

TEMA 8: RECEPTORES

Comunicaciones Inalámbricas

Marina Zapater

Primavera 2015

Departamento de Física Aplicada III, Universidad Complutense de Madrid



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Este tema se compone de dos grandes bloques:

- **Receptores:** bloques, tipos y parámetros básicos
- Filtros pasivos de RF: Tipos de filtros, respuesta en frecuencia

Introducción

Tipos de receptores

Frecuencias interferentes

Elección de la frecuencia intermedia

Parámetros de los receptores

- Selectividad de un receptor

- Ruido en un receptor

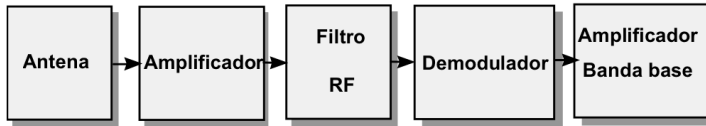
- Sensibilidad de un receptor

- Margen dinámico

Control Automático de Ganancia (CAG)

Ejercicios

INTRODUCCIÓN



Funciones de un receptor:

- Amplificar la señal hasta el nivel de entrada necesario para que el demodulador funcione correctamente
- Eliminar interferencias y ruido que llegan al receptor
- Demodular la portadora para obtener la señal en banda base y recuperar la señal de información

- Selectividad: capacidad de eliminar señales potencialmente interferentes, o señales no deseadas, cerca de la frecuencia deseada
- Sensibilidad: Nivel mínimo de señal que es capaz de detectar con la calidad deseada
- Fidelidad: capacidad de recibir y demodular la señal sin distorsión

TIPOS DE RECEPTORES

Podemos clasificar los receptores con arreglo a distintos parámetros:

■ Por el esquema de conversión

- Homodino
- Superheterodino
- Receptor de doble conversión de frecuencia

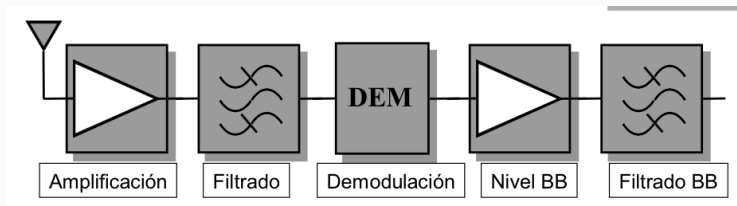
■ Por la forma de sintonía

- Fija, discreta, continua

■ Por la modulación:

- AM, DBL, BLU, ASK
- FM, FSK, PSK

- Por la frecuencia de portadora
 - LF, MF, HF, VHF, UHF, Microondas...
- Por el tipo de señales en banda base:
 - Analógicas o digitales
- Por el servicio
 - Audio (telefonía, radiodifusión...)
 - Vídeo
 - Datos



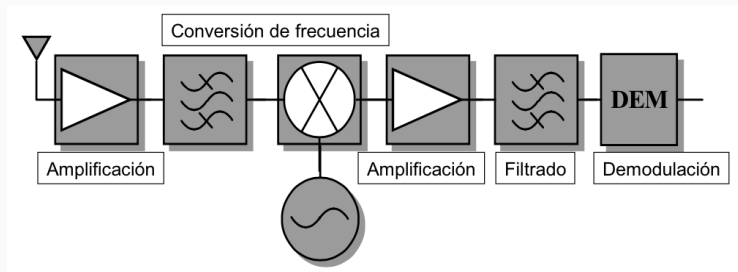
■ Ventajas

- Sencillez y bajo coste

■ Inconvenientes

- Difícil filtrado en RF si $f_p/B > 100$
- Necesita alta ganancia en los amplificadores de RF

TIPOS DE RECEPTORES: HETERODINOS



■ Ventajas:

- Es difícil y caro tener filtros de ancho de banda relativo (B/f_s) por debajo del 1%, sobre todo si queremos sintonía en un margen amplio
- El filtrado se hace sobre una frecuencia más baja
- Se amplifica en dos etapas de diferente frecuencia

