

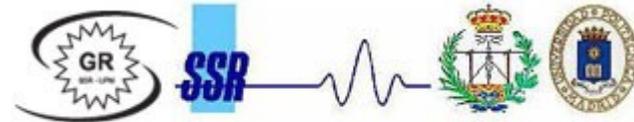
Antenas y Circuitos de Alta Frecuencia Segunda parte, Tema IV



Master en Ingeniería Informática y de Telecomunicación,
2º cuatrimestre (6 créditos ECTS)

Profesores: Jorge A. Ruiz Cruz (jorge.ruizcruz@uam.es)
Jose Luis Masa Campos (joseluis.masa@uam.es)

Colaborador: Grupo de Radiación. Dpto. SSR.UPM



Dpto. de Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid



Segunda parte de ACAF: Antenas



I. Principios básicos de una antena

II. Antenas lineales

III. Antenas impresas

→ IV. Antenas banda ancha, multibanda e independientes de la frecuencia

V. Agrupación de antenas. Arrays

VI. Antenas de apertura. Bocinas

VII. Reflectores

Antenas y Circuitos de Alta Frecuencia. www.eps.uam.es/~acaf
Master en Ingeniería Informática y Telecomunicaciones
Escuela Politécnica Superior. Universidad Autónoma de Madrid
José Luis Masa Campos. jose Luis.masa@uam.es

IV. Antenas de banda ancha, multibanda e independientes de la frecuencia



1. Técnicas de ensanchamiento de banda en estructuras resonantes
 1. Consideraciones generales
 2. Aplicación a parches
 3. Mejora de la polarización
2. Técnicas para la generación de antenas multibanda
 1. Apilamiento de elementos resonantes
 2. Aperturas Dochoic de doble-banda
 3. Antenas fractales
3. Antenas de banda ancha
 1. Aplicación a dipolos
 2. Antenas bicónicas
 3. Antenas de hélice
4. Antenas independientes de la frecuencia
 1. Concepto
 2. Antena Log-espiral
 3. Antena Log-Periódica

1.- TECNICAS DE ENSANCHAMIENTO DE BANDA EN ESTRUCTURAS RESONANTES

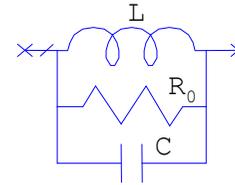
1.1- Consideraciones generales



■ **DEFINICIÓN DE ANCHO DE BANDA:** Rango de frecuencias en el que la antena mantiene un comportamiento óptimo de acuerdo a unos determinados parámetros.

■ **Impedancia de entrada:**

La antena como un circuito resonante \Rightarrow



$$Z_{ANT}(f) = R_0 \left(1 + jQ \cdot \left(\frac{f}{f_{res}} - \frac{f_{res}}{f} \right) \right)$$

Q = factor de calidad de la estructura resonante
 R_0 = Resistencia de resonancia
 f_{res} = Frecuencia de resonancia

$$\Gamma_{ANT} = \frac{Z_{ANT} - Z_{REF}}{Z_{ANT} + Z_{REF}}$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma_{ANT}|}{1 - |\Gamma_{ANT}|}$$

$$BW = \frac{VSWR - 1}{Q \sqrt{VSWR}}$$

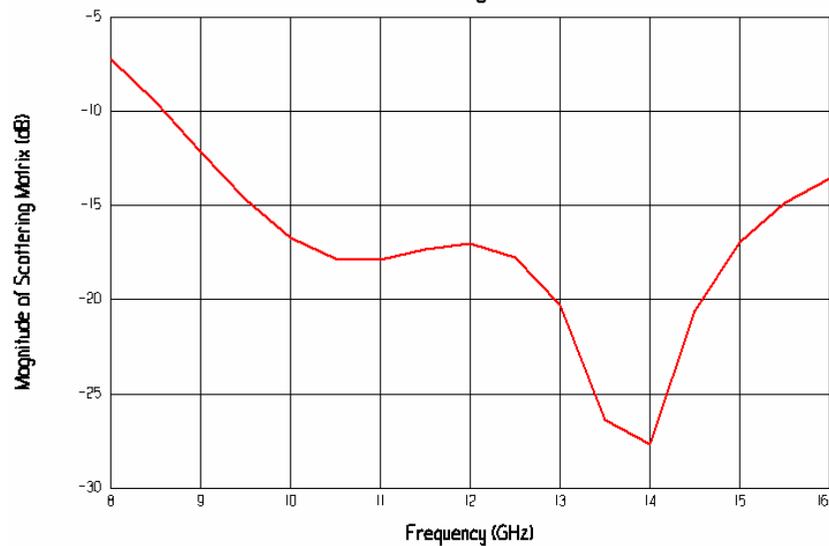
- Las estructuras resonantes tienen un ancho de banda muy estrecho
- Una estructura muy resonante tiene una fuerte variación de la impedancia de entrada en función de la frecuencia.
- En elementos simples, la variación de la impedancia es la característica de más variación
- A mayor volumen menor Q

1.1- Consideraciones generales

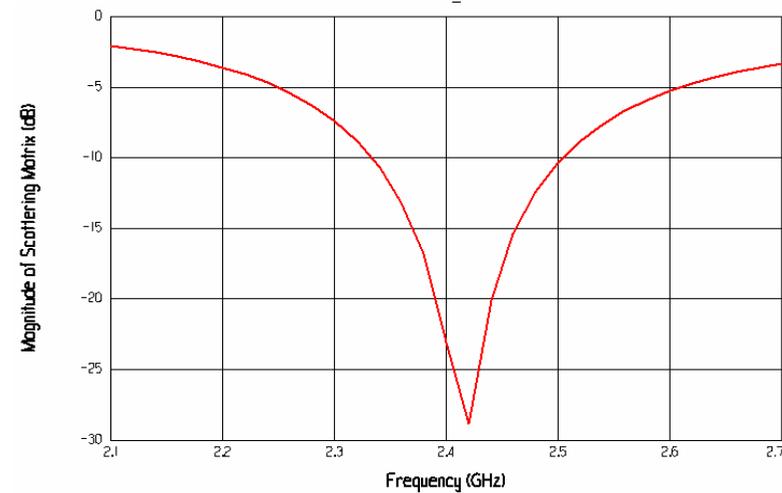


Ejemplos impedancias de entrada de distinto ancho de banda

Antena de banda ancha



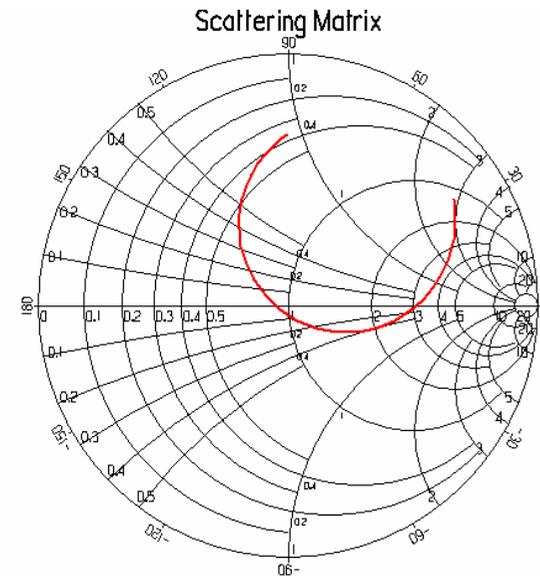
Antena de banda estrecha



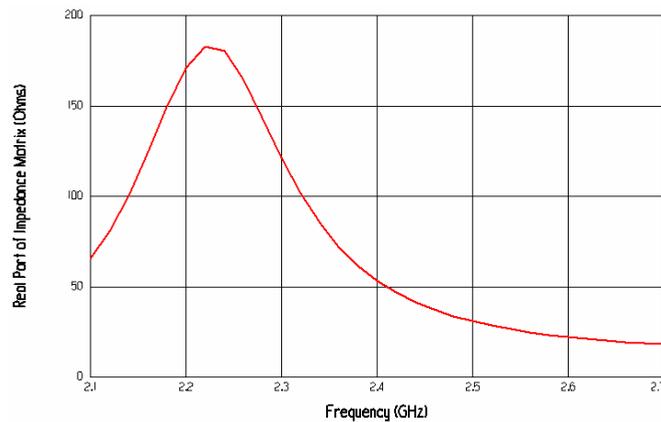
1.1- Consideraciones generales



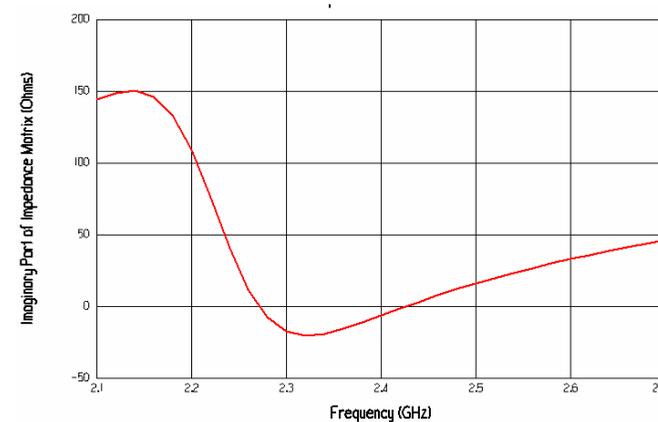
ANALISIS IMPEDANCIA DE ENTRADA DE ANTENA DE BANDA ESTRECHA



Parte Real - Impedancia



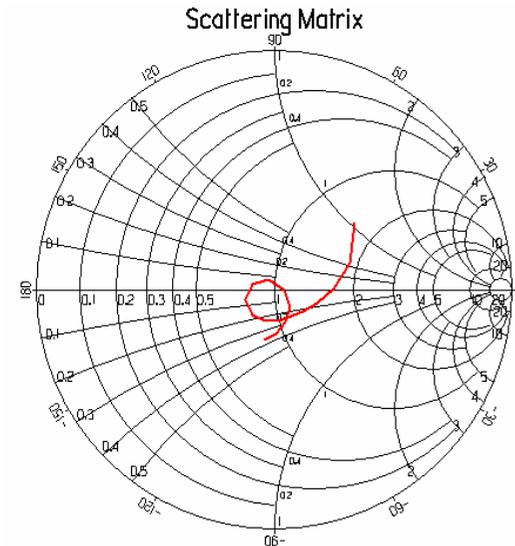
Parte Imaginaria - Impedancia



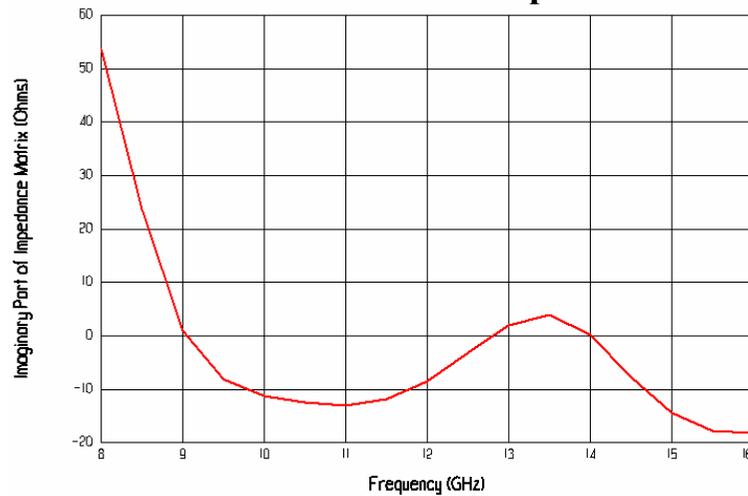
1.1- Consideraciones generales



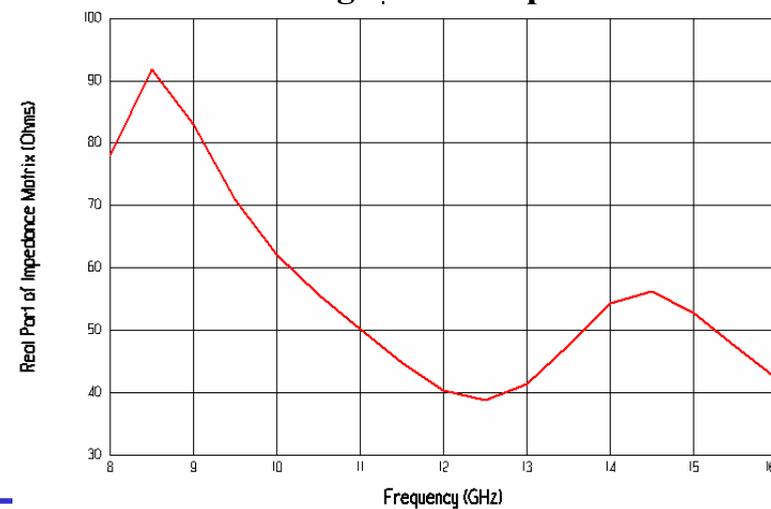
ANALISIS IMPEDANCIA DE ENTRADA DE ANTENA DE BANDA ANCHA



Parte Real - Impedancia



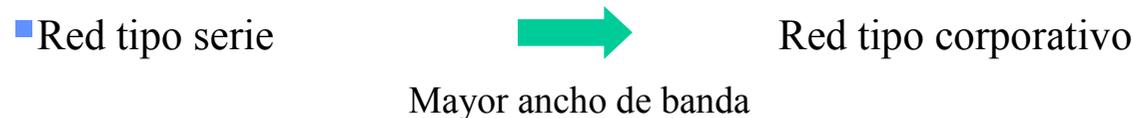
Parte Imaginaria - Impedancia



1.1- Consideraciones generales



- **Diagrama de radiación:** Variación de lóbulos secundarios, dirección de apuntamiento, ganancia, etc...
 - En elementos simples, la variación del diagrama de radiación suele ser pequeña con la frecuencia
 - En arrays el ancho de banda depende de la capacidad para mantener en banda los coeficientes de alimentación en la red de alimentación.



- **Polarización:** Tipo de polarización (lineal, circular). Niveles de componente copolar, contrapolar.
 - Relación axial para el caso de antenas de polarización circular formada a partir de dos componentes lineales

$$AR(\text{dB}) = \sqrt{(A_e)^2 + 0.0225(\Phi_e + \beta_e)^2}$$

$\left\{ \begin{array}{l} A_e = \text{Error de amplitud entre las dos componentes lineales (dB)} \\ \Phi_e = \text{Error de fase entre las dos componentes lineales (}^\circ\text{)}. \\ \beta_e = \text{Error de ortogonalidad entre las dos componentes lineales} \end{array} \right.$

1.2- Aplicación a parches

ESPESOR Y CONSTANTE DIELECTRICA DEL SUSTRATO

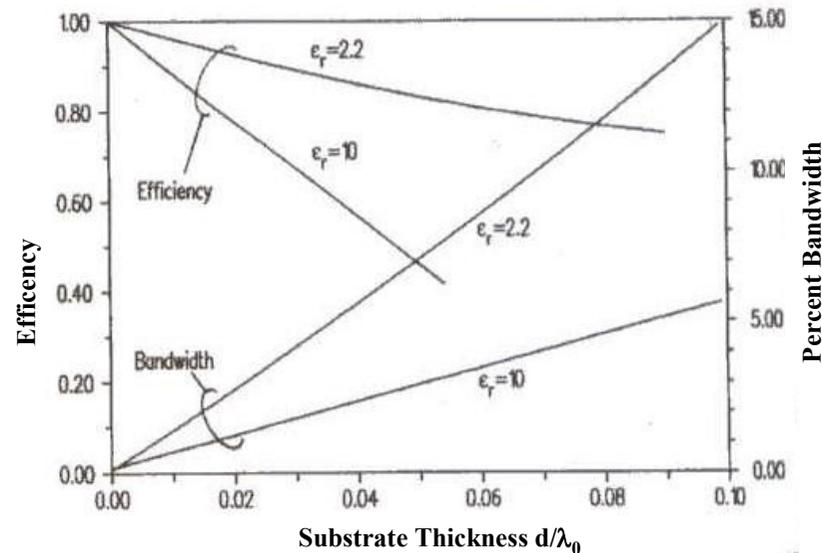
- El método más simple y directo para incrementar el ancho de banda de una antena de parche \Rightarrow es **aumentar el espesor del sustrato** y reducir la constante dieléctrica ϵ_r

- Ventajas:

- Aumenta el ancho de banda y la eficiencia

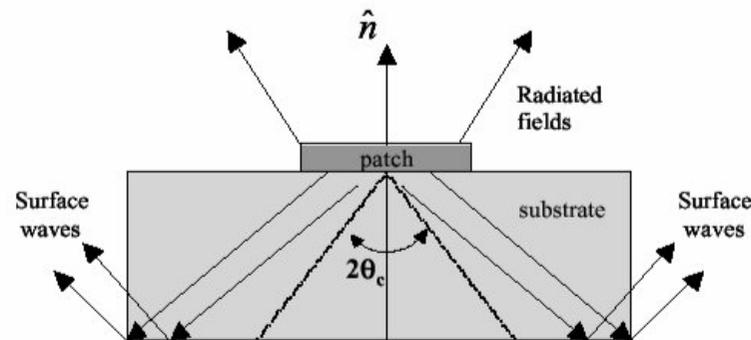
$$Q = \frac{1 + 3(k_0 R)^2}{(k_0 R)^3 [1 + (k_0 R)^2]} \quad \longrightarrow \quad \text{A mayor volumen (R)} \Rightarrow \text{menor Q} \Rightarrow \text{mayor BW}$$

- Al disminuir la ϵ_r el parche es eléctricamente mayor \Rightarrow Menor Q

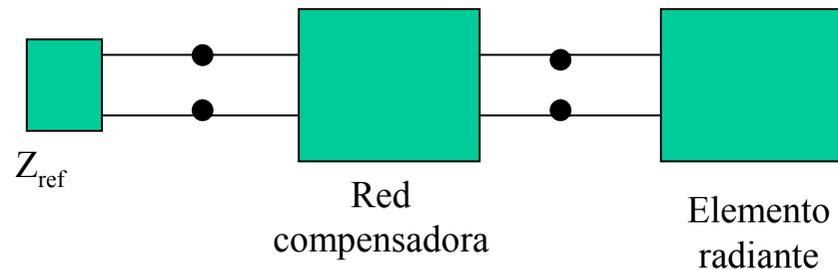


1.2- Aplicación a parches

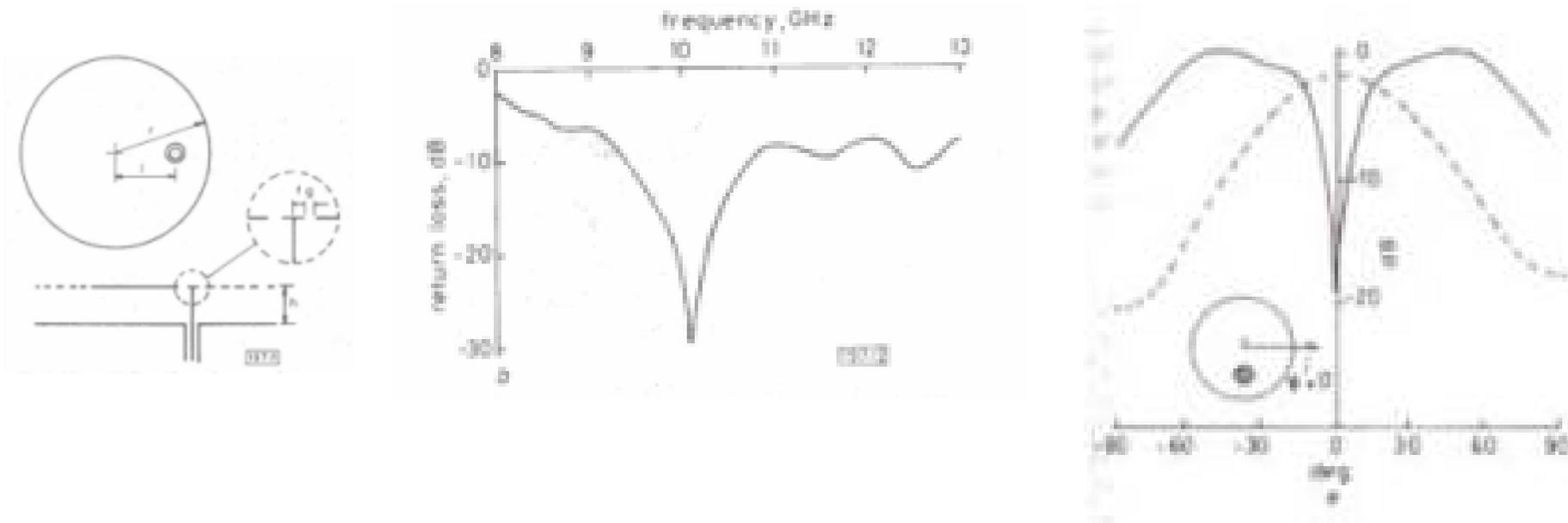
- Inconvenientes:
 - Sustrato grueso \Rightarrow pérdidas por formación de ondas de superficie
 - Restan potencia del diagrama de radiación
 - Aumentan el nivel de lóbulos secundarios



