

TEMA 6

- × .Demodulación de señales moduladas en amplitud:

 - + AM

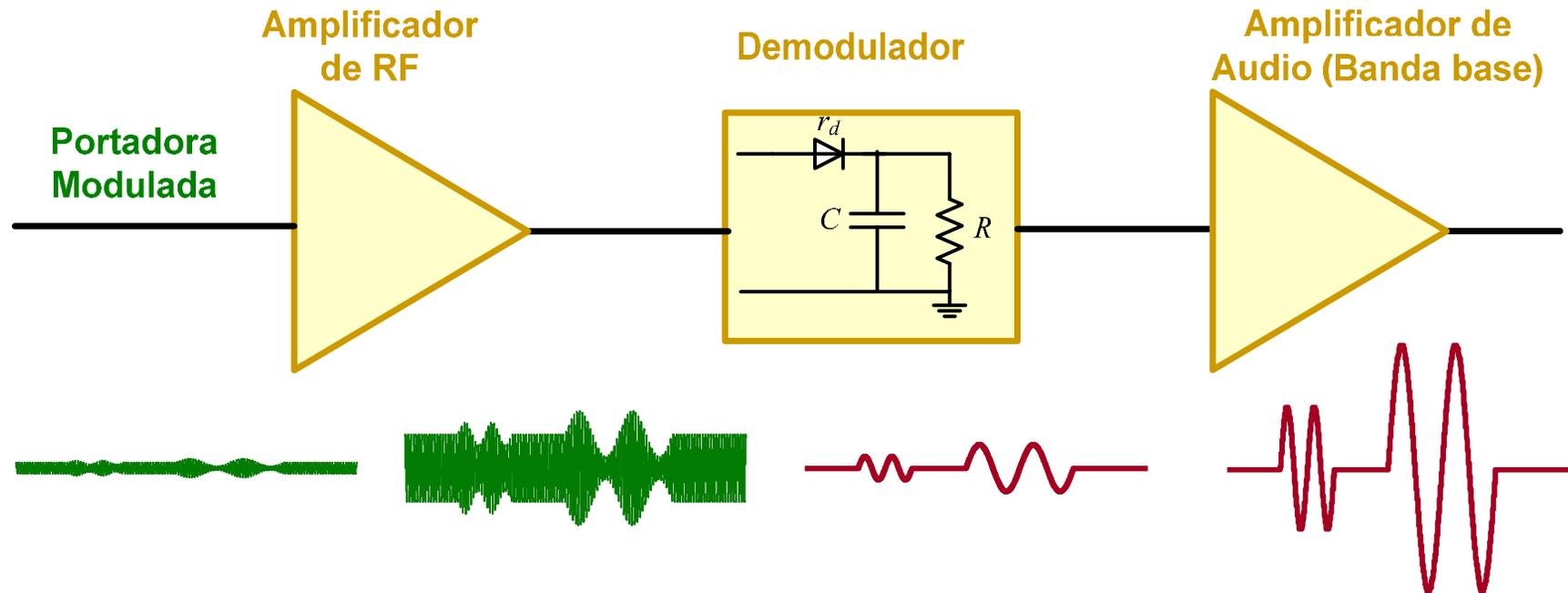
 - + BLU

- × Receptores de AM.

Objetivo:

Recuperar amplitud y frecuencia de la información: $v_m(t) = V_m \cos \omega_m t$

Esto significa, **obtener la forma de onda de la moduladora (información) de la portadora modulada.**

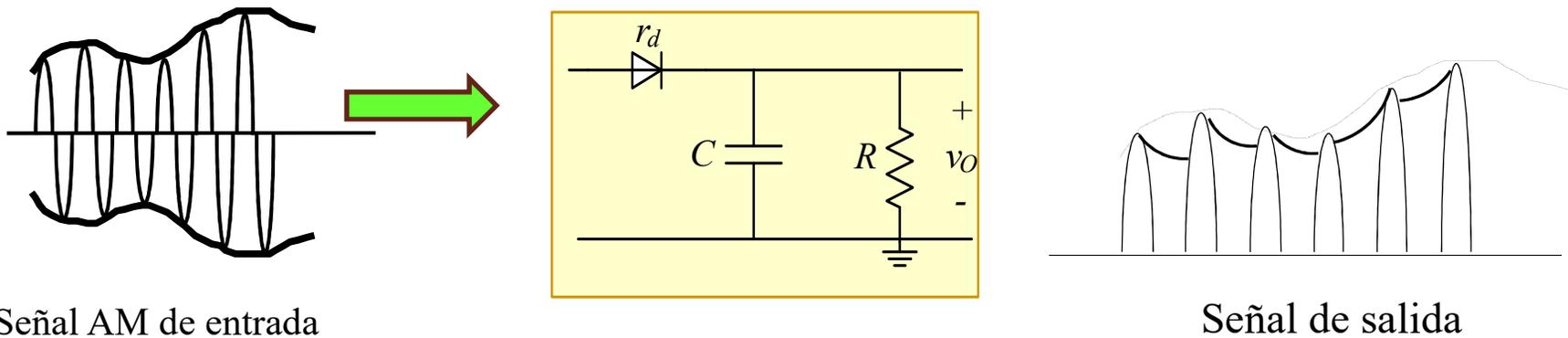


Demodular es el proceso inverso al de modular!!!!

Demodulador de AM

3

El circuito usado como detector de envolvente en la demodulación de AM, es el mostrado en la figura:



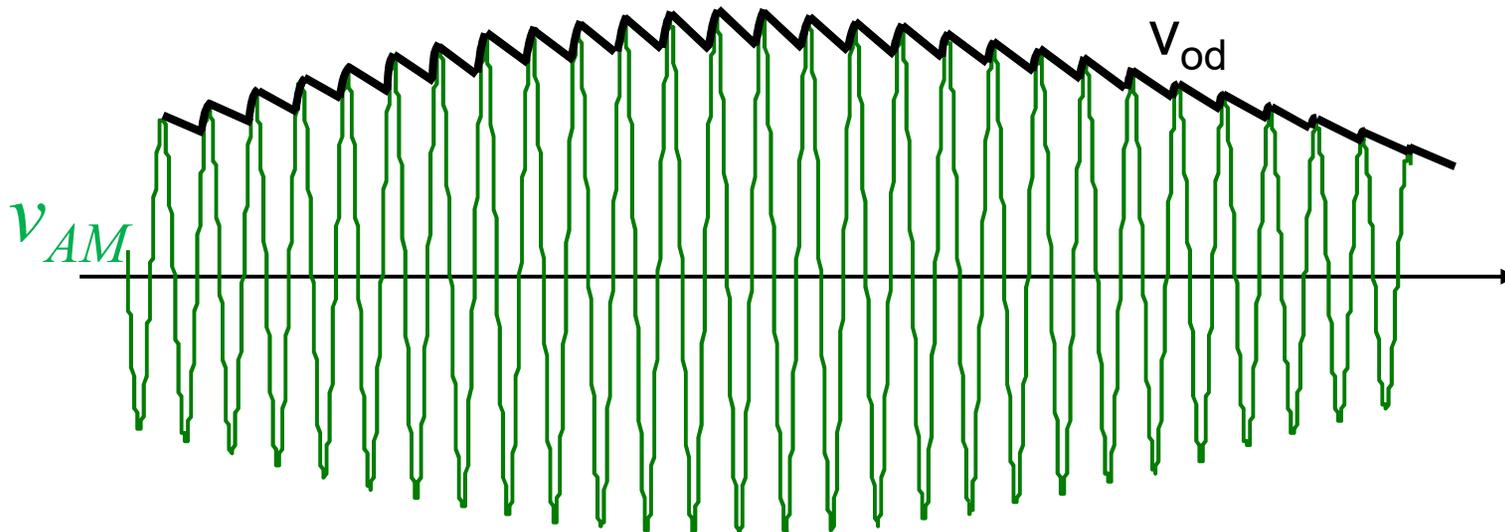
El circuito detector de envolvente, es un circuito detector de picos, o sea un rectificador acoplado a la red RC y su operación es sencilla

Detector de Envolvente

Si se considera que inicialmente el capacitor está descargado, la tensión de salida $V_o(t)$, es cero.

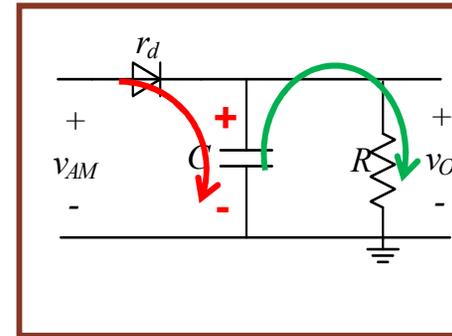
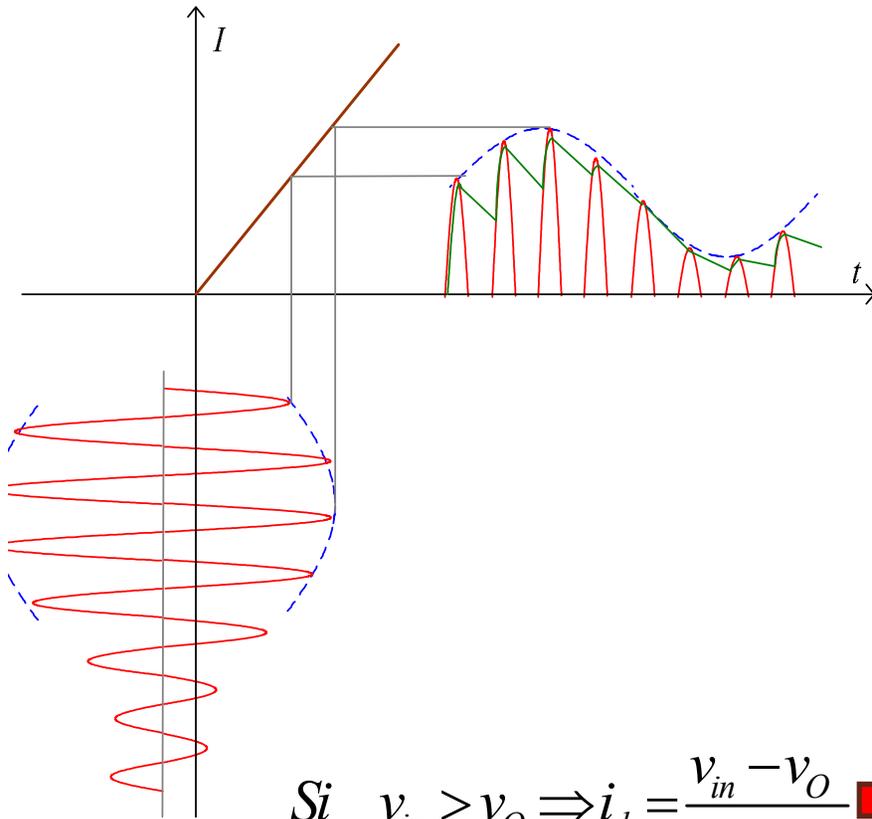
Una vez que la señal de entrada supera la tensión umbral del diodo, éste entra en conducción, cargándose el capacitor hasta el valor de pico máximo positivo.