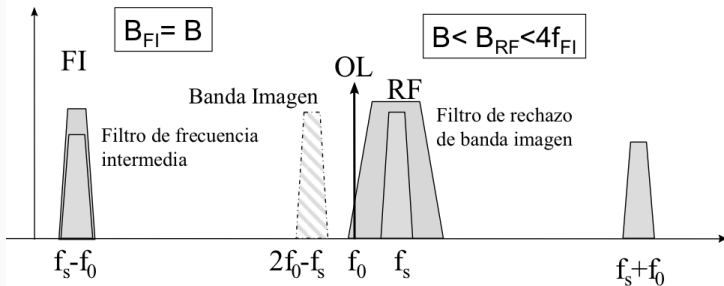
■ Inconvenientes

- Es más complejo y caro
- Hay que eliminar la banda imagen

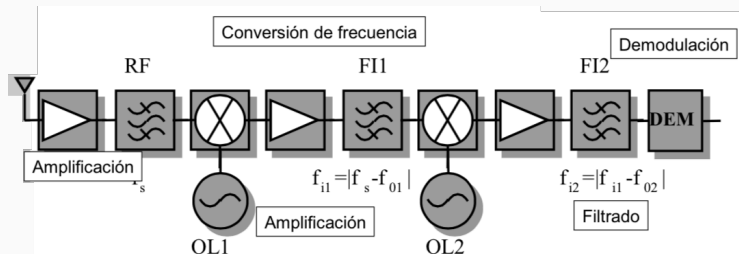
TIPOS DE RECEPTORES: HETERODINOS

Bandas espurias y frecuencia imagen:

$$f_{\text{Imagen}} = f_s \pm 2f_{\text{FI}}$$



TIPOS DE RECEPTORES: DE DOBLE CONVERSIÓN



■ Ventajas:

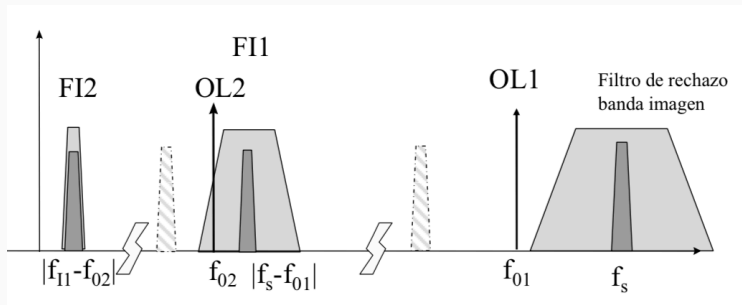
- Usamos más de una conversión para tener buena selectividad con filtros no muy complicados o en bandas de sintonía muy amplias
- Una conversión con dos saltos permite eliminar mejor la banda imagen

■ Inconvenientes

- Es más complejo y caro

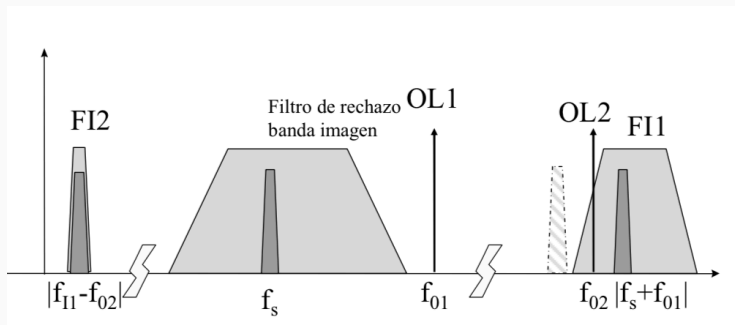
RECEPTOR DE DOBLE CONVERSIÓN HACIA ABAJO

- Se usa en receptores con relación muy grande entre portadora y ancho de banda: $f_s/B > 5000$
- Se hace una doble conversión hacia abajo (down converter):
 $f_{i1} < f_s, \quad f_{i2} < f_{i1}$
- f_{i1} se elige para filtrar fácilmente la banda imagen
- Evitamos el uso de filtros muy estrechos



RECEPTOR DE DOBLE CONVERSIÓN HACIA ARRIBA

- Se usa en receptores con un margen relativo de sintonía muy amplio: $f_{s,max}/f_{s,min} > 30$
- Se hace una primera conversión hacia arriba $f_{f1} > f_{s,max}$ para eliminar fácilmente la banda imagen
- Se hace la segunda conversión hacia abajo $f_{f2} < f_{f1}$



FRECUENCIAS INTERFERENTES

- El mezclador es un componente no lineal que da a la salida todas las mezclas de la señal y sus armónicos: $f_{m,n} = |nf_0 \pm mf_s|$
- Para que el espúreo alcance el demodulador ha de estar dentro de la banda de paso del filtro de FI. Esto pasa en dos casos:
 - Mezclas armónicas de la señal
 - Mezclas armónicas de las interferencias

