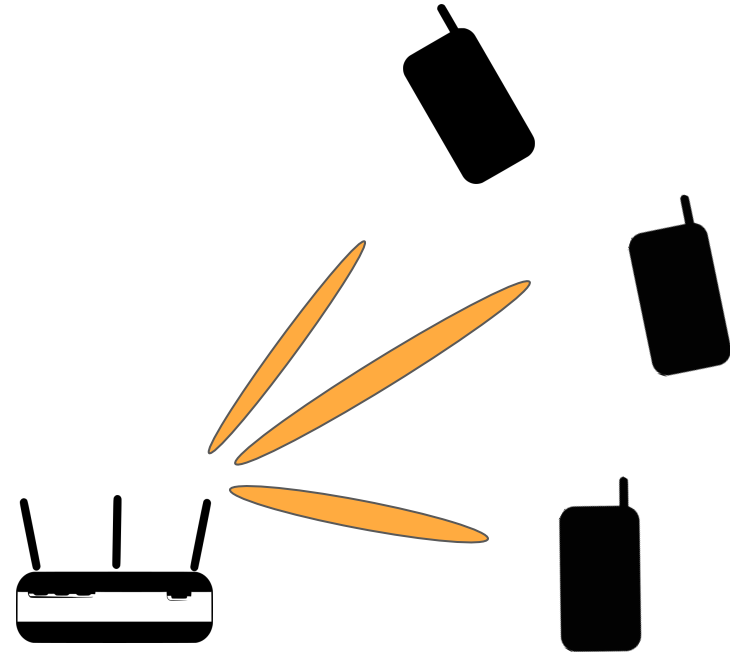
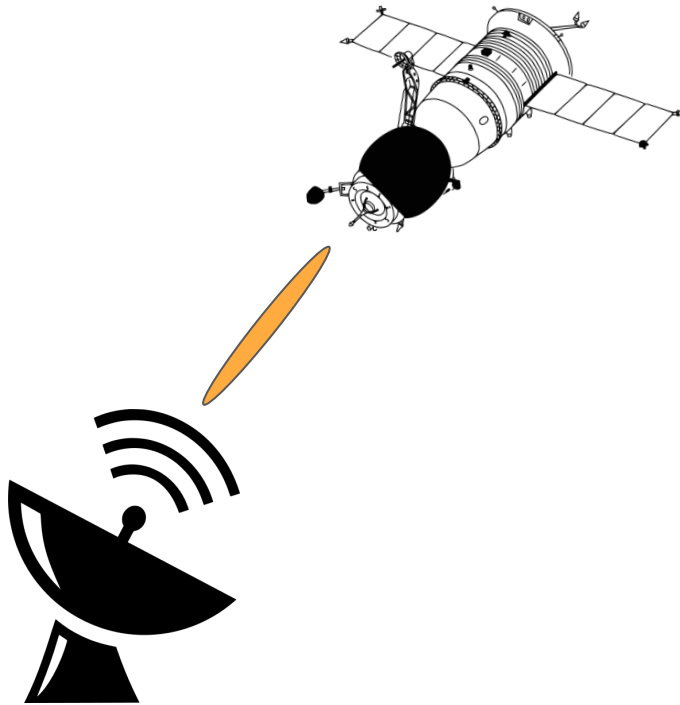


Agrupación de Antenas

Antennas Array

Intro - Motivación

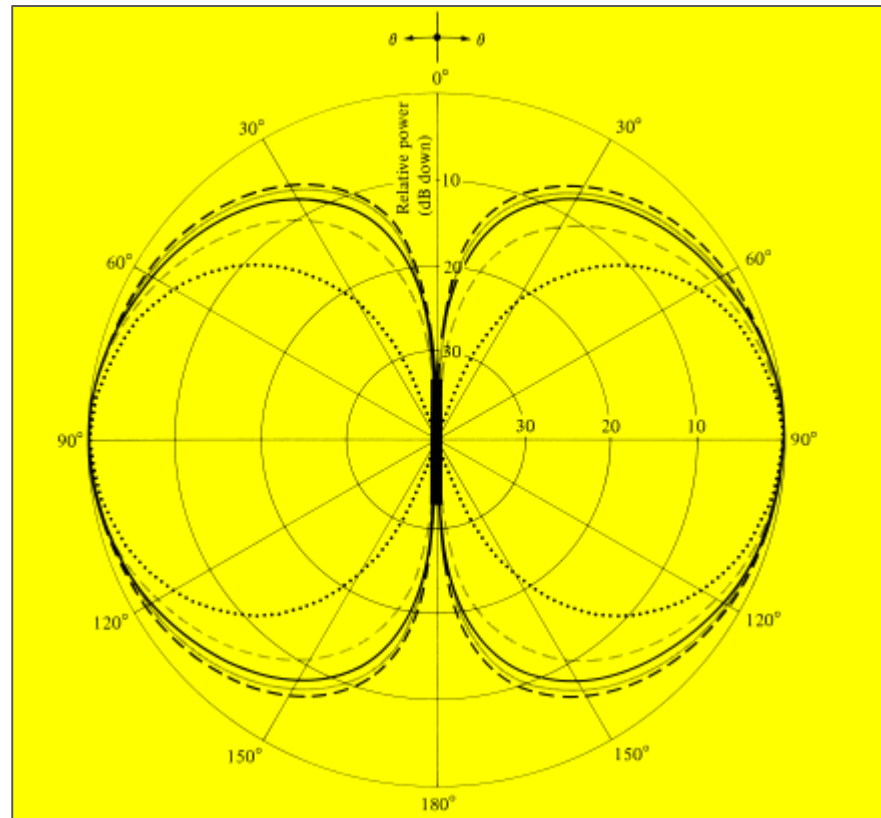


Intro - Motivación

----- $l = \lambda/50$	$l = \lambda/50$	3-dB beamwidth = 90°
..... $l = \lambda/4$	$l = \lambda/4$	3-dB beamwidth = 87°
———— $l = \lambda/2$	$l = \lambda/2$	3-dB beamwidth = 78°
— · — · — · — $l = 3\lambda/4$	$l = 3\lambda/4$	3-dB beamwidth = 64°
..... $l = \lambda$	$l = \lambda$	3-dB beamwidth = 47.8°



