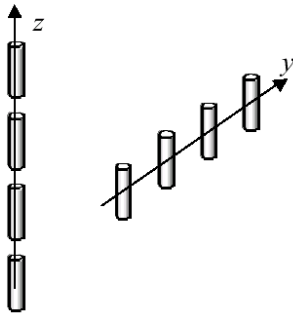




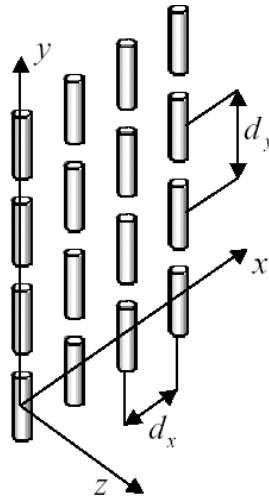
# ARRAYS: Agrupaciones de antenas

- Basado en **superposición de ondas** (misma frecuencia)
- Normalmente antenas idénticas
- Las antenas están conectadas entre sí y se considera
- como si fuese una única antena

## Arrays lineales



## Arrays planos



## Arrays conformes



# Cartagena99

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

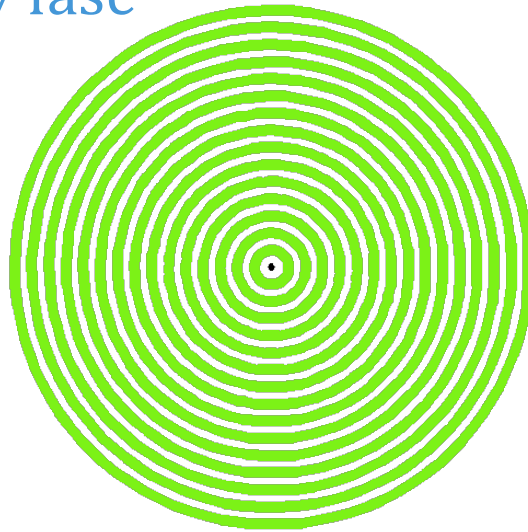
---

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

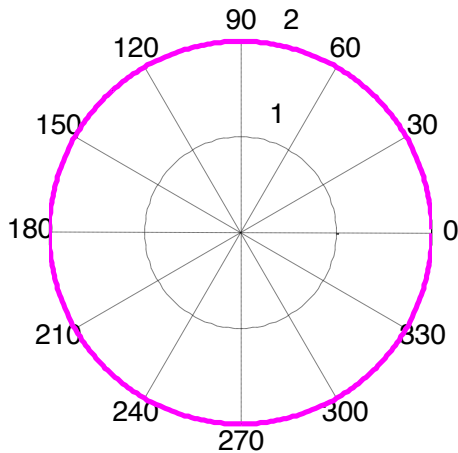


# Array de dos elementos isotrópicos con la misma amplitud y fase

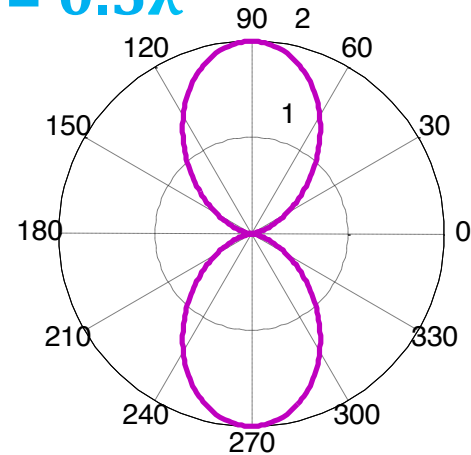
Antena isotrópica:



$d = 0$



$d = 0.5\lambda$



Cartagena99

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

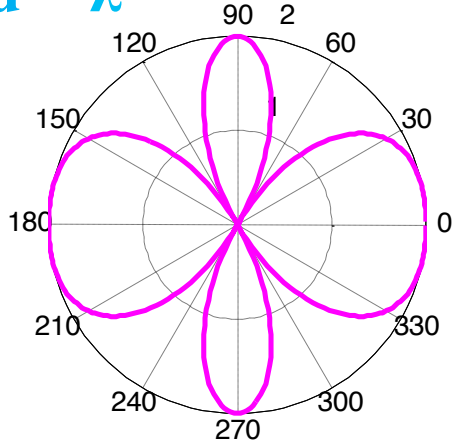
---

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

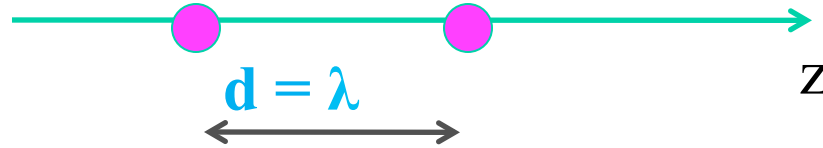


# Array de dos elementos isotrópicos con la misma amplitud y fase

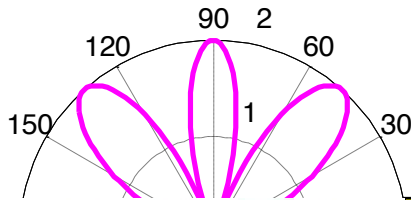
$$d = \lambda$$



[http://www.upv.es/antenas/Tema\\_6/videos/ondas\\_2\\_fase\\_iris.avi](http://www.upv.es/antenas/Tema_6/videos/ondas_2_fase_iris.avi)



$$d = 1.5\lambda$$



[http://www.upv.es/antenas/Tema\\_6/videos/ondas\\_2\\_fase\\_3lambda\\_medios.avi](http://www.upv.es/antenas/Tema_6/videos/ondas_2_fase_3lambda_medios.avi)

