:

Explique la razón del resultado obtenido al demodular con cada uno de los OLs:

OL1:.....
.....
.....

OL2:.....
.....
.....

OL3:.....
.....
.....

4. Modulación AM

Tiempo máximo: 35 minutos

4.1 Índice de modulación

El objetivo de esta parte de la práctica es comprender la influencia de las diferentes constantes de la modulación en la forma de onda y el espectro de la modulación AM.

En la pantalla del programa principal seleccione en la barra de menú: Modulación AM > *Índice de Modulación*. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:

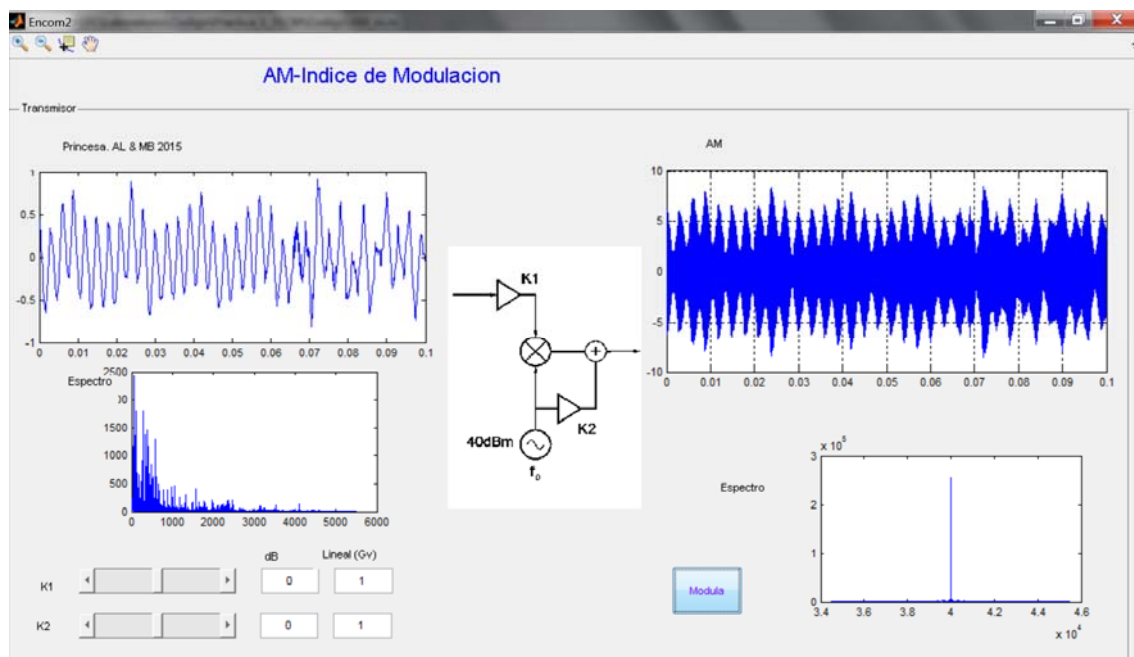


Figura 6. Interfaz gráfica del experimento “AM- Índice de Modulación”

Se ha utilizado la misma señal de audio que antes, para observar mejor las diferencias, aunque ahora se ha elegido una frecuencia portadora de 40KHz. Pulsando el botón “Modula” se genera la señal AM.

Sobre esta pantalla realice los siguientes ejercicios:

1.- Observación de la señal. Haga zoom sobre un mismo intervalo de 0.01 s de duración, tanto en la señal mensaje como en la señal AM. Observe la relación que existe entre las formas de onda de ambas señales. Observe también el espectro y la fuerte presencia de portadora. Haga zoom para ver la relación que existe con el espectro de la señal original y con el de la DBL.

