

PRACTICA 4

EL TRANSCCEPTOR HETERODINO

1. INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	2
1.1. TRANSMISOR. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS.....	3
1.1.1. Estabilidad de la portadora. Ancho de banda del transmisor.....	3
1.1.2. Potencia de salida del transmisor. Linealidad.....	3
1.1.3. Espectro de la señal transmitida.....	3
1.2. RECEPTOR. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS	4
1.2.1. Selectividad.....	4
1.2.2. Ancho de banda del receptor.....	4
1.2.3. Sensibilidad.....	4
1.2.4. Distorsión lineal. Retardo de grupo.....	6
1.2.5. Control automático de ganancia.....	7
2. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA.....	8
3. MONTAJES Y MEDIDAS EN EL LABORATORIO.....	11
3.1. EXPERIMENTO 1- RESPUESTA LINEAL DEL TRANSMISOR. GANANCIA Y ANCHO DE BANDA. ..	13
3.2. EXPERIMENTO 2- CONVERSION SUPERIOR. PÉRDIDAS DE CONVERSIÓN.....	14
3.3. EXPERIMENTO 3- RESPUESTA NO LINEAL DEL TRANSMISOR. POTENCIA DE SATURACIÓN....	17
3.4. EXPERIMENTO 4- RESPUESTA LINEAL Y NO LINEAL DEL RECEPTOR	20
3.5. EXPERIMENTO 5- CONTROL AUTOMÁTICO DE GANANCIA	22
3.6. EXPERIMENTO 7- MDS Y FIGURA DE RUIDO DEL RECEPTOR	25

1. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Hoy en día, prácticamente todos los receptores utilizan una configuración heterodina. Como el nombre indica, existen uno o varios procesos de **heterodinización o mezcla** en los que la señal de entrada se mezcla con la salida de un oscilador local para producir una señal de diferente frecuencia. La nueva frecuencia se denomina frecuencia intermedia.

Matemáticamente, el proceso se describe de la siguiente forma:

$$FI = |f_{RF} \pm f_{OL}|$$

donde

FI es la frecuencia intermedia

f_{RF} es la frecuencia recibida

f_{OL} es la frecuencia del oscilador local

Es a la frecuencia intermedia (normalmente menor que la radiofrecuencia) donde se realiza el filtrado y la mayor parte de la amplificación antes de llegar al detector o demodulador. Las ventajas de un receptor superheterodino frente a uno homodino pueden resumirse en:

- Dado que es difícil y caro realizar filtros con anchura de banda relativa por debajo del 1%, un sistema homodino cuya **f_{RF}** sea alta adolecerá de una baja selectividad, sobre todo si el receptor es de sintonía variable, por lo que su utilidad queda restringida a aplicaciones de gran anchura de banda. En un receptor heterodino, una elección adecuada de la frecuencia intermedia, permitirá realizar los filtros de una forma sencilla, garantizando la selectividad del sistema.
- La amplificación necesaria de la señal de RF puede llegar a ser muy alta (dependiendo de la sensibilidad del sistema, > 80 dB) antes de alcanzar al demodulador. Si esta amplificación se realizara en las distintas etapas a la misma frecuencia (sistema homodino) podría provocar inestabilidades (oscilaciones debidas a realimentaciones o por radiación). En un sistema heterodino, la amplificación se realiza a dos o más frecuencias (dependiendo del número de frecuencias intermedias), por lo que este problema se alivia en gran medida.
- La estandarización de las frecuencias intermedias en función de la aplicación del sistema permite la utilización de gran variedad de circuitos integrados comerciales (sintetizadores, demoduladores, etc...) con la consiguiente simplificación del sistema.

1.1. TRANSMISOR. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

La función del transmisor es la de formar la señal a transmitir sobre la frecuencia portadora (modulación) y amplificar el conjunto hasta un nivel de potencia que garantice su alcance por parte del receptor con un nivel suficiente. Sus parámetros característicos se describen a continuación:

1.1.1. Estabilidad de la portadora. Ancho de banda del transmisor.

La estabilidad de la frecuencia portadora transmitida garantiza la protección entre canales adyacentes y la capacidad de los receptores de mantener la sintonía en la banda de recepción. Está determinada por la estabilidad de los distintos osciladores locales. El ancho de banda del transmisor es el margen de frecuencias B_T entre las que es posible modificar la frecuencia central de trabajo f_T . Está limitado normalmente por las etapas de potencia de RF. El ancho de banda transmitido o ancho de banda instantáneo B_t determina la máxima banda que el equipo puede transmitir y, si es menor que B_T , es el modulador el subsistema que lo limita.

1.1.2. Potencia de salida del transmisor. Linealidad.

La potencia emitida por el transmisor define el alcance o las especificaciones del resto del sistema. Dependiendo de la aplicación concreta y del tipo de modulación, los amplificadores de potencia deberán cumplir criterios estrictos de linealidad a fin de no distorsionar la señal modulada que se desea transmitir. De entre los procesos de distorsión no lineal, el más común es la saturación de la etapa de potencia (caracterizada por la potencia en el punto de 1 dB de compresión, P_{1dB} , y potencia de saturación).

1.1.3. Espectro de la señal transmitida.

Además de la señal que se desea transmitir, es inevitable la radiación de un conjunto de frecuencias que normalmente estarán situadas fuera de la banda asignada al sistema. Estas frecuencias pueden dividirse en frecuencias armónicas de la señal y frecuencias espurias que son el resultado de los distintos procesos de mezcla que tienen lugar en el transmisor y, en menor medida, de las espurias propias de los distintos osciladores locales. Obviamente, interesa minimizar en lo posible estas señales, bien por filtrado o por una adecuada elección de los mezcladores a fin de minimizar su número.

1.2. RECEPTOR. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

El receptor debe seleccionar, amplificar y detectar la señal deseada, separándola en lo posible del resto de las señales y ruido que la acompaña. Sus parámetros característicos más importantes son:

1.2.1. Selectividad.

Define la capacidad del receptor para rechazar la señal deseada de emisiones indeseadas a otras frecuencias (por ejemplo, al canal adyacente). Un caso particular de frecuencia particularmente molesta para el sistema es la **frecuencia imagen** ya que se traslada directamente a la **frecuencia intermedia** del sistema y es tratada como la señal deseada. El rechazo a la frecuencia imagen viene determinado fundamentalmente por el filtro de RF (previo al proceso de conversión a FI).

1.2.2. Ancho de banda del receptor.

Es el que posee el sistema justo hasta la entrada del demodulador. Determina el ancho de banda máximo de la señal modulada y también el del ruido. Suele estar determinado por el ancho de banda del filtro de FI.

1.2.3. Sensibilidad.

Es la potencia mínima de RF (a la entrada del receptor) para que a la entrada del demodulador se tenga el nivel necesario para su correcto funcionamiento. Este parámetro está íntimamente ligado con la figura de ruido **F** del receptor que determina la cantidad de ruido introducido por el mismo. El concepto de sensibilidad tangencial permite medir de forma aproximada la figura de ruido del sistema. La sensibilidad tangencial (**TSS**) es la potencia necesaria de entrada al sistema para que, al detectar un pulso de RF, los picos altos de ruido en el nivel bajo del pulso se igualen con los picos bajos del nivel alto (ver figura 1.1)

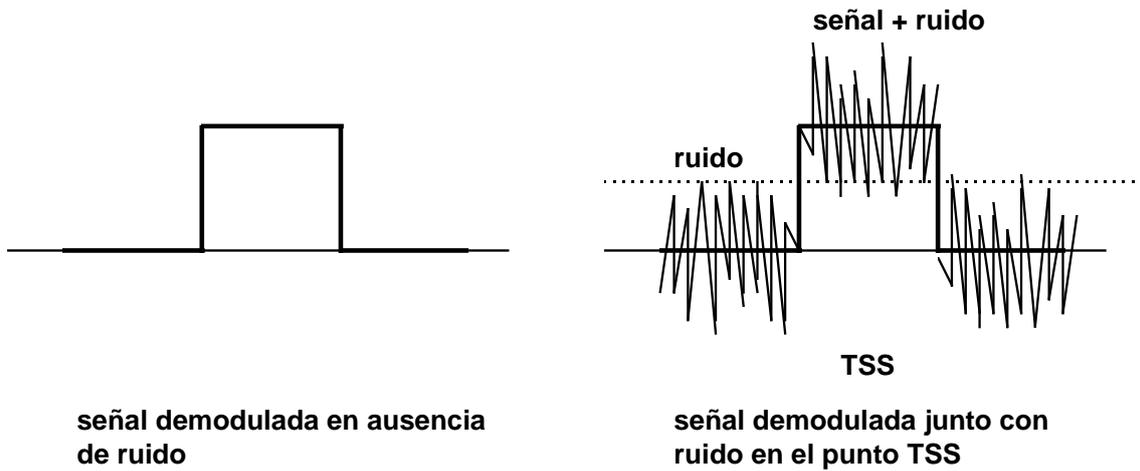


Figura 1.1 Concepto de sensibilidad tangencial

También es posible determinar de forma aproximada la figura de ruido del receptor a partir de la **MDS (mínima señal detectable)** definida como el nivel de RF para el cual la señal de FI tiene la misma potencia que el ruido en FI ($S_o/N_o = 1$). En estas condiciones se verifica:

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} = \frac{MDS}{N_i} \qquad F(dB) = MDS(dBm) - 10\log(KT_o) - 10\log B_r$$

donde N_i es la potencia de ruido referida a la entrada del receptor (N_o/G , G es la ganancia del receptor) y B_r el ancho de banda de ruido del filtro más estrecho del receptor. A temperatura ambiente $10\log(KT_o) = -114 \text{ dBm/MHz}$ ó -174 dBm/Hz .