- Mezclas armónicas de la **señal**: un armónico de la señal se mezcla con un armónico del oscilador local y se produce un batido a frecuencia intermedia:

$$f_{m,n} \rightarrow |nf_0 \pm mf_s| = f_i, \quad \frac{f_0}{f_s} = \frac{m \pm 1}{n \pm 1}$$

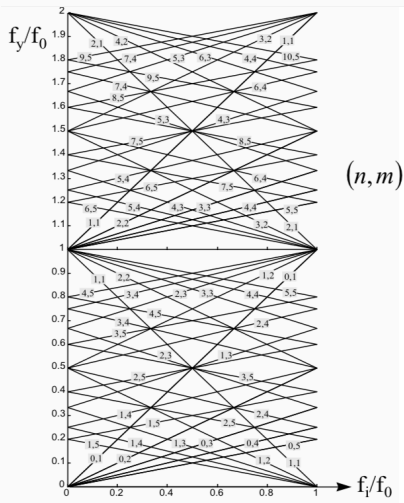
- Procedente de esta mezcla aparece a la salida una señal que distorsiona la recepción.
- Se evita seleccionando adecuadamente FI y teniendo un rechazo importante de armónicos

- Mezclas armónicas de las **interferencias**: se mezcla una señal interferente fuera de la banda que se desea recibir con el oscilador local

$$|mf_Y \pm nf_0| = f_i, \quad \frac{f_Y}{f_0} = \left| \frac{n}{m} \pm \frac{1}{m} \frac{f_i}{f_0} \right|$$

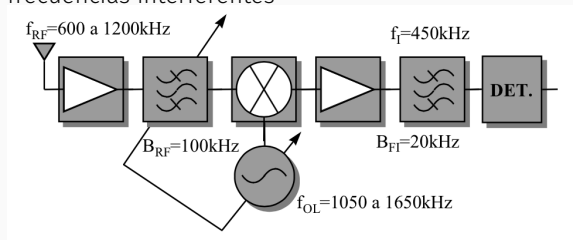
- Esta mezcla es más grave, porque el nivel de la interferencia suele ser mayor que el de señal.
- Se reducirá mediante el uso de un mezclador balanceado y la correcta selección de FI

CARTA DE PRODUCTOS INTERFERENTES



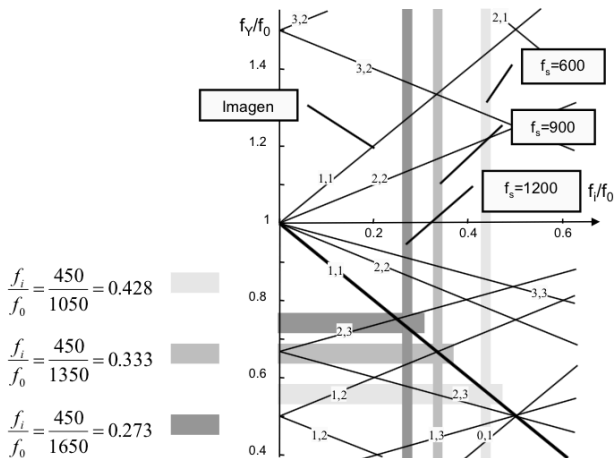
EJEMPLO: FRECUENCIAS INTERFERENTES

Consideremos un receptor sintonizable en la banda de 600 a 1200kHz, para el que se ha elegido una frecuencia intermedia de 450kHz. El oscilador toma valores por encima de la señal entre 1050 y 1650kHz. Calcule las posibles frecuencias interferentes



EJEMPLO: FRECUENCIAS INTERFERENTES - SOLUCIÓN

Mezcla armónica con interferencias:



EJEMPLO: FRECUENCIAS INTERFERENTES - SOLUCIÓN

Mezclas armónicas de la señal:

| Frecuencia | Intermedia | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | |
|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------|
| Frecuencia | Señal | 600 | 750 | 900 | 1050 | 1200 | |
| Frecuencia | Osc Local | 1050 | 1200 | 1350 | 1500 | 1650 | |
| m | n | | | | | | |
| 1 | -1 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | Señal |
| 1 | 1 | 1650 | 1950 | 2250 | 2550 | 2850 | |
| 2 | -1 | 150 | 300 | 450 | 600 | 750 | |
| 2 | 1 | 2250 | 2700 | 3150 | 3600 | 4050 | |
| 1 | -2 | 1500 | 1650 | 1800 | 1950 | 2100 | |
| 1 | 2 | 2700 | 3150 | 3600 | 4050 | 4500 | |
| 3 | -1 | 750 | 1050 | 1350 | 1650 | 1950 | |
| 3 | 1 | 2850 | 3450 | 4050 | 4650 | 5250 | |
| 2 | -2 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | |
| 2 | 2 | 3300 | 3900 | 4500 | 5100 | 5700 | |
| 1 | -3 | 2550 | 2850 | 3150 | 3450 | 3750 | |
| 1 | 3 | 3750 | 4350 | 4950 | 5550 | 6150 | |
| 4 | -1 | 1350 | 1800 | 2250 | 2700 | 3150 | |
| 4 | 1 | 3450 | 4200 | 4950 | 5700 | 6450 | |
| 3 | -2 | 300 | 150 | 0 | 150 | 300 | |
| 3 | 2 | 3900 | 4650 | 5400 | 6150 | 6900 | |
| 2 | -3 | 1950 | 2100 | 2250 | 2400 | 2550 | |
| 2 | 3 | 4350 | 5100 | 5850 | 6600 | 7350 | |
| 1 | -4 | 3600 | 4050 | 4500 | 4950 | 5400 | |
| 1 | 4 | 4800 | 5550 | 6300 | 7050 | 7800 | |

$$|mf_s + nf_0|$$

EJEMPLO: FRECUENCIAS INTERFERENTES - SOLUCIÓN

| Tipo de interferencia | $f_s=600\text{kHz}$ | $f_s=900\text{kHz}$ | $f_s=1200\text{kHz}$ |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| $m=1, n=1$ (imagen) | 1500 | 1800 | 2100 |
| $m=2, n=1$ | 750 | 900 | 1050 |
| $m=3, n=2$ | 850 | 1050 | 1250 |
| $m=3, n=2$ | 550 | 750 | 950 |
| $m=2, n=2$ | 825 | 1125 | 1425 |
| $m=3, n=1$ | 500 | 600 | 700 |

ELECCIÓN DE LA FRECUENCIA INTERMEDIA

El objetivo de la carta de frecuencias era elegir la frecuencia intermedia de forma que la banda de sintonía tuviera el menor número de espúreos posible.

Además, ha de cumplir las siguientes restricciones:

- La frecuencia intermedia no debe coincidir con la de señal:

$$f_i < f_{s,min} \text{ ó } f_i > f_{s,max}$$

- La FI no debe coincidir con el oscilador local (OL)
 - Si coincidiera, y hubiera un aislamiento débil, podemos tener señales del oscilador en la banda FI
 - Esta restricción esta contenida en la anterior si $f_o > f_s$
 - Si $f_o < f_s$ y $f_i < f_o$ entonces $f_i < \frac{f_{s,min}}{2}$

- La relación entre el valor de la frecuencia intermedia y el ancho de banda no debe ser muy grande
 - Evitamos especificaciones rigurosas sobre el filtro de FI, que en general tendrá un ancho de banda relativo mayor del 1%:

$$2 < \frac{f_i}{B} < 100$$

- Posibilitar el rechazo de las frecuencias interferentes y en particular de la banda imagen
 - El filtro de RF se diseñará para rechazar la banda imagen
- La FI debe coincidir con uno de los valores normalizados
 - Permite usar una amplia gama de componentes del mercado
 - Las bandas normalizadas de FI están reguladas, y no hay emisiones RF en ellas:

$$AM \rightarrow f_i = 450\text{kHz}$$

$$BLU \rightarrow f_i = 1.75\text{MHz}$$

$$FM \rightarrow f_i = 10.7\text{MHz}$$

PARÁMETROS DE LOS RECEPTORES

- Selectividad
- Ruido
- Sensibilidad
- Margen dinámico

- La selectividad es la capacidad de separar una señal interferente de la señal deseada
- Se cuantifica como la relación de potencia que debe haber entre la señal interferente (P_y) y la señal deseada (P_s) para que ambas produzcan la misma señal en el demodulador

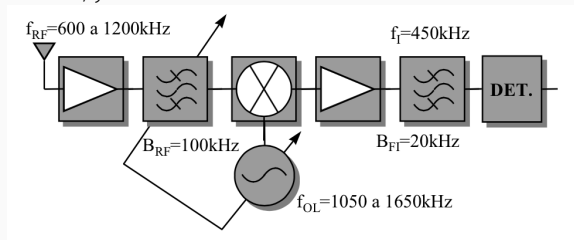
$$\frac{P_y(f_y)}{P_s(f_s)} = S(f_y - f_s) = S(\Delta f_s)$$

