

Fundamentos de antenas

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

Luis Inclán Sánchez

- Parámetros fundamentales de las antenas II.
- Fórmula de Friis

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

TEOREMA DE RECIPROCIDAD

La mayoría de antenas pueden ser consideradas dispositivos recíprocos, podemos pensar en algunos ejemplos que no lo sean y que incorporen elementos como ferritas, ferroeléctricos, etc

En la práctica el que consideremos las antenas como recíprocas significa que podemos considerar sus parámetros como idénticos con independencia de que la antena esté transmitiendo o recibiendo. Por ejemplo su diagrama de radiación.

Pero también:

- Directividad
- Ganancia
- Polarización
- Adaptación

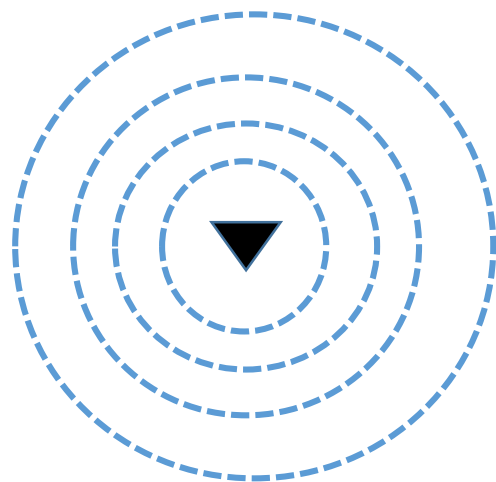


Cartagena99

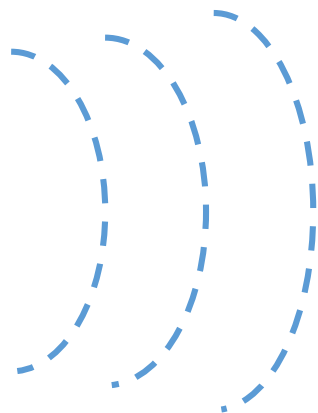
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

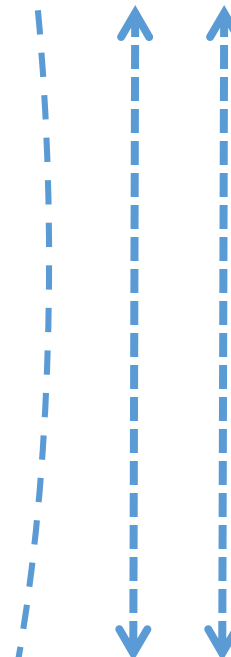
Onda esférica



Aproximación de campo lejano



$$d \gg \lambda$$



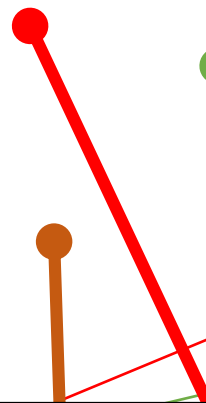
Onda plana



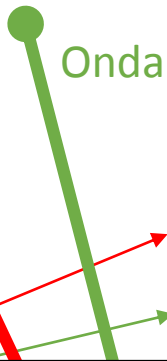
d del orden de λ

Una onda esférica en campo lejano puede ser considerada como localmente plana

Onda plana 1



Onda plana 2

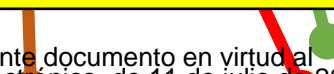


La parte espacial del campo puede ser desarrollada en una base de ondas planas

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

Onda plana 3



Cartagena99

La onda electromagnético está polarizada

Polarización del campo eléctrico: es la variación con el tiempo del apuntamiento del vector campo E

$$\tilde{E}(z) = \left(\hat{x}|E_x|e^{j\phi_x} + \hat{y}|E_y|e^{j\phi_y} \right) e^{-\gamma z} = \left(\hat{x}|E_x| + \hat{y}|E_y|e^{j\delta} \right) e^{-\gamma z} \quad \delta = \phi_x - \phi_y$$