En ausencia de señal de RF de entrada, el espectro en FI observado en el analizador de espectros es similar al que se muestra en la figura 1.2, donde se observa el ruido de salida del receptor (ruido de entrada amplificado más ruido añadido por el receptor). La integración de este espectro (área bajo la curva) da la potencia total de ruido en FI y por tanto la MDS más la ganancia del receptor (en dBs) ya que:

$$N_o(dBm) = N_i(dBm) + F(dB) + G(dB)$$

$$S_o(dBm) = S_i(dBm) + G(dB)$$

Como en condiciones de $S_i = MDS$ se verifica que $S_o = N_o$, se tiene que $S_i = MDS = N_i + F = N_o - G$, por lo que $N_o = MDS + G$.

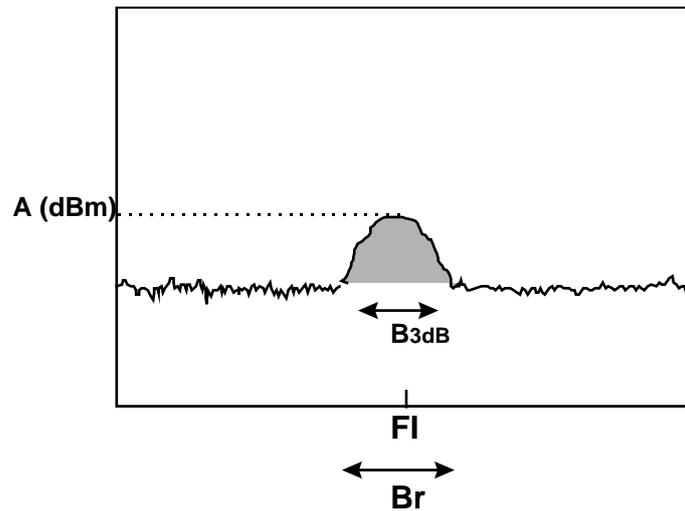


Figura 1.2 Espectro de ruido en FI a la salida del receptor

El ruido total en FI, se calcularía de forma aproximada como:

$$N_o(dBm) = A(dBm) - 10\log(RBW) + 10\log B_{3dB}$$

donde RBW es el ancho de banda de resolución del analizador (sobre el cual integra para proporcionar la lectura A). Esta expresión sustituye el filtro real equivalente del receptor (B_r) por un filtro ideal rectangular de anchura B_{3dB} . Según esto, la mínima señal detectable MDS sería:

$$MDS(dBm) = N_o(dBm) - G(dB)$$

y por tanto:

$$F(dB) = MDS(dBm) - 10\log(KT_o) - 10\log B_{3dB_r}$$

1.2.4. Distorsión lineal. Retardo de grupo.

Aún en condiciones de comportamiento lineal en los distintos componentes del receptor la señal puede sufrir distorsión. Una de las causas fundamentales es la falta de linealidad de fase de los distintos filtros, amplificadores y líneas de transmisión. El parámetro más utilizado para caracterizar esta linealidad es el retardo de grupo τ definido como:

$$\tau = -\frac{d\theta}{d\omega}$$

Este retardo de grupo debe ser lo más constante posible dentro de la banda de interés.

1.2.5. Control automático de ganancia.

El margen de potencias en el que pueden trabajar los demoduladores es normalmente mucho menor que el de señales de entrada al receptor por lo que se hace variar la ganancia de las distintas etapas amplificadores en función de la señal recibida a fin de mantener un nivel lo más constante posible a la salida del último amplificador de FI. Este control de ganancia permite también eliminar la saturación de los amplificadores cuando la señal recibida es fuerte.

Para ello, se detecta la señal a la salida del amplificador de FI obteniendo un nivel de DC proporcional a la potencia de la señal (detector cuadrático) y se compara con un nivel de referencia dado. Si el nivel detectado es menor que el de referencia se mantiene la ganancia máxima del receptor; si es mayor se disminuye la ganancia. El control de ganancia puede efectuarse en el amplificador de FI, el amplificador de RF o en ambos; en cualquier caso, es conveniente iniciar el control en las últimas etapas puesto que son las que primero se saturan.

2. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

Con esta práctica se pretende la caracterización de los distintos componentes de frecuencia intermedia y radiofrecuencia presentes en un sistema de comunicaciones vía radio, así como el estudio del conjunto transceptor (transmisor-receptor). Dado que estos subsistemas son independientes del tipo de modulación empleada, no es necesario, salvo medidas específicas, trabajar con señales moduladas para su caracterización.

La figura 2.1 muestra el transceptor disponible en el laboratorio sobre el que se efectuarán las distintas medidas a lo largo de esta práctica para caracterizar los distintos subsistemas que lo componen: amplificadores de FI y RF, mezcladores, filtros de FI y RF, control automático de ganancia, etc...

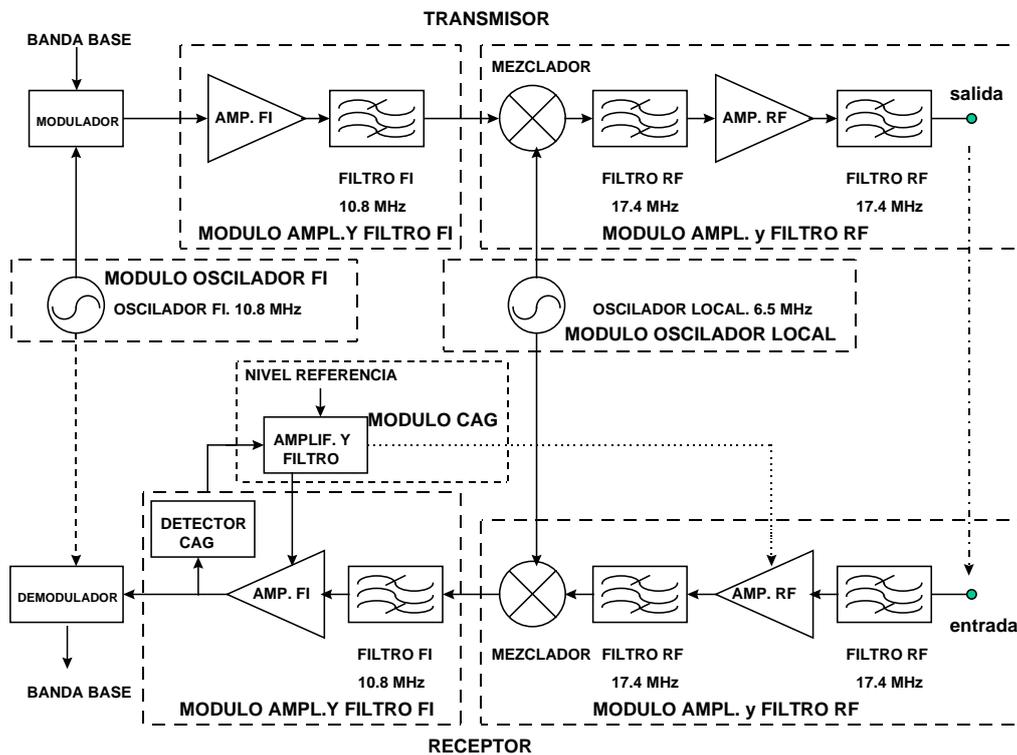


Figura 2.1 Transceptor superheterodino

Los distintos amplificadores y mezcladores del sistema están diseñados para ofrecer sus mejores prestaciones cuando las impedancias de carga son de 50Ω por lo que, en el conjunto de medidas a realizar, se intentará reproducir esta condición (por ejemplo, al realizar medidas sobre un componente con el osciloscopio, se colocará una carga de 50Ω en paralelo con el mismo para reproducir el funcionamiento real).