- Aumento considerable de la parte inductiva de la impedancia de entrada. Necesidad de una red compensadora



1.2- Aplicación a parches

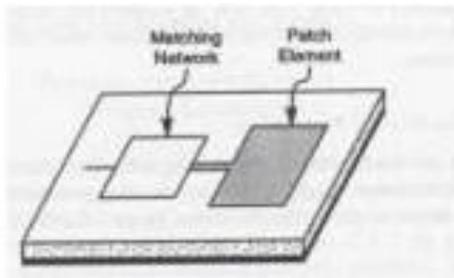


- Para compensar la parte inductiva introducida por el aumento del espesor en alimentación coaxial, se deja un gap de aire alrededor del pincho de ataque al parche

1.2- Aplicación a parches

INTRODUCCION DE RED ADAPTADORA

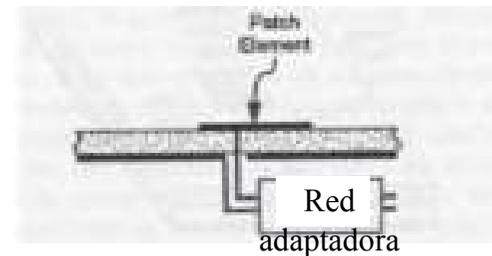
Red adaptadora Parche



Red adaptadora coplanar

- Problemas con la radiación de la red adaptadora, sobre todo en sustratos gruesos
- Aumento de banda hasta un 10-30 % (VSWR 2:1)

Parche

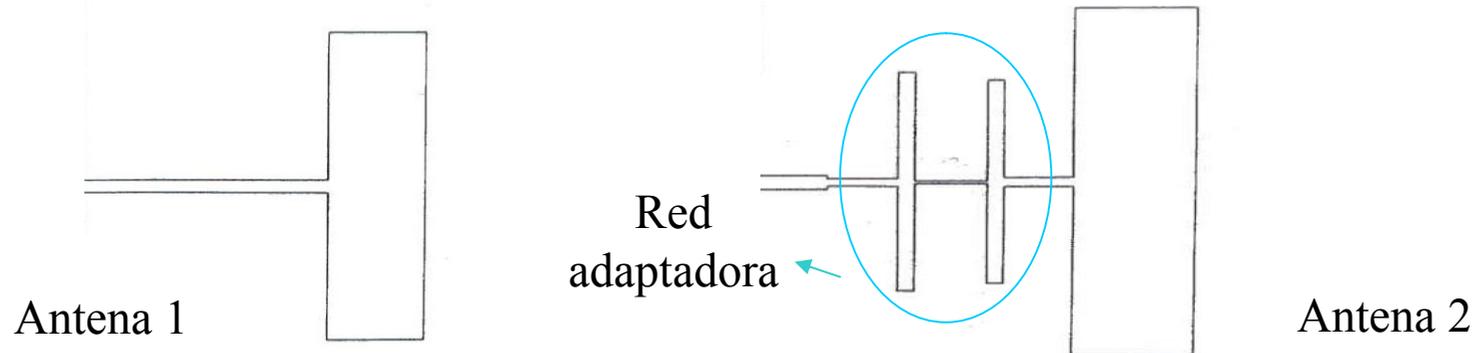


Red adaptadora fuera del plano del parche

- Pueden incluirse en dicha red externa elementos activos
- Permite incluir condensadores que compensen la inductancia en espesores grandes

1.2- Aplicación a parches

Ejemplo de Red adaptadora coplanar

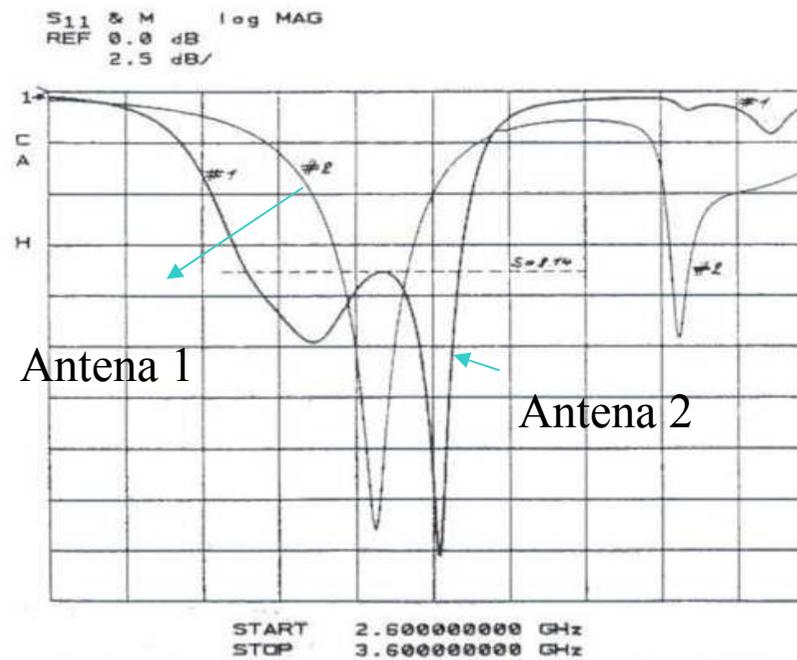


Sustrato:

RT/Duroid 5880

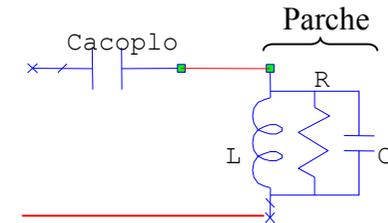
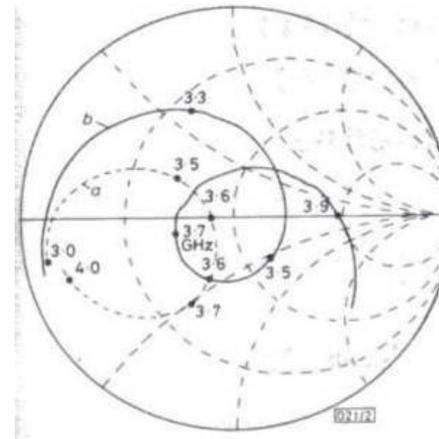
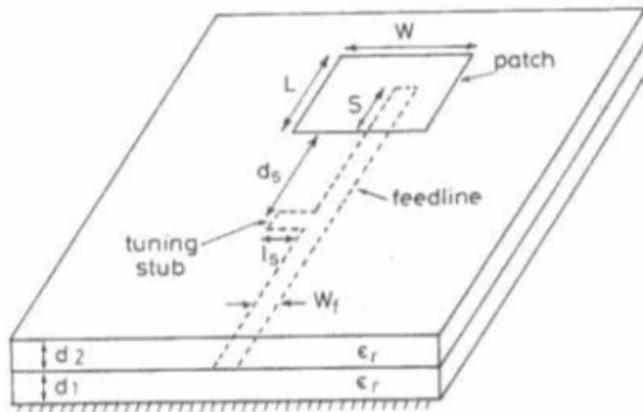
Espesor de 1.6 mm

$\epsilon_r = 2.2$



1.2- Aplicación a parches

Ejemplo de Red adaptadora en parche microstrip alimentado por acoplamiento de línea



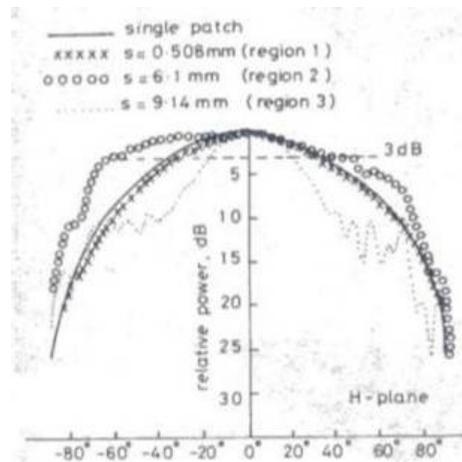
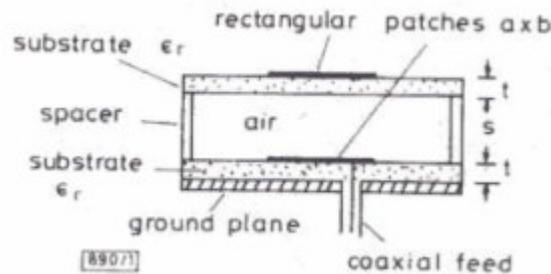
BW 13% con VSWR (2:1)

ϵ_r sustratos d_1 y $d_2 = 2.2$; $d_1=d_2=1.578$ mm
 $L=25$ mm; $W=40$ mm; $W_f=5$ mm; $l_s=6.5$ mm
 $d_s=33$ mm; $S=12.5$ mm

- La longitud S y el ancho del parche W permite controlar la posición de la curva de impedancia
- Situación óptima $S=L/2$.
- Situando un stub de adaptación a una distancia d_s de la referencia de fase del parche, se consigue generar un lazo en la curva que aumenta el ancho de banda. (Curva b)

1.2- Aplicación a parches

USO DE MÚLTIPLES RESONANCIAS



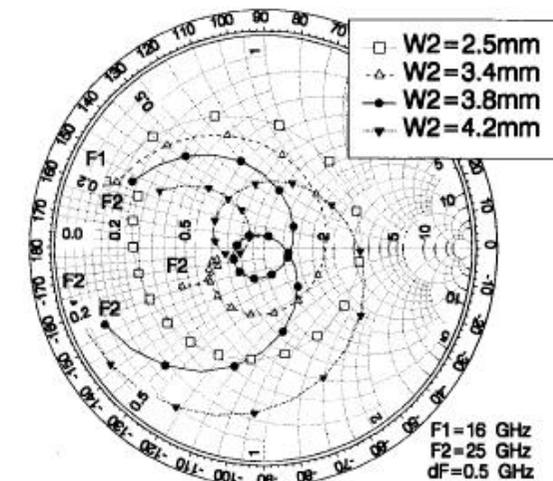
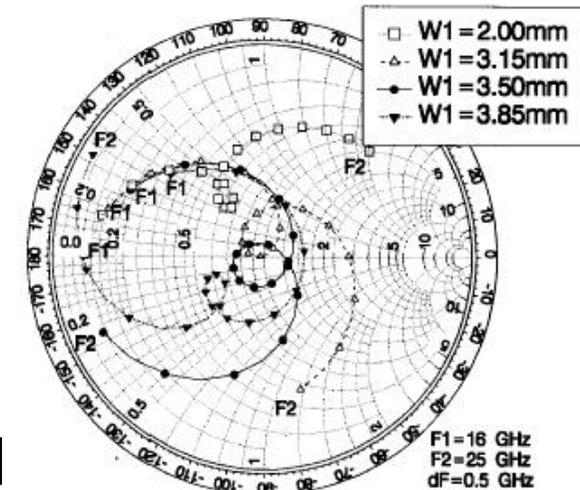
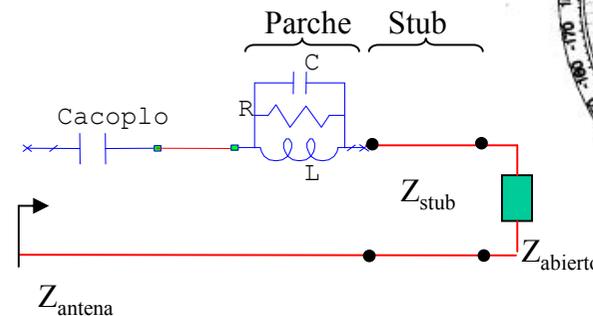
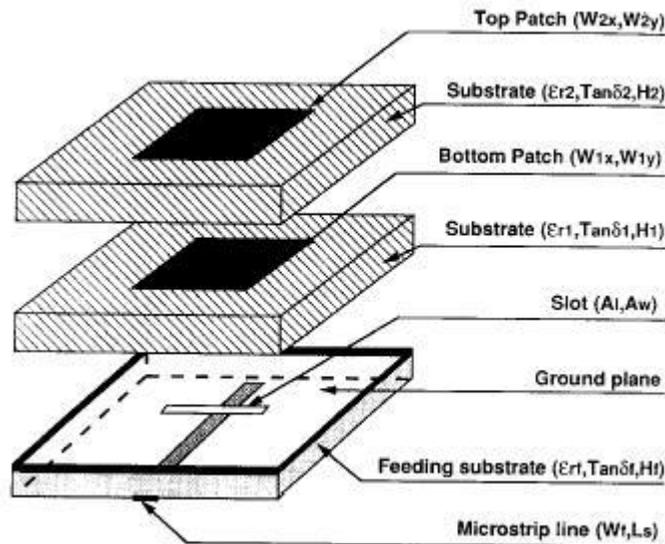
Spacing s	f_{01}	Pattern shape	3 dB beamwidth	Estimated gain	Bandwidth
cm	GHz			dB	%
0	9.95	normal	90° × 70°	5.3	2.0
0.0508	9.95	normal	75° × 65°	7.3	13.0
0.102	10.10	normal	75° × 70°	7.0	10.5
0.152	10.45	normal	75° × 70°	7.0	6.2
0.204	10.46	normal	75° × 70°	7.0	4.8
0.254	10.48	normal	70° × 70°	7.2	3.4
0.305	10.46	normal	73° × 78°	6.6	2.9
0.356	10.46	normal	75° × 85°	6.1	2.9
0.406	10.40	normal	85° × 90°	5.3	2.6
0.457	10.37	abnormal	—	—	1.5
0.508	10.37	abnormal	—	—	1.5
0.610	10.34	abnormal	—	—	1.4
0.762	10.30	abnormal	—	—	1.3
0.864	10.30	abnormal	—	—	1.3
0.914	10.28	normal	90° × 37°	8.9	1.3
0.965	10.28	normal	90° × 37°	8.9	1.3
1.016	10.28	normal	85° × 37°	9.2	1.3
1.118	10.30	normal	70° × 37°	10.0	1.2
Single patch	10.20	normal	110° × 70°	5.3	2.3

$a = 1.5 \text{ cm}, b = 1 \text{ cm}, \epsilon_r = 2.17, t = 0.254 \text{ mm}$

- Un primer parche es alimentado directamente, por diversos mecanismos (coaxial, ranura, línea acoplada).
- Un segundo parche se acopla por proximidad al primero.
- Generación de dos resonancias muy próximas. El tamaño de ambos parches es muy similar.

1.2- Aplicación a parches

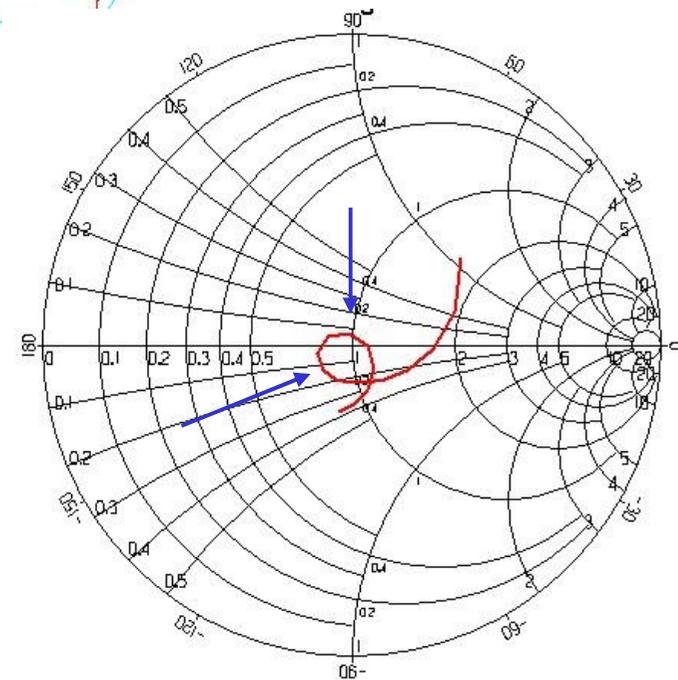
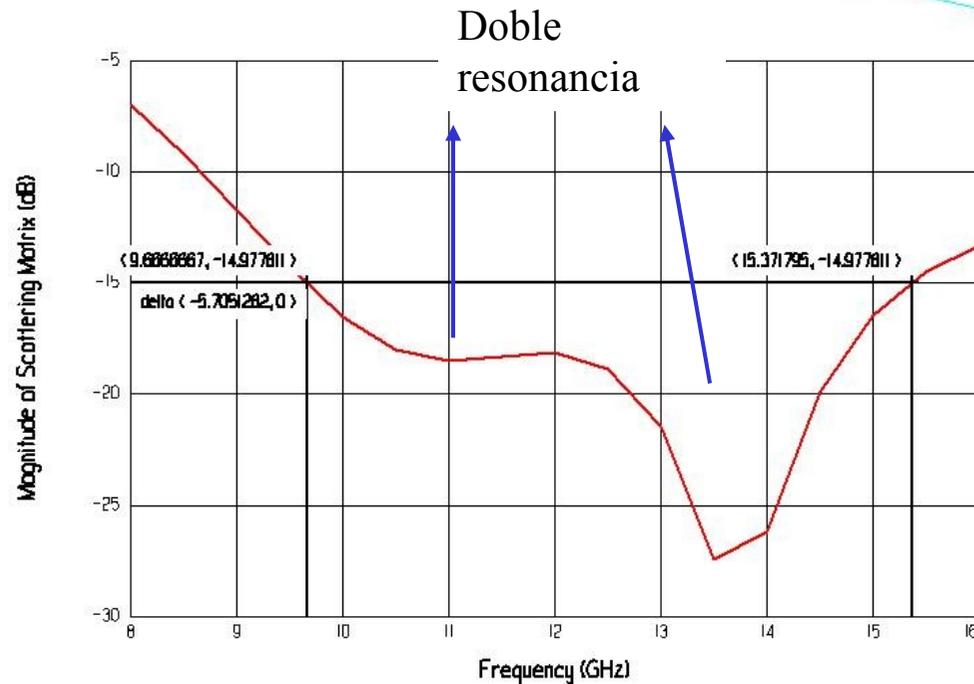
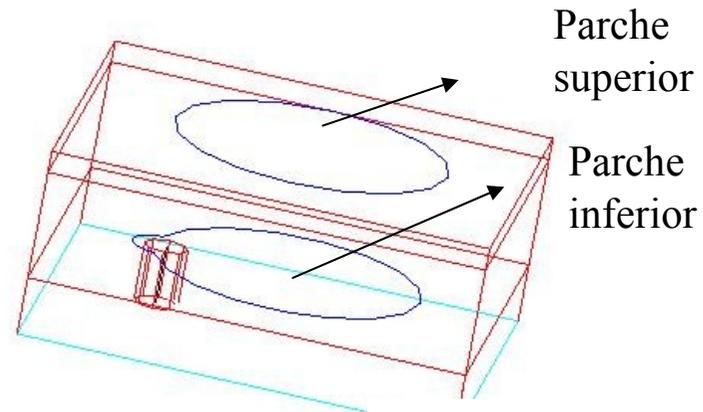
Ejemplo antena de banda ancha con parches apilados



- Estructura con gran ancho de banda
- Muchos parámetros de ajuste: Ranura, línea, altura y dimensiones de ambos parches
- La inclusión de un tercer parche no mejora la banda
- Radiación trasera alta. Necesidad de colocar un plano de masa \Rightarrow Generación de modos guiados entre dos planos metálicos
- Ancho de banda de hasta 30% (VSWR 1.1:1)