- Es decir, calculamos el nivel de señal entre canal deseado y no deseado (adyacente, generalmente)
- Obtenemos la curva de la potencia de señal interferente en función de su frecuencia o de la diferencia entre la frecuencia de la señal deseada y la interferente → **curva de selectividad**

- Cerca de la frecuencia de sintonía la selectividad la define el producto de la función de transferencia de los filtros → y suele limitar el filtro de FI
- Lejos de la frecuencia de sintonía (donde en teoría tenemos las señales que no alcanzan el detector) tenemos otros fenómenos:
 - Penetración de FI: si la f_{FI} está cerca de RF, o hay mal aislamiento, la frecuencia de RF se cuela en FI.
 - Penetración en banda imagen o espúreos: generalmente viene definido por la respuesta del filtro de RF
 - Bloqueo o desensibilización: si hay una señal interferente de valor muy elevado (un transmisor cerca), esta frecuencia pasa el filtro de RF y puede saturar el amplificador de RF → el receptor pierde ganancia y el nivel de salida se reduce

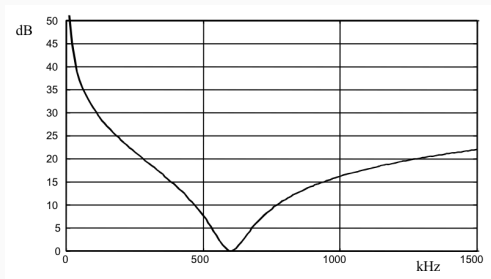
EJEMPLO 2: SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

Consideremos el mismo receptor sintonizable del ejemplo anterior, sintonizado en la banda inferior (600kHz), con una frecuencia intermedia de 450kHz, y un oscilador a 1050kHz.



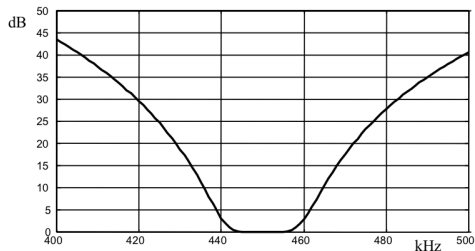
EJEMPLO 2: SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

- Se estima un nivel mínimo de señal de RF a la entrada de $500\mu\text{V}$ de pico (sensibilidad) para el correcto funcionamiento del receptor.
- El filtro de RF consta de una sola etapa LC con un ancho de banda a -3dB de 100kHz



EJEMPLO 2: SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

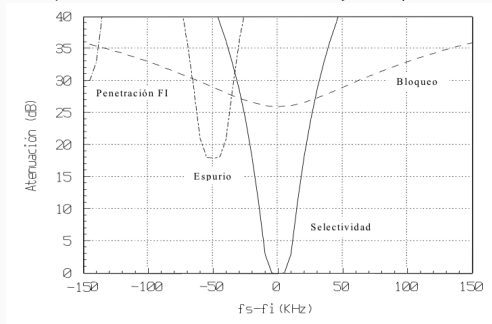
- El amplificador de RF tiene 40dB de ganancia de tensión y nivel de saturación a la salida de 1V de pico
- El filtro de FI está centrado en 450kHz y tiene 20kHz de ancho de banda a -3dB.



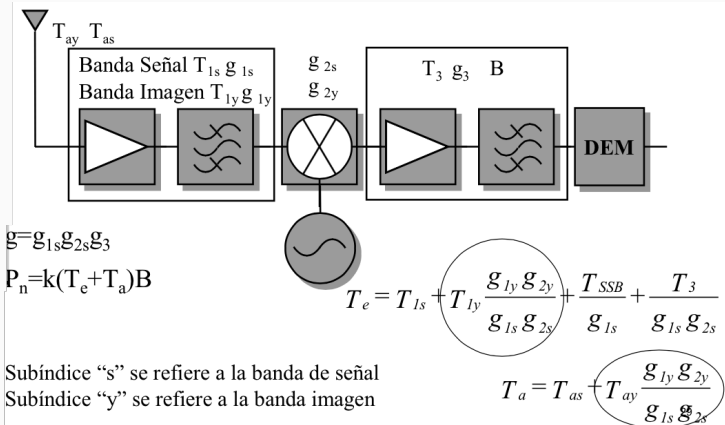
EJEMPLO 2: SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

