

Antenas y Circuitos de Alta Frecuencia (ACAF) Primera parte, Tema I

Profesores: **Jorge A. Ruiz Cruz** (jorge.ruizcruz@uam.es)
José L. Masa Campos (joseluis.masa@uam.es)

Colaborador de este tema: *Juan E. Page* (*)

(*) Dpto. de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos
Universidad Politécnica de Madrid



Master en Ingeniería Informática
y de Telecomunicación
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid



Primera parte de ACAF: Circuitos de Alta Frecuencia.



I. PROCESADO DE SEÑAL EN RF.

II. TEORÍA CIRCUITAL DE LOS DISPOSITIVOS DE RF.

III. DISEÑO DE CIRCUITOS PASIVOS DE RF.

IV. DISPOSITIVOS EN GUÍA DE ONDA.

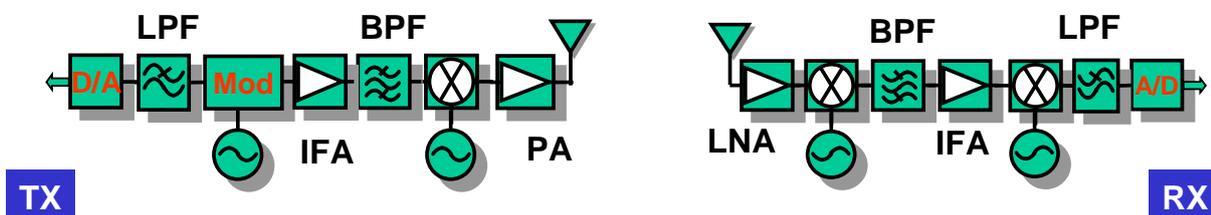
Antenas y Circuitos de Alta Frecuencia, www.eps.uam.es/~acaf
Master en Ingeniería Informática y de Telecomunicación
Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid
Jorge A. Ruiz Cruz (jorge.ruizcruz@uam.es, www.eps.uam.es/~jrui)

I. Procesado de señal en RF

1. Bloques fundamentales en un sistema de RF.
2. Líneas de transmisión.
3. Tecnologías de RF.

1. Bloques fundamentales en un sistema de RF.

➤ ¿Qué bloques fundamentales constituyen la parte de RF de un sistema de comunicaciones?



- Amplificadores (de potencia PA, bajo ruido LNA)

- Filtros (paso banda, paso bajo,...)

- Osciladores (frecuencia intermedia o FI, de RF)

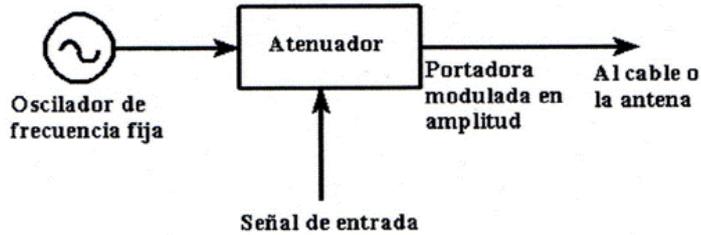
- Mezcladores

- Moduladores (de amplitud, fase,...)

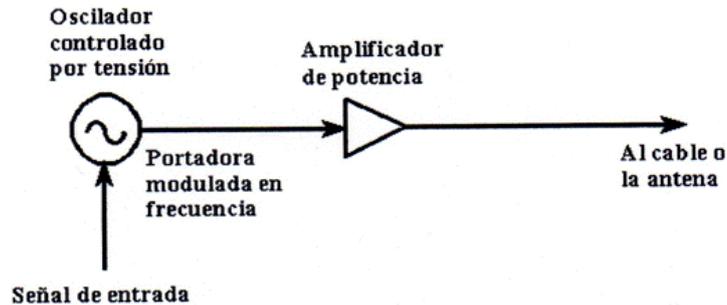
- Elementos para conexión, ramificación, control del estado del sistema, establecimiento de niveles de impedancia,...

1. Bloques fundamentales en un sistema de RF.

➤ Esquema para la modulación directa de amplitud:

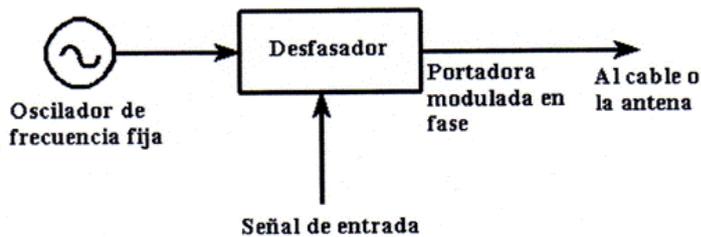


➤ Esquema para la modulación directa de frecuencia:

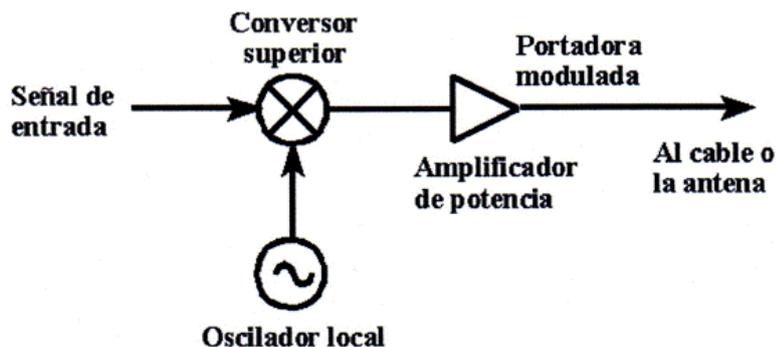


1. Bloques fundamentales en un sistema de RF.

➤ Esquema para la modulación directa de fase:

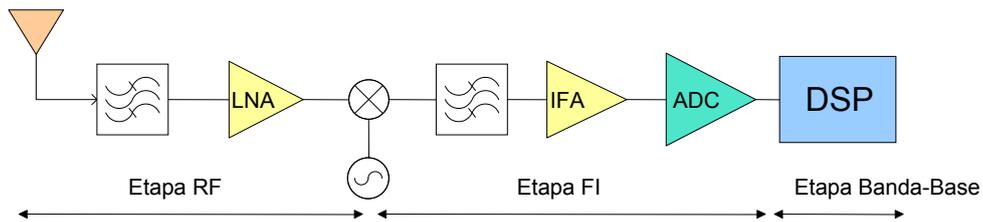
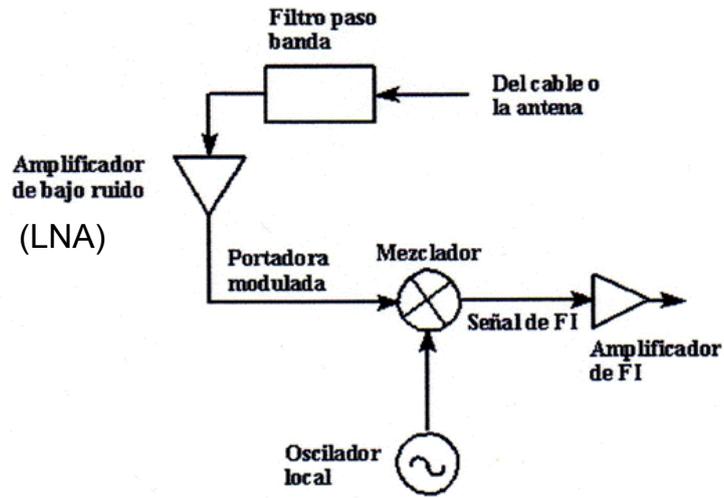
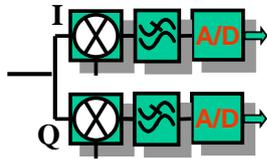


➤ Emisor con conversor superior



1. Bloques fundamentales en un sistema de RF.

➤ Receptor de conversión simple:



1. Bloques fundamentales en un sistema de RF. Oscilador

➤ Oscilador. Genera la energía de microondas que:

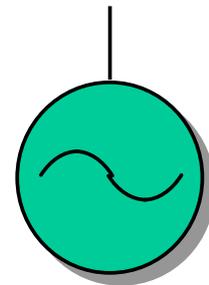
- Actuará de soporte de la información (emisión), o
- Suministra la referencia para un traslado de frecuencia (conversión)
- Idealmente monocromático, pudiéndose variar la frecuencia con algún elemento de control

➤ Imperfecciones:

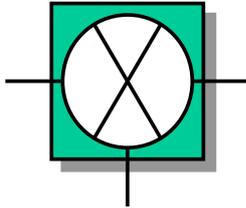
- Estabilidad en frecuencia: a largo plazo y a corto plazo (ruido de fase)
- Ruido de amplitud
- Frecuencias espurias

➤ Configuraciones:

- Frecuencia fundamental o multiplicación
- Frecuencia fija o variable
- Con diodo o con transistor



➤ Conversor:



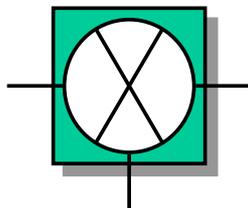
- Traslada la información desde banda base a la banda de transmisión (conversión superior) o de la banda de transmisión a la banda base (mezcla).

- El desplazamiento en frecuencia lo marca una frecuencia de referencia obtenida de un oscilador local

- En general se utiliza una banda de frecuencia intermedia en el proceso

- Idealmente produce una traslación pura de frecuencias manteniendo el resto de las características espectrales de la señal

➤ Imperfecciones:



- Pérdidas de inserción

- Ruido

- Introducción de frecuencias no deseadas

➤ Configuraciones:

- Con diodo (uno o varios)

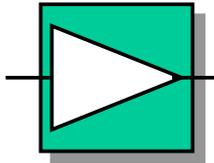
- Con transistores

- Frecuencia fundamental en el oscilador local

- Armónico del oscilador local

1. Bloques fundamentales en un sistema de RF. Amplificador

➤ Amplificador:



- Amplificación de señales de bajo nivel (recepción) y aumento de la potencia suministrada por el oscilador (emisión). Las características son muy distintas en cada caso.