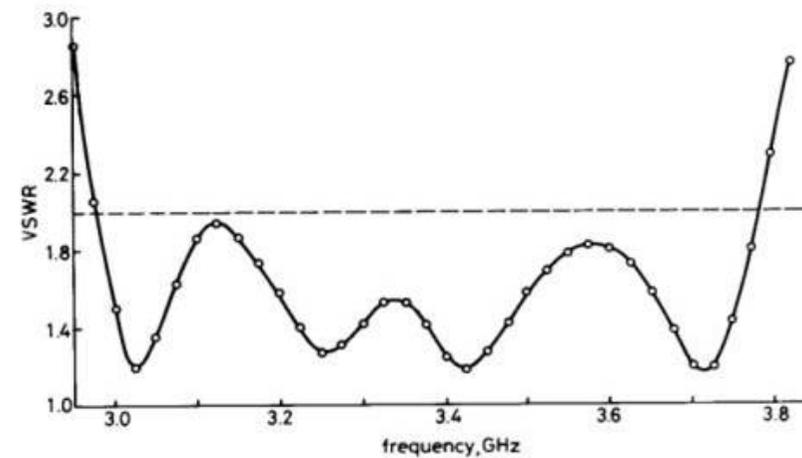
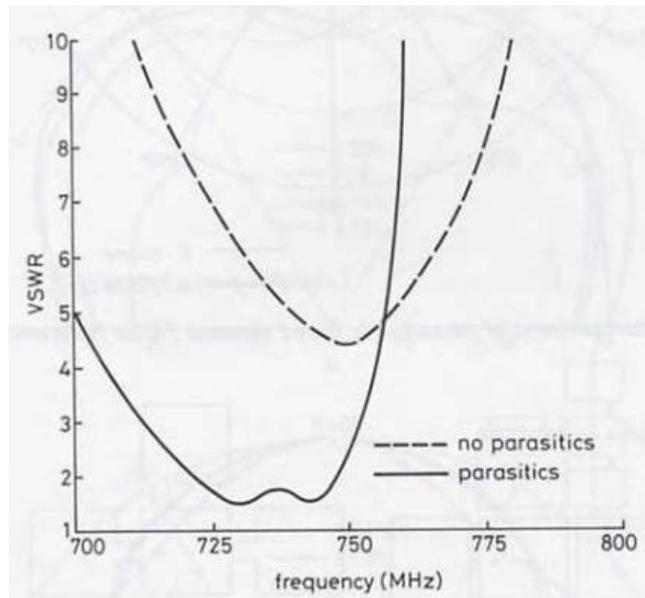
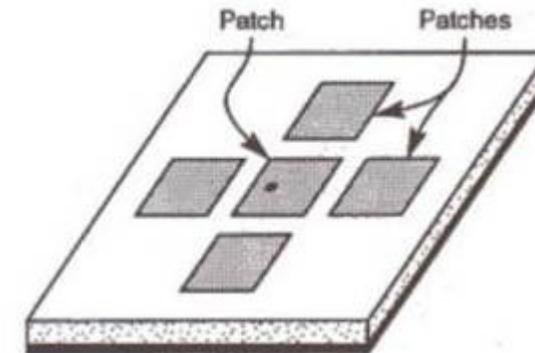
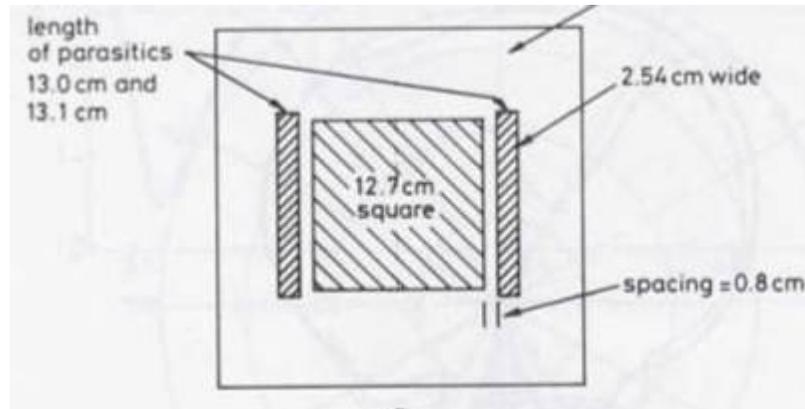
1.2- Aplicación a parches

Ejemplo antena parches apilados y alimentación coaxial



1.2- Aplicación a parches

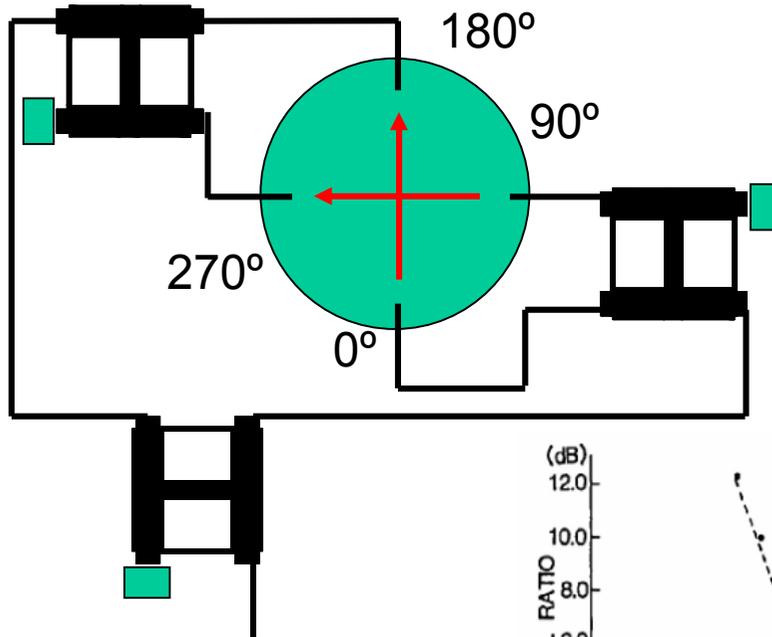
Ejemplo antena de banda ancha con elementos parásitos



1.3- Mejora de la polarización

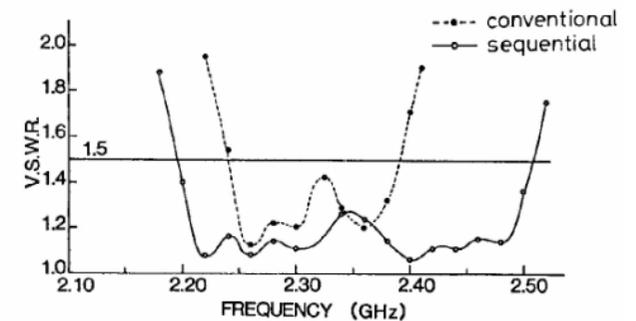
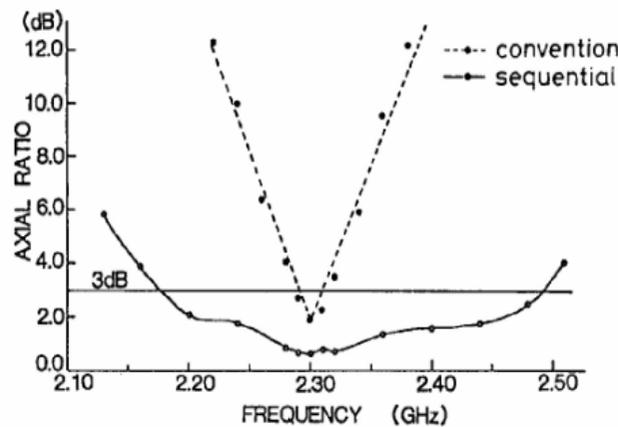
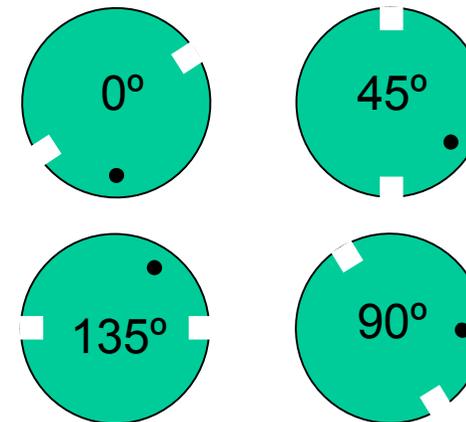


Alimentación en varios puntos



Definición clara de una fuente y un sumidero de líneas de corriente

Rotación secuencial de parches

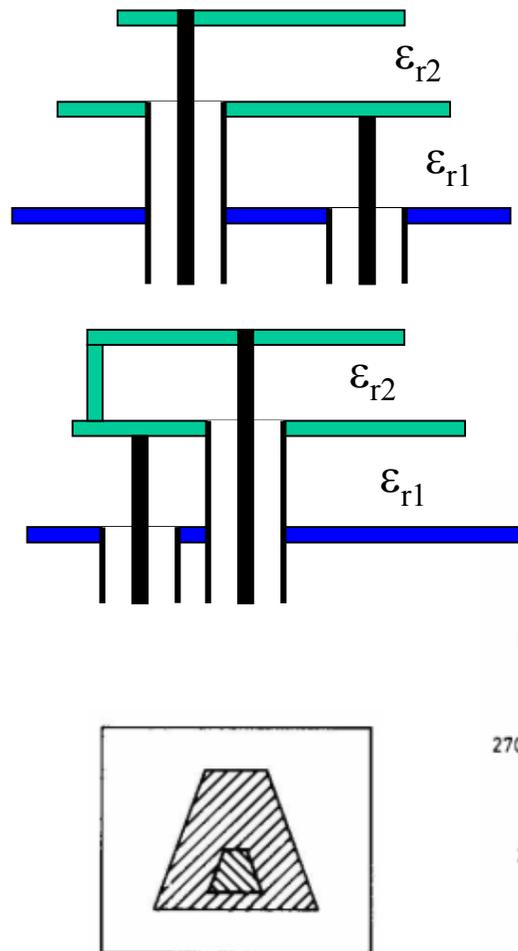


■ Aumento de banda en impedancia, ya que, las reflexiones de cada elemento se suman con fases distintas en los divisores de la red que los alimenta

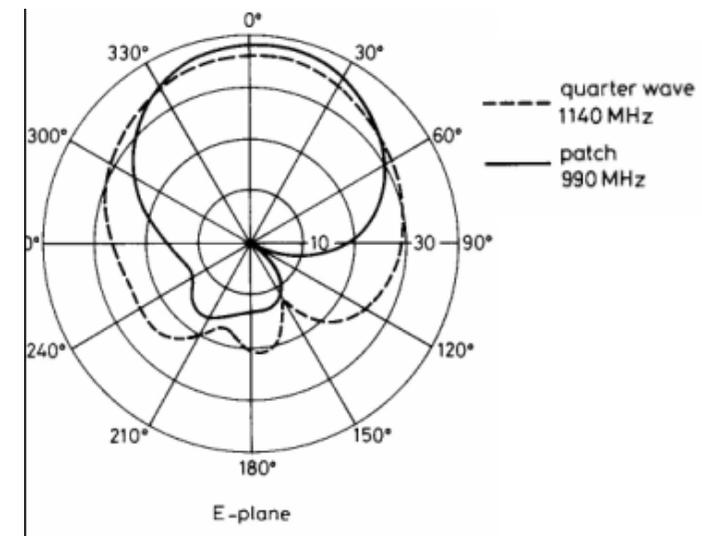
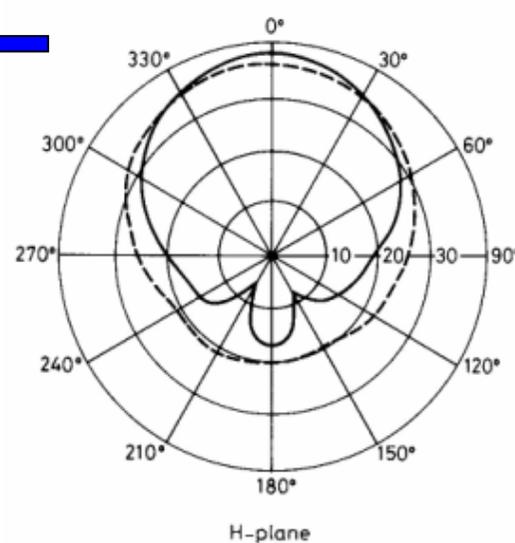
2.- TECNICAS PARA LA GENERACIÓN DE ANTENAS MULTIBANDA

2.1- Apilamiento de elementos resonantes

Estructuras de parches multicapa - Bandas separadas I



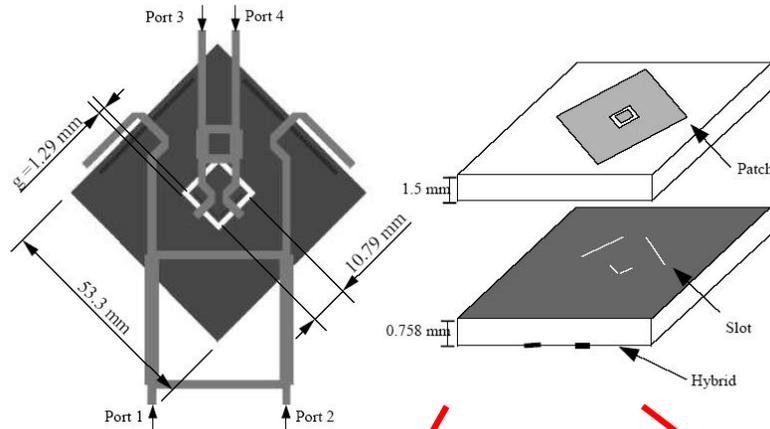
- La conexión del conductor exterior al parche inferior introduce un parte inductiva, que puede ser compensada
- La diferencia de bandas puede llegar a ser de una octava
- Antena piggy-back. Parche superior resonante en $\lambda/4$
- Permite un comportamiento de doble banda y de distinto ancho de haz



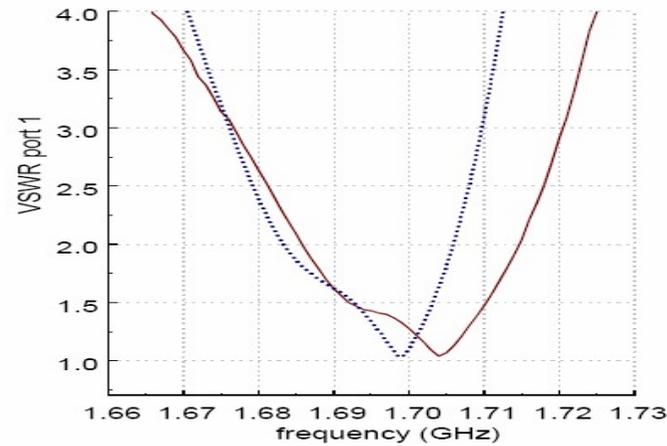
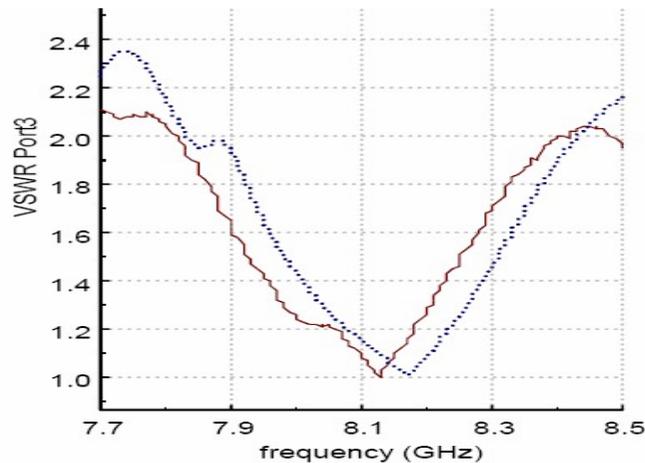
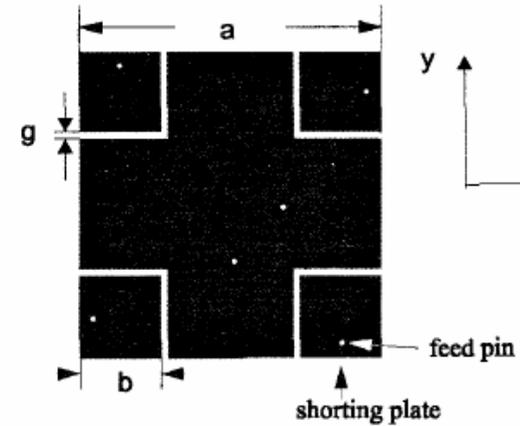
2.1- Apilamiento de elementos resonantes

Estructuras de parches imbricada - Bandas separadas II

Antena doble banda e iguales anchos de haz

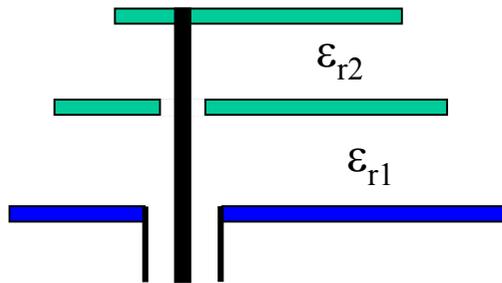


Antena doble banda y distintos anchos de haz

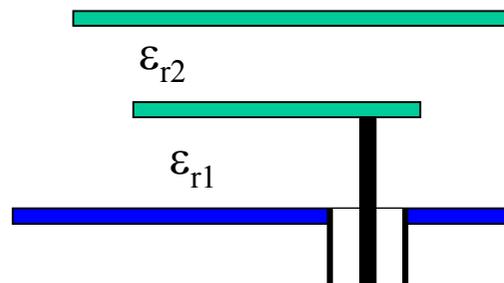
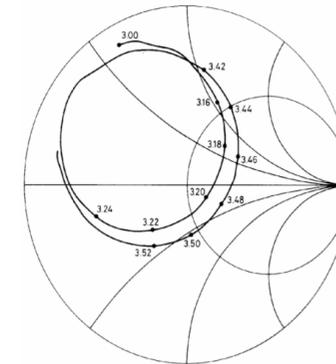
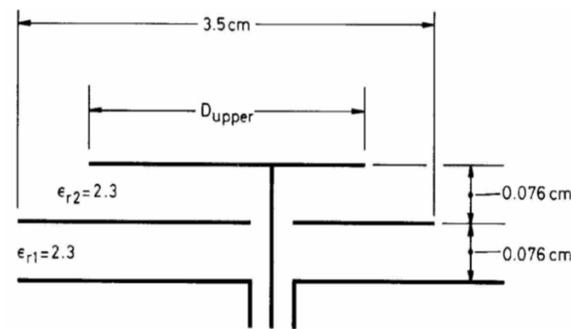


2.1- Apilamiento de elementos resonantes

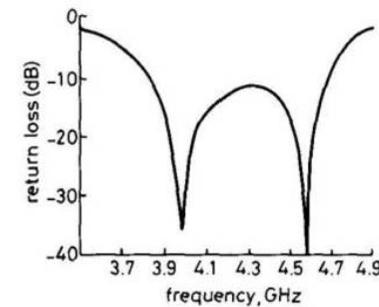
Estructuras de parches multicapa - Bandas no separadas



- Este método de alimentación acopla fuertemente a la resonancia de cada parche.
- La diferencia de bandas puede llegar a ser de una octava
- Interesa que el parche superior sea de menor tamaño