Algunos componentes serán caracterizados realizando medidas con el osciloscopio

mientras que otros requerirán el uso del analizador de espectros. A continuación, se resumen las medidas a realizar:

Medidas sobre el transmisor

- Características del amplificador de FI y amplificador de RF (ancho de banda, ganancia, punto de 1 dB de compresión, saturación)
- Características del mezclador (identificación de frecuencias de mezcla, aislamiento entre puertas, pérdidas de conversión)
- Espectro transmitido

Medidas sobre el receptor

- Características del amplificador de RF y amplificador de FI (ancho de banda, ganancia, saturación, selectividad)
- Control automático de ganancia. Margen de funcionamiento.
- Medida de la figura de ruido del receptor a través de la mínima señal detectable (MDS).

INSTRUMENTACIÓN NECESARIA:

Osciloscopio

Analizador de espectros

Generador de RF (BK Precision)

Generador de funciones

Placas de los siguientes circuitos:

Amplificador FI Transmisor

Mezclador y Amplificador RF Transmisor

Oscilador Local (6.5 MHz)

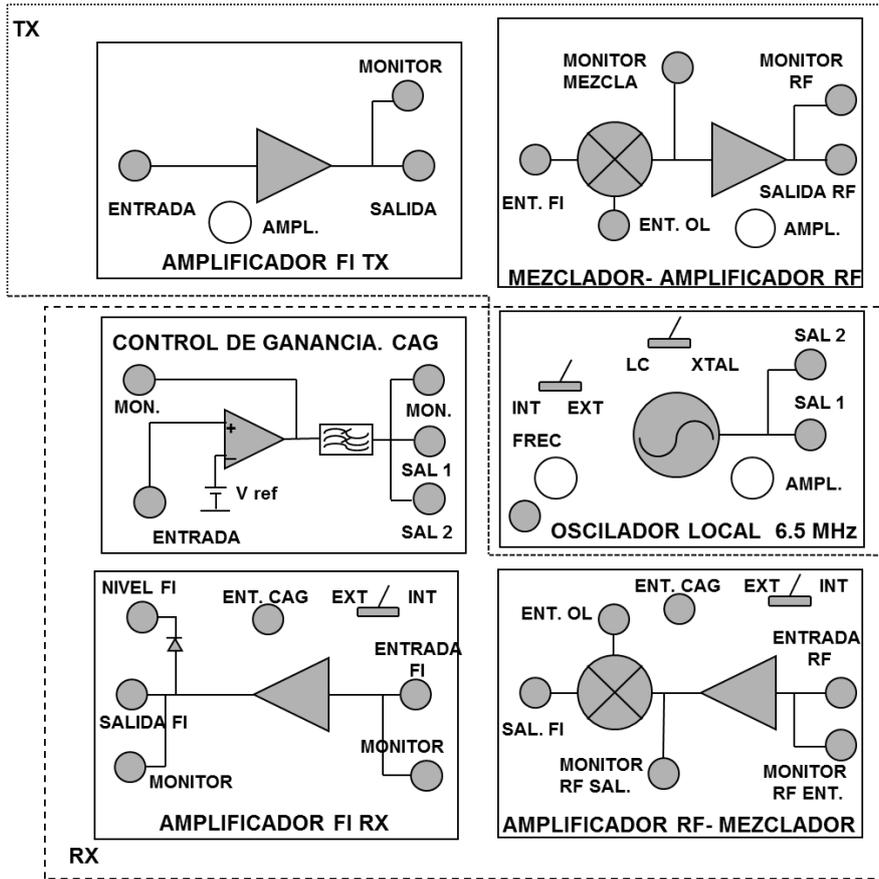
Amplificador RF y Mezclador Receptor

Amplificador FI Receptor (Rx)

Control Automático de Ganancia (CAG)

Cables y transiciones

La siguiente figura muestra la colocación de los distintos módulos en el bastidor. Una vez colocados no es necesario cambiarlos de posición. Lo que se modificará será el conexionado entre ellos para realizar los distintos experimentos.



Las salidas MONITOR de las distintas placas permiten visualizar o medir una muestra de las señales. **En concreto, existe una atenuación de 10 dB (a no ser que se especifique lo contrario) entre las puertas MONITOR y las puertas principales (bien de entrada o de salida).** La salida NIVEL FI del amplificador de FI del receptor es una señal de DC (proporcional a la potencia de salida), lo mismo que las salidas de la placa CAG por lo que no deben usarse cargas de 50 Ω para su caracterización.

3. MONTAJES Y MEDIDAS EN EL LABORATORIO

Medidas sobre el transmisor

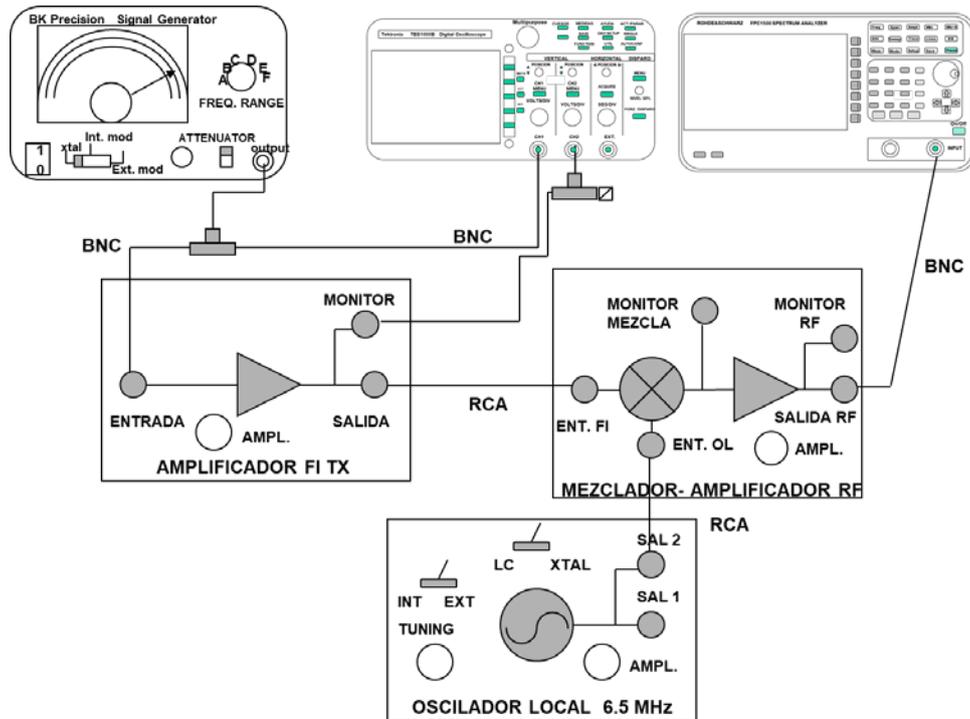
El transmisor es el encargado de la amplificación y filtrado de la señal modulada en frecuencia intermedia (10.8 MHz) (que se habrá obtenido por alguno de los procedimientos estudiados en las prácticas 2 y 3) para excitar posteriormente al mezclador de salida y amplificador de RF. Los amplificadores de FI y RF están realizados con un MOSFET de doble puerta sirviendo la segunda de ellas para introducir una tensión DC que permite ajustar la ganancia del mismo. Sus estructuras son similares existiendo a la entrada y salida de los mismos un circuito sintonizado a la frecuencia de trabajo.

El mezclador es el subsistema responsable de la traslación en frecuencia de la señal de FI a la frecuencia final deseada. Para ello se requiere un oscilador adicional (módulo Oscilador Local) que, en el caso del banco del laboratorio, está basado en un cristal de 6.55 MHz. El mezclador generará componentes espectrales a las frecuencias dadas por:

$$F_{RF} = |mF_{OL} \pm nF_{FI}|$$

En nuestro caso, la frecuencia deseada (a la que está sintonizado el amplificador de RF que sigue al mezclador) es la correspondiente a $m=n=1$ con el signo +, esto es, 17.4 MHz. Como se recordará, en función del tipo de mezclador, pueden aparecer o no algunas de las componentes espectrales dadas por la anterior expresión. En concreto, en un mezclador simple aparecen todas, en un mezclador balanceado se atenúan fuertemente el oscilador local y sus armónicos y aquellas componentes con armónicos pares de F_{FI} y en uno doblemente balanceado se atenúan las anteriores y las componentes con armónicos pares de F_{OL} .

Realice el montaje del transmisor según se detalla en la siguiente figura. Como ya se ha comentado para la mayor parte de las medidas requeridas para caracterizar los subsistemas de FI y RF no es necesario que la señal de entrada esté modulada por lo que **el amplificador de FI se excita con el generador de RF BK Precision sintonizado a 10.8 MHz** (emula una portadora sin modular) y amplitud suficientemente pequeña para no saturar los amplificadores. La señal de entrada es visualizada en el osciloscopio y se monitorizarán los distintos puntos de la cadena con el analizador de espectros y el osciloscopio.