- Idealmente introduce una constante multiplicativa en el espectro de la señal

➤ Imperfecciones:

- En recepción: ruido, linealidad

- En emisión: linealidad, eficiencia

➤ Configuraciones:

- En recepción: GaAsFET

- En emisión: bipolares o GaAsFET, tubos de onda progresiva

1. Bloques fundamentales en un sistema de RF. Otros

➤ Modulador:

- Cambian una característica (amplitud, frecuencia o fase) de la señal monocromática de RF de acuerdo con la información contenida en la señal de banda base

- Se configuran con diodos GaAsFET

➤ Filtros:

- Separan los canales que soportan las distintas señales

- Limitan la banda de ruido

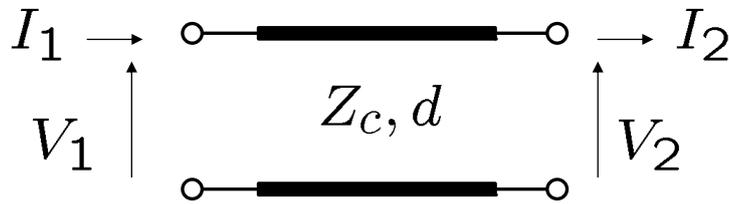
- Rechazan frecuencias no deseadas

- Se realizan de formas muy variadas

➤ Y una gran variedad de elementos guiado, ramificación, test...

2. Líneas de Transmisión.

➤ Es uno de los elementos característicos de cualquier circuito o sistema donde hay fenómenos de propagación:



$$V_1 = V^+ + V^- \quad V_2 = V^+ e^{-j\beta d} + V^- e^{+j\beta d}$$

$$I_1 = I^+ - I^- \quad I_2 = I^+ e^{-j\beta d} - I^- e^{+j\beta d}$$

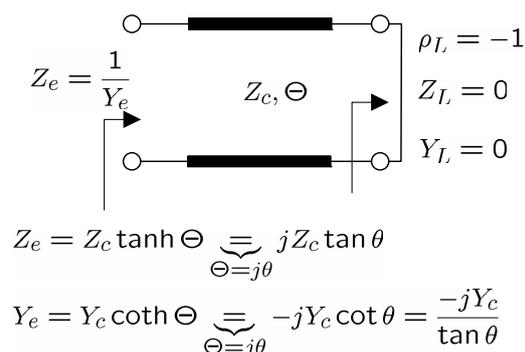
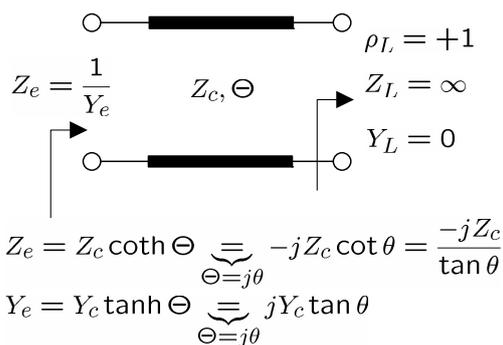
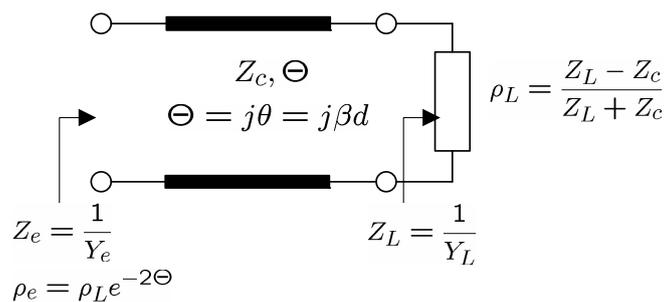
$$Z_c = \frac{V^+}{I^+} = \frac{V^-}{I^-}$$

2. Líneas de transmisión.

➤ Cuando se carga una de sus puertas:

$$Z_e = Z_c \frac{Z_L + Z_c \tanh \Theta}{Z_c + Z_L \tanh \Theta}$$

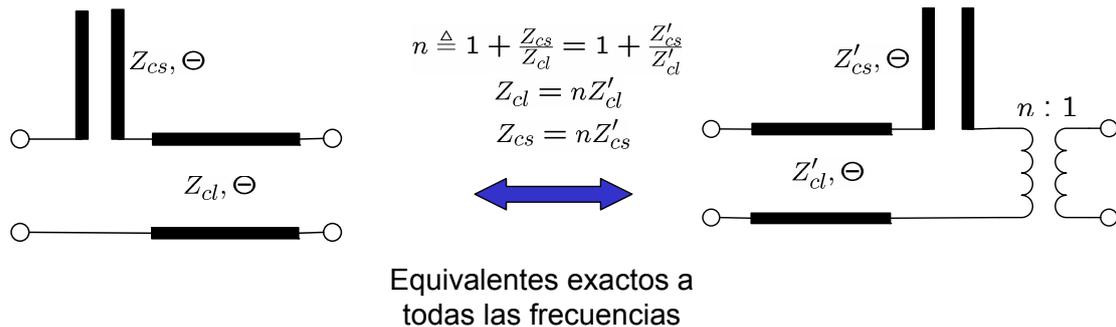
$$Y_e = Y_c \frac{Y_L + Y_c \tanh \Theta}{Y_c + Y_L \tanh \Theta}$$