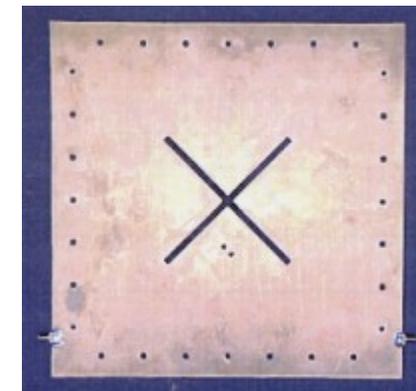
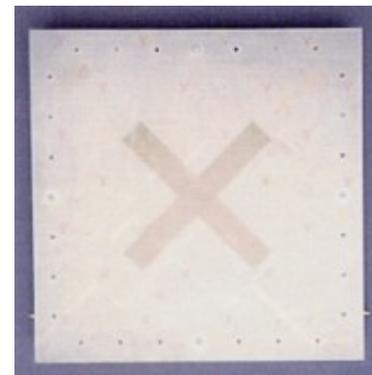
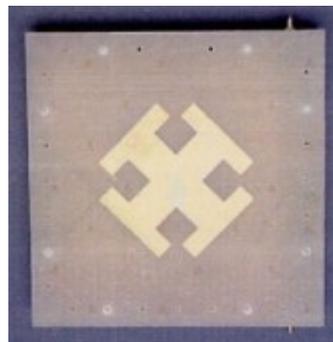
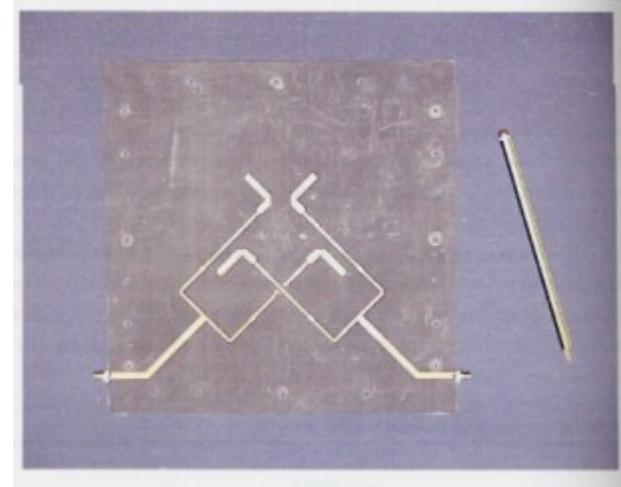
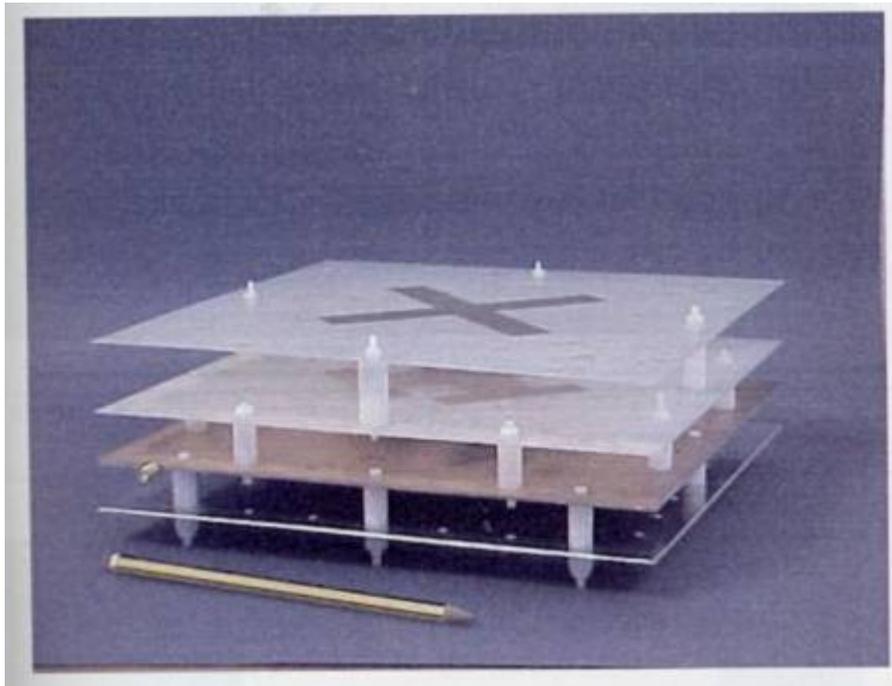


- El parche superior se alimenta por acoplo del inferior.
- La diferencia de bandas puede llegar a ser de una octava



2.1- Apilamiento de elementos resonantes

Ejemplo antena bibanda

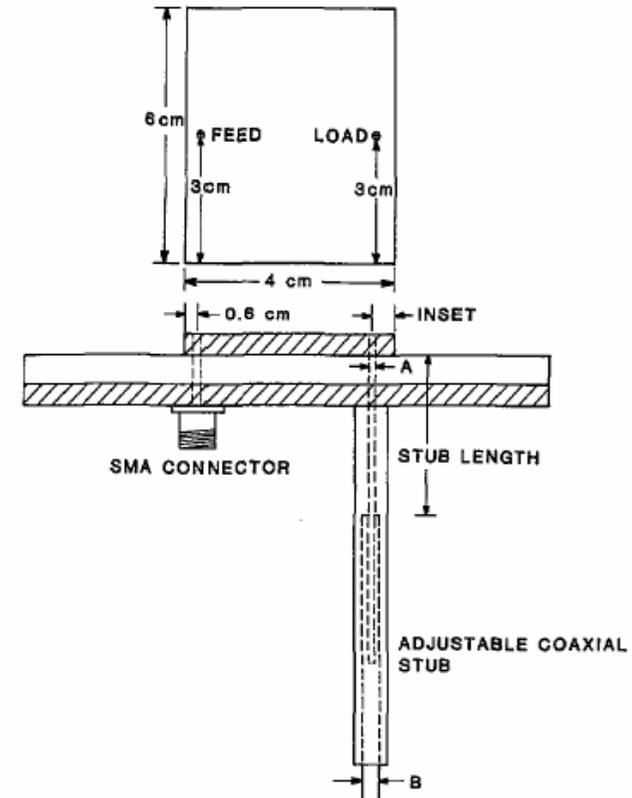
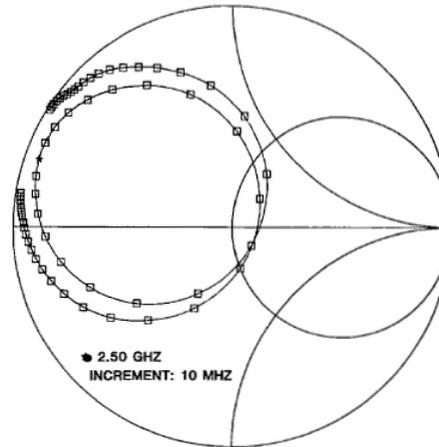


2.1- Apilamiento de elementos resonantes

Estructuras de parches multicapa -Un puerto único de entrada

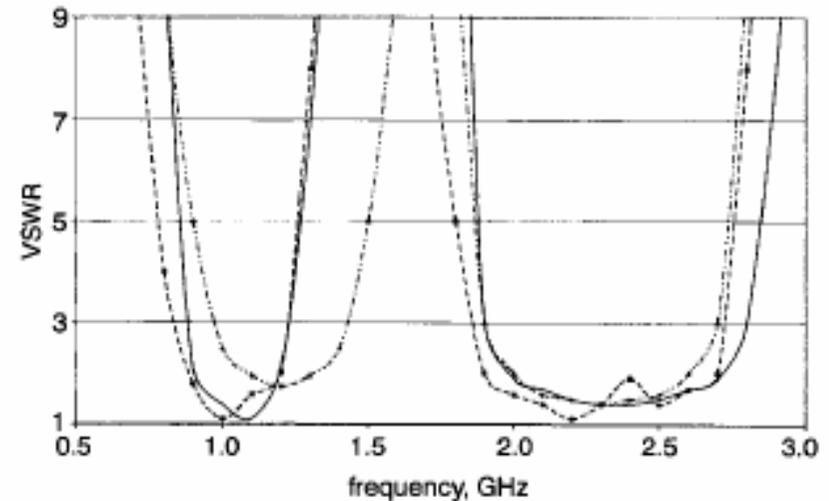
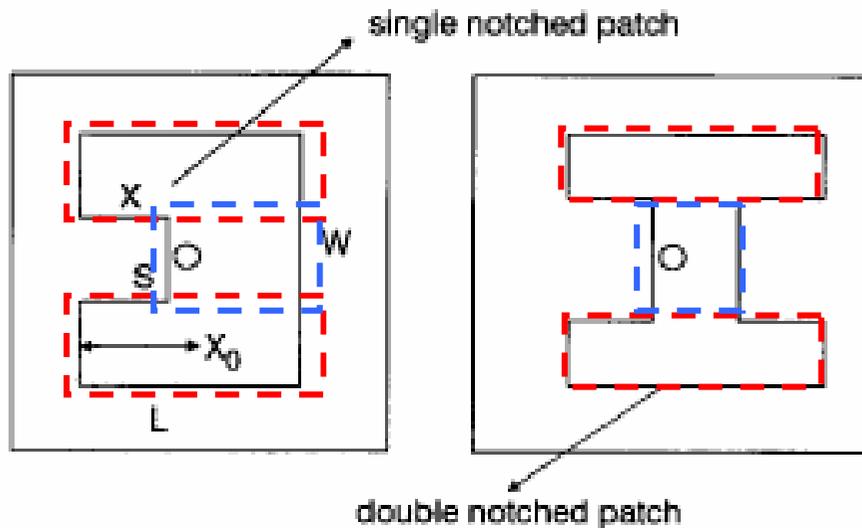
PARCHE CON CARGAS REACTIVAS

- Consiste en un parche resonante cargado en uno de sus puntos con un elemento de impedancia reactiva
- El elemento reactivo genera una segunda resonancia además de la propia del parche aislado
- Las dos bandas no están muy separadas en frecuencia



2.1- Apilamiento de elementos resonantes

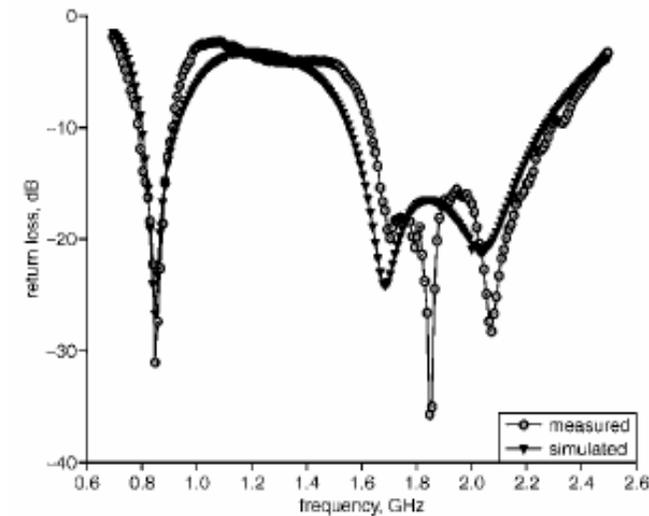
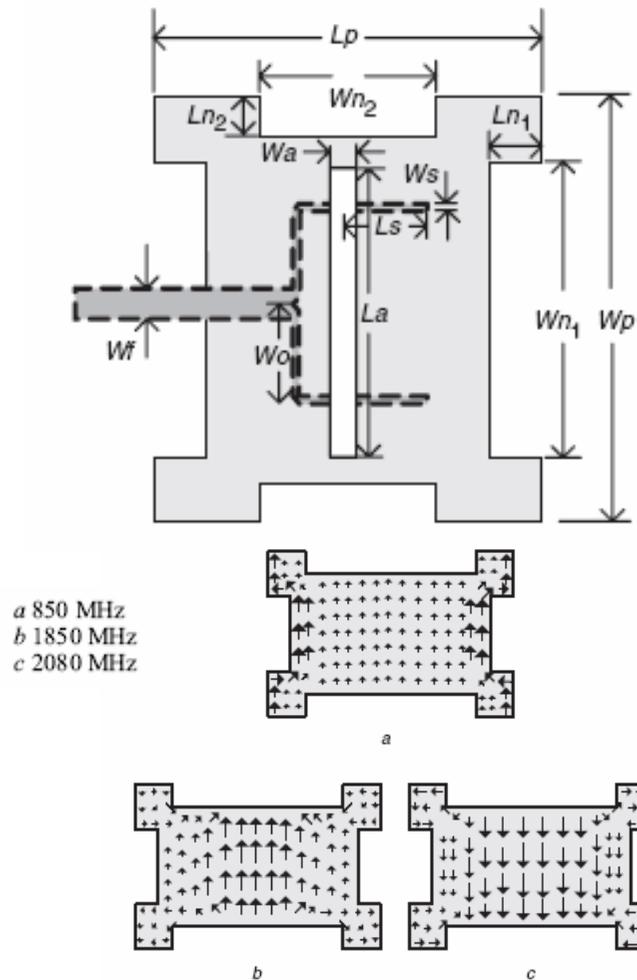
Estructuras de parches multibanda - Estructuras tipo notch



- En este tipo de estructuras se realizan muescas al parche buscando la generación de varias dimensiones resonantes.
- En algunas de las bandas se generan resonancias en un Q muy alto.
- Configuraciones utilizadas sobre todo en miniaturización de antenas (terminales de telefonía móvil).

2.1- Apilamiento de elementos resonantes

Estructuras de parches multibanda -Estructuras tipo notch II

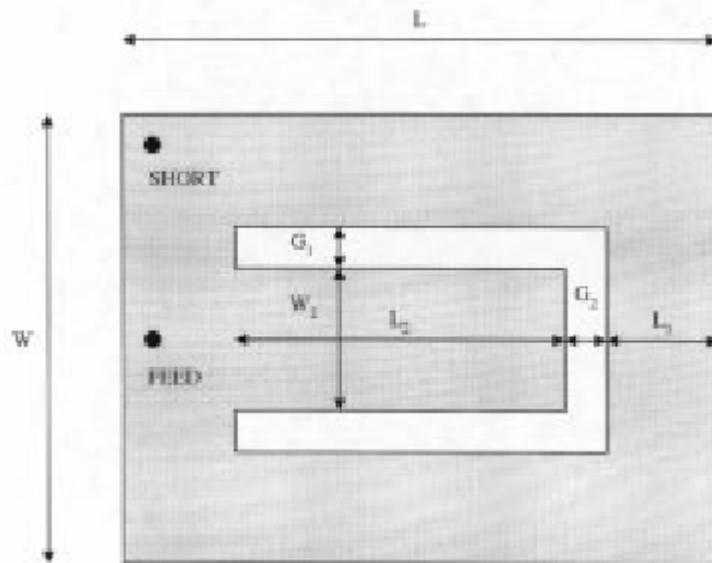


- La distribución de corrientes indica que en el caso de la banda inferior la resonancia es debido a la estructura de los laterales, mientras que en las frecuencias altas se deben a la zona central del parche.

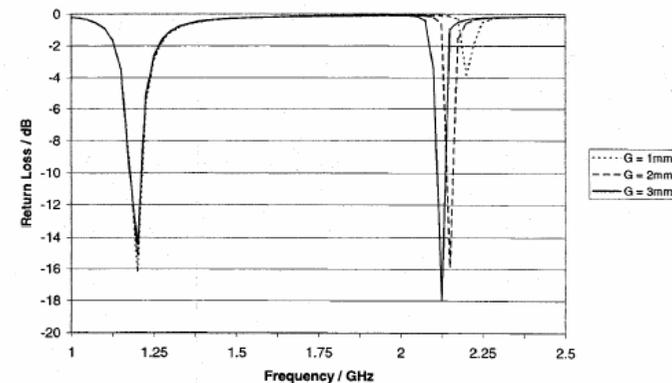
2.1- Apilamiento de elementos resonantes

Estructuras de parches multibanda - Estructuras tipo notch III

ANTENA PIFA CON RANURA EN FORMA DE U



	F1	F2	SWR1	SWR2
W, L ↑	↓			
L2 ↑		↓		
W2 ↑		↓		
G ↑		↓	↓	↓



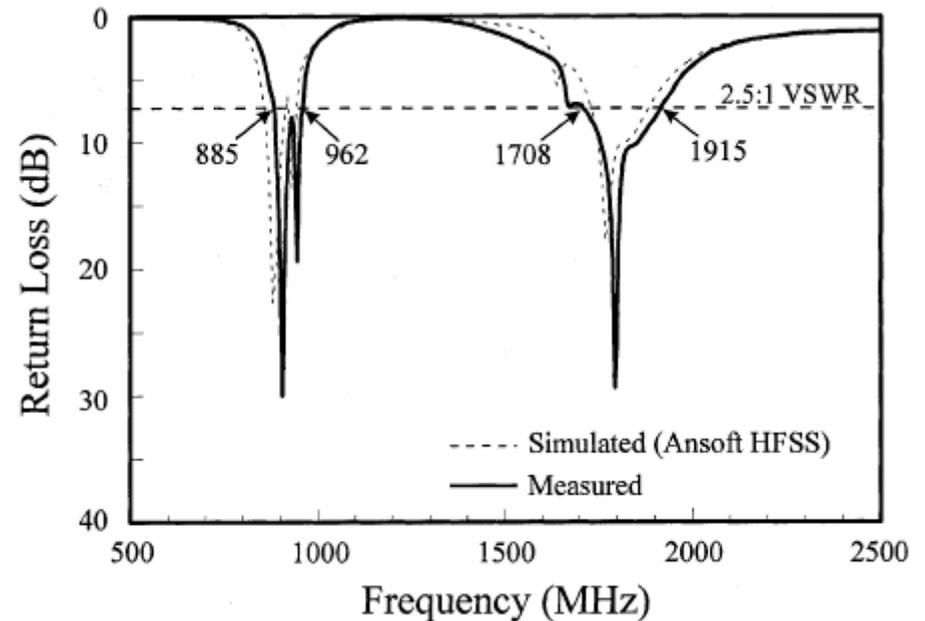
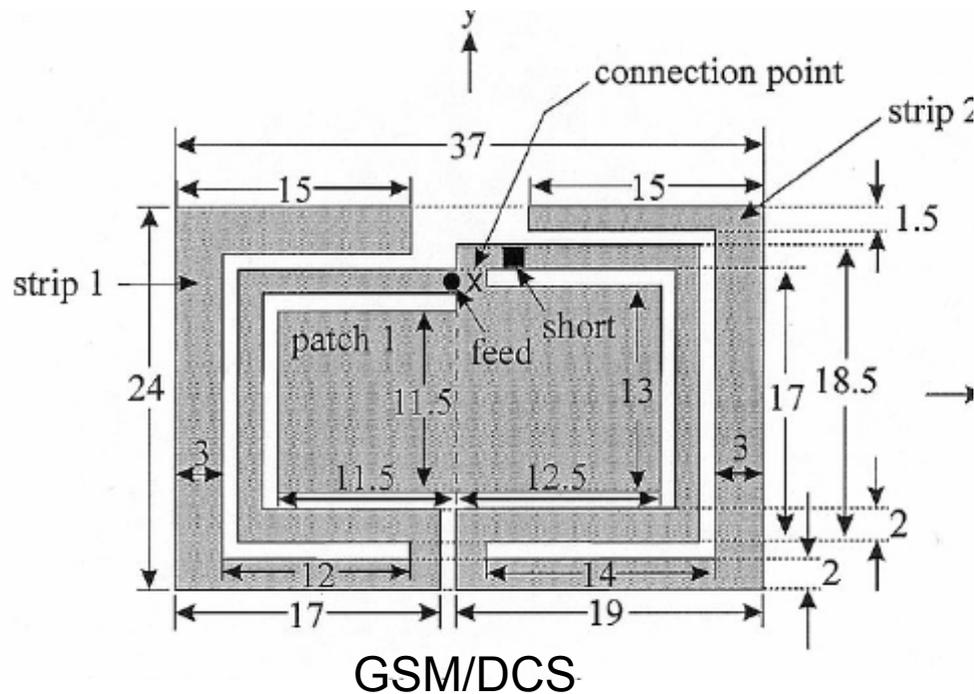
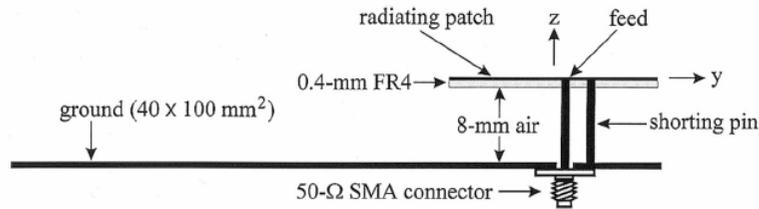
$$f_{\text{res}} = \frac{c}{4(W + L)}$$

¡ Resonantes según $\lambda/4$!

- La frecuencia central de resonancia se determina según f_{res} . En la banda baja con las dimensiones W y L. En la banda alta con W_2 y L_2 .
- Existe un pin cortocircuitando al plano de masa que permite ajustar la impedancia a 50 ohmios.

