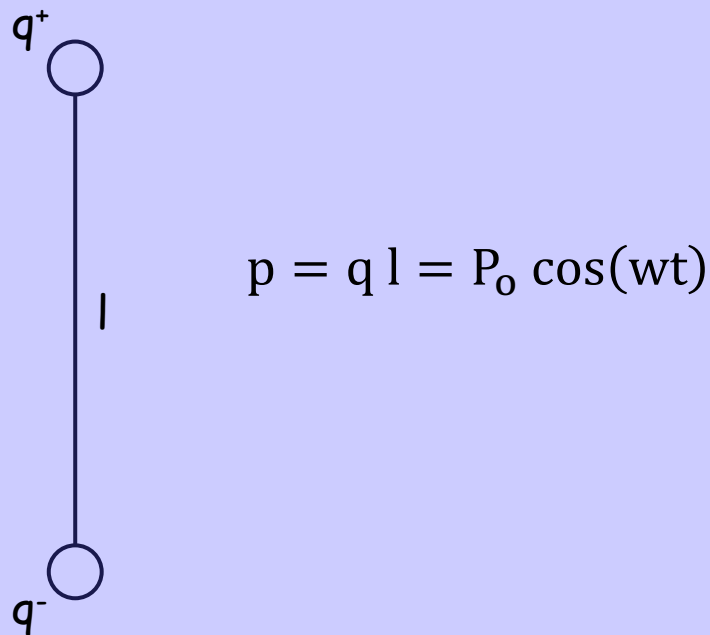


4. ANTENAS

4.1 Mecanismos de radiación

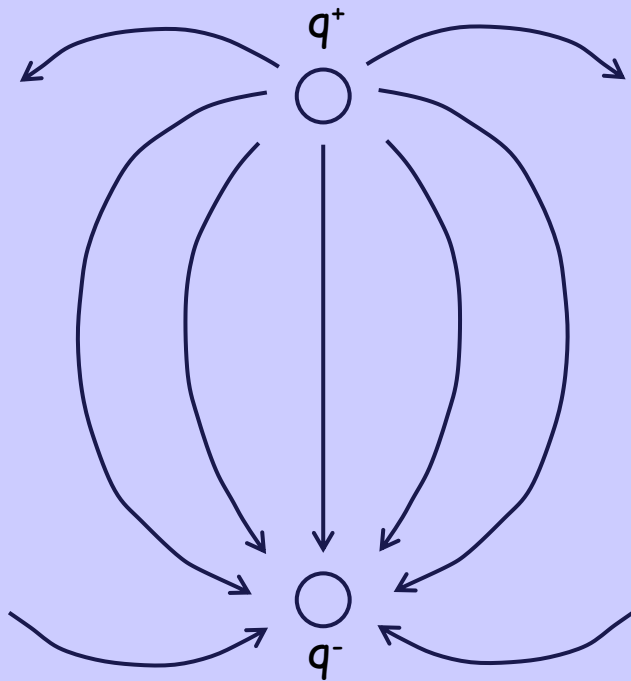
- ◆ ¿Cómo se genera la radiación electromagnética en una antena?
- ◆ ¿Qué mecanismos físicos intervienen en la generación?



dipolo eléctrico oscilante

4.1 Mecanismos de radiación

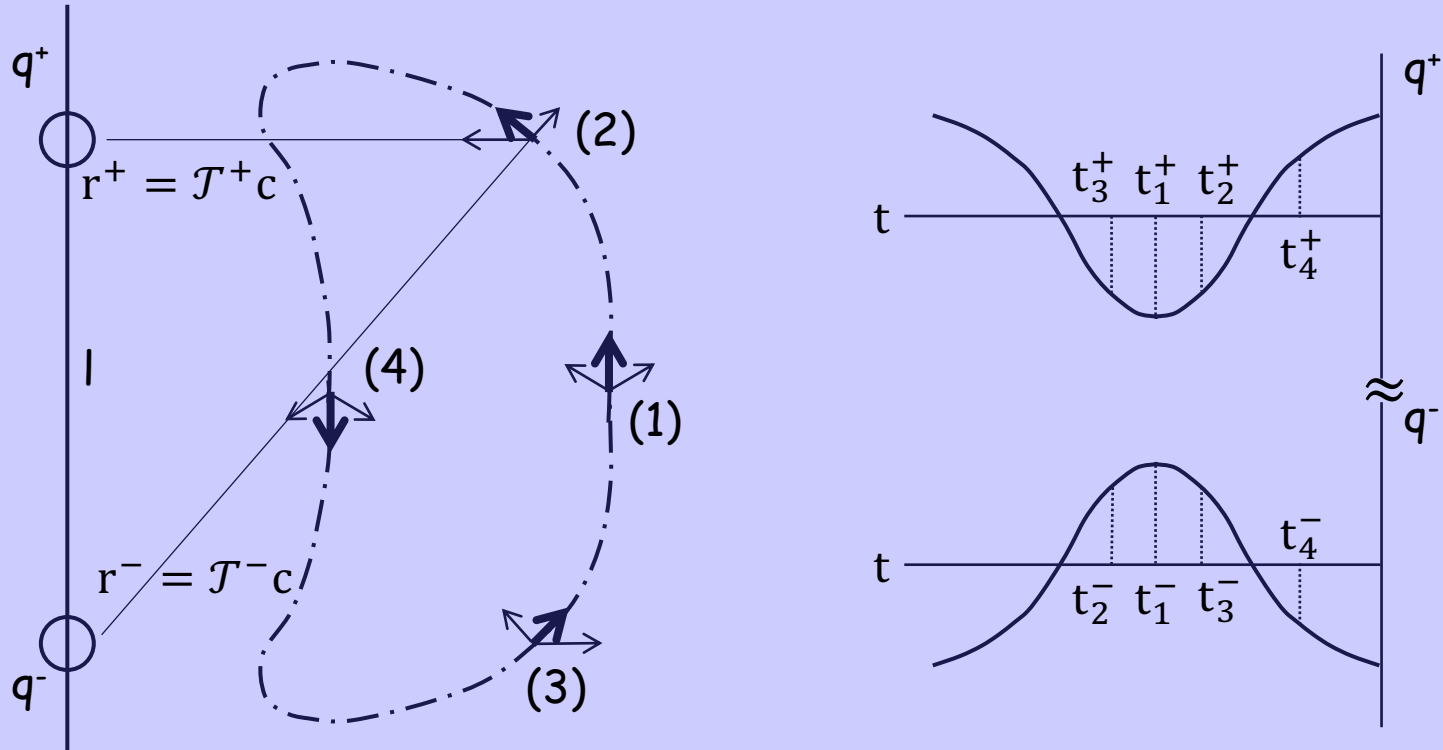
- ◆ En el límite cuando $\omega \rightarrow 0$ tendremos la distribución de líneas de campo eléctrico de un dipolo estático.



