

# ARREGLOS DE ANTENAS



## **1. Conceptos básicos de antenas.**

Una antena es un dispositivo (conductor metálico) diseñado con el objetivo de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

Existe una gran diversidad de tipos de antenas. En unos casos deben expandir en lo posible la potencia radiada, es decir, no deben ser directivas (ejemplo: una emisora de radio comercial o una estación base de teléfonos móviles), otras veces deben serlo para canalizar la potencia en una dirección y no interferir a otros servicios (antenas entre estaciones de radioenlaces).

El patrón de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las coordenadas espaciales. En la mayoría de los casos, el patrón de radiación es determinado para la región de campo lejano. Las propiedades de radiación incluyen: intensidad de radiación, fuerza del campo, fase, polarización.

La propiedad de radiación que más interesa es la distribución de la energía radiada como función de la posición de un observador a lo largo de un radio constante.

Uno de los parámetros que se usa comúnmente para medir la capacidad de una antena de dirigir la potencia radiada en una dirección determinada es la ganancia directiva, para definirla se recurre a la intensidad de radiación.

La intensidad de radiación es la potencia media temporal por unidad de ángulo sólido.

## **2. Arreglos de Antenas**

Usualmente el patrón de radiación de una sola antena es relativamente ancho, y cada elemento provee valores bajos de directividad (ganancia). En muchas aplicaciones es necesario diseñar antenas con una directividad muy alta para cubrir la demanda de las comunicaciones a larga distancia. Esto sólo se logra incrementando el tamaño eléctrico de las antenas.

Alargar las dimensiones de un solo elemento da como resultado mayor directividad. Otra manera de alargar las dimensiones de la antena, sin incrementar necesariamente el tamaño de los elementos individuales, es formar un conjunto de elementos radiadores en una configuración eléctrica y geométrica. Esta nueva antena, formada por multielementos, se llama arreglo.

El campo total del arreglo está determinado por la suma vectorial de los campos radiados por los elementos individuales. Para proveer patrones muy directivos, es necesario que los

campos de la antenas de un arreglo interfieran constructivamente (se sumen) en las direcciones deseadas y que interfieran destructivamente (se cancelen entre ellos) en el espacio restante. Existen al menos cinco factores que influyen en la forma del patrón de radiación de la antena:

1. La configuración geométrica del arreglo (lineal, circular, rectangular, esférica).
2. El espaciamiento relativo entre elementos.
3. La amplitud de la excitación de los elementos individuales.
4. La fase de la excitación de los elementos individuales.
5. El patrón relativo de los elementos individuales.

El factor de arreglo es el diagrama de radiación de una agrupación de elementos isotrópicos.

Cuando los diagramas de radiación de cada elemento del arreglo son iguales y los elementos están orientados en la misma dirección del espacio, el diagrama de radiación de la agrupación se puede obtener como el producto del factor de arreglo por el diagrama de radiación del elemento.

$$E(\text{total}) = [E(\text{elemento individual al punto de referencia})] \times [\text{factor de arreglo}]$$

### 3. Arreglos Lineales Uniformes

Se agrupan  $n$  antenas de forma adyacente, alimentadas cada una de ellas con la misma magnitud de corriente, pero con un desfase progresivo de  $\beta$  radianes. El factor de arreglo puede ser obtenido considerando a los elementos como fuentes puntuales. El campo total se obtiene multiplicando el factor de arreglo de las fuentes isotrópicas por el campo de un solo elemento. Esta es la regla de multiplicación de patrones y aplica sólo para arreglos de elementos idénticos.