2.1- Apilamiento de elementos resonantes

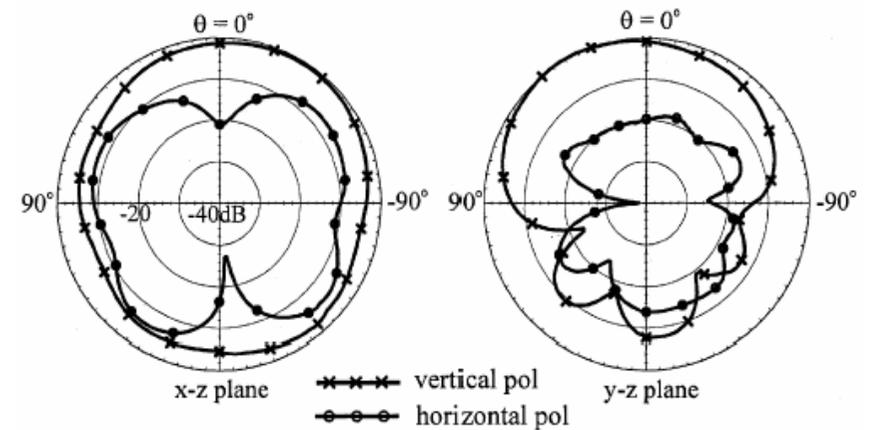
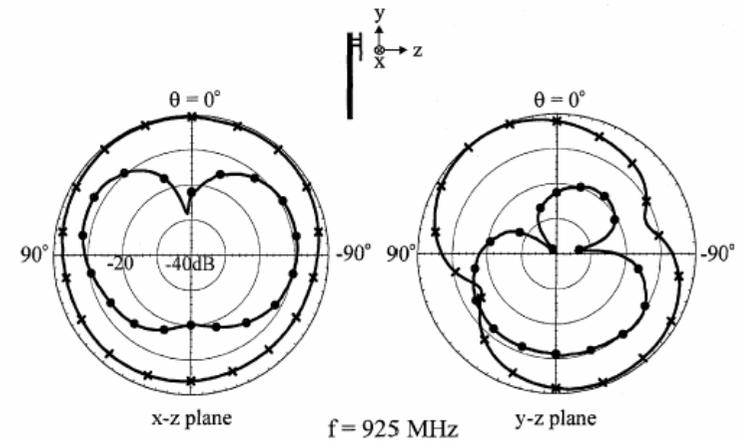
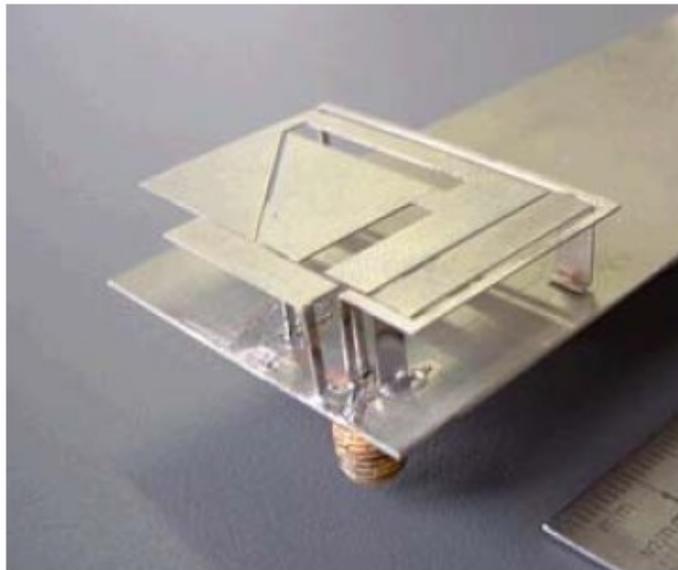
Estructuras de parches multibanda - Estructuras combinadas



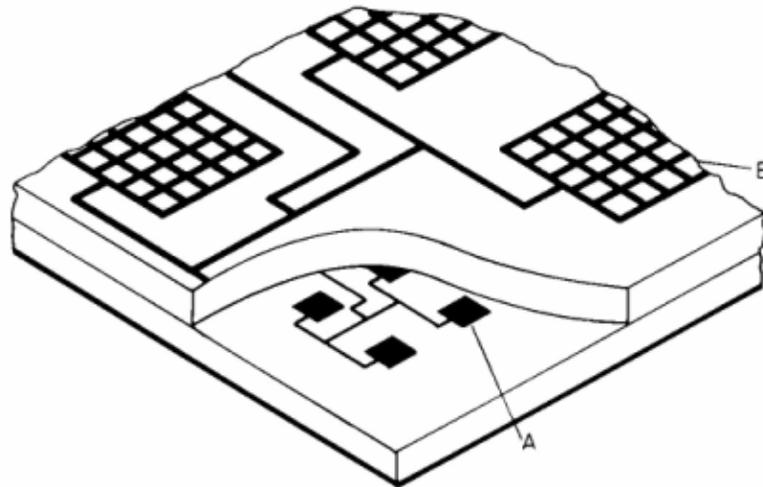
2.1- Apilamiento de elementos resonantes

Ejemplo de antena de doble banda con parches apilados

quad-band antenna (GSM-PCS/DCS/UMTS-LAN2) is presented in F



2.2- Aperturas Dichroic



- Se utilizan dos capas de parches superpuestas. La capa inferior (A) trabaja en una banda al menos 8 veces mayor que la capa superior (B).
- Los parches de la banda baja tienen un mayado que les hace “transparentes” a los parches de la banda alta.
- Condiciones del mayado.

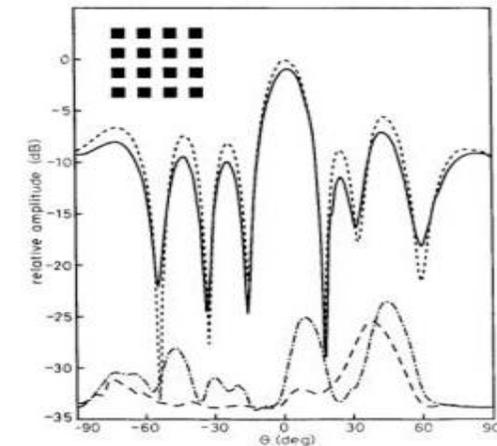
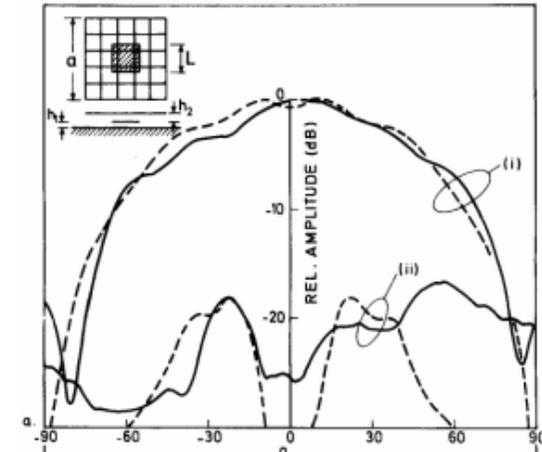
Hueco mayado > dimensión parche banda alta

Tiras metálicas mayado < mitad hueco mayado

- El diagrama horizontal de los parches de banda alta apenas se alterado

$$FREC_{BAJA} = 1.49 \text{ GHz}$$

$$FREC_{ALTA} = 22 \text{ GHz}$$



- En un array de 4 x 4 parches existe una alteración en el nivel de lóbulos secundarios
- El nivel de contrapolar no se ve alterado

2.3- Antenas Fractales



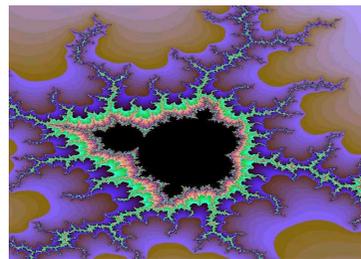
- Limitación tradicional de la banda y resonancias por la dimensión eléctrica del elemento radiante

Las estructuras fractales se caracterizan por:

- La autosemejanza = Un objeto F es autosemejante si se puede construir con otros objetos de igual forma que F pero de tamaño reducido. El número de iteraciones puede llegar a ser infinito, aunque se le pone un índice límite.
- Longitudes finitas dentro de áreas infinitas

Principales aplicaciones

- Utilidad para miniaturización por su propiedad para rellenar espacios manteniendo alturas y longitudes pequeñas
- Antenas multibanda. Terminales para telefonía móvil
- Agrupaciones de antenas mediante estructuras fractales. Limitación para arrays por la dependencia de la dimensión en los transformadores de las redes de alimentación.

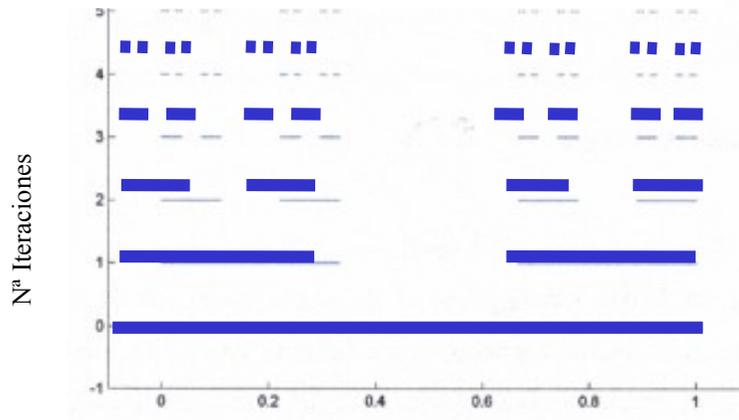


2.3- Antenas Fractales

- Dimensión fractal . Nos da una idea de la capacidad para rellenar el espacio en el que se define la estructura fractal.

$$D = \frac{\log(N)}{\log(1/r)}$$

N número de copias autosemejantes que completan el objeto, el cual se escala un factor r

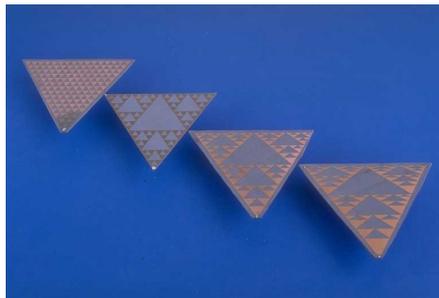
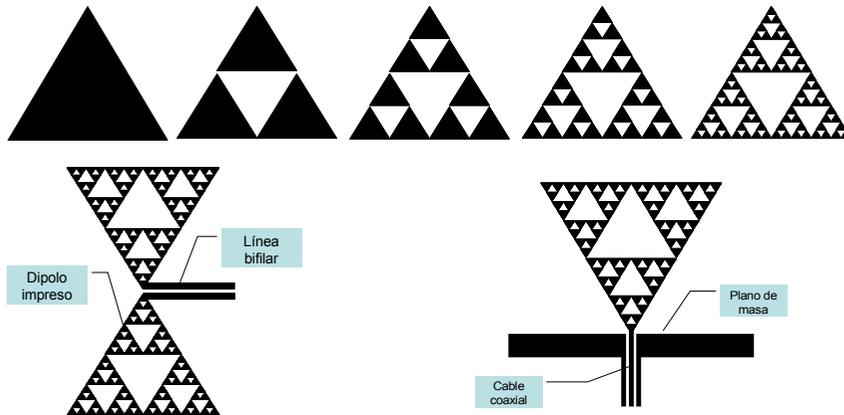


- CONJUNTO DE CANTOR

$$D = \frac{\log(2)}{\log(3)} = 0.63$$

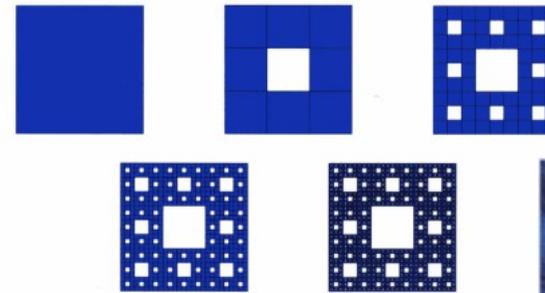
2.3- Antenas Fractales. Aplicaciones multibanda

Triángulo de Sierpinski

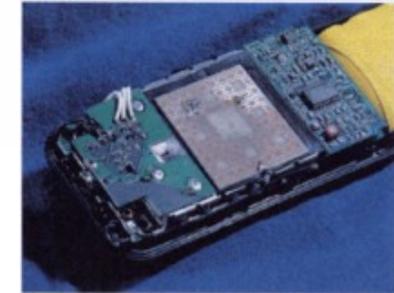


$$D = \frac{\log(3)}{\log(2)} = 1.58$$

- Se ha utilizado como monopolo sobre plano de masa, o como dipolo.
- El factor de escala 2, permite su utilización en sistemas GSM/UMTS.
- N^a de iteraciones = N^o de bandas de resonancia
- N^o de copias autosemejantes (N) = factor de escala entre bandas

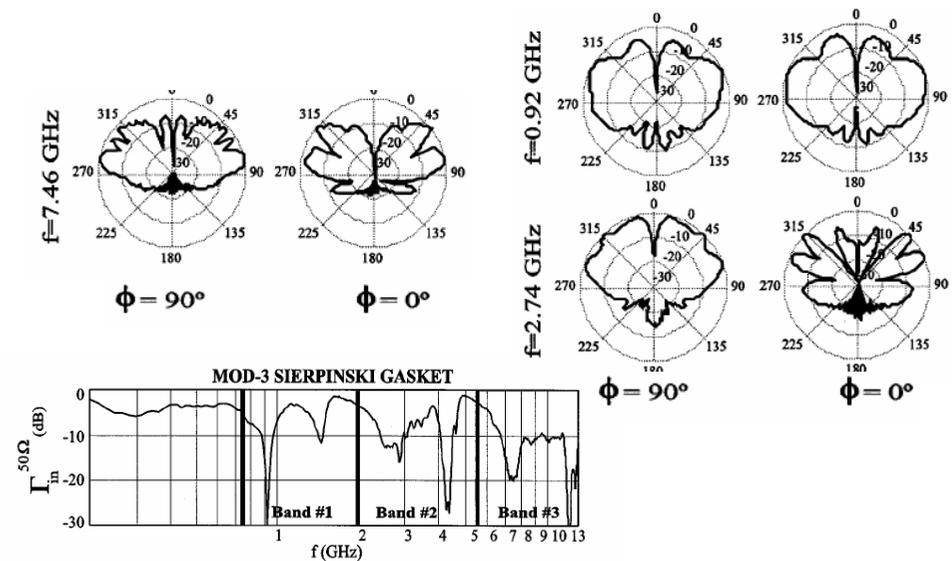


Alfombra de Sierpinski



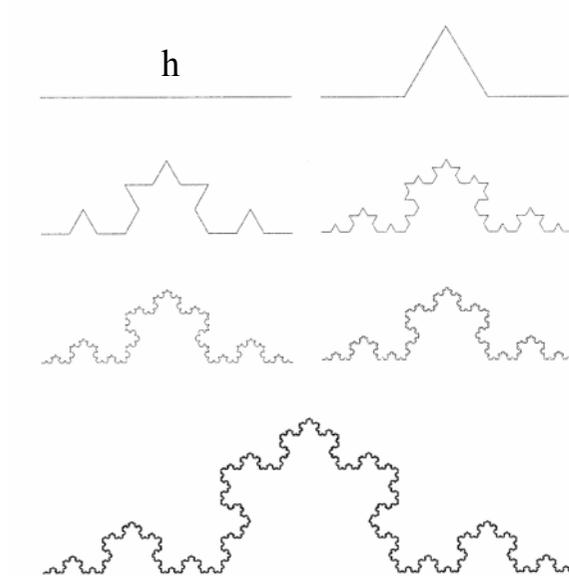
$$D = \frac{\log(8)}{\log(3)} = 1.89$$

- Aplicación a terminales móviles multibanda

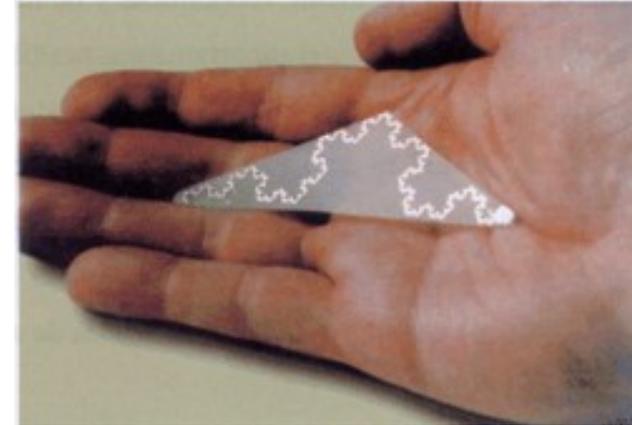


2.3- Antenas Fractales. Aplicaciones en miniaturización

Curva de Koch



$$D = \frac{\log(4)}{\log(3)} = 1.262$$



- En cada iteración (p) la longitud total L_{koch} se va incrementando en un factor $4/3$ con respecto a la longitud de partida (h)

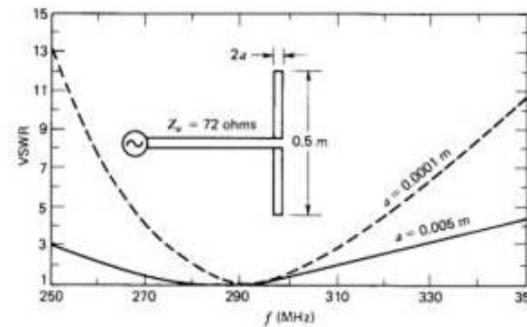
$$L_{\text{koch}} = h \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^p$$

- Se utiliza sobre todo en monopolos y dipolos.
- A mayor número de iteraciones se consigue una mayor miniaturización, ya que la longitud resonante efectiva se alcanza con una ocupación de espacio mucho menor.
- Sin embargo, al aumentar el número de iteraciones las resonancias que aparecen se hacen de banda más estrecha.