- ¿Qué ocurre cuando ω aumenta?
- ¿Cómo se modifican las líneas de campo?

4.1 Mecanismos de radiación

- ◆ Para responder a estas preguntas la única hipótesis de partida será que la información del estado de carga del dipolo no se transmite de manera instantánea., sino que se hace a velocidad finita (c).



$$E(x, y, t) = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{\cos[w(t - \mathcal{J}^+)]}{r_+^2} \hat{r}_+ - \frac{\cos[w(t - \mathcal{J}^-)]}{r_-^2} \hat{r}_- \right]$$

4.1 Mecanismos de radiación

- ◆ En la figura se aprecia que las líneas de campo eléctrico al contar los retrasos de propagación de la información se convierten en líneas cerradas.
- ◆ Si calculamos la circulación del campo \bar{E} sobre una de estas líneas cerradas no da como resultado cero (campo no conservativo).

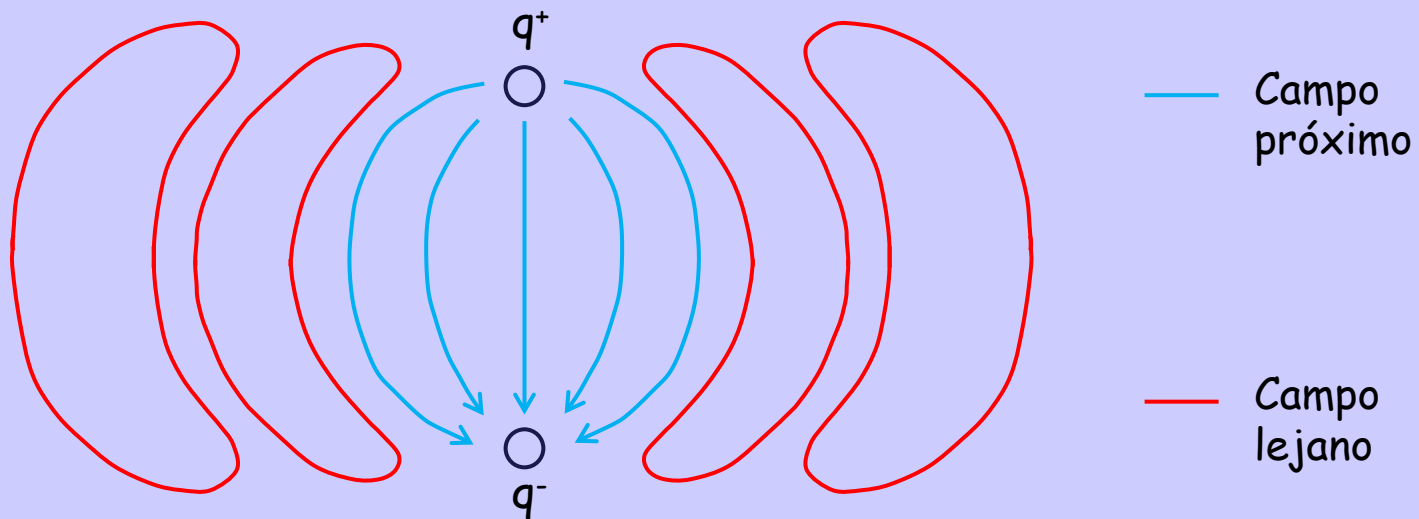
$$\Rightarrow \text{rot } \bar{E} \neq 0 \Rightarrow \boxed{\text{rot } \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}}$$

4.1 Mecanismos de radiación

◆ Si $\text{rot } \bar{\mathbf{E}} \neq 0 \Rightarrow \exists \bar{\mathbf{B}} \neq 0$

$$\text{pero } \text{rot } \bar{\mathbf{H}} = -\frac{\partial \bar{\mathbf{D}}}{\partial t}$$

Combinando ambas ecuaciones llegaríamos a la ecuación de propagación de ondas.



4.2 Parámetros básicos de antenas

- ◆ Dada la gran variedad de antenas que existen es difícil encontrar un conjunto único de parámetros que las caractericen. No obstante, si que existen parámetros básicos que son muy relevantes para cualquier antena:
 - Resistencia de radiación
 - El diagrama de radiación
 - El ancho de banda
 - La polarización de los campos (radiados/captados)
 - La potencia máxima emisible

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Resistencia de radiación:

- Se define la impedancia de una antena como el cociente entre tensión y corriente en sus terminales de entrada.
- En general la impedancia de una antena tiene dos contribuciones:
 - 1) Autoimpedancia o impedancia propia de la antena Z_a .
 - 2) La impedancia mutua o impedancia debida a la presencia próxima de otras antenas o superficies reflectoras Z_M .