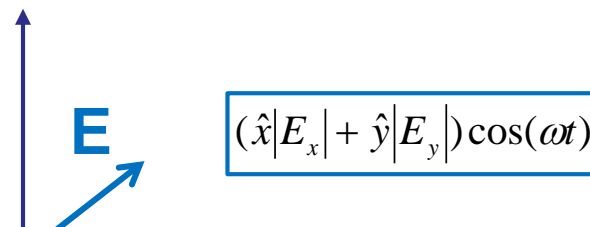
$$\vec{E}(z, t) = \Re \left[\tilde{E}(z) e^{+j\omega t} \right] \quad \vec{E}(z, t) = \hat{x}|E_x| \cos(\omega t - kz) + \hat{y}|E_y| \cos(\omega t - kz + \delta)$$

$$\delta = \phi_x - \phi_y = 0 \quad \vec{E}(0, t) = \hat{x}|E_x| \cos(\omega t) + \hat{y}|E_y| \cos(\omega t + 0) = (\hat{x}|E_x| + \hat{y}|E_y|) \cos(\omega t)$$

$$\delta = \phi_x - \phi_y = \pi \quad \vec{E}(0, t) = \hat{x}|E_x| \cos(\omega t) + \hat{y}|E_y| \cos(\omega t + \pi) = (\hat{x}|E_x| - \hat{y}|E_y|) \cos(\omega t)$$

Se dice que la onda está polarizada linealmente

El campo eléctrico no cambia de dirección de apuntamiento en el tiempo



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

La onda electromagnético está polarizada

Polarización del campo eléctrico: es la variación con el tiempo del apuntamiento del vector campo E

$$\tilde{E}(z) = \left(\hat{x}|E_x|e^{j\phi_x} + \hat{y}|E_y|e^{j\phi_y} \right) e^{-j\beta z} = \left(\hat{x}|E_x| + \hat{y}|E_y|e^{j\delta} \right) e^{-j\beta z} \quad \delta = \phi_x - \phi_y$$

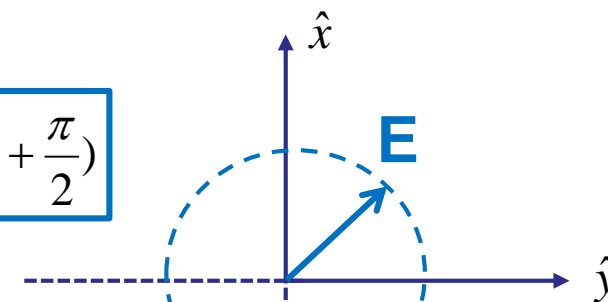
$$\vec{E}(z, t) = \Re \left[\tilde{E}(z) e^{+j\omega t} \right] \quad \vec{E}(z, t) = \hat{x}|E_x| \cos(\omega t - kz) + \hat{y}|E_y| \cos(\omega t - kz + \delta)$$

si $|E_x| = |E_y|$ $\tilde{E}(z) = \left(\hat{x}|E_x| + \hat{y}|E_y|e^{j\delta} \right) e^{-j\beta z} = \left(\hat{x}a + \hat{y}ae^{j\frac{\pi}{2}} \right) e^{-j\beta z} = a(\hat{x} + j\hat{y})e^{-j\beta z}$

Y además $\delta = \phi_x - \phi_y = \frac{\pi}{2}$ $\vec{E}(z, t) = \hat{x}a \cos(\omega t - kz) + \hat{y}a \cos(\omega t - kz + \frac{\pi}{2})$

Se dice que la onda está polarizada circularmente

$$\vec{E}(0, t) = \hat{x}a \cos(\omega t) + \hat{y}a \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$