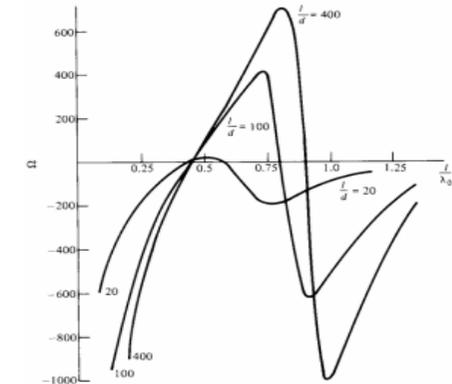
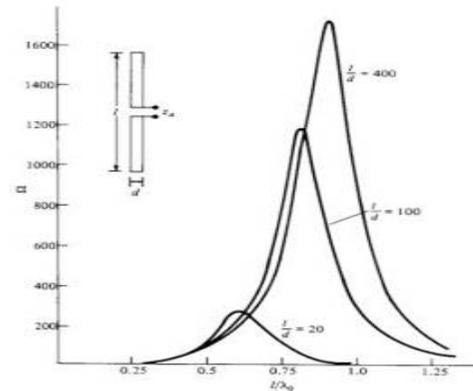
3.- ANTENAS DE BANDA ANCHA

3.1- Aplicación a dipolos

- El dipolo es también una estructura resonante (la opción más utilizada es resonante en $\lambda/2$).
- Para aumentar su ancho de banda hay que hacer el radio de sus brazos (a) más gruesos.
- Al hacer esto, la frecuencia central de resonancia se mueve hacia valores ligeramente más bajos. Esto supone una pequeña rectificación en la longitud resonante del dipolo



$L/2a$	Longitud resonante L	Tipo de dipolo según grosor
5000	0.49λ	Muy delgado
50	0.475λ	Delgado
10	0.455λ	Grueso



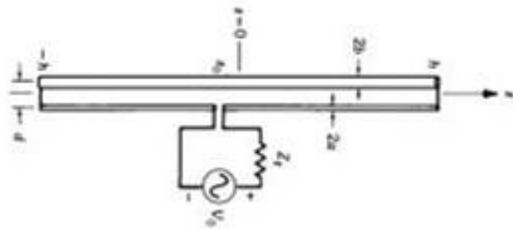
- La impedancia de entrada de un dipolo resonante $\lambda/2$ de radio infinitamente delgado es $73+j42 \Omega$. Para eliminar la parte imaginaria de dicha impedancia, se hace la longitud algo menor (0.49λ) $\Rightarrow Z_{\text{dip}} = 72+j0 \Omega$.
- A medida que se aumenta el radio de los brazos del dipolo para incrementar la banda, también se reduce el valor de impedancia. P.ej:

$$\text{Para } (L/2a) = 50 \quad Z_{\text{dip}} = 64.5 \Omega$$

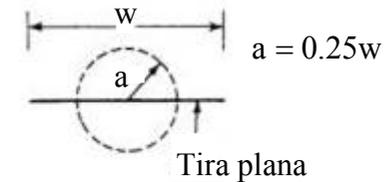
3.1- Aplicación a dipolos

DIPOLO DOBLADO

- Los dipolos pueden construirse con hilos o con tecnología impresa. De esta manera se aumenta la banda haciendo las tiras del dipolo más anchas. La relación entre el radio del hilo y el ancho de la tira viene dada por:



$$Z_{\text{dipdob}} = \left(1 + \left(\frac{\ln(d/b)}{\ln(d/a)} \right) \right)^2 \cdot Z_{\text{dip}}$$



Radio equivalente a un dipolo convencional

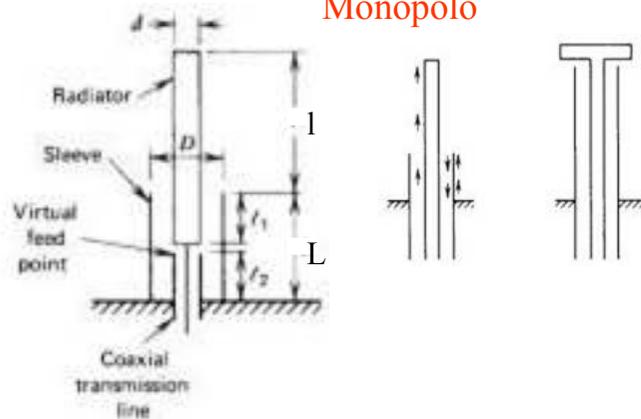
$$a_e \approx \exp \left\{ \frac{1}{(a+b)^2} [a^2 \ln a + b^2 \ln b + 2ab \ln d] \right\}$$

- Consiste en dos hilos, uno alimentado y el otro muy próximo al activo, unidos mediante un pequeño tramo.
- La impedancia del dipolo doblado es cuatro veces la del dipolo convencional. Aprox 300 Ω . Muy utilizado en televisión UHF. Con radios diferentes en sus dos brazos (a y b) se puede realizar un ajuste de impedancia
- El ancho de banda del dipolo doblado es superior al logrado por un dipolo convencional de ancho igual al que ocupan el dipolo doblado.
- Diversas técnicas para disminuir la impedancia de entrada en diseños a 50 Ω (Línea transformadora, elemento parásito)

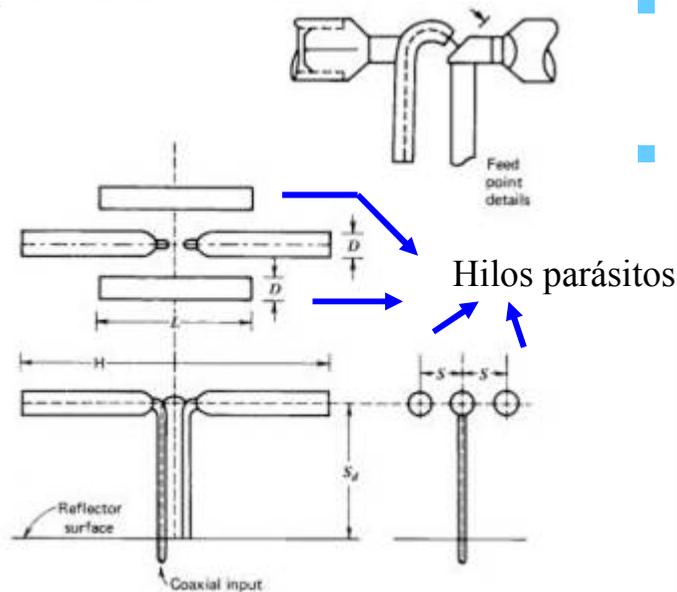
3.1- Aplicación a dipolos

Dipolo y monopolo enfundado

Monopolo



Dipolo enfundado abierto



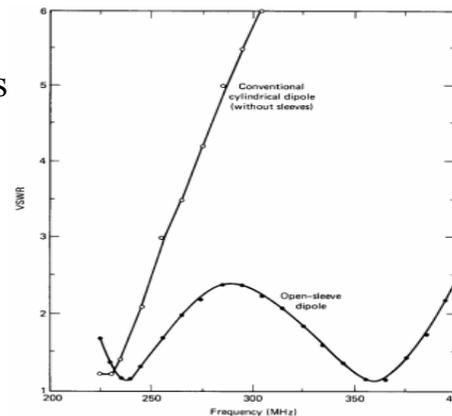
- Consiste en una cubierta metálica exterior al conductor de hilo de la antena. La cara exterior de la cubierta hace las veces de antena, mientras que la cara interna se comporta como la malla exterior del sistema de alimentación.
- Las condiciones para tener un ancho de banda grande en el diagrama de radiación son:

$$l + L = \lambda/4 \quad \text{a la frecuencia baja de la banda}$$

$$D/d = 3$$

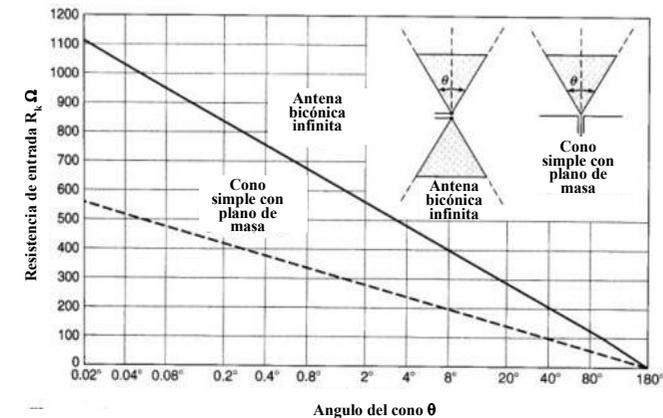
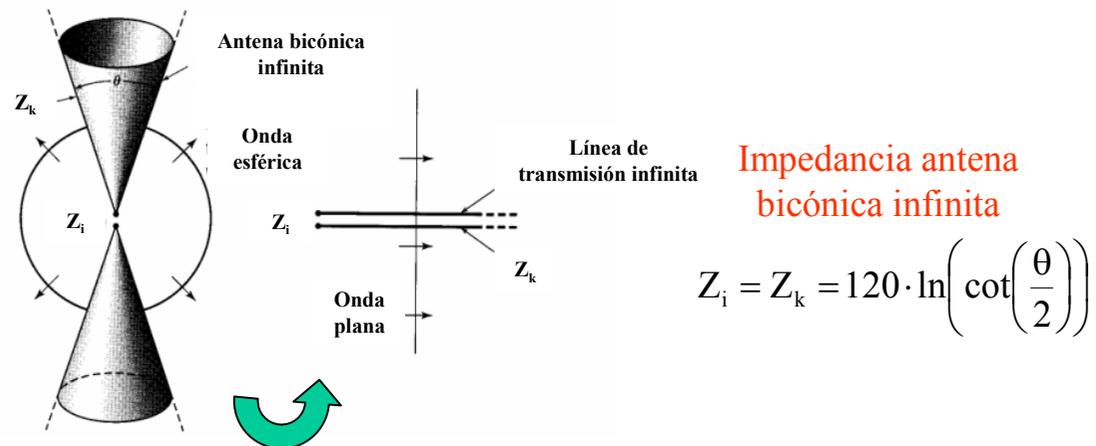
$$l/L = 2.25$$

- En el caso del dipolo existe la versión abierta, que sustituye la funda metálica por dos hilos parásitos paralelos a los brazos del dipolo
- Ejemplo de aplicación de 225 a 400 MHz



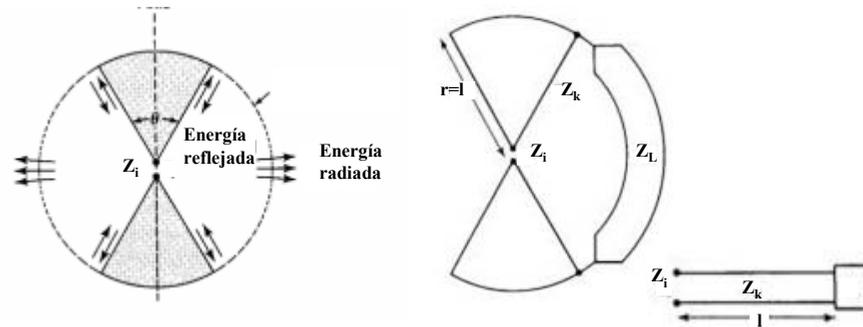
Parámetro	Dimensión a 225 MHz	Dimensión a 400 MHz
D	0.026 λ	0.047 λ
H	0.385 λ	0.684 λ
L	0.216 λ	0.385 λ
S	0.0381 λ	0.0677 λ
S _d	0.163 λ	0.29 λ

3.2- Antena bicónica infinita



- Como una extensión en el ensanchamiento de los brazos del dipolo, se entronca la antena bicónica. Se forma por dos brazos en forma de cono de longitud infinita
- Actúa como una línea de transmisión de longitud infinita, de impedancia característica Z_k , que adapta la impedancia de entrada de la antena Z_i al medio en el que se propagan las ondas esféricas.
- Se utiliza en su versión de dos brazos, o como un monopolo sobre plano de masa. En este último caso la impedancia de entrada es la mitad que la del dipolo bicónico.
- Para diseños en los que se pretende conseguir una impedancia de entrada próxima a 50Ω , el ángulo del cónico debe situarse en torno a los 60° .

3.2- Antena bicónica finita. Antena Bow-Tie



- En el caso real de unos conos de longitud finita, se producen reflexiones en los bordes de dichos conos. Ello altera la impedancia de la antena.
- En este caso, la antena sigue actuando como una transformador de impedancia Z_k , pero con una impedancia de carga Z_L .

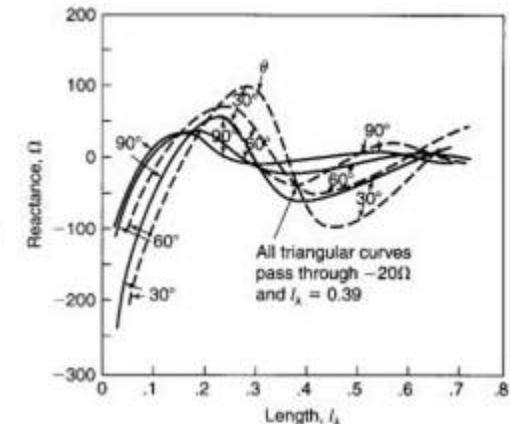
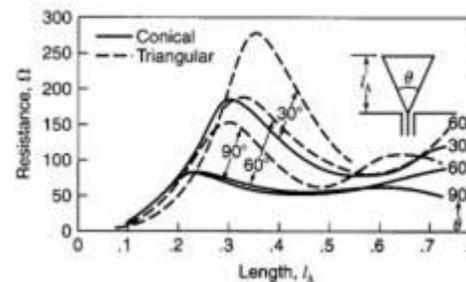
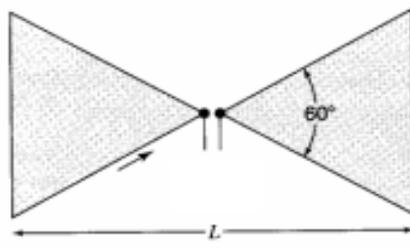
$$Z_i = Z_k \frac{Z_k + jZ_m \tan \beta l}{Z_m + jZ_k \tan \beta l}$$

$$Z_m = R_m + jX_m$$

$$R_m = 60 \cdot \text{Ci}2\beta l + 30(0.577 + \ln \beta l - 2\text{Ci}2\beta l + 4\text{Ci}2\beta l)\cos\beta l + 30(\text{Si}4\beta l - 2\text{Si}2\beta l)\text{sen}2\beta l$$

$$X_m = 60 \cdot \text{Si}2\beta l + 30(\text{Ci}4\beta l - 0.577 - \ln \beta l)\text{sen}2\beta l - 30(\text{Si}4\beta l)\cos 2\beta l$$

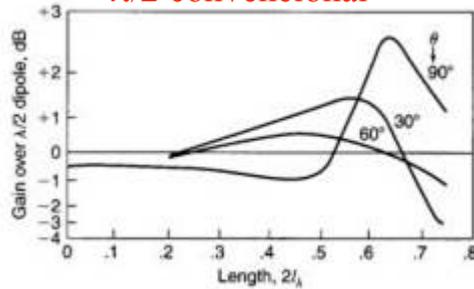
- La versión plana de la antena bicónica finita es la antena bow-tie. Sus brazos son triangulares y su ancho de banda mucho mayor que el de un dipolo convencional



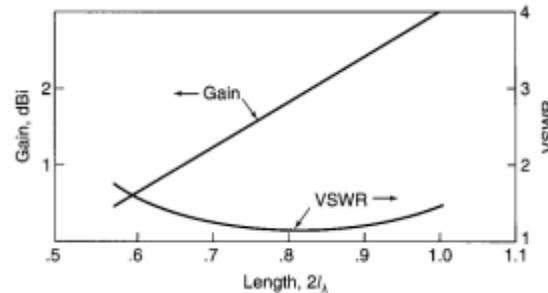
Angulo del cono	R.O.E
20°	<5
40°	<3
60°	<2

3.2- Antena bicónica finita. Antena Bow-Tie

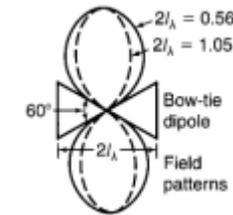
Ganancia antena BOW-TIE comparada con dipolo $\lambda/2$ convencional



Ganancia y ROE para antena BOW-TIE en banda UHF de TV. Angulo del triángulo 60°

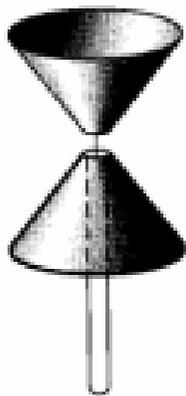


Ejemplo de diagrama vertical según la longitud

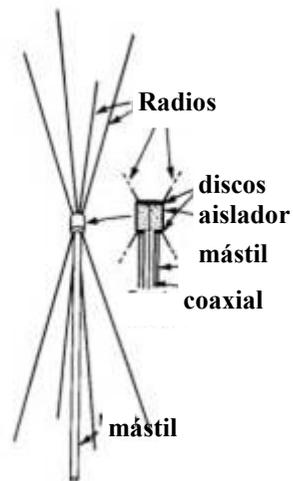


- El diagrama es como el de un dipolo convencional, siendo omnidireccional en el plano horizontal

Alimentación de antena bicónica con coaxial



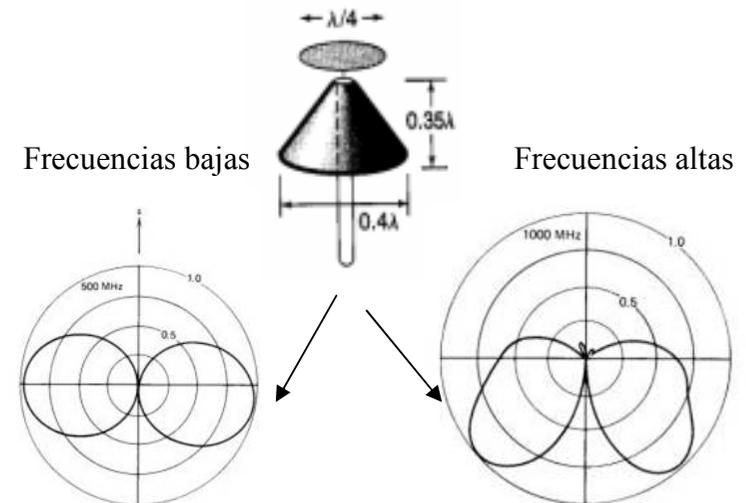
Antena bicónica de hilos



Antena stub cono

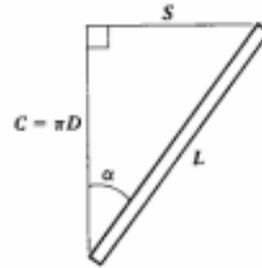
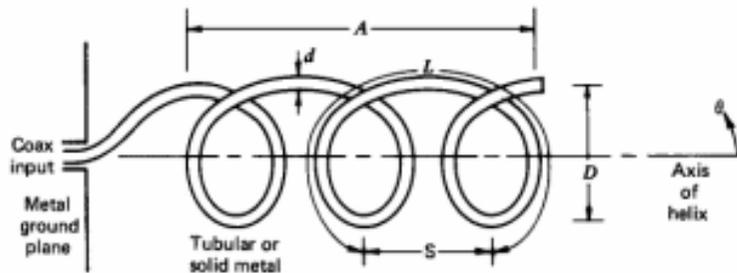


Antena discono



3.3- Antena de hélice

MODO DE RADIACION NORMAL



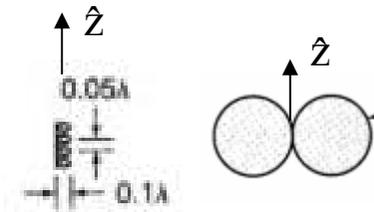
Si $\alpha=0$ tenemos una antena de cuadro
 Si $\alpha=90$ tenemos un monopolo

- D = Diámetro de la hélice
- C = Circunferencia de la hélice = πD
- S = Espacio entre vueltas = $C \tan \alpha$
- α = Angulo de inclinación
- L = Longitud de una vuelta = $\sqrt{C^2 + S^2}$
- N = Número de vueltas
- A = Longitud axial = NS
- d = Diámetro del conductor de la hélice

- En modo normal de radiación el máximo se sitúa en dirección perpendicular a la hélice.
- Para que la hélice esté en dicho modo debe cumplirse que $D \ll \lambda$. Es decir, la hélice es eléctricamente pequeña, y por ello su eficiencia también será baja.
- El campo radiado es la suma del campo de un dipolo eléctricamente pequeño, y de una antena de cuadro pequeña. Se forma por dos componentes lineales desfasadas $90^\circ \Rightarrow$ polarización elíptica

$$\vec{E}_{helice} = \left(j\omega\mu IS\hat{\theta} + \eta\beta^2 \frac{\pi}{4} D^2 I\hat{\phi} \right) \cdot \text{sen}\theta \quad |R_{axial}| = \frac{2S\lambda}{\pi^2 D^2}$$

Radiación



- La **polarización** se torna **circular** si el ángulo de inclinación α cumple:

$$\alpha_{circular} = \text{sen}^{-1} \left[\frac{-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2}}{\frac{L}{\lambda}} \right]$$

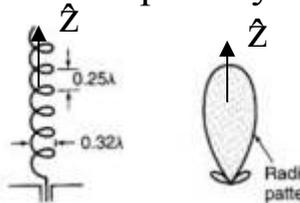
3.3- Antena de hélice

MODO DE RADIACION AXIAL

- Las condiciones que deben cumplirse para que la hélice radie en modo axial son:

$$\frac{3}{4}\lambda < C < \frac{4}{3}\lambda \quad 12^\circ < \alpha < 15^\circ \quad N \geq 3$$

- En estas condiciones la hélice se comporta como un array de N elementos (o vueltas) tipo End-Fire en condiciones de máxima directividad. La alimentación de dichos elementos será con la misma amplitud y fase progresiva según $\delta = -\left(\beta S + 2\pi + \frac{\pi}{N}\right)$

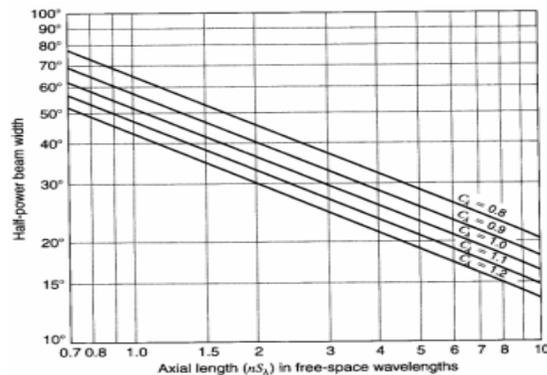


- El ancho de banda que se consigue puede ser de hasta el 50%
- En esta ocasión el diámetro del hilo conductor de la hélice no afecta en la respuesta de la antena.

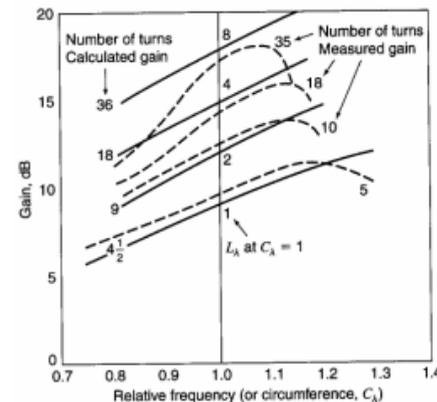
- Se genera un diagrama tipo pincel cuyo ancho y directividad son:

$$\text{Ancho_Haz}(3\text{dB}) = \frac{52^\circ}{(C/\lambda)\sqrt{N(S/\lambda)}}$$

$$\alpha = 12.5^\circ$$



$$\text{Direct}(\text{dB}) = 10 \cdot \log \left[\left(\frac{C}{\lambda} \right)^2 \frac{NS}{\lambda} \right]$$



$$\alpha = 12.8^\circ$$

3.3- Antena de hélice

MODO DE RADIACION AXIAL

- La hélice axial no tiene polarización circular pura, y depende del número de vueltas (N).

$$|R_{axial}| = \frac{2N + 1}{2N}$$

En el eje



A izquierdas

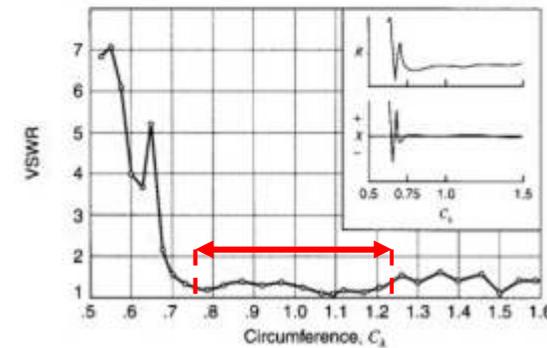
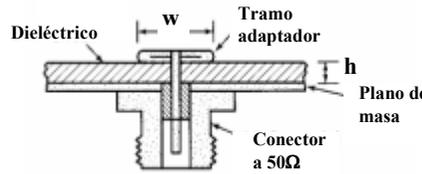
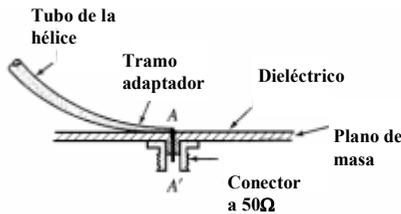


A derechas

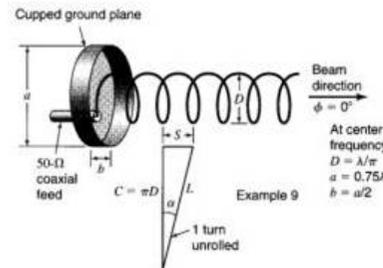
- La impedancia se mantiene prácticamente resistiva en toda la banda, y tiene la expresión

$$R = 140 \frac{C}{\lambda} \Omega$$

- Se utiliza un primer tramo transformador para tener 50 Ω a la entrada



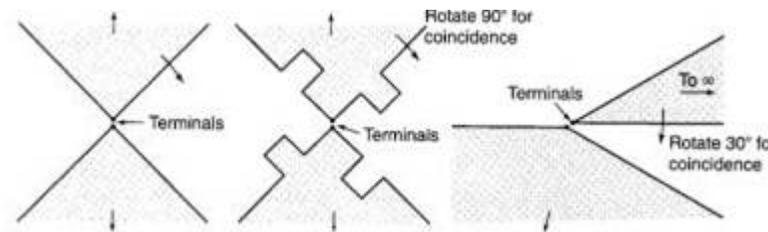
- La longitud del plano de masa deberá ser superior a $\frac{3}{4} \lambda$
- Se suelen situar las hélices en cavidades



4.- ANTENAS INDEPENDIENTES DE LA FRECUENCIA

4.1- Concepto

- **Antenas autocomplementarias:** Son aquellas en las que la parte metálica y la no metálica son coincidentes sin más que efectuar una rotación de alguna de las partes de la estructura. Las **antenas independientes de la frecuencia** se diseñan para minimizar las longitudes finitas y maximizar su dependencia angular. Tienen la propiedad de mantener su impedancia y sus características de radiación de manera independiente de la frecuencia en un ancho de banda suficientemente grande



- Dos antenas complementarias (dipolo impreso y ranura sobre plano de masa) mantiene la siguiente relación de impedancias

$$Z_{\text{aire}} Z_{\text{metal}} = \frac{\eta^2}{4}$$

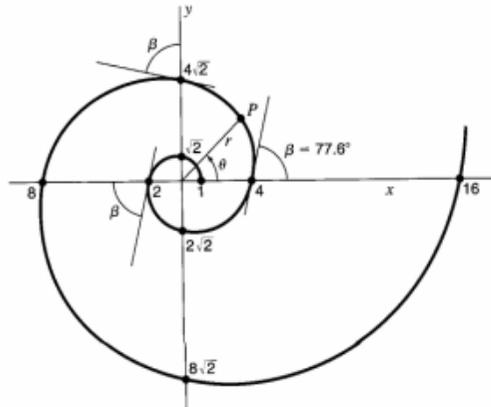
- Si una antena es autocomplementaria, su impedancia es

$$Z_{\text{aire}} = Z_{\text{metal}} = \frac{\eta}{2} = 188.5\Omega$$

- Estas antenas deberían ser infinitas, aunque no lo pueden ser en la práctica. Ej: Bicónica infinita

4.2- Antena Log-Espiral plana

Ecuación de curva log-espiral equiangular



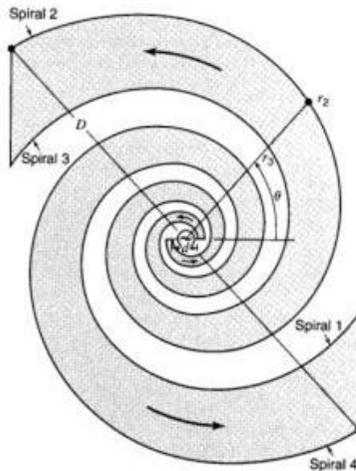
$$r = e^{a \cdot \theta}$$

$$\theta = \tan \beta \ln r$$

r = Distancia radial a un punto P de la espiral
 θ = Angulo con respecto al eje x
 a = Constante
 β = Angulo entre la espiral y una línea radial desde el origen. Diseñaremos para que sea siempre el mismo

Fijando los dos primeros pasos por el eje x (r en $\theta = 0^\circ$ y $\theta = 180^\circ$) se obtiene los valores de a y de β

Log-Espiral plana independiente de la frecuencia



Pol. circular a derechas

Sacando tres réplicas girada de la curva anterior y rellenando el espacio entre ellas obtenemos la antena Log-Espiral indep. de la frec.

$$r_1 = e^{a \cdot \theta} \quad r_2 = e^{a(\theta - \delta)} \quad r_3 = e^{a(\theta - \pi)} \quad r_4 = e^{a(\theta - \pi - \delta)}$$

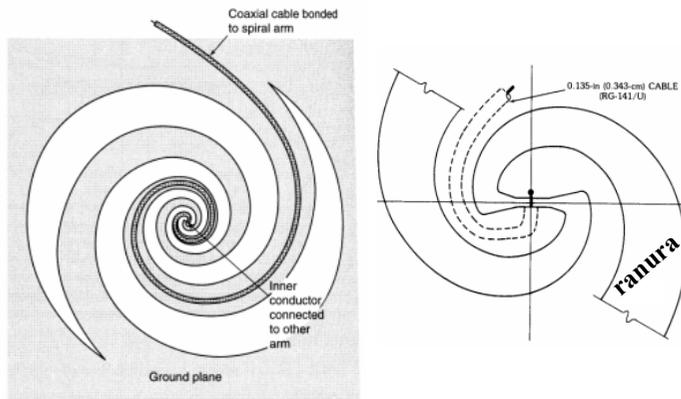
Definiciones de la estructura

$$L = (a^{-2} + 1)^{1/2} (P_2 - P_1) = \text{Longitud del brazo. } P_2 \text{ y } P_1 \text{ los dos puntos finales}$$

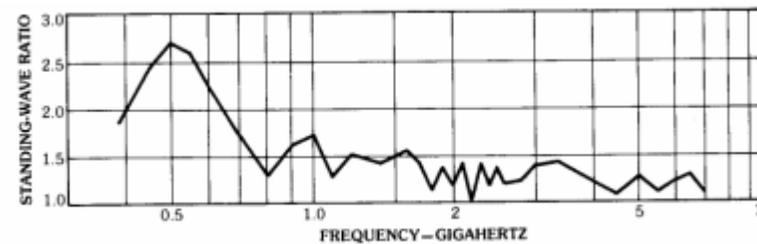
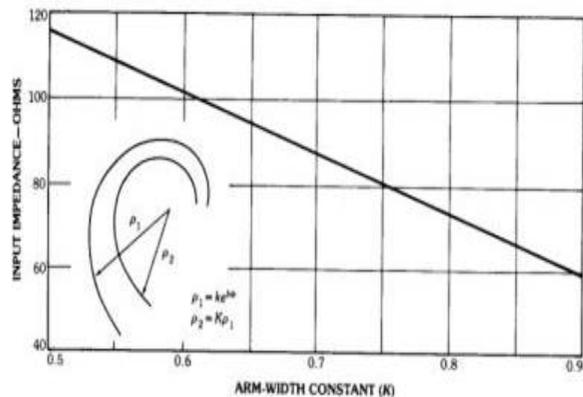
$$K = \frac{r_2}{r_1} = \exp(-a\delta) < 1 = \text{Anchura angular del brazo}$$

Si $\delta = 90^\circ$ la antena es autocomplementaria \Rightarrow antena independiente de la frecuencia
 espiral plana de Dyson

4.2- Antena Log-Espiral plana



- La espiral se alimenta con un cable coaxial que se suelda a lo largo de uno de los brazos de la espiral. En la zona de alimentación se suelda el vivo al brazo contrario. Se puede utilizar otro cable a lo largo de brazo opuesto para mantener la simetría
- La banda de operatividad de la antena se define como el cociente entre el diámetro total de la espiral (D) y el gap de alimentación entre los dos brazos (d). Cuanto más pequeño sea ese gap, la frecuencia superior de funcionamiento será mayor, y cuanto más grande sea la espiral, menor será la frecuencia inferior de funcionamiento.
- Al no ser el ancho de los brazos de la espiral infinitos, la antena no tiene la esperada impedancia 188.5Ω , sino que tiene la siguiente evolución en función de la anchura del brazo (K)



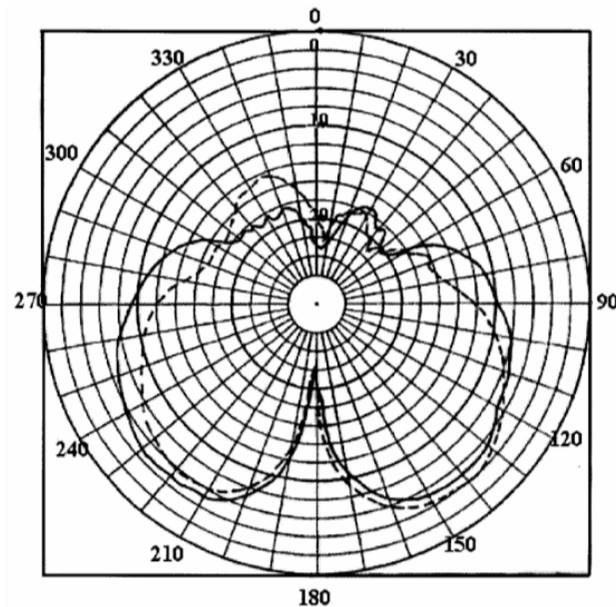
Sobre 50Ω

4.2- Antena Log-Espiral plana

- Las antenas espirales de dos brazos pueden radiar en dos tipos de modos: normal (Fase 0° entre brazos) y axial (Fase 180° de alimentación entre brazos). En ambos casos lo hacen en polarización circular.
- Diámetro mínimo para funcionamiento de espiral:

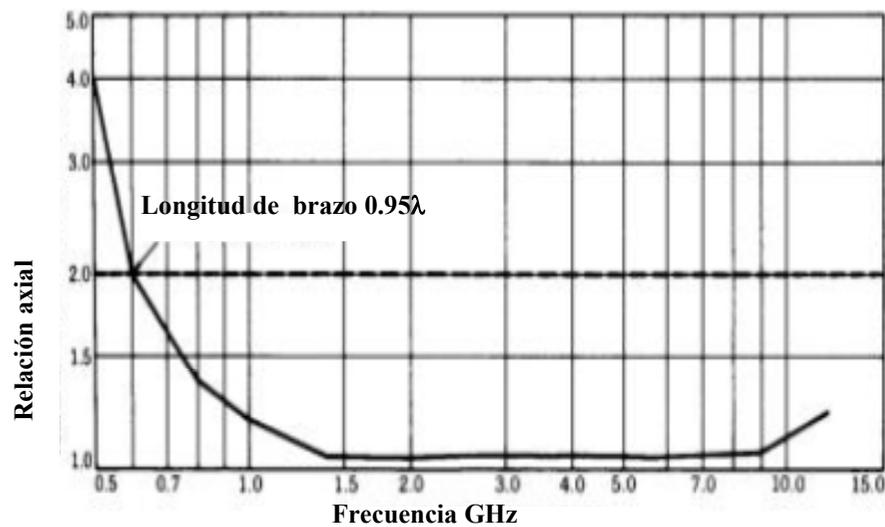
$$D_{\text{axial}} = \frac{2.5\lambda_L}{2\pi} \quad D_{\text{norm}} = \frac{2.5\lambda_L}{\pi} \quad \lambda_L = \text{Longitud de onda a la frecuencia inferior de funcionamiento}$$

- Radiación en modo normal: Máximo en el plano de la antena. Se suele utilizar un plano reflector o cavidad



4.2- Antena Log-Espiral plana

- La antena en modo axial radia dos lóbulos muy anchos en direcciones perpendiculares al plano de la antena.
- Para obtener unas condiciones óptimas de polarización circular, la longitud de la espiral debe ser de aproximadamente λ



$f = 800 \text{ MHz}, r = 1.39$

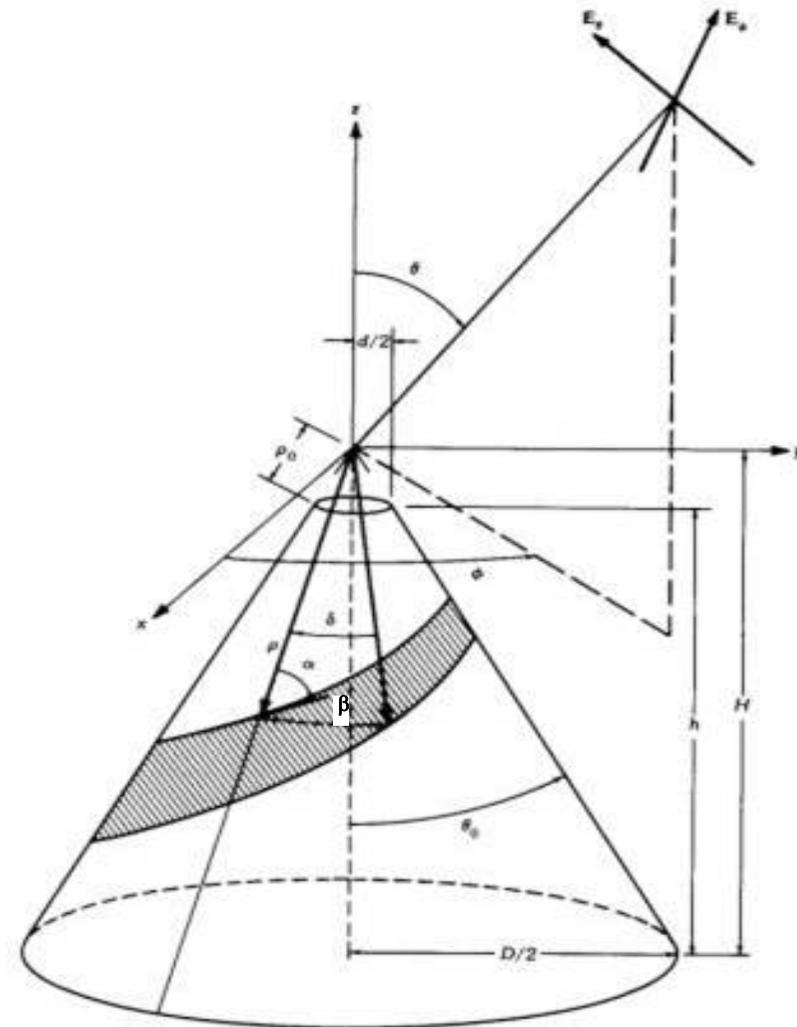


$f = 1000 \text{ MHz}, r = 1.19$



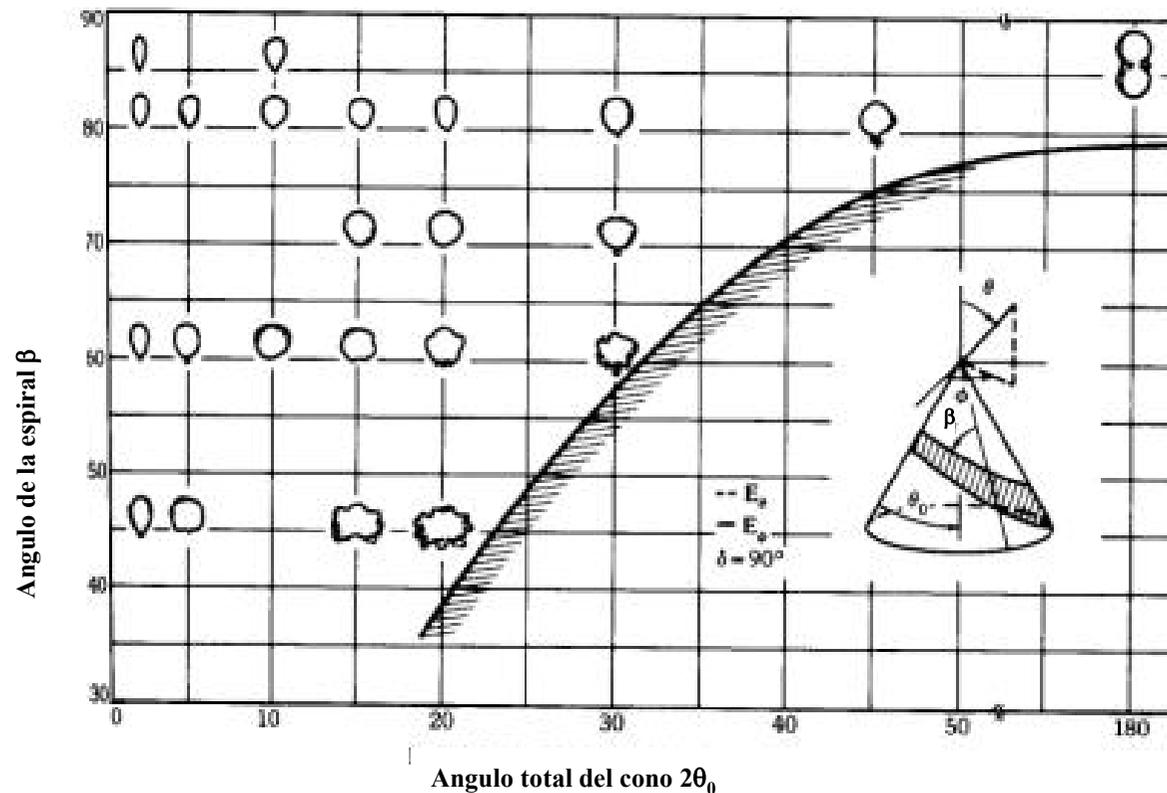
4.2- Antena Log-Espiral cónica

- Constituye una mezcla entre las antenas de hélice y las log-espinales independientes de la frecuencia.
- Se forma por dos brazos log-espinales enrollados helicoidalmente sobre un cono de ángulo θ_0 . Este, junto con el ángulo de la espiral β y los demás parámetros de la log-espinal, determinan las características del diagrama.

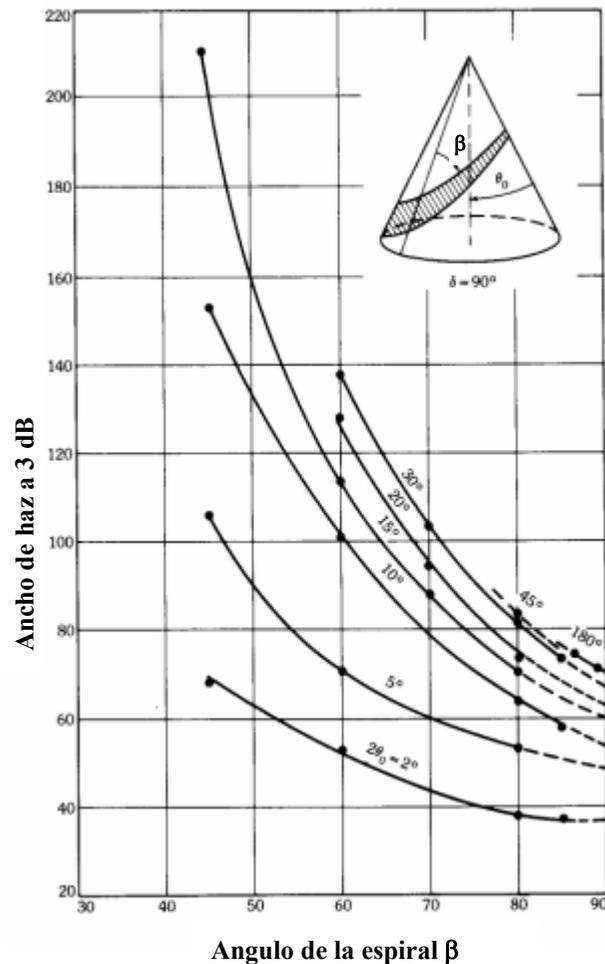


4.2- Antena Log-Espiral cónica

- La radiación de esta antena es en forma de un lóbulo pincel dirigido axialmente según el eje de la misma.
- A medida que β crece y el ángulo del cono θ aumenta, el diagrama se ensancha, tendiendo incluso a generarse múltiples haces



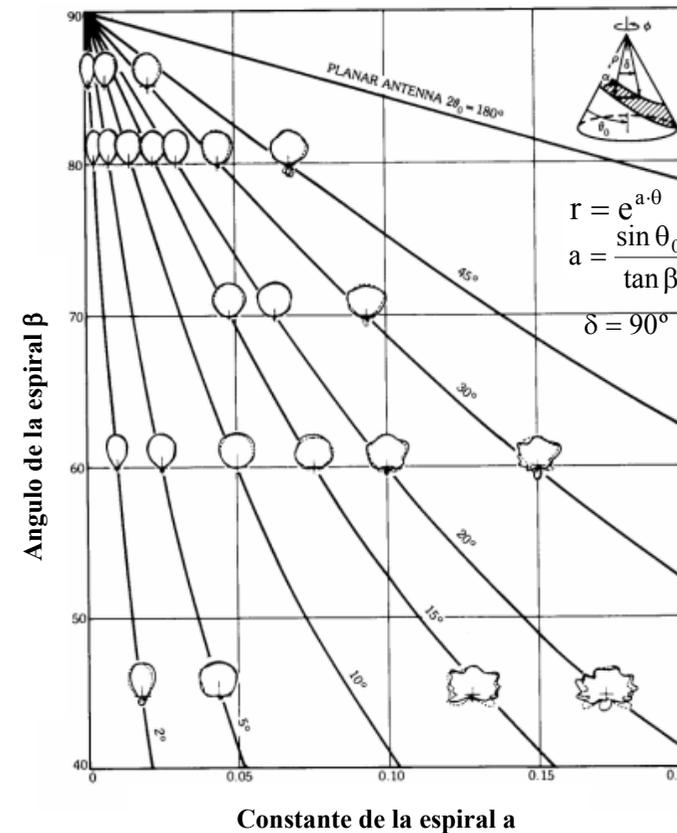
4.2- Antena Log-Espiral cónica



A partir del ancho de haz en los dos planos principales, podemos calcular la directividad de la antena

$$\text{Direct(dB)} \approx \frac{32600}{\text{BW}_1^{-3\text{dB}} \text{BW}_2^{-3\text{dB}}}$$

También hay una dependencia del diagrama con la constante a de la espiral



4.2- Antena Log-Espiral cónica



PROCESO DE DISEÑO

- El límite superior de frecuencia f_u de la banda de diseño se produce cuando el diámetro menor del cono $d = \lambda_u/4$.
- El límite inferior de la banda de diseño f_L se determina cuando el diámetro mayor del cono $D = 3 \lambda_L/8$.
- El ángulo del cono θ_0 se suele tomar inferior a 15° y el ángulo de la espiral β en torno a 70° .
- La polarización será prácticamente circular en el sentido marcado por el giro de la espiral.
- La impedancia puede ser aproximada por la expresión

$$Z_{\text{log-espiral}} \approx 300 - 1.5\delta(^{\circ})$$

que para un valor de $\delta=90^\circ$ para la espiral autocomplementaria, nos da un valor de 165Ω , próximos a los teóricos 188.5Ω

4.3- Antena Log-periódica

Antena Log-periódica dentada plana

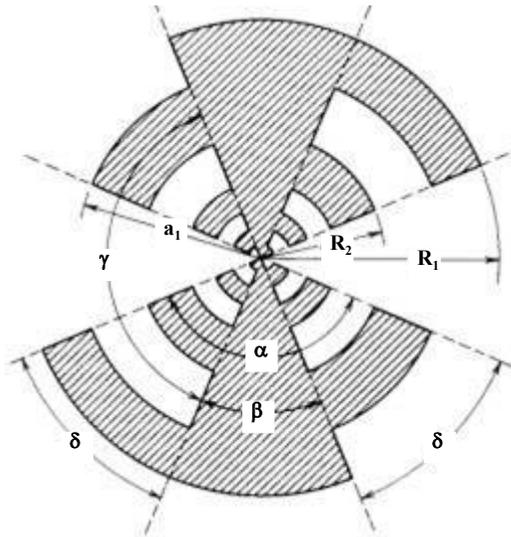
- Las **antenas log-periódicas** son aquellas que tienen una estructura geométrica tal que su impedancia y características de radiación se repiten periódicamente como el logaritmo de la frecuencia. En la práctica las variaciones en banda son pequeñas y por eso se las considera antenas independientes de la frecuencia

Parámetros característicos

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} < 1 = \text{Periodo de la estructura} \Rightarrow \log f_{n+1} = \log f_n + \log\left(\frac{1}{\tau}\right)$$

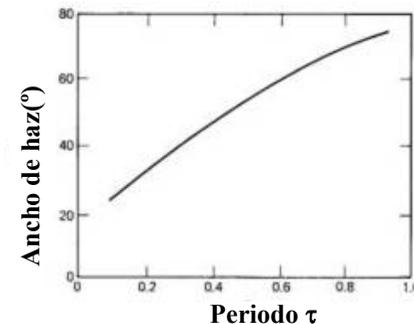
$$\sigma = \frac{a_n}{R_n} < 1 = \text{Ancho del diente}$$

$$\text{Si } \alpha=135^\circ \text{ y } \beta=45^\circ \Rightarrow \text{autocomplementaria} \Rightarrow Z_{in}=188.5\Omega$$



Si el ancho de los dientes y los gaps son iguales $\Rightarrow \sigma = \sqrt{\tau}$ **Muy habitual**

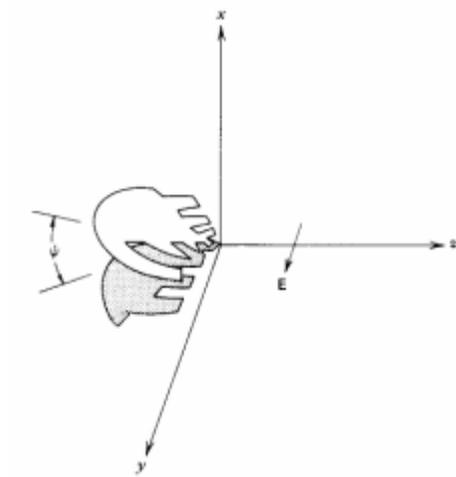
- Las propiedades de la antena dependen de τ . El ancho de haz aumenta cuando lo hace el periodo τ
- El margen de validez de la estructura está en las frecuencias en las que la longitud de los dientes menor y mayor están en torno a $\lambda/4$.



4.3- Antena Log-periódica

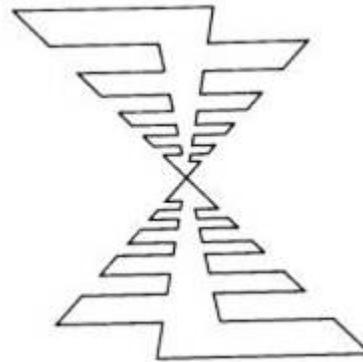
Otras estructuras simplificadas

Antena Log-periódica dentada
doblada

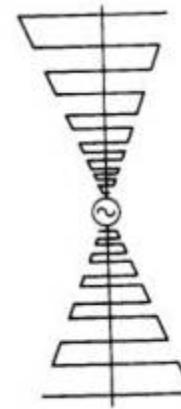


Genera un solo lóbulo principal
con una relación delante atrás de
uno 15 dB

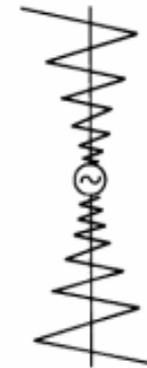
Antena Log-periódica
dentada trapezoidal



Antena Log-periódica
trapezoidal de hilo



Antena Log-periódica de
hilo dentada

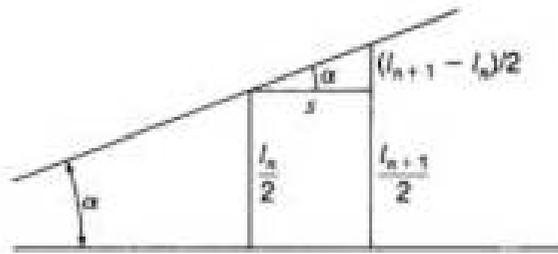
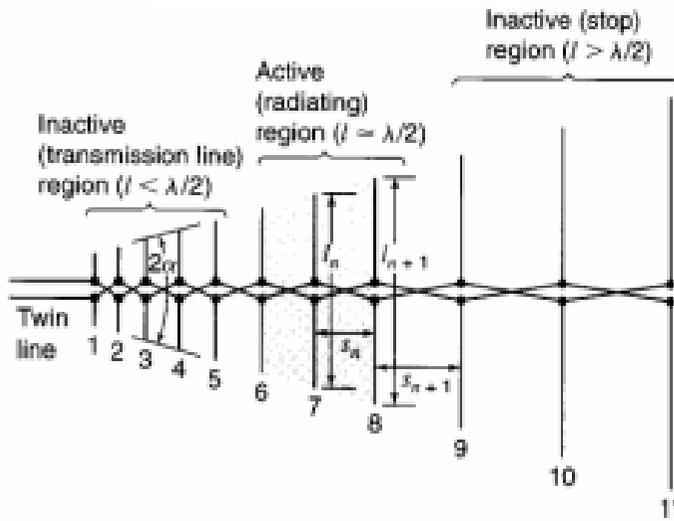


Más simplificado

El diagrama que presentan es prácticamente el de
la Antena Log-periódica dentada plana

4.3- Antena Log-periódica

Antena Log-Periódica de dipolos



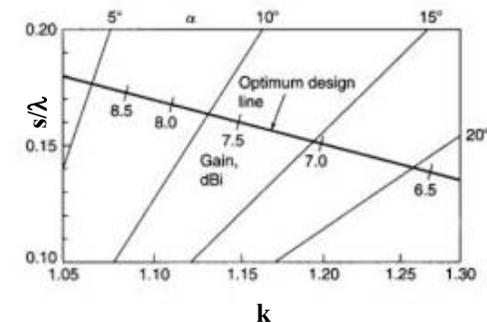
- El ángulo α es fijo, y las longitudes “ l ” y espaciamentos “ s ” se escalan según

$$\frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{s_{n+1}}{s_n} = k \quad ; k \text{ constante.} \quad \frac{l_{n+1}}{l_1} = k^n$$

- A lo largo de la antena los dipolos de longitud aprox. $\lambda/2$ son los que están radiando a la frec. de trabajo. Según cambia la frecuencia empiezan a ser otros dipolos los que radian. El extremo lo tenemos en la frec. Inferior con los dipolos más largos y con la frec. Superior con los dipolos más pequeños. Existe una zona activa que se mueve en banda.
- La ganancia, diagrama de radiación e impedancia dependerán de los parámetros factor de espaciamento σ y ángulo de la antena α

$$\sigma = \frac{s_n}{2l_n} = \text{Factor de espaciamento}$$

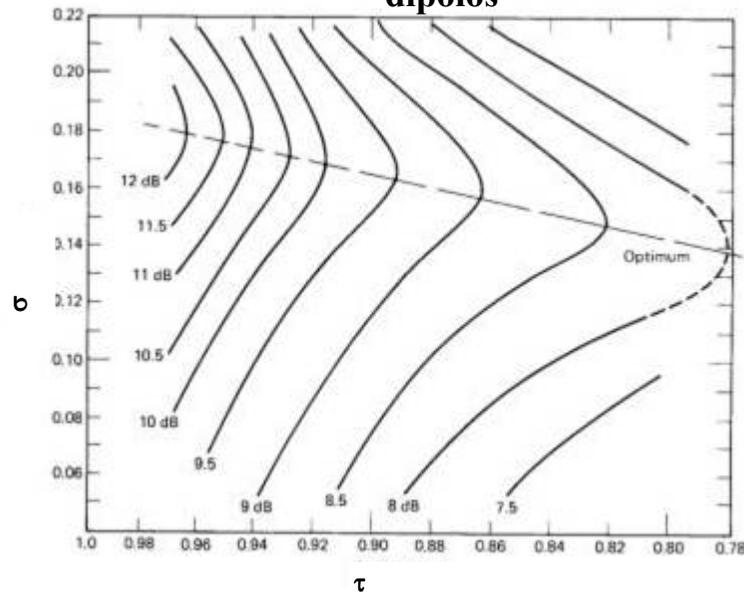
$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{1 - \tau}{4\sigma} \right)$$



4.3- Antena Log-periódica

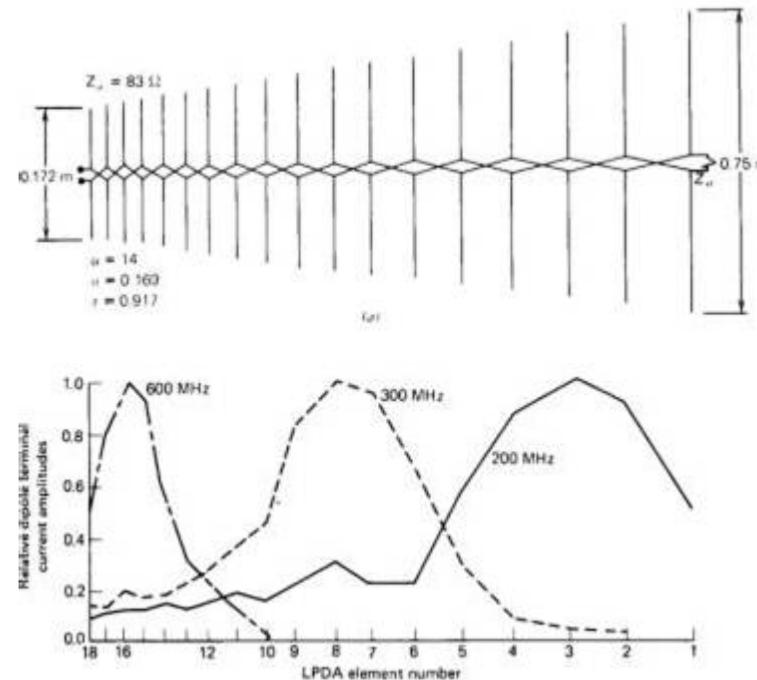
Antena Log-Periódica de dipolos

Ganancia de una antena log-periódica de dipolos



- Para tener una ganancia alta se necesita un factor de escala muy alto, es decir, una longitud total muy larga
- La ganancia aumenta ligeramente con el espesor del dipolo

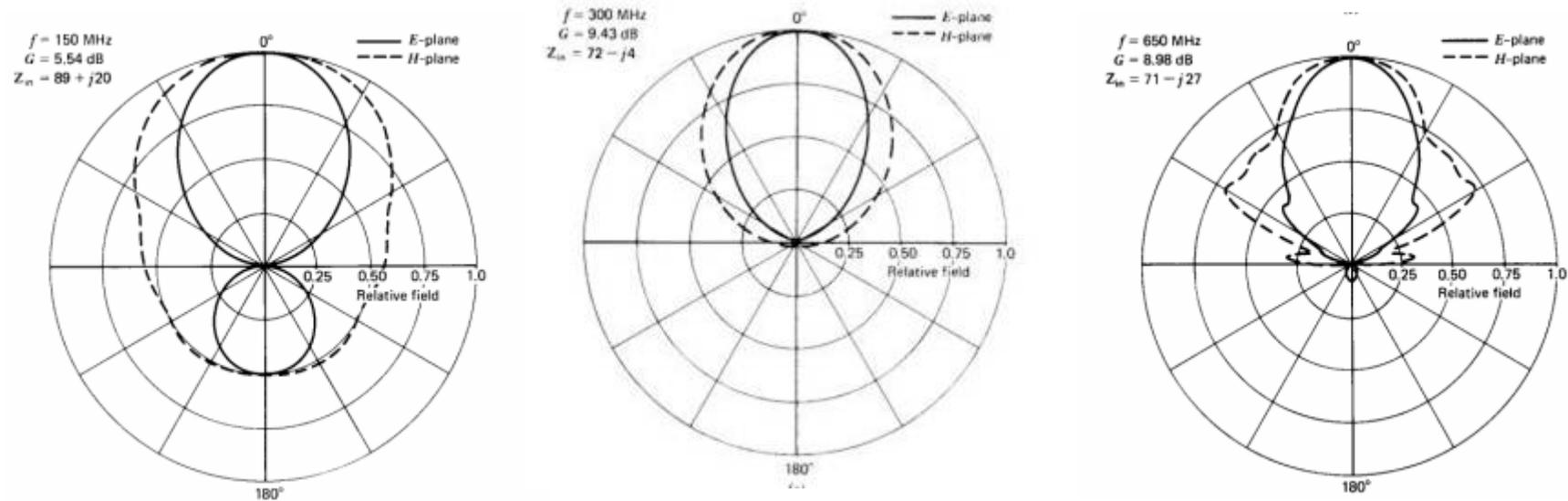
Variación de la zona activa en antena log-periódica de dipolos. Banda de funcionamiento 150 – 650 MHz



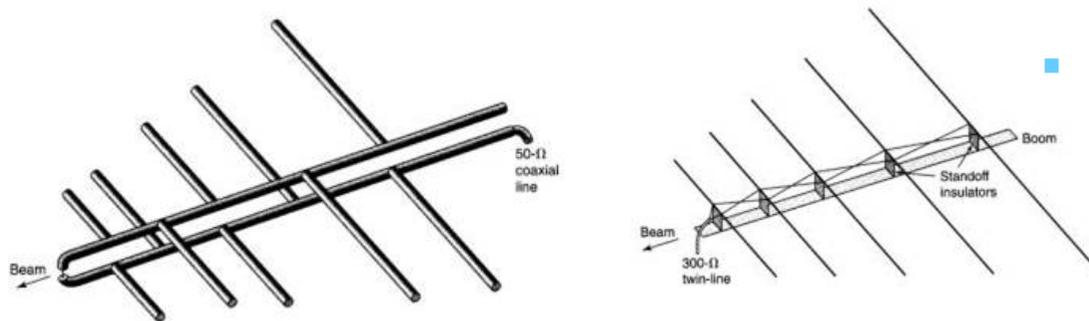
4.3- Antena Log-periódica

Antena Log-Periódica de dipolos

Diagrama de radiación de antena log-periódica de dipolos. Banda de funcionamiento
150 – 650 MHz



Formas reales de antena log-periódica de dipolos



- La por la que las alimentaciones están cruzadas se puede ver como que la antena log-periódica de dipolos es un caso de antena log-periódica trapezoidal doble con un ángulo 0. Visto así los elementos están alimentados con fase alterna.