



# ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE AGRUPACIONES LINEALES DE ANTENAS (Analysis of the Radiating Pattern for Linear Antenna Arrays)

Tesis de Calidad  
Categoría Posgrado  
Premio Universitario 2008

Liborio García-Hernández\* y Marco A. Panduro-Mendoza.

\*Autor responsable: lghgar@yahoo.com.mx

## RESUMEN

Los sistemas de comunicaciones móviles celulares actuales demandan mayor capacidad de servicios debido al incremento constante del número de usuarios. Como una alternativa en la solución de este problema, la tecnología abre una vertiente relacionada a la antena; dando lugar al empleo de arreglos o agrupaciones de antenas. Conociendo los parámetros que caracterizan el diagrama de radiación se pueden seleccionar los elementos para un arreglo lineal de antenas deseado. Parámetros como directividad, ganancia, diversidad, acoplamiento mutuo, dirección del haz principal, geometría y número de elementos de antena se deben considerar en el diseño de agrupaciones de antenas. La mayoría de los trabajos realizados en el área de agrupaciones de antenas no proporcionan una información completa de los parámetros críticos que deben ser considerados en su diseño. En este trabajo de investigación se presenta un modelado y simulación de agrupaciones lineales aplicados a sistemas de antenas inteligentes. Particularmente, se enfatiza en aquellos parámetros que tienen una gran influencia en el desempeño del sistema. Asimismo se proporciona una evaluación de parámetros altamente sensitivos al desempeño de sistemas basados en antenas inteligentes.

## PALABRAS CLAVE

Agrupaciones lineales de antenas, diagrama de radiación, comunicaciones móviles.

## ABSTRACT

Nowadays the cellular mobile communications systems request a larger capacity on services. This is due to the constant increase of the mobile users. As a possible solution to this problem, the technology open a research line related with the antenna. This kind of technology is called antenna arrays. The elements of a linear antenna array are placed over a line. In this case, the interaction of the antenna elements originates the beam forming.

With the characterization of the parameters that define the radiation pattern of a linear array, the design elements for a desired linear array could be selected. Parameters as directivity, gain, diversity, mutual coupling, steering direction, geometry and number of the antenna elements must be considered to design antenna arrays. Most proposed works of antenna arrays for mobile communication systems do not give complete information about all antenna array parameters to be considered on the design and performance of such systems. In this paper we present a complete modeling and simulation of linear antenna arrays. Particularly, we emphasize those effects that have a strong influence on the performance system. The computer simulation results show the evaluation of high sensitive parameters that influence the performance of such systems.

## KEY WORDS

Antenna arrays radiation pattern, mobile communications.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la demanda de nuevos servicios en comunicaciones móviles ha ido más allá de las expectativas creadas. Estos sistemas enfrentan retos muy serios en cuanto a su capacidad de manejo de tráfico heterogéneo (voz, datos y video), es decir, servicios que van más allá del clásico tráfico de voz de los sistemas actuales.

El presente trabajo de investigación se ubica dentro del marco de las telecomunicaciones, particularmente en el campo de las comunicaciones móviles celulares y se enfoca en el análisis de los arreglos o agrupaciones lineales de antenas. En la actualidad, una de las técnicas más prometedoras y viables para incrementar la capacidad en los sistemas celulares son las antenas inteligentes. Uno de los puntos clave para el desarrollo de los sistemas de comunicaciones móviles celulares actuales es la inclusión de los arreglos de antena en las estaciones base.

La motivación para la realización de este trabajo de investigación es la necesidad de ofrecer soluciones a los problemas que se presentan en las comunicaciones móviles actuales, como son el manejo de la transmisión y recepción de señales. En la actualidad, el espectro de frecuencias para comunicaciones móviles celulares ha sido explotado a su máxima capacidad, sin posibilidad alguna de cubrir las próximas demandas debido a la gran cantidad de usuarios y a la variedad de tráfico multi-medio que se pretende que éstos manejen. Por

ello, es necesario echar mano de nuevos sistemas que incrementen la capacidad de servicio y una forma de conseguirlo es mediante los sistemas de antenas inteligentes.