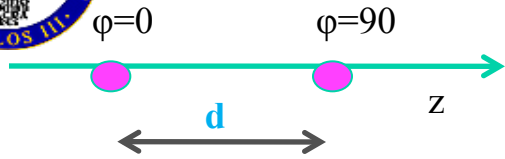
Cartagena99

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

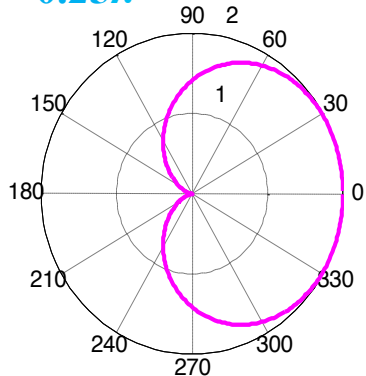
---

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

240 270 300

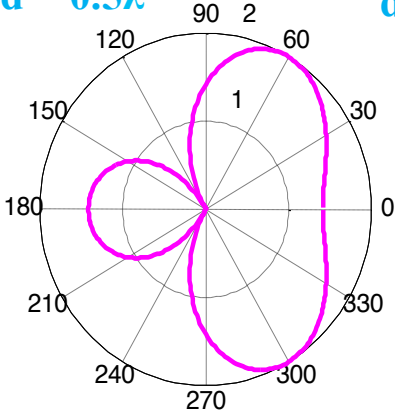


$d = 0.25\lambda$

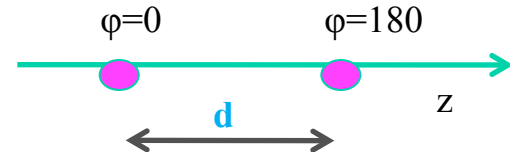
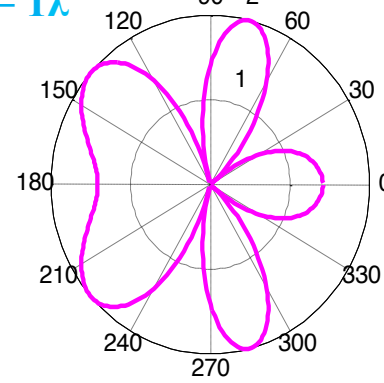


# Array de dos elementos isotrópicos con distinta fase

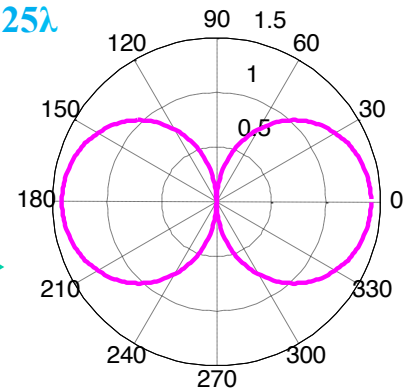
$d = 0.5\lambda$



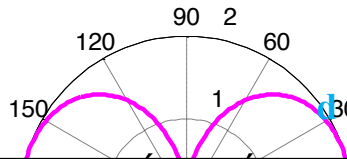
$d = 1\lambda$



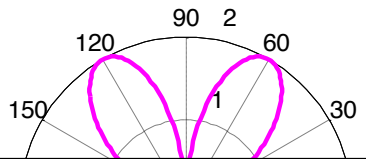
$d = 0.25\lambda$



$d = 0.5\lambda$



$d = 1\lambda$



# 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



# Superposición: N elementos

El campo radiado total es la suma del campo radiado por cada elemento (son VECTORES!!!)

$$\vec{E}(r, \theta, \phi) = \sum_{n=1}^N \vec{E}_n(r, \theta, \phi) = \sum_{n=1}^N \frac{\vec{E}_{n0}(\theta, \phi) e^{-jkr} e^{jk\vec{r}_n \cdot \hat{r}}}{r} = \frac{e^{-jkr}}{r} \sum_{n=1}^N \vec{E}_{n0}(\theta, \phi) e^{jk\vec{r}_n \cdot \hat{r}}$$

Si las antenas son **todas iguales**

$$\vec{E}(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{E}_0(\theta, \phi) \sum_{n=1}^N A_n e^{jk\vec{r}_n \cdot \hat{r}}$$

$$A_n = a_n e^{j\varphi_n}$$

## FACTOR DE ARRAY

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



# Factor de array

$$FA(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N A_n e^{jk\vec{r}_n \cdot \hat{r}} = \sum_{n=1}^N a_n e^{j\varphi_n} e^{jk\vec{r}_n \cdot \hat{r}}$$

- No depende del tipo de antena utilizado
- Depende de las posiciones relativas de las antenas (geometría del array)
- Depende de las amplitudes y fases con que se alimenten las antenas



