

Antenas de hilo

Grupo de Electromagnetismo Aplicado
Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad Carlos III de Madrid

Luis Inclán Sánchez

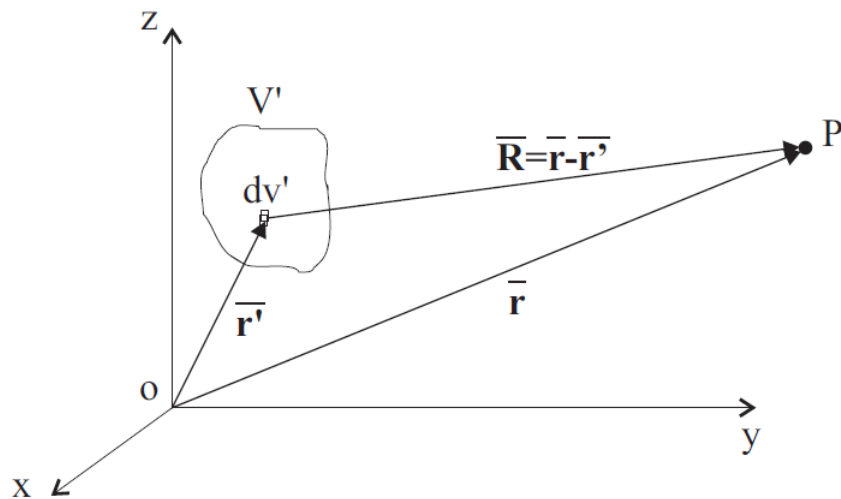
- Lazo infinitesimal
- Dipolo de longitud finita
- Corriente uniforme
- Corriente senoidal
- Ejemplos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Distribución de corriente arbitraria



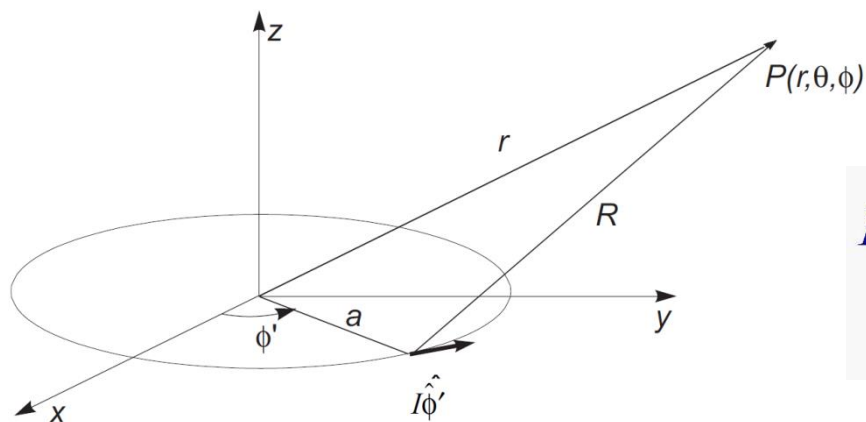
Potenciales electrodinámicos

Hilo corriente

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_{V'} \vec{J}(\vec{r}') \frac{e^{-jkR}}{R} dv'$$

$$\vec{H} = \nabla \times \vec{A}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \times \vec{H}$$



$$R = \sqrt{r^2 + a^2 - 2ar \sin \theta \cos(\phi - \phi')}$$

$$\approx \sqrt{r^2 - 2ar \sin \theta \cos(\phi - \phi')}$$

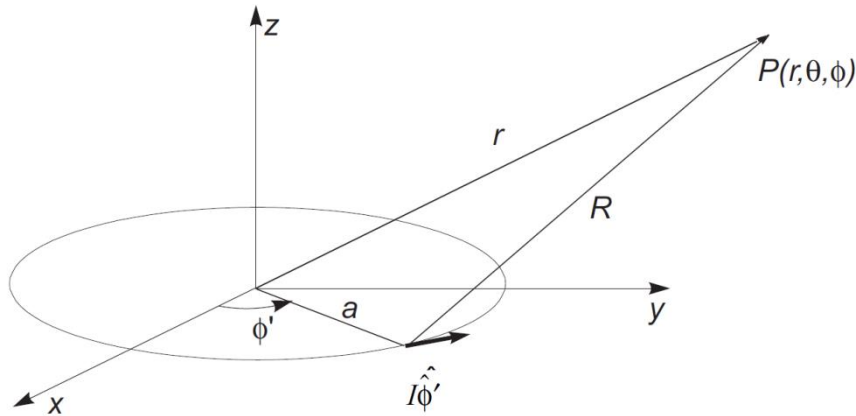
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

CAMPO RADIADO POR UN LAZO INFINITESIMAL (I)



Lazo infinitesimal
Que excita una corriente
uniforme espacialmente

$$a < \frac{\lambda}{6\pi}$$

$$E_r = E_\theta = 0$$

$$E_\phi \cong \eta \frac{(ka)^2 I_o e^{-jkr}}{4r} \sin \theta$$

$$H \sim E_\phi$$

$$H \sim \frac{(ka)^2 I_o e^{-jkr}}{4r} \sin \theta, H_z = 0$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

CAMPO RADIADO POR UN LAZO INFINITESIMAL (II)

Intensidad de radiación:

$$U = r^2 W_r = r^2 \left[\frac{1}{2\eta} |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 \right]$$

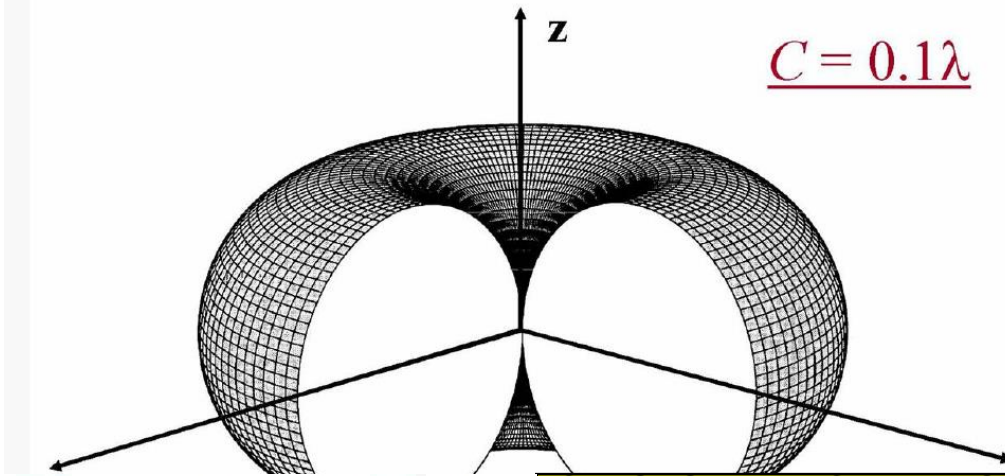
$$= \frac{\eta}{2} \left(\frac{k^2 a^2}{4} \right)^2 |I_o|^2 \sin^2 \theta$$

$$U_{\max} = U|_{\theta=\pi/2} = \frac{\eta}{2} \left(\frac{k^2 a^2}{4} \right)^2 |I_o|^2$$