- El mezclador tiene un aislamiento a FI de 20dB, una atenuación de 15dB a mezclas espúreas $|2f_0 \pm 3f_Y|$ sin rechazo de banda imagen

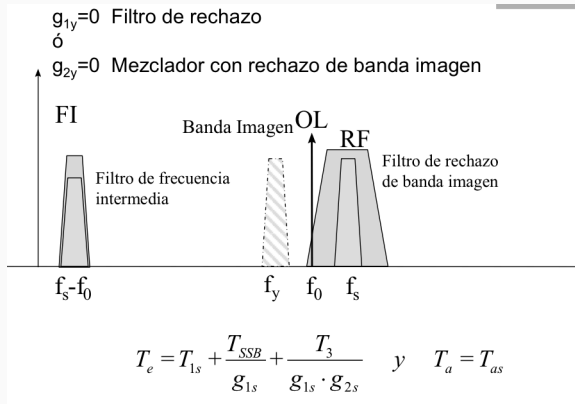
Dibuje la curva de selectividad y bloqueo en frecuencia



- La banda de ruido se asocia al filtro de FI. Tendremos ruido procedente de la banda de señal y de la banda imagen.

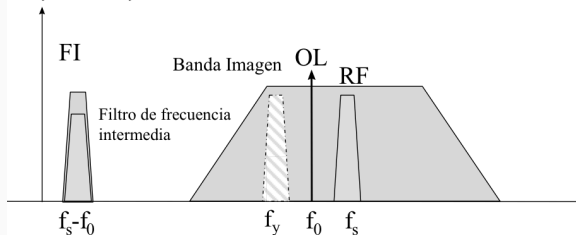


RUIDO: RECEPTOR CON RECHAZO DE BANDA IMAGEN



RUIDO: RECEPTOR SIN RECHAZO DE BANDA IMAGEN

$g_{1y}=g_{1s}$ Igual ganancia en imagen
 $g_{2y}=g_{2s}$ Mezclador sin rechazo de banda imagen
 $T_{ay}=T_{as}$ y $T_{1y}=T_{1s}$ Iguales temperaturas de antena y recepción.



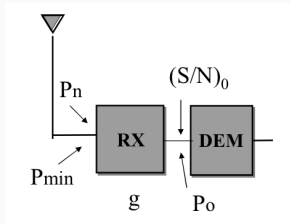
$$T_e = 2T_{1s} + \frac{T_{SSB}}{g_{1s}} + \frac{T_3}{g_{1s} \cdot g_{2s}} \quad y \quad T_a = 2T_{as}$$

- Nivel mínimo de señal a la entrada de un receptor para que en el detector se cumple con el nivel potencia y relación señal a ruido necesarios. Deben cumplirse dos condiciones:
 - Limitación de ganancia de la cadena amplificadora para tener el nivel de potencia deseado a la entrada del detector:

$$P_{min}(g) = \frac{P_0}{g}$$

- Limitación en el nivel de ruido que acompaña a la señal y que introduce el propio receptor:

$$P_{min}(N) = (S/N)_0 P_n$$



- Para que ambas condiciones se satisfagan a la vez, la sensibilidad final vendrá definida por el mayor de los dos valores.
- Normalmente ajustamos el receptor para que se cumplan ambas condiciones.

■ Especificación en tensión

(V) Tensión eficaz en bornes de la antena en C.A.

$$V_{min}(\mu V) \text{ ó } 20 \text{Log}(V_{min}(\mu V)) \text{ (dB}\mu V)$$

(E) Campo eléctrico eficaz de la onda que incide sobre la antena*.

$$|E|_{min}(\mu V/m) \text{ ó } 20 \text{Log}(|E|_{min}(\mu V/m)) \text{ (dB}\mu V/m)$$

Relación entre ambas:

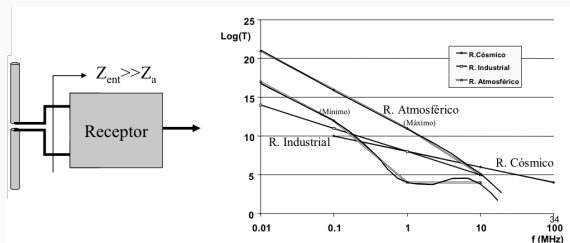
$$V_{min} = |E|_{min} L_{eq}$$

L_{eq} = Longitud equivalente de la antena

* (se supone adaptación perfecta de polarización)