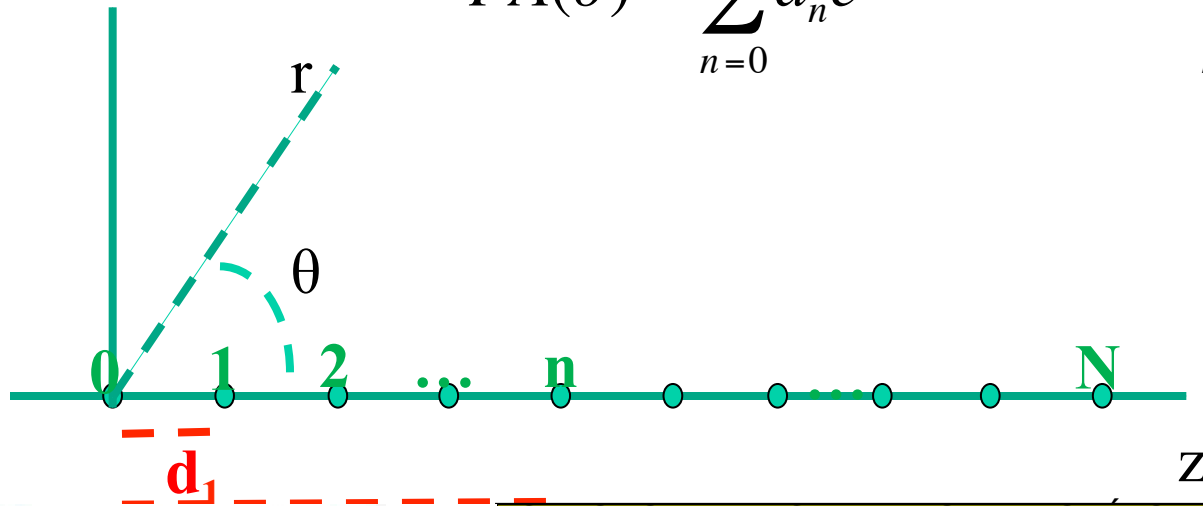
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
- - -  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Arrays lineales

- Supongamos que los elementos están alineados a lo largo del eje z y equiespaciados:

$$FA(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{j(kd_n \cos\theta + \varphi_n)} = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{j(nkd \cos\theta + \varphi_n)}$$



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



## Caso 1: amplitud y fase uniformes

Si los elementos están alimentados con la misma fase

$$\varphi_n = 0$$

$$FA(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jn(kd \cos\theta)} = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jn\Psi} = DFT^{-1}\{a_n\}$$

$$\Psi = kd \cos\theta$$

Si además los elementos están alimentados con la misma amplitud

$$a_n = a_0$$

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



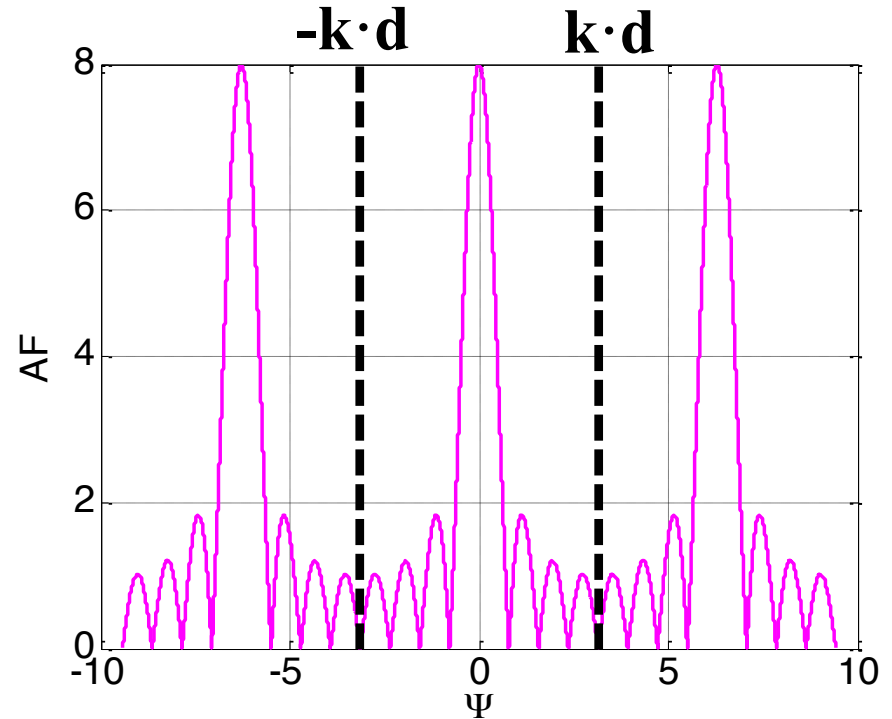


# Caso 1: array lineal con amplitud y fase uniformes

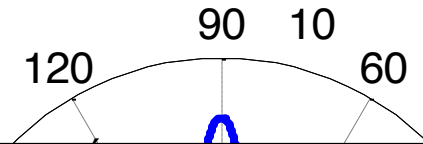
$$AF(\Psi) = \sum_{n=0}^{N-1} e^{jn\Psi} = \frac{e^{jN\Psi/2}}{e^{j\Psi/2}} \frac{\sin(N\Psi/2)}{\sin(\Psi/2)}$$

$$\Psi = kd \cos \theta$$

$$|AF(\Psi)| = \left| \frac{\sin(N\Psi/2)}{\sin(\Psi/2)} \right|$$



Margen visible el ángulo  $\theta$  sólo puede tomar valores entre 0 y  $\pi$ :