$C = 0.1\lambda$

$$D_o = 4\pi \frac{U_{\max}}{P_{rad}} = \frac{3}{2}$$

$$A_{em} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_o = \frac{3\lambda^2}{8\pi}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CAMPO RADIADO POR UN DIPOLO INFINITESIMAL (III)

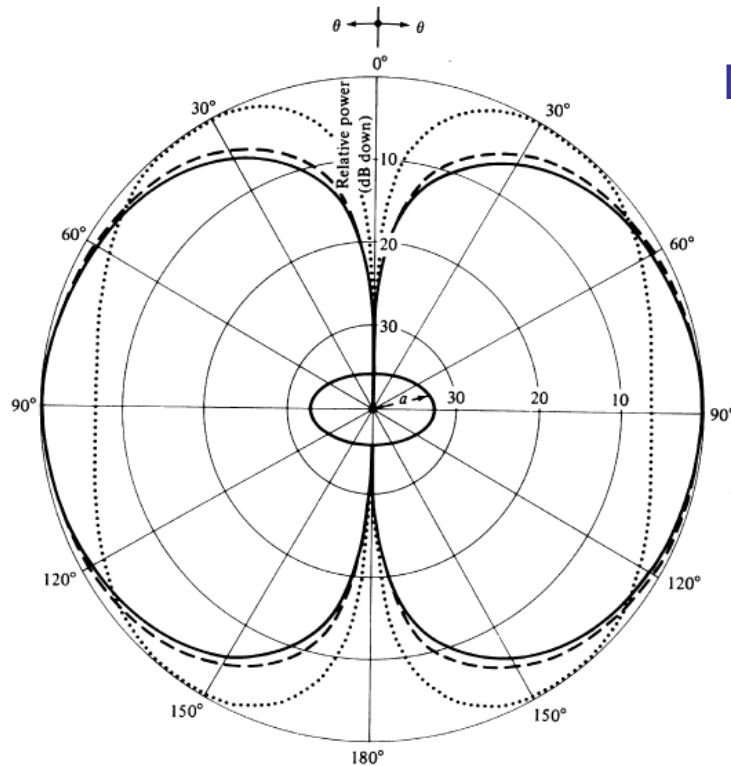


Diagrama en función del radio de la espira

— $a = 0.1\lambda$
- - - $a = 0.2\lambda$
..... $a = 0.5\lambda$

- El diagrama (la forma) para la espira infinitesimal es el mismo que para el dipolo infinitesimal de corriente uniforme
- En la espira el campo radiado tiene dirección Φ (ϕ) mientras que el

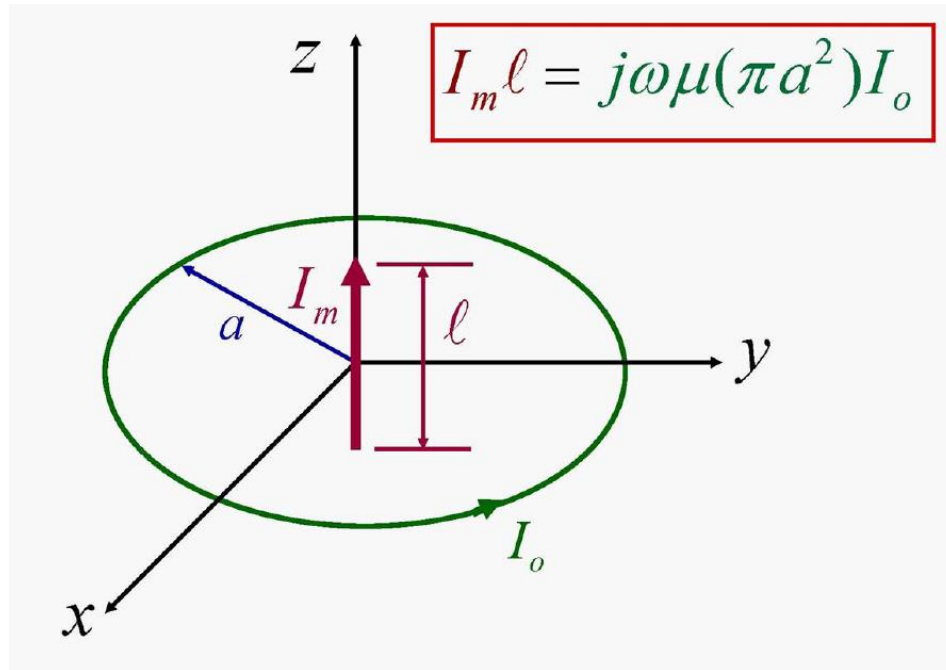
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Equivalencia con el Dipolo magnético:



$$I_m l = j\omega\mu I_o S, S = \pi a^2$$

Momento dipolar magnético

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

❑ Anexo matemático

❑ Potencial vector en aproximación de campo lejano. Es una función de variables espaciales

- El potencial tiene la forma de funciones de Bessel
- Para radios pequeños la función de Bessel se aproxima por su argumento (en realidad la mitad)
- Se obtiene el campo radiado derivando

$$A_{\varphi}(\theta, 0) = \frac{\mu}{4\pi} (I_0 a) \frac{e^{-j\beta r}}{r} \int_0^{2\pi} \cos \varphi' \cdot e^{j\beta a \sin \theta \cos \varphi'} d\varphi' \quad \int_0^{\pi} \cos(n\varphi) e^{jz \cos \varphi} d\varphi = \pi j^n J_n(z).$$

$$A_{\varphi}(\theta) = \frac{\mu}{4\pi} (I_0 a) \frac{e^{-j\beta r}}{r} \pi j [J_1(\beta a \sin \theta) - J_1(-\beta a \sin \theta)]$$

$$E_{\varphi}(\theta) = \beta \eta (I_0 a) \frac{e^{-j\beta r}}{2r} J_1(\beta a \sin \theta)$$