Centre el analizador de espectros en 17.4 MHz con un SPAN de 10 MHz, Ref. Level = 10 dBm, ATTEN. = 20 dB, RBW = 100 kHz. Sitúe los mandos de ganancia de los amplificadores (FI y RF) (actúan sobre el nivel de DC de la segunda puerta de los MOSFET) de forma que se obtenga la máxima amplitud de salida (potenciómetros a la derecha). Ajuste también la amplitud del oscilador local de 6.5 MHz al máximo (potenciómetro de la placa a la derecha, que deberá permanecer así durante toda la práctica). En estas condiciones deberá observar el tono de 17.4 MHz centrado en la pantalla del analizador. Active un marcador y compruebe que la frecuencia es la deseada, en caso contrario sintonice de manera fina la frecuencia del generador de RF. Una vez centrada la señal de 17.4 MHz en pantalla, reduzca el SPAN a 1 MHz y use un RBW de 10 kHz.

En el osciloscopio, seleccione una sensibilidad vertical de 20 mV/div y una base de tiempos de 100-150 ns/div. Actúe sobre el mando de amplitud del generador de RF hasta obtener en el osciloscopio una señal de 20 mVpp en el CH1 (-30 dBm sobre 50 ohms, nivel de entrada al amplificador de FI) (**es muy importante filtrar paso-bajo los canales del osciloscopio en los menús de canal correspondientes** a fin de eliminar los armónicos de la señal de entrada y hacer más fiables las medidas de amplitud).

3.1. EXPERIMENTO 1- Respuesta lineal del transmisor. Ganancia y ancho de banda.

Con los ajustes anteriores, el transmisor debe trabajar en zona lineal. Compruebe que aumentando en un factor de $\sqrt{2}$ la amplitud de la señal de entrada (+3 dB) leída en el osciloscopio, la señal de salida se incrementa en la misma cantidad (lectura en el A.E.). **Mida en las condiciones iniciales (20 mVpp de entrada, -30 dBm)** la ganancia del transmisor (ganancia conjunta RF+FI, potencia de salida – menos potencia de entrada) y su anchura de banda y anótelas en la tabla siguiente. Para medir la anchura de banda a 3 dB del transmisor se **variará la sintonía del generador de RF BK alrededor de 10.8 MHz** (la frecuencia de salida del sistema variará alrededor de 17.4 MHz) y se anotarán las frecuencias en las que la amplitud de la señal leída en el A.E. cae 3 dB con respecto al valor a la frecuencia central, amplitud máxima. Para la medida de la sintonía centre correctamente la señal de salida en la pantalla del A.E., reduzca el SPAN del analizador a 1 MHz, RBW = 10 KHz y sitúe la escala vertical en 3 dB/div (AMPT > RANGE/REF. POSITION, RANGE = 30 dB). Active, en el menú TRACE, la opción MAX-HOLD **de manera que al variar la frecuencia de la señal de entrada se observe la función de transferencia del transmisor** (TRACE – TRACE MODE – MAX HOLD)

Realice una fotografía de esta función de transferencia.



Función de transferencia del transmisor.

Recuerde que la anchura de banda del transmisor debe ser mayor que la banda instantánea de la señal para que ésta no se distorsione. **La medida de la ganancia se debe realizar en el punto de la sintonía en que ésta sea máxima** (no necesariamente para una frecuencia de salida de 17.4 MHz exactamente, ayúdese del marcador).

Una vez realizada la medida desactive la opción MAX-HOLD (TRACE - TRACE MODE - CLR.WRT) y resintonice el generador BK a la frecuencia de máxima ganancia.

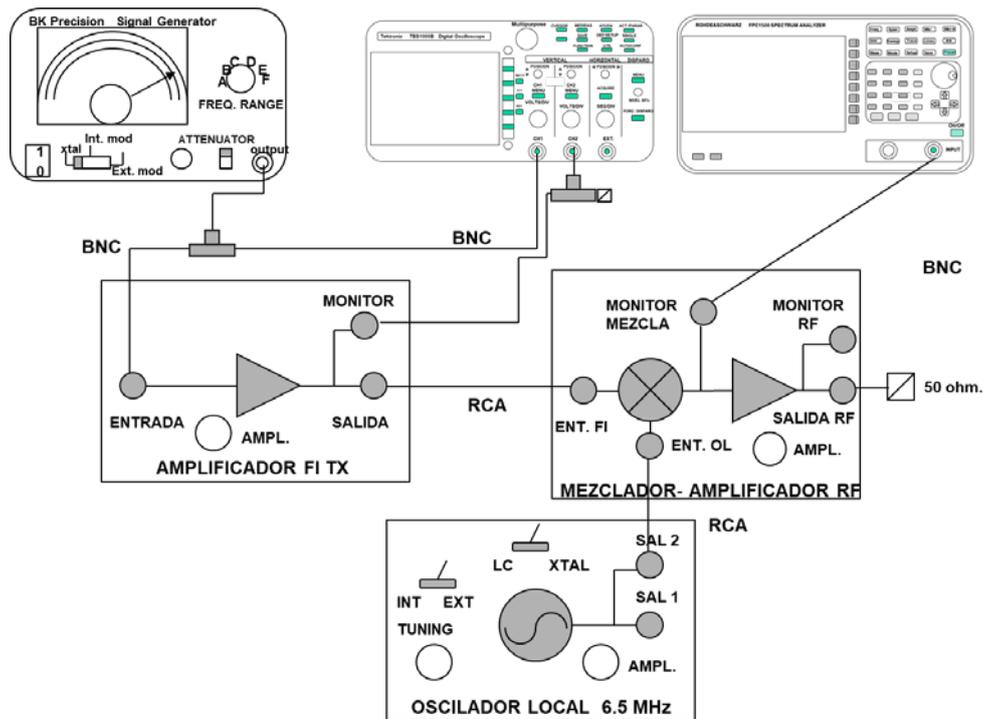
RESPUESTA LINEAL DEL TRANSMISOR	
Frecuencia de corte inferior	
Frecuencia de corte superior	
Frecuencia central	
Ganancia (dB) (a la frecuencia central)	

Monitorice ahora en el osciloscopio la salida MONITOR del amplificador de FI cargándola con 50 Ω ., según indica la figura anterior. **Recuerde que esta salida está atenuada en 10 dB** con respecto a la salida principal de este módulo. De esta forma es posible conocer la ganancia del amplificador de FI (ya que se visualiza simultáneamente la entrada y una muestra de la salida del mismo atenuada en 10 dB) y el nivel con el que es excitada la placa mezclador-amplificador de RF. Anótelos en la siguiente tabla (**recuerde realizar la medida de ganancia a la frecuencia a la que la potencia de salida es máxima**).

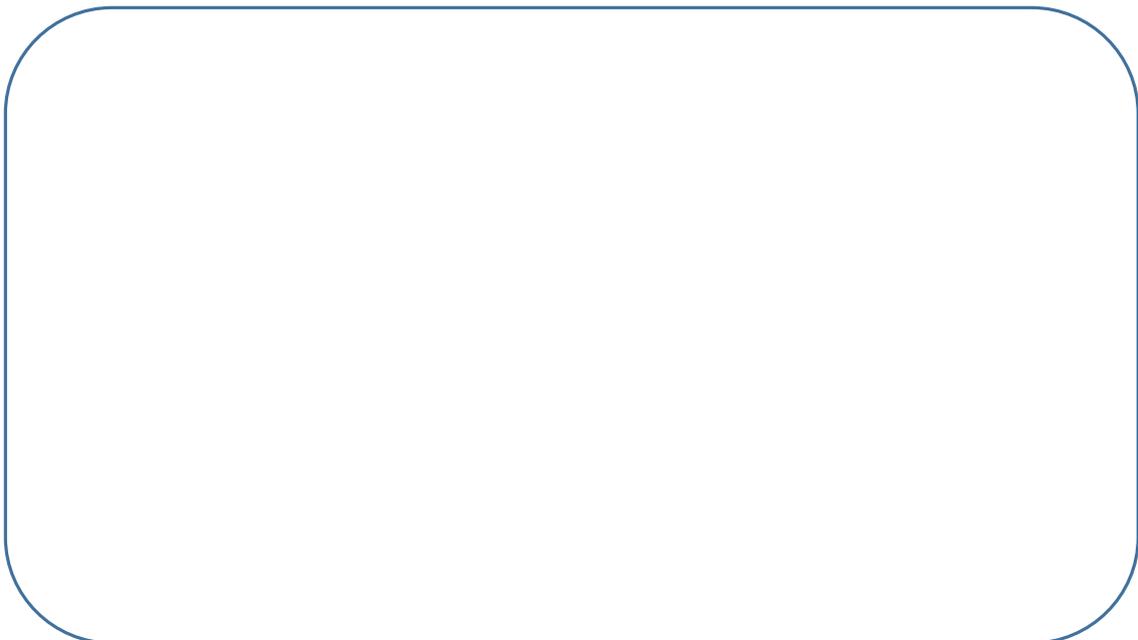
AMPLIFICADOR DE FI	
V_{in}	Vpp
V_{out_MON}	Vpp
$V_{out} = V_{out_MON} \cdot 10^{(10/20)}$	Vpp
Ganancia (dB) = $20 \cdot \log(V_{out}/V_{in})$	dB
Potencia de salida (dBm) = $P_{in} \text{ (dBm)} + G \text{ (dB)}$ (para una entrada de 20 mVpp, $P_{in} = -30 \text{ dBm}$)	dBm