El objetivo de dicha investigación es realizar un estudio del patrón de radiación de los arreglos de antenas. Se estudiarán los parámetros más importantes que caracterizan el patrón de radiación generado por un arreglo lineal de antenas.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Un arreglo lineal uniforme (ULA, del inglés Uniform Linear Array) es aquél cuyos elementos están dispuestos sobre una línea recta espaciados a una misma distancia  $d$  entre sí. En un arreglo conformado por elementos idénticos, existen cinco factores que pueden usarse para controlar la forma del patrón de radiación del arreglo de antenas (Balanis, 1982):

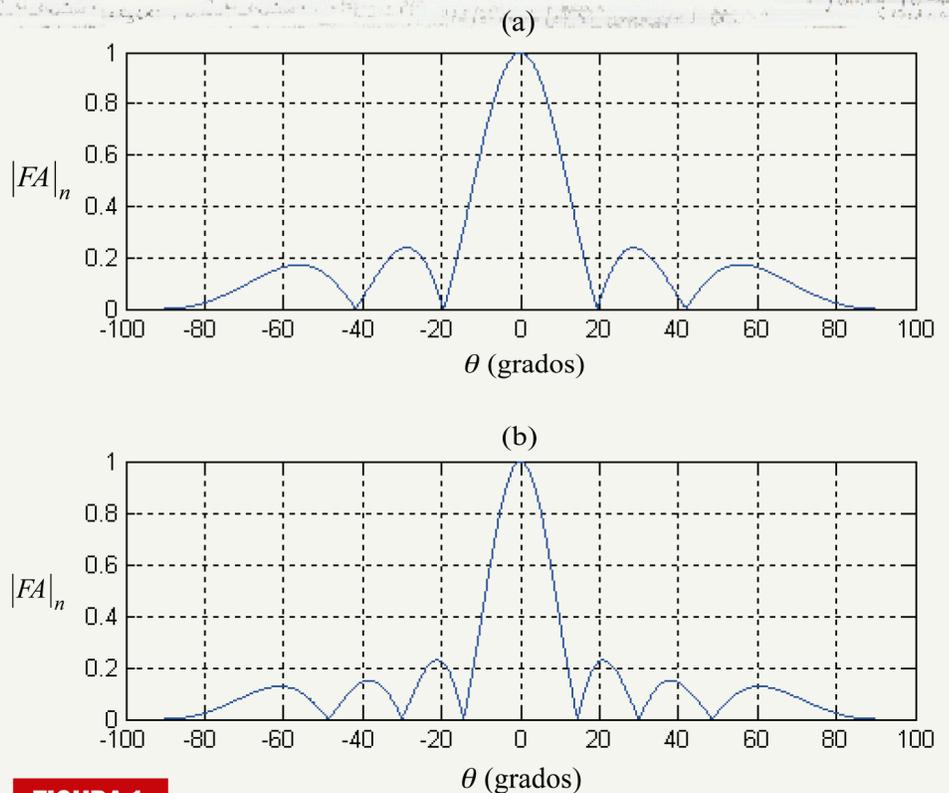
- la configuración geométrica del arreglo (lineal, circular, rectangular, etc.)
- el espaciamiento entre elementos
- la amplitud de excitación de los elementos individuales del arreglo
- la fase de excitación de los elementos individuales del arreglo
- el patrón de radiación en particular de cada uno de los elementos individuales.

El hecho de considerar los elementos de antena o sensores como antenas omnidireccionales es por simplicidad de modelado, ya que no existen en la práctica.

La respuesta total del arreglo de antenas se obtiene al considerar la suma fasorial de las contribuciones de señal de cada uno de los elementos (Monzingo y Miller, 1980):

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

La expresión anterior define la respuesta total del arreglo de antenas como el producto del campo proporcionado por un solo elemento de referencia, por un factor (Balanis, 1982). A dicho factor se le conoce como factor de arreglo.