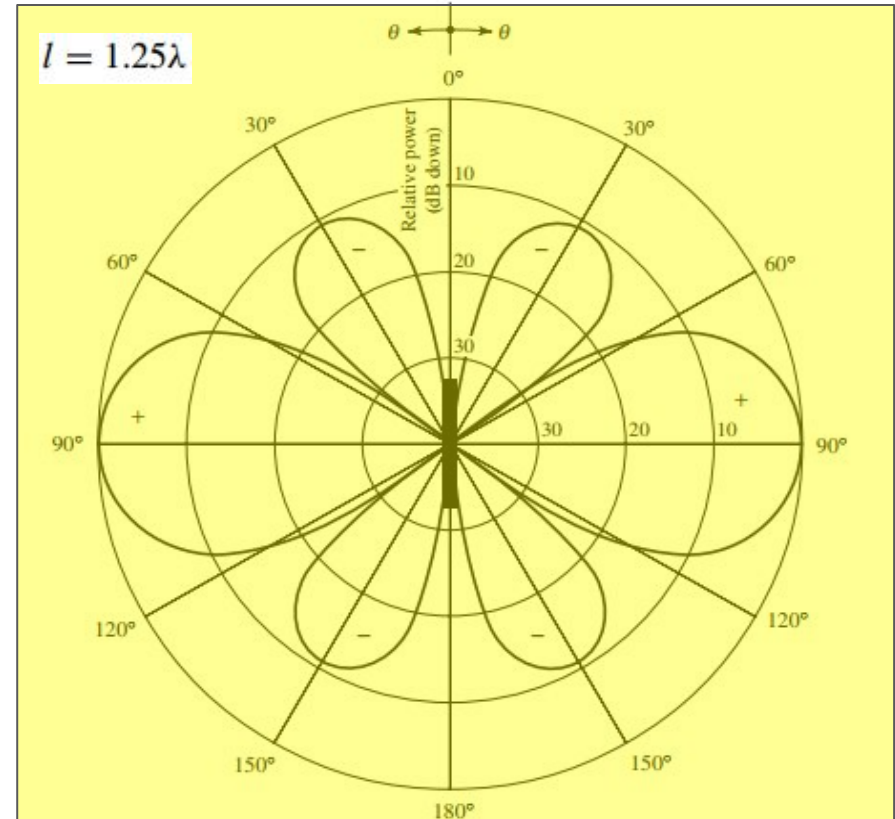
¿Hasta donde puedo incrementar la longitud?



Intro - Motivación

✓ Un único elemento de antena ofrece un patrón de radiación poco directivo con bajos valores de ganancia.

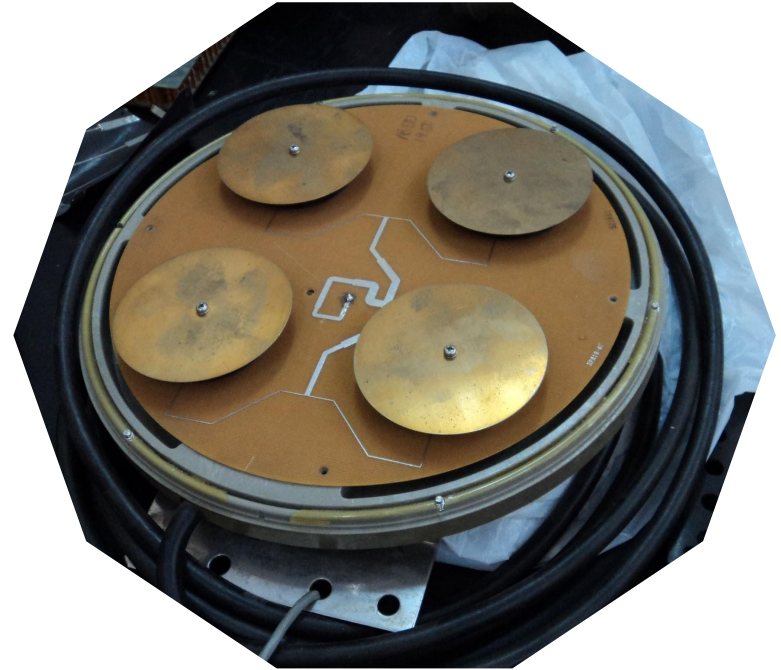
✓ ¿Cómo hago para que sea más directiva?



Array de antenas

Agrupar antenas

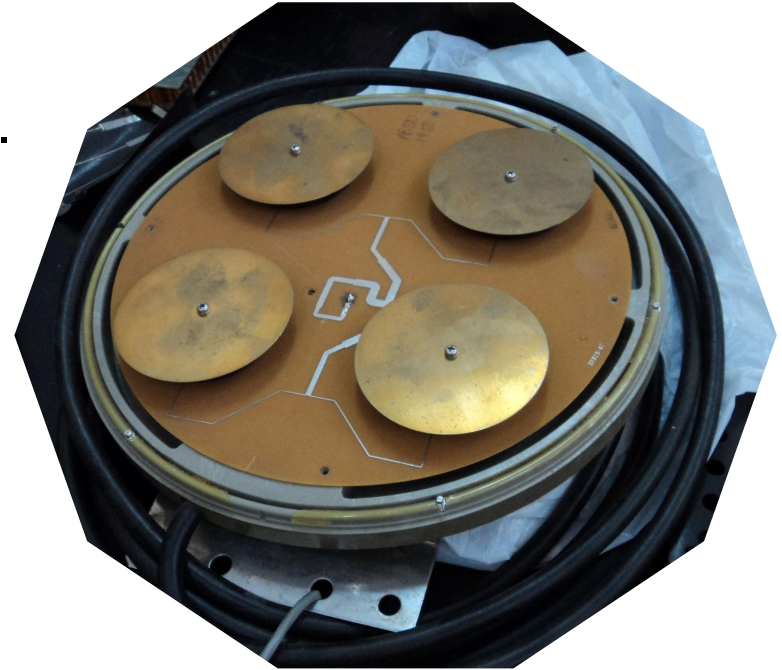
- El campo total será la suma vectorial de los campos individuales de cada elemento (sin considerar acoplamiento).
- Dependencia de las distancias entre elementos de antena.
- La suma de los campos debe ser constructiva en la dirección deseada y destructiva en direcciones espaciales no deseadas.