Cuando la tensión de entrada se hace menor que el valor de pico máximo almacenado en el capacitor, el diodo se bloquea (no conduce) y el capacitor se descarga a través de R . Este proceso de descarga se mantiene hasta que el diodo quede polarizado directamente, para nuevamente conducir y cargar el capacitor hasta el valor de pico máximo positivo o hasta que la tensión en el ánodo sea menor que el del cátodo.



Detector de envolvente

Entonces, el objetivo del detector es recuperar la información original.



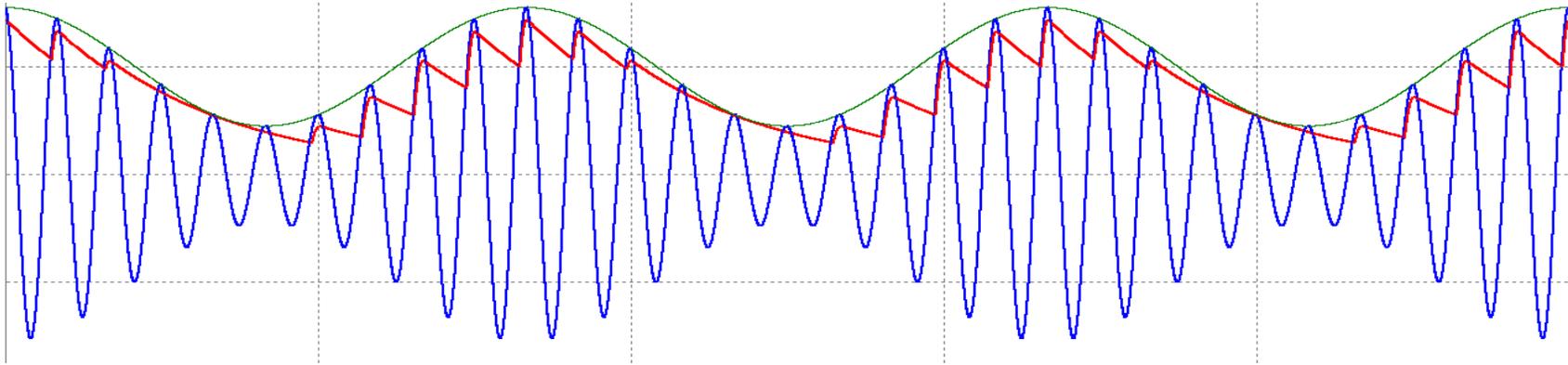
El diodo trabaja en zona lineal

$$v_{in} = v_{AM}(t) = V_c(1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

Si $v_{in} > v_O \Rightarrow i_d = \frac{v_{in} - v_O}{r_d}$ ➔ El diodo conduce y se **carga** el capacitor con $\tau_c = r_d \cdot C$

r_d : Resistencia media del diodo (interna)

Para $v_{in} < v_O \Rightarrow i_d = 0$ ➔ El diodo se abre y el capacitor se **descarga** a través de la resistencia R $\tau_d = R \cdot C$



De acuerdo a lo anterior, se entiende que la tensión de salida crece cuando crece la entrada y disminuye cuando la entrada disminuye.

Es así como la tensión de salida sigue a la entrada. Para que la salida siga la entrada, es necesario que la constante de tiempo RC sea la adecuada, de manera que el proceso de carga y descarga del capacitor sea en el tiempo adecuado.

El rizo que se produce en la salida, por el proceso de carga y descarga del capacitor se elimina usando un filtro para bajo (para eliminar las componentes de alta frecuencia).

Un criterio adecuado para seleccionar el valor de la constante de tiempo RC del filtro es:

$$\frac{1}{\omega_c} \ll RC \ll \frac{1}{\omega_m}$$

La tensión de salida es: $v_o = \eta_d V_c + \eta_d V_m \cos \omega_m t$

Continua proporcional a V_c

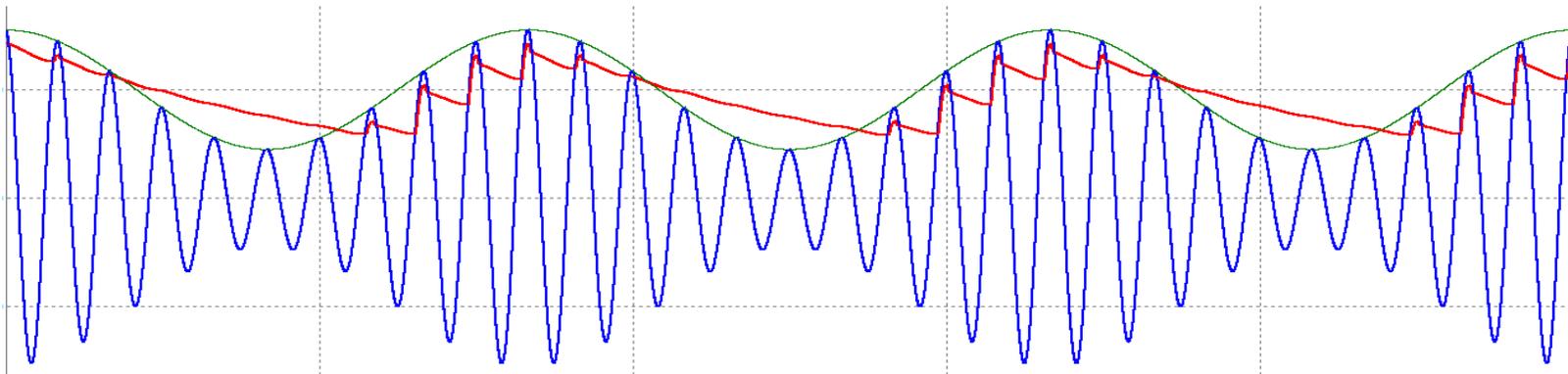
Señal de Audio a la salida

Distorsión del detector

Hay dos tipos principales: Distorsión por cruce diagonal y distorsión por recorte de fondo

Distorsión por cruce diagonal

Es deseable que la constante de descarga del capacitor $\tau_d = R.C$ sea lenta para que el rendimiento sea grande. Pero si es muy lenta no puede seguir a la envolvente y aparece la distorsión



Detector de AM

Para evitar esta distorsión se debe cumplir que la velocidad de descarga capacitiva sea mayor o igual que la velocidad de variación de la envolvente

$$\frac{\partial v_{\text{Capacitor}}}{\partial t} \geq \frac{\partial v_{\text{envolvente}}}{\partial t}$$

Condición de diseño!!!

$$v_{\text{envolvente}} = V_c (1 + m_a \cos \omega_m t)$$

$$v_{\text{capacitor}} = V_c e^{-\frac{t}{RC}}$$

Resolviendo la derivada, se encuentra el máximo valor que puede tomar la constante de descarga sin tener distorsión por recorte diagonal.:

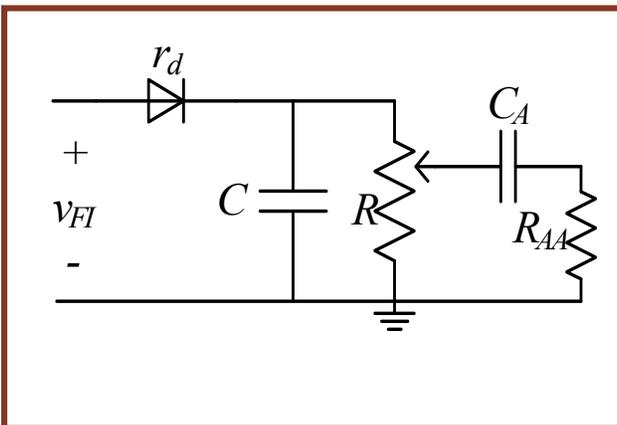
$$R.C \leq \frac{1}{\omega_m} \sqrt{\frac{1}{m_a^2} - 1}$$

Se observa que el peor caso se da para ω_m máx y m_a máx

Se calcula para esta condición!!!

Si $m_a = 1$ entonces la expresión anterior no se puede cumplir!!!!.
Se toma $m_{\text{máx}} = 0,99$.