El factor de arreglo está dado por:

$$AF = 1 + e^{+j(kd \cos \theta + \beta)} + e^{+j2(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{j(N-1)(kd \cos \theta + \beta)}$$

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)}$$

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

Donde:

$$\psi = kd \cos \theta + \beta$$

$$k = 2\pi/\lambda$$

El factor arreglo puede ser controlado en arreglos uniformes si se selecciona adecuadamente la fase relativa entre elementos ( $\psi$ ). El factor arreglo también se puede expresar de manera compacta y cerrada. Esto se logra haciendo lo siguiente:

Multiplicando ambos lados de la expresión anterior por  $e^{j\psi}$ . Se puede escribir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{AF} &= \left[ \frac{e^{jN\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1} \right] = e^{j[(N-1)/2]\psi} \left[ \frac{e^{j(N/2)\psi} - e^{-j(N/2)\psi}}{e^{j(1/2)\psi} - e^{-j(1/2)\psi}} \right] \\ &= e^{j[(N-1)/2]\psi} \left[ \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \end{aligned}$$

Si el punto de referencia es el centro físico del arreglo, el factor arreglo se reduce a:

$$\text{AF} = \left[ \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right]$$

#### 4. Arreglo Broadside

En muchas aplicaciones es deseable tener máxima radiación de un arreglo dirigida sobre la normal al eje del arreglo. Para optimizar el diseño. El máximo de un solo elemento y del factor de arreglo deben estar direccionados hacia  $\Theta = 90^\circ$

El primer máximo del arreglo ocurre cuando:

$$\psi = kd \cos \theta + \beta = 0$$

Debido a que se desea tener el primer máximo dirigido hacia  $\Theta = 90^\circ$ , entonces:

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

Debido a que tenemos al máximo del factor arreglo de un arreglo lineal uniforme dirigido perpendicularmente al eje del arreglo, es necesario que todos los elementos tengan la misma fase de excitación (en adición, la misma amplitud de excitación). Para asegurar que no hay máximos principales en otras direcciones, la separación entre los elementos no debe ser igual a un múltiplo de la longitud de onda ( $d \neq n\lambda$ ,  $n = 1, 2, 3 \dots$ ) cuando  $\theta = 0$ .

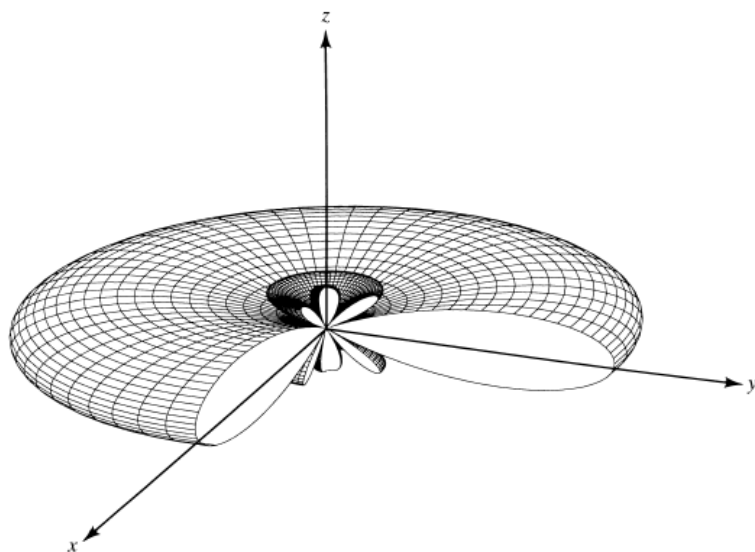
Si  $d = n\lambda$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$  and  $\theta = 0$ , entonces:

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \Big|_{\substack{d=n\lambda \\ \beta=0 \\ n=1,2,3,\dots}} = 2\pi n \cos \theta \Big|_{\theta=0^\circ, 180^\circ} = \pm 2n\pi$$