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

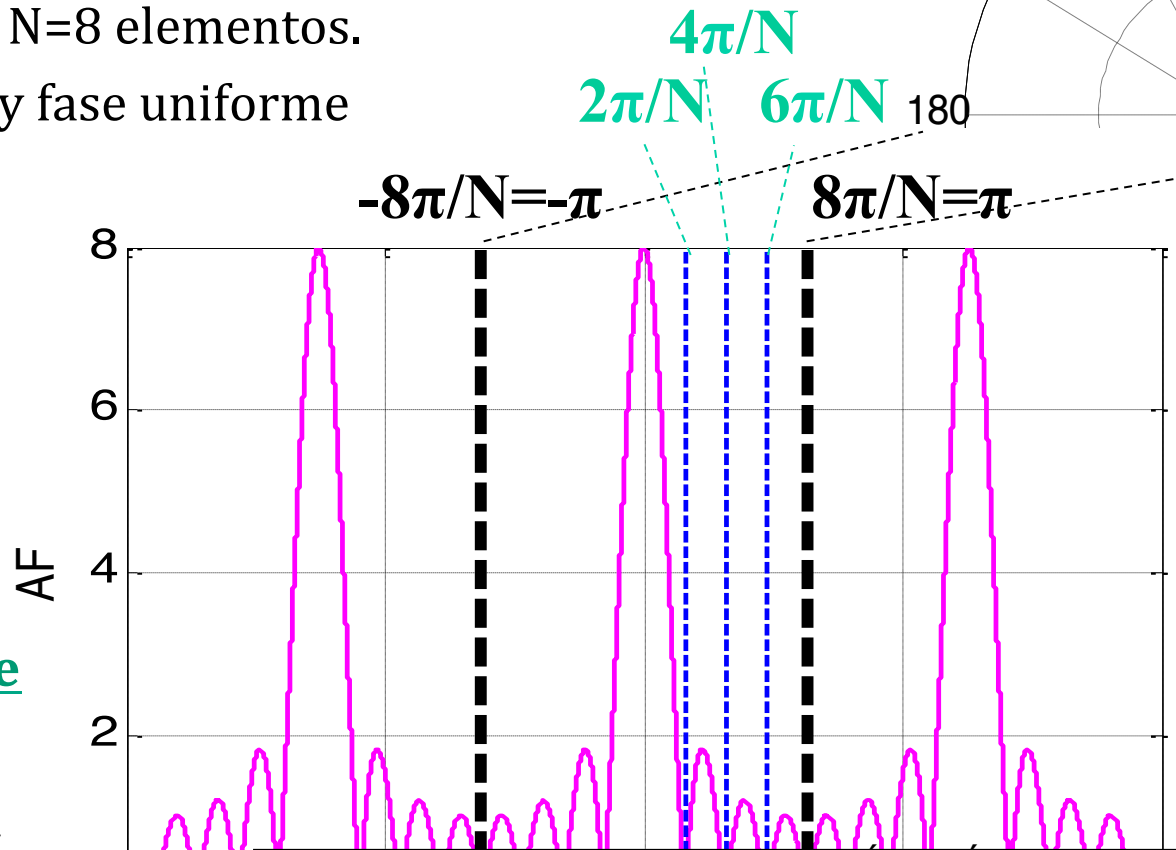
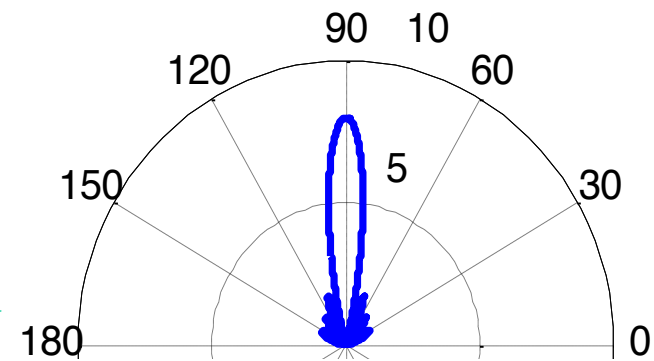
180