2.- Influencia de K1 y K2. Modifique los valores de K1 y K2 usando cualquiera de las opciones de entrada disponibles (barra deslizante, valor en dB o valor en unidades lineales). Pulsando “Modula” se generarán distintas modulaciones AM. Observe la

influencia de cada una de las constantes en la forma de onda en el dominio del tiempo y en el espectro.

Sabiendo que una señal AM responde a la expresión:

$$y(t) = A_c \cdot [1 + m \cdot x_N(t)] \cdot \cos \omega_0 t = A_c \cdot \left[1 + m \cdot \frac{x(t)}{|x(t)|_{\max}} \right] \cdot \cos \omega_0 t$$

Compruebe las expresiones indicadas para A_c y m en función de K_1 y K_2 (en unidades lineales). Asuma que todas las impedancias de carga son de 1Ω . Puede comprobar que las expresiones obtenidas son coherentes con las observaciones anteriores ($|x(t)|_{\max} = 0.64$).

$$A_c = K_2 \cdot \sqrt{20} \quad m = \frac{K_1}{K_2} \cdot 0.64$$

3.- Diferentes índices de modulación. Deje $K_2=1$ (0dB) y de K_1 los valores 0.2 y 0.8 (en unidades lineales). Module la señal en cada uno de los casos y determine el índice de modulación experimentalmente sobre la señal modulada, usando el valor mínimo de la envolvente, haciendo uso de la relación: $r_{\min} = A_c \cdot (1 - m)$. Rellene la tabla siguiente:

NOTA: Basta con que lo haga para uno de los valores de K_1 . El otro es OPTATIVO.

	$K_1=0.2$	$K_1=0.8$
m calculado con la expresión del experimento 2		
m calculado usando la envolvente mínima		

4.- Potencia. Usando las fórmulas desarrolladas en el experimento 2 genera una señal con una potencia de portadora de 100 W y un índice de modulación de 0.5. Observe como la envolvente fluctúa aproximadamente un 50% respecto a su valor promedio. Indique los valores que ha utilizado:

$K_1(\text{dB})=$ $K_2(\text{dB})=$

5.- Sobremodulación. Ponga $K_2=0.5$ (-6dB). Determine el valor de K_1 que produciría sobremodulación. Ponga ese valor de K_1 y module, y observe si se produce sobremodulación en algún punto de la señal AM

K_1 utilizado=.....

Ponga un valor de K_1 algo superior al calculado anteriormente. Seleccione un mismo intervalo de 0.01s en la señal mensaje y en la señal modulada y observe como se produce la sobremodulación en esta última, en los instantes en los que la señal mensaje pasa por sus valores mínimos

4.3 Demodulación y SNR

El objetivo de esta parte de la práctica es estudiar el efecto de los diferentes parámetros sobre la calidad AM en canales con ruido, así como comprender las diferencias de prestaciones entre un demodulador coherente y un detector de envolvente,

En la pantalla del programa principal seleccione en la barra de menú: Modulación AM > Demodulación. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:

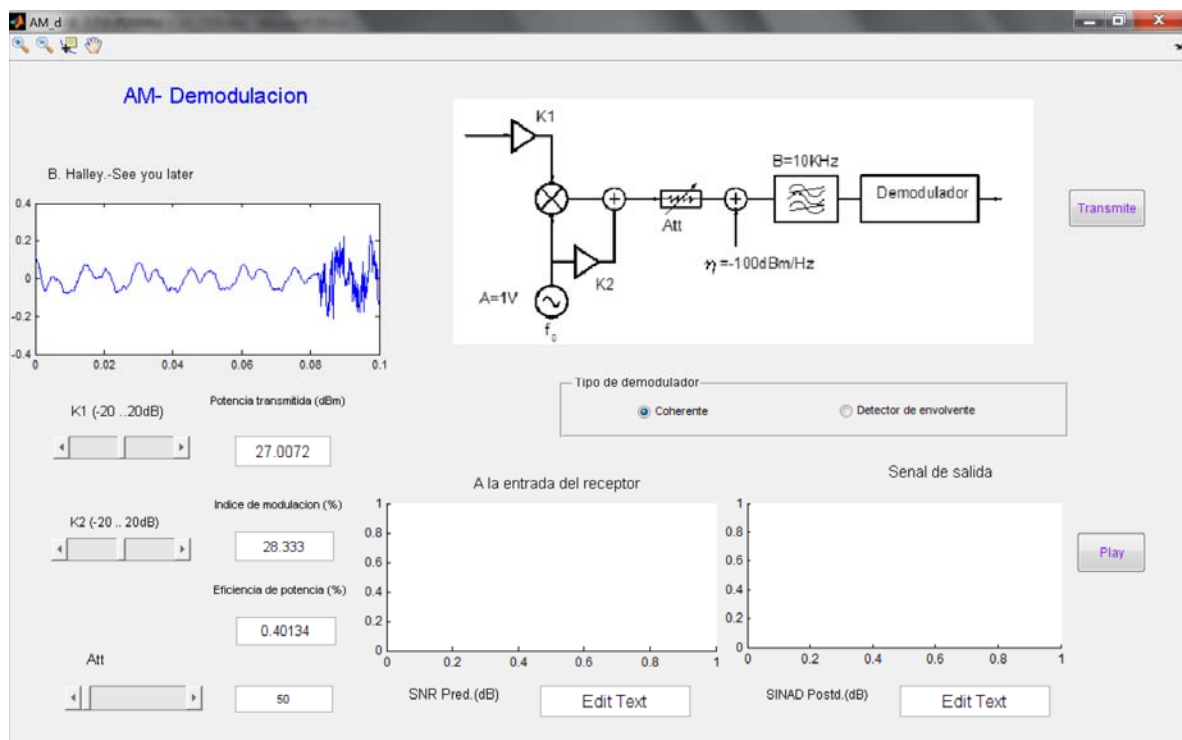


Figura 8. Interfaz gráfica del experimento “AM- Demodulación”

La herramienta simula el proceso de transmisión/recepción de una señal AM. Al igual que en los casos anteriores se pueden variar K_1 y K_2 , pero también el tipo de detector y la atenuación del enlace.

Tal como ocurre en los receptores reales, el demodulador incorpora un “control de volumen” que genera una amplitud de salida aproximadamente igual en todas las situaciones. Debido a ello los datos de atenuación o de K_1 no afectan apenas a la amplitud de la señal de salida, pero sí afectarán a la relación señal a ruido.

La herramienta incorpora un medidor de SINAD que estima la calidad de la salida comparándola con la señal transmitida. Esta medida integra todas las fuentes de perturbación que se puedan producir, no sólo ruido, sino también la distorsión, si la

hubiese. También permite escuchar la señal demodulada para observar la calidad subjetiva de la señal.

Para realizar cálculos tenga en cuenta los siguientes datos de la señal mensaje: $W=5\text{KHz}$

Sobre esta pantalla realice los siguientes ejercicios:

1.- Cálculo teórico (Optativo). Con los parámetros por defecto que aparecen al arrancar la herramienta, determine las SNR teóricas de predetección y de postdetección, en decibelios, y compruebe que coinciden con las obtenidas numéricamente por la simulación:

$$SNR_{pred} = z/2; SNR_{pred}(dB) = P_{TX}(dBm) - Att(dB) - 3 - \eta(dBm/Hz) - 10 \cdot \log(W)$$

$SNR_{pred} =$

$$SNR_{post} = E_p \cdot z; SNR_{post}(dB) = SNR_{pred}(dB) + 3dB + 10 \cdot \log(E_p)$$

$SNR_{post} =$

Observe gráficamente la señal demodulada y escúchela. Observe también que apenas hay diferencia en usar un receptor coherente o uno de envolvente (no olvide presionar “Transmite”) antes de observar ningún resultado

2.- Efecto de la portadora.