**FIGURA 1.**

**Patrones direccionales para arreglos lineales con espaciamiento entre elementos  $d = 0.5\lambda$ ; (a) Arreglo de 6 elementos; (b) Arreglo de 8 elementos.**

Por lo tanto, usando tan sólo el factor de arreglo se puede obtener el patrón de respuesta del arreglo de antenas.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el análisis del diagrama de radiación de las agrupaciones lineales de antenas se desarrolló un programa con base en MATLAB 7.0, en el cual se empleó la expresión para el factor de arreglo ( $FA$ ) anteriormente definida. Más detalles de este programa de simulación del diagrama de radiación para agrupaciones lineales de antenas se presentan en la tesis de investigación reportada por el autor. Cabe mencionar que se considera que los elementos del arreglo de antenas son idénticos, esto es, tienen una excitación de amplitud idéntica (unitaria en este caso) y cada uno presenta un desfase progresivo como consecuencia de su disposición geométrica. Así mismo, se considera que la dirección del lóbulo principal es perpendicular al arreglo de antenas ( $\theta = 0^\circ$ ).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

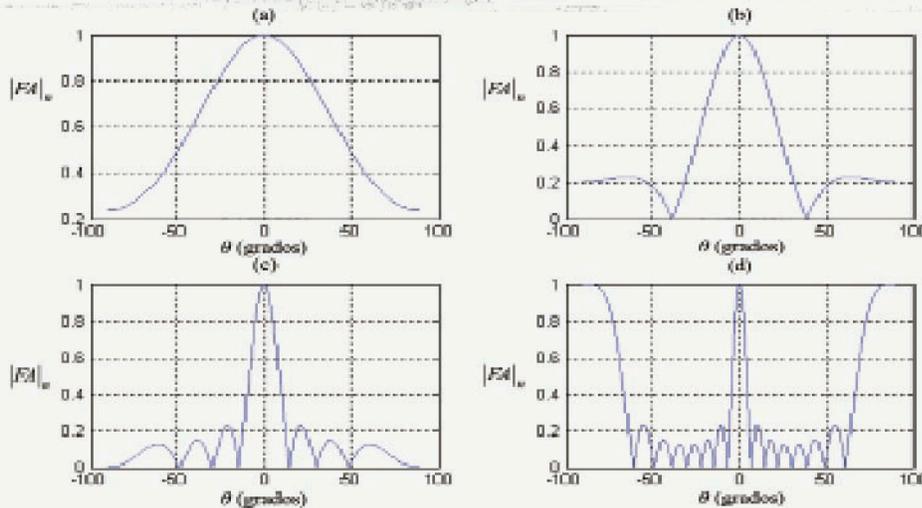
En esta sección se estudian las princi-

pales características del diagrama de radiación de los arreglos lineales de antenas.

### 4.1 Diagrama de radiación para arreglos con diferente número de elementos

En la Figura 1 a y b se muestran los patrones direccionales de respuesta normalizados para un arreglo lineal de seis y ocho elementos, respectivamente, con un espaciamiento entre elementos  $d = 0.5\lambda$ .

Es importante observar las diferencias entre los patrones direccionales mostrados en la Figura 1. Se puede ver que el lóbulo principal del patrón direccional mostrado en la figura 1 b es más angosto (más directivo) que el mostrado en la figura 1 a. Además, existe un mayor número de lóbulos laterales y nulos en la gráfica de 1 b respecto a la gráfica de 1 a. Esto establece un comportamiento específico del patrón direccional del arreglo de antenas, en términos del número de elementos en el arreglo, manteniendo un mismo espaciamiento entre elementos. Por tanto, se puede ver que a medida que se obtiene un lóbulo principal más

**FIGURA 2.**

Patrones direccionales para un arreglo de 8 elementos con espaciamiento entre elementos de: (a)  $d = 0.1\lambda$ ; (b)  $d = 0.2\lambda$ ; (c)  $d = 0.5\lambda$ ; (d)  $d = \lambda$ .

directivo se incrementa el número de lóbulos laterales y de nulos del patrón direccional.

#### 4.2. Diagrama de radiación para diferentes valores de espaciamiento

En la Figura 2, se muestran los patrones direccionales normalizados, correspondientes a un arreglo de ocho elementos con espaciamiento entre elementos de  $d = 0.1\lambda$ ,  $d = 0.2\lambda$ ,  $d = 0.5\lambda$  y  $d = \lambda$ .