90



# Ejemplo 1

- Array con N=8 elementos.
- Amplitud y fase uniforme
- $d = 0.5\lambda$



**N-1 nullos  
entre 2  
máximos**

Margen visible

$$\Psi_1 = kd = \pi$$

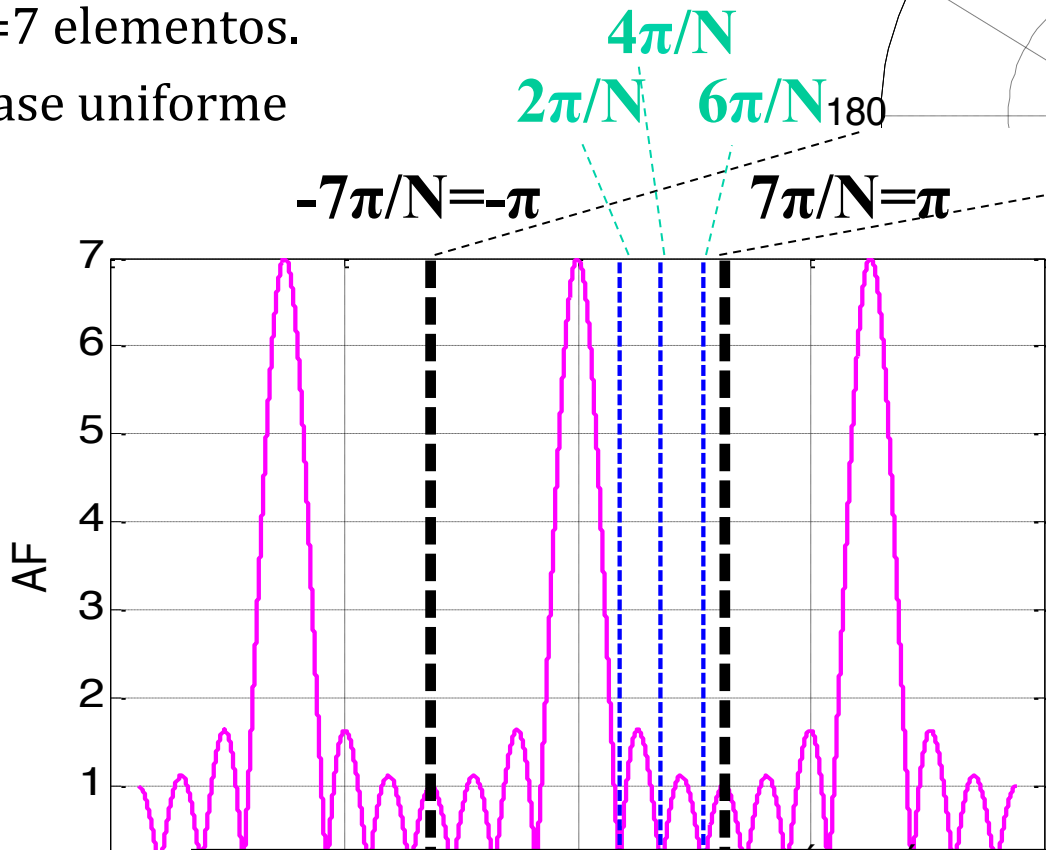
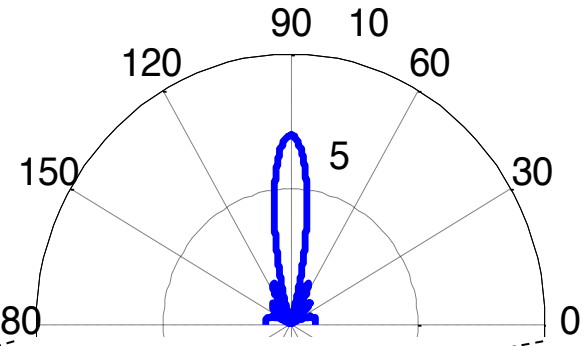
$$\Psi = -kd = -\pi$$

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# Ejemplo 2

- Array con N=7 elementos.
- Amplitud y fase uniforme
- $d = 0.5\lambda$



Margen visible

$$\Psi_1 = kd = \pi$$

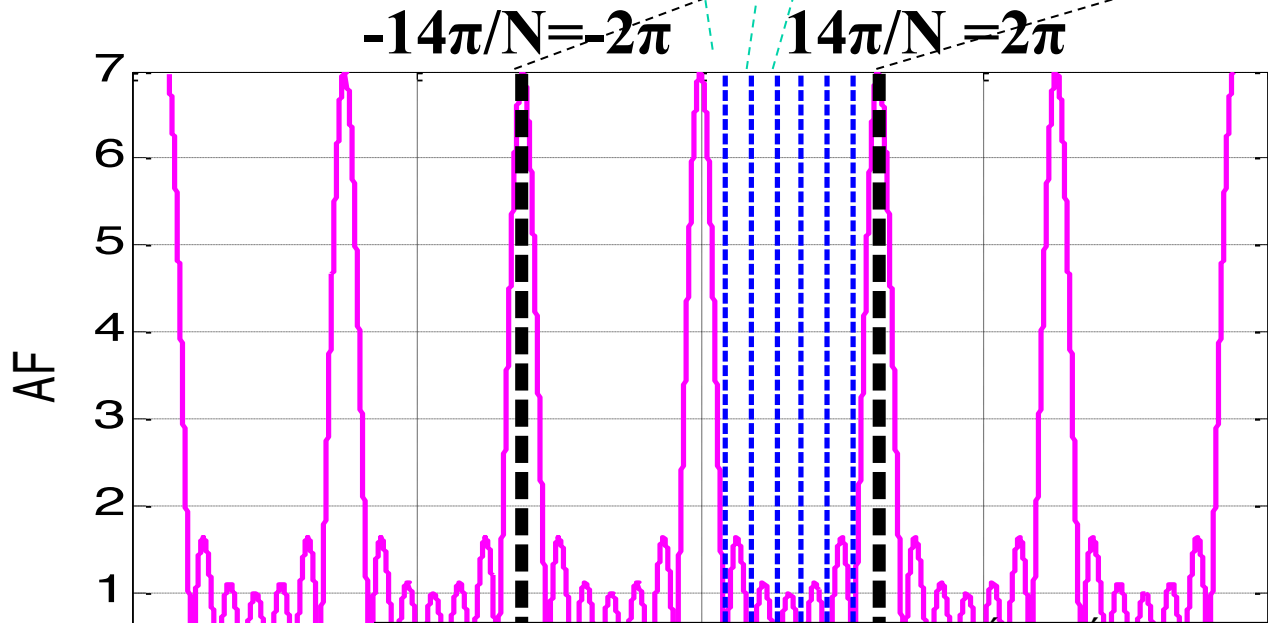
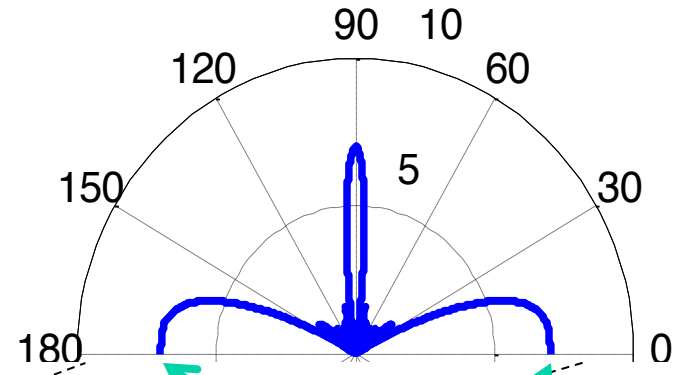
$$\Psi_2 = -kd = -\pi$$