a) Receptor coherente: Incremente ahora la potencia de portadora, aumentando K_2 (y presionando “Transmite”). Observe como puede mejorar mucho la SNR de predetección, pero la calidad final no varía, ya que la portadora no lleva información de la señal mensaje. Observe que en función de la cantidad de portadora que transmita puede conseguir la misma calidad de salida, consumiendo potencias transmitidas muy diferentes. Observe también que el hecho de que haya sobremodulación (cuando ocurra) no afecta en nada al sistema ni a su calidad.

b) Detector de envolvente: Repita el experimento a) pero con detector de envolvente. Observe que aumentar la potencia de portadora produce exactamente el mismo efecto que antes. Sin embargo, al disminuir la potencia de portadora podemos entrar en sobremodulación, que se apreciará en los picos negativos de la señal. Ahora al producirse sobremodulación se genera una distorsión que afecta muy negativamente a la SINAD.

Escuche la señal demodulada. Es curioso observar que, en ciertos tipos de música (principalmente rock), algunos tipos de distorsión (si es moderada) no resultan tan desagradables como indica el valor de SINAD, y de hecho, en ocasiones los instrumentistas la generan voluntariamente como un efecto musical. Pruebe el efecto

generando grandes distorsiones. La herramienta permite generar una sobremodulación de casi 3000%

3.- Mejora de la calidad (Optativo). Seleccione el detector de envolvente y una atenuación de 50dB. Actúe sobre los demás controles hasta obtener el máximo valor posible de SINAD, pero con la limitación de que la potencia transmitida no sea mayor de 40dBm. Indique en la tabla siguiente qué valores ha utilizado y qué criterios ha seguido.

NOTA: Tenga en cuenta que el “valor máximo” es algo desconocido en la práctica. En esta herramienta se ha tomado el criterio de llamar “máximo” al valor no superado más de un 0.1% del tiempo. Eso significa que cuando la herramienta reporta un índice de modulación del 100%, en realidad hay sobremodulación en un 0.1% de tiempo, lo que afectará negativamente a la medida de SINAD.

Potencia transmitida (dBm)	
Índice de modulación (%)	
Eficiencia de potencia (%)	
SNRpred (dB)	
SNRpost (dB)	
Criterios utilizados	

Si ha realizado bien el ejercicio anterior habrá obtenido una SNR final cercana a los 36dB. Escuche la calidad de esta señal y observe como el ruido todavía se percibe, especialmente cuando la música está en silencio.

5. Modulación FM

Tiempo máximo: 30 minutos

5.1 Tiempo y Frecuencia

El objetivo de esta parte de la práctica es observar el aspecto de la modulación FM en los dominios del tiempo y la frecuencia así como la influencia de la constante de modulación en la forma de onda y el espectro.

En la pantalla del programa principal seleccione en la barra de menú: Modulación FM > *Tiempo y Frecuencia*. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:

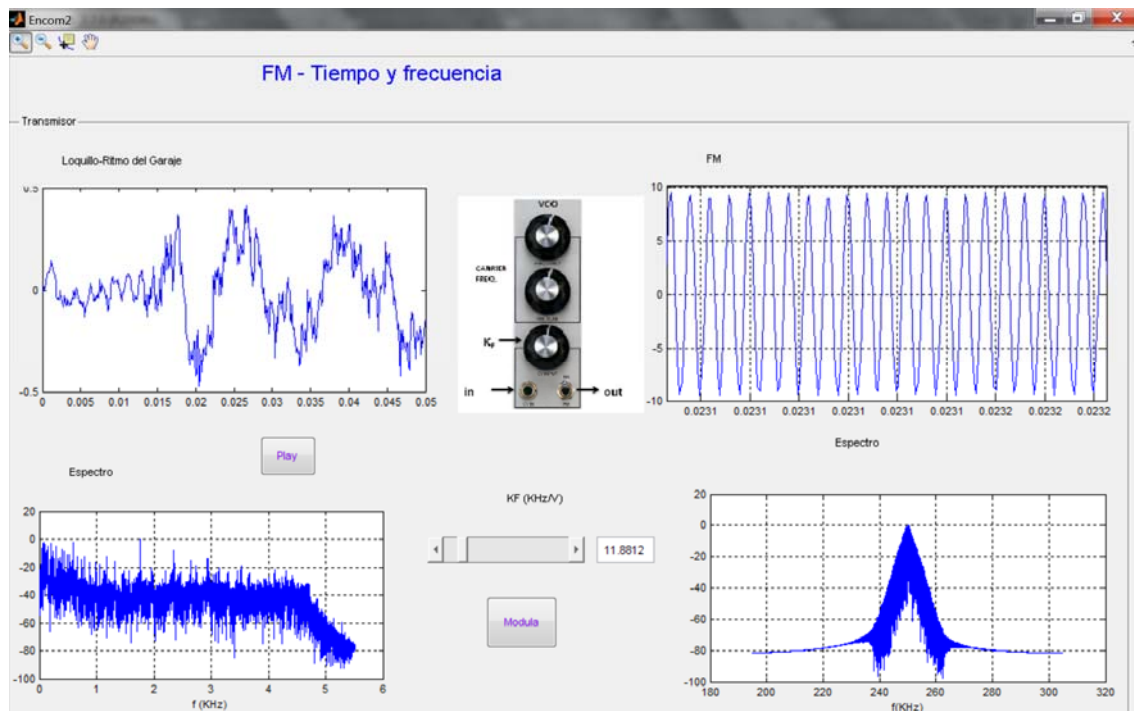


Figura 9. Interfaz gráfica del experimento “FM- Tiempo y Frecuencia”

Sobre esta pantalla realice los siguientes ejercicios:

1.- Observación básica. Haga variar el valor de K_F y observe los siguientes efectos:

- La señal en el tiempo siempre tiene envolvente constante
- Para $K_F=0$ la portadora está sin modular, siendo una senoide pura de 250KHz, sin ancho de banda.
- Al aumentar K_F el ancho de banda aumenta.

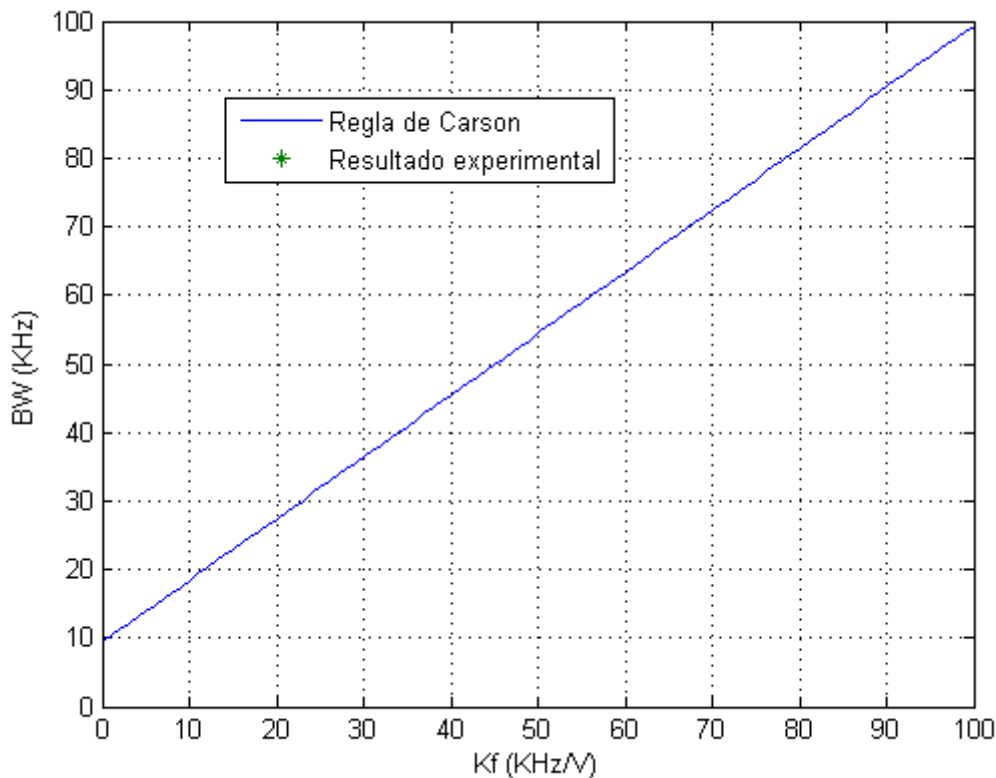
2.- Ancho de banda. (Para este experimento se calcularán todos los anchos de banda, medidos a 40dB del valor máximo). En este experimento se trata de observar la variación del ancho de banda al aumentar K_F y la validez de la aproximación de la regla de Carson.