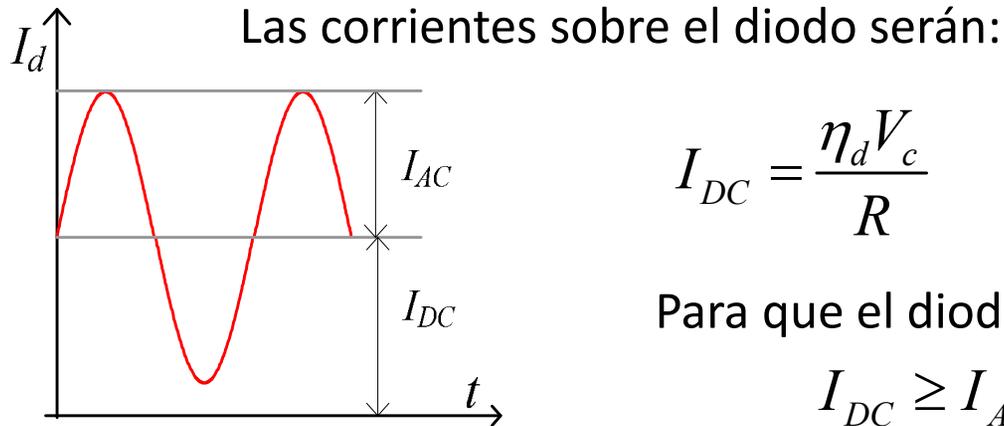
Distorsión por Recorte de pico negativo o recorte de fondo



El diodo “ve” distintas impedancias para continua y para variacional.

$$Z_{DC} = R$$

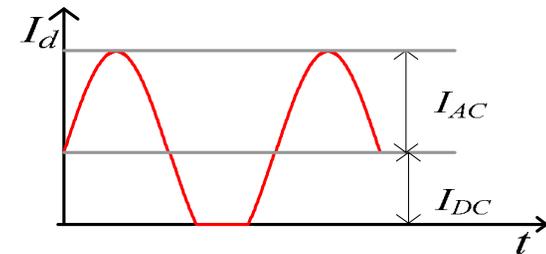
$$Z_{AC} = R \parallel R_{AA} = \frac{R R_{AA}}{R + R_{AA}}$$



$$I_{DC} = \frac{\eta_d V_c}{R} \qquad I_{AC} = \frac{\eta_d m_a V_c}{R \parallel R_{AA}} = \frac{\eta_d m_a V_c}{R \cdot R_{AA}} (R + R_{AA})$$

Para que el diodo conduzca, se debe cumplir:

$$I_{DC} \geq I_{AC}$$



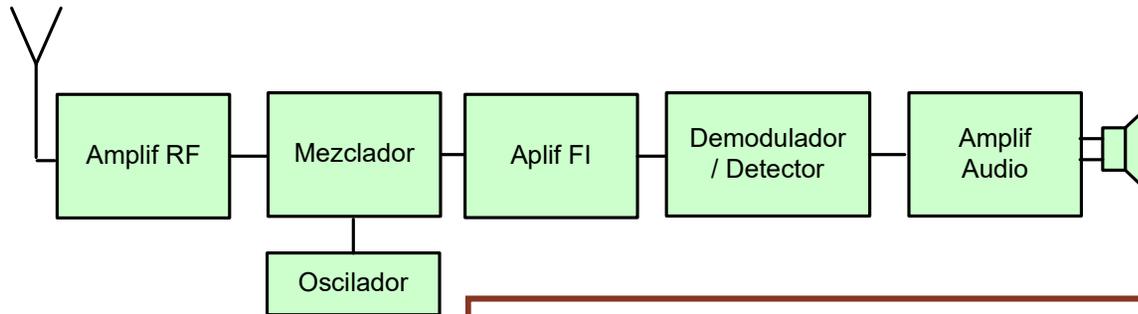
Caso contrario, se recortará el pico negativo produciendo distorsión.

Haciendo cumplir la expresión anterior se encuentra, que para que no exista distorsión por recorte de fondo se debe cumplir:

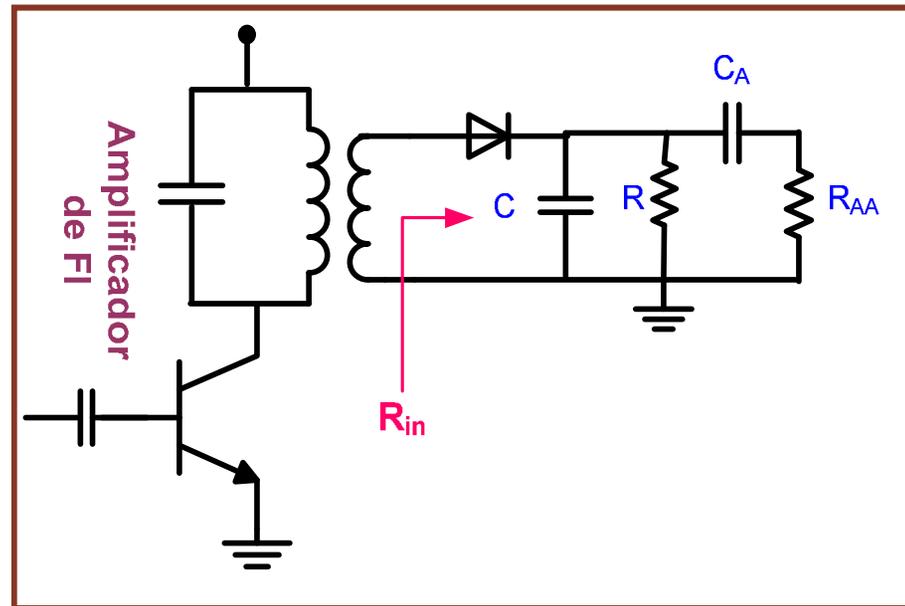
$$R_{AA} \geq \frac{m_{a \text{ máx}}}{1 - m_{a \text{ máx}}} R$$

Se hace notar que esta distorsión apareció cuando se carga el detector.

Impedancia de Entrada del Detector



- El detector carga la ultima etapa de AFI.
- La R de entrada del detector influirá en el ancho de banda del tanque del AFI

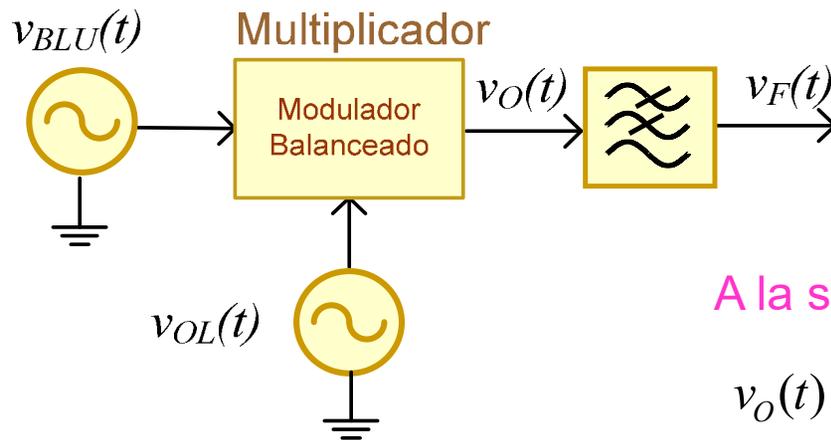


Puede demostrarse que la resistencia de entrada del circuito de detector es, aproximadamente:

$$R_{in} \cong \frac{R}{2\eta_d}$$

*Se cumple para $R/r_d > 50$

Principio de operación



Señales de entrada:

$$v_{BLU}(t) = V_{BLS} \cos(\omega_C + \omega_m)t$$

$$v_{OL}(t) = V_{OL} \cos(\omega_{OL}t + \phi)$$

A la salida del multiplicador de señales:

$$v_O(t) = KV_{OL}V_{BLU} \cdot \cos(\omega_C + \omega_m)t \cdot \cos(\omega_{OL}t + \phi)$$

$$v_O(t) = KV_{OL}V_{BLU} \cdot \left\{ \cos[(\omega_C + \omega_m + \omega_{OL})t + \phi] + \cos[(\omega_C + \omega_m - \omega_{OL})t + \phi] \right\}$$

A la salida del filtro pasa bajos:

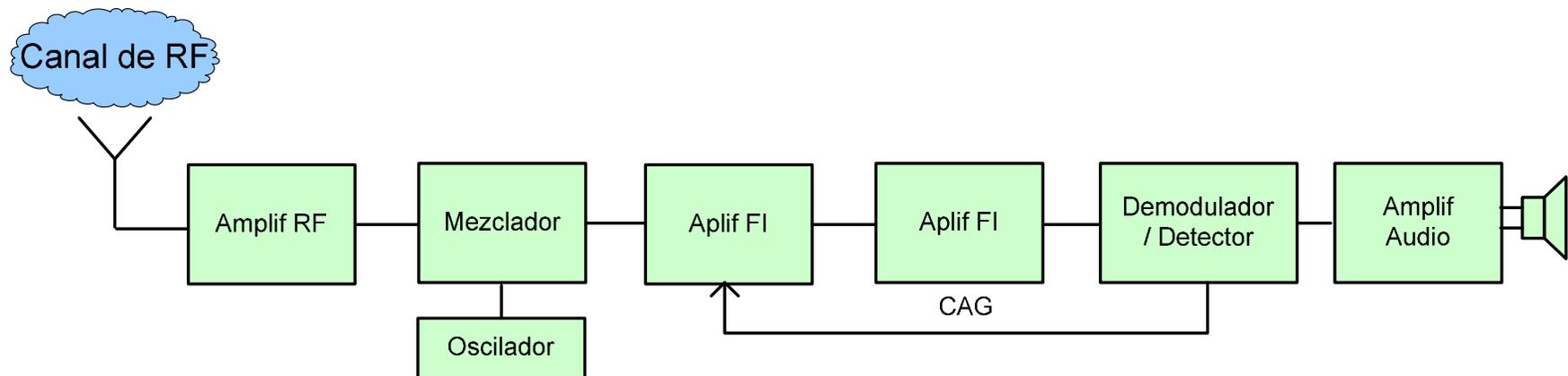
$$v_F(t) = KV_{BLU}V_O \cdot \cos[(\omega_C + \omega_m - \omega_{OL})t + \phi]$$

Si la señal del oscilador coincide en frecuencia y fase con la portadora, es decir, $\omega_{OL} = \omega_C$ y $\phi = 0^\circ$, entonces:

$$v_F(t) = KV_{OL}V_{BLU} \cdot \cos \omega_m t = kV_{BLU} \cdot \cos \omega_m t$$

que es proporcional a $v_m(t)$ + una componente de continua, que se elimina como en el detector de envolvente

Tienen que amplificar una señal de bajo nivel que reciben de antena, separarla lo más posible del ruido y la interferencia que está presente en el canal de comunicación, demodular y amplificar la señal de banda base recuperada, a un nivel de potencia suficiente para la aplicación específica.



Funciones de un receptor

- Amplificar la señal hasta el nivel de entrada al demodulador
- Eliminar interferencias y ruido que llegan al sistema receptor
- Demodular la portadora para recuperar la señal de banda base

Parámetros de un Receptor

- Rango de frecuencia de portadora.
- Señal de banda base.
- Tipo y profundidad de modulación.
- Ancho de banda de recepción.
- Protección contra interferencias.
- Ruido de recepción.
- Sensibilidad.
- Selectividad
- Fidelidad.
- Margen dinámico

Se utilizan varios parámetros para evaluar la habilidad de un receptor para demodular con éxito una señal de RF.