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Resistencia de radiación:

- La segunda contribución depende del entorno y es muy difícil definirla sin especificar geometrías y especificaciones concretas de materiales.
- Si podemos considerar la antena suficientemente aislada:

$$Z_l = Z_a = \textcircled{R_a} + j \textcircled{X_a}$$

parte disipativa

parte reactiva

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Resistencia de radiación:

X_a → Da cuenta del almacenamiento de energía en la proximidad de la antena.
(Eléctrica y/o Magnética). Esta vinculada al campo próximo.

R_a → Da cuenta de la disipación de energía.

$$R_a = R_o + R_r$$

R_o → Parte óhmica, da cuenta de las pérdidas en forma de calor en los materiales que constituyen o rodean a la antena.

R_r → "Resistencia de radiación", da cuenta de la energía disipada en forma de onda EM.

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Resistencia de radiación:

- Se define la eficiencia de una antena como:

$$e = \frac{R_r}{R_o + R_r}$$

- En general la eficiencia de una antena depende de múltiples factores entre los que hay que destacar:
 - 1) La geometría
 - 2) La frecuencia

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Resistencia de radiación:

- Por último, el coeficiente de reflexión de una antena vendrá dado por:

$$\Gamma_a = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \quad |\Gamma_a| \leq 1$$

donde Z_0 es la impedancia característica de la línea que alimenta la antena.

- Teniendo en cuenta el coeficiente de reflexión, Γ_a , la fracción de la potencia suministrada que efectivamente es radiada se expresa como:

$$\frac{P_{\text{rad}}}{P_{\text{sum}}} = [1 - |\Gamma_a|^2] e$$

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Diagrama de radiación:

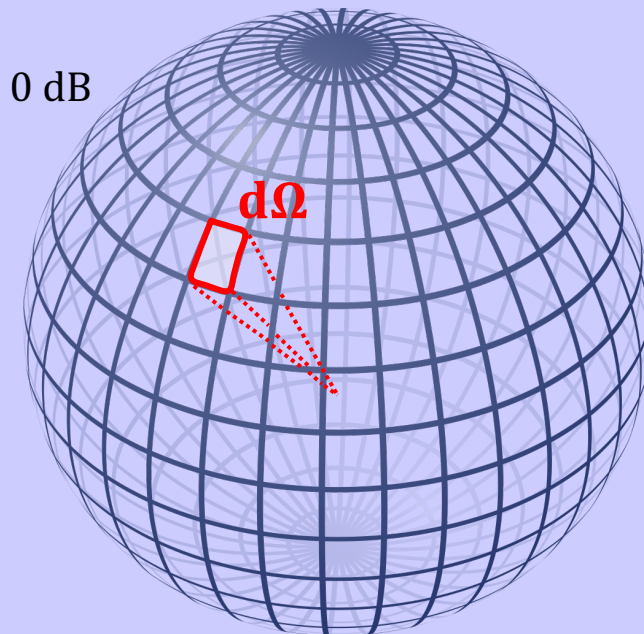
- El diagrama de radiación de una antena es una representación tridimensional de la potencia relativa radiada por la antena en las diferentes direcciones del espacio.
- Se toma como origen de la escala relativa de potencia radiada aquella dirección donde la potencia radiada es máxima y se le asigna el valor de 0 dB. Cualquier otra dirección tendrá un valor negativo en dB referida a este origen.

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Diagrama de radiación:

- El diagrama de radiación depende del tipo de antena.

1º) Antena isotrópica: No es una antena real (fabricable) pero por su simplicidad sirve de referencia para otras. Se caracteriza por radiar la potencia uniformemente en todas las direcciones.



- La forma del diagrama de radiación es una esfera.

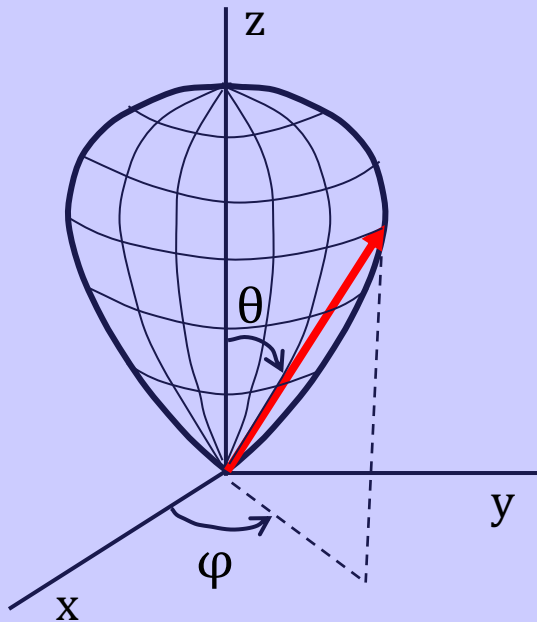
- La potencia radiada por ángulo sólido vale:

$$\frac{dP_r}{d\Omega} = \frac{P_o}{4\pi} ; P_o = \text{potencia total radiada}$$

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Diagrama de radiación:

2º) Antena omnidireccional: Diremos que una antena es omnidireccional si su diagrama de radiación tiene un eje de simetría de rotación.