SENSIBILIDAD EN TENSIÓN

- Es típica de frecuencias bajas ($f < 100\text{MHz}$)
- La impedancia de entrada a los receptores es alta comparada con la impedancia de la antena
- Las pérdidas por desadaptación son altas
- El ruido más importante del sistema es el debido a la antena
- Lo vemos en antenas del tipo dipolo o monopolo sobre plano de masa



■ Especificación de sensibilidad en potencia:

- Hablamos de la potencia disponible en la antena o generador equivalente
- $\langle S \rangle$ es la densidad de flujo potencia de la onda incidente sobre la

$$P_{\min} (\mu\text{W}) \quad \text{ó} \quad 10\log(P_{\min} (\text{mW})) \quad (\text{dBm})$$

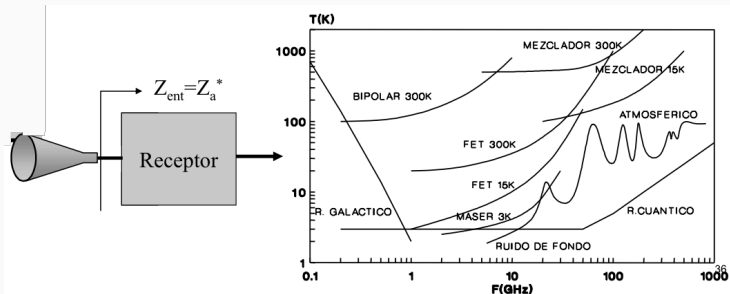
antena $\langle S \rangle_{\min} (\mu\text{W}/\text{m}^2) \quad \text{ó} \quad 10\log(\langle S \rangle_{\min} (\text{mW}/\text{m}^2)) \quad (\text{dBm}/\text{m}^2)$

La relación entre ambas es:

$P_{\min} = \langle S \rangle_{\min} A_{eq}$, donde A_{eq} es la superficie equivalente o efectiva de recepción

SENSIBILIDAD EN POTENCIA

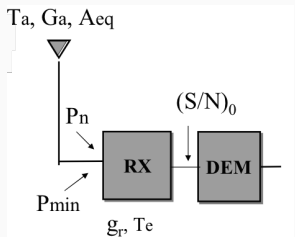
- Es típica de frecuencias altas ($f > 100\text{MHz}$)
- La impedancia de entrada a los receptores está adaptada a la impedancia de la antena
- Las pérdidas por desadaptación son bajas
- El ruido más importante del sistema es el debido al receptor



ESPECIFICACIÓN DE SENSIBILIDAD

- G/T - Ganancia sobre ruido: cociente entre la ganancia de la antena y la temperatura equivalente de ruido a la entrada del receptor
 - Es una forma de especificar la sensibilidad como flujo de potencia en la antena
 - G_a es la ganancia de la antena y T la temperatura de ruido equivalente del sistema a la entrada del receptor o salida de la antena

$$T = T_a + T_e \quad G_a = \frac{4\pi A_{eq}}{\lambda^2}$$



- La relación G/T es inversamente proporcional a la sensibilidad del flujo de potencia, y depende de la relación señal ruido en el demodulador, la banda de recepción y la longitud de onda de la señal

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = \frac{P_{\min} \cdot g_r}{P_n \cdot g_r} = \frac{P_{\min}}{kBT} = \frac{\langle S \rangle_{\min} \cdot A_{eq}}{kBT}$$

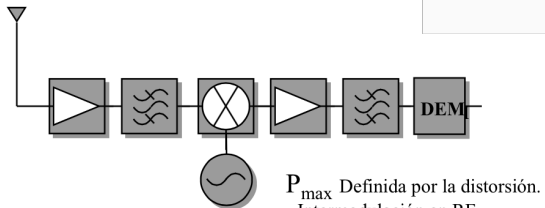
$$(G/T) = \frac{G_a}{T} = \frac{4\pi kB}{\lambda^2} \cdot \left(S/N\right)_0 \cdot \frac{1}{\langle S \rangle_{\min}}$$

- Se denomina margen dinámico a la relación entre la potencia máxima y la potencia mínima de entrada al receptor

$$MD^{RX} = \frac{P_{i,max}(mW)}{P_{i,min}(mW)}$$

$$MD^{RX}(dB) = P_{i,max}(dBm) - P_{i,min}(dBm)$$

- La potencia mínima está definida por la sensibilidad
- La potencia máxima está limitada por distorsión, saturación o máximo nivel especificado en el demodulador



P_{\max} Definida por la distorsión.

