

## PRÁCTICA 0: HERRAMIENTAS.

### Índice de la práctica

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	2
1.1 TEORÍA NECESARIA.....	2
1.2 INICIO DE LA APLICACIÓN .....	3
2. ENVOLVENTE COMPLEJA.....	5
3. DISTORSIÓN Y RETARDOS .....	8
4. SINAD .....	12

# 1. Introducción y objetivos

El objetivo de la práctica es aprender la correcta utilización de las herramientas básicas para analizar señales, ruido y distorsión, y el cálculo de la calidad de una señal.

La práctica está pensada para desarrollarse a lo largo de dos horas, incluyendo los tiempos consumidos en iniciar y familiarizarse con la aplicación (20 minutos, incluyendo los correspondientes al cambio de hora), y los 15 minutos para el test final. La práctica está dividida en tres partes:

**1.- Envoltente compleja** (máximo 30 minutos). Pretende ayudar al alumno a asimilar los conceptos y herramientas de señales paso banda.

**2.- Distorsión y retardos** (máximo 25 minutos). Ilustra los conceptos de retardo de grupo y retardo de fase. También analiza el comportamiento de la distorsión lineal y cómo se ve afectada por la respuesta en frecuencia y el ancho de banda de la señal.

**3.- SINAD** (máximo 25 minutos). Se muestra el efecto combinado de fenómenos de ruido, distorsión e interferencia y cómo afectan a la calidad total, de manera objetiva y subjetiva.

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

## 1.1 Teoría necesaria

La mayor parte de la teoría necesaria para la realización de la práctica es la contenida en los Temas 1 y 2 de los apuntes de la asignatura, disponibles en el servidor moodle de la misma. Sólo se necesita, para la realización de la práctica, un concepto adicional: el de frecuencia instantánea:

Sea una señal paso banda  $y(t)$ :

$$y(t) = r(t) \cdot \cos[2\pi f_c t + \phi(t)] = r(t) \cdot \cos[\theta(t)]$$

Se denomina *frecuencia instantánea* de esta señal a:

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt} = f_c + \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} = f_c + f_d(t)$$

donde  $f_d(t)$  se denomina desviación instantánea de frecuencia.

Si  $\phi(t)$  varía lentamente,  $y(t)$  puede verse a intervalos cortos como una senoide de frecuencia  $f_i(t)$ , como se refleja en la figura 0.

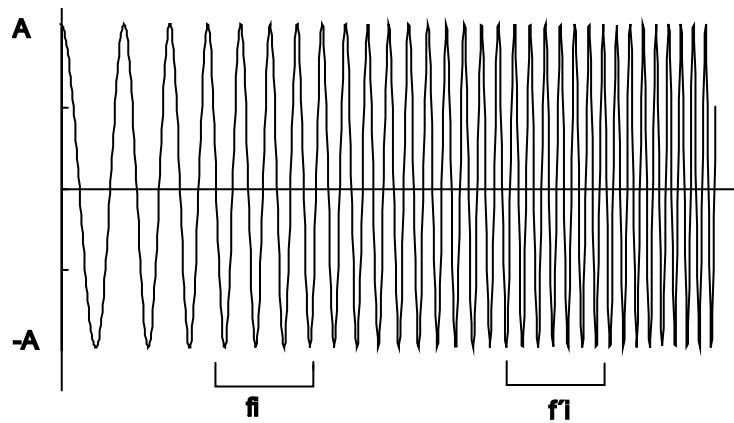


Figura 0. Frecuencia instantánea de una señal cuya fase varía lentamente

## 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:

```
>> Practica0
```

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

## 2. Envolverte compleja

*Tiempo máximo: 30 minutos*

En la pantalla del programa principal seleccione en la barra de menú: Envolverte compleja. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:

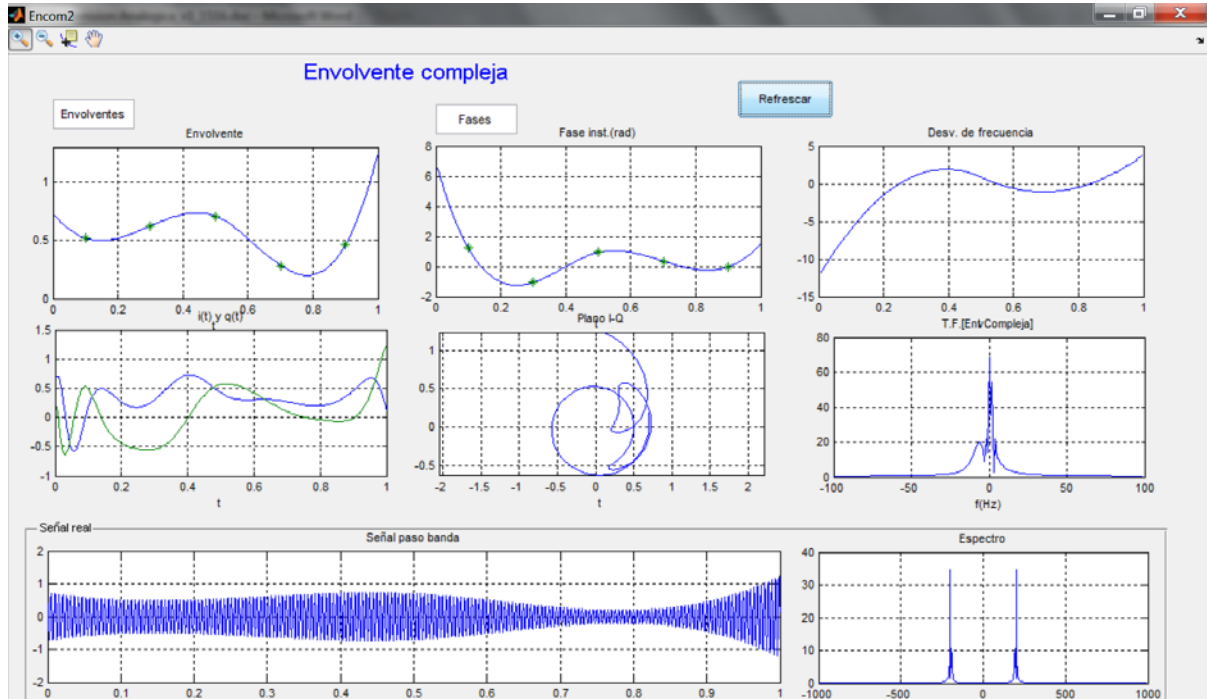


Figura 2. Interfaz gráfica del experimento “Envolverte Compleja”

En realidad, el aspecto anterior lo tienen la ventana tras presionar el botón “Refrescar” en el que se genera una señal paso banda con envolverte y fase aleatorias. Sobre esta pantalla realice los siguientes ejercicios.

**1.- Observación de la señal paso banda a pequeña escala** Haga zoom sobre la señal paso banda mostrando sólo unos pocos ciclos de la señal. Observe como a esta escala es una señal sinusoidal. Desplácese a lo largo de la señal con la herramienta “mano” y compruebe la coincidencia entre la amplitud de la señal y la gráfica que muestra la envolverte .

**2.- Observación de espectros.** Sobre la gráfica anterior, determine “grosso modo” la frecuencia de la señal y observe que es coherente con el espectro mostrado de la señal paso banda. Observe el espectro de la envolverte compleja y el hecho de que no es simétrico (debido a que es una señal compleja). Describa qué relación observa entre la T.de Fourier de la señal paso banda real y de su envolverte compleja.

.....  
 .....  
 .....