$$\text{Si } \theta = \text{cte} \Rightarrow$$

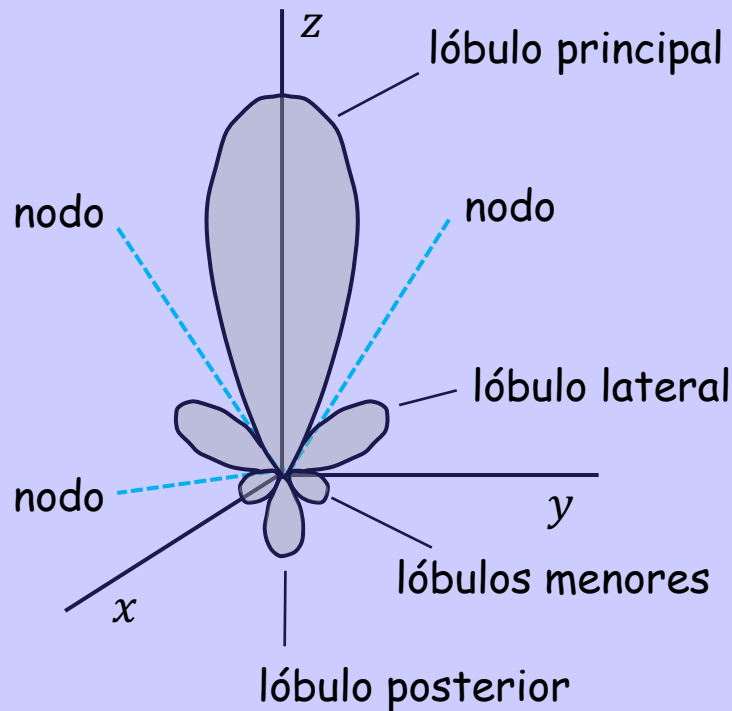
$$\Rightarrow \frac{dP_r}{d\Omega} = \text{cte}$$

$$\forall \varphi / 0 \leq \varphi \leq 2\pi$$

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Diagrama de radiación:

3º) Antena direccional: Es aquella que radia una mayor potencia en una o algunas direcciones del espacio, en detrimento de otras. Es la definición más general.



4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Diagrama de radiación:

- En general las principales características de una antena derivadas del diagrama de radiación están vinculadas al lóbulo principal.
- Así, se define la "Directividad" de una antena como:

$$D = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)_{\max}}{P_o}$$

donde $P(\theta, \varphi)_{\max}$ es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en la dirección donde es máxima.

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Diagrama de radiación:

- Si aplicamos esta fórmula a una antena isotrópica:

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P_o}{4\pi} \begin{cases} \forall \theta / 0 \leq \theta \leq \pi \\ \forall \varphi / 0 \leq \varphi \leq 2\pi \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_{iso} = 4\pi \frac{P_o/4\pi}{P_o} = 1 \Rightarrow$$

$$D_{iso} = 0 \text{ dB}$$

Es por este motivo que se utiliza la antena isotrópica como referencia. En este caso la escala logarítmica se expresa en $\boxed{\text{dBi}}^*$.

* dB respecto a la antena isotrópica

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Diagrama de radiación:

- Se define la "**Ganancia**" de una antena como el producto:

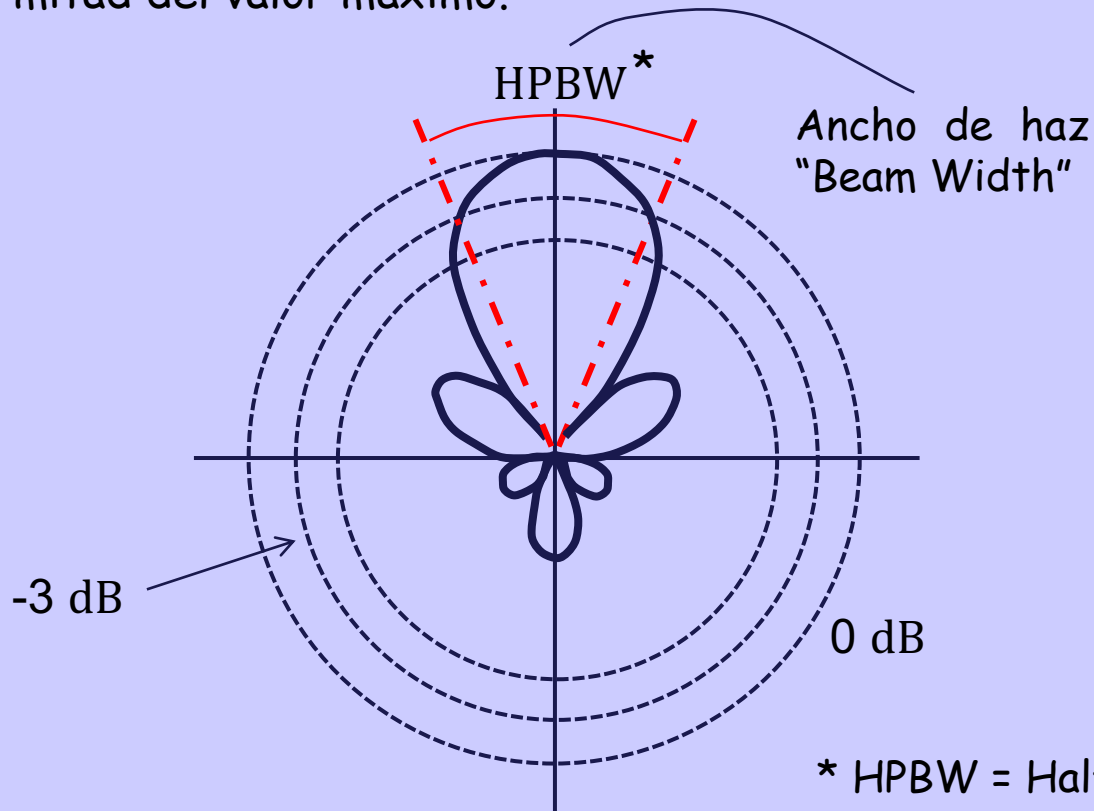
$$G = e D$$

- Esta ganancia no indica ninguna amplificación (las antenas son componentes pasivos). Este parámetro da cuenta de la capacidad de concentrar la radiación en la dirección del máximo.
- También se expresa en dBi; si usamos como referencia la antena isotrópica.