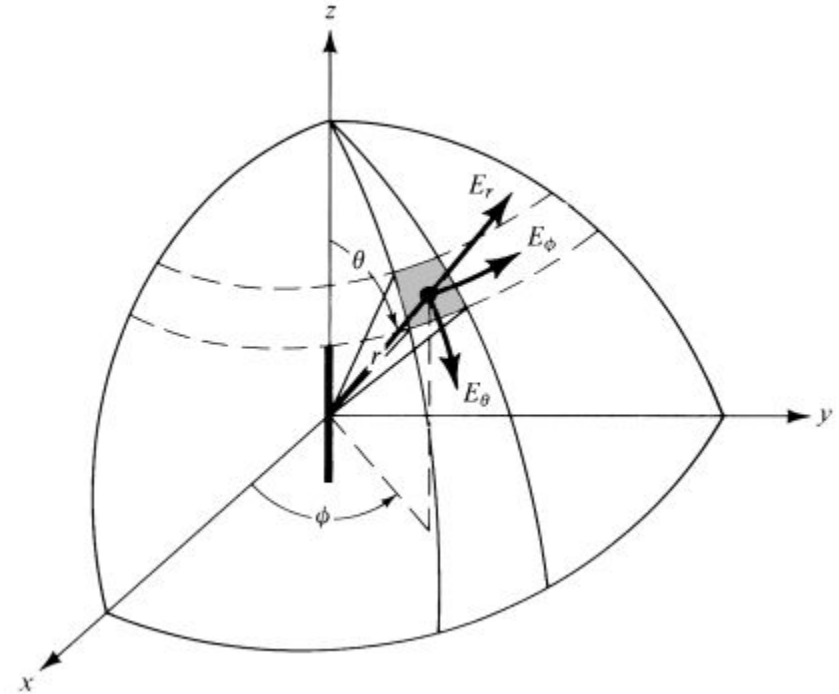
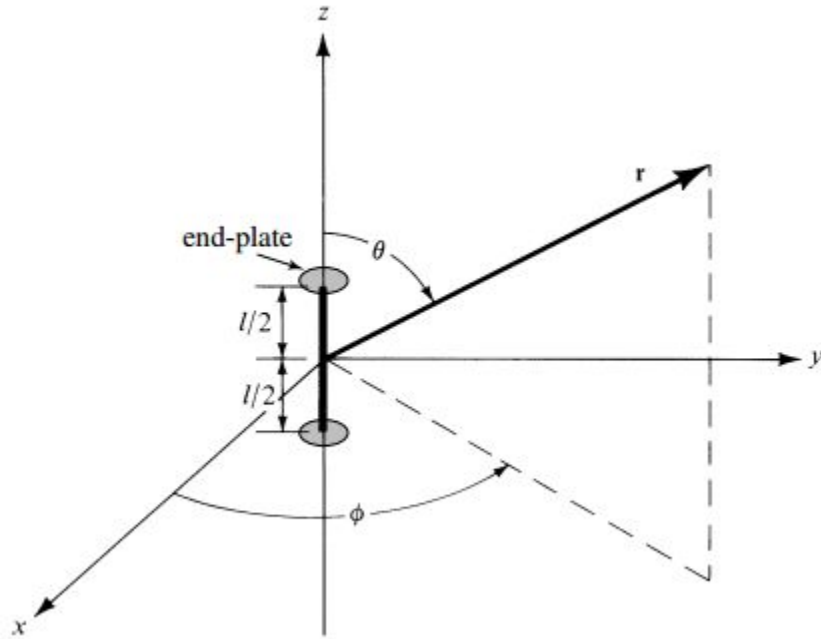
Array de antenas

Podemos controlar el diagrama:

- La configuración geométrica del array.
- Distancia entre elementos.
- La amplitud de la excitación de cada elemento.
- La fase de la excitación de cada elemento.
- El patrón de radiación relativo de cada elemento.



Dipolo infinitesimal



Dipolo infinitesimal

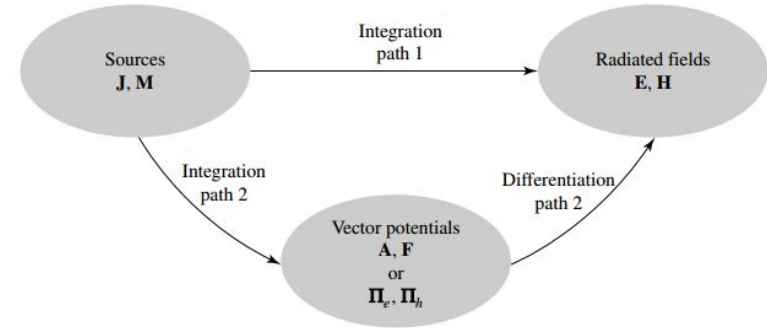
$$\mathbf{A}(x, y, z) = \hat{\mathbf{a}}_z \frac{\mu I_0}{4\pi r} e^{-jkr} \int_{-l/2}^{+l/2} dz' = \hat{\mathbf{a}}_z \frac{\mu I_0 l}{4\pi r} e^{-jkr}$$

$$\begin{bmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta \cos \phi & \sin \theta \sin \phi & \cos \theta \\ \cos \theta \cos \phi & \cos \theta \sin \phi & -\sin \theta \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix}$$

$$A_r = A_z \cos \theta = \frac{\mu I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta$$

$$A_\theta = -A_z \sin \theta = -\frac{\mu I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \sin \theta$$

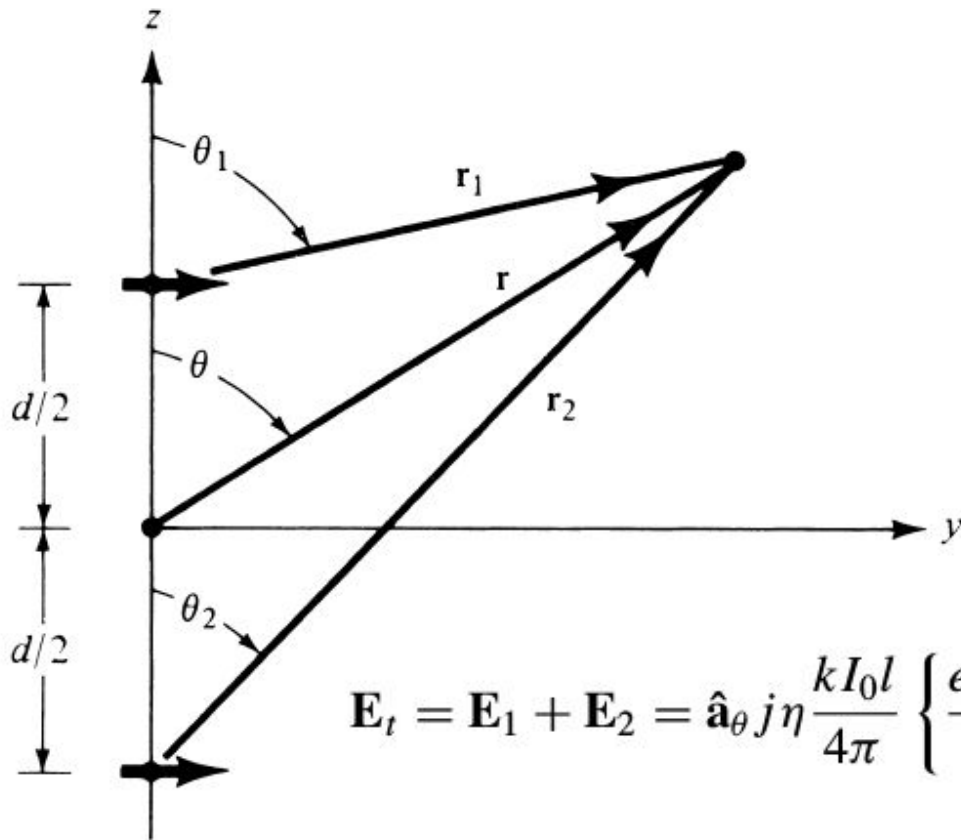
$$A_\phi = 0$$



$$\left. \begin{aligned} E_\theta &\simeq j\eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \sin \theta \\ E_r &\simeq E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \\ H_\phi &\simeq j \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \sin \theta \end{aligned} \right\} kr \gg 1$$