Para "a"
suficientemente
pequeño $\beta a < 1/3$

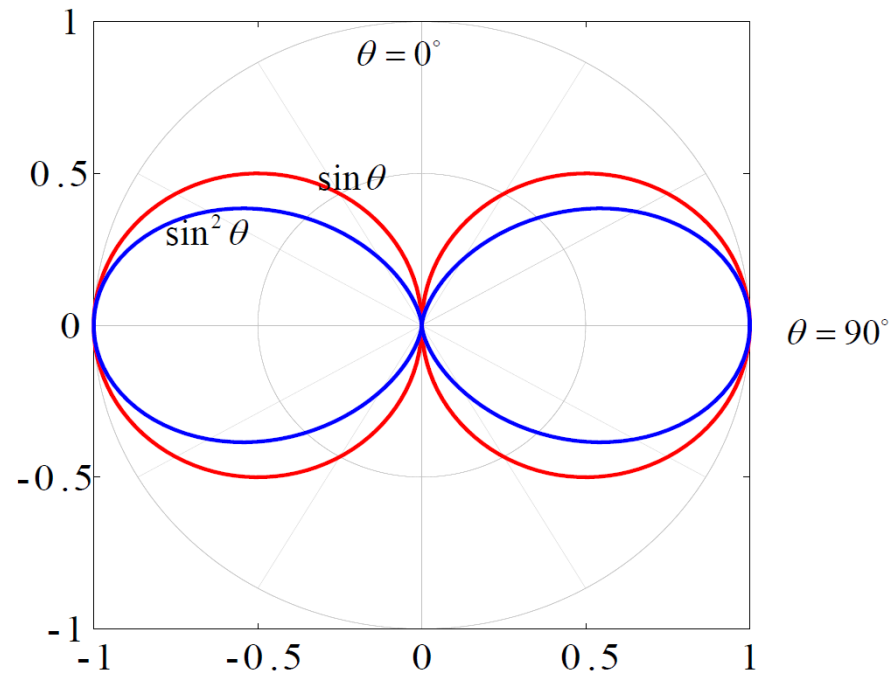
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

□ Diagramas de radiación

$$\bar{U}(\theta, \varphi) = \sin^2 \theta$$



Cartagena99

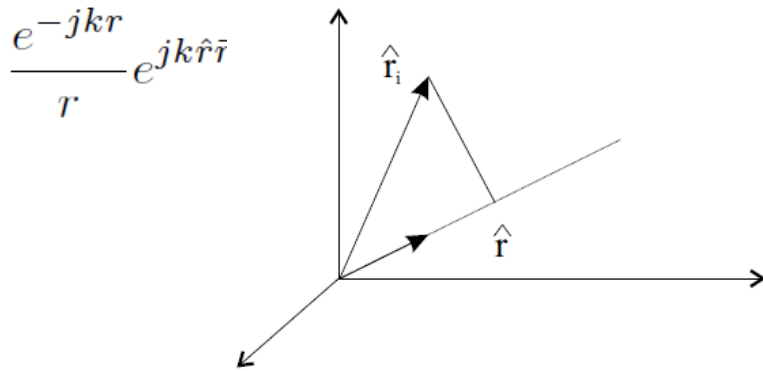
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

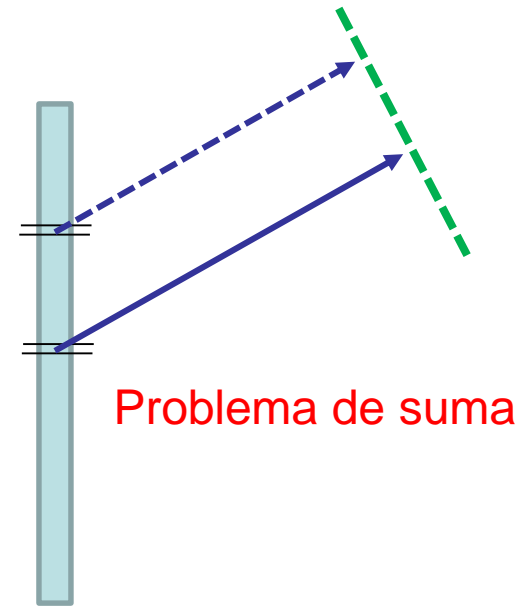
Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

8

Elementos individuales: dipolos infinitesimales



Cada elemento infinitesimal contribuye al campo radiado en una dirección en función de su posición y la excitación (amplitud y fase de la corriente en ese punto)

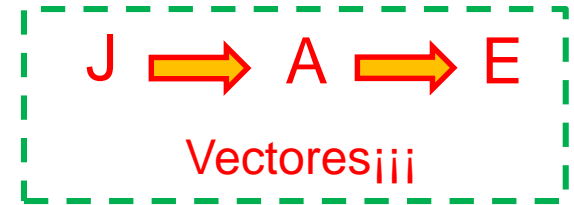


Para el campo lejano tendremos una contribución del tipo:

$$dE_{\theta} = j\eta \frac{kI(z')e^{-jkR}}{4\pi R} \sin\theta e^{jkz' \cos\theta} dz'$$

Para el campo total llegamos a

$$E_{\theta} = \int_{-l/2}^{l/2} dE_{\theta} = j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi R} \sin\theta \left[\int_{-l/2}^{l/2} I(z')e^{jkz' \cos\theta} dz' \right]$$



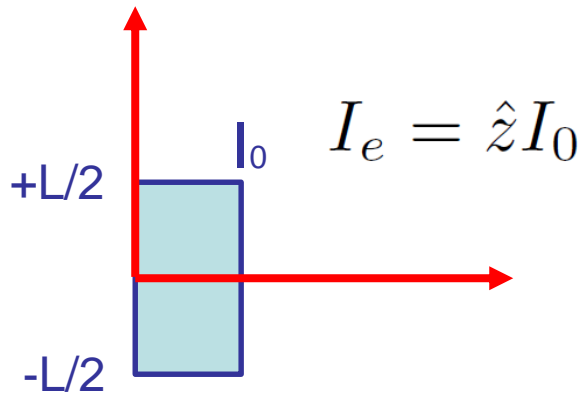
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

Dipolo de longitud finita y corriente uniforme



$$E_{\theta} = \int_{-l/2}^{l/2} dE_{\theta} = j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi R} \sin \theta \left[\int_{-l/2}^{l/2} I(z') e^{jkz' \cos \theta} dz' \right]$$