2.1 Ancho de banda teórico. Teniendo en cuenta que $W=4.7\text{KHz}$ (a 40dB) y que $x_{\text{máx}}=0.47$ (valor superado sólo el 0.1% del tiempo), la regla de Carson predice un ancho de banda ocupado de:

$$BW_{\text{Carson}} = 2 \cdot (f_D + W) = 2 \cdot (0.45 \cdot K_F + 4.7) (\text{KHz}) = 9.4 + 0.9 \cdot K_F (\text{KHz})$$

Esta curva aparece representada en la siguiente figura

2.2 Ancho de banda experimental. Genere la señal modulada para valores de K_F de 25 KHz/V, 50 KHz/V, 75 KHz/V y 100 KHz/V, y determine sobre el espectro el ancho de banda generado a 40dB. Lleve los puntos medidos sobre la gráfica de más abajo, para comparar el resultado simulado con el teórico.



3.- Frecuencia instantánea. Seleccione el máximo valor de K_F . Busque en la señal mensaje el punto de menor valor. Analice la señal modulada en el dominio del tiempo, y mida la frecuencia instantánea en dicho instante. Para ello deberá contar 10 ciclos de la señal y determinar aproximadamente el periodo de la misma.

Tenga en cuenta que la precisión de la lectura directa en pantalla puede ser insuficiente para hacer una medida precisa del periodo de la señal. Para ello resulta muy útil la ventana de "Referencia temporal". Tecleando en esa ventana el instante de tiempo en