Far-Field ($kr \gg 1$) Region

Estructura con dos elementos



Dos dipolos infinitesimales. Notar orientación. Sin acoplamiento.

$$E_{\theta} \simeq j\eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta$$

I_0 Función de Bessel

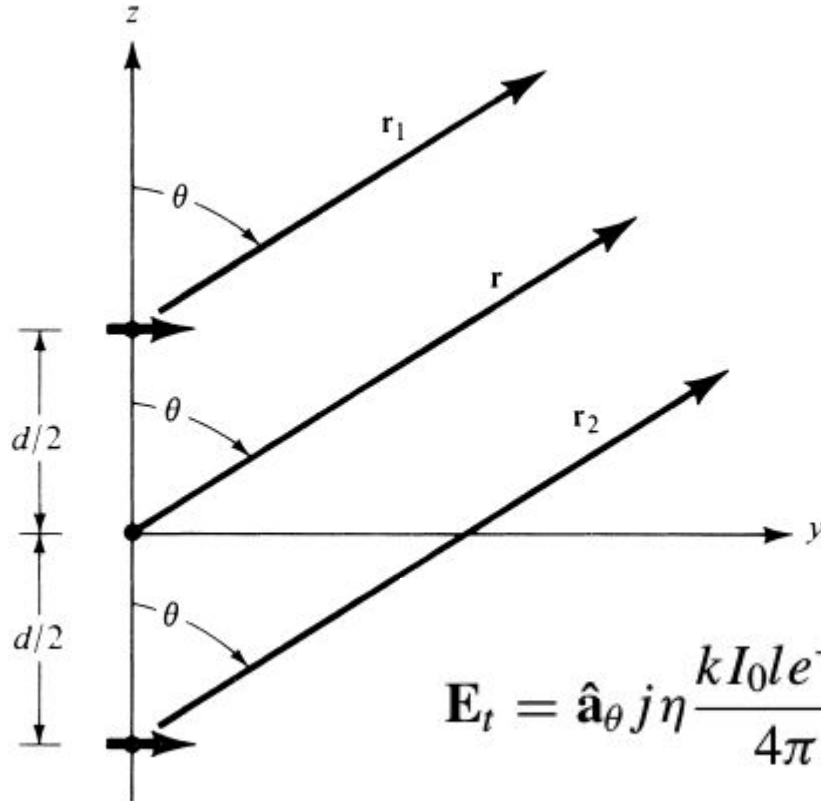
k Número de onda

η Impedancia intrínseca

β Diferencia de excitación de fase de cada elemento

$$\mathbf{E}_t = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = \hat{\mathbf{a}}_{\theta} j\eta \frac{k I_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\beta/2)]}}{r_1} \cos \theta_1 + \frac{e^{-j[kr_2 + (\beta/2)]}}{r_2} \cos \theta_2 \right\}$$

Estructura elemental



$$\theta_1 \simeq \theta_2 \simeq \theta$$

$$r_1 \simeq r - \frac{d}{2} \cos \theta$$

$$r_2 \simeq r + \frac{d}{2} \cos \theta$$

$$r_1 \simeq r_2 \simeq r$$

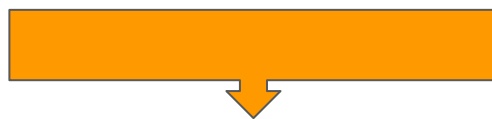
for phase variations

for amplitude variations

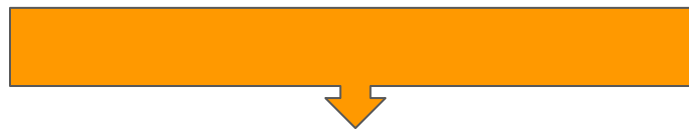
$$\mathbf{E}_t = \hat{\mathbf{a}}_\theta j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta [e^{+j(kd \cos \theta + \beta)/2} + e^{-j(kd \cos \theta + \beta)/2}]$$

Estructura elemental

$$\mathbf{E}_t = \hat{\mathbf{a}}_\theta j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos\theta \left\{ 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos\theta + \beta) \right] \right\}$$



Patrón de radiación
del dipolo
infinitesimal



Factor de array

$$E_\theta \simeq j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos\theta$$

Factor de array

Factor de Array:

El análisis de la estructura elemental revela que el patrón de radiación de la agrupación de antenas se compone del producto del patrón de radiación de uno de sus elementos, en un punto de referencia, por el factor de array de ese arreglo.

$$(AF)_n = \cos\left[\frac{1}{2}(kd \cos \theta + \beta)\right]$$

Factor de array

Factor de Array:

El análisis de la estructura elemental revela que el patrón de radiación de la agrupación de antenas se compone del producto del patrón de radiación de uno de sus elementos, en un punto de referencia, por el factor de array de ese arreglo.

$$\mathbf{E}(\text{total}) = [\mathbf{E}(\text{single element at reference point})] \times [\text{array factor}]$$

$$(AF)_n = \cos\left[\frac{1}{2}(kd \cos \theta + \beta)\right]$$

Factor de array

- Conocido como multiplicación de diagramas (*pattern multiplication*) de elementos idénticos.
- Cada arreglo tiene su propio factor. Función de:
 - Numero de elementos
 - La geometría del arreglo
 - Magnitudes relativas
 - Fases relativas
 - Espaciamiento