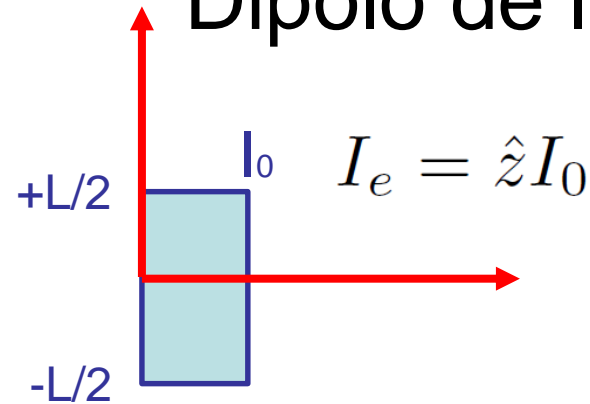
$$f(u) = \left[\int_{-l/2}^{l/2} I_e e^{jkz' \cos \theta} \right] = I_0 L \frac{\sin u}{u}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

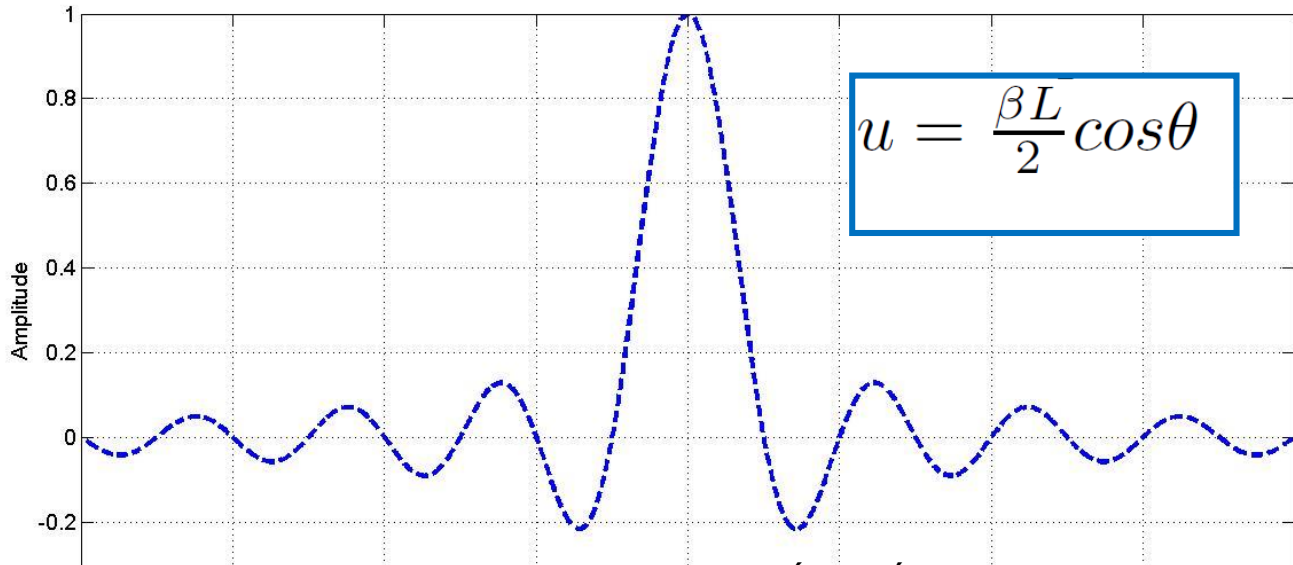
Dipolo de longitud finita y corriente uniforme



$$E_\theta = j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta I_0 L \frac{\sin u}{u}$$

Campo radiado por una corriente uniforme

$$\frac{\sin u}{u}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Dipolo de longitud finita y corriente uniforme

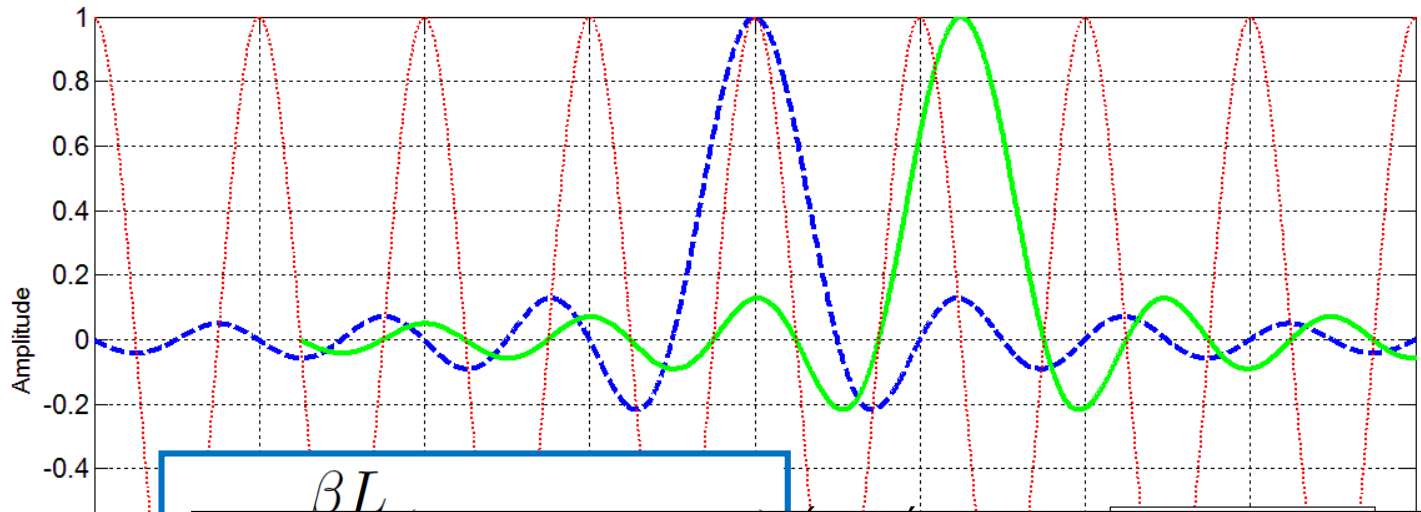
$$I_e = \hat{z} I_0 e^{j\beta_0 z'}$$

$$E_\theta = j\eta \frac{k e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta I_0 L \frac{\sin u}{u}$$

$$u = (\beta \cos\theta + \beta_0) \frac{L}{2}$$

Campo radiado por una corriente uniforme

$$\frac{\sin u}{u}$$



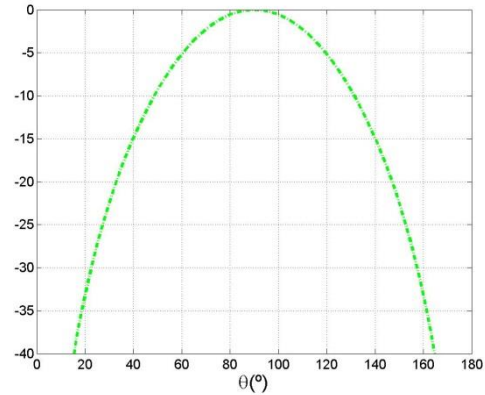
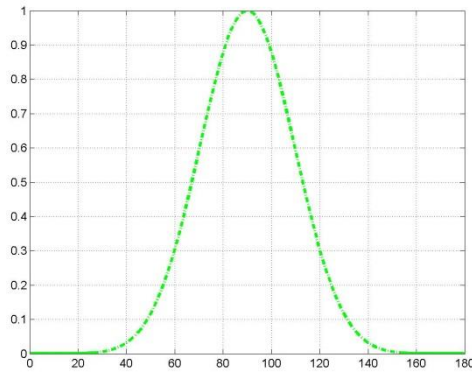
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com