A partir de la figura anterior, se puede ver que a medida que se incrementa el espaciamiento entre elementos, manteniendo un número fijo de elementos, se obtiene un lóbulo principal más directivo pero con un número más creciente de lóbulos laterales y nulos. En las figuras 2a y 2b, donde el espaciamiento entre elementos es menor que  $0.5\lambda$ , la presencia de lóbulos laterales es mínima; sin embargo, el lóbulo principal presenta una baja directividad. Además, a medida que el espaciamiento entre elementos tiende a cero, el patrón direccional del arreglo de antenas se asemeja al patrón omnidireccional de un solo elemento (Monzingo y Miller, 1980). En la figura 2c, se consigue obtener un lóbulo principal con una mejor directividad pero con una mayor presencia de lóbulos laterales. Se puede apreciar también, que el número de nulos presentes es mayor y mejor definidos que los obtenidos cuando el espaciamiento entre elementos es menor que  $0.5\lambda$ . En la figura 2d, cuando el espaciamiento entre

elementos es mayor a  $0.5\lambda$ , se obtiene un lóbulo principal de gran directividad, así mismo, se ve un notable incremento en el número de lóbulos laterales y nulos. También, se puede apreciar la aparición de lóbulos laterales que presentan una magnitud igual a la del lóbulo principal (lóbulos de rejilla). Por tanto, se puede ver lo fundamental que es el espaciamiento entre elementos para definir las prestaciones de un arreglo de antenas. Lo que se desea es tener un patrón direccional con un lóbulo principal lo más directivo posible pero con una menor presencia de lóbulos laterales, así como una ausencia total de lóbulos de rejilla. A partir de los patrones direccionales mostrados, se puede decir que se requiere un espaciamiento entre elementos tal que la relación  $d/\lambda$  sea pequeña para evitar la presencia de lóbulos de rejilla, pero lo suficientemente grande para obtener un lóbulo principal con buena directividad y una baja presencia de lóbulos laterales. Un espaciamiento promedio que cumple con tales características es  $d = 0.5\lambda$  (Liberti y Rappaport, 1999).

#### 5. CONCLUSIONES

Los arreglos de antenas son un elemento crítico en el diseño y desempeño de los sistemas de comunicaciones móviles celulares basados en antenas inteligentes. Parámetros como la directividad, ganancia, acoplamiento mutuo entre elementos de antena, dirección del haz

principal, geometría y número de elementos se deben considerar en el diseño de arreglos de antenas. En este trabajo de investigación se presentó un modelado y simulación de arreglos de antenas aplicados a sistemas de antenas inteligentes. Particularmente, se ha enfatizado en aquellos efectos que tienen una gran influencia en el desempeño del arreglo y del sistema. Los resultados de simulación en computadora muestran que la evaluación de los parámetros tales como: número de elementos de antena y espaciamiento entre elementos, influyen en gran medida las prestaciones del sistema. En este caso, se han obtenido y evaluado numéricamente el comportamiento de estos parámetros.

#### AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación fue apoyado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (Promep) de la Secretaría de Educación Pública. Se ha realizado en un marco amplio de discusión y colaboración con grupos de trabajo e investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California, México y Grupo de Comunicaciones Inalámbricas de Cicese México a quienes se les agradece sus contribuciones vertidas sobre este trabajo. ||

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balanis, C.A. (1982). *Antenna Theory: Analysis and Design*. 2ª ed. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Haynes, T. (2001). *Digital Beamforming Primer*. [En línea]. Disponible en: <http://www3.telus.net/public/tmhaynes/electronics/beamforming/beamforming.html>.
- Kanazawa, A., Yamada, K., Hamaguchi, K. y Ogawa, H. (2000). "A Simple Algorithm to Implement a Beamforming Technique in a System with Space Division Multiple Access Scheme", en *Vehicular Technology Conference Proceedings*, 2000. 2: 1455-1459.
- Liberti, J.C. y Rappaport, T.S. (1999). *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- Monzingo, R. y Miller, T. (1980). *Introduction to Adaptive Arrays*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Tomasi, W. (1996). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Prentice Hall.