Análisis del resultado - Ejercicios

Encontrar los nulos del array recientemente derivado para:

$$d = \lambda/4$$

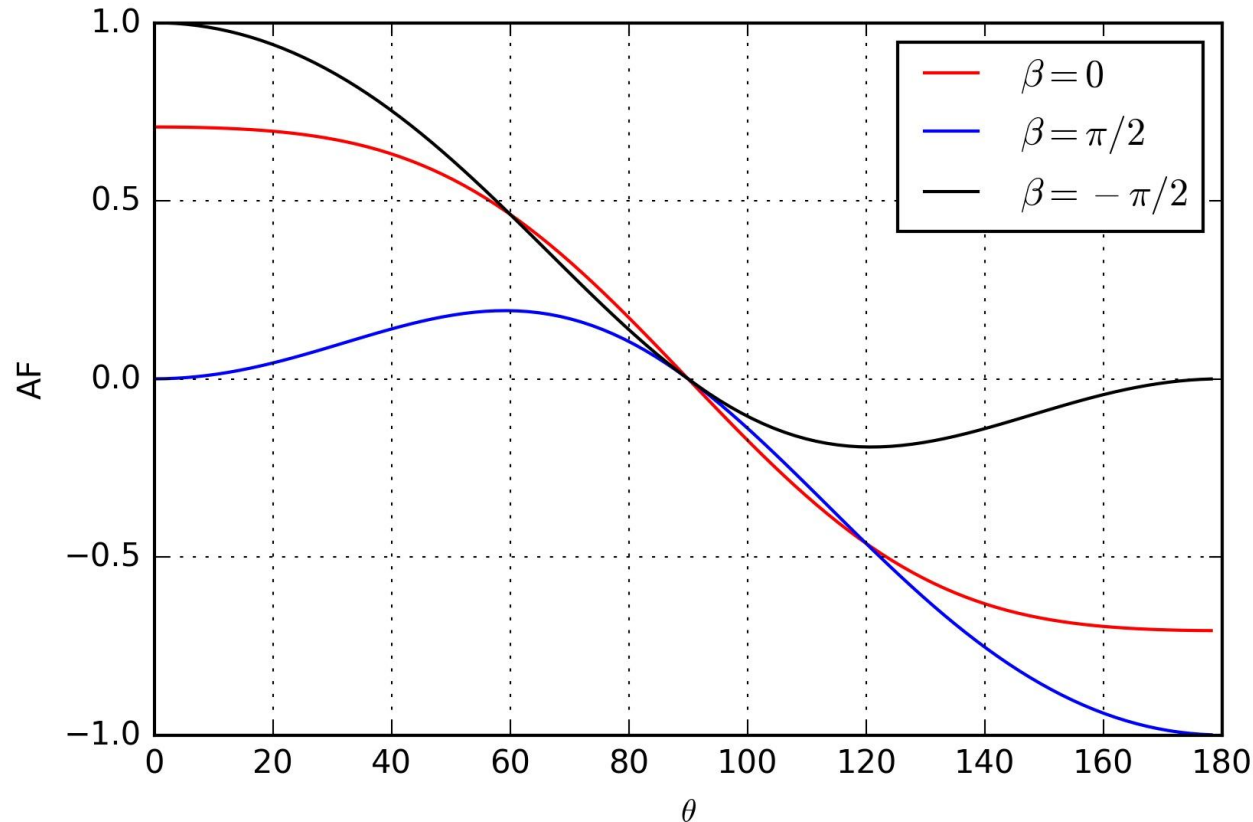
a. $\beta = 0$

$$\mathbf{E}_t = \hat{\mathbf{a}}_\theta j \eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta \left\{ 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \right\}$$