**3.- Generación de una senoide pura.** Borre los contenidos de las ventanas donde pone “Envolventes” y “Fases” y substitúyalos por un vector de **cinco elementos** de amplitud y de fase necesarios para generar una senoide pura a la frecuencia central. Para ello en la ventana de envolventes escriba [1 1 1 1 1] (y presione enter) y en la de fases [0 0 0 0 0]. Observe la señal generada en el tiempo y en la frecuencia y determine de manera exacta la frecuencia central

**4.- Fase y frecuencia instantáneas.** Borre el contenido de las ventanas de envolventes y fases y presione “Refrescar”. Observe la relación que existe entre la gráfica de fase instantánea y la de desviación de frecuencia instantánea. Refresque un par de veces la pantalla hasta que observe que la desviación de frecuencia tiene una variación (entre el máximo y el mínimo) de al menos 15 ó 20 Hz. Busque los instantes en los que la frecuencia instantánea es mayor y menor y observe la señal paso banda en los alrededores de esos instantes. Mida sobre esta última la frecuencia instantánea (utilice 3 ó 4 ciclos de la señal para tener mayor precisión) y compruebe que los valores son coherentes con los observados en la gráfica “Desviación de frecuencia”

**5.- Representación compleja (Optativo).** Observe la gráfica central donde se presenta la señal en el plano I-Q. Intente relacionar esa representación con las otras, en particular:

- Determine cual es el extremo donde se inicia la señal y cual donde termina
- Los puntos donde la componente I ó Q es máxima o mínima, y en qué instantes de tiempo ocurre
- Lo mismo para los puntos donde la fase instantánea pase por un máximo o mínimo local
- Lo mismo para la amplitud instantánea

Si lo desea, para futuras referencias, puede realizar este ejercicio sobre la figura 2 y anotar los resultados.

**6.- Generación de diferentes señales (Optativo).:** Rellene los 5 valores de envolvente y de fases para generar las diferentes señales que se piden a continuación. Apunte los valores que ha tenido que introducir para generar dichas señales. Tenga en cuenta que los valores de amplitud/fase están separados entre sí 0.2 segundos en el eje temporal.

- **Senoide de 199 Hz.** Intente generar una senoide pura de 199 Hz y amplitud 2 voltios.

Vector de amplitudes	Vector de fases

- **Chirp** Intente ahora generar una señal como la de la figura 3, cuya frecuencia instantánea vaya disminuyendo linealmente (al menos 60 Hz entre la inicial y la final) y su amplitud vaya decayendo. Observe el espectro y trate de justificar por qué tiene esa forma