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



# Ejemplo 3

- Array de N=7 elementos.
- Amplitud y fase uniformes
- $d = \lambda$



Grating lobes  
 $d \geq \lambda$

Cartagena99

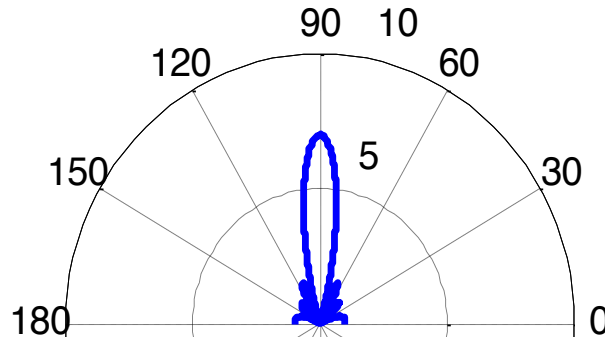
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

$$\Psi = -kd = -2\pi$$

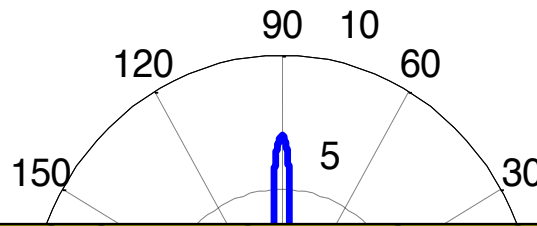


# Consideraciones

- Si no hay cambio en la fase:
  - El diagrama de radiación es siempre **broadside**:



- Pero, si  $d$  es muy grande puede haber **grating lobes**:



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



## Cuestiones:

- ¿qué ocurre con el ancho de haz del lóbulo principal si aumentamos el número de elementos de un array? Suponga  $d=\lambda/2$  y calcúlelo para  $N=4,6$  y 10 elementos
- ¿qué pasa con la directividad?
- ¿Cuál es el nivel de lóbulo secundario (SLL)?
- Si ahora mantengo  $N=5$  y cambio la distancia entre elementos, ¿qué sucede con el ancho de haz? Calcúlelo para  $d=\lambda/2$ ,  $d=0.8\lambda$  y  $d=1.5\lambda$
- ¿En algún caso hay 'grating lobes'? ¿En qué dirección?
- ¿Cuál es la dirección de apuntamiento (o máxima radiación en todos los casos)?
- Diseñe un array de 5 elementos con BW de  $80^\circ$

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



## Caso 2: array lineal con amplitud uniforme y fase progresiva (lineal)

$$a_n = a_0 \quad \varphi_n = n\alpha$$

$$FA(\theta) = a_0 \sum_{n=0}^{N-1} e^{jn(kd \cos\theta + \alpha)} = a_0 \sum_{n=0}^{N-1} e^{jn\Psi} = DFT^{-1}\{a_n\}$$

$$\Psi = kd \cos\theta + \alpha$$

Cartagena99

$$1 \left| \frac{\sin(N\Psi/2)}{\sin(\Psi/2)} \right|$$

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

---

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



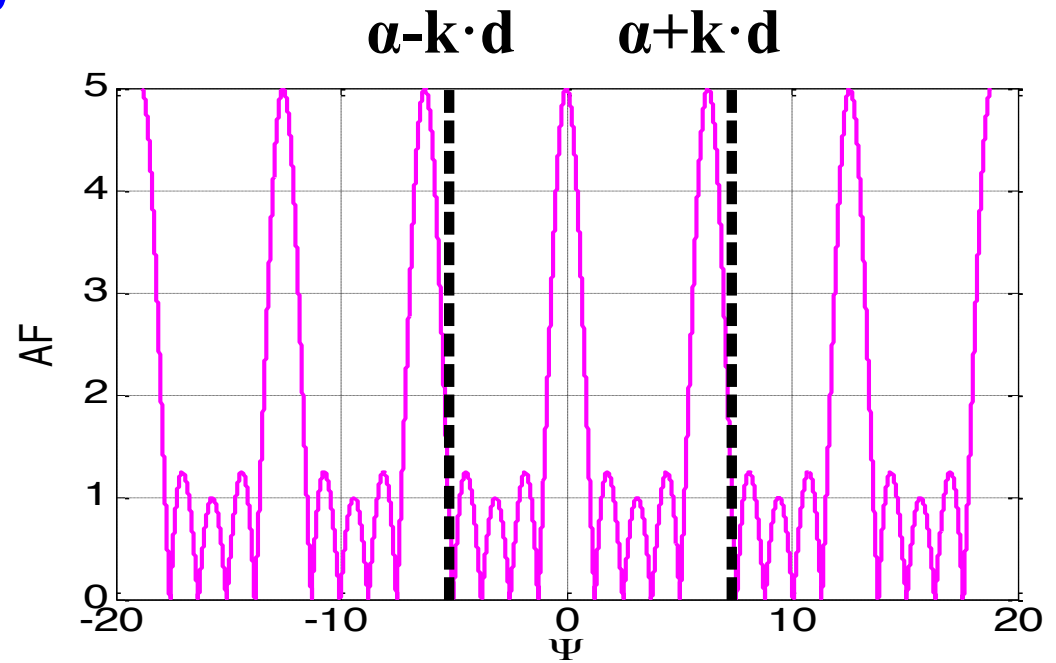
# Caso 2: array lineal con amplitud uniforme y fase progresiva (lineal)