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

sentido que no cambia en este caso es en sentido horario, o a izquierdas

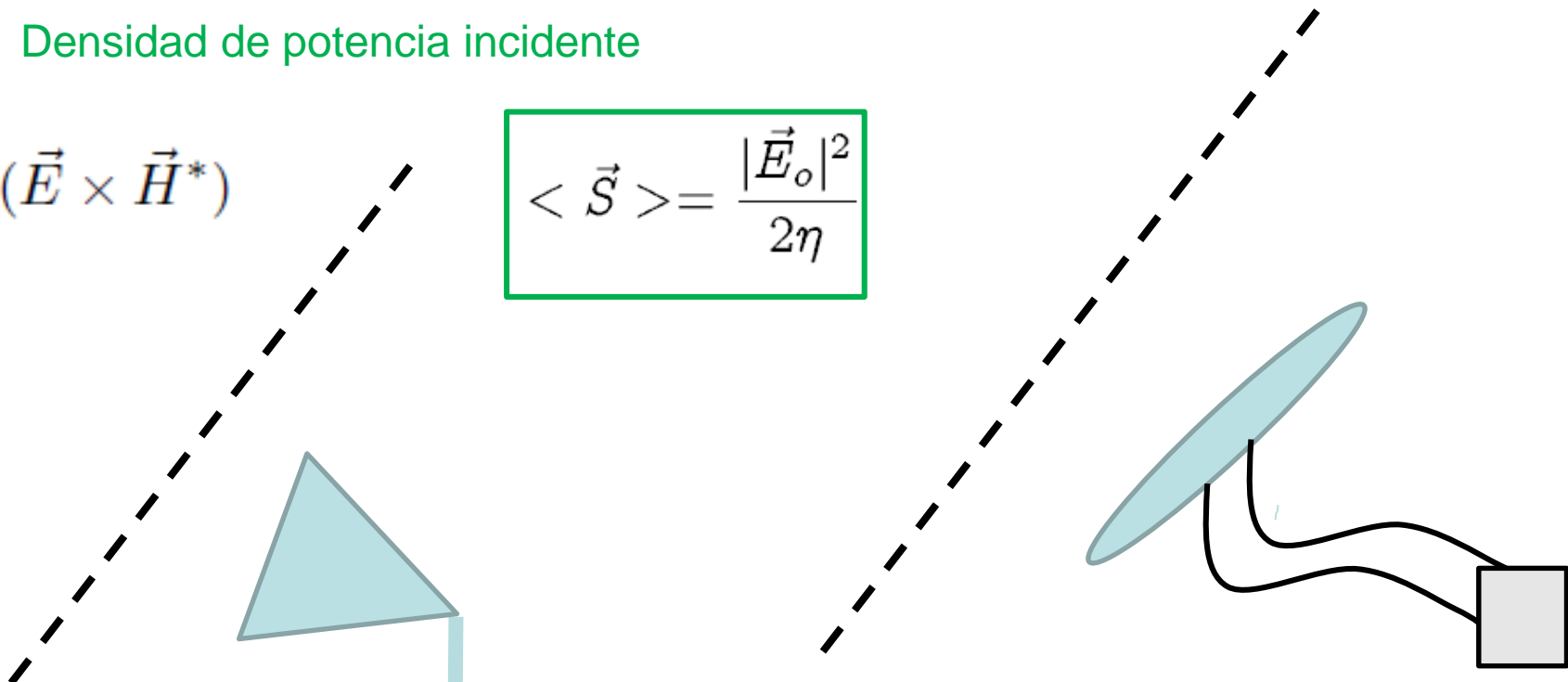
APERTURA EFECTIVA O ÁREA EQUIVALENTE DE ABSORCIÓN

Densidad de potencia incidente

$$\vec{W}_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*)$$

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{|\vec{E}_o|^2}{2\eta}$$

W_i



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

En recepción una antena se utiliza para recolectar energía, se define la apertura equivalente como la relación entre la potencia recogida y la densidad de potencia incidente

$$A_{ef} = \frac{\text{Potencia entregada a la carga}}{\text{Densidad de potencia incidente}} = \frac{P_T}{W_i} = \frac{|I_T|^2 R_T / 2}{W_i}$$