3.2. EXPERIMENTO 2- Conversor superior. Pérdidas de conversión.

Manteniendo un nivel de entrada de 20 mVpp (-30 dBm) visualice ahora la salida MONITOR del mezclador en el analizador de espectros centrando éste en 25 MHz con un SPAN inicial de 50 MHz, sitúe el nivel de referencia del A.E. en -20 dBm, el atenuador de entrada del mismo en 0 dB, RBW = 100 KHz y la escala vertical en 10 dB/div. (AMPT > RANGE/REF. POSITION, RANGE = AUTO). Cargue la salida del amplificador de RF con 50 ohm para evitar oscilaciones como se muestra en la figura siguiente.



Pueden observarse ahora los distintos productos de mezcla de las señales de FI y LO producidos en el mezclador. Realice una fotografía de la salida del monitor del mezclador visualizada en el Analizador de Espectros.



Salida del mezclador (MONITOR).

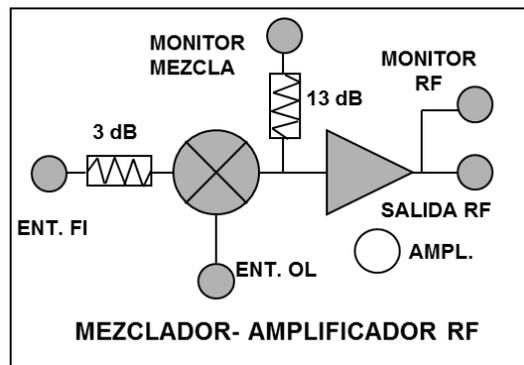
Con ayuda del *marker* identifique y anote las amplitudes de los mismos en la siguiente

tabla. Si algún producto de mezcla no aparece, reduzca el SPAN para mejorar la resolución.

MEZCLADOR DE SALIDA

Componente espectral	Frecuencia aproximada (MHz)	Potencia (dBm) MONITOR MEZCLA
F_{LO}	6.55	
$2 F_{LO}$	13.1	
$2F_{FI}$	21.6	
F_{FI} (señal de entrada)	10.8	
$ F_{OL} - F_{FI} $	4.25	
$F_{OL} + F_{FI}$ (señal RF)	17.4	
$ F_{OL} + 2F_{FI} $	28.15	
$ 2F_{OL} + F_{FI} $	23.9	
$ 3F_{OL} + F_{FI} $	30.5	
$ 3F_{OL} - F_{FI} $	8.7	

Con los resultados anteriores, dedúzcase el tipo de mezclador, las pérdidas de conversión y el rechazo de oscilador local (relación entre la potencia de OL a la entrada y a la salida del mezclador). Para los cálculos, téngase en cuenta que la señal de FI a la entrada de la placa (de potencia conocida, medida en el experimento anterior) sufre una atenuación de 3 dB antes de atacar al mezclador y que la puerta MONITOR a la salida del mismo está atenuada en 13 dB adicionales con respecto a la salida del mezclador (ver figura). Para la medida de la potencia de OL a la entrada, puede medirse directamente la salida no utilizada del módulo OSCILADOR LOCAL en el analizador de espectros (subiendo el nivel de referencia a 10 dBm).

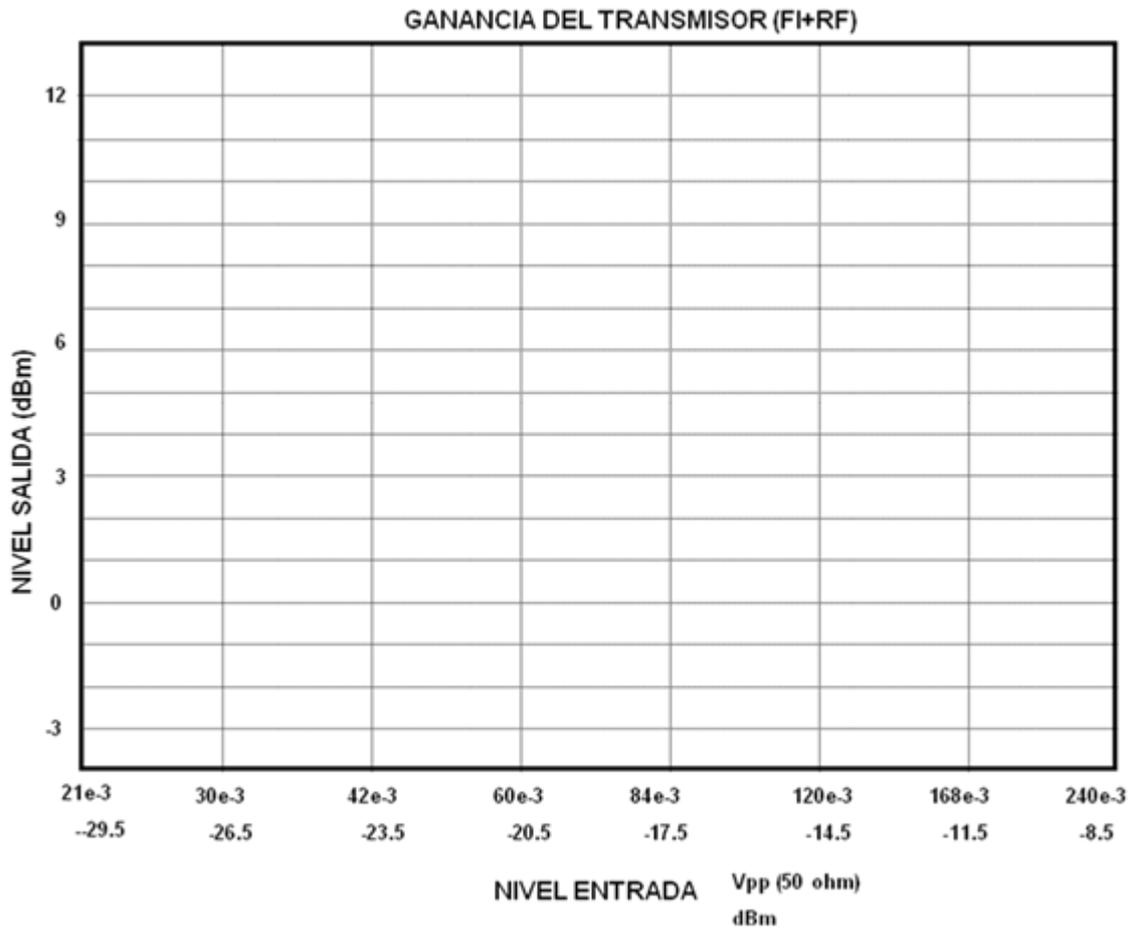


MEZCLADOR DE SALIDA	
Tipo de mezclador	
Potencia oscilador local (entrada)	dBm
Potencia Oscilador Local (Monitor)	dBm
Rechazo OL	dB
Pérdidas de conversión	dB

Justifique el tipo de mezclador:

3.3. EXPERIMENTO 3- Respuesta no lineal del transmisor. Potencia de saturación.

Visualice de nuevo la salida del amplificador de RF de 17.4 MHz en el analizador de espectros con un SPAN de 2 MHz, ATEN = AUTO, Ref. level: 20 dBm, , RBW = 10 kHz. Actuando sobre el mando de amplitud del generador de RF, aumente progresivamente su amplitud de salida y observe simultáneamente ésta (CH1 en el osciloscopio) y la salida de RF (en el A.E.). Notará que el amplificador de RF empieza a saturarse cuando ante un incremento de 3 dB en la amplitud de entrada (factor de $\sqrt{2}$ en tensión) la salida no se incrementa en la misma magnitud. Dibuje la característica de ganancia del transmisor y anote de forma aproximada el punto de 1 dB de compresión. Observe que los ejes de la gráfica son lineales en dB.