2. Líneas de transmisión.

➤ Circuitos con líneas de transmisión:

- La línea de transmisión se puede usar para hacer circuitos de RF: transformadores, filtros, desfasadores,...
- Se utiliza como cualquier otro circuito del que se sabe calcular su respuesta.
- Sus parámetros de diseño son su longitud e impedancia característica Z_c

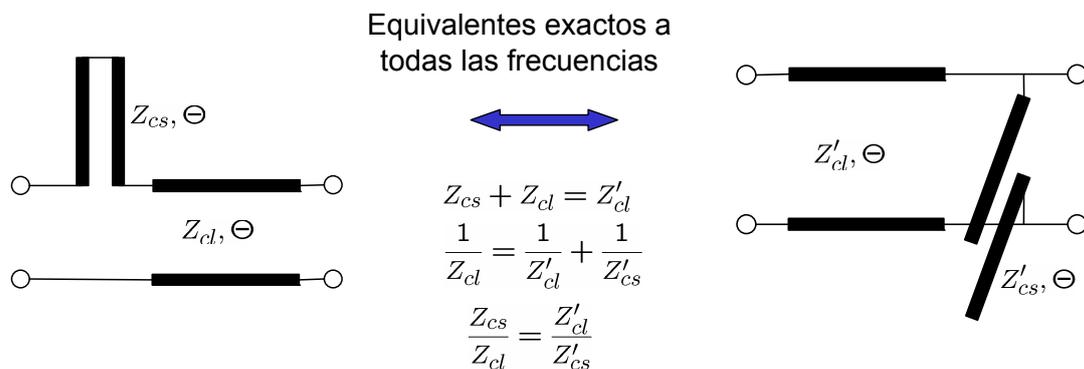


2. Líneas de transmisión.

➤ Circuitos con líneas de transmisión (cont.).

Ejemplo de uso como elemento circuital:

- Los circuitos equivalentes de la pag. anterior y de esta se conocen como identidades de Kuroda,...



2. Líneas de transmisión.

➤ Descripción matricial de la línea de transmisión:

- Como todo elemento circuital, la línea de transmisión tiene una descripción como cuadripolo en base a parámetros S, Z, Y, T (ABCD), (ver tema II)...



Z_c, Θ



$$\Theta = \gamma d = (\alpha + j\beta)d \quad \underbrace{\alpha=0 \Rightarrow \text{Sin Pérdidas}}_{=} = j\beta d = j\theta$$

$$\begin{aligned} \sin j\theta &= j \sin \theta & \coth j\theta &= -j \cot \theta = -j / \tan \theta \\ \cos j\theta &= \cos \theta & \operatorname{csch} j\theta &= -j \operatorname{csc} \theta = -j / \sin \theta \\ \tan j\theta &= j \tan \theta & & \end{aligned}$$

$$S_{Z_c} = \begin{bmatrix} 0 & e^{-\Theta} \\ e^{-\Theta} & 0 \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_c \coth \Theta & Z_c \operatorname{csch} \Theta \\ Z_c \operatorname{csch} \Theta & Z_c \coth \Theta \end{bmatrix}$$

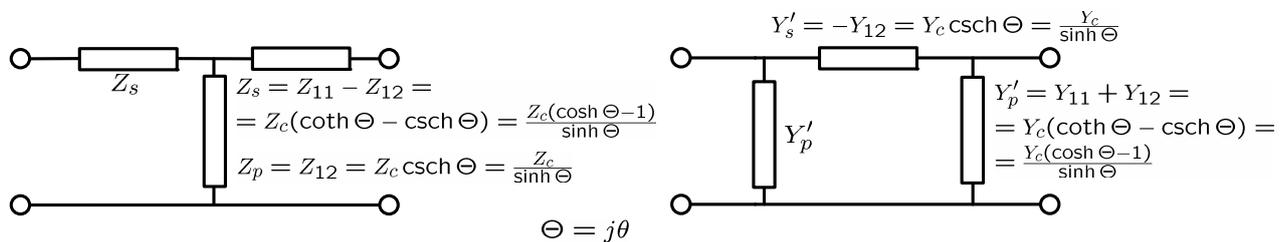
$$Y = \begin{bmatrix} Y_c \coth \Theta & -Y_c \operatorname{csch} \Theta \\ -Y_c \operatorname{csch} \Theta & Y_c \coth \Theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} T &= \begin{bmatrix} \cosh \Theta & Z_c \sinh \Theta \\ \frac{1}{Z_c} \sinh \Theta & \cosh \Theta \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 - \tanh^2 \Theta}} \begin{bmatrix} 1 & Z_c \tanh \Theta \\ \frac{1}{Z_c} \tanh \Theta & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

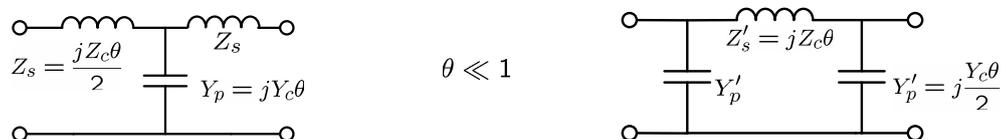
2. Líneas de transmisión.