Dipolo con corriente uniforme



```
%Corriente uniforme
%longitud en lambdas
L=1;
theta=0:0.01:pi;
u=L/2*2*pi*cos(theta);
rp=(sin(u)./u).^2.*(sin(theta)).^2;
mx=max(rp);
```

$$E_{\theta} = \int_{-l/2}^{l/2} dE_{\theta} = j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi R} \sin \theta \left[\int_{-l/2}^{l/2} I(z') e^{jkz' \cos \theta} dz' \right]$$



Cartagena99

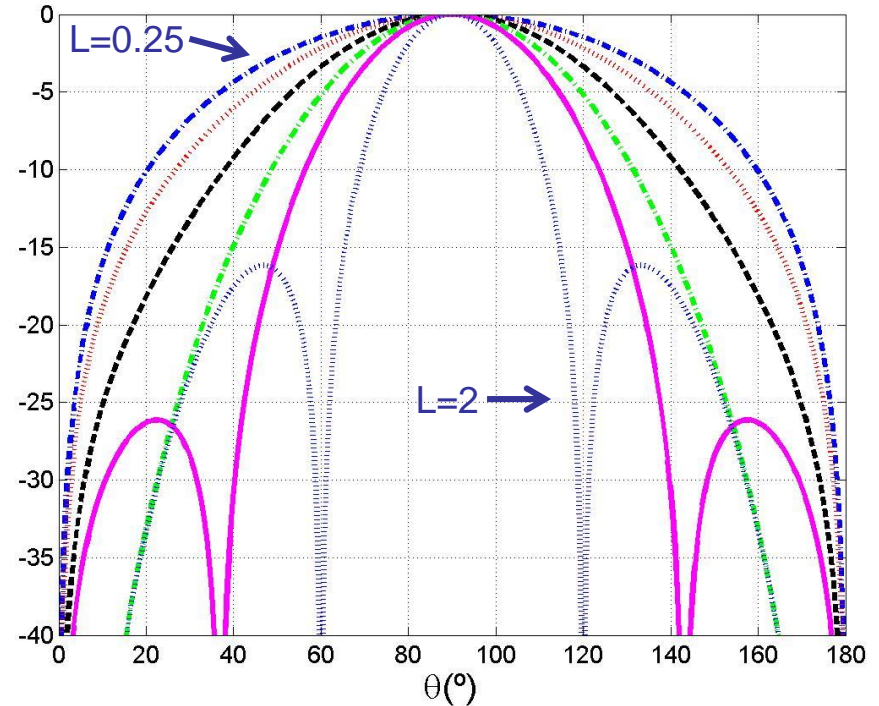
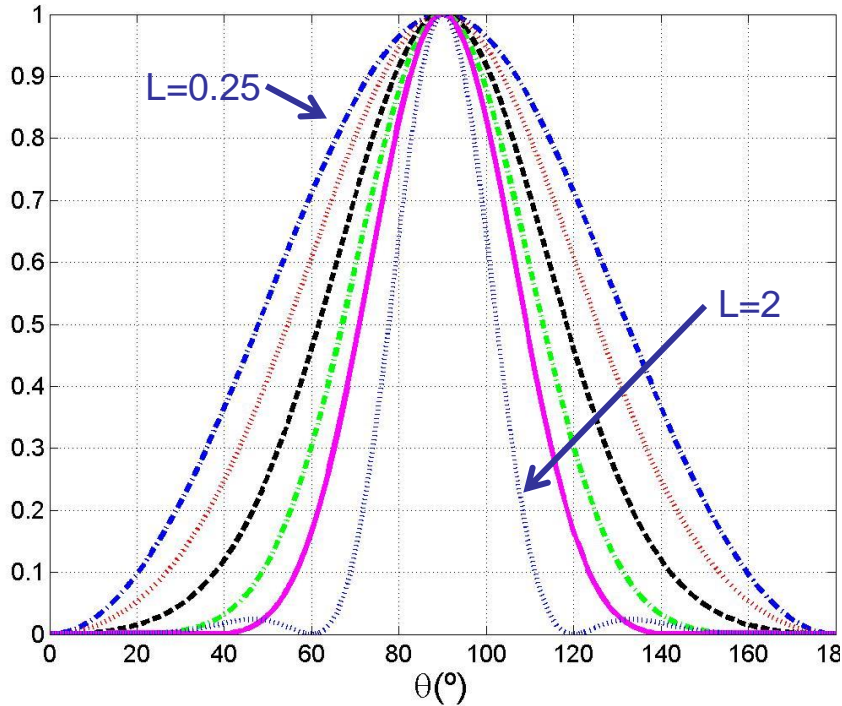
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

Dipolo con corriente uniforme

$L=0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25$ y 2 en λ s



%diagrama en unidades naturales

%diagrama en dBs

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Dipolo de longitud I:

- Tamaño finito del dipolo
- Excitación de corriente (senoidal ideal)