Anote también la potencia de entrada (lectura del osciloscopio convertida a dBm).

POTENCIA DE SALIDA en el punto de 1 dB de compresión: dBm
 POTENCIA DE ENTRADA PARA COMPRESIÓN: dBm

Ajuste de nuevo el nivel de la señal de entrada de forma que el nivel de salida caiga 3 dB con respecto a la potencia en el punto de 1 dB de compresión. Este nivel de salida es un compromiso entre linealidad y rendimiento de la etapa final.

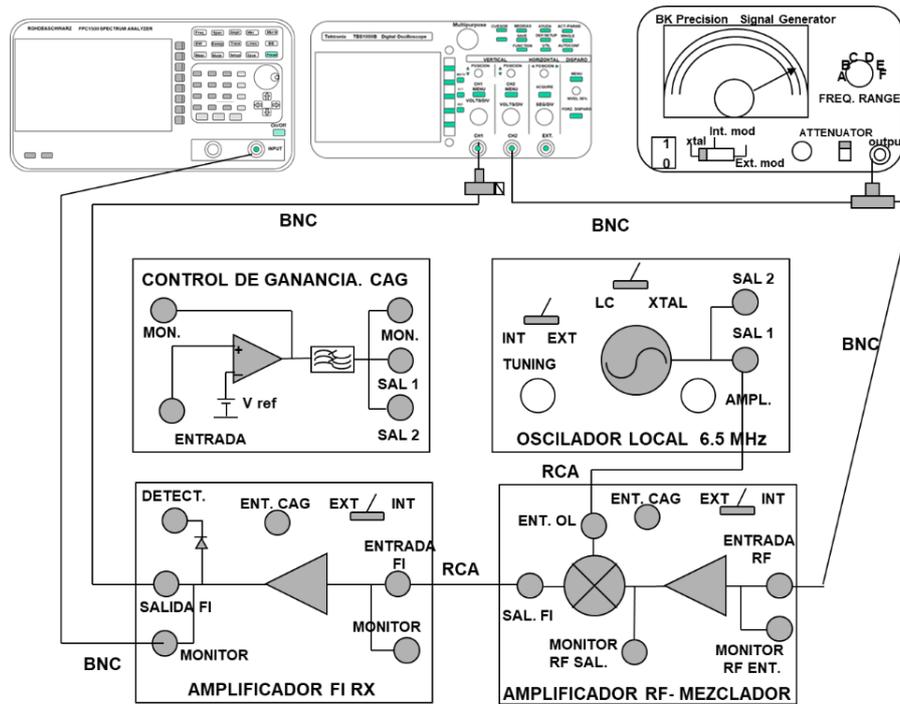
Observe, ampliando el SPAN del analizador a 50 MHz, el espectro de la señal emitida y anote las distintas frecuencias, distinguiendo entre señales espurias y armónicos (sitúe en el analizador el nivel de referencia en 10 dBm y el atenuador de entrada del mismo en 20 dB). Use un RBW de 10 kHz.

ESPECTRO EMITIDO	
Frecuencias	Potencia (dBm)
Señal RF 17.4 MHz	$P_{1dB} - 3 \text{ dB}$
Señales espurias ____ MHz ____ MHz ____ MHz	
Armónicos ____ MHz ____ MHz ____ MHz	

Medidas sobre el receptor

El receptor es el responsable de trasladar a frecuencia intermedia (FI), con el nivel adecuado, la señal captada de RF convenientemente filtrada. El amplificador situado a la entrada del receptor es idéntico al de salida del transmisor. En este caso, la segunda puerta del MOSFET puede controlarse por el circuito de CAG (control automático de ganancia) o bien fijarse a un valor dado de tensión continua para obtener su máxima ganancia. El amplificador está sintonizado a 17.4 MHz y es el responsable del rechazo a la frecuencia imagen (qué, de no ser filtrada, pasaría directamente a FI al mezclarse con el oscilador local).

El mezclador que le sigue traslada la señal de RF de nuevo a FI para su filtrado y amplificación. El amplificador de FI del receptor es análogo al utilizado en el transmisor con la sola excepción de que lleva incorporado un detector (cuya salida, nivel de DC proporcional a la potencia de señal en FI, servirá como entrada al circuito de CAG) y una entrada de CAG que permitirá variar su ganancia en el caso de recibir señales excesivamente potentes. Es en FI donde posteriormente se realizará el proceso de detección o demodulación del mismo modo que en el transmisor la información se agregaba a la señal de FI en el modulador. Para caracterizar el receptor, se utilizará como señal de entrada la proporcionada por el generador de RF (BK Precision) **sintonizado en este caso a 17.4 MHz** según la siguiente figura.



La señal de entrada (en este caso un **tono de 17,4 MHz**) es visualizada en el osciloscopio (dispare el osciloscopio con el CH2) y la señal de salida (tono de 10.8 MHz) en el osciloscopio y en el A.E. (una muestra de -10 dB, puerta Monitor). **Centre el A.E. en 10,8 MHz con un SPAN de 2 MHz y RBW = 10 kHz, Nivel de ref.: 10 dBm.** Ajuste la frecuencia del generador hasta centrar el tono de salida en la pantalla del Analizador.

3.4. EXPERIMENTO 4- Respuesta lineal y no lineal del receptor

Los amplificadores del receptor están configurados según el montaje anterior para una ganancia máxima si se sitúan en posición **INT** los interruptores de las placas (no actúa el circuito de CAG).

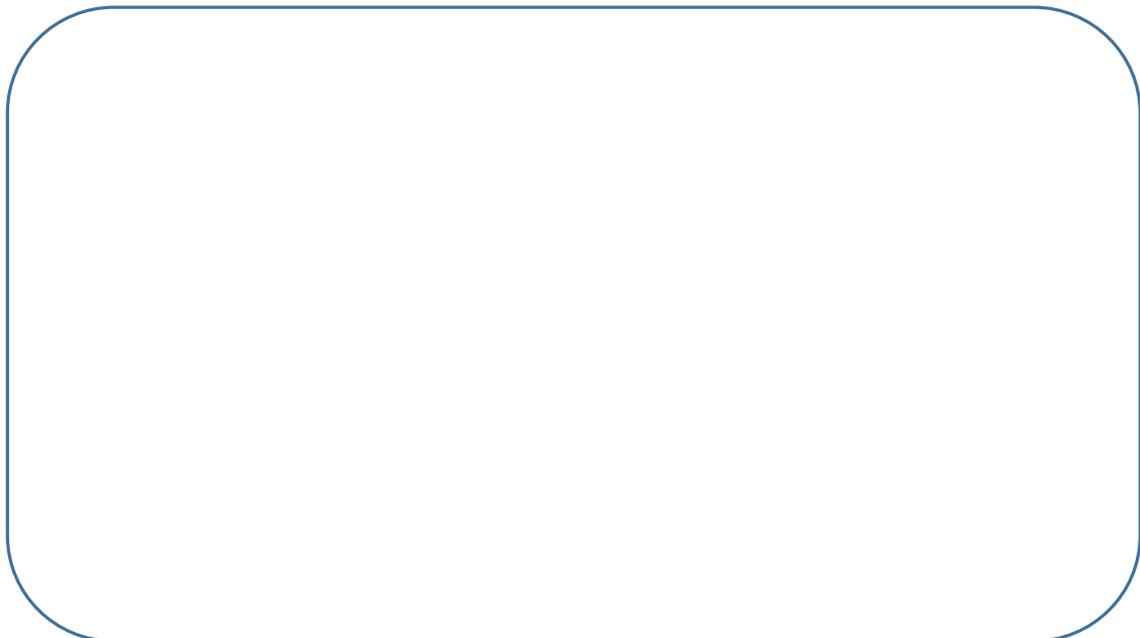
Varíe el mando de amplitud del generador de RF partiendo de un nivel suficientemente bajo (20 mVpp, -30 dBm) y compruebe que para niveles altos se produce la saturación del amplificador de FI del receptor (el nivel de la señal de salida de 10.8 MHz deja de aumentar).

Mida la ganancia del receptor (RF+FI) para un nivel de entrada suficientemente bajo (< 40mVpp) y a continuación la potencia de salida en condiciones de saturación aumentando suficientemente el nivel de entrada (lectura del A.E. incrementada en 10 dB, pues se está midiendo en la puerta Monitor). **Asegúrese de medir la ganancia a la frecuencia a la que ésta es máxima.**

RESPUESTA DEL RECEPTOR	
Vin (≈ 17.4 MHz) CH2	Vpp
Vout (≈ 10.8 MHz) CH1	Vpp
GANANCIA LINEAL DEL RECEPTOR (RF+FI)	dB
POTENCIA DE SATURACIÓN DEL AMPLIFICADOR DE FI	dBm

Reajuste el nivel de salida del generador de RF a 40 mVpp.