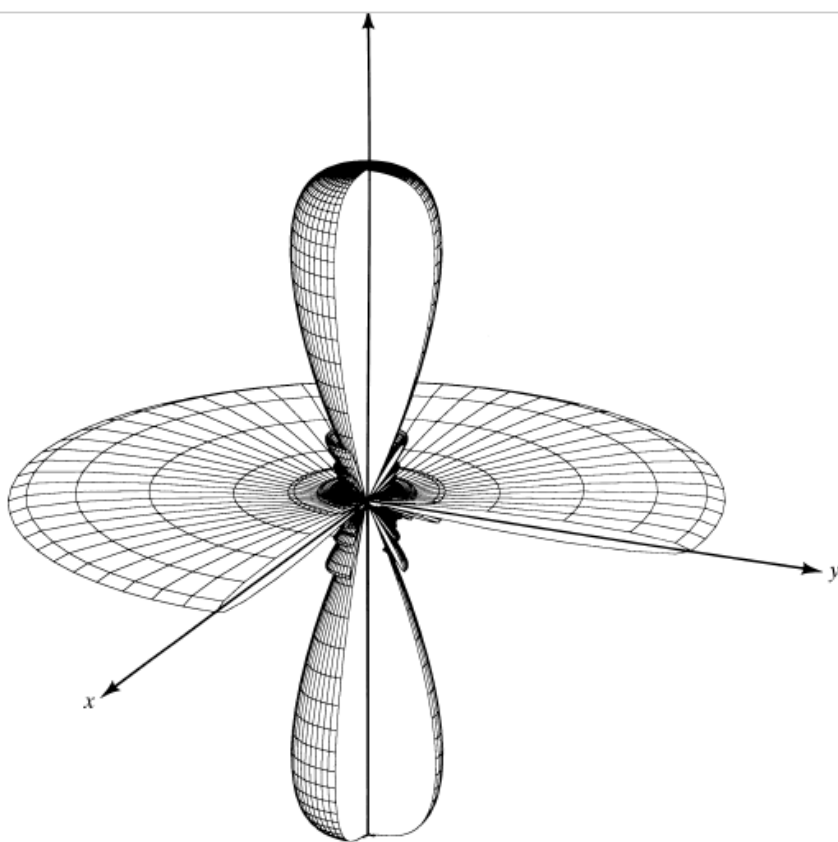
En ese caso en adición al máximo del factor de arreglo dirigido perpendicularmente al eje del arreglo, hay máximos adicionales a lo largo del eje ( $\theta = 0^\circ, 180^\circ$ ) del arreglo (radiación end-fire).

Uno de los objetivos en muchos diseños es evitar múltiples máximos en adición al máximo principal. Frecuentemente se requiere seleccionar el espacio más largo entre los elementos pero sin lóbulos indeseados. Para evitar cualquier lóbulo indeseado, la distancia máxima entre elementos debe ser menos a una longitud de onda ( $d_{\max} < \lambda$ ).

A continuación se muestran dos patrones de radiación para diferentes valores de distancia entre antenas, en el primer caso es menor a la longitud de onda, por lo tanto sólo se tiene un lóbulo principal; en el segundo caso es igual a la longitud de onda, por lo que se tienen dos lóbulos máximos.



(a) Broadside ( $\beta = 0$ ,  $d = \lambda/4$ )



(b) Broadside/end-fire ( $\beta = 0$ ,  $d = \lambda$ )

## 5. Arreglos ordinarios End-Fire

En lugar de tener la máxima radiación perpendicular al eje del arreglo, puede desearse a lo largo del eje del arreglo (end-fire). De hecho, es necesario que radie sólo en una dirección ( $\theta_0 = 0^\circ$  o  $\theta_0 = 180^\circ$ ). Para dirigir el primer máximo hacia  $\theta_0 = 0^\circ$ ,

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

Para dirigir el primer máximo hacia  $\theta_0 = 180^\circ$ ,

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

Si la separación entre elementos es  $d = \lambda/2$ , la radiación end-fire existe simultáneamente en ambas direcciones ( $\theta_0 = 0^\circ$  y  $\theta_0 = 180^\circ$ ). Si la distancia entre elementos es un múltiplo de la longitud de onda ( $d = n\lambda$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ ), en adición a la radiación end-fire en ambas direcciones también se tienen máximos en dirección broadside. Para tener sólo un máximo end-fire y para evitar lóbulos indeseados, el máximo espaciamiento entre los elementos debe ser menor que  $d_{\text{maz}} < \lambda/2$ .

En la siguiente figura se muestran los patrones de radiación para end-fire hacia  $\theta_0 = 0^\circ$  y  $\theta_0 = 180^\circ$ , con  $N = 10$  y  $d = \lambda/4$ .

