

Diseño de antenas Yagi-Uda mediante "simulated annealing"

X. Díaz, J.A. Rodríguez, F. Ares y E. Moreno *

Las antenas de tipo Yagi-Uda constan en general de un dipolo alimentado y varios dipolos pasivos dispuestos a una cierta distancia y de forma paralela al alimentado. El dipolo excitado induce unas corrientes en los dipolos pasivos, de forma que el *array* se comporta como una antena de tipo *endfire*.

El diagrama de radiación de

una antena de tipo Yagi-Uda depende de la longitud, el radio y la posición relativa de cada uno de los dipolos. Según experiencias anteriores [1], se ha comprobado que un dipolo más largo que el alimentado maximiza la radiación en la dirección contraria a la del dipolo (reflector), y uno más corto la maximiza en la dirección del dipolo (director).

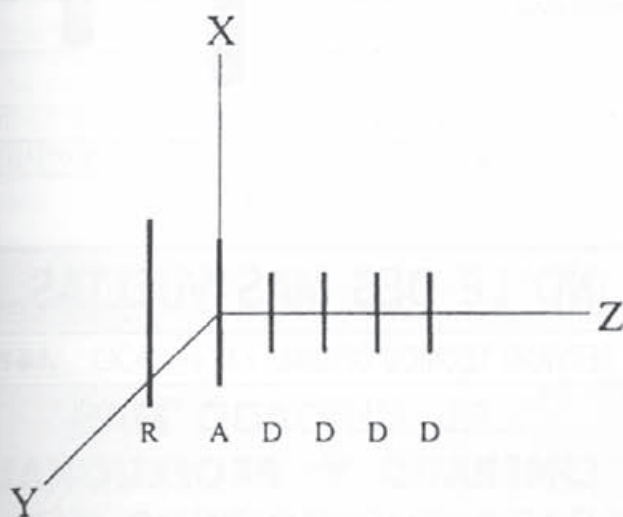


Figura 1. Esquema del array utilizado.

En este artículo usamos el método *simulated annealing* con el objetivo de sintetizar una antena Yagi-Uda con máxima directividad e impedancia de entrada de 50 ohmios.

En este trabajo se usa la técnica de *simulated annealing* para maximizar la directividad de una antena Yagi-Uda y adaptar su impedancia de entrada.

guientes ecuaciones:

$$\begin{cases} V_1 = I_1 \cdot Z_{11} + I_2 \cdot Z_{12} + \dots + I_N \cdot Z_{1N} \\ 0 = I_1 \cdot Z_{21} + I_2 \cdot Z_{22} + \dots + I_N \cdot Z_{2N} \\ \vdots \\ 0 = I_1 \cdot Z_{N1} + I_2 \cdot Z_{N2} + \dots + I_N \cdot Z_{NN} \end{cases}$$

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Para una antena de N elementos (1 reflector, 1 alimentado y N-2 directores), se verifican las si-

guientes ecuaciones: donde el primer elemento es el excitado. De la primera ecuación se obtiene Z_{1N} y del resto las excitaciones según la siguiente ecuación matricial:

	Inicial		Optimizado	
	Posición	Longitud	Posición	Longitud
R	-0,200 λ	0,225 λ	-0,273 λ	0,241 λ
A	0,000 λ	0,238 λ	0,000 λ	0,248 λ
D	0,150 λ	0,225 λ	0,060 λ	0,234 λ
D	0,300 λ	0,225 λ	0,286 λ	0,228 λ
D	0,450 λ	0,225 λ	0,610 λ	0,227 λ
D	0,600 λ	0,225 λ	0,813 λ	0,241 λ

Tabla 1. Configuración del array inicial y el obtenido tras el proceso de optimización.

* X. Díaz, J.A. Rodríguez, F. Ares y E. Moreno pertenecen al Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Santiago de Compostela.

Z_{IN}	Directividad	$P(\theta=0)/P(\theta=180)$
$50,0 + 0,1j \Omega$	13,36 dB	10,0 dB

Tabla 2. Impedancia de entrada, directividad y relación de potencias entre $\theta=0^\circ$ y $\theta=180^\circ$ para el array optimizado.

$$\begin{pmatrix} Z_{22} & Z_{23} & Z_{2N} \\ Z_{32} & Z_{33} & Z_{3N} \\ Z_{N2} & Z_{N3} & Z_{NN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_2/I_1 \\ I_3/I_1 \\ I_N/I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -Z_{21} \\ -Z_{31} \\ -Z_{N1} \end{pmatrix}$$

$$Z_{IN} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + \sum_{k=2}^N \frac{I_k}{I_1} Z_{1k}$$

Una vez halladas las corrientes I_k/I_1 , el diagrama de radiación viene dado por el siguiente sumatorio:

$$F_r(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N \left[\frac{\cos(kl_n \sin \theta \cos \phi) - \cos(kl_n)}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi}} \cdot \frac{I_n e^{j k z_n}}{I_1} \right]$$

donde z_n y l_n son la posición y longitud de cada dipolo respectivamente, y tomando $z_A=0$. Se asume que los dipolos están orientados en el eje X y dispuestos a lo largo del eje Z.