Varíe su frecuencia alrededor de 17.4 MHz (la salida variará alrededor de 10.8 MHz) y mida la frecuencia central y anchura de banda a 3 dB del receptor (recuerde que la anchura de banda del receptor debe ser mayor que la banda instantánea de la señal para que esta no sufra distorsión). Esta medida es similar a la realizada en el caso del transmisor (función de transferencia). Para la medida de la sintonía centre correctamente la señal de salida en la pantalla del A.E., reduzca el SPAN del analizador a 1 MHz, RBW = 10 KHz, Ref. Level = 10 dBm y sitúe la escala vertical en 3 dB/div (AMPT > RANGE/REF. POSITION, RANGE = 30 dB). Active, en el menú TRACE la opción MAX-HOLD. Realice una fotografía de la medida.



Función de transferencia del receptor.

RESPUESTA SINTONIZADA DEL RECEPTOR	
Frecuencia central	
Frecuencia de corte inferior	
Frecuencia de corte superior	

Una vez realizada la medida desactive la opción MAX-HOLD y vuelva a ajustar la escala vertical a 10 dB/div.

Sintonice ahora el generador de RF a la frecuencia imagen del sistema y compruebe si existe salida en FI. En caso negativo, aumente la amplitud del generador de RF hasta que sea capaz de medir la señal en FI. Haga una estimación del rechazo a la frecuencia imagen con las medidas anteriores.

FRECUENCIA IMAGEN DEL SISTEMA:		MHz
NIVEL DE ENTRADA A FRECUENCIA IMAGEN:	Vpp	dBm
NIVEL DE SALIDA del AMPLIFICADOR DE FI:	mVpp	dBm
RECHAZO A LA FRECUENCIA IMAGEN:		dB

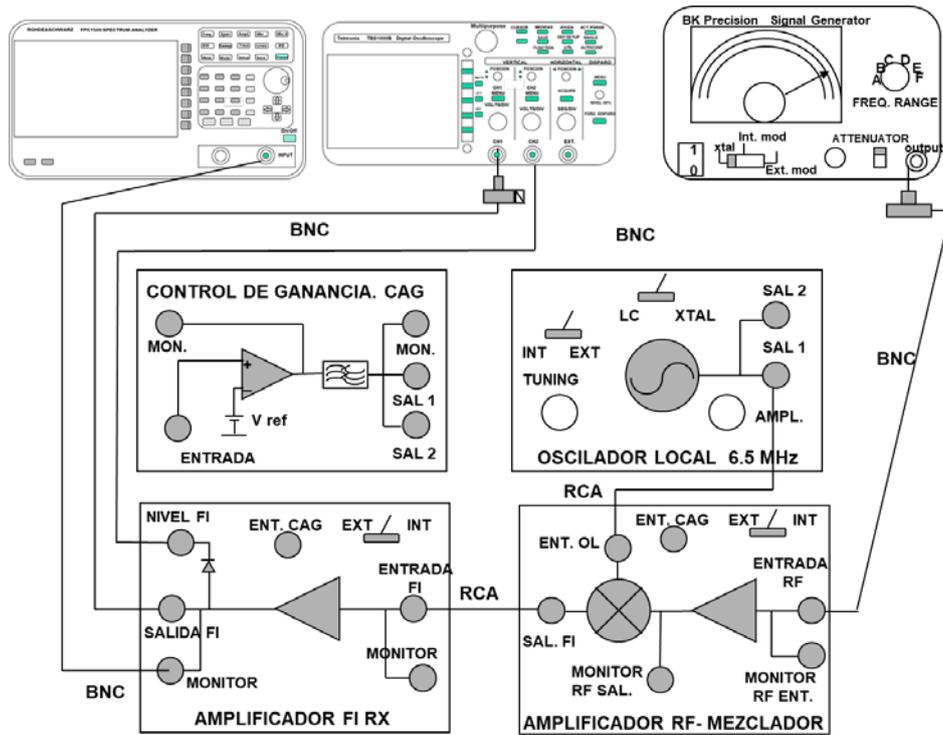
¿Qué filtro fija la selectividad del sistema con respecto a la frecuencia imagen?

3.5. EXPERIMENTO 5- Control automático de ganancia

Sintonice de nuevo el generador de RF BK a 17.4 MHz (la salida leída en el analizador será de 10.8 MHz).

Realice el siguiente montaje (retire el cable que va del generador al osciloscopio CH2 (lado del generador) y llévelo a la **salida NIVEL FI del módulo amplificador de FI**). Esta salida da una indicación en forma de tensión continua del nivel de potencia de salida del amplificador. Es la salida de un detector de potencia (circuito rectificador seguido de un filtro paso bajo). Ponga la sensibilidad del CH2 en 500 mV/div.

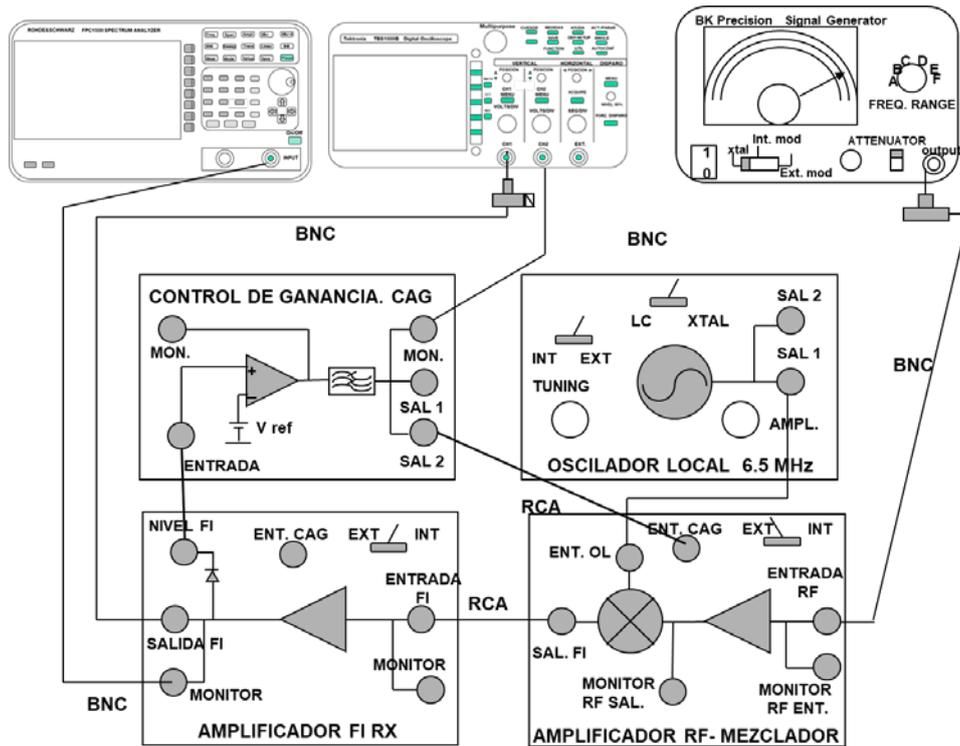
Compruebe esto variando la potencia de salida del generador y anote los valores mínimo y máximo de tensión detectada (valor medio medido en el osciloscopio).



Tensión detectada (mínima):

Tensión detectada (máxima):

Este nivel de continua se compara en el circuito de CAG con uno de referencia de modo que si es mayor se reduce la ganancia del amplificador (tensión menor aplicada a la puerta del MOSFET). Compruebe este efecto llevando la señal detectada al circuito de CAG y una de las salidas de éste a la entrada de CAG del amplificador de RF (posición **EXT** para cerrar el circuito de CAG) según la figura siguiente. Varíe la potencia de entrada de RF (mando de amplitud/atenuación del generador de RF) y observe simultáneamente en el osciloscopio/analizador el nivel de salida del amplificador de FI (dispare con el CH1) y la tensión de CAG (salida **MONITOR** de la placa de CAG, señal DC, CH2). Ponga el CH2 en 2 V/div y posición vertical en 0V (centro del eje vertical).



Anote los valores mínimo y máximo de la tensión de CAG al variar la amplitud de la señal de entrada al receptor (utilice los dos rangos de potencia del generador de RF, conmutador situado al lado de la salida del generador) y el valor de potencia de salida del amplificador de FI para el valor mínimo de CAG (lectura del analizador incrementada en 10 dB).