Selectividad:

Capacidad de eliminar señales potencialmente interferentes o indeseadas. O, capacidad del receptor para sintonizar la estación deseada

Se cuantifica como cociente de potencias de entrada de las señales de frecuencias indeseadas y de la deseada que generan la misma señal de salida.

Sensibilidad:

Capacidad de recibir señales débiles.

Nivel mínimo de señal que es capaz de recibir y reproducir con la calidad deseada. (ruido, ganancia, etc)

Se cuantifica como mínima tensión de entrada (modulada al 50% a 1KHZ) necesaria para obtener una determinada relación señal- ruido a la salida del detector (1uV automóviles)

Fidelidad:

- La *fidelidad* es una medida de la capacidad de un sistema de comunicaciones para producir, a la salida del receptor, una réplica exacta de la información de la fuente original.
- Cualquier variación en la frecuencia, fase o amplitud que esté presente en la forma de onda demodulada y que no estaba en la señal original de información se considera como distorsión.
- **Distorsión de fase:** no es importante para la transmisión de audio. Puede ser devastadora en la transmisión de datos. La causa principal de la distorsión de fase es el filtrado, que produce diferencias de fases distintas para dist. frecuencias.
- **Distorsión de amplitud:** las características de amplitud contra frecuencia de la señal, en la salida de un receptor, difieren de la señal original de información. La distorsión de amplitud es el resultado de la *ganancia no uniforme* en los amplificadores y filtros.
- **Distorsión de frecuencia** ocurre cuando están presentes en una señal recibida las frecuencias que no estaban presentes en la información de la fuente original. Principalmente se debe a distorsión por armónicas y por intermodulación, causada por amplificación no lineal.

Margen dinámico:

- cociente entre niveles máximos y mínimos de potencia de entrada que garantizan funcionamiento correcto del receptor.
- La potencia mínima está definida por la sensibilidad
- La potencia máxima está limitada por distorsión, saturación o máximo nivel especificado en el demodulador.
- En términos sencillos, el margen dinámico es el intervalo de potencias de entrada dentro del cual el receptor es útil.
- El nivel mínimo de recepción es una función del ruido frontal, de la cifra de ruido y de la calidad deseada de señal. El nivel de señal de entrada que produce distorsión por sobreexcitación es una función de la ganancia neta del receptor, es decir, de la ganancia total de todas las etapas del receptor
- Se considera como aproximadamente el máximo posible, un margen dinámico de 100 dB.
- Un bajo margen dinámico puede provocar una desensibilización de los amplificadores de RF, y causar gran distorsión por intermodulación en las señales más débiles de entrada.

Por el esquema de conversión

- Homodino- Coherente o sincrónico
- Superheterodino-No coherente o asincrono
- Varias etapas de mezcla

Por la forma sintonía

- Fija
- Discreta
- Continua

Por el tipo de modulación

- AM, DBL, BLU.
- FM, PM, FSK, PSK.
- QAM.

Por la frecuencia de portadora.

- LF, MF
- HF, VHF, UHF
- Microondas...

Por el tipo de señales de banda base

- Analógicas
- Digitales

Por el servicio.

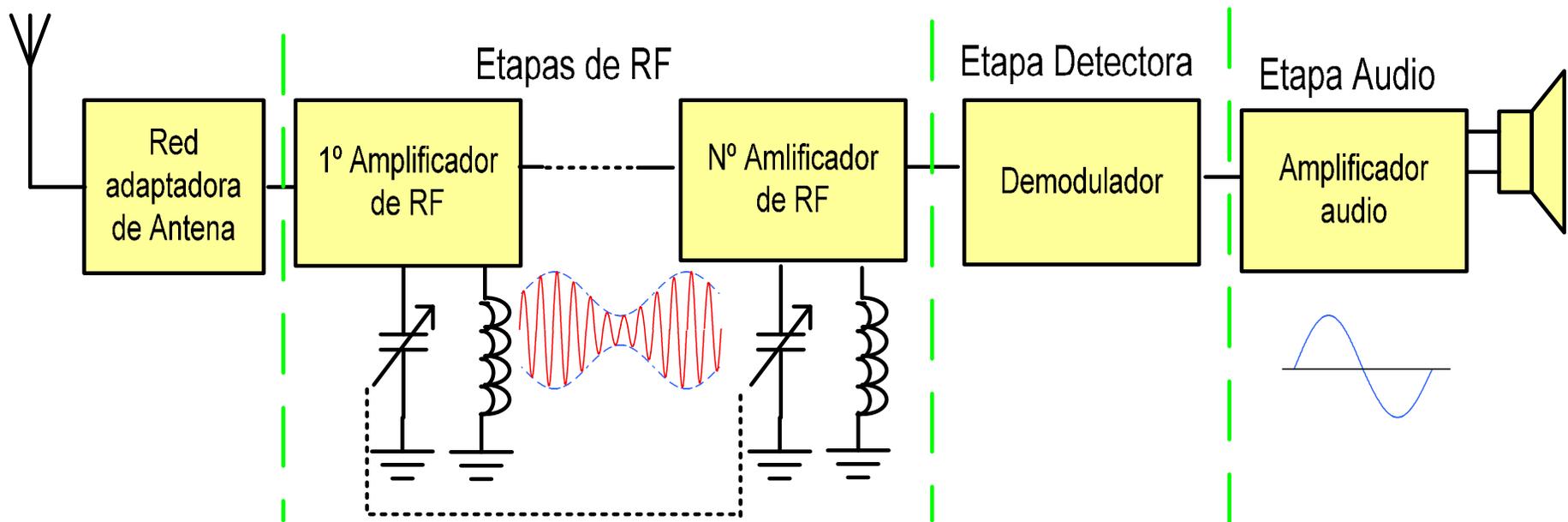
- Audio
 - Radiodifusión
 - Telefonía
- Vídeo
- Datos..

Tipos de receptores:

- Homodino o de detección directa o de conversión directa
- Superregenerativo Se usan en circuitos de bajo costo (juguetes)
- Superheterodinos

Receptor homodino o Receptor de RF

Hay N etapas de RF, todas sintonizadas a la frecuencia que se desea sintonizar



Limitaciones del receptor homodino:

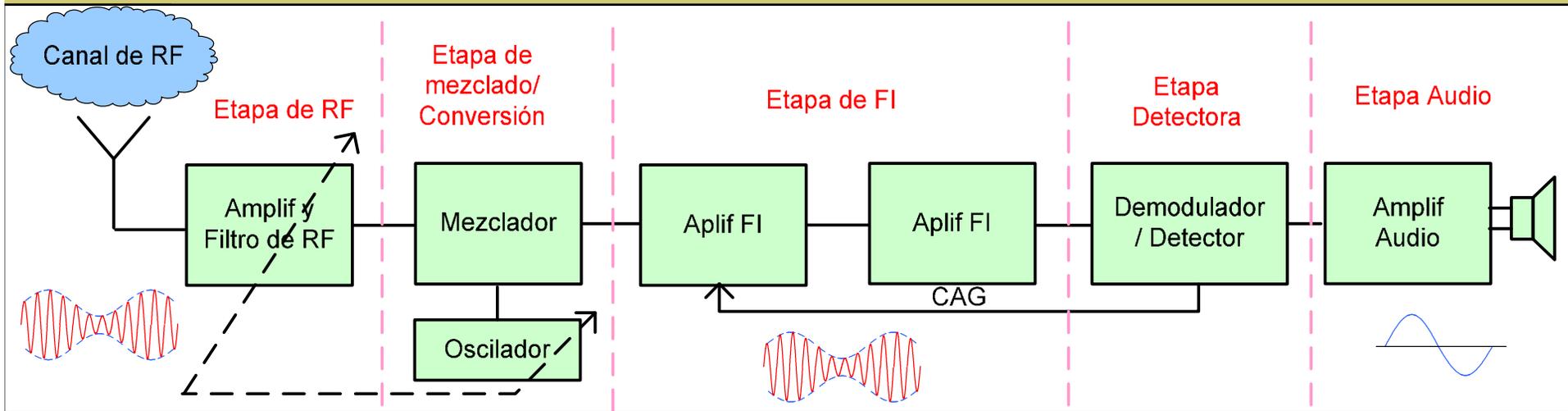
- Número de etapas en función de la frecuencia a recibir y del ancho de banda deseado
- Necesidad de muchos filtros cuando $f_0 \gg \Delta f_0$ (o de filtros muy agudos).
- Muchos filtros variables si la frecuencia es variable.
- Dificultad de mantenimiento del ancho de banda de recepción en el margen de frecuencias de recepción (*selectividad* variable en función de la frecuencia de recepción).
- Posibilidad de oscilaciones por acoplamientos parásitos entre entrada y salida, al operar todas las etapas de RF a la misma frecuencia.

Un receptor homodino es útil si:

- El demodulador es del tipo detector coherente.
- La banda de recepción es relativamente estrecha (pASK).

RECEPTOR SUPERHETERODINO

20



Inventado en 1918 por Edwin H. Armstrong.

Se continua utilizándose hoy, debido a que varias de sus caract. son superiores a las otras configuraciones de receptores.

Heterodino significa mezclar dos frecuencias juntas en un dispositivo no lineal o trasladar una frec. a otra utilizando mezclas no lineales.