Vector de amplitudes	Vector de fases

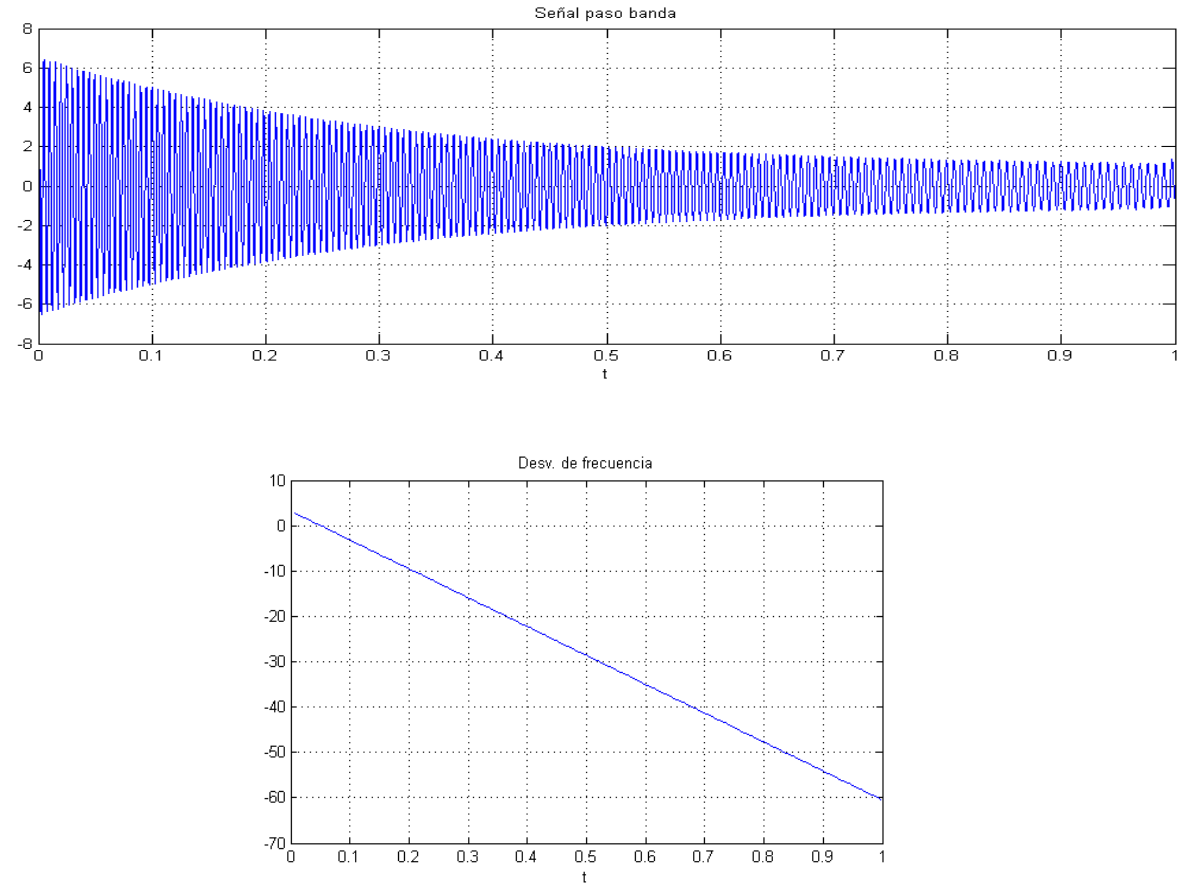


Figura 3. Señal chirp

Dibujo y comentarios sobre el espectro:

.....

.....

.....

.....

.....

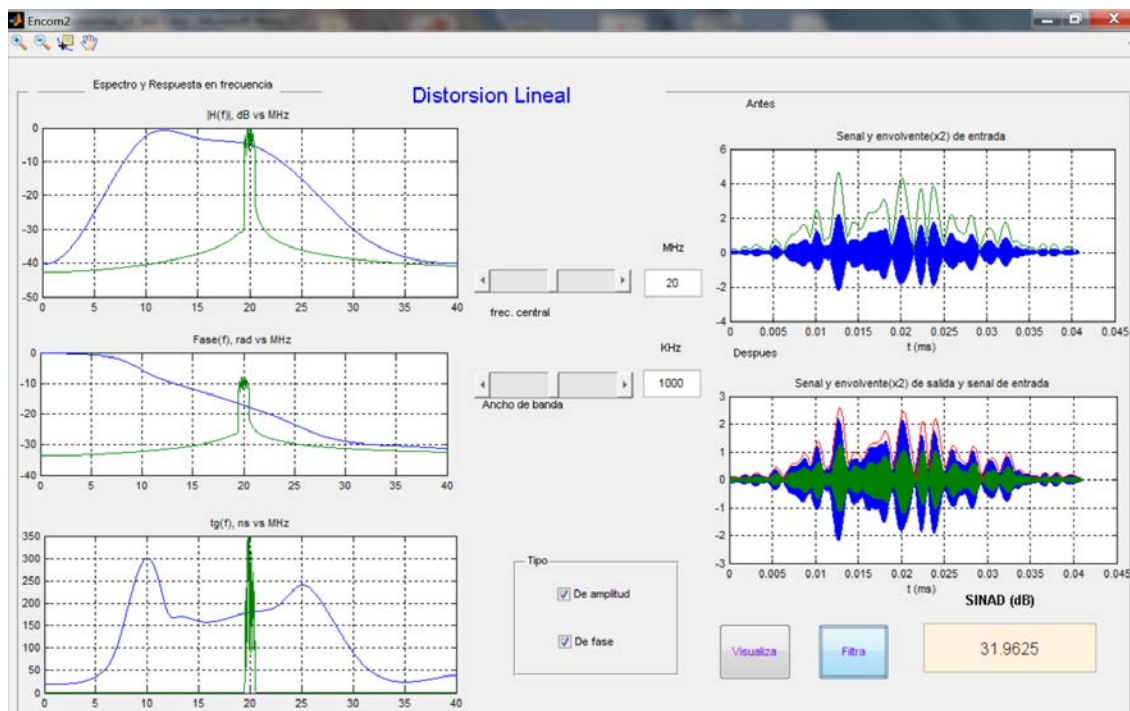
.....