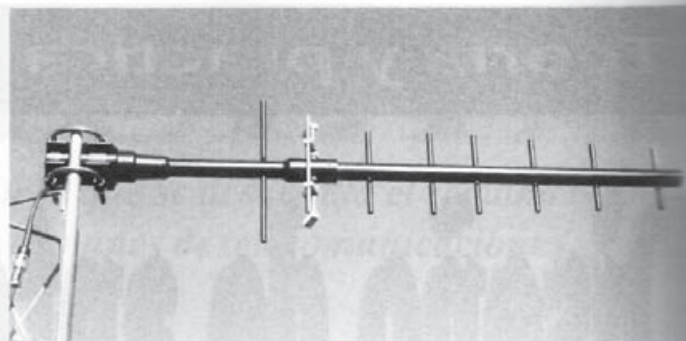
Como se puede observar, todas las magnitudes dependen de las corrientes inducidas en los dipolos pasivos, que a su vez dependen de las impedancias mutuas y autoimpedancias de los dipolos.

Para calcular la impedancia mutua, se usó la aproximación que describe Elliott en [1], mientras que para obtener la autoimpedancia se usó una aproximación lineal a intervalos de $kl=0, 1$ a partir de los datos publicados en [2].

Con el fin de comprobar la validez de estas aproximaciones, se calculó la directividad de varios

Las antenas de tipo Yagi-Uda constan en general de un dipolo alimentado y varios dipolos pasivos dispuestos a una cierta distancia y de forma paralela al alimentado.

arrays descritos en la bibliografía y se comparó con la indicada en las mismas publicaciones [1,3-5], verificándose así que la diferencia entre ambas oscilaba con un error de $\pm 0,3$ dB, lo que indica que



Antena Yagi de 8 elementos para utilizar en aplicaciones de radioaficionado.

la aproximación se ajusta bien a

consta de 6 elementos: 1 reflector (R), 1 alimentado (A) y 4 directores (D). El esquema, junto con el orden de los elementos, se representa en la figura 1.

Como variables se usaron las longitudes de los dipolos y las posiciones de todos ellos excepto el alimentado, que sirve como referencia; el radio de los dipolos se mantuvo constante a $0,0032\lambda$. Partiendo de una configuración inicial de posiciones y longitudes para cada uno de los dipolos, se optimizaron dichos parámetros con el objetivo de maximizar la directividad y obtener una impedancia de entrada de aproximadamente $50+j0 \Omega$. Las configuraciones co-

los resultados esperados.

EJEMPLOS

El array que optimizamos

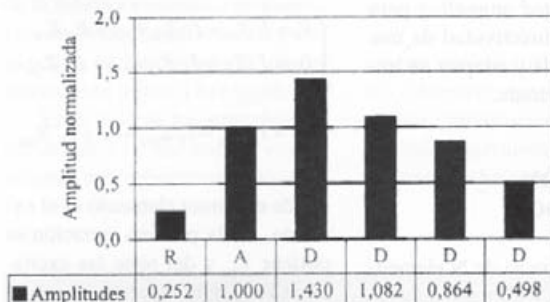


Figura 2. Distribución de amplitudes del array sintetizado.

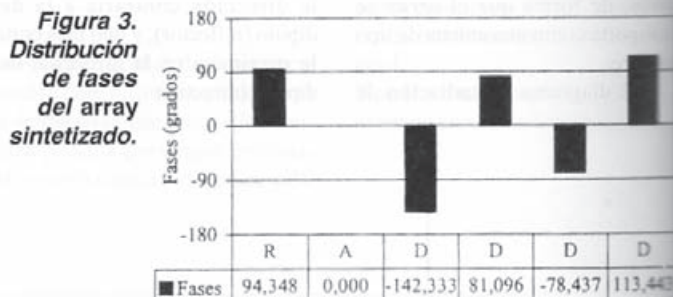
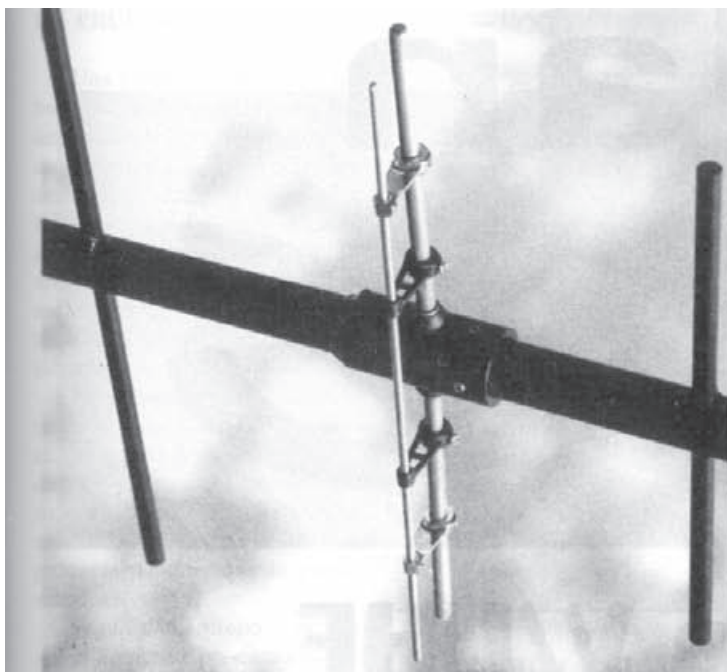