- Intermodulación en RF
- Saturación y distorsión en FI
- **Distorsión en el demodulador**

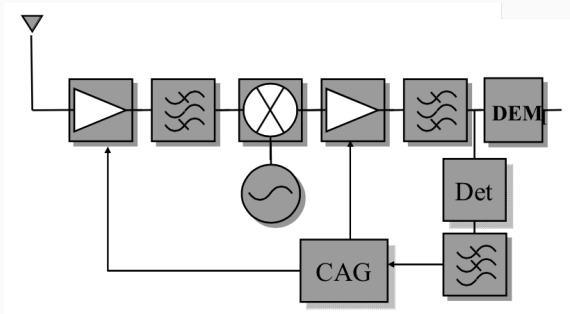
P_{\min} Definida por la sensibilidad.

- Nivel de señal en el demodulador
- **Relación señal ruido en el demodulador**

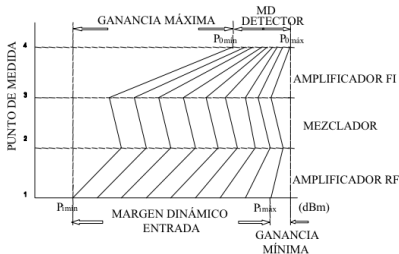
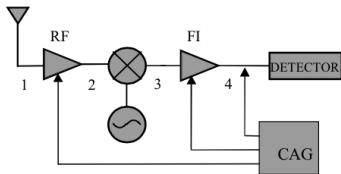
CONTROL AUTOMÁTICO DE GANANCIA (CAG)

CONTROL AUTOMÁTICO DE GANANCIA (CAG)

- Permite el ajuste de la ganancia de la cadena receptora para que los niveles de potencia en la entrada del detector sean óptimos y todos los elementos trabajen en zona lineal
- Reduce la ganancia de los amplificadores al aumentar la potencia media detectada



Variación de ganancia con el nivel de señal

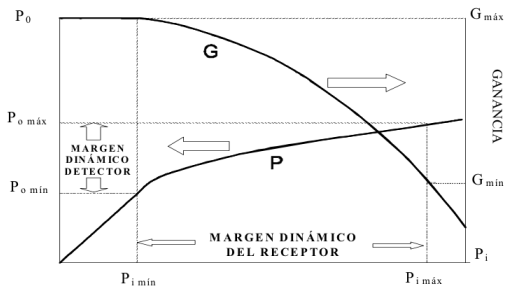


La ganancia inicia su reducción en las etapas finales de FI, donde más potencia existe.

Dependiendo del margen de ganancia a reducir, se incluye un control en la etapas de FI e incluso en las de RF.

Los niveles de potencia en cada punto no deben superar los niveles obtenidos para saturación o intermodulación.

Ganancia y potencia de salida en función de la potencia de entrada

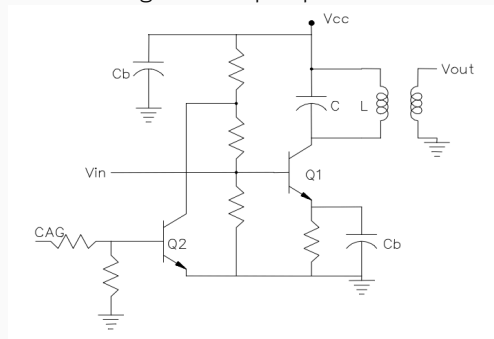


$$G_{\text{max}}(\text{dB}) = P_{o,\text{min}}(\text{dBm}) - P_{i,\text{min}}(\text{dBm})$$

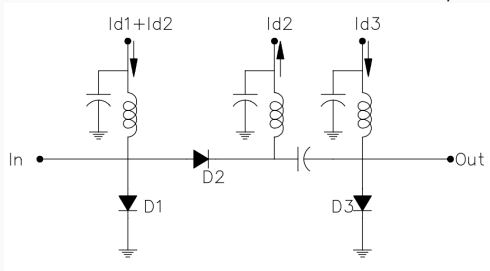
$$G_{\text{min}}(\text{dB}) = P_{o,\text{max}}(\text{dBm}) - P_{i,\text{min}}(\text{dBm})$$

$$\Delta G = MD_{RX} - MD_{\text{detector}}$$

Control de ganancia por polarización de amplificadores:



Atenuador de diodos PIN controlado por tensión:



EJERCICIOS

PREGUNTAS?