### 3. Distorsión y retardos

*Tiempo máximo: 25 minutos*

El objetivo de esta parte de la práctica es comprender los conceptos de retardo de fase y de grupo, así como la distorsión lineal. En particular se estudiará el efecto de una distorsión lineal de amplitud y de fase sobre señales de diferente ancho de banda, observando de qué parámetros depende.

En la pantalla principal seleccione en la barra de menú: *Distorsión*. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:



**Figura 4. Interfaz gráfica del experimento “Distorsión y retardos”**

En esta parte de la práctica se van a pasar diferentes señales paso banda a través de un filtro con respuesta en frecuencia  $H(f)$ . La  $H(f)$  del filtro está representada por las tres gráficas de la izquierda (en azul). La primera es  $|H(f)|$  en decibelios, la segunda es la fase de la función de transferencia  $\Phi_H$  (en radianes), y la tercera es el retardo de grupo:

$$t_g(f) = \frac{-1}{2\pi} \cdot \frac{d\Phi_H}{df}$$

La herramienta permite generar una señal paso banda con una frecuencia central y un ancho de banda ajustables. Pulsando el botón “Visualiza”, se presenta la señal (en verde) en el dominio de la frecuencia, junto con la  $H(f)$ . Nótese que la escala vertical de las gráficas de la izquierda corresponde siempre a los datos de la  $H(f)$ , no de la señal. La representación de la señal nos permite simplemente observar qué parte del espectro ocupa, pero sus amplitudes son arbitrarias.



Pulsando el botón “Filtrar” el programa presenta a la derecha la señal generada en el dominio del tiempo, antes y después de atravesar el filtro. Como se ha dicho, se trata de una señal paso banda, por lo que también se presenta su amplitud instantánea  $r(t)$  (se presenta multiplicada por dos para mayor claridad en las gráficas). Al pulsar este botón, la herramienta también calcula la relación señal a distorsión (SINAD), comparando la señal de salida con la de entrada.

Sobre esta pantalla realice los experimentos siguientes:

**1.- Retardo de grupo.** Genera una señal centrada en la frecuencia de 10 MHz (donde el retardo de grupo es máximo). Pulse “Visualiza” para comprobar su ubicación en el dominio de la frecuencia, y luego “Filtrar” para ver las señales antes y después del filtro, en el tiempo. Observe con el zoom el punto donde la envolvente de la señal de entrada es máximo y apunte el instante de tiempo donde ocurre (utilice la herramienta “cursor”). Después haga lo mismo con la envolvente de la señal de salida. Compruebe como el retardo de grupo (tercera gráfica de la izquierda) se corresponde con el retardo de la envolvente y anote el resultado.

Retardo de grupo leído en la gráfica de la izquierda a la frecuencia de 10MHz	Retardo observado en el dominio del tiempo entre la envolvente de entrada y de salida

**2.- Retardo de fase.** Sin cambiar nada del experimento anterior haga un zoom ahora en la gráfica de abajo a la derecha, pero no en la envolvente, sino observando los ciclos individuales de la senoide. La señal de entrada aparece en azul y la de salida en verde. Mida nuevamente el retardo entre la entrada y la salida. Observe que es distinto a del caso anterior. Calcule también este retardo de fase (o de portadora) con la fórmula teórica, utilizando la fase de inserción del filtro  $\Phi(f)$  que puede leer en la gráfica de la izquierda:

$$t_p = -\frac{1}{2\pi} \frac{\Phi(f_0)}{f_0}$$

Anote los resultados.

Retardo calculado con la fórmula teórica	Retardo observado en el dominio del tiempo entre la señal de entrada y la de salida (ciclos sinusoidales)

**3.- Distorsión de amplitud.** Desactive la opción “Distorsión de fase”, para observar sólo la distorsión de amplitud. Manteniendo el ancho de banda de la señal en 1 MHz, busque una frecuencia central (entre 10 y 15 MHz) que produzca la menor distorsión de amplitud posible. Indique el criterio que ha seguido en la búsqueda:

.....  
 .....

Indique la distorsión que ha conseguido, medida tanto como variación de amplitud en el ancho de banda (en dB) como en SINAD (también en dB)

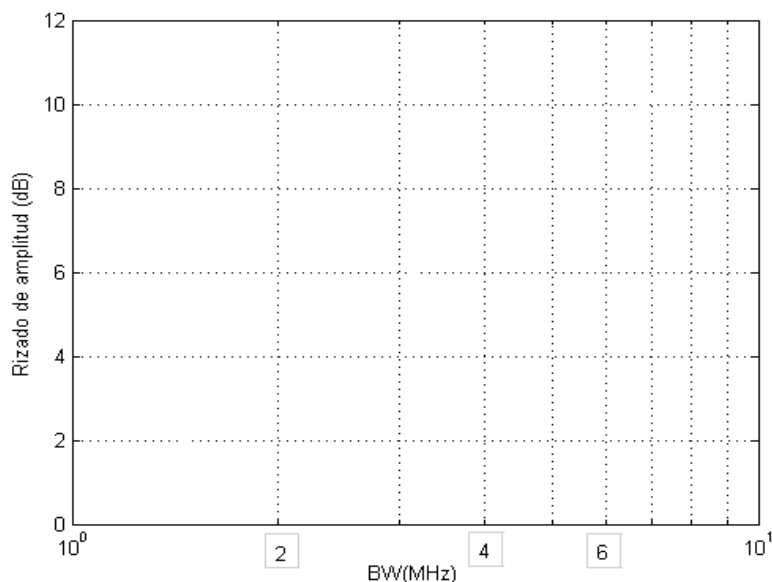
Variación en dB del $ H(f) $ , en dB.	SINAD medida (en dB)

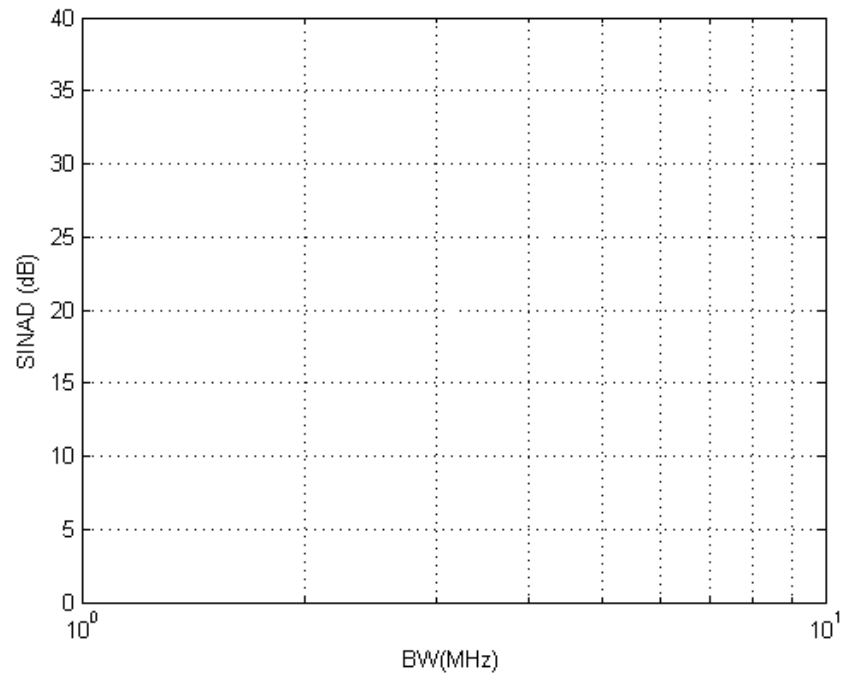
**4.- Distorsión de fase (Optativo).** Active ahora la opción “Distorsión de fase” y desactive la de amplitud. Observará que no está en la mejor frecuencia central posible para la distorsión de fase. Centre la señal en una frecuencia que sea óptima para reducir la distorsión de fase. Al igual que antes, indique el criterio que ha seguido y anote la distorsión (como variación de  $t_g$  en el ancho de banda) y la SINAD.

**Criterio:**.....  
 .....

Variación de $tg(f)$ , en ns.	SINAD medida (en dB)

**5.- Efecto del ancho de banda.** Active nuevamente la distorsión de amplitud y desactive la de fase. Seleccione ahora una frecuencia central de 20 MHz, y varíe el ancho de banda dándole los valores 1, 2, 4 y 8 MHz. Determine la distorsión de amplitud (rizado en dB) y la SINAD (en dB) para cada ancho de banda, y represente los resultados en las gráficas adjuntas.

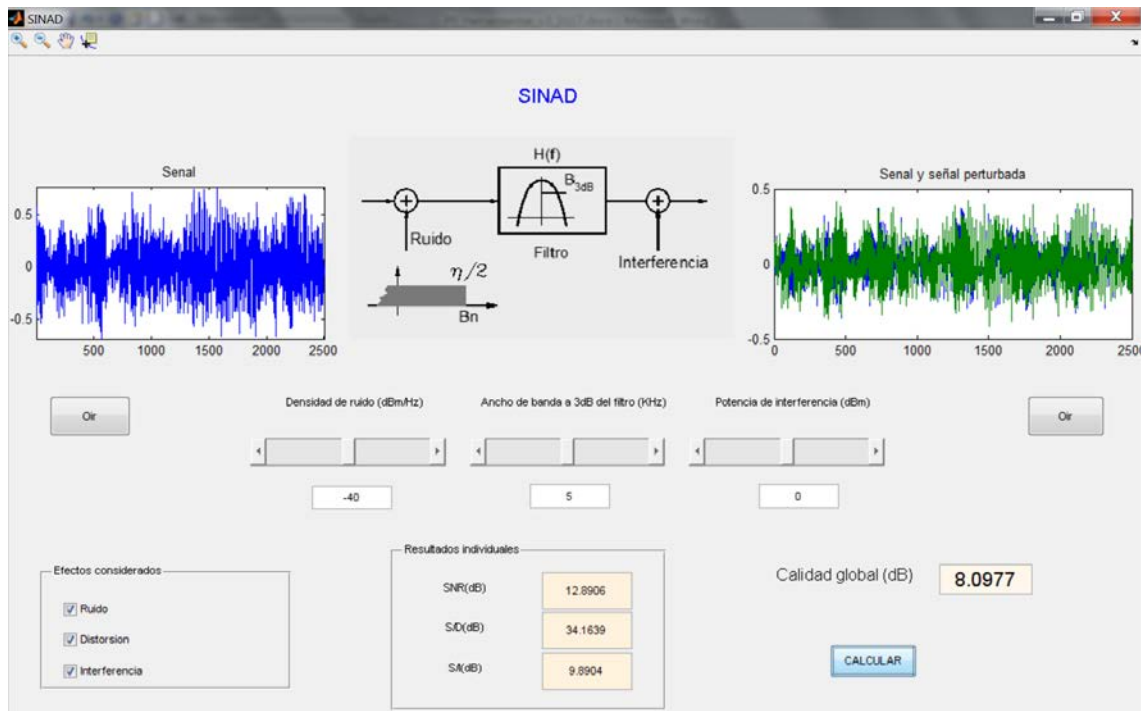




## 4. SINAD

*Tiempo máximo: 25 minutos*

El objetivo de esta última parte es mostrar el efecto combinado de fenómenos de ruido, distorsión e interferencia y cómo afectan a la calidad total, de manera objetiva y subjetiva. En la pantalla del programa principal seleccione en la barra de menú: *SINAD*. Esto despliega la interfaz gráfica siguiente:



**Figura 5. Interfaz gráfica del experimento “SINAD”**

Esta herramienta permite añadir distintos efectos a una señal: ruido, distorsión lineal de amplitud y sumarle una interferencia. Se puede controlar independientemente la intensidad de cada uno de estos efectos y observar el resultado de su efecto conjunto, tanto objetivamente (midiendo la SINAD), como subjetivamente (escuchando el efecto sobre la señal de audio de entrada).