➤ Y también tendrá su circuitos equivalentes:

- Circuito equivalente de una línea de transmisión en T o π :



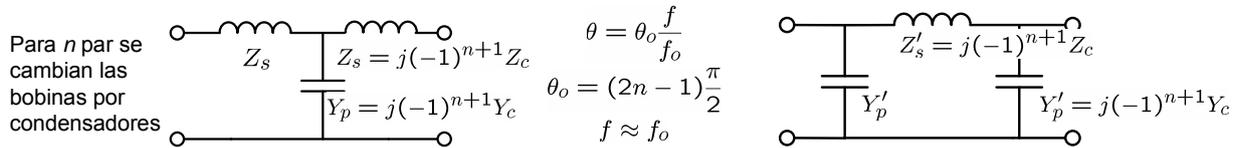
- Circuito equivalente de una línea de transmisión de longitud pequeña:



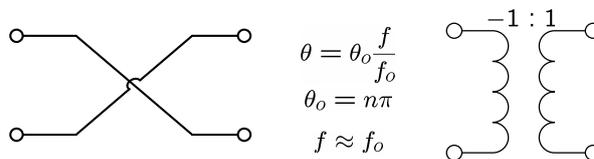
2. Líneas de transmisión.

➤ Y también tendrá su circuitos equivalentes (cont.):

- Circuito equivalente de una línea de transmisión en $\lambda/4$ (o múltiplos impares):



- Circuito equivalente de una línea de transmisión en $\lambda/2$ (o múltiplos):



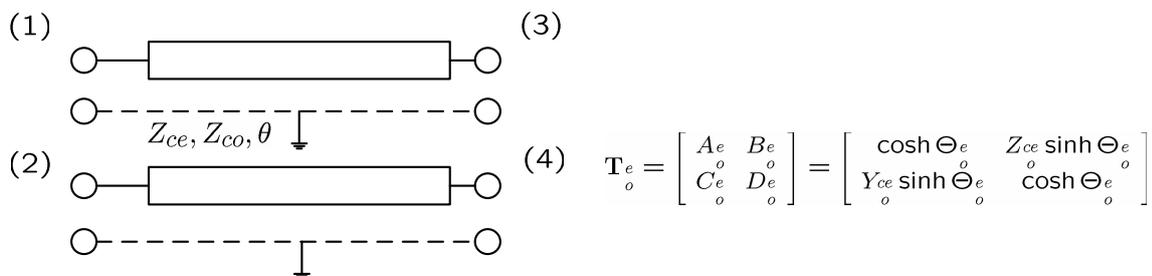
2. Líneas de transmisión.

➤ Líneas de transmisión acopladas:

- Un medio de transmisión con N conductores soporta $N-1$ modos TEM

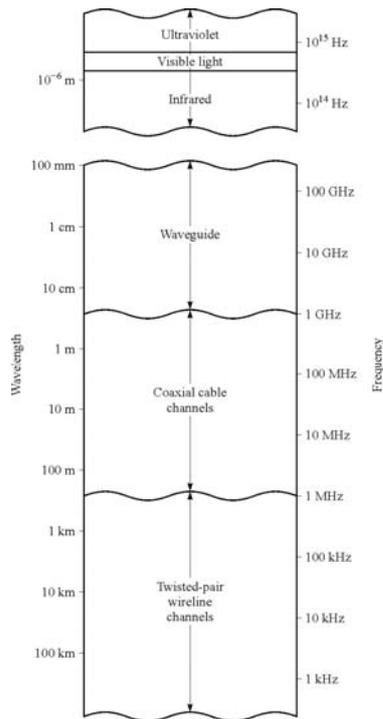
- Cuando se excitan sus terminales, la señal de entrada se distribuye entre estos modos de acuerdo a la forma de la excitación.

- Ejemplo de línea de transmisión de dos conductores interiores más el de masa:



$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \\ v_2 \\ i_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \mathbf{T}_e + \mathbf{T}_o & \mathbf{T}_e - \mathbf{T}_o \\ \mathbf{T}_e - \mathbf{T}_o & \mathbf{T}_e + \mathbf{T}_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_3 \\ i_3 \\ v_4 \\ i_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} A_e + A_o & B_e + B_o & A_e - A_o & B_e - B_o \\ C_e + C_o & D_e + D_o & C_e - C_o & D_e - D_o \\ A_e - A_o & B_e - B_o & A_e + A_o & B_e + B_o \\ C_e - C_o & D_e - D_o & C_e + C_o & D_e + D_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_3 \\ i_3 \\ v_4 \\ i_4 \end{bmatrix}$$