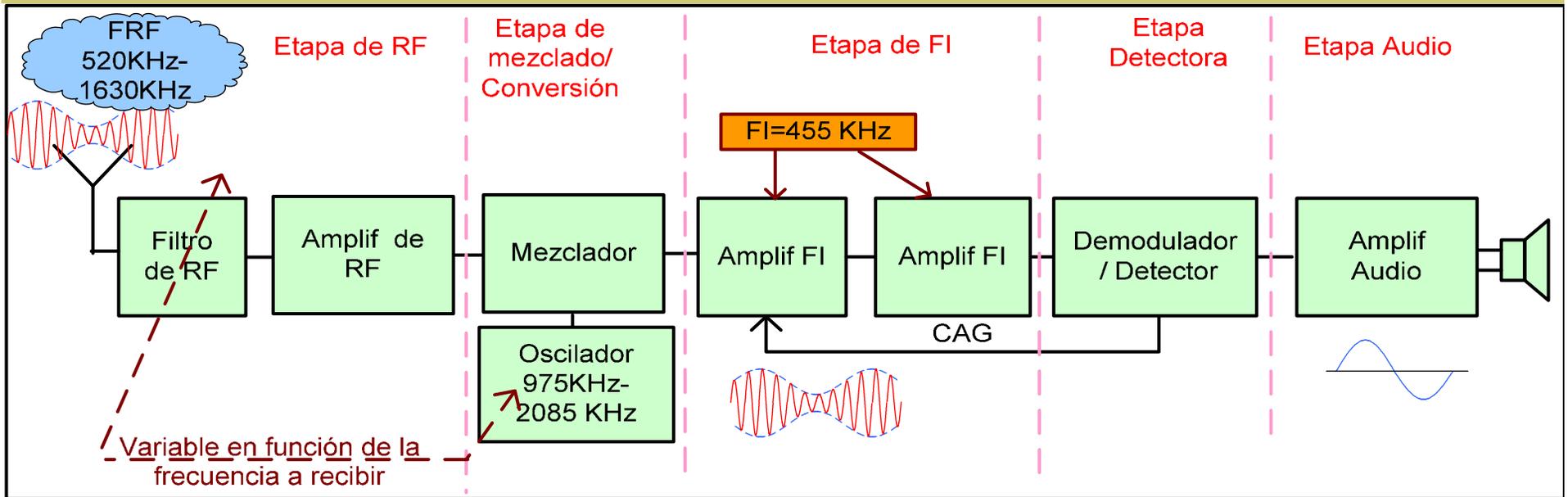
Idea fundamental: convertir todas las frecuencias a recibir a una frecuencia constante llamada "Frecuencia Intermedia" (FI).

El mayor esfuerzo en filtrado y amplificación en alta frecuencia se hace a la frecuencia intermedia.

La sintonía se lleva a cabo modificando la frecuencia del oscilador (oscilador local) y del filtro.

RECEPTOR SUPERHETERODINO

21



Receptor de radiodifusión en OM

$$f_{m_min} = 100 \text{ Hz y } f_{m_max} = 5 \text{ KHz}$$

$$f_{RF_min} = 520 \text{ KHz y } f_{RF_max} = 1630 \text{ KHz}$$

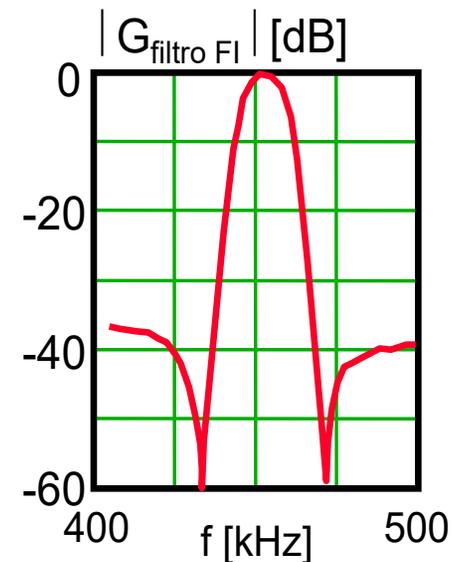
$$f_{FI} = 455 \text{ KHz y } \Delta f_{FI} > 10 \text{ KHz}$$

valores posibles de f_{osc} :

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{osc} = f_{RF} - f_{FI} \text{ (65KHz-1175KHz)} \\ f_{osc} = f_{RF} - f_{FI} \end{array} \right.$$

$$\text{Cálculo } f_{osc_min} = 975 \text{ kHz y } f_{osc_max} = 2085 \text{ kHz}$$

Respuesta Filtro FI

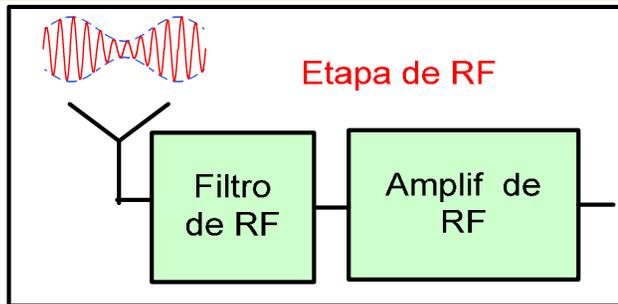


Ventajas del receptor superheterodino:

- La mayoría de los filtros de alta frecuencia trabajan a frecuencia fija (a la frecuencia intermedia f_{FI}).
- La selectividad la fija el filtro de frecuencia intermedia y es, por tanto, fija.
- El cambio de frecuencia disminuye la posibilidad de oscilaciones por acoplamientos parásitos entre entrada y salida.

Limitaciones del receptor superheterodino:

- Hay que cambiar simultáneamente la frecuencia del oscilador local y del filtro de RF.
- Problema con la frecuencia imagen.



Etapa de RF

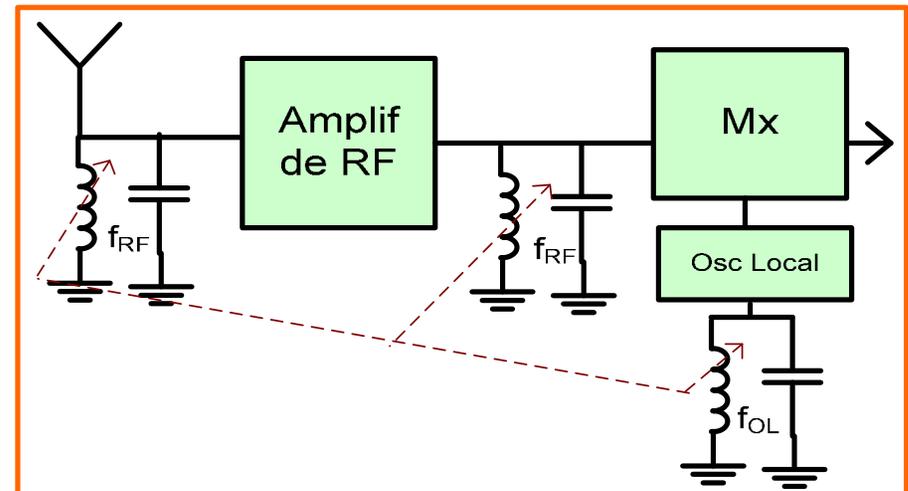
El Filtro es un filtro pasa-bandas de sintonización amplia con una frecuencia central ajustable, que se sintoniza a la frecuencia portadora deseada.

- Propósito del Filtro: determina el ancho de banda mínimo requerido para pasar las señales de información, evitando que frecuencias indeseadas, entren al receptor.
- El amplificador de RF determina la sensibilidad del receptor.
- Prácticamente determina la figura de ruido del receptor.
- Puede haber uno o más amplificadores de RF o ninguno, dependiendo de la sensibilidad deseada.
- Incluir amplificadores de RF tiene varias ventajas en un receptor y son las siguientes:
 - 1. Mayor ganancia, por lo tanto mejor sensibilidad
 - 2. Mejor rechazo a la frecuencia imagen
 - 3. Mejor relación de señal a ruido
 - 4. Mejor selectividad

Características del Amplificador de RF ideal

- Ganancia de potencia elevada
- Cifra de ruido baja
- Función transferencia lineal con rango dinámico (es capaz de manejar señales de entrada grandes sin distorsión de intermodulación o distorsión cruzada)
- Admitancia de transferencia inversa baja o sea la antena está aislada del oscilador local y del mezclador.

- Selectividad suficiente para rechazar las frecuencias no deseadas

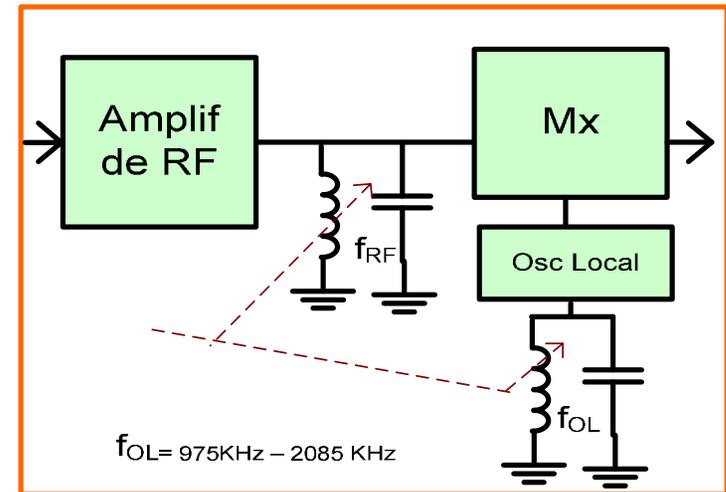


Etapa de mezclador/convertidor

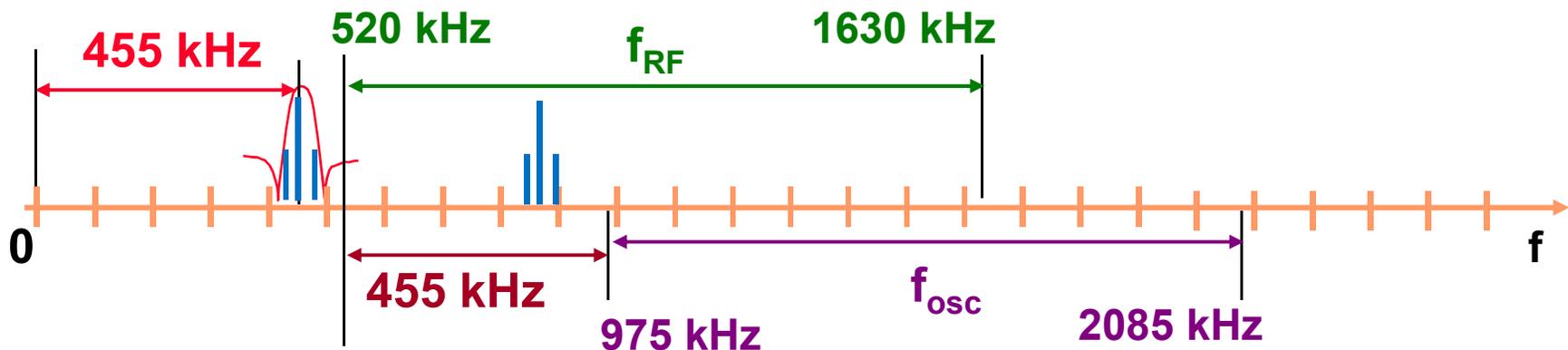
La etapa del mezclador es un dispositivo no lineal y su propósito es convertir RF a FI

El tipo del oscilador local se elegirá dependiendo de la estabilidad y la exactitud deseadas.