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Diagrama de radiación:

- "Ancho de haz". La forma habitual de definir el ancho de haz es como el ángulo sólido alrededor de la dirección de máxima densidad de potencia radiada, que contiene las direcciones con densidades de potencia radiada iguales o superiores a la mitad del valor máximo.



* HPBW = Half Power Beam Width

4.2 Parámetros básicos de antenas

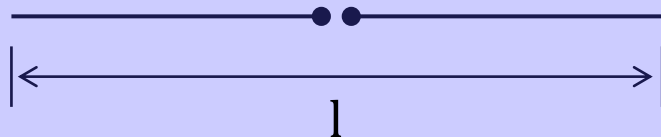
◆ Ancho de banda de una antena :

- Se define el ancho de banda de una antena como el rango de frecuencias para el que las prestaciones de la antena, respecto a unas características de referencia, están dentro de unos determinados valores estándar.
- En el caso de las antenas hay múltiples características que pueden ser usadas para definir el ancho de banda; entre ellas destacan:
 - 1) Impedancia de entrada (Impedance Bandwidth)
 - 2) Diagrama de radiación (Radiation Pattern Bandwidth).

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Ancho de banda de una antena :

- Como ejemplo para evaluar el ancho de banda utilizaremos un dipolo eléctrico "pequeño".



$$l < \lambda/2$$

- En estas condiciones el diagrama de radiación varía muy poco con la frecuencia y el ancho de banda hará referencia a las variaciones de la impedancia de la antena.

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Ancho de banda de una antena :

- La impedancia de la antena la podremos expresar como:

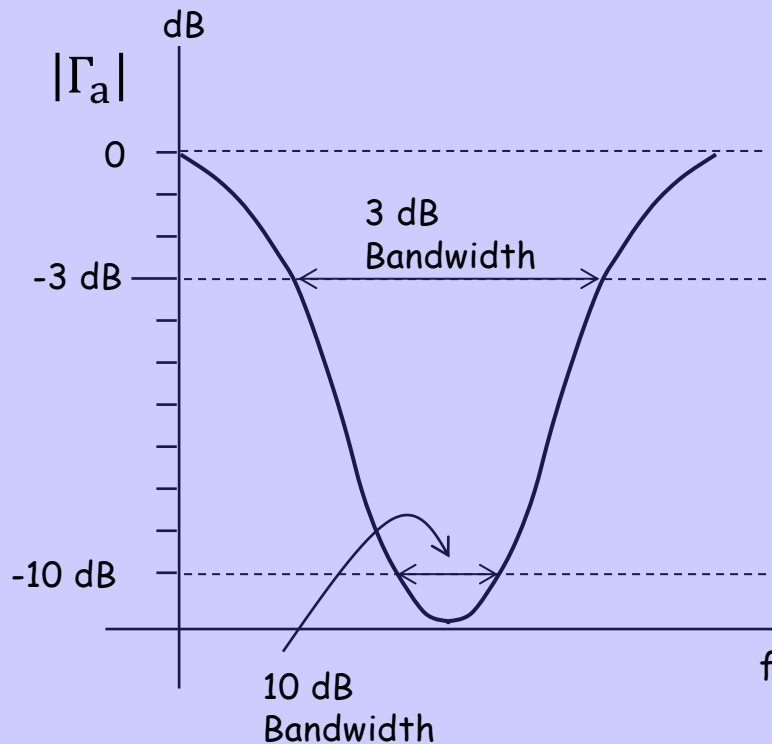
$$Z_a(f) = R_a(f) + j X_a(f)$$

- La frecuencia para la cual $X_a(f) = 0$ es la que se conoce como frecuencia de resonancia de la antena.
- Si evaluamos el coeficiente de reflexión

$$\Gamma_a(f) = \frac{Z_a(f) - Z_o}{Z_a(f) + Z_o}$$

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Ancho de banda de una antena :