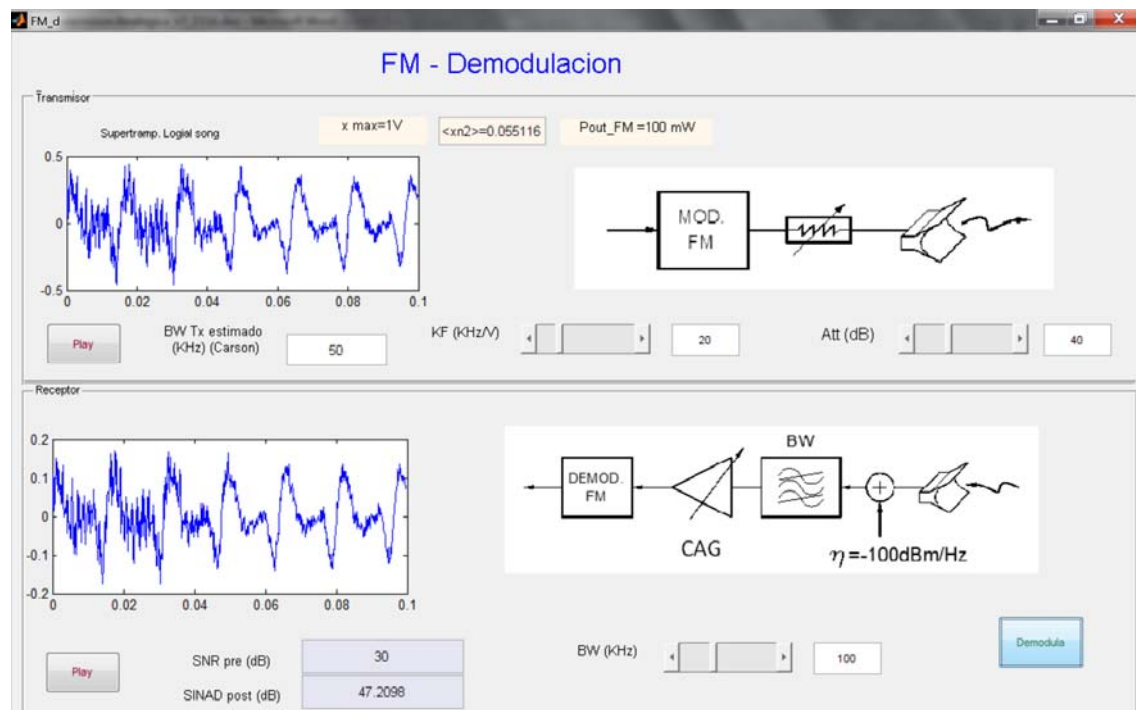
torno al cual queremos observar la señal, dibuja la gráfica respecto a ese nuevo eje de tiempos. Esto será necesario para conseguir un buen resultado.

Rellene la tabla adjunta:

	Instante de tiempo	Valor de la señal mensaje	Valor teórico de la frec. instantánea ($f_0 + K_F x$)	Valor medido de la frec. instantánea
Valor mínimo de la señal mensaje				

5.2 Demodulación en presencia de ruido

El objetivo de esta última parte es analizar el comportamiento de la FM en presencia de ruido. En la pantalla del programa principal seleccione en la barra de menú: Modulación FM > Demodulación.. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:



El bloque marcado como CAG (Control Automático de Ganancia) es un amplificador interno que compensa exactamente la atenuación introducida por el canal, de forma que la atenuación del enlace no va a afectar a la amplitud de la señal de salida, pero sí a su SNR.

Sobre esta pantalla realice los experimentos siguientes:

1.- SNR teórica. El objetivo de este experimento es comprobar mediante simulación, la expresión teórica de la calidad FM. Seleccione los siguientes parámetros en la herramienta: $K_F=20$ KHz/V, $Att=40$ dB. Ponga asimismo, el ancho de banda del filtro de recepción al doble del ancho de banda estimado por la regla de Carson y pulse el botón para demodular.

La herramienta reporta las SNRs de pre y postdetección (estimada numéricamente por comparación con la señal original). También puede escuchar las señales emitida y recibida.

En la pantalla están todos los datos necesarios para el cálculo teórico de las SNRs. Compruebe si las expresiones teóricas coinciden con el resultado de la simulación. Tome $W=5$ KHz, que es el ancho de banda utilizado en el filtro de postdetección del demodulador.

Teoría		Simulación	
$SNR_{pred} = \frac{P_{TX}}{A_{tt} \cdot \eta \cdot BW_{RX}}$	30dB		SNR _{pred} (dB)
$SNR_{post} = 3 \cdot \left(\frac{f_D}{W} \right)^2 \langle x_N^2 \rangle \cdot \frac{P_{TX}}{Att \cdot \eta \cdot W}$	47.23 dB		SINAD _{post} (dB)