Las frecuencias de la portadora y bandas laterales se trasladan de RF a FI, la forma de la envolvente permanece igual y, por lo tanto, la información original contenida en la envolvente permanece sin cambios.

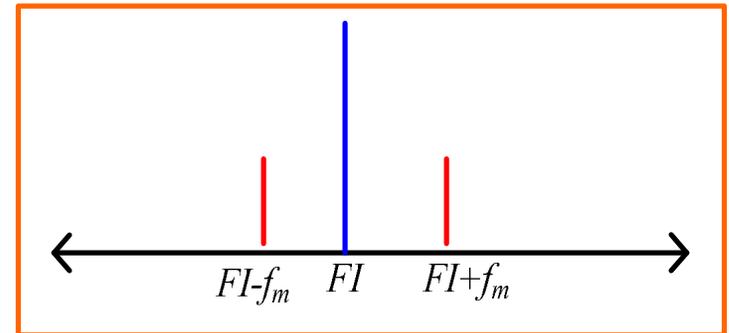


Muy importante!!



Aunque la portadora y las frecuencias de bandas laterales superiores e inferiores cambian de frecuencia (se trasladan a FI), el proceso de heterodinaje no cambia el ancho de banda de la señal

$$AB_{señal} = 2 f_m \text{ mmáx.}$$



Muy importante!!

Características de un mezclador ideal

- Función transferencia de ley cuadrática
- Rango dinámico amplio para señales de entrada
- Ganancia de conversión alta
- Cifra de Ruido baja
- Aislamiento completo de los puertos de RF, FI, OL

Etapas de FI

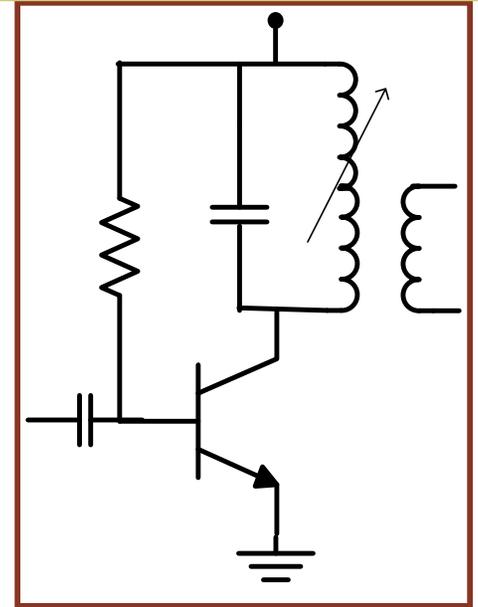
Consiste de una serie de amplificadores con carga resonante sintonizados a FI y ancho de banda mayor que el ancho de banda de la señal ($AB_{señal} = 2 f_{m\text{máx}}$)

Proporcionan la mayor parte de la ganancia entre antena y detector.

Establece la selectividad del receptor.

La frecuencia central y el ancho de banda de FI son constantes, para todas las estaciones.

Están diseñados para rechazar señales espurias que pueden salir del mezclador.



Frecuencia Imagen

Se plantea la siguiente situación:

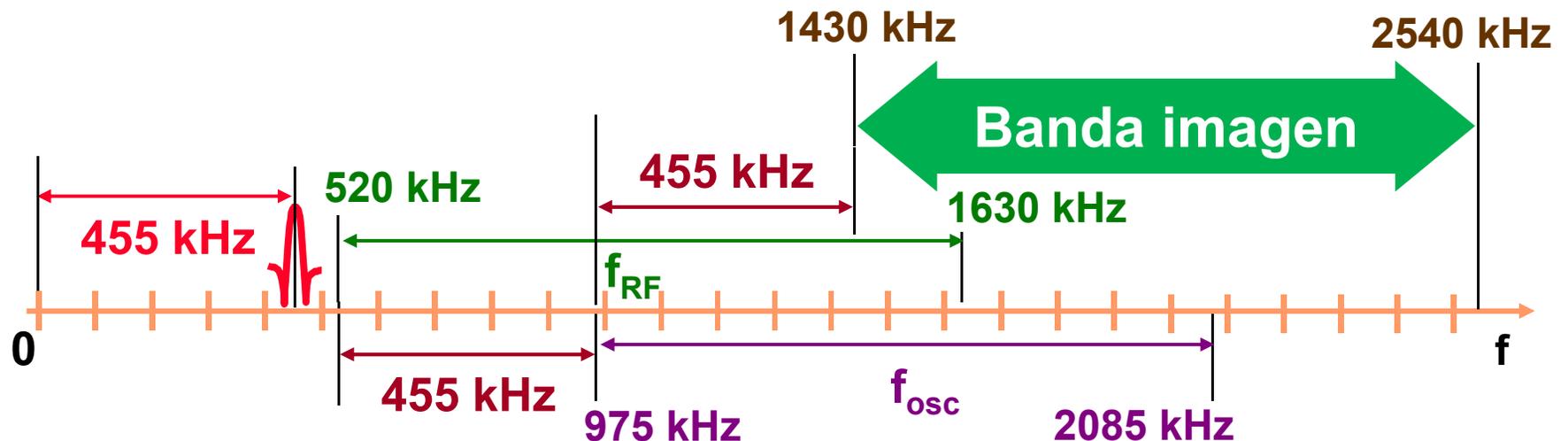
- Suponga que se desea escuchar la emisora que emite en 530KHz: $f_c = 530$ KHz. Esta ingresa al mezclador y se bate (heterodina) con la señal del oscilador local que tiene valor $f_{OL} = 985$ KHz (inyección superior)
- En el mezclador: $f_{OL} - f_c = FI$, saliendo del mezclador 455KHz
- Una segunda estación que emite a $f_{c2} = 1440$ KHz, también ingresa al receptor y se bate con el OL:

$$f_{OL} - f_{c2} = 985\text{KHz} - 1440\text{KHz} = 455\text{KHz} \Rightarrow FI$$

$$f_{c2} = f_{im}$$

$$f_{im} = f_c + 2FI = f_{OL} + FI$$

Muy importante!!

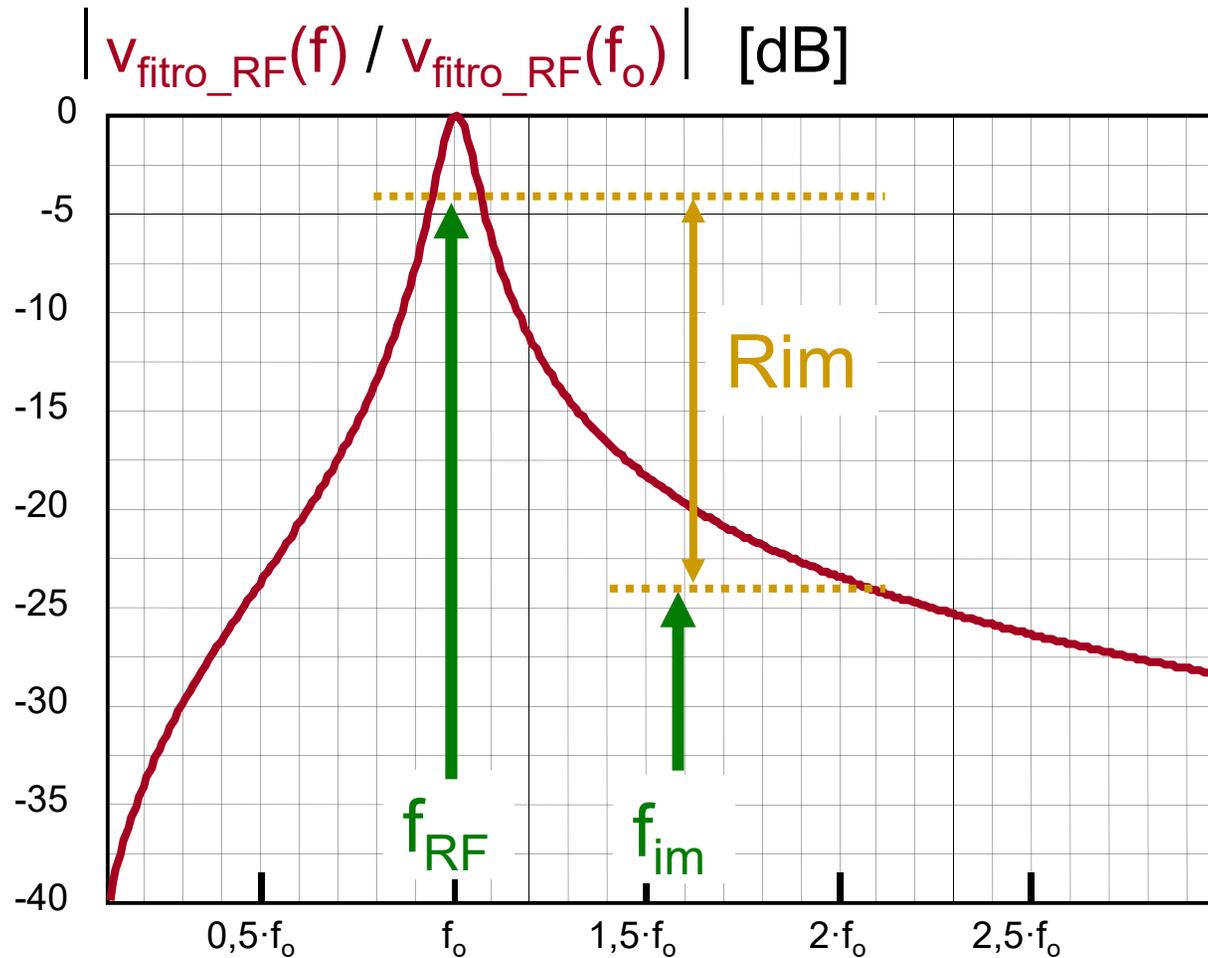


Frecuencia Imagen

- Es cualquier otra frecuencia que no sea la portadora de la emisora seleccionada que, si se le permite entrar a un receptor y mezclarse con el oscilador local, producirá una frecuencia de producto cruzado que es igual a la frecuencia intermedia.
- **Una vez que una frecuencia imagen a ingresado al mezclador y mezclado, no puede eliminarse por filtración o supresión.**
- Si la portadora de RF seleccionada y su frecuencia imagen entran a un receptor, las dos estaciones se reciben y se demodulan simultáneamente, produciendo dos conjuntos de frecuencias de información.
- La frecuencia imagen está FI por arriba del OL si este es de inyección superior.
- Se puede demostrar que si el OL es de inyección inferior la frecuencia imagen está a FI por debajo del OL:

$$\text{Si } f_{OL} = f_c - FI \Rightarrow f_{im} = f_c - 2FI = f_{OL} - FI$$

Rechazo a la frecuencia imagen- R_{Im}



$$R_{\text{Im}} = \frac{A_O}{A_{FI}} = \sqrt{1 + Q_C^2 \left(\frac{f_0}{f_i} - \frac{f_i}{f_0} \right)^2}$$