Tensión CAG mínima: Vdc Pout_FI: dBm
 Tensión CAG máxima: Vdc

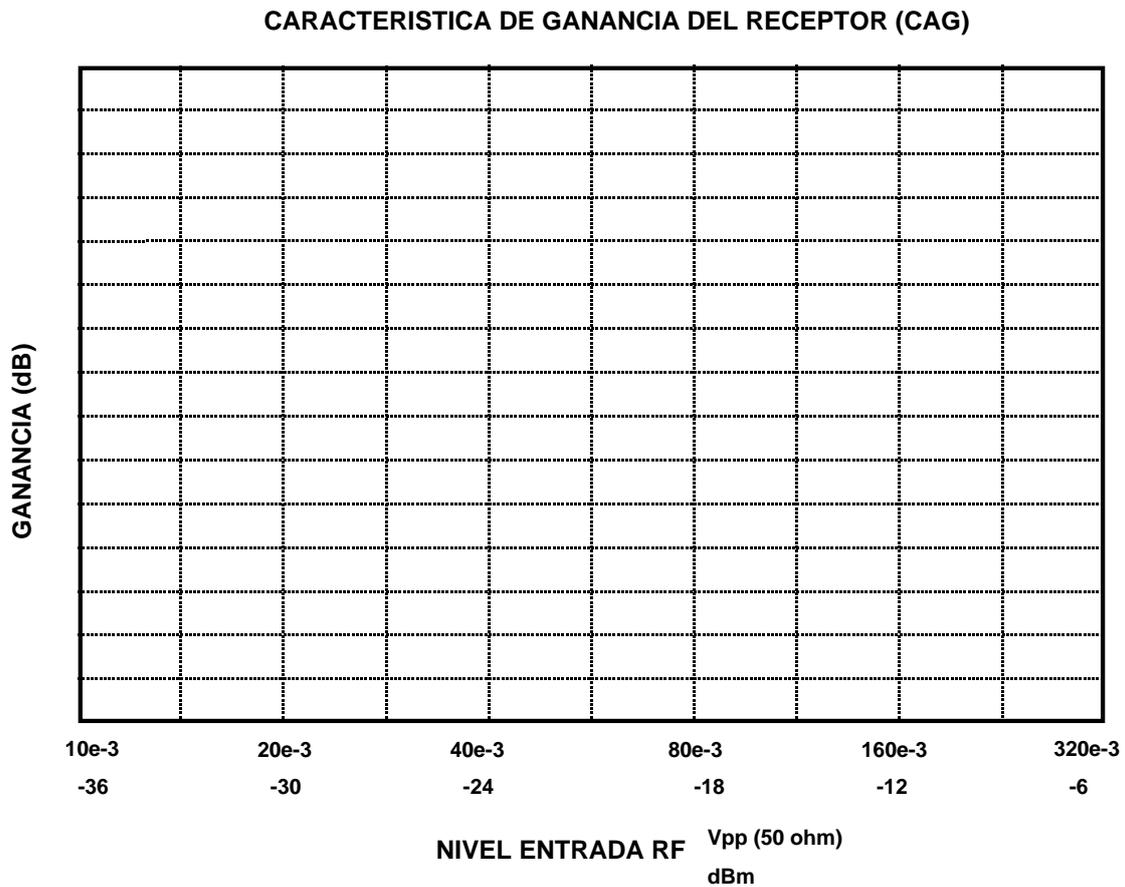
Compruebe que para niveles pequeños de señal a la entrada del receptor la tensión de CAG permanece constante (aprox. 6.8V.) proporcionando la máxima ganancia al amplificador de FI. Pasado un cierto nivel de entrada esta tensión va disminuyendo puesto que ya se ha alcanzado el nivel máximo de salida **que no es el de saturación del amplificador de FI (medido anteriormente, página 21)** sino el definido por la tensión de referencia del circuito de CAG y calculado para un funcionamiento óptimo de los circuitos demoduladores que seguirán al amplificador de FI (aproximadamente 0.5Vpp).

Retire el cable BNC de la salida FI del receptor, y cargue ésta con 50 ohmios. Lleve al CH1 del osciloscopio la salida del generador de RF sin desconectarla de la entrada al receptor (retire la carga de 50 ohms del osciloscopio). De esta forma podemos medir simultáneamente la señal de entrada al receptor y la tensión de CAG. Anote el nivel de

entrada al receptor para el que la tensión de CAG comienza a disminuir.

Nivel de entrada para el que el CAG comienza a actuar: mVpp dBm

Dibuje ahora la característica de ganancia del receptor (visualice y mida en el osciloscopio la amplitud de entrada de RF, la amplitud de salida es la visualizada en el analizador de espectros incrementada en 10 dB). Escale adecuadamente el eje Y de la gráfica.



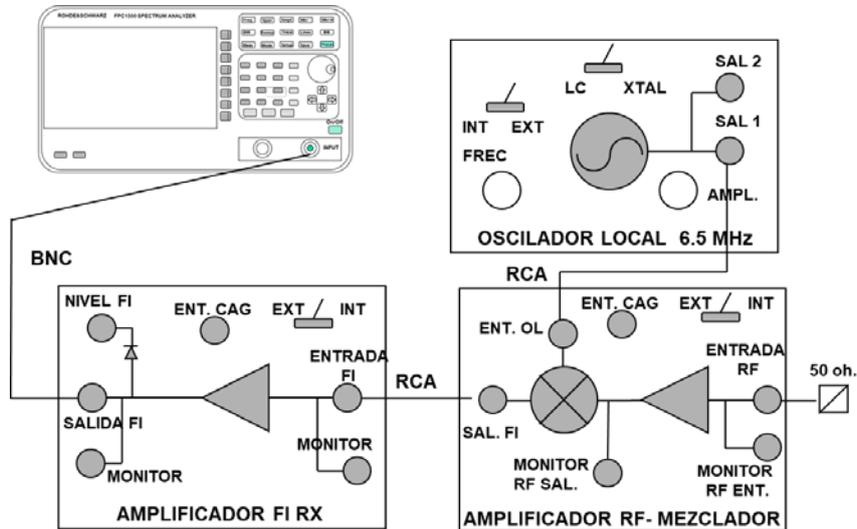
Deberá observar que para niveles pequeños de potencia de entrada la ganancia es plana y máxima (similar a la medida en el Experimento 4) y va decreciendo conforme se aumenta el nivel de entrada. Observe que el eje X de la gráfica es lineal en dB, no en Vpp.

3.6. EXPERIMENTO 7- MDS y figura de ruido del receptor

Se medirá a continuación la figura de ruido del receptor mediante el concepto de Mínima Señal Detectable explicado en la introducción teórica.

Conecte el módulo oscilador local (6.5 MHz) al módulo amplificador de RF + mezclador del receptor y la salida de éste al amplificador de FI tal como refleja la figura siguiente. Sitúe

los conmutadores de ambos amplificadores en la situación de ganancia máxima (**INT**). De esta forma se obtiene el receptor completo (hasta el demodulador). Cargue la entrada del receptor con 50 ohmios.



Visualice la señal de salida de FI en el analizador de espectros ajustando los siguientes parámetros:

CENTER:	10.8 MHz	REF LEVEL:	-40 dBm
SPAN:	2 MHz	RBW:	10 KHz
VBW (menú BW):	100 Hz	Video AVG (menú trace):	16
ATT:	0 dB		

En estas condiciones debe observarse cómo, alrededor de la frecuencia nominal de FI, el espectro de ruido es mayor que el pedestal de ruido del analizador. Este es el ruido de entrada y el añadido por el receptor (ruido de entrada amplificado, convertido a FI y filtrado). Compruébelo apagando y encendiendo el interruptor del bastidor.

La traza debe ser similar a la presentada en la figura 2 de la introducción teórica. Lleve a fondo de escala la traza disminuyendo el nivel de referencia del A.E. (menú amplitud) y seleccione 3 dB/div para la escala vertical. (AMP - RANGE = 30 dB). En estas condiciones es posible medir la anchura de banda equivalente de ruido del receptor (es posible que se *cuele* alguna señal de FI por radiación desde puestos cercanos, no deberán tenerse en cuenta).



Espectro de ruido a la salida del receptor.

Calcule a continuación el ruido de salida en FI según lo explicado en la introducción teórica (tenga en cuenta el ancho de banda de FI del analizador, RBW). Utilizando la ganancia del receptor (RF+FI) medida anteriormente, calcule la MDS y la figura de ruido del receptor. El valor A es el máximo de la traza (ver figura 1.2 de la introducción teórica).

ANCHO DE BANDA EQUIVALENTE DE RUIDO B_{3dB}:	KHz
RUIDO DE SALIDA EN FI, N_o ($A - 10\log RBW + 10\log B_{3dB}$):	dBm
MDS ($N_o - G_{receptor}$):	dBm
FIGURA DE RUIDO ($MDS - 10\log (KT_o) - 10\log B_{3dB}$):	dB

Nombres, Turno y puesto de laboratorio:
