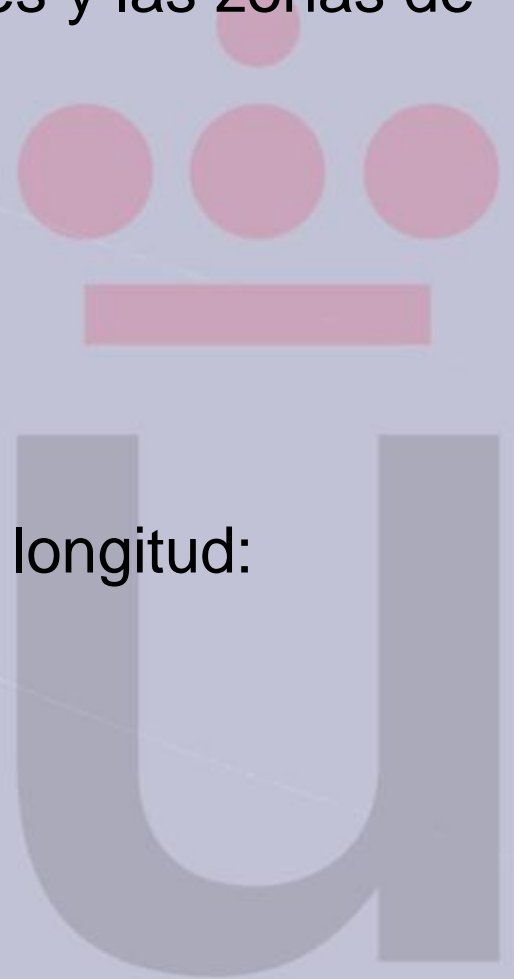


Tema 4. Antenas lineales

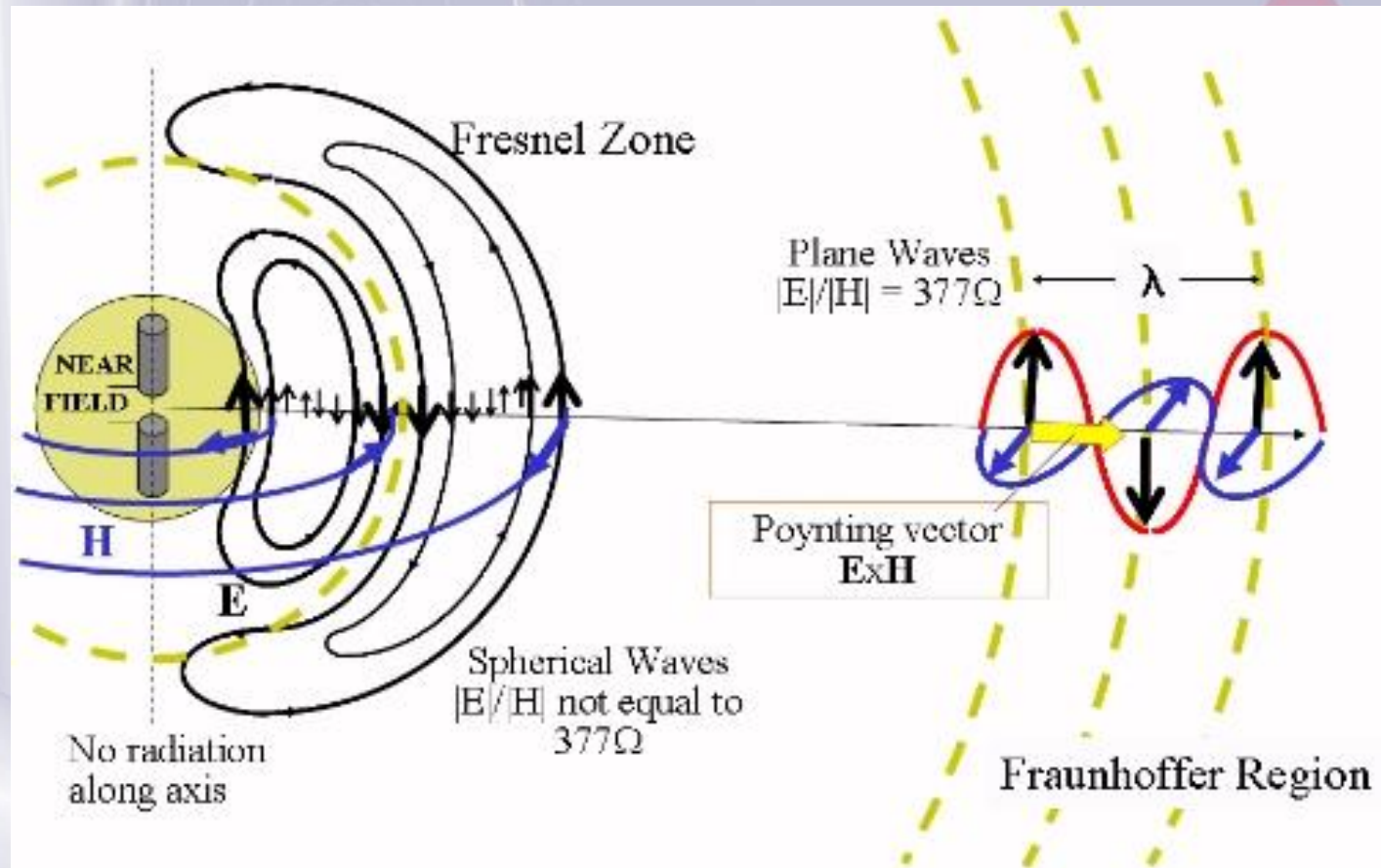
Pasos del tema...

- Comenzamos viendo las fuentes elementales y las zonas de radiación para un radiador diferencial.
- Continuamos con antenas elementales:
 - Dipolo elemental.
 - Espira elemental.
- Por último afrontamos antenas de cualquier longitud:
 - De onda estacionaria.
 - De onda progresiva.



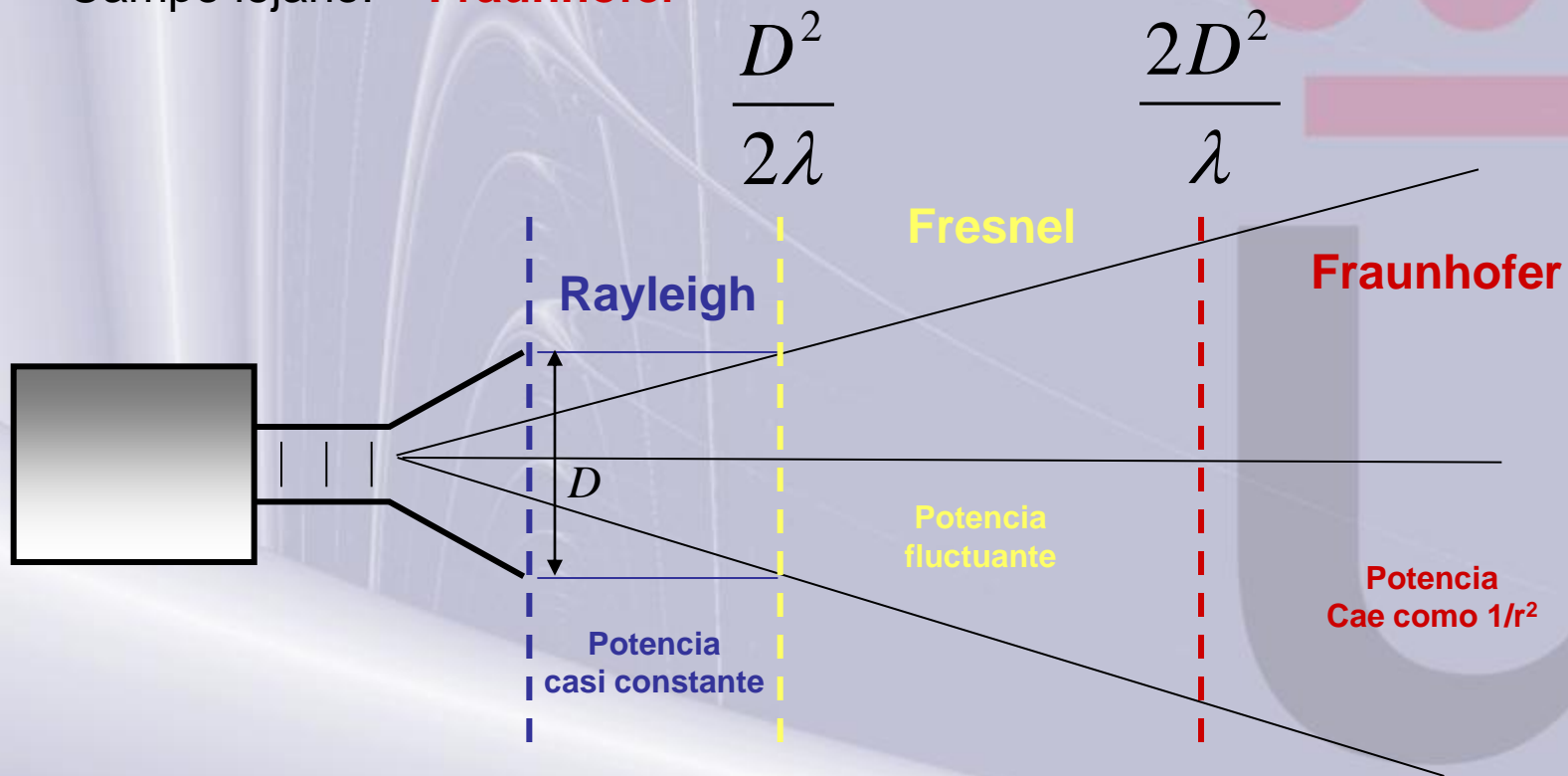
Algunos conceptos

ZONAS DE RADIACIÓN



ZONAS DE RADIACION

- El espacio que rodea a una antena está dividido en tres regiones:
 - Campo cercano: **Rayleigh** (propagación tubular)
 - Campo cercano: **Fresnel** (interferencias)
 - Campo lejano: **Fraunhofer**



RESISTENCIA DE RADIACIÓN

Resistencia de Radiación: Aquella resistencia que, siendo atravesada por una intensidad igual a la que atraviesa la antena, disipa la misma potencia que radia la antena.

$$P_{rad} = \frac{1}{2} I^2 R_{rad}$$

$$P_{rad} = \int_{\Omega} U(\theta, \phi) d\Omega$$

Se expresa en (Ω)

Dipolo elemental

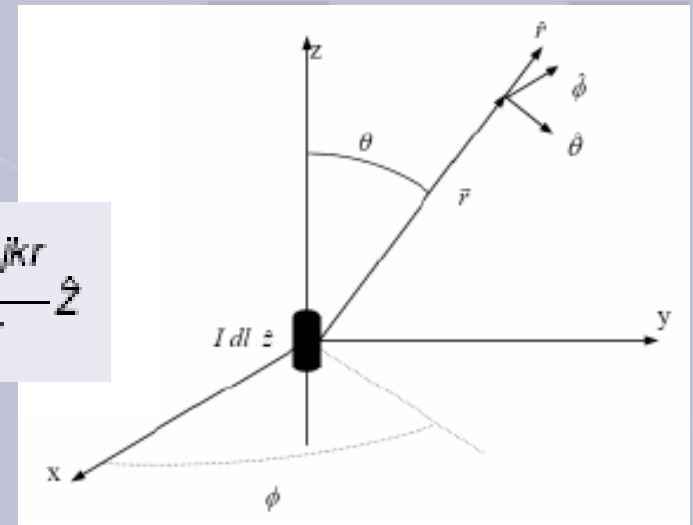
Fuente elemental

La expresión de los campos es distinta según el tamaño de las fuentes la distancia en comparación con λ

La estudiamos para una fuente elemental que ocupa un volumen v , dada por $\mathbf{J} = J_z \mathbf{a}_z$.

Centrada en el origen, $\mathbf{R} = \mathbf{r}$, y por tanto $\mathbf{r}_0 = 0$.

$$\bar{\mathbf{A}} = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_{V'} \frac{J_z \hat{\mathbf{z}}' e^{-jkR}}{R} dV' \stackrel{(\hat{\mathbf{z}}' = \hat{\mathbf{z}})}{=} \frac{\mu J_z}{4\pi} \delta V \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{\mathbf{z}}$$



Fuente elemental

Pasamos el vector \bar{A} a coordenadas esféricas para obtener la expresión de los campos eléctrico y magnético:

$$\begin{aligned}\bar{H} &= \frac{1}{\mu} \nabla \times \bar{A} = (J_z \delta V) \frac{jk \sin \theta}{4\pi} \left(1 + \frac{1}{jkr}\right) \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{\phi} \\ \bar{E} &= \frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \times \bar{H} = (J_z \delta V) \eta \frac{\cos \theta}{2\pi r} \left(1 + \frac{1}{jkr}\right) \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{r} + \\ &+ j (J_z \delta V) \eta \frac{k \sin \theta}{2\pi} \left(1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{(kr)^2}\right) \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{\theta}\end{aligned}$$

Estudiamos y aproximamos estas expresiones para las tres zonas de radiación:

* Cercana o reactiva

* Intermedia o de Fresnel

* Campo Lejano

Fuente elemental. Campo cercano

Para $kr \ll 1$ (esto es, $r \ll \lambda$), predomina el término $1/kr$ de mayor grado.
Agrupando términos de la forma:

$$b = J_z \cdot \Delta v \cdot \frac{e^{-jkr}}{r}$$

Los campos quedan como sigue:

$$H_\phi = b \cdot \frac{\sin \theta}{4\pi r}$$
$$E_r = b \cdot \frac{-j\eta \cos \theta}{2\pi k r^2}$$
$$E_\theta = b \cdot \frac{-j\eta \sin \theta}{4\pi k r^2}$$

- E desfasado $\pi/2$ respecto a H
- Toda la potencia reactiva
- No hay propagación
- Ondas estacionarias (modos evanescentes “esféricos”)

Fuente elemental. Zona Intermedia o de Fresnel

Para $kr > 1$, los campos tienen la forma:

$$H_{\phi} = b \cdot \frac{jksen\theta}{4\pi}$$

$$E_r = b \cdot \frac{\eta \cos\theta}{2\pi r}$$

$$E_{\theta} = b \cdot \frac{j\etaksen\theta}{4\pi}$$

- Aún existen componentes radiales
- Expresiones similares a la propagación guiada

Fuente elemental. Zona de Campo lejano

Para $kr \gg 1$, es decir cuando $1/kr \sim 0$, las expresiones de los campos quedan:

$$H_{\phi} = b \cdot \frac{jksen\theta}{4\pi}$$

$$E_r = 0$$

$$E_{\theta} = b \cdot \frac{j\eta ksen\theta}{4\pi}$$

- E y H en fase
- No hay componente radial
- Existe propagación
- Ondas planas

$$\vec{H} = \frac{1}{\eta} (\hat{r} \times \vec{E}) \quad \vec{E} = \eta (\vec{H} \times \hat{r}) \quad \vec{P} = \frac{1}{2\eta} |\vec{E}|^2 \hat{r}$$

Dipolo de Hertz o dipolo corto

DIPOLO DE HERTZ

- Los hilos y las espiras pueden considerarse como antenas elementales. Son considerados hilos (dipolos) cuando $a \ll \lambda$ y $a \ll l$ (a es el radio y l la longitud).
- El dipolo elemental (o corto, o de Hertz) cumple ambas, y además $l \ll \lambda$, típicamente $l \leq \lambda/50$
- Muchas antenas en baja frecuencia son de este tipo, ya que $f < 1\text{MHz}$; $\lambda > 300\text{m}$.

Para calcular su campo radiado, suponemos una distribución de corriente uniforme $\mathbf{J}_z = I \cdot \mathbf{a}_z$.

DIPOLO DE HERTZ

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{\vec{J}(\vec{r}) \cdot e^{-jkR}}{R} dv = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{I \cdot \vec{a}_z \cdot e^{-jkR}}{R} dz$$

Aproximación de campo radiado:

$$\begin{cases} R \approx r \\ R \approx r - \vec{r}' \cdot \hat{r} = (\vec{r}' = z'\hat{z}) r - z' \cos \theta \end{cases}$$

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot \vec{a}_z \int_{-L/2}^{L/2} e^{jkz \cos \theta} dz$$

Dipolo de Hertz

$kz \cos \theta \leq kz$ lo que para un dipolo corto ($\lambda \ll L$) implica $e^{jkz \cos \theta} \approx 1$

La expresión de A queda como sigue:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot L \cdot \vec{a}_z$$

En el caso general de una alimentación el tipo: $I = I_0 f(z)$ queda

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot I_0 \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot L_e \cdot \vec{a}_z$$

$$L_e = \int_{-L/2}^{L/2} f(z) dz : \text{Longitud efectiva}$$

Ejemplo

¿Cuál es la longitud efectiva de una corriente triangular, dada por

$$I(z) = I_0 \left(1 - \frac{2|z|}{L} \right)$$

Dipolo centrado en el origen, alineado en el eje z y de longitud l.

Solución: $L_e = L/2$

¿Cuál es la expresión de la corriente y la longitud efectiva de una corriente senoidal (semiciclo de un seno)?

Comparar la longitud efectiva de las distribuciones de corriente uniforme, triangular y senoidal.

Dipolo de Hertz

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot I_0 \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot L_e \cdot \vec{a}_z$$

Pasando a esféricas para obtener los campos E y H, tenemos:

$$\hat{z} = \cos \theta \hat{r} - \sin \theta \hat{\theta} \Rightarrow \vec{A}_\theta \hat{\theta} + A_r \hat{r} \Rightarrow \begin{cases} A_\theta = -\frac{\mu}{4\pi} I_0 \frac{e^{-jkr}}{r} \sin \theta \\ A_r = 0 \quad (\text{campo radiado}) \end{cases}$$

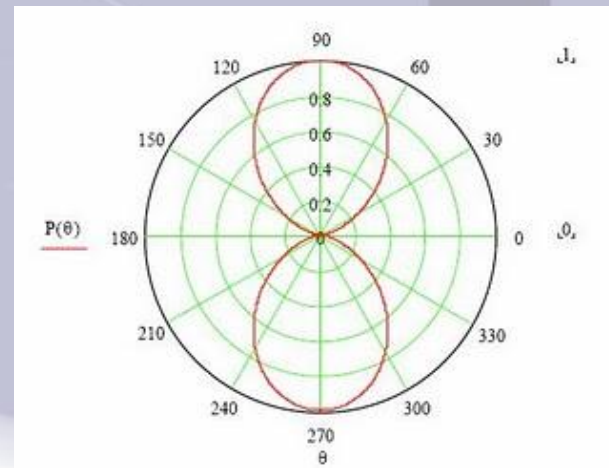
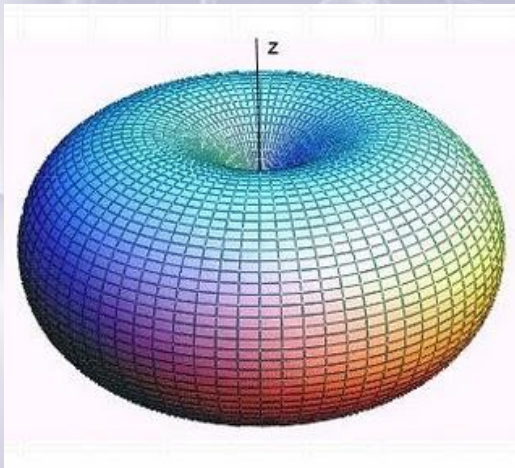
$$\vec{E} = -j\omega \vec{A} = \frac{j\eta}{2\lambda} L_e I_0 \frac{e^{-jkr}}{r} \sin \theta \vec{a}_\theta$$

$$\vec{H} = \frac{E_\theta}{\eta} \vec{a}_\phi$$

DIAGRAMA DE RADIACION

El diagrama de radiación vendrá determinado por la Intensidad de radiación, que en nuestro caso obtenemos como onda plana:

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{\max}} = \frac{r^2 \langle S \rangle}{U_{\max}} = \frac{r^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{|E|^2}{\eta}}{U_{\max}} = \frac{c^{te} \cdot \text{sen}^2 \theta}{c^{te}} = \text{sen}^2 \theta$$



RESISTENCIA DE RADIACIÓN

Resistencia de Radiación: Aquella resistencia que, siendo atravesada por una intensidad igual a la que atraviesa la antena, disipa la misma potencia que radia la antena.

$$P_{rad} = \frac{1}{2} I^2 R_{rad}$$

$$P_{rad} = \int_{\Omega} U(\theta, \phi) d\Omega = \frac{I^2 \eta}{8} \left(\frac{L_e}{\lambda} \right)^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin^2 \theta \cdot \sin \theta \cdot d\theta d\phi = \frac{I^2 \eta}{3} \pi \left(\frac{L_e}{\lambda} \right)^2$$

$$R_{rad} = \frac{2\pi\eta}{3} \left(\frac{L_e}{\lambda} \right)^2 \quad (\Omega)$$

Resistencia de radiación

La resistencia de radiación de un dipolo infinitesimal $L=\lambda/50$ es de 0.316Ω

Cuidado al conectarlo a líneas de transmisión con impedancias de 50Ω

¡Mismatch!

**La antena radia su potencia real a través de la resistencia de radiación.
La resistencia de radiación da una idea de lo buena que es en
transmisión una antena...**

Resistencia de radiación

$$R_{rad} = \frac{2\pi\eta}{3} \left(\frac{L_e}{\lambda} \right)^2 (\Omega)$$

A bajas frecuencias (altas longitudes de onda) la R_{rad} toma valores bajos.

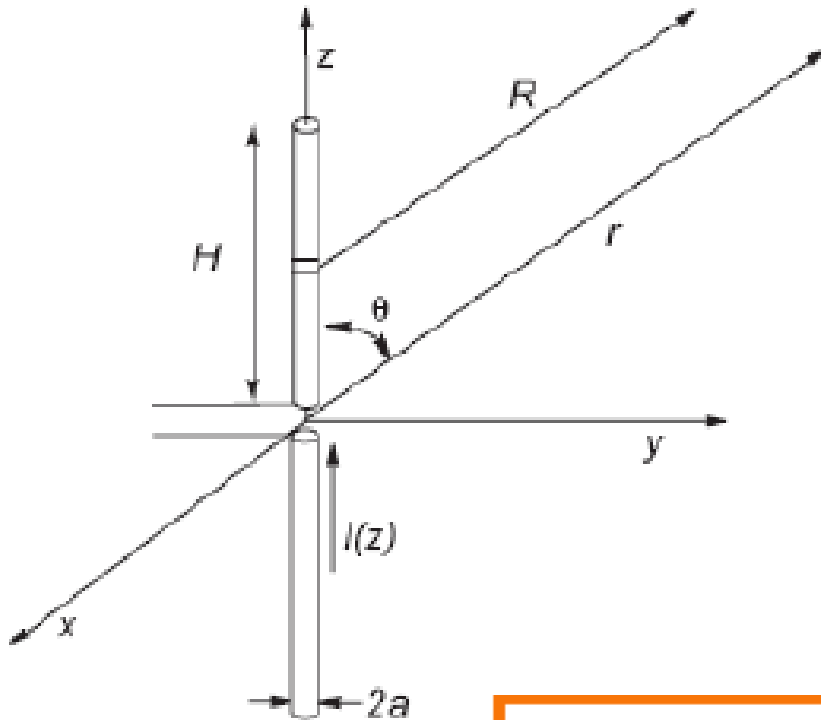
Una técnica para aumentar R_{rad} es aumentar la longitud del “hilo” (colocar “hilos” en los extremos de la antena)

Espira Circular y Cuadrada



Antenas de Onda Estacionaria

Antenas de onda estacionaria



Antena cilíndrica: Hilo fino conductor de longitud $2H$ ($a \ll \lambda$). Las dimensiones de la antena no son pequeñas en términos de λ , la aproximación de corriente uniforme no es cierta.

Experimentalmente la distribución de corrientes es aprox sinusoidal con un cero en los extremos

$$I(z') = I_m \operatorname{sen} k(H - |z'|) = \begin{cases} I_m \operatorname{sen} k(H - z') & 0 \leq z' \leq H \\ I_m \operatorname{sen} k(H + z') & -H \leq z' \leq 0 \end{cases}$$

Antenas de onda estacionaria

- Antenas lineales de cualquier longitud. La aproximación llegará hasta $l \ll \lambda$.
- Comenzamos identificando la distribución de corrientes mediante una distribución de onda estacionaria. Se suele estudiar como una línea de transmisión abierta que se convierte en un dipolo.
- La corriente variará de forma sinusoidal, dada por

$$I(z') = I_m \sin(k(h - |z'|)),$$

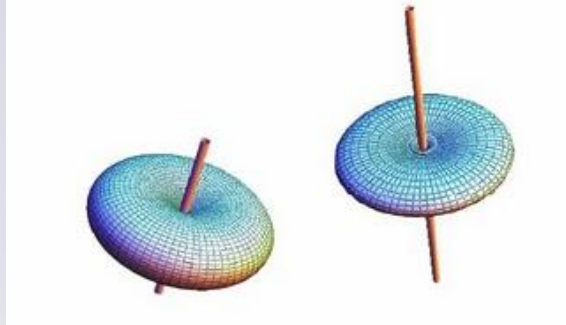
- El potencial vector y el campo radiado...

$$\bar{A} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{z} \int_{-h}^h I(z') e^{jk\hat{r}z'} dz' = \dots = 2I_m \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{z} \left(\frac{\cos(kh \cos \theta) - \cos(kh)}{k \sin^2 \theta} \right)$$

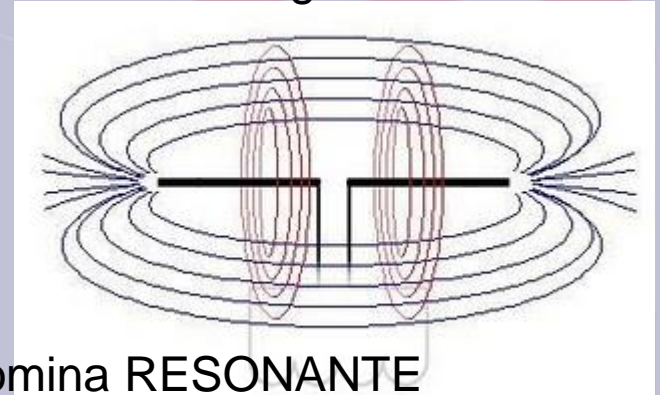
$$\bar{E}_{rad} = j\eta I_m \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} \left(\frac{\cos(kh \cos \theta) - \cos(kh)}{k \sin \theta} \right) \hat{\theta}$$

Antena Resonante. Dipolo $\lambda/2$

La difusión de una radiación óptima se obtiene con una antena cuya longitud L sea igual a una semilongitud de onda o a un número entero de semilongitudes de onda



$$L = \frac{\lambda}{2} \quad \text{ó} \quad L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$



Una antena que responde al criterio anterior se denomina **RESONANTE**

Cuanto mayor es la longitud de la antena con respecto a la longitud de onda,

$\lambda/2$, λ , $3\lambda/4$, 3λ ...

MÁS DIRECTIVA es y **MAYOR NÚMERO DE LÓBULOS** contiene.

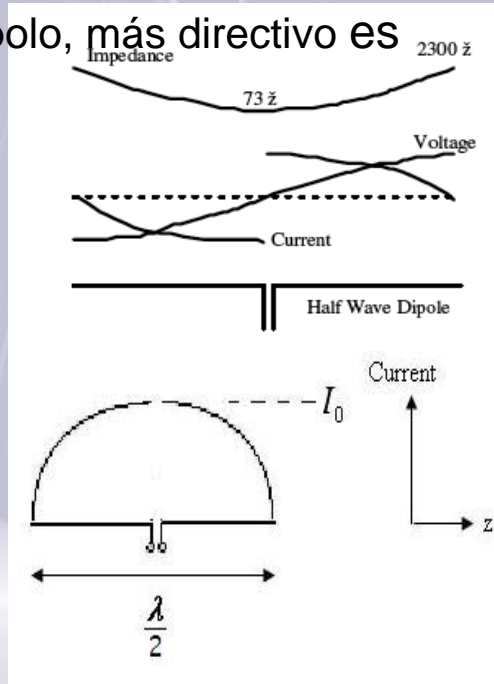
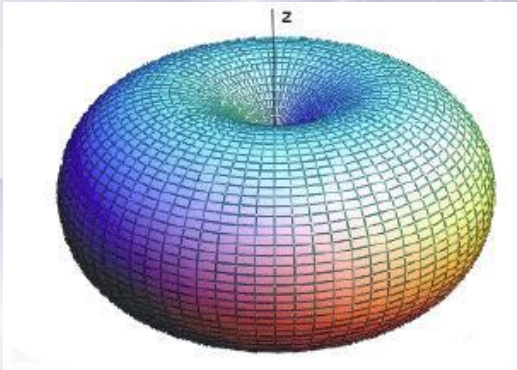
Antena Resonante. Dipolo $\lambda/2$

En este caso $h=\lambda/4$

Resistencia de radiación: $R_{\text{rad}}=73\Omega$ (alta) Muy cercana a las impedancias características de algunas líneas de transmisión (50 ó 75 ohms)

Directividad Máxima: $D_{\text{max}}: 1.64 = 2.15 \text{ dBi}$

Cuanto más largo es el dipolo, más directivo es

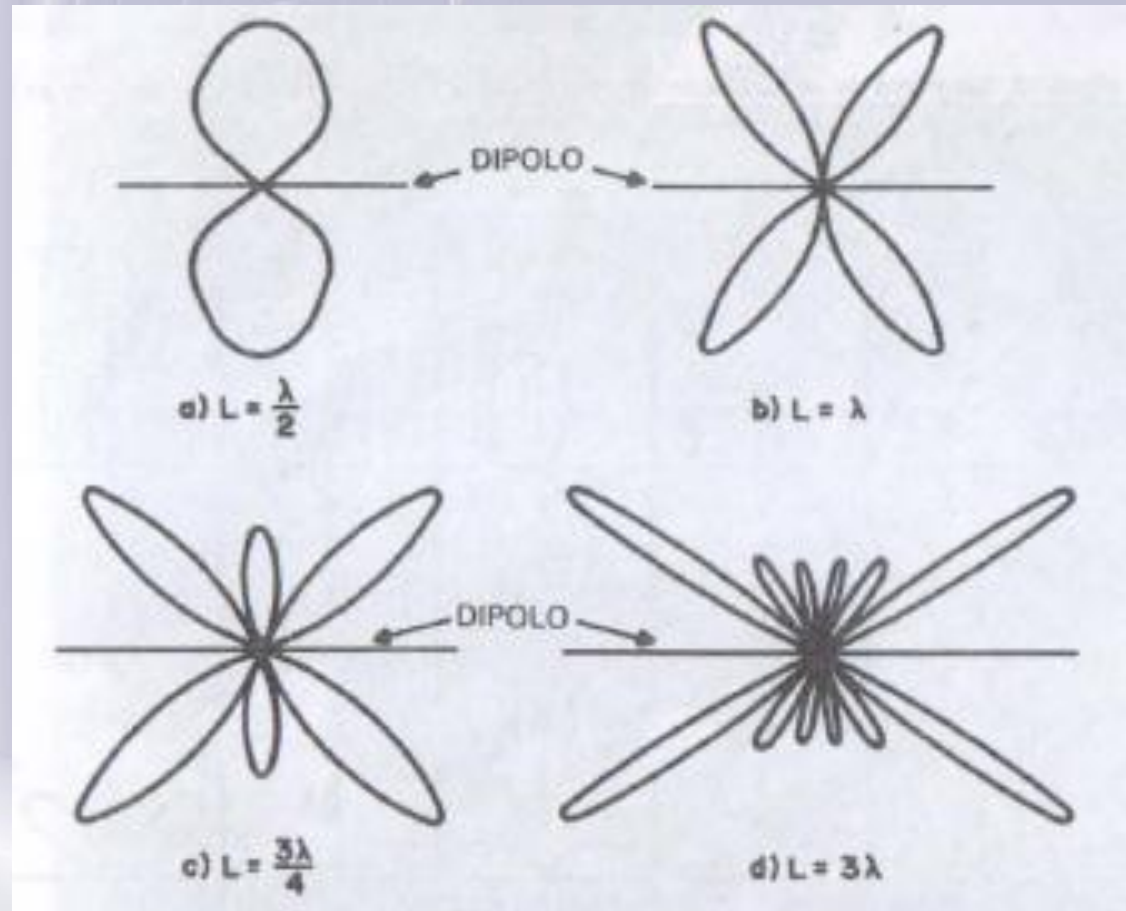


$$E_{\theta} = j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]$$

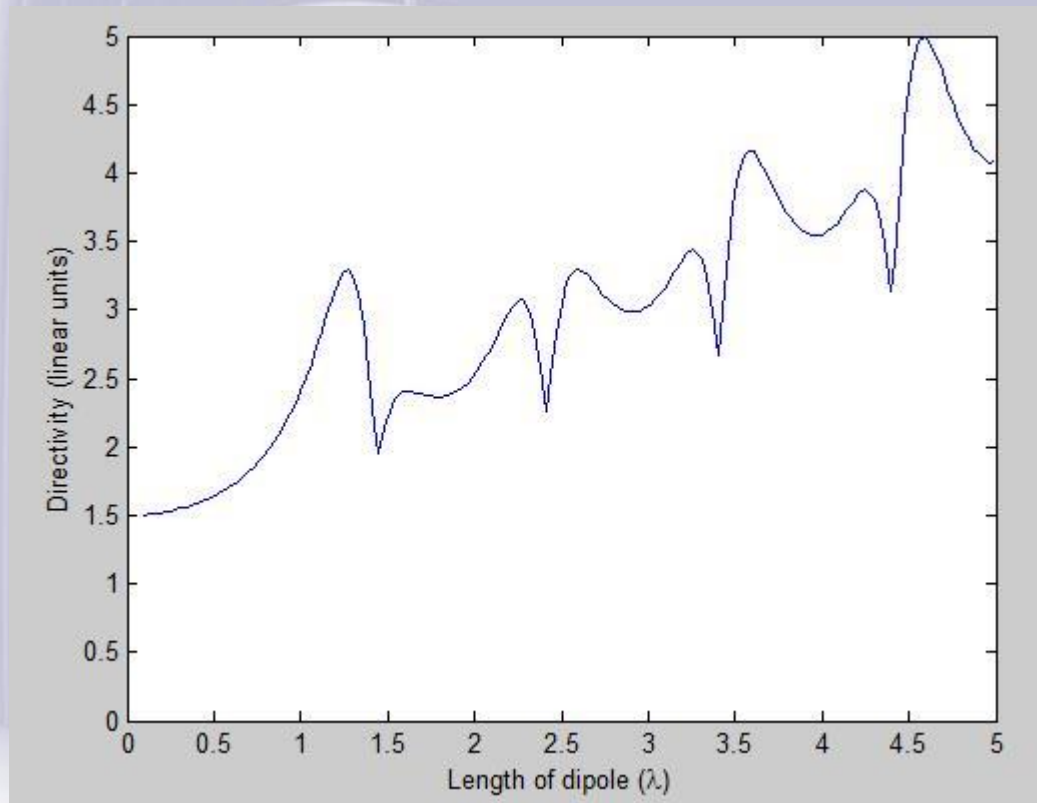
$$H_{\phi} = j \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]$$

$$\langle S \rangle = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2 r^2} \sin^3\theta$$





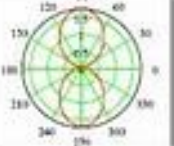


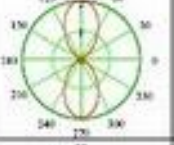

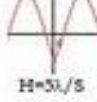
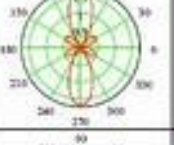


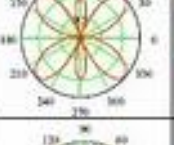




Antena Resonante. Dipolo $\lambda/2$ (II)

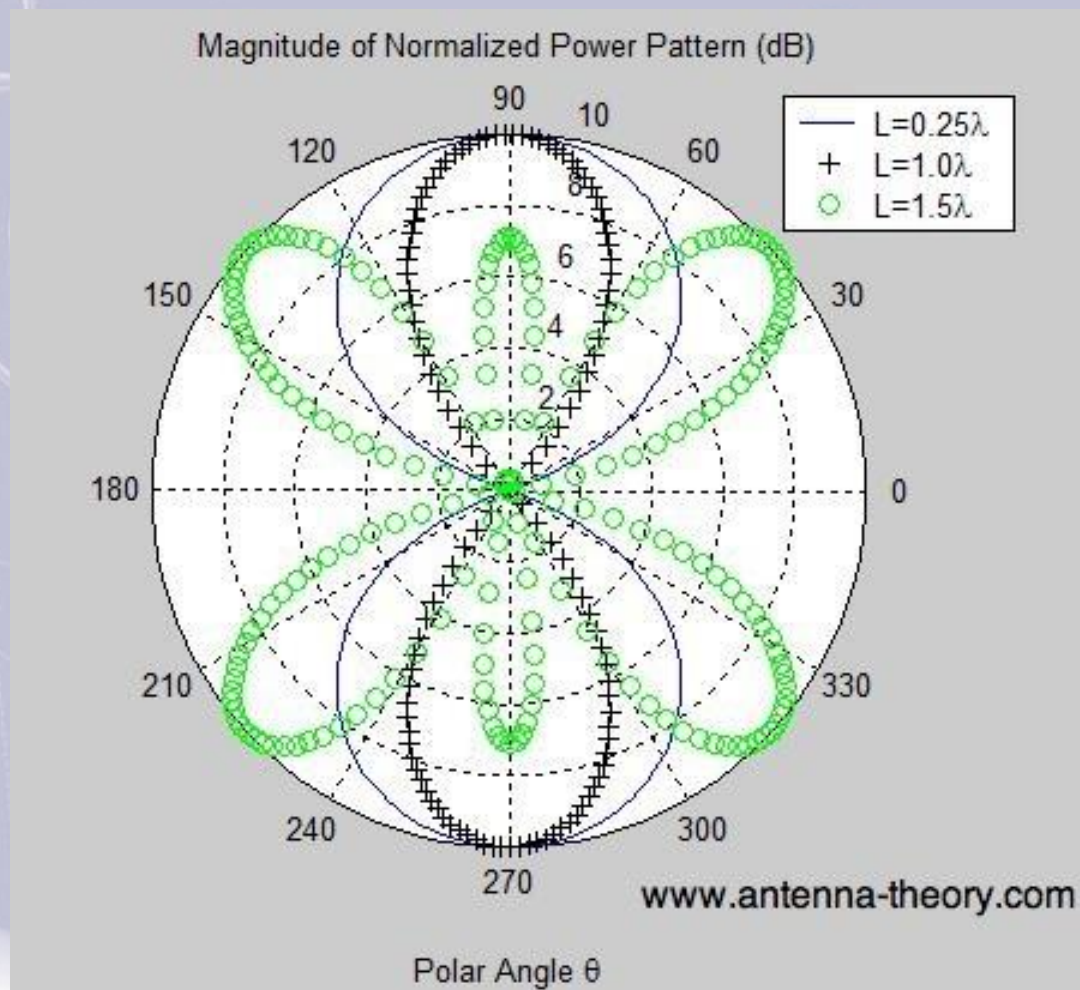


Antena Resonante. Longitud Dipolo - Directividad



Antena Resonante. Dipolo $\lambda/2$ (III)

TABLA COMPARATIVA DE DÍPOLOS					
Corrientes	Corte Plano E	Diagrama	ancho	D	R_r
 $H=\lambda/4$			78°	1.64	73Ω
 $H=3\lambda/8$			62°	1.94	180Ω
 $H=\lambda/2$			47°	2.41	199Ω
 $H=5\lambda/8$			31°	3.33	105Ω
 $H=3\lambda/4$			32°	2.17	99.5Ω
 $H=\lambda$			27°	2.52	260Ω



Antena Resonante. Dipolo $\lambda/2$

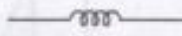


Para obtener una antena resonante basta con elegir la longitud adecuada. Cuanto **más corta** sea la antena **Mayor será la frecuencia** de resonancia.

La impedancia de una antena resonante es ohmica, no reactiva.

Si la longitud es menor que $\lambda/2$ la inductancia se compensa añadiendo una bobina en serie para obtener un circuito resonante

Si la longitud es mayor que $\lambda/2$ se compensa añadiendo un condensador en serie...

Si asociamos una inductancia y capacidad variables, podemos obtener una antena resonante en una amplia gama de frecuencias

A		AÑADIR UNA BOBINA EN SERIE EQUIVALE A AUMENTAR LA LONGITUD DE LA ANTENA
B		AÑADIR UN CONDENSADOR EN SERIE EQUIVALE A ACORTAR LA ANTENA
C		UNA BOBINA Y UN CONDENSADOR VARIABLES EN SERIE CON LA ANTENA PERMITEN OBTENER SU RESONANCIA PARA UNA GRAN GAMA DE FRECUENCIAS

Antena Resonante

La antena ha de conectarse a una línea y radiar el máximo de potencia, para ello ha de estar adaptada.

La impedancia de entrada de la antena (Z_{in}) depende de la frecuencia:

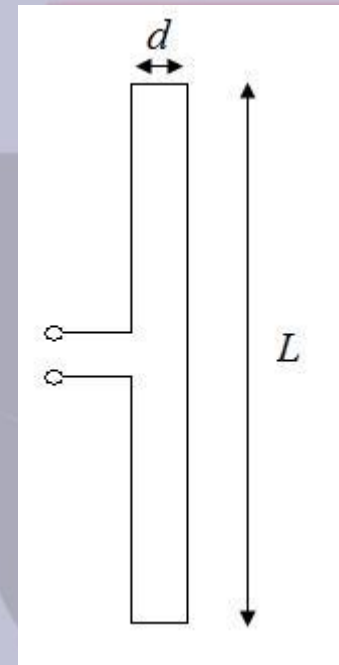
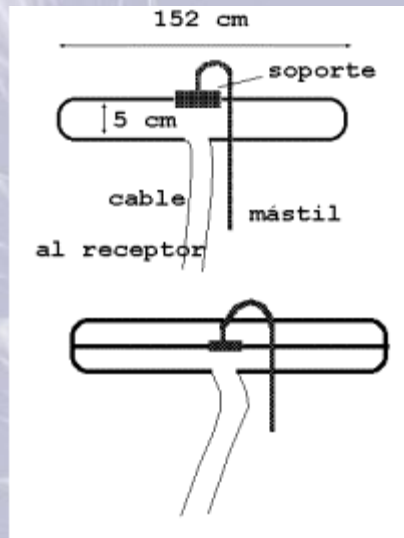
$$Z_{in} = R(\omega) + jX(\omega)$$

Las antenas resonantes anulan la parte imaginaria para una determinada frecuencia

La parte resistiva de una antena se compone de una parte de “radiación” y de una parte “óhmica”

$$R(\omega) = R_{rad} + R_{\Omega}$$

Dipolo plegado



Dipolo plegado

- Las corrientes de cada varilla están en fase y por tanto sus efecto “se suman”
- Tiene una resistencia de radiación CUATRO veces la del dipolo simple $R=4*75=300\text{ohmios}$ (más fácil de adaptar)
- La distancia entre las varillas, d , determina la resistencia de radiación (interesa que $d \ll \lambda$)
- Igual diagrama de radiación que el dipolo simple
- Mecánicamente más robusto que el simple
- Dos variantes interesantes:
 - Dipolo de varias varillas
 - Antena bicónica

Dipolo varias varillas. Antena bicónica (banda ancha)

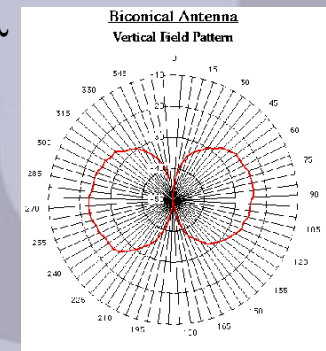
Dipolo de varias varillas

- Resistencia de radiación:
 $R=73 \cdot n^2 \Omega$
(n: número de varillas)
- Los diámetros de las varillas también influyen



Antena bicónica

- Las varillas se unen a dos anillos aislantes formando dos conos
- Se utiliza en polarización vertical
- La resistencia de radiación es menor cuanto mayor es el ángulo de abertura de los conos
- Esta antena es resonante cuando la generatriz de cada cono tiene una longitud $L=0.365 \lambda$



Antenas de onda progresiva

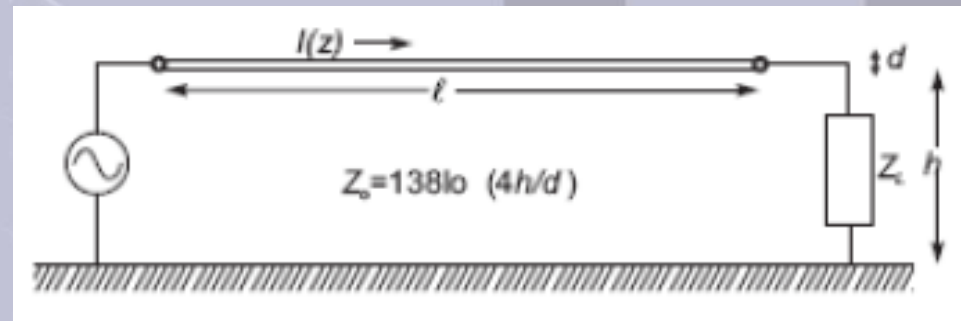
Antenas de onda progresiva (no resonante)

Si antes teníamos una línea con onda estacionaria, ahora la tenemos con onda progresiva, que avanza hacia las z positivas.

Si el extremo del hilo se carga con la impedancia característica de la línea de transmisión no existirá onda reflejada y sólo se excitará una onda de corriente progresiva

Son hilos terminados en una carga adaptada, para impedir las reflexiones.

Corriente en el hilo: $I = I_0 \cdot \exp(-j\beta z) \mathbf{a}_z$



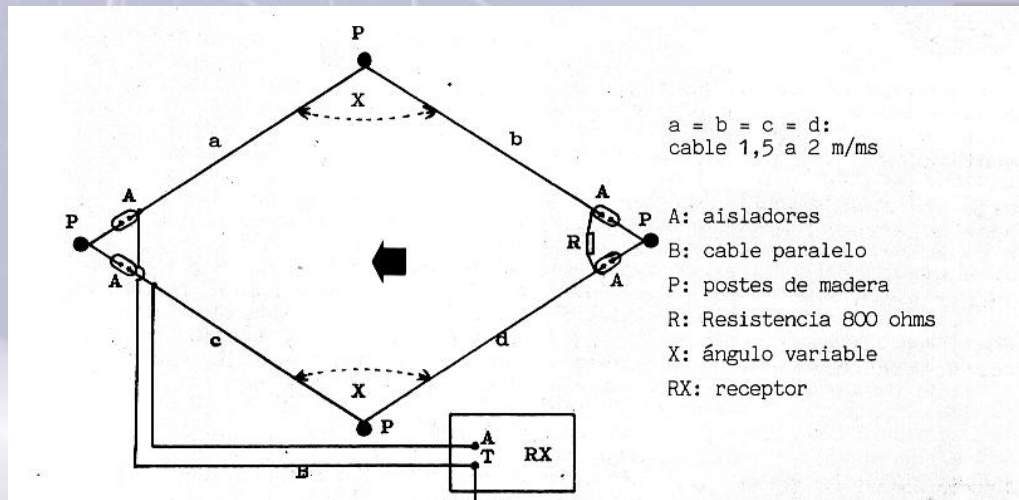
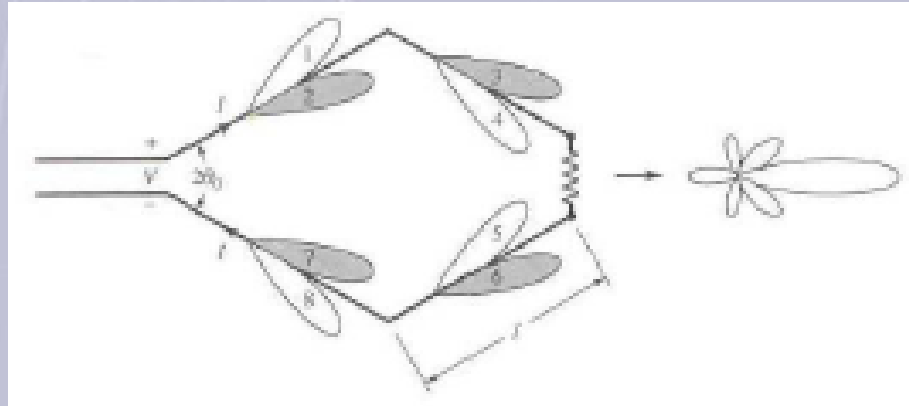
$$\bar{A} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} I_0 \hat{z} \frac{e^{j(k \cos \theta - \beta)L} - 1}{j(k \cos \theta - \beta)} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} I_0 \hat{z} e^{j\frac{L}{2}(k \cos \theta - \beta)} \frac{\sin\left(\frac{L}{2}(k \cos \theta - \beta)\right)}{\frac{1}{2}(k \cos \theta - \beta)}$$

Antena Rómbica. (no resonante)

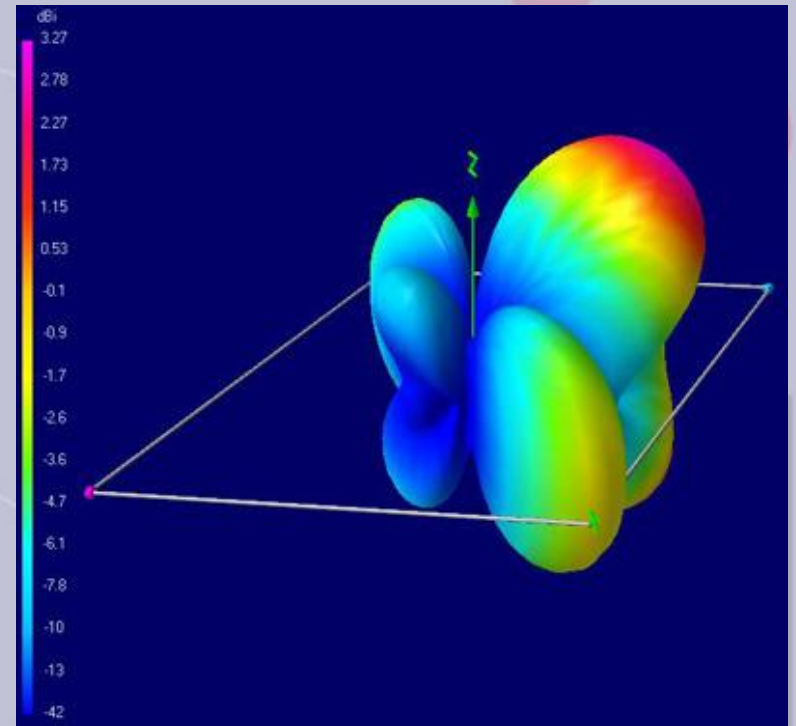
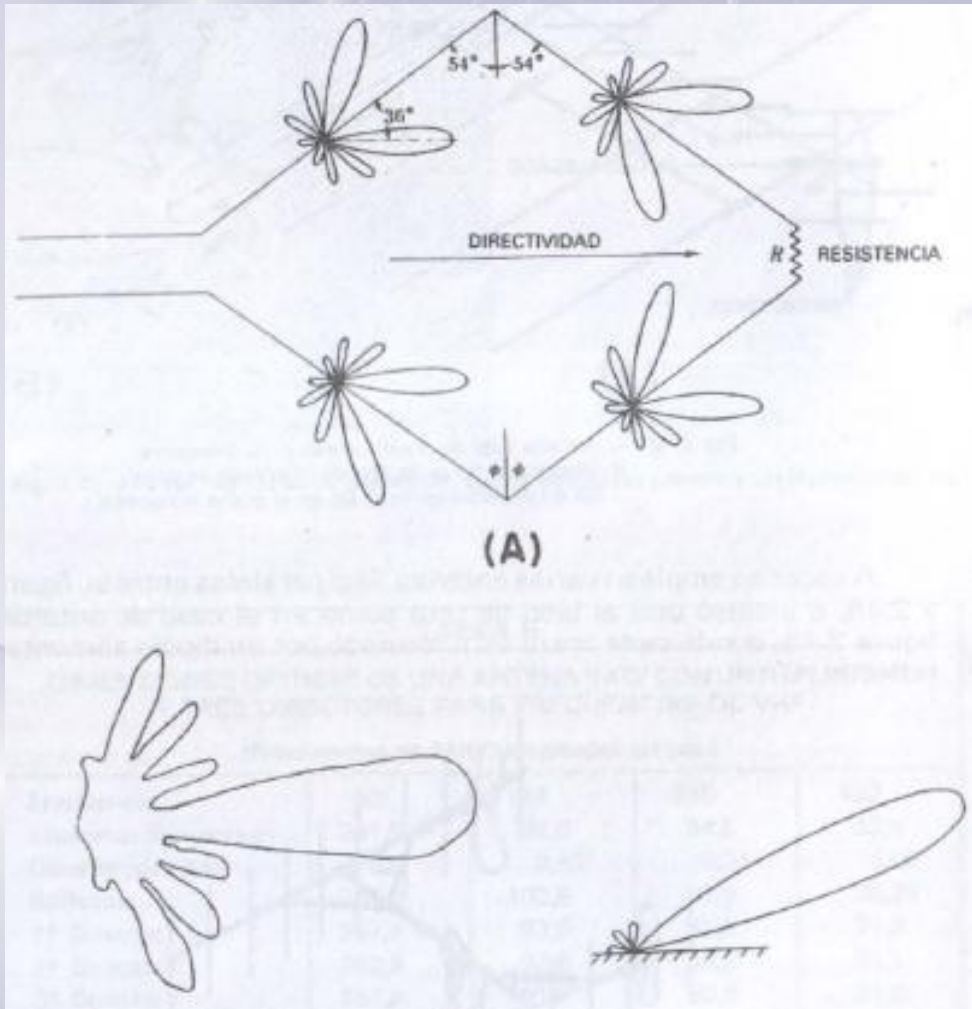
- Antena no resonante
- Formada por dos largos conductores no resonantes en forma de V y unidos a una resistencia
- Ideal para transmisiones de HF
- Alta ganancia directiva (de 20 a 90) ¿en dBi?
- La ganancia aumenta con la longitud de los conductores (entre 2λ y 8λ)
- El ángulo se ajusta para conseguir la inclinación del diagrama de radiación



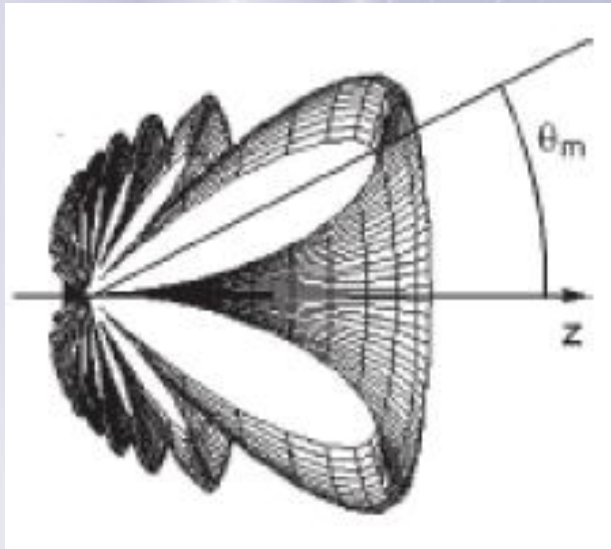
Antena Rómbica



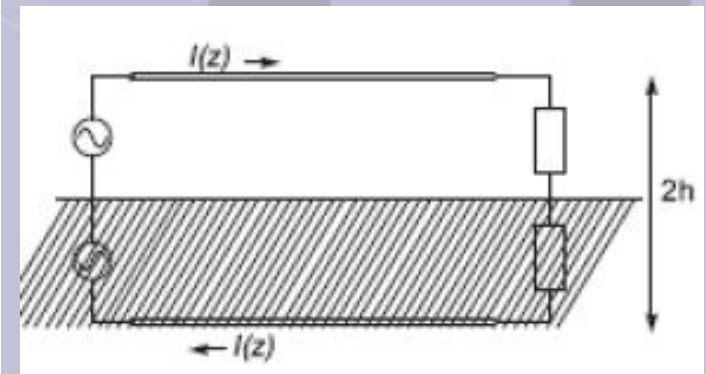
Antena Rómbica



Antena Rómbica. Diagramas de radiación



Si se tiene en cuenta el efecto del suelo...



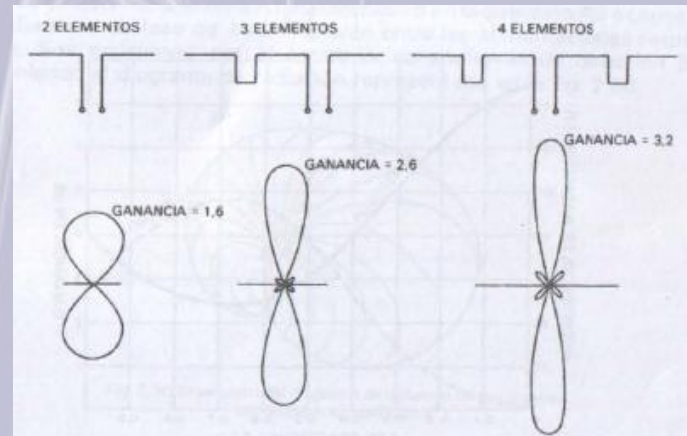
Agrupación de antenas lineales

- En línea
- En paralelo
- En cuadratura

Antena colineal

Constituida por dos o más antenas $\lambda/2$ colocadas una tras otra y alimentadas en fase

- Diagrama de radiación comparable al del dipolo pero MAS DIRECTIVO
- La directividad aumenta con el n^0 de dipolos asociados



Entre los dipolos de media onda se encuentran una líneas de longitud $\lambda/4$ que no afectan a la radiación de la antena

La separación entre las antenas afecta a la resistencia de radiación y a la ganancia. Cuando las antenas están alimentadas en fase, la máxima radiación tiene lugar para una separación de 0.65λ

Antenas en paralelo

Permite obtener ganancias directivas apreciables

Una antena emisora origina sobre la otra cercana una corriente inducida que se superpone a la corriente primitiva dando lugar a una corriente total que dependerá de la fase de ambas.

La ganancia y directividad dependerá de la separación entre ambas antenas

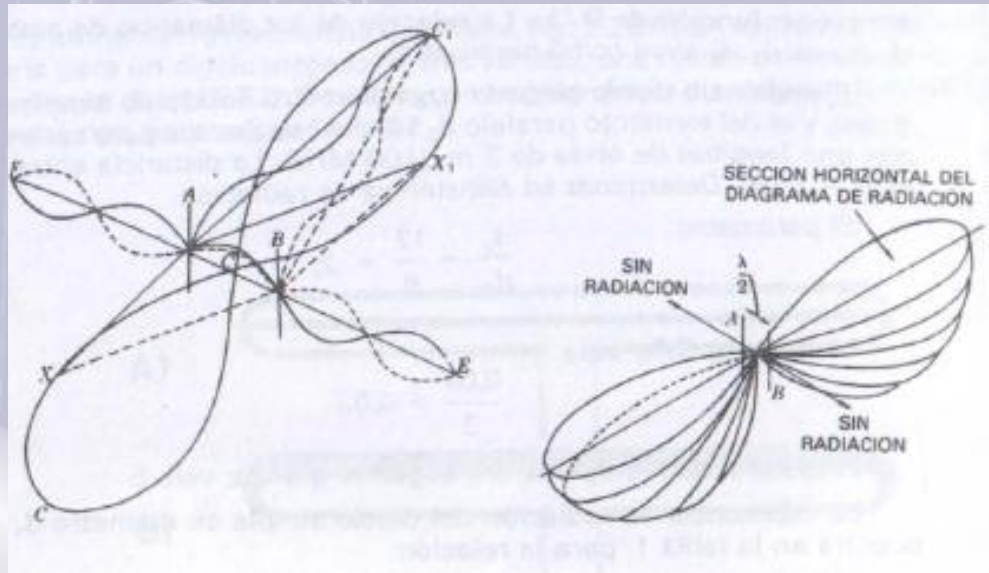
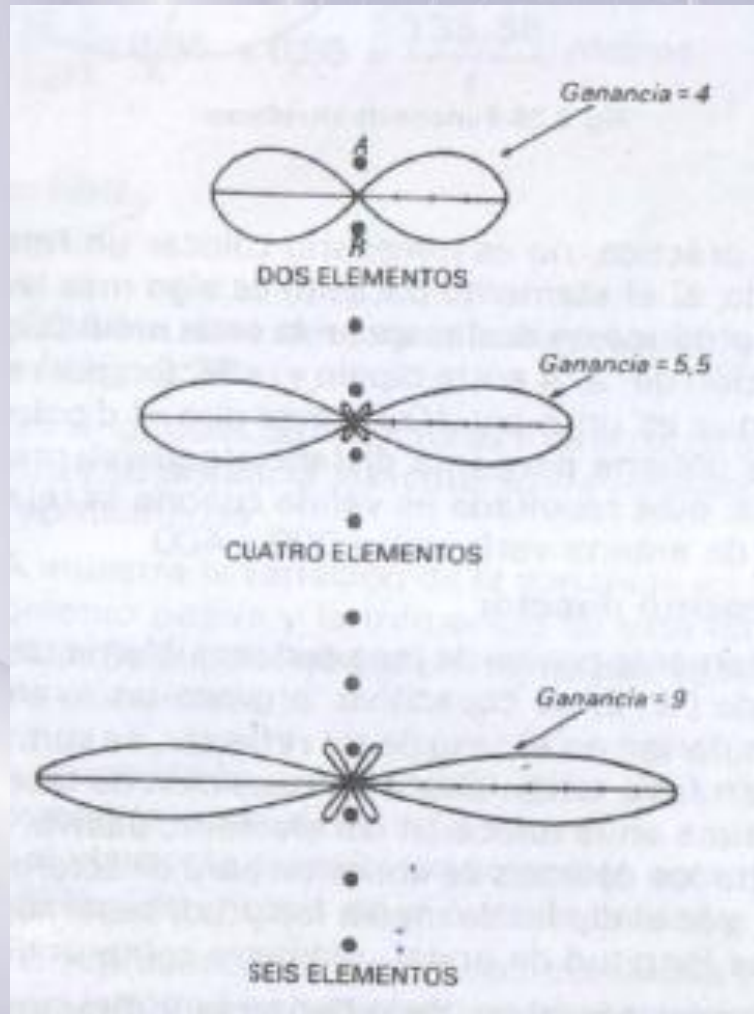


Diagrama de radiación de Antenas paralelas separadas $\lambda/2$ y alimentadas en fase

Antenas en paralelo



Ganancias directivas y diagramas de radiación de 2, 4 y 6 antenas en paralelo

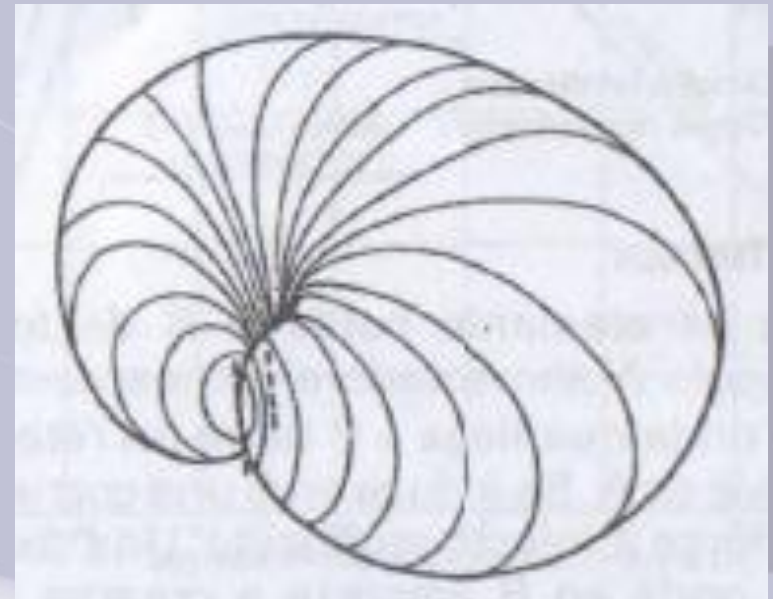
Antenas en paralelo

En ocasiones puede interesar conseguir una radiación unidireccional. Para ello se sitúa una pantalla reflectora a una distancia $\lambda/4$ de las antenas paralelas. Esta pantalla refleja las ondas y refuerza la directividad del sistema (referencia a las antenas Yagi)

Antenas alimentadas en cuadratura

Dos antenas de semilongitud de onda separadas $\lambda/4$ se sitúan verticalmente y se alimentan por dos corrientes desfasadas 90° . El diagrama de radiación es unidireccional.

La emisión de la antena A refuerza la de B en el sentido AB a causa de la diferencia de fase de $\lambda/2$ entre ambas alimentaciones. Por el contrario en el sentido BA las emisiones se anulan.



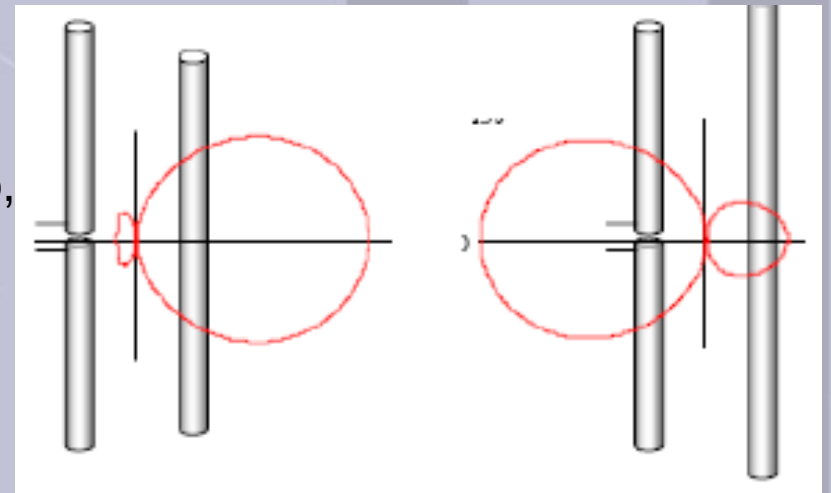
Antenas con elementos pasivos:

Antena Yagi

Antenas con elementos pasivos. Antenas Yagi

Debe su nombre a H. Yagi que publica los resultados de S. Uda, Japón (1926)

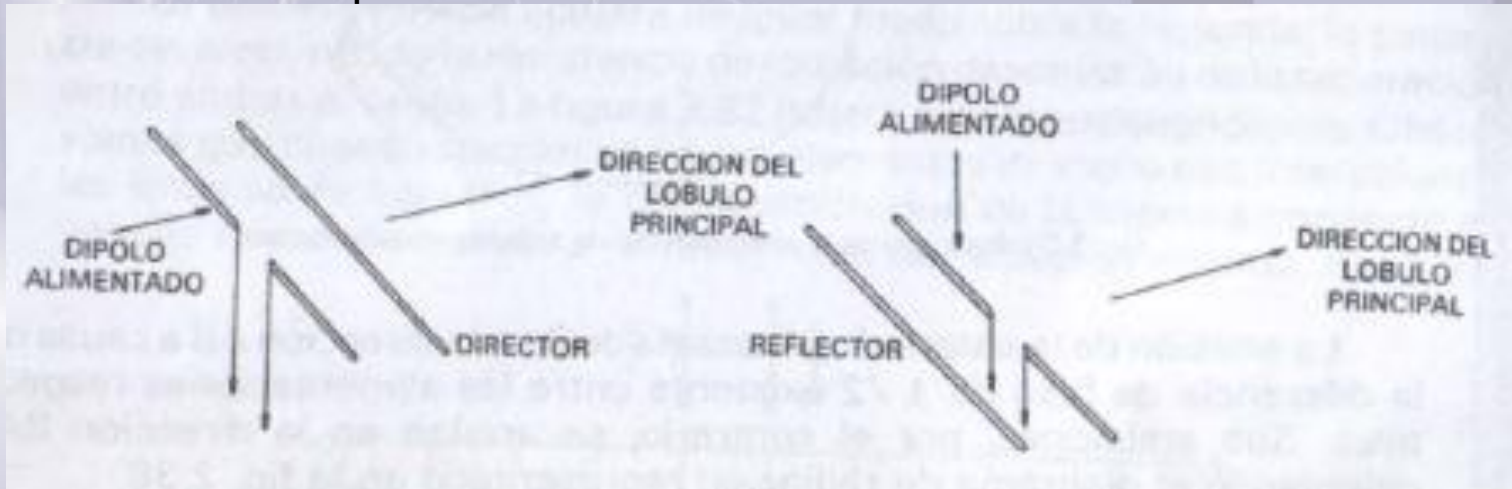
- Diseño muy simple, se basa en los efectos de acoplamiento mutuo entre dipolos.
- Consta de dos elementos, uno alimentado y otro cortocircuitado (parásito).
- Si el elemento parásito es más corto se llama director y cuando es más largo, reflector.
- Se pueden conseguir diagramas de radiación de tipo longitudinal bastante directivos con el diseño adecuado incluyendo un mayor número de reflectores o de directores



Antenas con elementos pasivos. Antenas Yagi

Una antena radiante induce en un conductor próximo a ella una corriente. Esta corriente genera una radiación que se añade a la de la antena. El diagrama de radiación de la antena dependerá de la posición del conductor (pues de ello depende la amplitud y fase de la corriente inducida).

Al conductor se le denomina **elemento pasivo** (o parásito). Si éste se encuentra en el lado opuesto al del lóbulo principal de radiación, se le denomina **REFLECTOR**. Si se encuentra en el lado opuesto se denomina **DIRECTOR**.

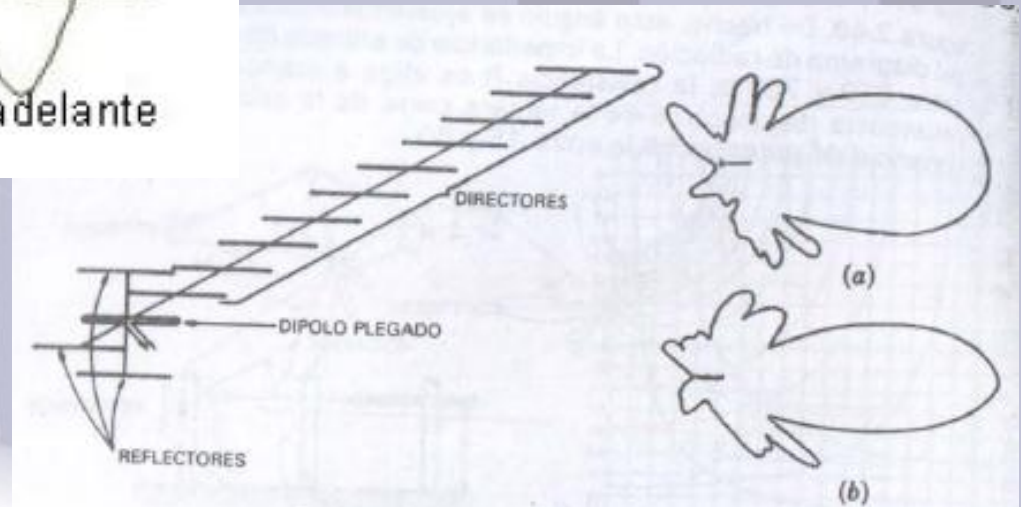


Antenas con elementos pasivos. Elemento reflector.

Se tiene un elemento parásito B de longitud $\lambda/2$ situado de forma paralela a una distancia $\lambda/4$ de un dipolo A alimentado. La onda que le llega a B tiene un desfase de 90° con respecto a la saliente de A. En B se induce una corriente que según la ley de Lenz se opone al efecto producido. Se crea una corriente desfasada 180° comienza a crearse en B (lo que supone un retraso de 270° con respecto a la que sale de A). Esto supone una onda constructiva en el sentido BA (lóbulo principal) y una onda destructiva en el sentido AB que impide la propagación en ese sentido.

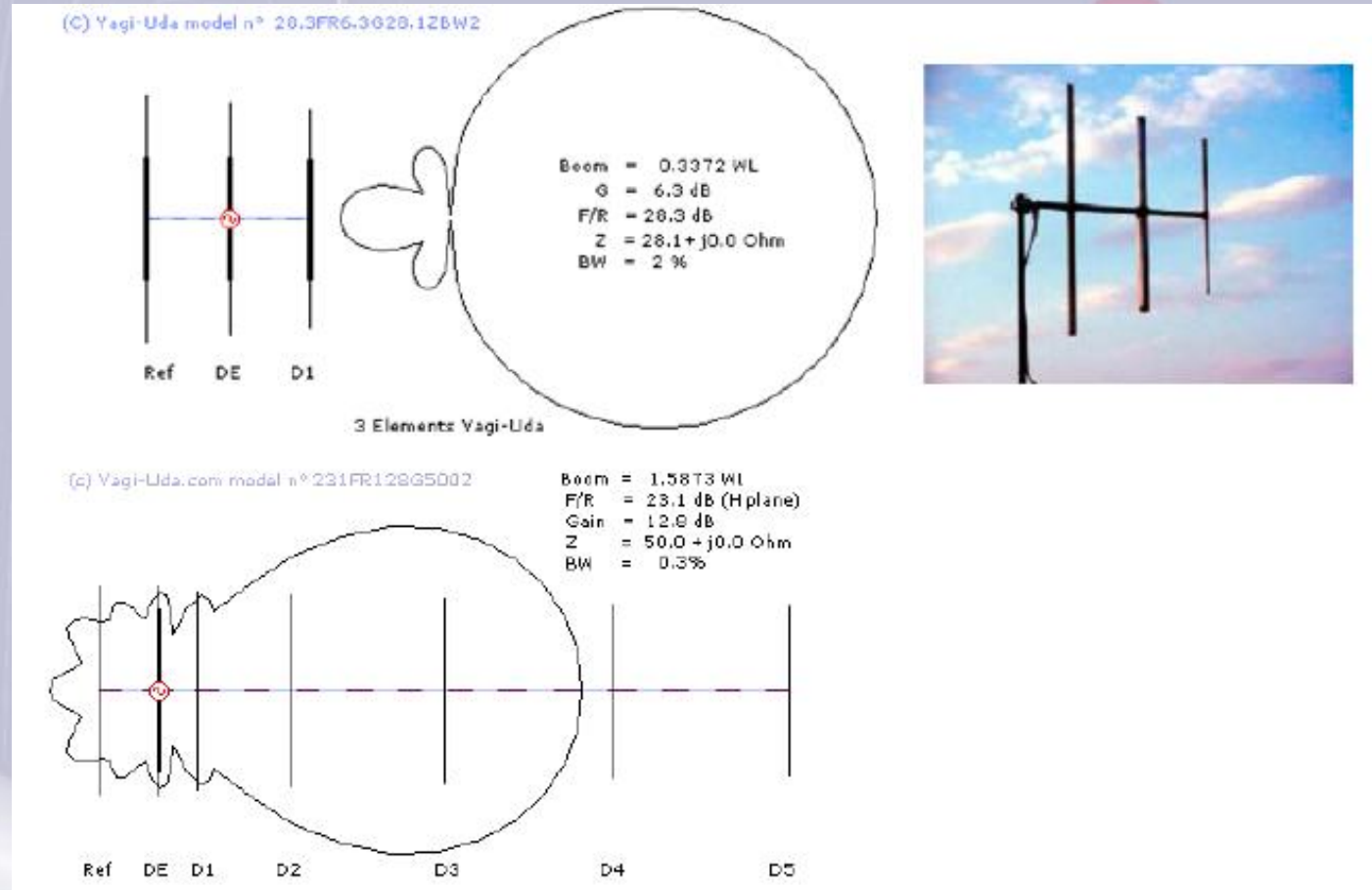


Antenas con elementos pasivos. Elemento director.

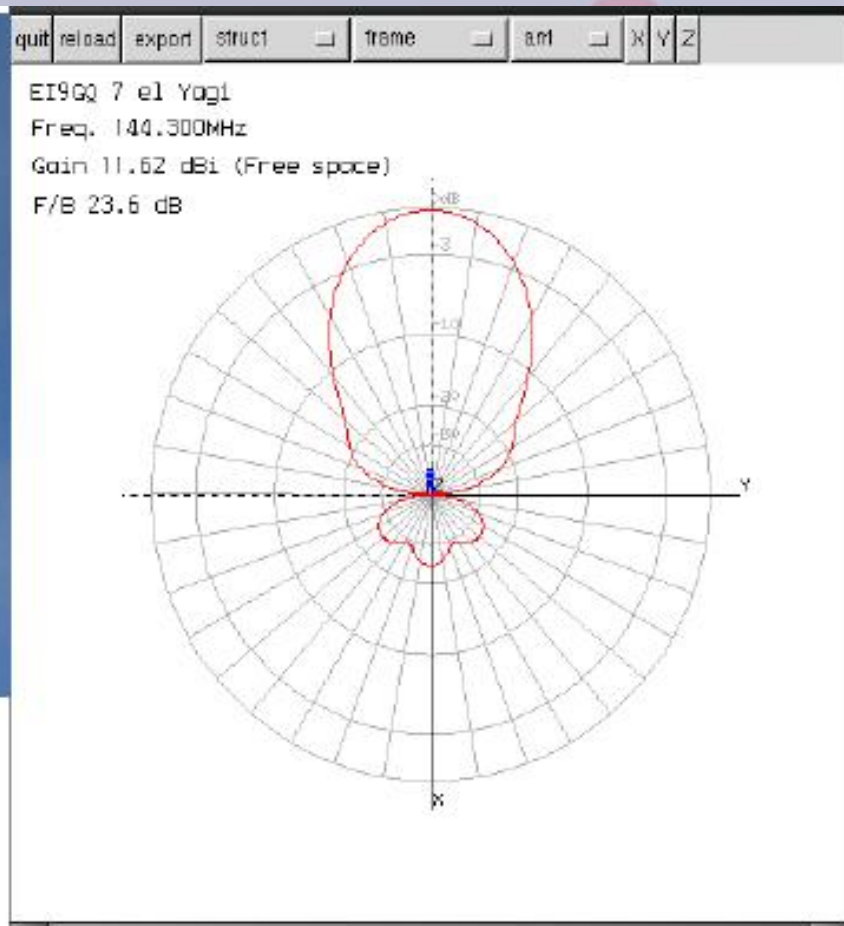


Antenas Yagi.

La relación entre las corrientes de los elementos activo y parásitos se puede controlar acortando o alargando el elemento parásito y la distancia de separación

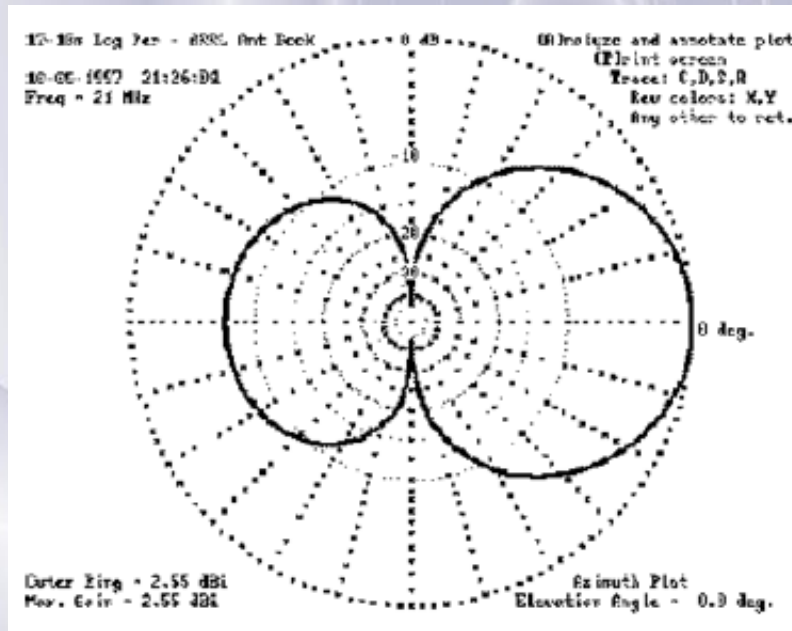


Antenas Yagi



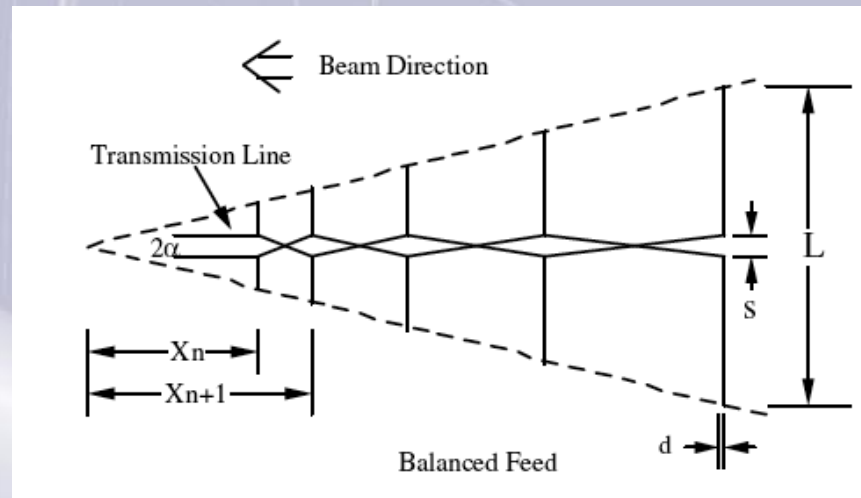
Antenas LogPeriódicas

Si se representa gráficamente cualquier parámetro de la antena en función del logaritmo de la frecuencia, se observará que presenta un comportamiento periódico cuyo periodo $\log t$. Es por este motivo que a estas estructuras se las llama logoperiódicas.



Antenas LogPeriódicas

- La antena Log-periódica es una antena multibanda, es decir se puede emplear en un ancho de banda de frecuencias. (cuya relación puede variar de 1 a 20)
- Normalmente tienen una ganancia entre 6 y 10 dB
- Son bastante directivas
- Formada por diferentes dipolos alimentados por una misma línea
- La impedancia de entrada de la antena en función de la frecuencia es una curva logarítmica (de ahí su nombre).
- Se utiliza principalmente en HF y fueron diseñadas para la recepción de TV



Efecto del suelo y otras antenas

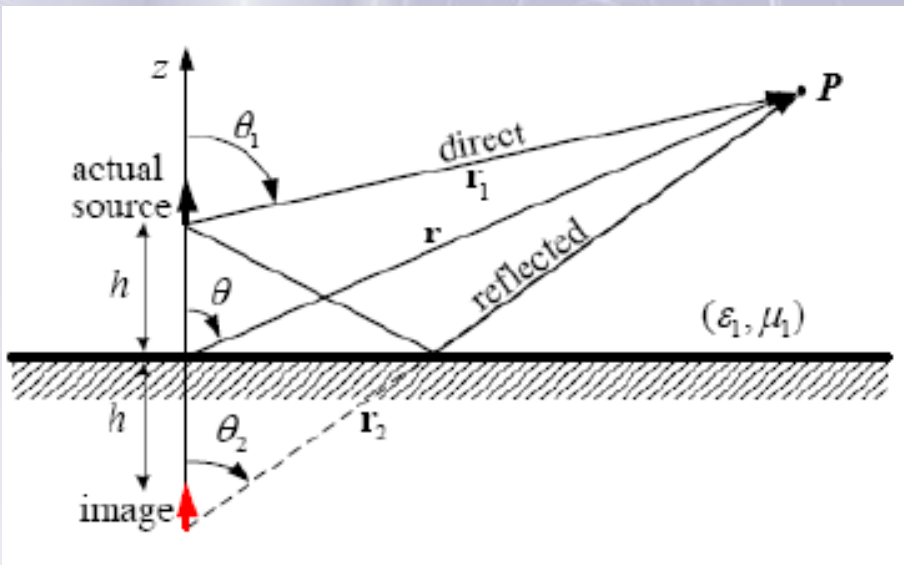
Antenas y efecto del suelo

La presencia de obstáculos próximos puede alterar el DR de la antena. El caso más habitual es la presencia de la Tierra, que refleja la energía radiada hacia ella en mayor o menor medida según su conductividad.

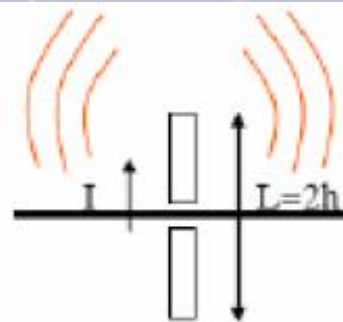
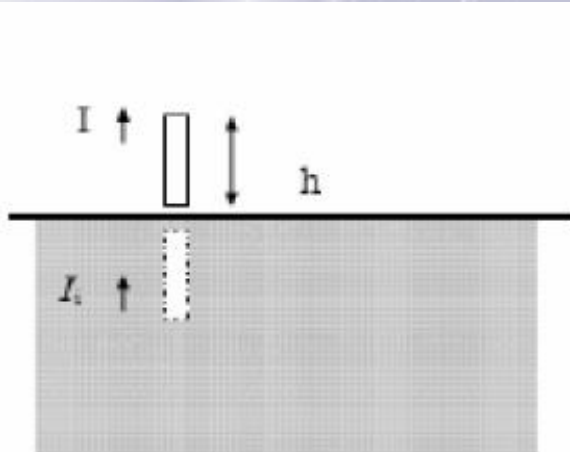
Supondremos que la Tierra es un conductor plano perfecto. El Teorema de las Imágenes dice que podemos sustituir la antena y el conductor por un esquema equivalente en el que no hay conductor.

Una antena conectada por su base al suelo, tendría el efecto de una antena prolongada. La antena de longitud $\lambda/4$ conectada a tierra tendrá un diagrama de radiación idéntico al de un dipolo de media onda (salvo en recepción, pues solo se recibe por encima del suelo...)

Antenas frente a planos con masa. Imágenes.



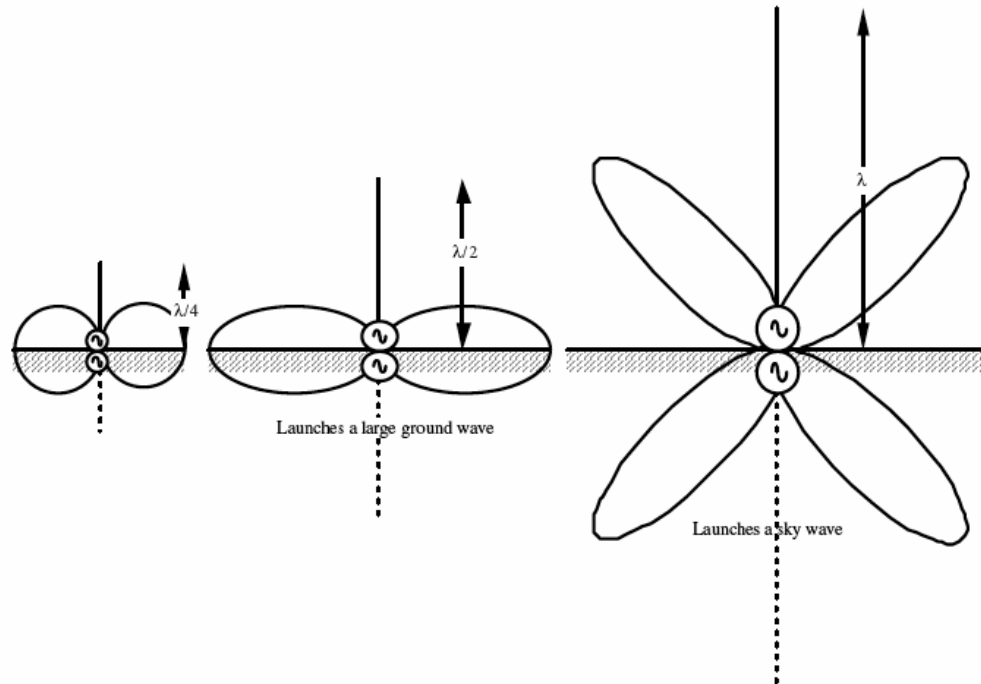
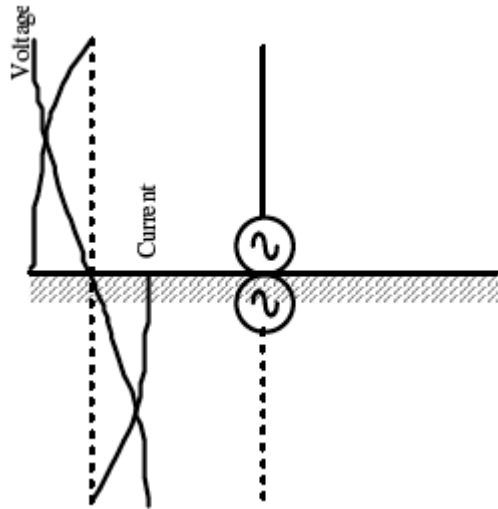
El campo en el punto de observación P es una superposición de los campos de la fuente real y la fuente imagen, ambos radiando en un medio homogéneo. La fuente real es un elemento de corriente (dipolo)



El total de potencia radiada de un monopolo es la mitad de la potencia radiada por su dipolo homólogo, ya que irradia en la mitad del espacio (pero su ámbito es el mismo). Como resultado de ello, el haz de ángulo sólido del monopolo es la mitad que el del dipolo respectivo y su directividad es el doble que la del dipolo

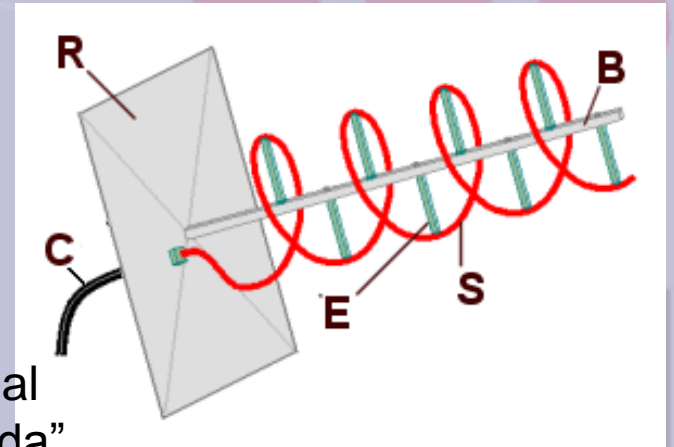
Antena de Marconi

Antena dipolar de $\lambda/4$ con uno de los extremos "enterrados" en Tierra y con una impedancia de unos 37Ω . El efecto "espejo" de la Tierra es el de aumentar (doblar) la longitud de la antena



Antena Helicoidal

- ❑ La antena de Marconi radia hacia los laterales, en forma de “donut”. La antena helicoidal consigue radiar “de frente” “end fire”
- ❑ Se suele utilizar en VHF y UHF para comunicaciones via satélite
- ❑ La circunferencia de las “helices” es del orden de magnitud de la longitud de onda emitida
- ❑ En la base de la antena se coloca una tierra artificial con una superficie equivalente al cuadrado de “lambda”
- ❑ Emite una onda polarizada circularmente
- ❑ $R_{rad} = 140 \text{ ohm}$; Ganancia=70; ancho de haz= 50° (valores típicos)



Antena helicoidal

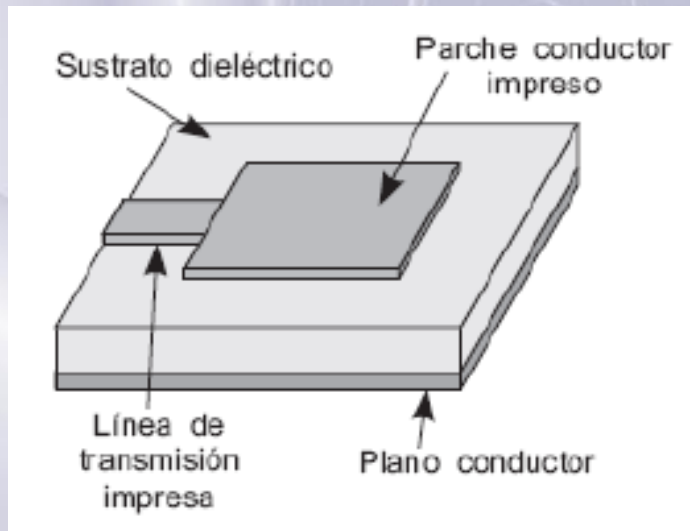


Antenas Impresas

Antenas impresas (microstrip)

La antena microstrip es una extensión de la línea de transmisión microstrip.

- Sus dimensiones se eligen de forma que el “parche” disipe la potencia en forma de radiación.
- Se conciben por primera vez en los 50 aunque sólo a partir de los 70 se trabaja activamente en ellas.



■ Estructura:

- Parche metálico (dimensiones comparables a λ)
- Substrato dieléctrico sin pérdidas
grosor: $0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$
constante dieléctrica: $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$
- Plano de masa

ANTENAS IMPRESAS

INCONVENIENTES

- Pequeño ancho de banda (salvo configuraciones especiales)
- Limitación de potencia radiada
- Baja eficiencia

VENTAJAS

- Planas y ligeras
- Fáciles y baratas de fabricar en grandes cantidades
- Compatibles con circuitos microstrip y dispositivos de estado sólido (antenas activas)
- Fácil construcción de agrupaciones

APLICACIONES

(entre 400 MHz y 40 GHz)

- Antenas de terminales móviles
- Antenas de WiFi
- Antenas embarcadas en aviones
- Biomedicina: hipertermia, etc.
- Teletac autopistas

Antenas impresas (microstrip) (II)

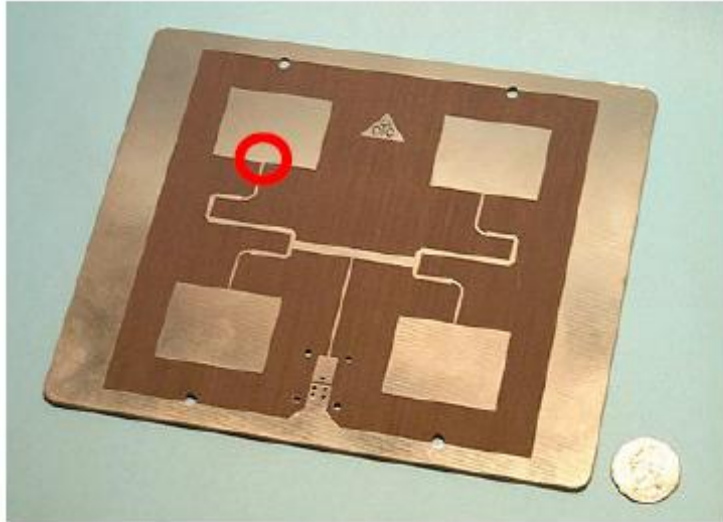
Ventajas:

- Bajo perfil
- Conformables a estructuras
- Fabricación sencilla y barata
- Robustas
- Combinables con circuitos integrados de microondas
- Versátiles en la elección de la frec. de resonancia o la polarización.

Limitaciones:

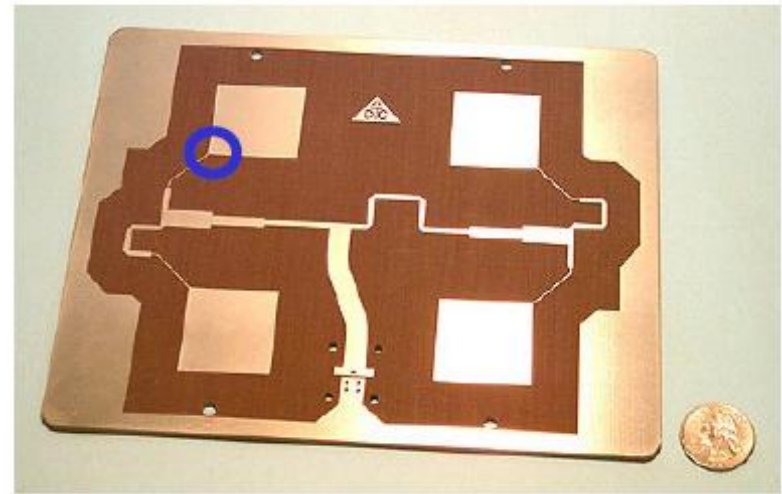
- Reducido ancho de banda, por tratarse de una estructura resonante
- Baja eficiencia, puesto que de la energía acumulada en la cavidad formada entre el parche y el plano de masa sólo una pequeña porción es radiada al espacio
- Pobre pureza de polarización
- Radiación espúrea de las líneas

ANTENAS IMPRESAS



Agrupación 2x2 de antenas impresas con polarización lineal

Agrupación 2x2 de antenas impresas con polarización circular



Las antenas impresas pueden conformarse fácilmente a superficies curvadas, como el fuselaje de un avión.

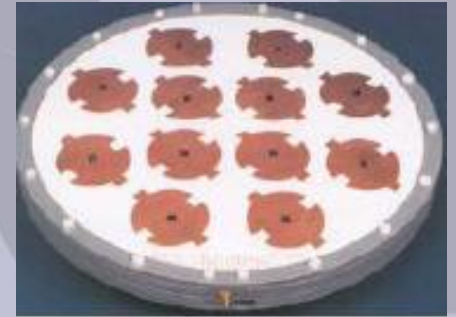


Fotos cortesía del Laboratoire d'Electromagnétisme et d'Acoustique, EPFL, Suiza

Antenas impresas (microstrip) (III)

Aplicaciones

- Antenas embarcadas en misiles
- Altímetros radar en aviones
- Antenas de exploración radar en satélites
- Sistemas GPS
- Telefonía móvil
- Comunicaciones móviles por satélite
- Aplicadores de calor en medicina (hipertermia)



Antenas impresas (microstrip) (IV)

FORMAS HABITUALES DE PARCHES



Cuadrado



rectangular



dipolo



circular



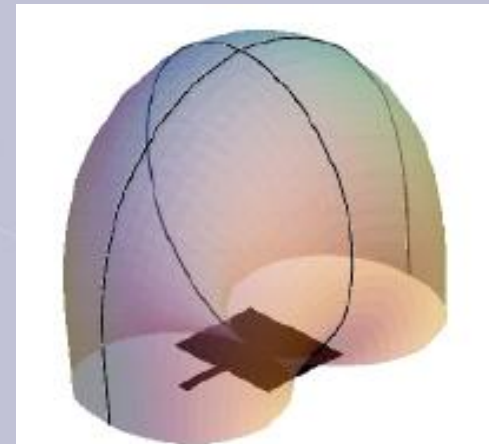
elíptico



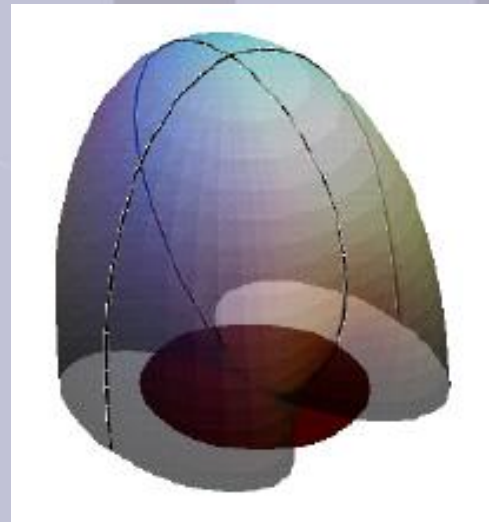
triangular



anillo



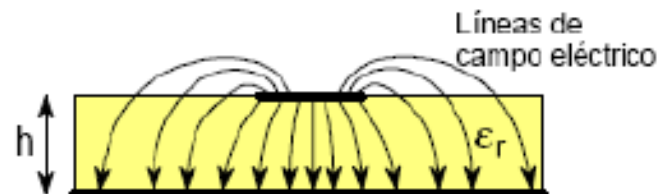
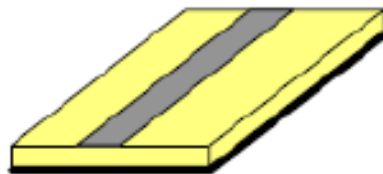
Diagramas de radiación



Antenas impresas (microstrip) (V)

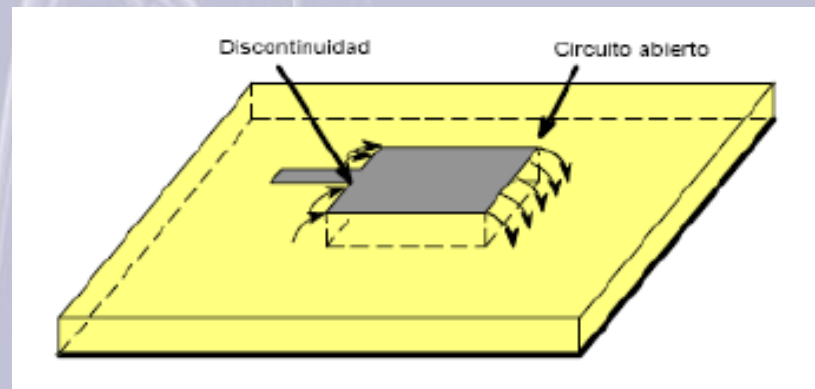
■ Modo de funcionamiento

La línea de transmisión microstrip



- Se propaga un modo cuasi-TEM
- La mayor parte del campo está confinado en el dieléctrico
- Propiedades del dieléctrico:
 1. Eléctricamente delgado ($0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$), para evitar fugas y ondas superficiales
 2. Permitividad alta ($3 \leq \epsilon_r \leq 10$), para que las líneas de campo estén confinadas entorno a la línea microstrip.

Antenas impresas (microstrip) (VI)

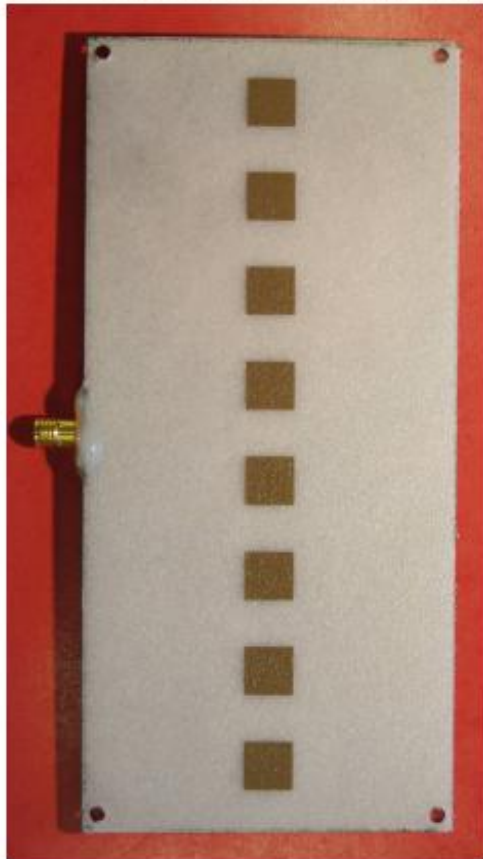


- El efecto de bordes se manifiesta en los cuatro costados y depende del grosor y la permitividad del dieléctrico.
- La presencia de discontinuidades de tamaño comparable a λ fuerza la radiación de la estructura.

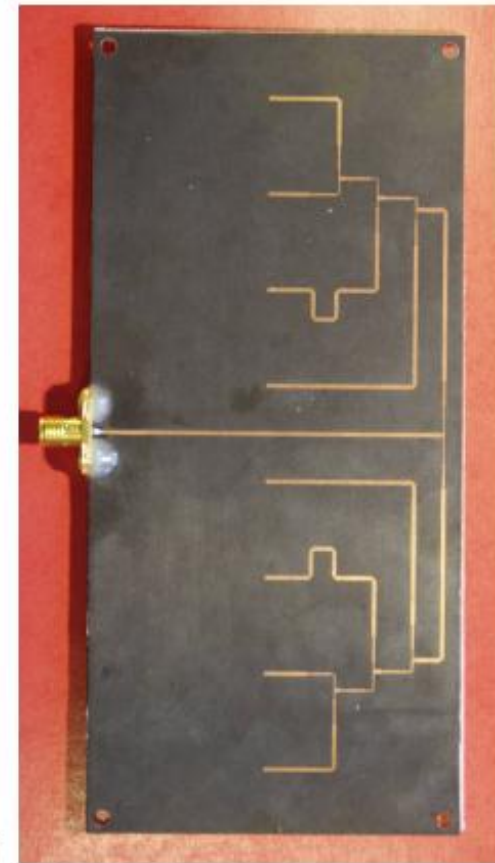
Antenas impresas (microstrip)

La red de alimentación va por debajo del sustrato y acopla la señal a los parches capacitivamente.

Vista superior

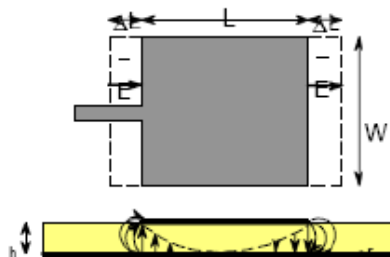


Vista inferior



Antenas impresas (microstrip) (VII)

Modelo de línea de transmisión



Frecuencia de trabajo:

$$f_r \approx \frac{c_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}}$$

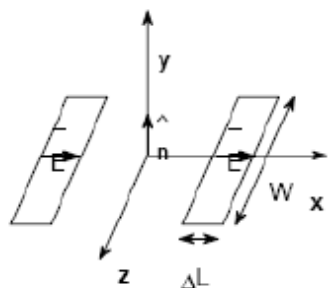
Anchura del parche:

$$W \approx \lambda_g/2$$

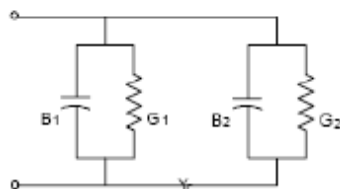
- El parche equivale a dos ranuras de dimensiones $W \times \Delta L$
- La longitud L se elige para que haya una inversión de fase y la radiación de ambas ranuras se suma en fase. $L = \lambda_g/2$
- La radiación de los flancos laterales del parche se cancela entre sí.



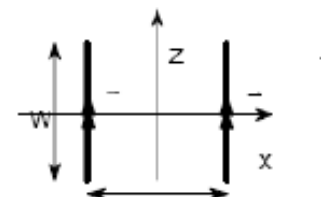
Diagramas de radiación



Antena equivalente



Circuito equivalente



$$d < \lambda/2$$

Campo radiado: Por el principio de equivalencia, el debido a dos hilos de corriente uniforme,

Antenas impresas (microstrip) (VIII)

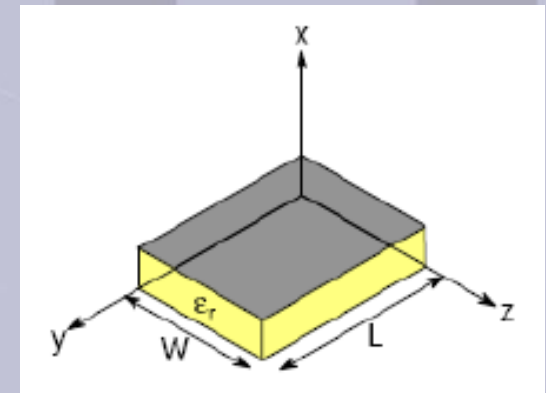
- La antena microstrip tiene un comportamiento parecido al de una cavidad
- En el interior de la cavidad se producen ondas estacionarias
- Se admiten diversos modos atendiendo a las condiciones de contorno de las paredes
- El comportamiento es equivalente a un circuito resonante con pérdidas
- A la frecuencia de resonancia la potencia se consume en resistencia de radiación.

$$\nabla^2 A_x + k^2 A_x = 0$$

$$A_x = A_{0np} \cos\left(\frac{n\pi}{L} y'\right) \cos\left(\frac{p\pi}{W} z'\right)$$

Frecuencia de resonancia

$$(f_r)_{0np} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2}$$



Antenas impresas (microstrip) (IX)



Modo dominante, TM_{010}

$$(f_r)_{010} = \frac{c_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}}$$



Modo de segundo orden, TM_{020}

$$(f_r)_{020} = \frac{c_0}{L\sqrt{\epsilon_r}}$$

Se pueden excitar otros modos de orden superior al

TM_{010} ($L > W$)

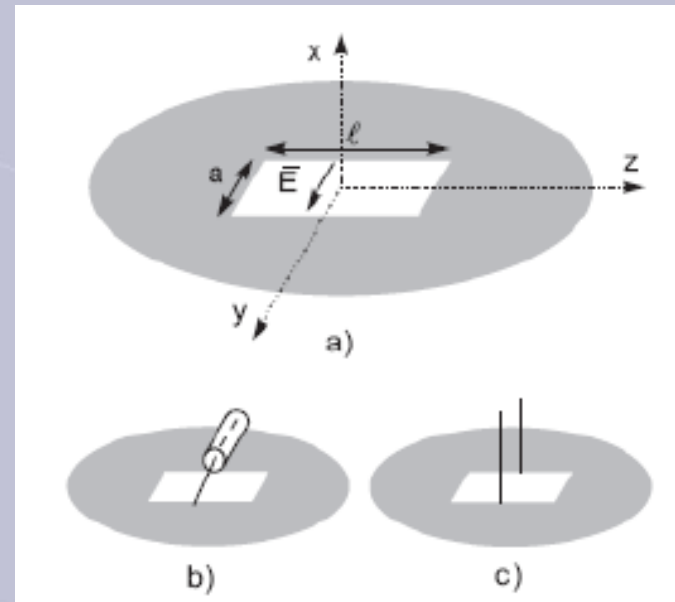
Es el caso del

TM_{020} cuando las dimensiones son $L > 2W$

Ranuras

Una **ranura** es un corte en un conductor metálico que se alimenta conectando en sus bordes una línea de transmisión bifilar o coaxial, o bien mediante una cavidad.

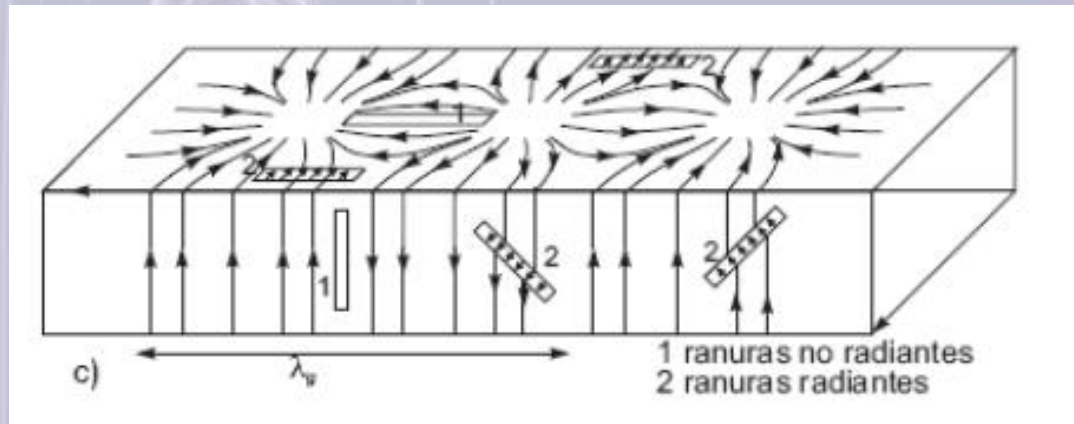
Si la dimensión longitudinal l de la ranura es comparable a λ , la distribución de campo en la ranura será aproximadamente sinusoidal y similar en su forma a la de la corriente en un dipolo.



- ✚ Antenas elementales de utilidad en arrays
- ✚ De alta eficiencia
- ✚ Banda estrecha
- ✚ Directividad media/baja al tener un tamaño comparable a λ

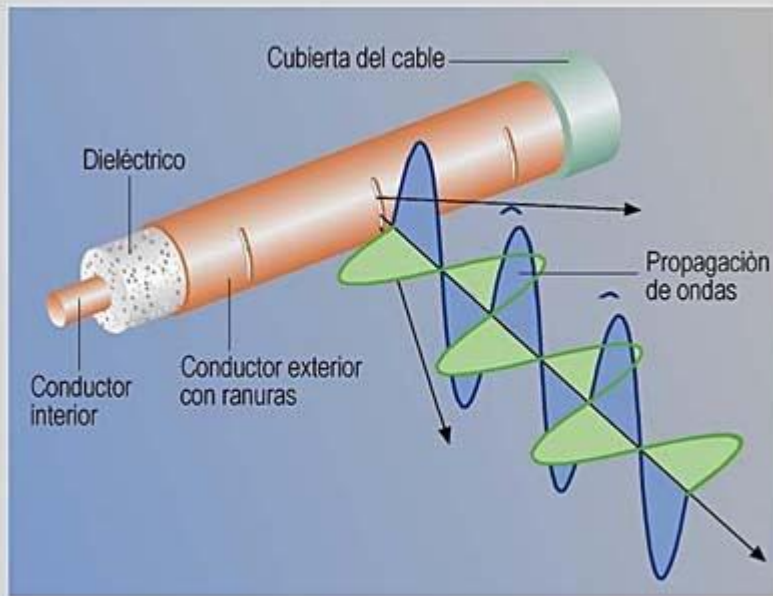
Ranuras

En microondas es frecuente también el uso de guías con ranuras excavadas en sus paredes



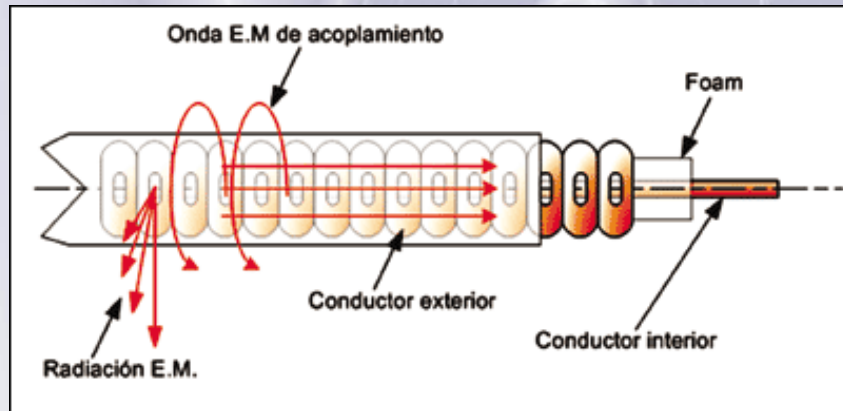
La excitación de las ranuras se produce cuando éstas interceptan líneas de corriente

Cable radiante...



Detalles

El cable radiante se tiende a lo largo del tramo por el que pasan las estaciones móviles, por ejemplo, en la vía de un monorraíl suspendido. Gracias a su especial característica de radiación, hace las veces de antena que se tiende como cable, y garantiza un entorno inalámbrico fiable incluso en lugares donde sería complicado conseguirlo con antenas omnidireccionales o direccionales



Como se muestra en la Figura, a través de las ranuras practicadas en la cubierta conductora exterior, parte de la energía E.M transmitida por el conductor interior puede ser irradiada hacia el exterior del cable. Al mismo tiempo, las emisiones E.M del exterior pueden ser transferidas hacia el interior del cable, de manera que las funciones de transmisión y recepción puedan ser realizadas en forma simultánea en toda la longitud de éste.

RANURAS



Utilización de antenas según la frecuencia

Utilización de Antenas según su frecuencia

- En frecuencias bajas se suelen utilizar antenas Marconi colocadas sobre una tierra artificial (conductores en su base)
- En frecuencias medias que corresponden a las empleadas en radio con amplitud modulada (AM) también se emplean antenas Marconi
- En frecuencias altas HF (3MHz-30 MHz) se utilizan antenas rómbicas y log-periódicas, así como dipolos plegados y agrupaciones
- En las frecuencias VHF se utilizan agrupaciones de antenas con dipolos simples (Antenas Yagi)
- En frecuencias VHF (30MHz-300 MHz) y UHF (300 MHz - 3 GHz) antenas log-periódicas, tubulares o helicoidales
- En frecuencias superiores SHF (3GHz-30GHz) y EHF (30GHz-300GHz) se emplean parabólicas , de bocina y lenticulares.