3. Tecnologías de RF



- **Fibras ópticas**: no hay conductores, atenuación muy baja, dieléctricos de decenas de micras de grosor. Anchos de banda de GHz's

- **Guías de onda**: un sólo conductor. Muy alta potencia

- **Líneas planares**: dos conductores

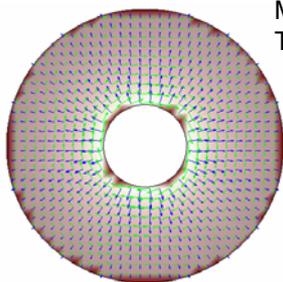
- **Coaxial**: dos conductores. Anchos de banda de decenas de MHz

- **Par trenzado**: dos conductores. Anchos de banda de cientos de KHz

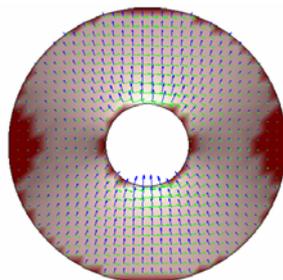
(de J.G. Proakis, M. Salehi, "Communication systems engineering", 2nd ed., Prentice-Hall 2002)

3. Tecnologías de RF: coaxial

➤ Coaxial:



Modo TEM



Primer modo de orden superior de un coaxial

- Grandes bandas de frecuencia

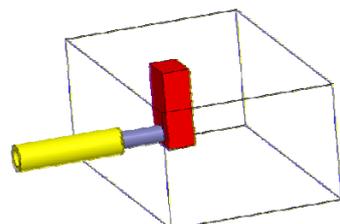
- Zonas bajas del espectro

- Buen nivel de potencia

- Pérdidas moderadas

- Se hacen por torneado y ensamblado (maquinaria sencilla, requieren bastante tiempo y poco repetibles), con posibles problemas de estabilidad mecánica

- Limitación intrínseca de los elementos realizables



Modelado de una sonda coaxial en guía de onda

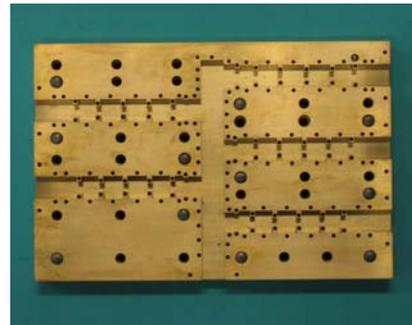
3. Tecnologías de RF: guías de onda

➤ Guías de onda:

- Banda limitada
- Zona media/alta del espectro
- Gran Nivel de potencia
- Pérdidas bajas
- Severa limitación intrínseca de los elementos realizables
- Robusto, pesado y voluminoso



(Alcatel)



(CICyT)

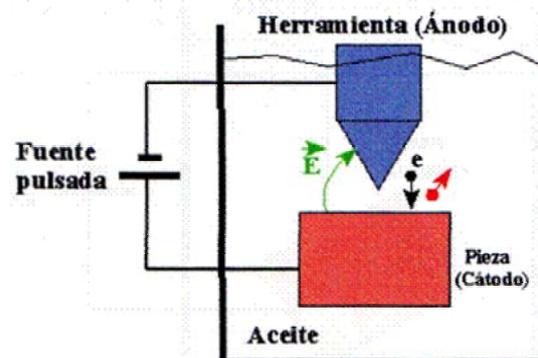
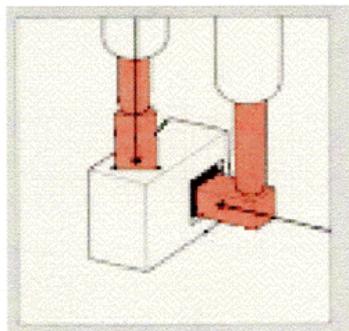
3. Tecnologías de RF: guías de onda

➤ Mecanizado clásico por fresado + soldadura:

- El mecanizado ha de hacerse en el interior
- Número limitado de dispositivos
- Esquinas interiores redondas (diámetro de la herramienta)

➤ Mecanizado por electroerosión:

- permite la realización de formas interiores muy variadas

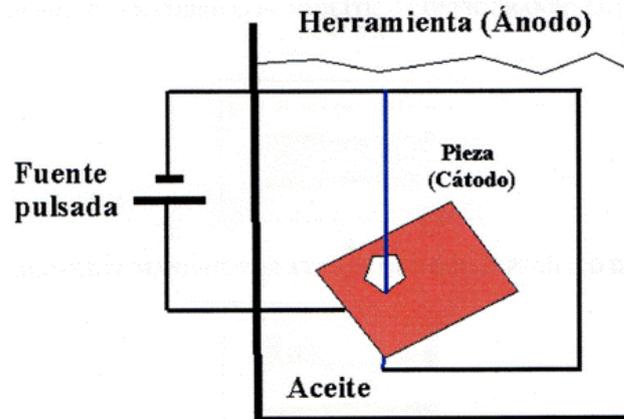


3. Tecnologías de RF: guías de onda

➤ Mecanizado por electroerosión por hilo:

- Elimina la necesidad de mecanizar el ánodo con una forma determinada

- Sólo es aplicable en mecanizados que atraviesen la pieza



3. Tecnologías de RF: guías de onda

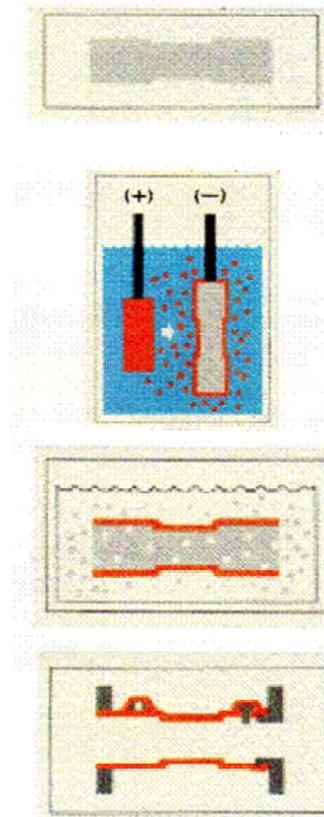
➤ Electroformado:

- Mandril de aluminio mecanizado de acuerdo con la forma interior

- Recubrimiento de cobre electrolítico configurando el dispositivo a realizar

- Eliminación del mandril por ataque químico específico del Aluminio

- Finalización del dispositivo mediante mecanizado adicional y soldadura



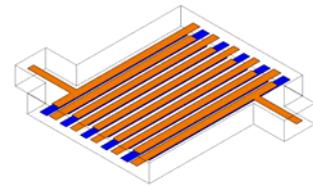
3. Tecnologías de RF: líneas planares

➤ Líneas planares:

- Grandes bandas de frecuencia
- Zonas medias-bajas del espectro
- Bajo nivel de potencia
- Pérdidas altas
- Tecnología muy simple
- Tecnología híbrida



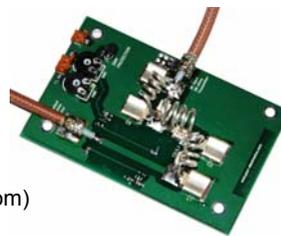
(GR-UPM)



- LTCC (Low Temperature Cofired Ceramics)



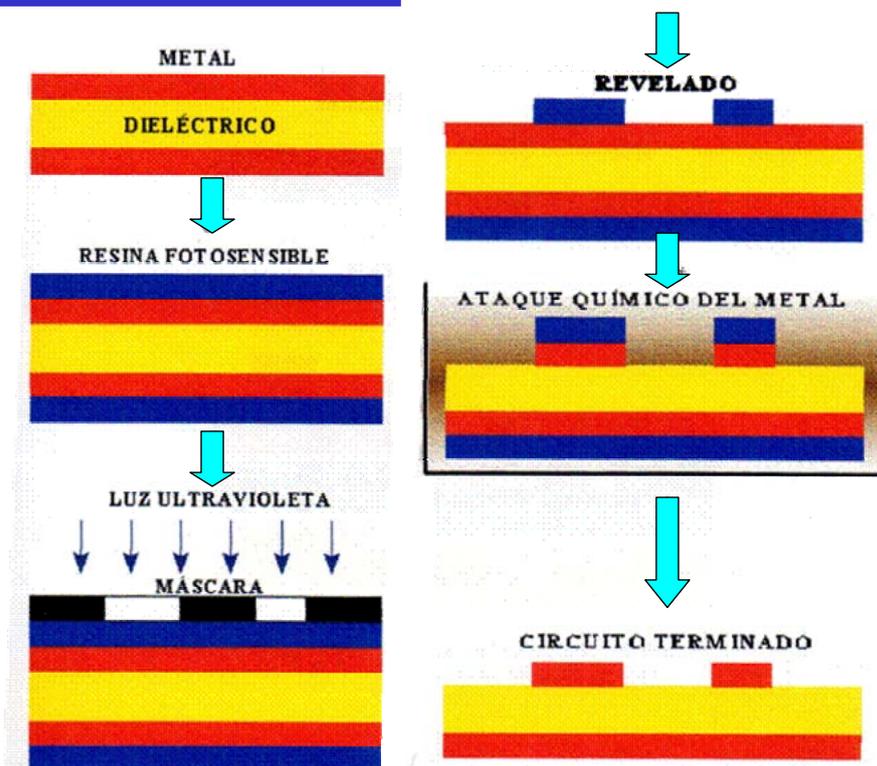
(Univ. Maryland, Kyocera, USA)



(pcs-electronics.com)