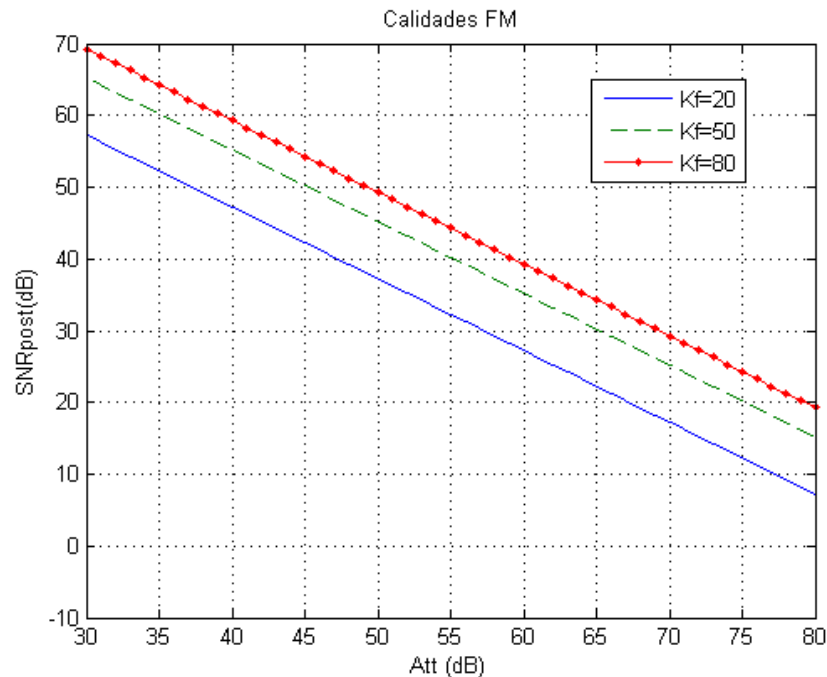
2.- Efecto del ancho de banda de predetección. Como se observa en las expresiones anteriores, la calidad final de FM en principio no depende del ancho de banda del filtro de entrada al receptor. Mantenga los valores $K_F=20$ KHz/V, $Att=40$ dB del ejercicio anterior.

2.1 Aumente el ancho de banda del filtro de predetección y pulse demodular. Observará que la SINAD de postdetección no varía. Observará también que la SNR de predetección sí se ve afectada, aunque para los valores seleccionados se mantiene suficientemente alta

2.2 Ahora disminuya el ancho de banda del filtro. Observará que mientras mantenga el ancho de banda claramente por encima del ancho estimado de la señal transmitida (por Carson) todo va bien. Pero cuando empieza a poner un ancho de banda demasiado pequeño, la cifra de SINAD baja rápidamente. En este caso está produciendo distorsión por no dejar pasar toda la señal completa. Genere una señal con una distorsión fuerte y observe cómo cambia la forma de onda y el sonido.

3.- Efecto umbral (Optativo). El objetivo de este experimento es observar el efecto umbral y el margen de la expresión teórica de la calidad de postdetección. Para ello se han usado tres valores de K_F : 20, 50 y 90 KHz/V. En cada uno de los casos se ha utilizado un filtro de entrada al receptor, un 50% mayor que el ancho de banda estimado por Carson, para evitar distorsiones. Las tres gráficas de la figura siguiente presentan el

valor de la SNR de postdetección calculado con la expresión teórica, para diferentes valores de la atenuación.



Ejecute la herramienta con los datos anteriores y rellene la tabla siguiente. Lleve los valores obtenidos a la gráfica anterior y compare la expresión teórica con el resultado obtenido en la simulación. Para una mejor representación puede determinar puntos adicionales con otros valores de atenuación.

Att(dB)	SINADpost $K_F=20\text{KHz/V}$	SINADpost $K_F=50\text{KHz/V}$	SINADpost $K_F=80\text{KHz/V}$
40			
50			
60			
70			

Intente determinar, para cada caso el punto aproximado donde la expresión de la SNR teórica deja de ser válida (el umbral). Anote la relación SNR de predetección en dicho punto.

SNR de predetección umbral (dB)	$K_F=20\text{KHz/V}$	$K_F=50\text{KHz/V}$	$K_F=80\text{KHz/V}$