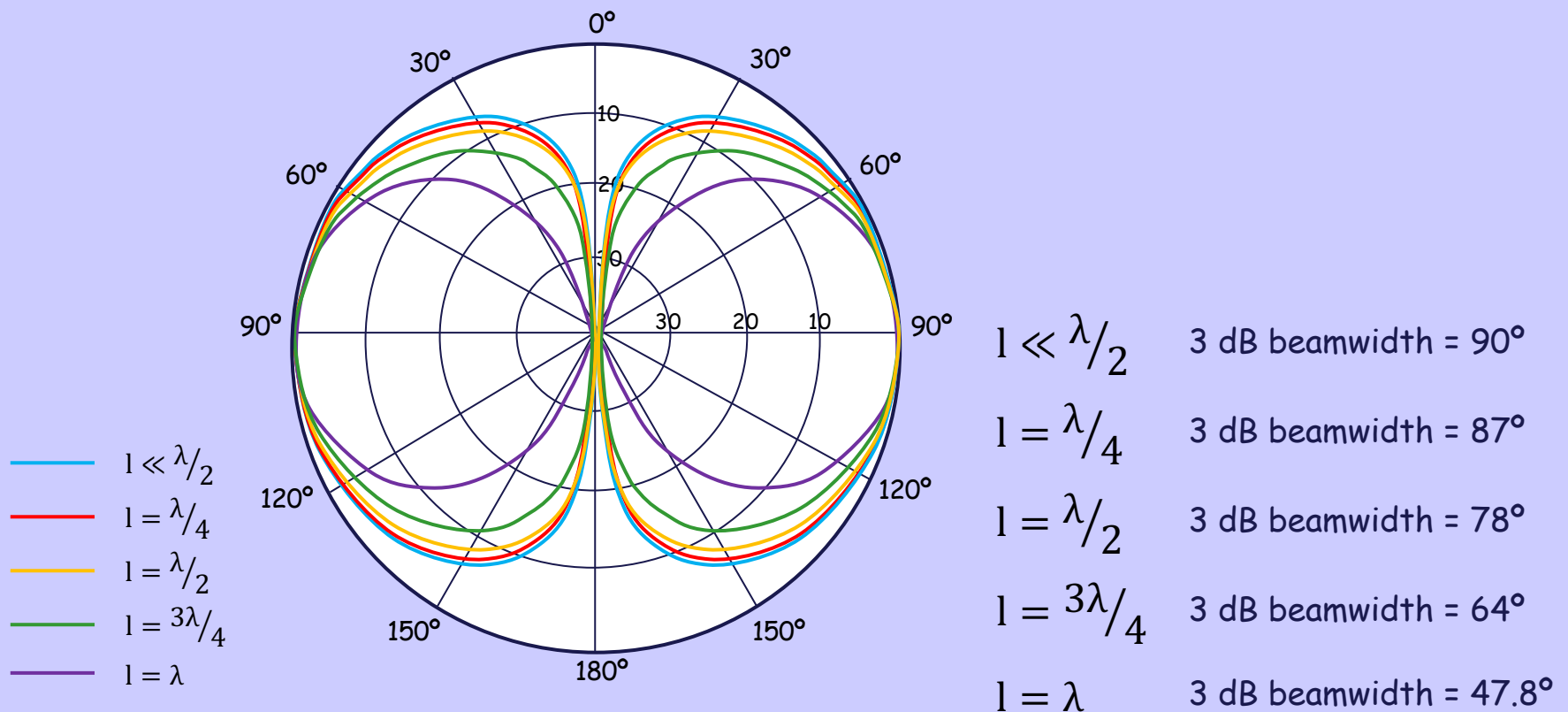


- Para las antenas se suele utilizar más el ancho de banda a -10 dB (10 dB Bandwidth) que no el tradicional definido a -3 dB (3 dB Bandwidth).

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Ancho de banda de una antena :

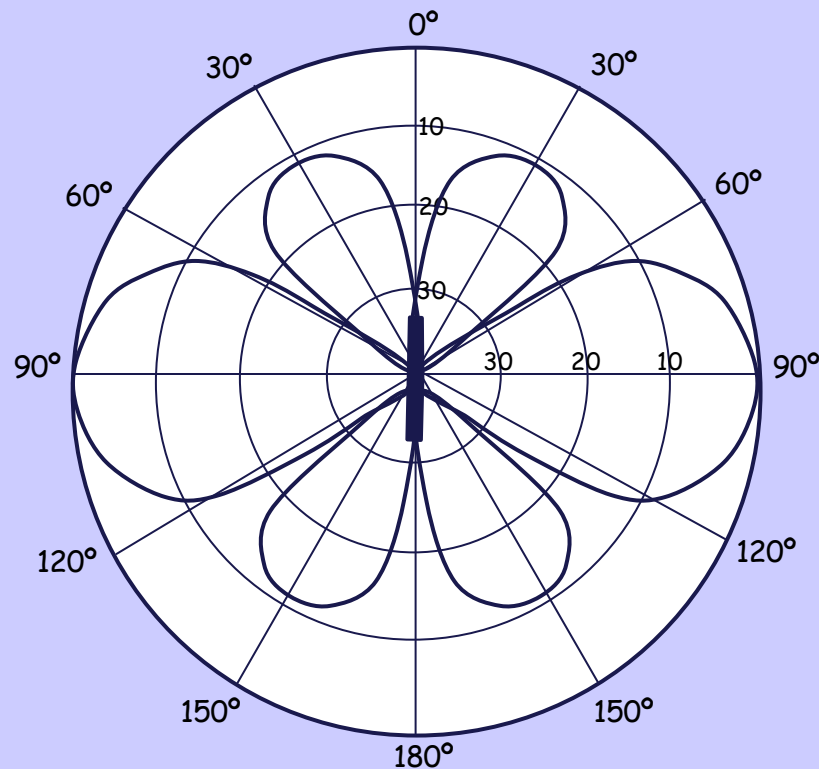
- Si la frecuencia aumenta y $l \geq \lambda/2$, la característica que más varía con la frecuencia será el diagrama de radiación.



4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Ancho de banda de una antena :

- En el caso anterior la variación del diagrama de radiación es cuantitativa, pero si $l > \lambda$ el cambio también es cualitativo.



4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Polarización de una antena :

- Se define la polarización de una antena en una determinada dirección como la polarización de la onda electromagnética radiada en esa dirección cuando se excita la antena.
- En general, la polarización de la onda radiada puede ser diferente en diferentes direcciones con lo que no podremos hablar de una polarización única o absoluta de la antena.
- Cuando hablamos de polarización de la antena implícitamente estamos considerando la que tiene la onda radiada en la dirección de máxima densidad de potencia radiada.