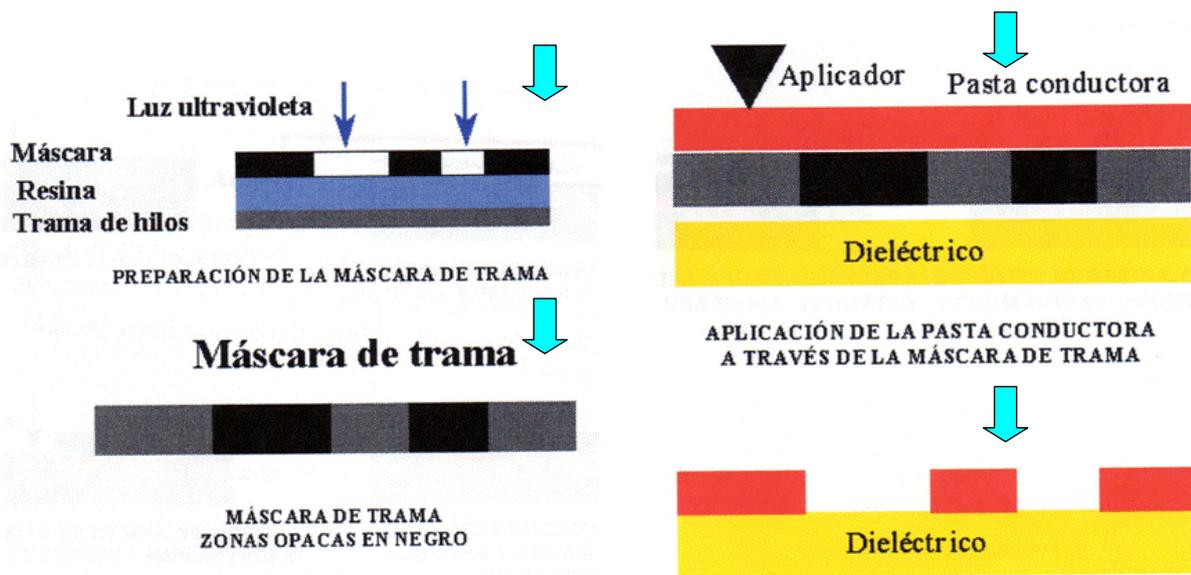
3. Tecnologías de RF: líneas planares

➤ Realización de microstrip por ataque químico:



3. Tecnologías de RF: líneas planares

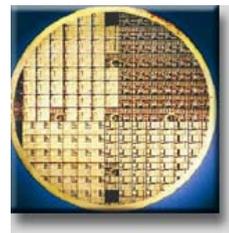
➤ Realización de microstrip por serigrafía:



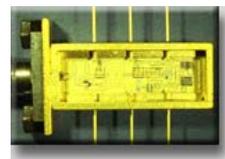
3. Tecnologías de RF: monolíticos

➤ Monolíticos (MMIC):

- Grandes bandas de frecuencia
- Zonas bajas del espectro
- Muy bajo nivel de potencia
- Pérdidas muy altas
- Producción masiva
- Tamaño muy reducido

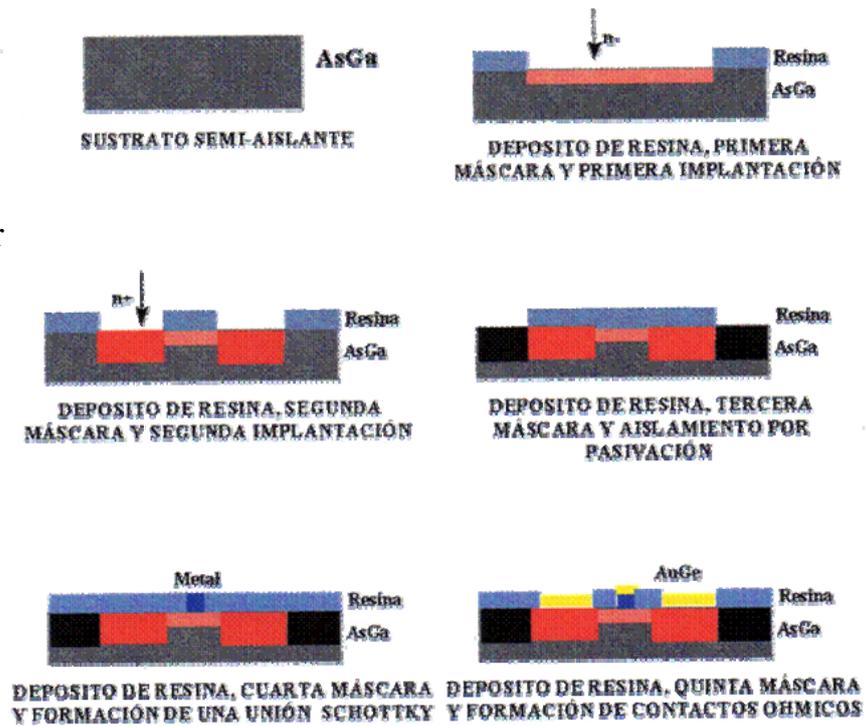


<http://www.mmic-design.de/MMIC/index.php>



3. Tecnologías de RF: monolíticos

➤ Proceso típico de realización de un monolítico (Ej: transistor de efecto de campo):



3. Tecnologías de RF: monolíticos

➤ Proceso típico de realización de un monolítico (Ej. de transistor de efecto de campo) (cont.):