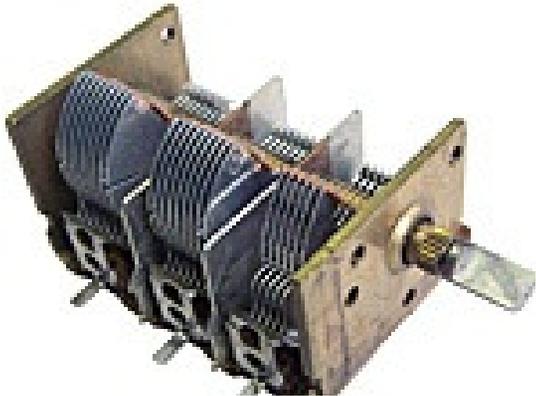
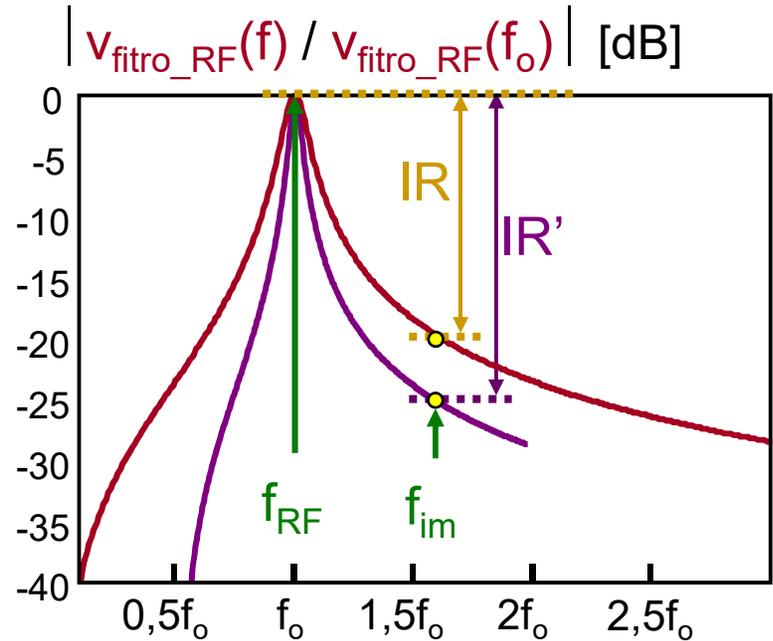
Valor deseable de Rechazo es $R_{\text{Im}} \geq 60\text{dB}$.

Métodos para mejorar el rechazo a la frecuencia imagen en receptores superheterodinos

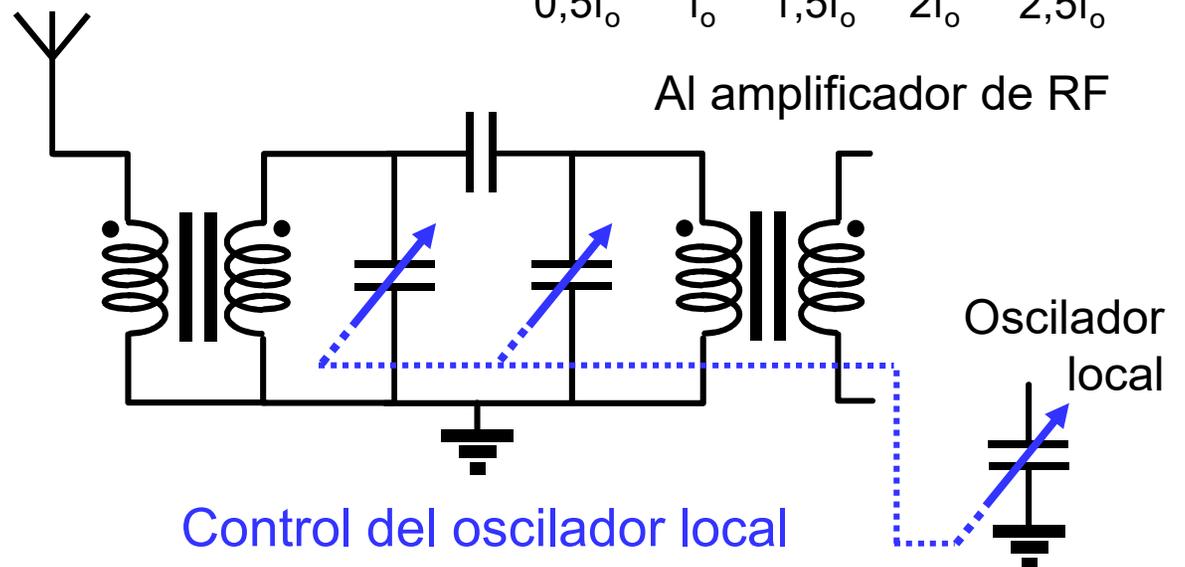
- ❑ Aumentar el Q_c del filtro de RF, o sea usar un filtro de RF más agudo
- ❑ Separar más la frecuencia imagen, ó sea adoptar una f_{FI} mas grande

Uso de un filtro de RF más agudo para mejorar el rechazo a la frecuencia imagen

- Fácil de conseguir si f_{RF} cambia relativamente poco.
- Se pueden usar varios circuitos resonantes o “SAWs” (en UHF o VHF)
- En caso contrario, hay que usar condensadores variables de varias secciones o varios diodos varicap.

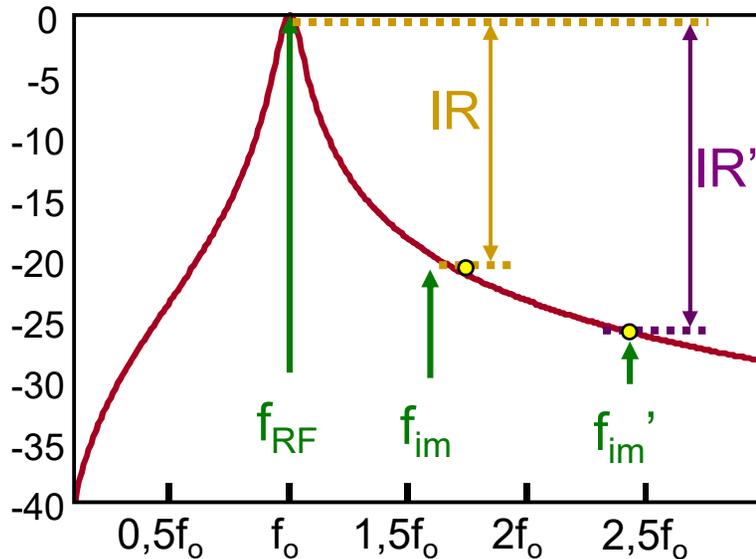


Condensador variable de tres secciones



Control del oscilador local

Aumento de la diferencia entre f_{RF} y f_{im} para mejorar el rechazo a la frecuencia imagen



Para aumentar la diferencia entre f_{RF} y f_{im} , se debe aumentar el valor de FI

$$\text{Si } f_{OL} = f_c + FI \Rightarrow$$

$$f_{im} = f_c + 2FI$$

$$f_{im} - f_c = 2FI$$

$$\text{Si } f_{OL} = f_c - FI \Rightarrow$$

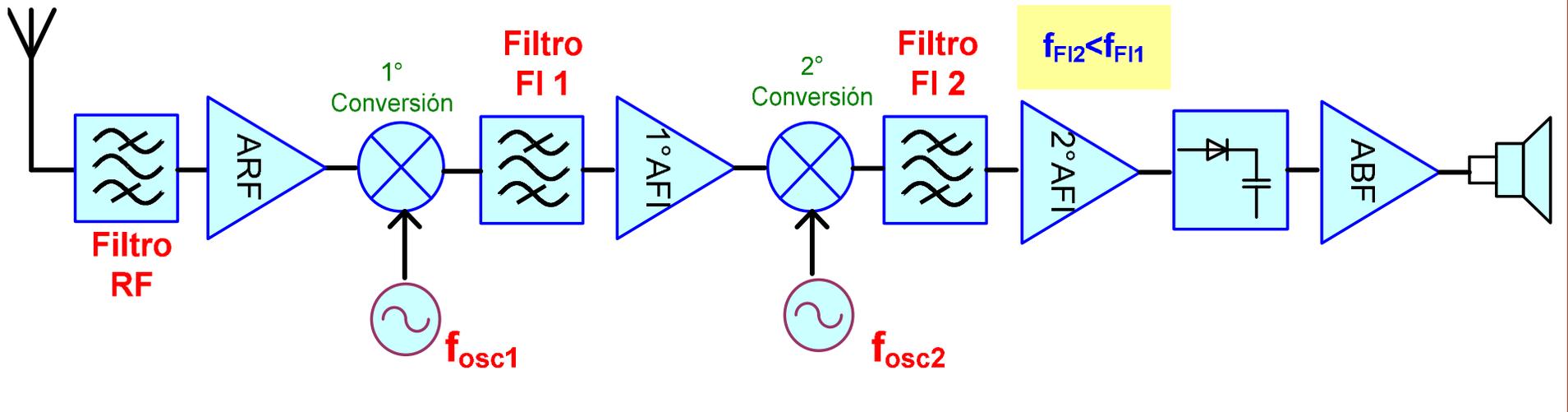
$$f_{im} = f_c - 2FI$$

$$f_{im} - f_c = 2FI$$

Problema: la selectividad del receptor es fijada por la del filtro de FI. Si aumenta f_{FI} aumenta su ancho de banda (para igual Q) y, por tanto, disminuye la selectividad del receptor. Para solucionar este problema hay dos soluciones posibles:

- Usar filtros de más calidad (filtros a cristal en vez de cerámicos)
- Usar una estructura de conversión múltiple (doble o triple)

Receptor superheterodino de doble conversión



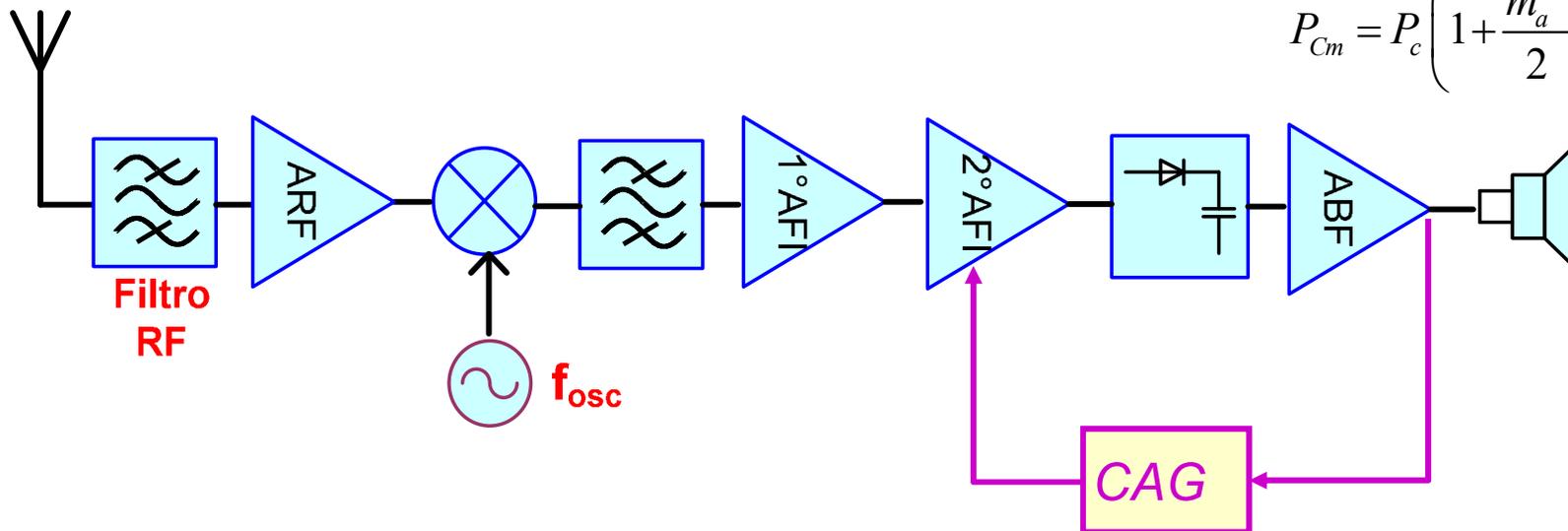
Dos frecuencias intermedias:

- La primera frecuencia intermedia, f_{FI1} , se elige relativamente alta para conseguir buen rechazo a la frecuencia imagen.
- La segunda frecuencia intermedia, f_{FI2} , se elige relativamente baja para obtener una buena selectividad. Generalmete $f_{FI2} = 455\text{KHz}$

Control Automático de Ganancia - AGC

- Con el objeto de lograr potencia constante en la entrada del detector y en la salida, se controla la ganancia de las etapas de FI en razón inversa con la amplitud de las señales de entrada al AFI.
- Para ello se toma de la salida del detector una señal de continua que se inyecta en la 1° etapa de FI a fin de controlar el punto de polarización de la misma en función de la tensión inyectada.
- Recordar que la potencia que lleva una señal de AM es proporcional a la potencia de portadora, que depende la tensión de portadora, por lo tanto si se conoce V_c , se conoce el nivel de potencia

$$P_{Cm} = P_c \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right) \wedge P_c = \frac{V_c^2}{2R}$$

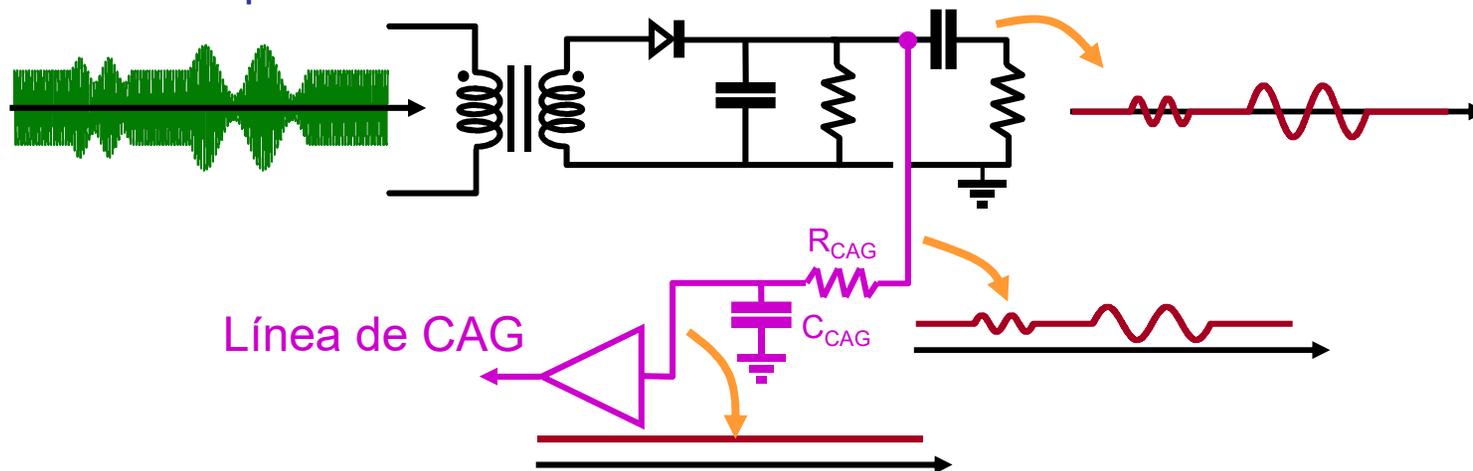


- El CAG compensa variaciones pequeñas en el nivel de la señal de RF recibida. Aumenta en forma automática la ganancia del receptor con valores bajos de entrada de RF, y disminuye en forma automática la ganancia del receptor cuando se recibe una señal fuerte de RF.
- Las señales débiles pueden quedar enterradas en ruido del receptor y, en consecuencia, pueden ser imposibles de detectar.
- Una señal demasiado fuerte puede sobreexcitar a los amplificadores de RF y/o de FI, y producir demasiada distorsión no lineal, y hasta saturación.
- Hay varias clases de CAG, que incluyen el simple, el retardado y el directo.
- Es muy fácil de realizar en AM y difícil (pero necesario) en DBL y BLU.

Como: $v_o = \eta_d V_c + \eta_d V_m \cos \omega_m t$

La componente de continua es proporcional V_c !!!!

CAG en un receptor de AM



Diseño del CAG:

$$\tau_{CAG} = \frac{1}{R_{CAG} C_{CAG}} \gg \frac{1}{2\pi f_{m \min}}$$

Para que no cargue al detector se adopta:

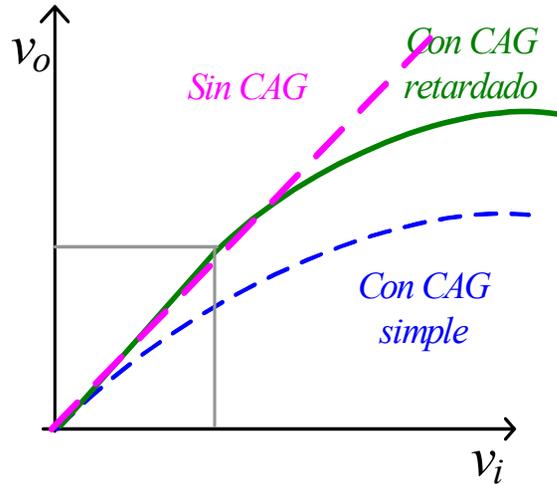
$$R_{CAG} \gg R$$

Evitar distorsión por recorte de fondo

La tensión de salida del CAG es:

$$V_{CAG} \approx \eta_d V_c$$

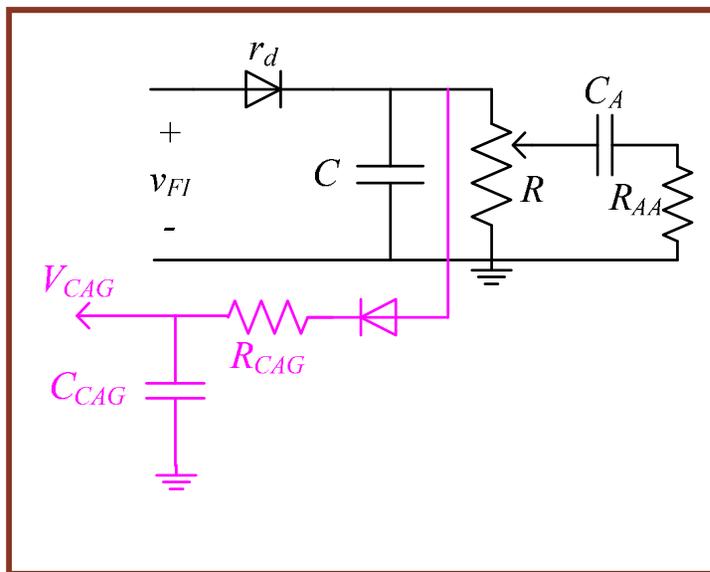
La curva transferencia del AFI es:



Se observa que cuando la tensión de entrada es pequeña (señales débiles) el CAG actúa disminuyendo la ganancia del AFI.

Se desea que el CAG actúe solo cuando la potencia es grande

El circuito mas sencillo para poner un retardo de tensión es:



La tensión de salida del CAG es:

$$V_{CAG} \approx \eta_d V_c - V_\gamma$$