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Polarización de una antena :

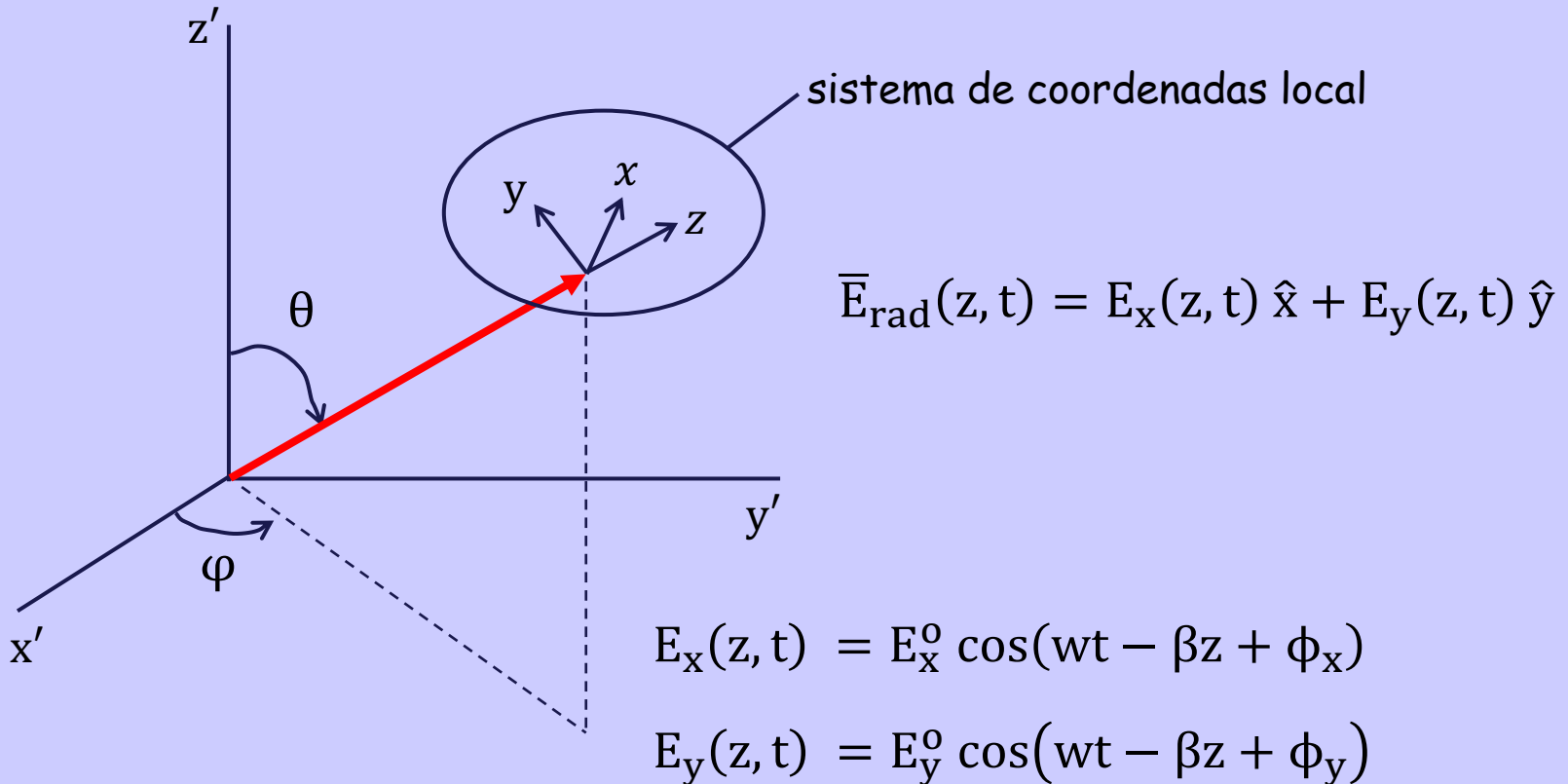
- Existen diferentes tipos de polarización, en función de como varíe la dirección de los campos radiados.

- El campo Eléctrico (Magnético) lo expresaremos en función de dos componentes cartesianas (x, y), siendo z la dirección de propagación de la onda.

$$\bar{E}_{\text{rad}}(z, t) = E_x(z, t) \hat{x} + E_y(z, t) \hat{y}$$

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Polarización de una antena :

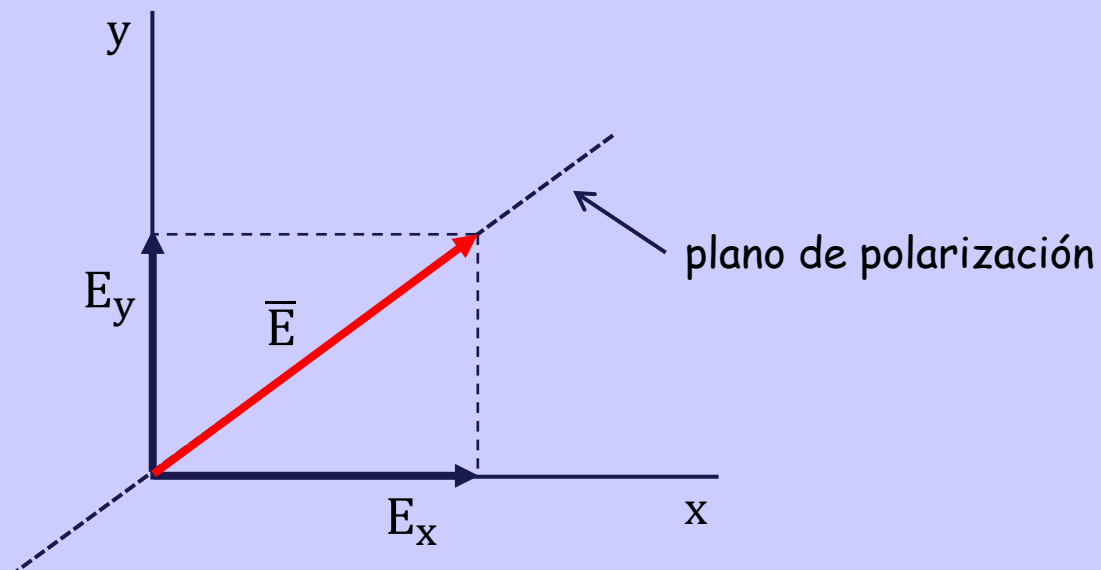


4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Polarización de una antena :

a) Diremos que una antena tiene polarización lineal cuando se verifique que:

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi \quad ; \quad n \in \mathbb{N}$$

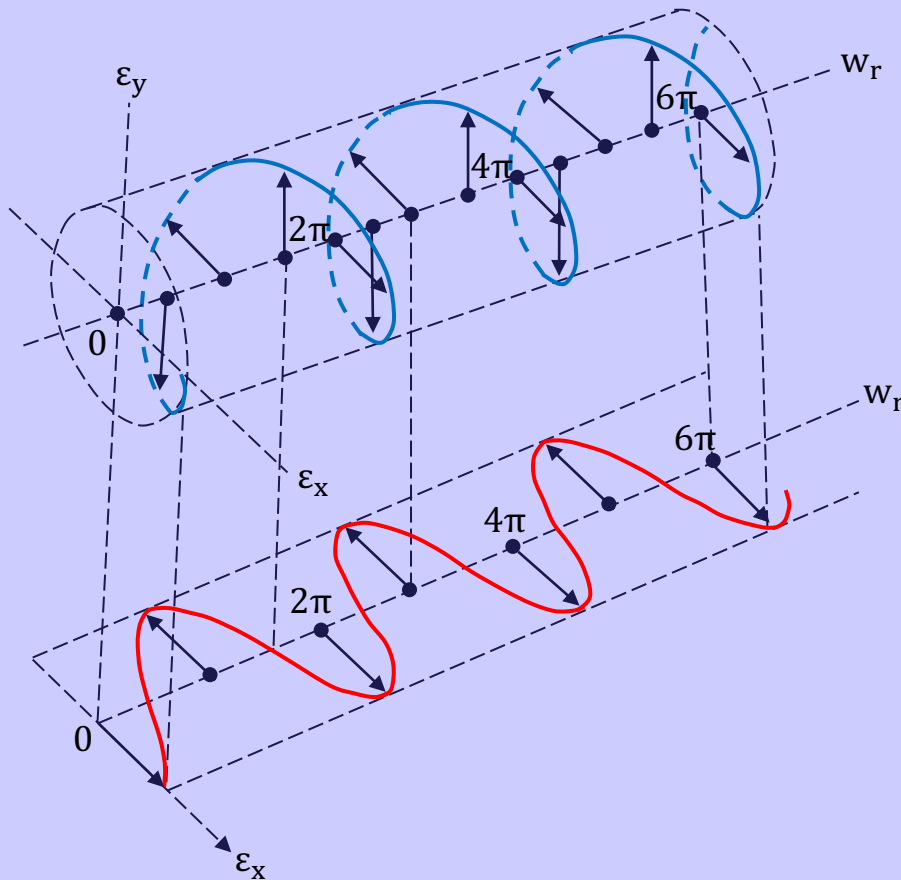


4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Polarización de una antena :

b) Diremos que una antena tiene polarización circular cuando se verifique que:

$$E_x^o = E_y^o \quad \Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \begin{cases} \frac{\pi}{2} + 2n\pi & \text{CW}^* \\ -\frac{\pi}{2} + 2n\pi & \text{CCW}^+ \end{cases} \quad n \in \mathbb{N}$$



* CW = Clockwise
(giro en sentido horario)

+ CCW = Counter clockwise
(giro en sentido antihorario)

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Polarización de una antena :

c) Diremos que una antena tiene polarización elíptica cuando se verifique que:

1º) condiciones de polarización circular pero con:

$$E_x^0 \neq E_y^0$$

$$2^\circ) \Delta\phi \neq \pm \frac{n\pi}{2} \Rightarrow \begin{cases} \text{Si } \Delta\phi > 0 \text{ CW} \\ \text{Si } \Delta\phi < 0 \text{ CCW} \end{cases}$$

E_x^0, E_y^0 cualesquiera

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Polarización de una antena :

Cuadro de compatibilidades

		Polarización antena emisora					
		Horizontal →	Vertical ↑	Inclinada D ↗	Inclinada I ↖	CW ↻	CCW ↺
Polarización antena receptora	Horizontal →	✓	✗	- 3 dB	- 3 dB	- 3 dB	- 3 dB
	Vertical ↑	✗	✓	- 3 dB	- 3 dB	- 3 dB	- 3 dB
	Inclinada D ↗	- 3 dB	- 3 dB	✓	✗	- 3 dB	- 3 dB
	Inclinada I ↖	- 3 dB	- 3 dB	✗	✓	- 3 dB	- 3 dB
	CW ↻	- 3 dB	- 3 dB	- 3 dB	- 3 dB	✓	✗
	CCW ↺	- 3 dB	- 3 dB	- 3 dB	- 3 dB	✗	✓

4.2 Parámetros básicos de antenas

◆ Potencia máxima emisible

- Los límites máximos de emisión de una antena están condicionados por tres factores (por orden de importancia) :

- 1) Seguridad humana (seres vivos)
- 2) Normativa comisión de telecomunicaciones (asignación de frecuencias, control de interferencias).
- 3) Resistencia de los materiales

- De todos ellos el primero es el más importante. La exposición a radiación EM se debe controlar, sobre todo a nivel laboral.