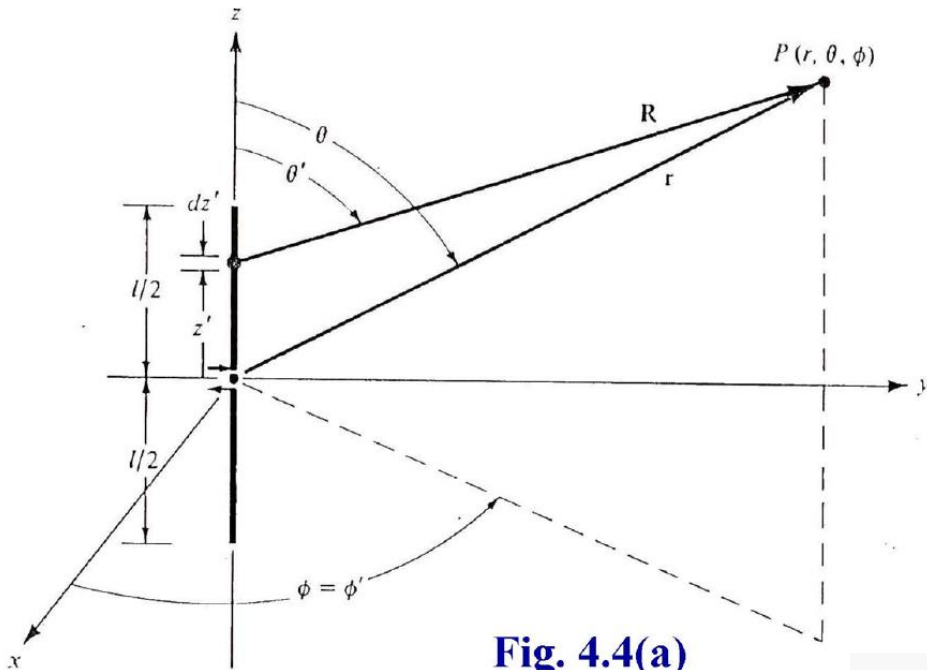
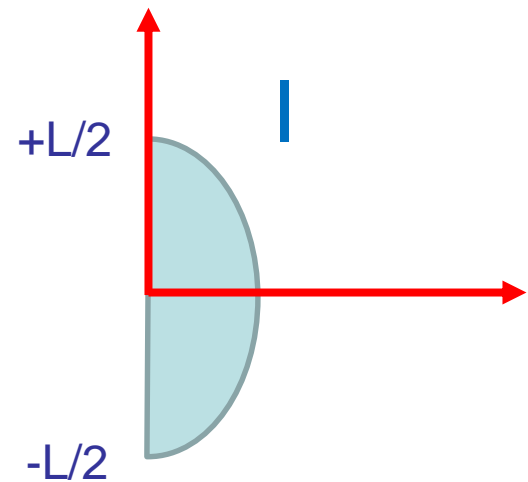


Fig. 4.4(a)



$$\underline{I}_e(z') = \hat{a}_z \begin{cases} I_o \sin \left[k \left(\frac{\ell}{2} - z' \right) \right] & 0 \leq z' \leq +\ell/2 \\ I_o \sin \left[k \left(\frac{\ell}{2} + z' \right) \right] & -\ell/2 \leq z' \leq 0 \end{cases}$$

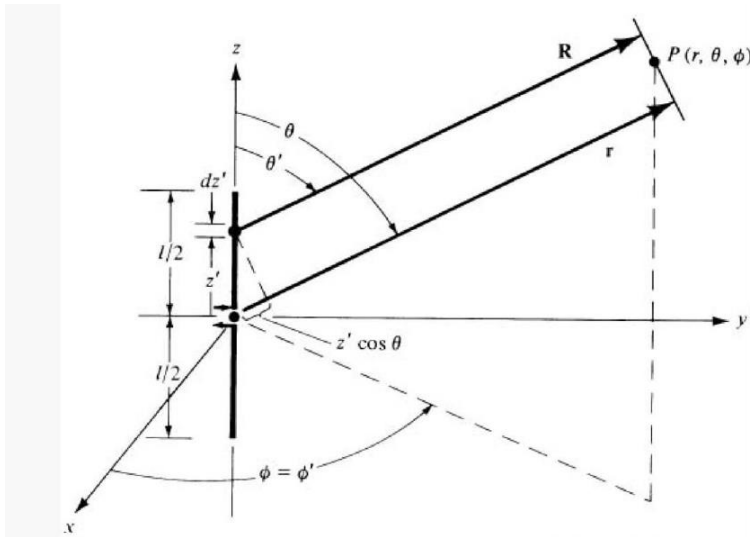
+l/2 -jkR

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Aproximación para campo lejano



$$A_z \simeq \frac{\mu}{4\pi} \int_{-l/2}^{+l/2} I_e(z') \frac{e^{-jk(r-z'\cos\theta)}}{r} dz'$$

$$A_z = \frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \int_{-l/2}^{+l/2} I_e(z') e^{jkz'\cos\theta} dz'$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

16

Dipolo de longitud finita: Campo lejano

$$dE_{\theta} \cong j\eta \frac{kI_e(z')e^{-jkR}}{4\pi R} \sin\theta dz'$$

$$\begin{aligned} dE_{\theta} &\approx j\eta \frac{k I_e(z')e^{-jk(r-z'\cos\theta)}}{4\pi r} \sin\theta dz' \\ &\approx j\eta \frac{k I_e(z')e^{-jk(r-z'\cos\theta)}}{4\pi r} \sin\theta e^{jkz'\cos\theta} dz' \end{aligned}$$

$$E_{\theta} = \int_{-l/2}^{+l/2} dE_{\theta} = j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \left[\int_{-l/2}^{+l/2} I_e(z')e^{jkz'\cos\theta} dz' \right]$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Calculo del campo radiado para una corriente ideal

- Para los detalles matemáticos se puede ver el Balanis

$$E_{\theta} = j\eta \frac{ke^{-jk r}}{4\pi r} \sin\theta \left\{ \int_{-l/2}^0 I_o \sin \left[k \left(\frac{l}{2} + z' \right) \right] e^{+jkz' \cos\theta} dz' + \int_0^{+l/2} I_o \sin \left[k \left(\frac{l}{2} - z' \right) \right] e^{-jkz' \cos\theta} dz' \right\} \quad (4-60)$$

$$\int e^{\alpha x} \sin[\beta x + \gamma] dx = \frac{e^{\alpha x}}{\alpha^2 + \beta^2} [\alpha \sin(\beta x + \gamma) - \beta \cos(\beta x + \gamma)] \quad (4-61)$$

$$\alpha = \pm jk \cos\theta, \quad \beta = \pm k, \quad \gamma = \frac{kl}{2} \quad (4-61a,b,c)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Dipolo de cualquier longitud

Antena de longitud finita

- Excitación (corriente a lo largo del dipolo) de tipo senoidal ideal
- Aproximación de campo lejano

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

$$H_{\phi} \cong \frac{E_{\theta}}{\eta}$$

$$W_{av} = W_{rad} = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2 r^2} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos\theta\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin\theta} \right]^2$$

$$F(\theta) = \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos\theta\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin\theta} \right]^2$$