b. $\beta = \pi/2$

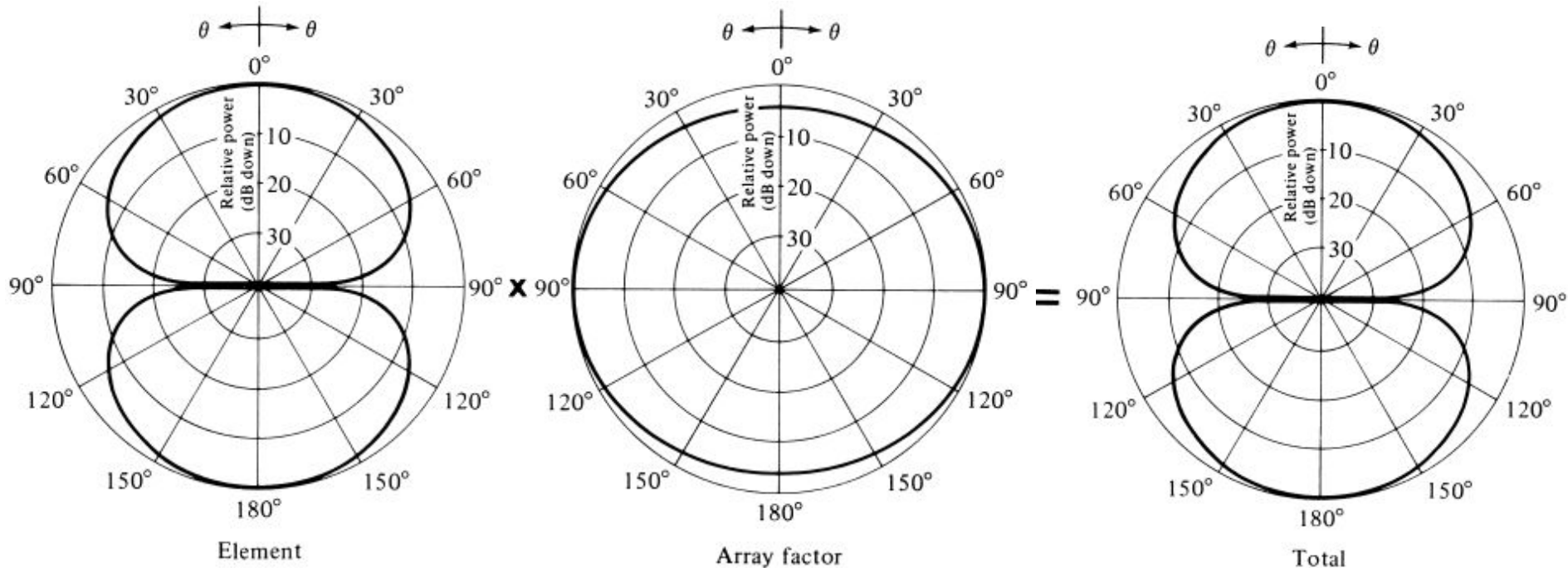
c. $\beta = -\pi/2$

Análisis del FA para varias fases



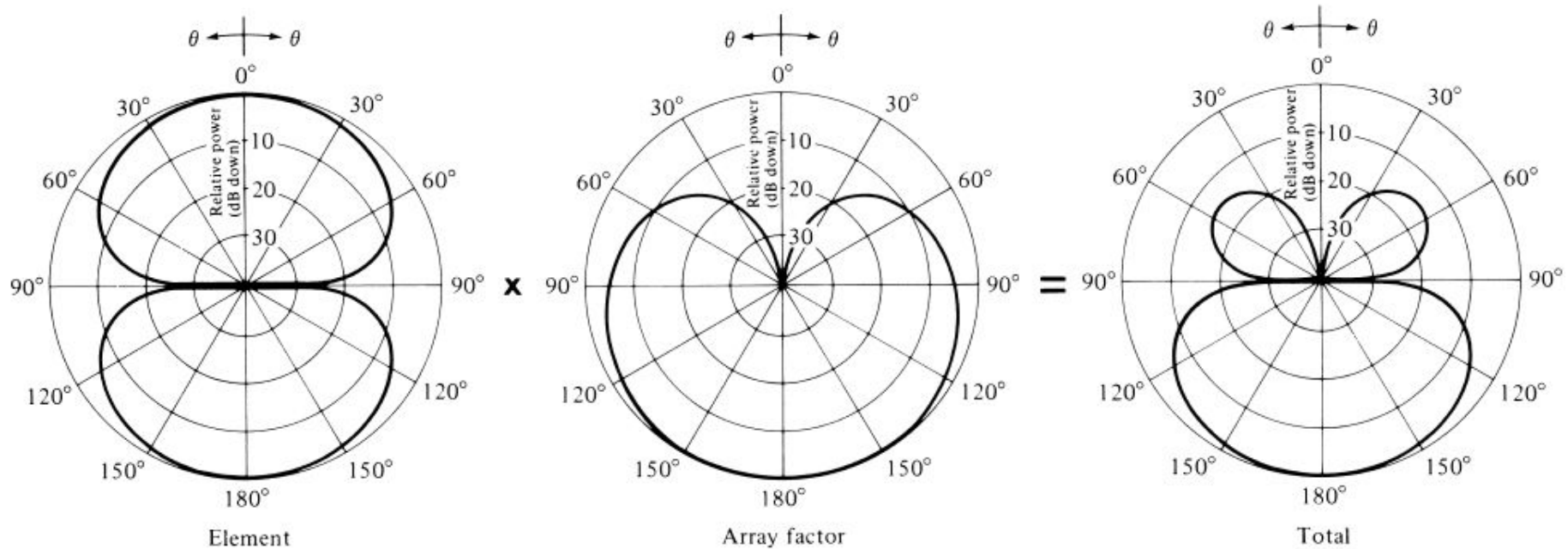
Fase de excitación
Geometría de elementos

Diagrama de radiación



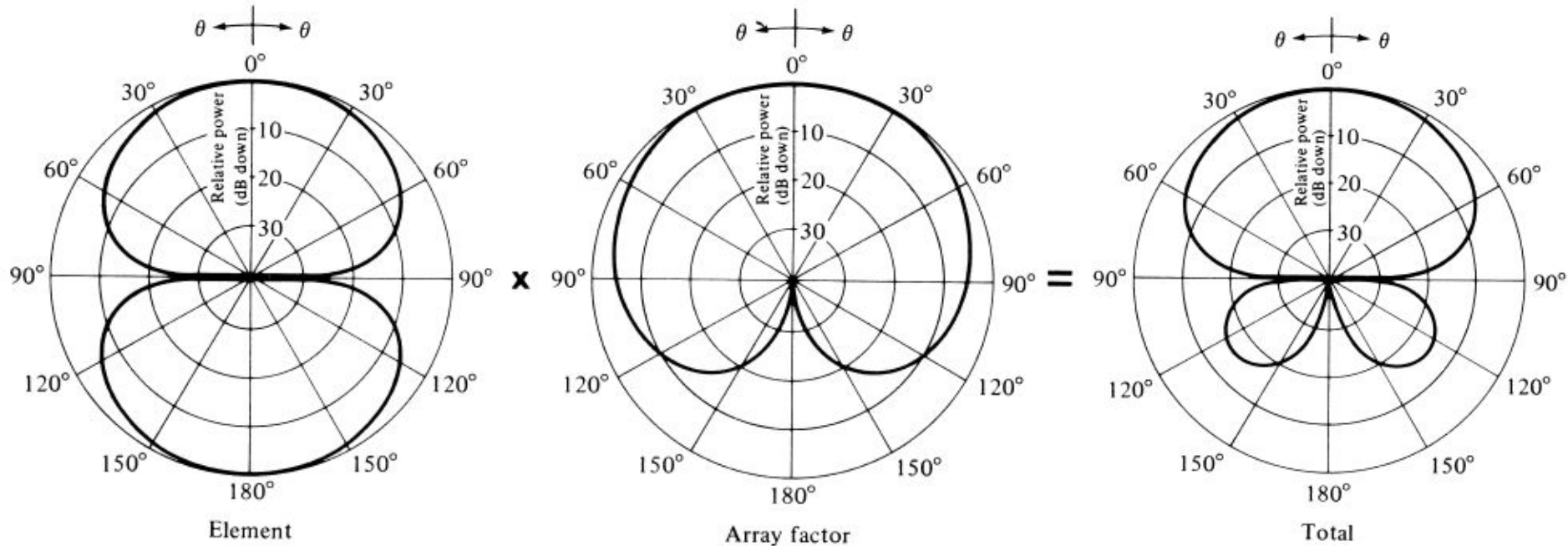
$$d = \lambda/4, \quad \beta = 0^\circ$$

Diagrama de radiación



$$d = \lambda/4, \quad \beta = +90^\circ$$

Diagrama de radiación



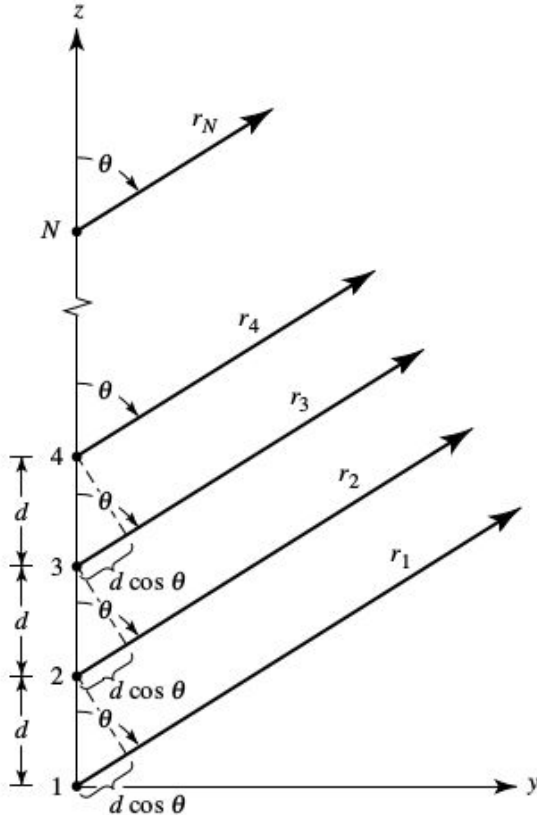
$$d = \lambda/4, \quad \beta = -90^\circ$$

Arreglos lineales - Amplitud y espaciado Uniforme

¿Cómo se modifica el factor de array cuando tenemos N elementos?