Sobre esta pantalla realice los experimentos siguientes:

**1.- Un solo efecto.** Sobre la pantalla inicial active sólo el efecto del ruido deseleccionando las opciones de distorsión e interferencia. Presionando el botón “Calcular” la herramienta determinará de manera independiente la SNR, la relación señal a distorsión y la relación señal a interferencia, así como la SINAD total.

Observe como en estas condiciones la S/D y la S/I son extremadamente altas, y también como la SINAD es prácticamente igual a la SNR, que es el único efecto perturbador existente. Cambie las opciones de la izquierda seleccionado cada vez un único efecto y observe como se obtienen resultados similares.

**2.- Potencia de la señal.** Teniendo activo únicamente el efecto de la interferencia, observe la potencia de la señal interferente y la S/I. Determine a partir de estos datos la potencia de la señal útil.

Potencia de interferencia (dBm)	S/I (dB)	Potencia de señal (dBm)

**3.- Ancho de banda del ruido.** Active ahora como único efecto, el ruido. En particular, al no activarse la distorsión, la herramienta elimina completamente el filtro  $H(f)$  substituyéndolo por un paso directo. Aún así, la potencia de ruido es finita ya que el ruido sólo ocupa un ancho de banda  $B_n$ . Compruebe que dicho ancho de banda son 8KHz.

Sugerencia: calcule la potencia total de ruido a partir de la SNR y la potencia de señal calculada previamente, y después utilice el hecho de que la potencia de ruido (en unidades lineales) es:

$$N = \eta \cdot B_n$$

SNR (dBm)	Potencia total de ruido N (dBm)	$B_n$

**4.- Efecto subjetivo (Optativo).** Active ahora sólo un efecto cada vez, primero el ruido, luego la interferencia y luego la distorsión. En cada caso ajuste los parámetros para tener una SINAD aproximada de unos 12 dB. Escuche la señal de salida y observe cómo aunque la SINAD es la misma en todos los casos, la impresión subjetiva de calidad es diferente.

**5.- SINAD combinada.** Active ahora todos los efectos a la vez. Juegue con los parámetros para conseguir una  $SNR=S/I=S/D$  de 12 dB. Tenga en cuenta que tendrá que reajustar las cosas respecto al experimento anterior ya que la presencia del filtro influye en la potencia de señal y ruido. Observe la SINAD total medida. Justifique este resultado.

Sugerencia: Tenga en cuenta que, en unidades lineales:

$$SINAD = \frac{S}{N + I + D} = \frac{1}{\frac{N}{S} + \frac{I}{S} + \frac{D}{S}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{1/SNR}$$

.....  
 .....  
 .....

.....

**6.- (Opcional). Interferencia.** Haga el ancho del filtro  $BW=0$ . De esta forma se bloqueará el paso de la señal y del ruido y sólo tendrá interferencia. Escúchela.

**7.- (Opcional). BW óptimo.** Seleccione sólo los efectos de ruido y distorsión, y una densidad de ruido de  $-40\text{dBm/Hz}$ . Haga variar el ancho de banda del filtro y observe la SINAD. Si el ancho de banda es muy grande, pasará mucho ruido y la SNR bajará. Por otra parte, si lo hace demasiado estrecho, aumentará la distorsión y la SINAD también será alta. Intente buscar el ancho de banda que le conduce a la mayor SINAD posible, buscando un compromiso entre ambos efectos.

Observe que en el punto óptimo, ambos efectos influyen en el resultado.

Nota: El cálculo de SINAD se realiza generando una secuencia de ruido aleatorio que es diferente cada vez, por lo que los resultados pueden cambiar varias centésimas de dB de ejecución a ejecución del cálculo.

Ancho de banda óptimo (KHz)	SINAD máxima (dB)	S/N en el óptimo (dB)	S/D en el óptimo (dB)

En las anteriores condiciones elimine filtro (de-seleccione la distorsión) y compruebe como la presencia del filtro mejora sensiblemente la SNR.