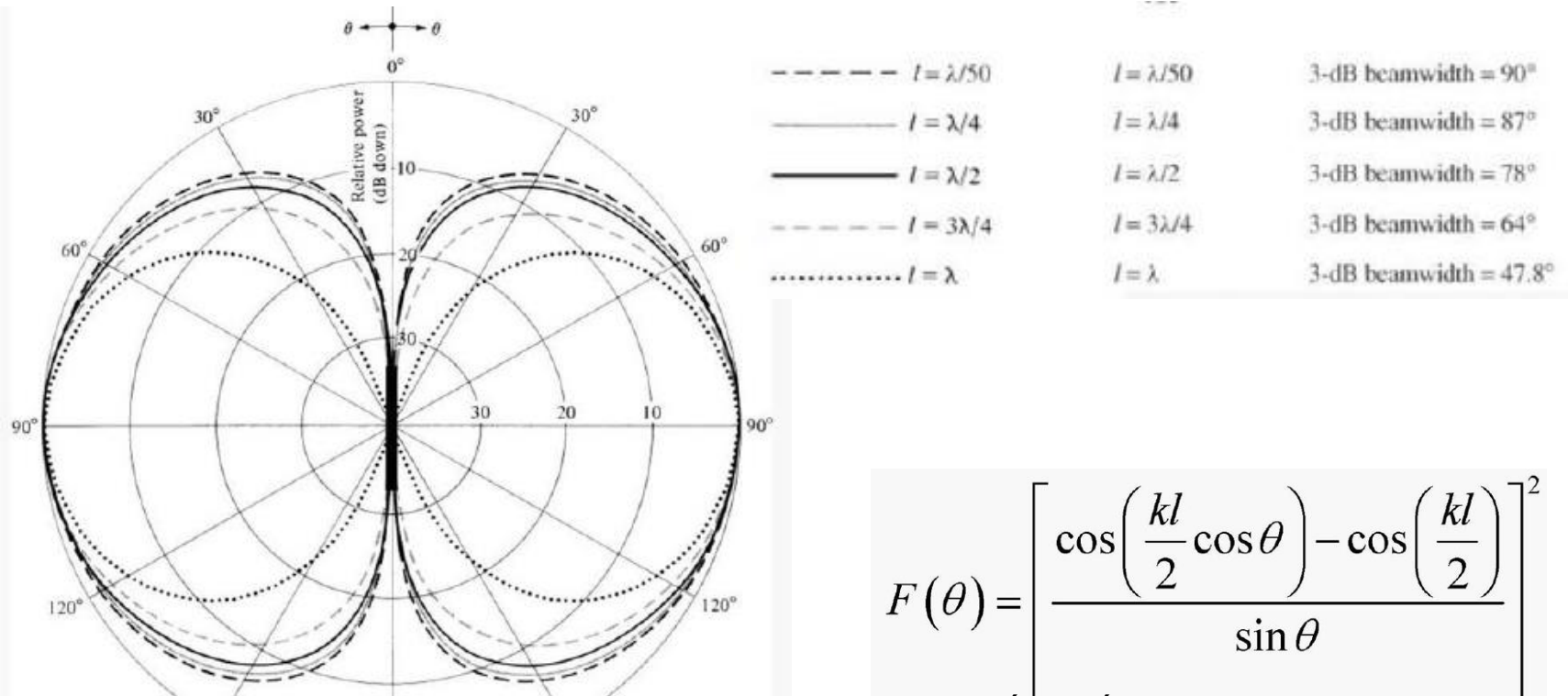
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Dipolo de cualquier longitud

Diagrama en elevación según la longitud



$$F(\theta) = \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos \theta\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin \theta} \right]^2$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

20

Dipolo lambda medios

Antena de longitud finita $l = \lambda/2$

- El diagrama tiene simetría de revolución
- El máximo estará en $\theta = \pi/2$

$$E_{\theta} \approx j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \underbrace{\left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]}_{\text{Field Pattern}}$$

$$H_{\phi} \approx j \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \underbrace{\left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]}_{\text{Field Pattern}} = \frac{E_{\theta}}{\eta}$$

Half-Wavelength Dipole ($l = \lambda/2$)

$$P_r = r^2 W = \eta |I_0|^2 \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]^2 \sim \eta |I_0|^2 \sin^3 \theta$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

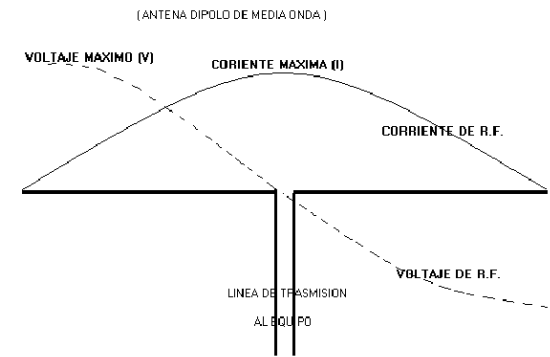
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Antenas de onda progresiva

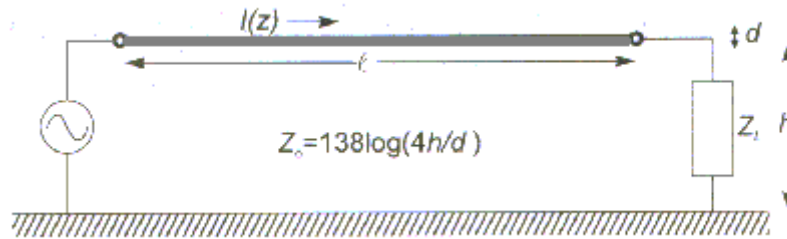
Antenas cuya excitación (corriente o tensión) típicamente de corriente tiene una variación en forma de onda progresiva (onda viajera)

$$\underline{I} = \hat{a}_z I_0 e^{-jk_z z'}$$

De alguna forma son el opuesto a las antenas resonantes (dipolos de longitud finita excitados en su centro) en las que la excitación formaba una onda estacionaria