Misma función matemática pero cambia el 'trozo' que cogemos (Margen Visible) deja de ser simétrico respecto a 0

## Margen visible:

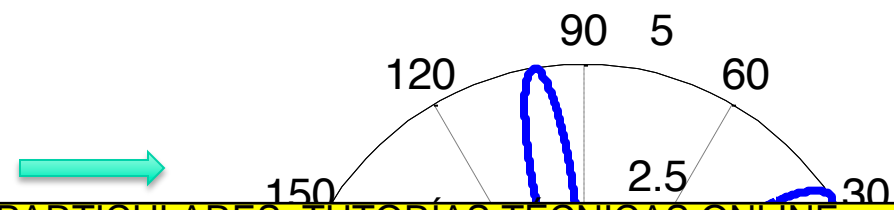
$$\theta = 0 \Rightarrow \Psi = \alpha + kd$$

$$\theta = \pi \Rightarrow \Psi = \alpha - kd$$



¡¡El array ya NO es broadside!!!!

El máximo sigue obteniéndose cuando  $\psi=0=kd \cos\theta_M + \alpha$



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

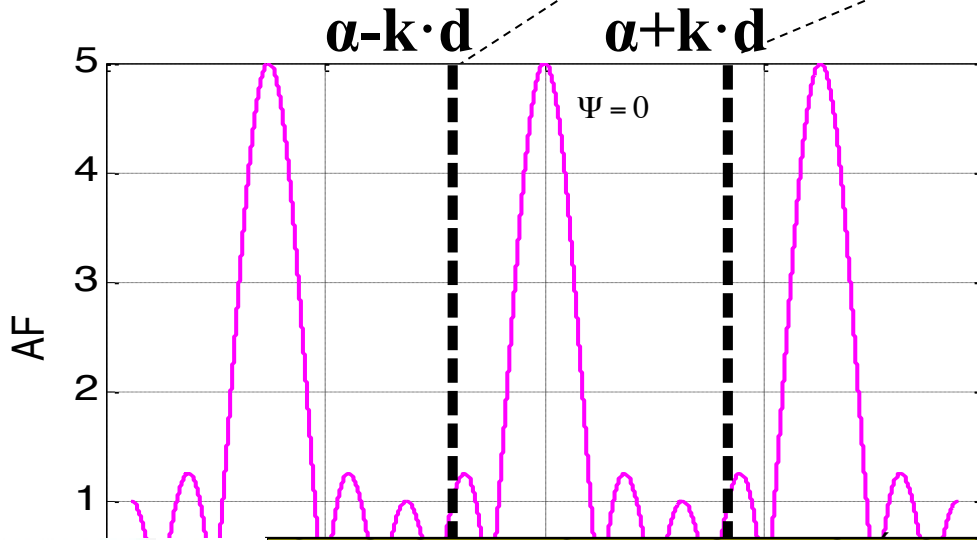
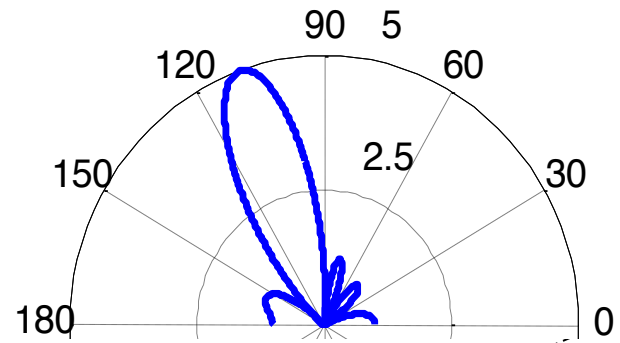
depende de  $\alpha$ !!!





# Ejemplo 1

- Array de N=5 elementos.
- Amplitud uniforme
- $d = 0.5\lambda$
- $\alpha = 60^\circ$



**Dirección de máxima radiación**  
 **$\Psi = 0$**

Cartagena99

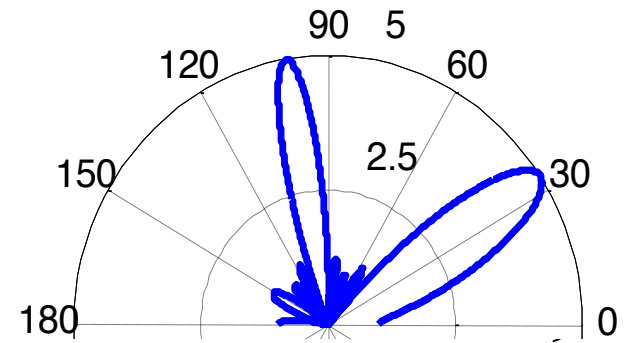
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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