Cuando la antena es plana se puede definir en rigor una eficiencia de apertura

Apertura efectiva

Apertura física

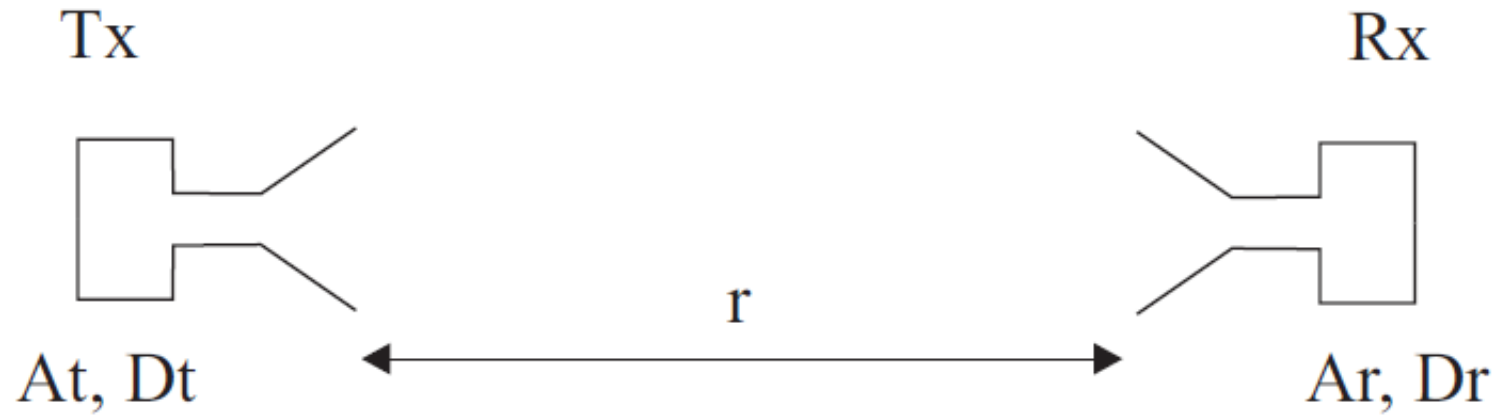
$$A_{ef} = \epsilon_{ap} A_f$$

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

DIRECTIVIDAD Y APERTURA EFECTIVA MÁXIMA



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

$$A_{em} = e_{+} \frac{\lambda^2}{4\pi} D_o = e_{-} (1 - |\Gamma|^2) \frac{\lambda^2}{4\pi} D_o = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_o$$

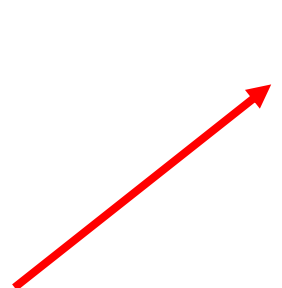
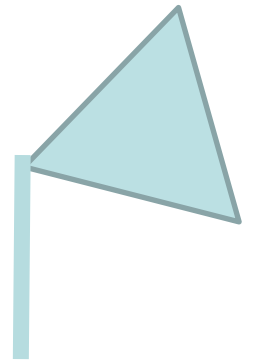
Cartagena99

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

FÓRMULA DE FRIIS (EQUACIÓN PARA EL BALANCE DE ENLACE)

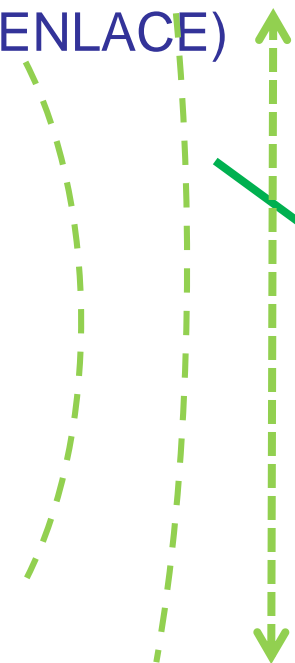
Transmisión



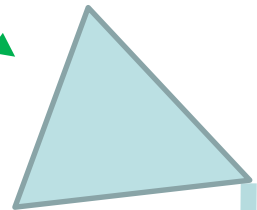
P1



$$W_t = W_o D_t = \frac{P_t D_t}{4\pi r^2}$$



P'1



Recepción

$$P_r = W A_e = W \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi r)^2}$$

D

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

$$\frac{P_r}{P_t} = e_{cdt}e_{cdr}(1 - |\Gamma_t|^2)(1 - |\Gamma_r|^2) \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 D_t D_r |\hat{e}_t \cdot \hat{e}_r^*|^2$$

PÉRDIDAS POR POLARIZACIÓN

$$PLF = |\hat{e}_t \cdot \hat{e}_r^*|^2$$

Tiene en cuenta el desacoplo por la diferencia entre la polarización de la antena transmisora y la receptora

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