Figura 3. Distribución de fases del array sintetizado.



Detalle del elemento radiante, el reflector y un director. La implementación de nuevos métodos para el cálculo de las corrientes de excitación e inducidas en los dipolos sigue siendo motivo de investigación.

respondientes a ambos *arrays*, inicial y final, se representan en la tabla 1.

Para comparar los resultados obtenidos con los publicados usamos dos *arrays* de los estudiados recientemente en [3], uno con adaptación de impedancia y otro en el que sólo se optimiza la directividad. La directividad obtenida en este proceso es similar a la correspondiente de [3] sin adaptación de impedancia, pero superior en aproximadamente 1 dB respecto a la descrita con adaptación.

Este valor de directividad se muestra en la tabla 2, junto con la impedancia de entrada y la relación de potencias entre el lóbulo delantero ($\theta=0^\circ$) y el trasero

($\theta=180^\circ$). Por último, se muestra en la figura 2 la distribución de amplitudes del *array* optimizado, en la figura 3 la distribución de fases (relativas al elemento excitado), y en la figura 4 el diagrama de radiación para un corte en el plano XZ.

CONCLUSIONES

Se ha propuesto un método para la síntesis de antenas tipo Yagi-Uda que consigue maximizar la directividad a la vez que consigue una impedancia de entrada real y próxima a la impedancia característica de los cables coaxiales típicos.

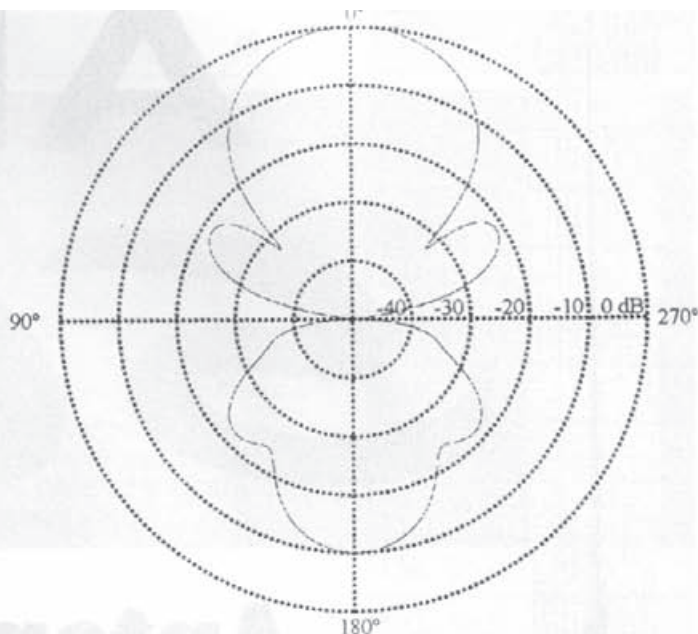


Figura 4. Diagrama de radiación en el plano XZ.

Cabe destacar que el algoritmo es computacionalmente eficiente, tardando alrededor de 3 ó 4 minutos, en un Pentium 200 MHz, en alcanzar la solución final.

Se puede mejorar el proceso, a costa de una menor rapidez, si en la optimización perturbamos, además, los radios de los dipolos y su posición relativa en los ejes X e Y.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R.S. Elliott, «*Antenna theory and design*», PrenticeHall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- [2] R.W.P. King, E.A. Aronson and C.W. Harrison, Jr., «Determination of the admittance and effective length of cylindrical antennas», *Radio Science*, Vol. 1, Nº 7, pp. 835-850, 1966.
- [3] E.A. Jones and W.T. Joines, «Design of YagiUda antennas using Genetic Algorithms», *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 45, Nº 9, pp. 1386-1392, 1997.
- [4] C.A. Balanis, «*Antenna theory, analysis and design*», 2ª ed., John Wiley & Sons Inc., 1997.
- [5] W.L. Stutzman and G.A. Thiele, «*Antenna theory and design*», 2ª ed., John Wiley & Sons Inc., 1998.