Esquema de tensiones y corriente en un dipolo resonante



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

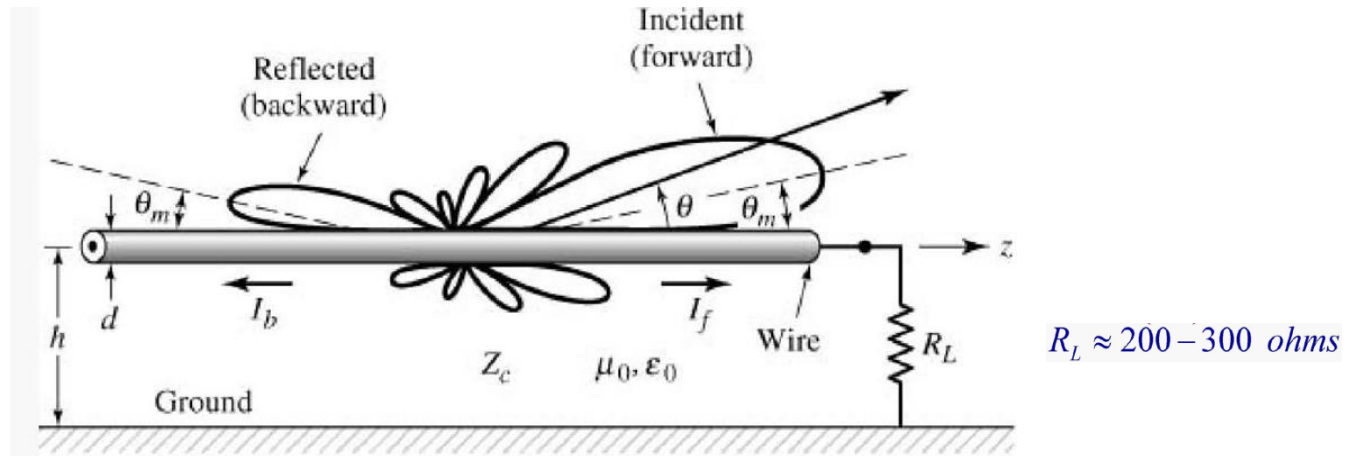
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

Antenas de onda progresiva

El hilo de corriente tiene la orientación del eje z



La carga adaptada puesta a masa evita la onda reflejada

La dirección de máxima radiación ya no es $\theta=90^\circ$

Cartagena99

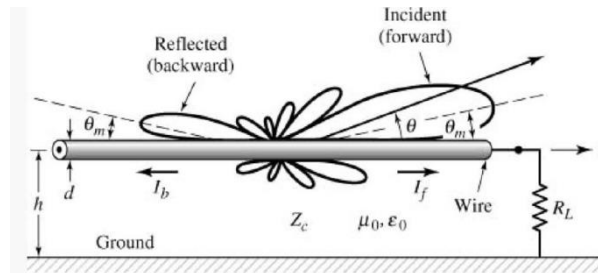
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Antenas de onda progresiva



Suponiendo para la corriente de alimentación una onda

$$\underline{I} = \hat{a}_z I_0 e^{-jk_z z'}$$

Para el campo total radiado por la antena de onda progresiva tenemos:

$$E_\theta = j\eta \frac{klI_0 e^{-jkr}}{4\pi r} e^{-j\frac{kl}{2}(K - \cos\theta)} \cdot \sin\theta \frac{\sin\left[\frac{kl}{2}(\cos\theta - K)\right]}{\frac{kl}{2}(\cos\theta - K)}$$

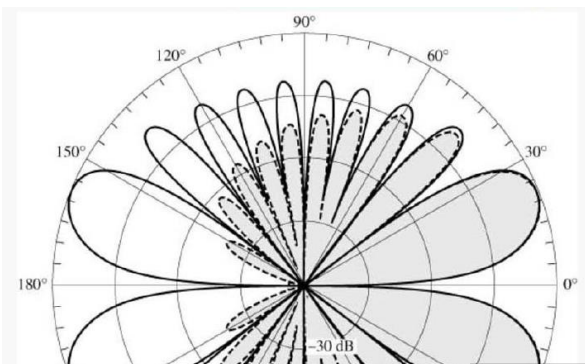
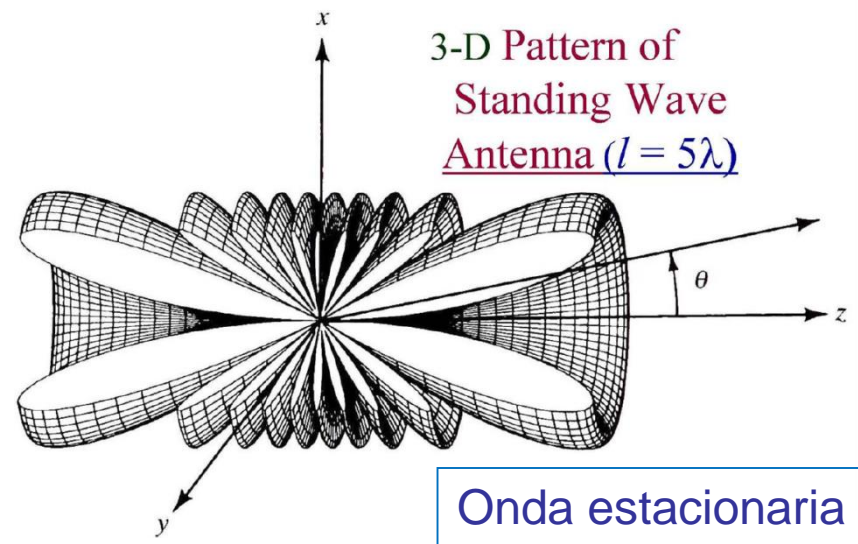
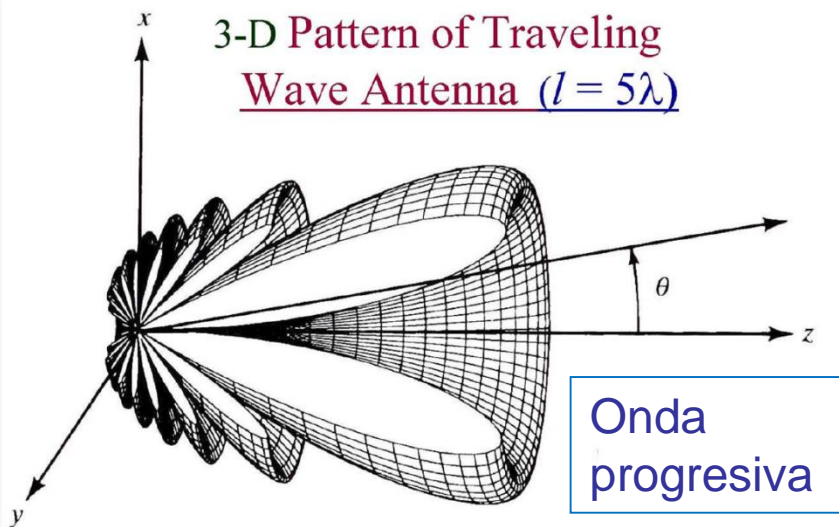
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.

Antenas de onda progresiva: diagrama de radiación



- Simetría de revolución
- Polarización lineal
- No radian en el eje

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transmisión y Propagación. Grado en Ingeniería de Comunicaciones Mov. Esp.