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\psi}$$

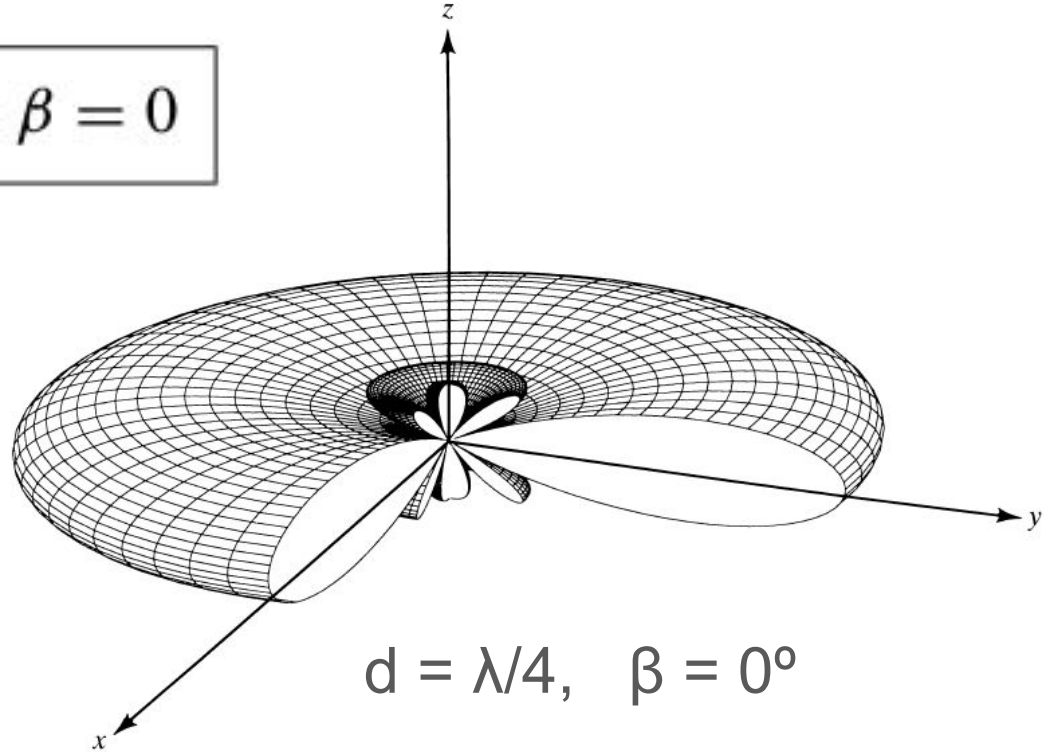
$$\text{where } \psi = kd \cos \theta + \beta$$



Broadside Array

$$\psi = kd \cos \theta + \beta |_{\theta=90^\circ} = \beta = 0$$

Fase progresiva nula,
el máximo del
diagrama de radiación
es perpendicular al eje
de la agrupación.