# Ejemplo 2

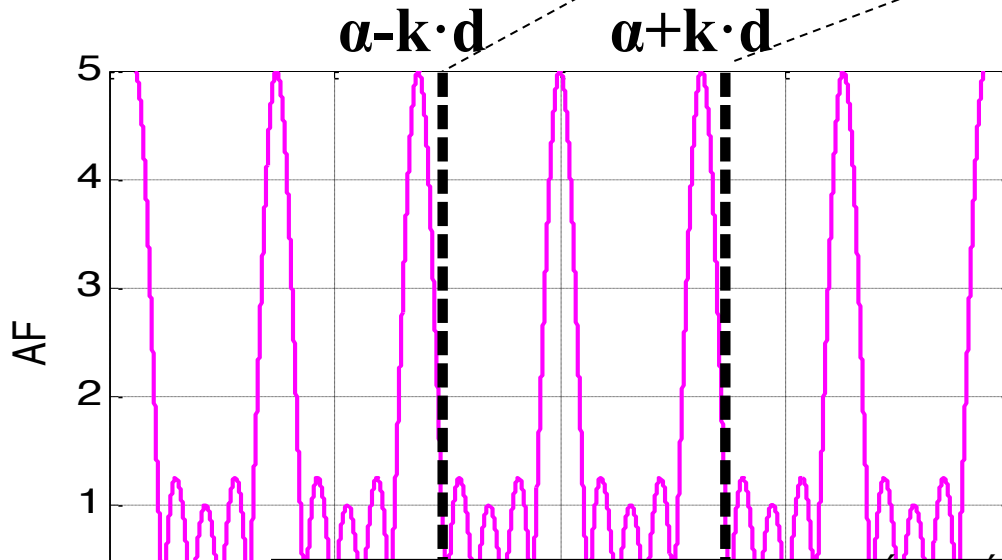
- Array de N=5 elementos.
- Amplitud uniforme
- $d = \lambda$
- $\alpha = 60^\circ$



**Grating lobes si:**

$$kd + |\alpha| \geq 2\pi$$

**Puede haber grating lobes para  $d < \lambda$**



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

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

Cartagena99

$$\psi_0 = \alpha - kd = -2\pi = -1.66\pi$$



# Caso particular: array endfire

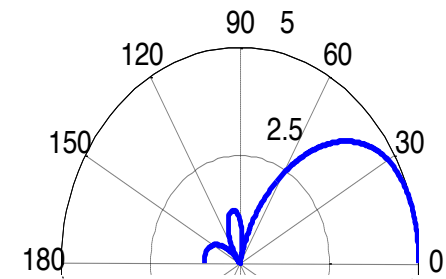
- Array con su máximo en la dirección del eje  $\theta_M = 0$  o  $\theta_M = 180$

↓

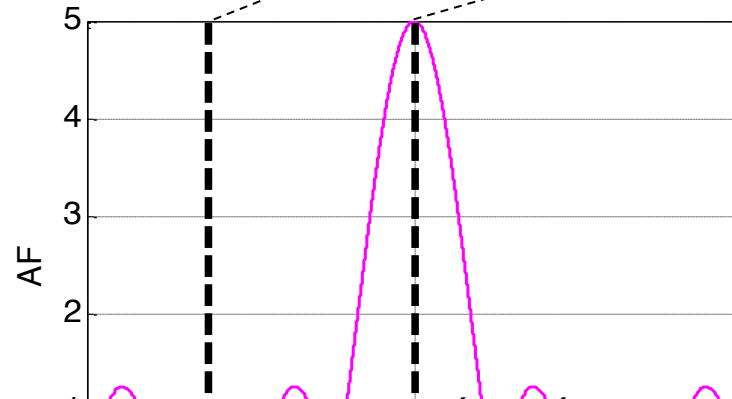
$$\alpha = -kd$$

↓

$$\alpha = kd$$



- Ejemplo N=5 elementos y  $\theta_M = 0$ .
- Amplitud Uniforme
- $d = 0.25\lambda$
- $\alpha = -90^\circ$
- $\Psi_1 = 0$
- $\Psi_2 = \pi$



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

1 2 1



# RESUMEN

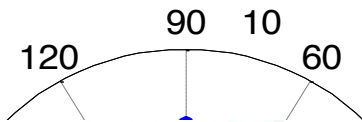
## Broadside

$$\alpha = 0$$

$$\Psi = kd \cos \theta$$

$$-kd < \Psi < kd$$

$$\theta_M = 90^\circ$$



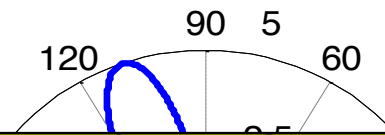
## Scanning

$$\alpha \neq 0 \neq \pm kd$$

$$\Psi = kd \cos \theta + \alpha$$

$$-kd + \alpha < \Psi < kd + \alpha$$

$$\theta_M = \arccos\left(\frac{-\alpha}{kd}\right)$$



## End-fire

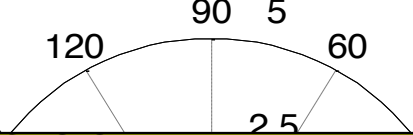
$$\alpha = \pm kd$$

$$\Psi = kd \cos \theta + \alpha$$

$$-2kd < \Psi < 0$$

$$0 < \Psi < 2kd$$

$$\theta_M = 0^\circ \quad \theta_M = 180^\circ$$



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



## Cuestiones:

- ¿cómo se consigue que un array lineal apunte a una dirección que no sea broadside?
- Si tiene un array de  $N=5$  elementos separados  $d=\lambda/2$ , calcule la fase progresiva que es necesario aplicar para que el array apunte a  $60^\circ$ . Repita el cálculo para  $N=10$  y extraiga conclusiones.
- Para los dos casos anteriores calcule la anchura del lóbulo principal.
- Diseñe un array endfire de 7 elementos con máxima directividad y un nulo en la dirección del eje opuesta al máximo.
- Calcule la anchura entre nulos del caso anterior.

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