$$d = \lambda/4, \quad \beta = 0^\circ$$

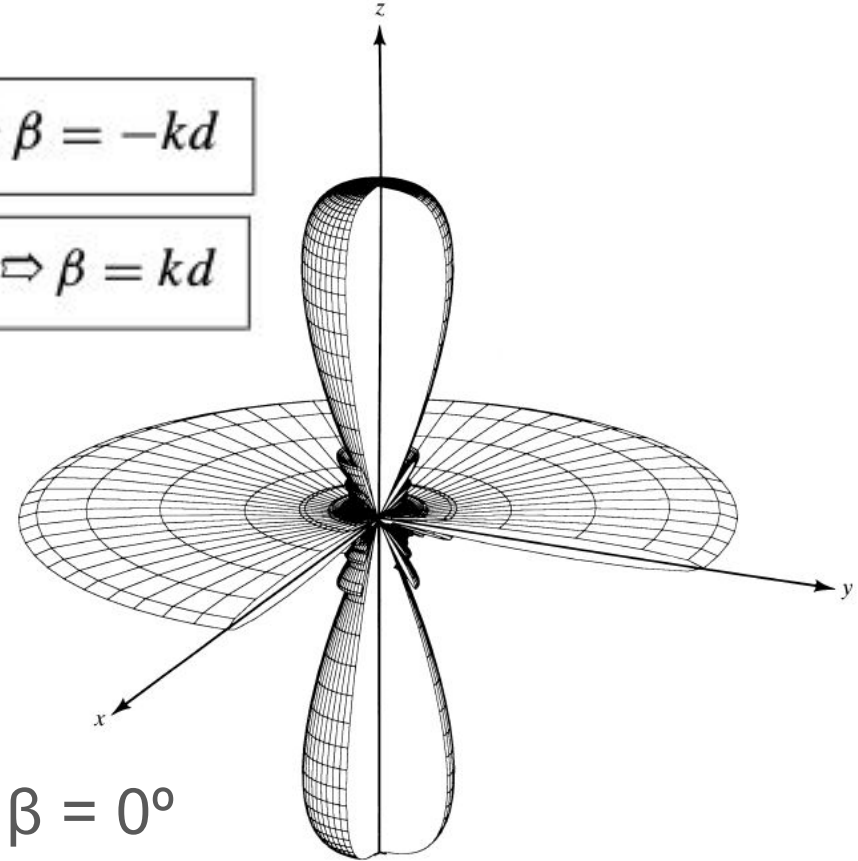
Endfire Array

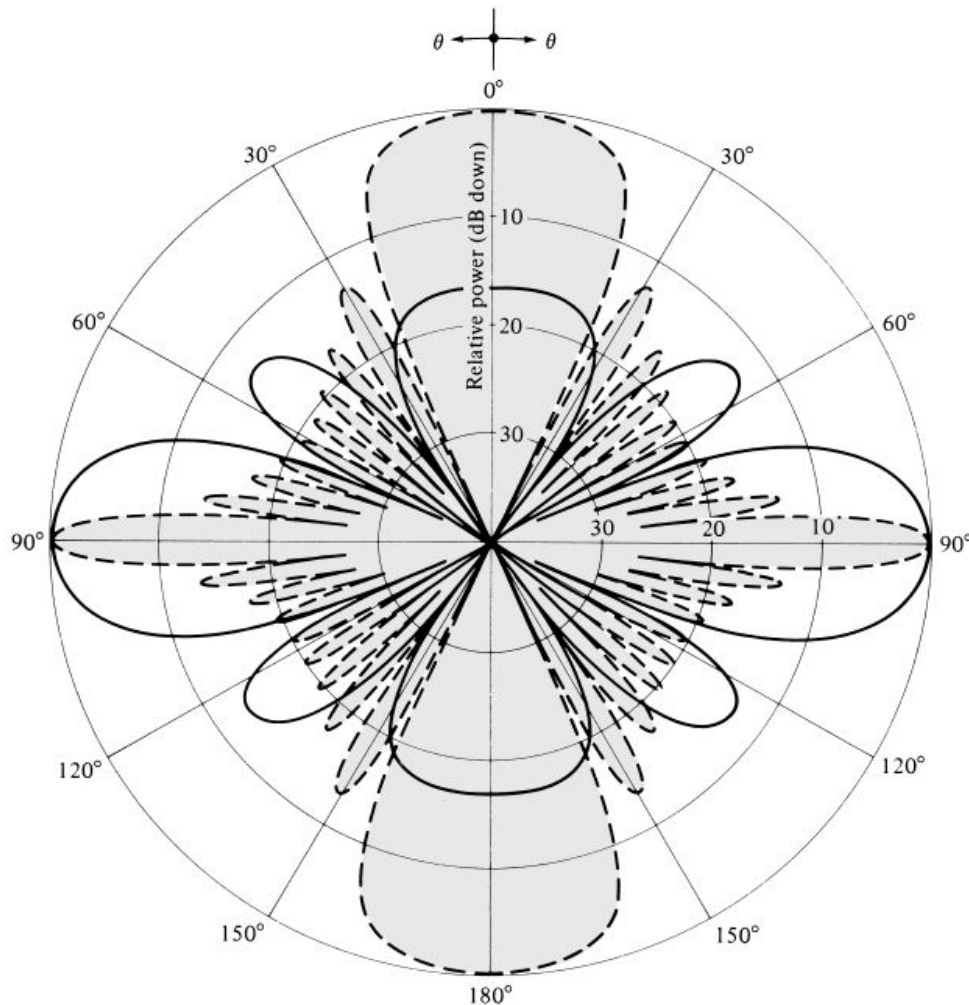
$$\psi = kd \cos \theta + \beta|_{\theta=0^\circ} = kd + \beta = 0 \Rightarrow \beta = -kd$$

$$\psi = kd \cos \theta + \beta|_{\theta=180^\circ} = -kd + \beta = 0 \Rightarrow \beta = kd$$

Fase progresiva = kd , el máximo es colineal con el eje de la agrupación.

$$N = 10, d = \lambda, \quad \beta = 0^\circ$$





Si $d = \lambda/2$, existe simultáneamente dos lóbulos principales. Para $d = \lambda$, existe además radiación endfire.
 Para tener un solo lóbulo principal; $d \leq \lambda/2$

$$N = 10, \quad \beta = 0^\circ$$

————— $d = \lambda/4$

- - - - - $d = \lambda$

Phased scanning array

Idea: controlar la excitación para generar modos de radiación broadside y luego endfire.







Arreglos lineales - Directividad

Broadside array

Endfire array

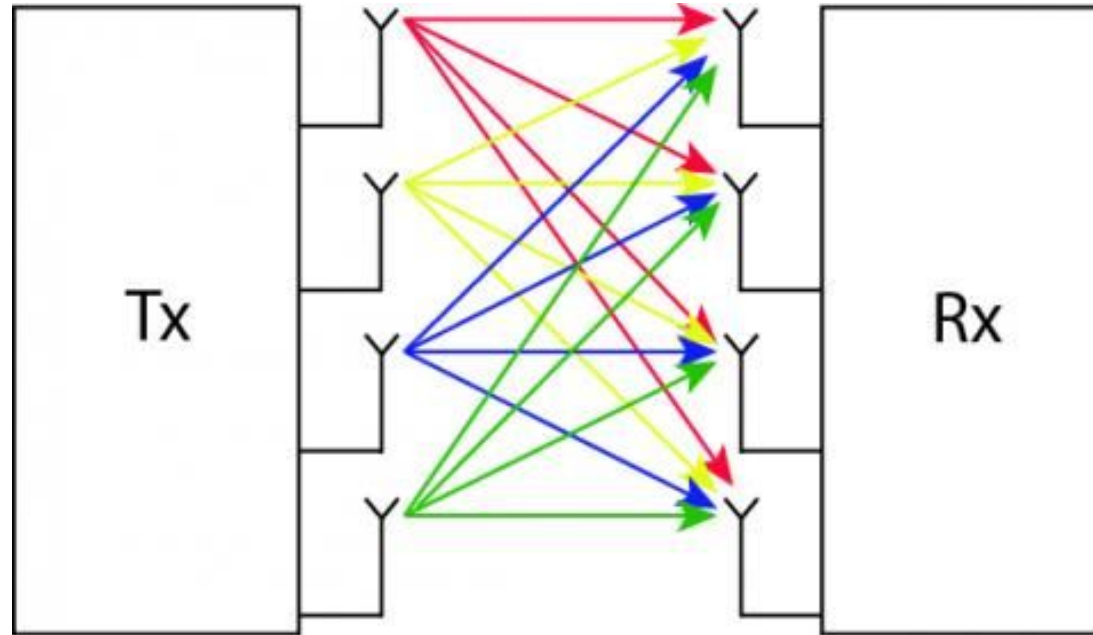
$$D_0 \simeq 2N \left(\frac{d}{\lambda} \right) = 2 \left(1 + \frac{L}{d} \right) \left(\frac{d}{\lambda} \right) \stackrel{L \gg d}{\simeq} 2 \left(\frac{L}{\lambda} \right) \quad D_0 \simeq 4N \left(\frac{d}{\lambda} \right) = 4 \left(1 + \frac{L}{d} \right) \left(\frac{d}{\lambda} \right) \stackrel{L \gg d}{\simeq} 4 \left(\frac{L}{\lambda} \right)$$

L is the overall length of the array

Arreglos lineales - resumen

Array	Distribution	Type	Direction of Maximum	Element Spacing
Linear	Uniform	Broadside	$\theta_0 = 90^\circ$ only $\theta_0 = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ simultaneously	$d_{\max} < \lambda$ $d = \lambda$
Linear	Uniform	Ordinary end-fire	$\theta_0 = 0^\circ$ only $\theta_0 = 180^\circ$ only $\theta_0 = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ simultaneously	$d_{\max} < \lambda/2$ $d_{\max} < \lambda/2$ $d = \lambda$

Sistemas MIMO



¿Un arreglo de antenas configura un sistema MIMO?