

Diseño de antenas Yagi Uda usando algoritmos genéticos

Juan Carlos Gómez¹

Luis Barrero Páez²

Ricardo Celeita³

RESUMEN

Este artículo presenta un método de diseño, basado en algoritmos genéticos, para obtener antenas Yagi Uda de características eléctricas óptimas. Este método ajusta las dimensiones físicas del arreglo (longitud de los elementos y separación entre ellos), para obtener una antena Yagi Uda compuesta por elementos de diferente longitud y espaciados no uniformemente, con el fin de maximizar la directividad del arreglo, y cumplir requerimientos en cuanto a impedancia de entrada, relación delante- detrás, y nivel de lóbulos laterales. Además, se presentan tres antenas Yagi Uda diseñadas por este método, y se comparan con los resultados para arreglos igualmente espaciados diseñados por varios autores.

Palabras clave: Antenas Yagi Uda, Algoritmos Genéticos, Optimización.

ABSTRACT

This paper presents a design method, based on genetic algorithms, to obtain antennas Yagi Uda of characteristic electric good. This method adjusts the physical dimensions of the array (longitude of the elements and separation among them), to obtain an antenna Yagi Uda composed by elements of different longitude and spaced not evenly, with the purpose of maximizing the directividad of the arrangement, and to complete requirements as for input impedance, Front to Back Ratio, and Side Lobe Level. Also, three antennas Yagi Uda is presented designed by this method, and they are compared with the results for equally spaced arrangements designed by several authors.

Key words: Yagi Uda Antennas, Genetic Algorithms, Optimization.

I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas se basan en la utilización de antenas para adaptar las señales que se transmiten por conductores o guías, de modo que estas señales se puedan propagar o radiar por el espacio libre. Es así como optimizar las características eléctricas de la antena es uno de los objetivos básicos de diseño en Ingeniería de Comunicaciones. Son

variados los esquemas que pueden ser utilizados para optimizar las características eléctricas de la antena, entre ellos se encuentra la aplicación de los algoritmos genéticos AG. Los AG son un método de búsqueda estocástica que considera las posibles soluciones de un problema como individuos de una población y aplica procedimientos de búsqueda que imitan los mecanismos empleados por la evolución biológica como técnica de optimización. La meta de este procedimiento de búsqueda es encontrar la mejor de las soluciones a un problema dado. Una estructura radiante muy práctica en HF (3-30 MHz), VHF (30-300 MHz) y UHF (300-3000 MHz) es la antena Yagi Uda. Este artículo presenta un método, basado en AG, para diseñar antenas Yagi Uda que posean características eléctricas óptimas, ajustando la longitud de los elementos y la separación entre ellos, para obtener una antena de máxima directividad y que cumpla requerimientos de diseño en cuanto a impedancia de entrada, relación delante- detrás RDD, y nivel de lóbulos laterales NLL.

II. ANTENA YAGI UDA Y FUNCIÓN DE EVALUACIÓN

Una antena Yagi Uda es un arreglo de dipolos, de radiación end-fire (es decir, la dirección de máxima radiación se da a lo largo del eje que contiene los dipolos), ancho de banda estrecho (cercano al 2%), y baja impedancia de entrada. Se elabora con una serie de dipolos de hilo colocados de forma paralela en un plano.

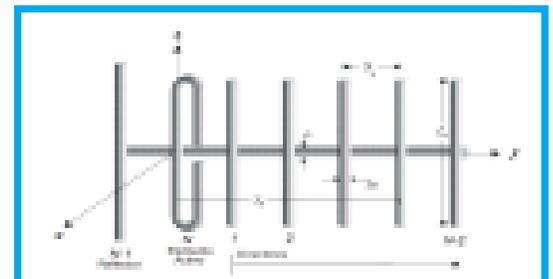


Figura 1. Antena Yagi Uda típica.

Uno de los dipolos es activo, es decir, alimentado directamente, y los demás son pasivos o parásitos,

¹ Miembro grupo de investigación en telecomunicaciones GITUD, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² Miembro grupo de investigación en telecomunicaciones GITUD, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

³ Miembro grupo de investigación en telecomunicaciones GITUD, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

La ecuación integral de Pocklington es una excelente función de evaluación ya que permite obtener el valor exacto de la impedancia de entrada.

de los cuales un dipolo, dispuesto detrás del activo, sirve de reflector, y los otros, colocados delante del dipolo activo, hacen las veces de directores, como se observa en la Figura 1. Se emplea un solo dipolo como reflector, debido a que los reflectores sucesivos se excitan débilmente y no ejercen una influencia notable sobre la radiación de la antenna. La cantidad de directores puede ser grande, puesto que la radiación de la antenna se dirige hacia los directores, y debido a esto, se excitan sucesivamente con bastante intensidad, formando un canal de onda. Las antenas Yagi Uda se utilizan en las bandas de frecuencia de HF, VHF y UHF.

Para aplicar la técnica de los AG en la optimización del diseño de la antenna Yagi Uda, fue necesario disponer de un método para conocer la aptitud de cada antenna (representada por cada cromosoma generado por el AG) en términos de sus características eléctricas. En otras palabras, se debió elaborar una función de evaluación para modelar la antenna. Para este modelamiento, se aplicó la ecuación integral de Pocklington para el campo total generado por una fuente de corriente eléctrica radiante en un espacio libre ilimitado:

$$\int_{-l/2}^{l/2} I(z') \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right) \frac{e^{-jkR}}{R} dz' = j4\pi\omega\epsilon_0 E_z' \quad (1)$$

La ecuación (1) se resolvió numéricamente aplicando el Método de los Momentos MoM y la técnica de puntos acoplados para satisfacer la ecuación integral en puntos discretos sobre el eje de cada elemento [1], [2]. Una vez resuelta la ecuación de Pocklington para la distribución de corriente $I(z')$ desconocida, se puede hallar la directividad de la antenna, su impedancia de entrada, y la relación delante-detrás RDD y el nivel de lóbulos laterales NLL de su patrón de radiación. Conocidas estas características para cualquier cromosoma generado por el AG, se puede obtener una medición cuantitativa de su aptitud, y así, se puede iniciar el proceso de búsqueda por medio del AG. Conocidas estas características para cualquier cromosoma generado por el AG, se puede obtener una medición cuantitativa de su aptitud, y así, se puede iniciar el proceso de búsqueda por medio del AG.

III. ELABORACIÓN DEL AG

La Figura 2 muestra un diagrama de flujo del AG usado en este artículo. Básicamente, consiste en un proceso iterativo, en el cual se empieza con una población inicial, generada de manera aleatoria; se aplican los operadores de cruce y mutación; se evalúan todos los cromosomas (entre padres y descendientes) por medio del MoM; y se seleccionan los más aptos para constituir la nueva población. Este pro-

ceso se repite un número determinado de generaciones.

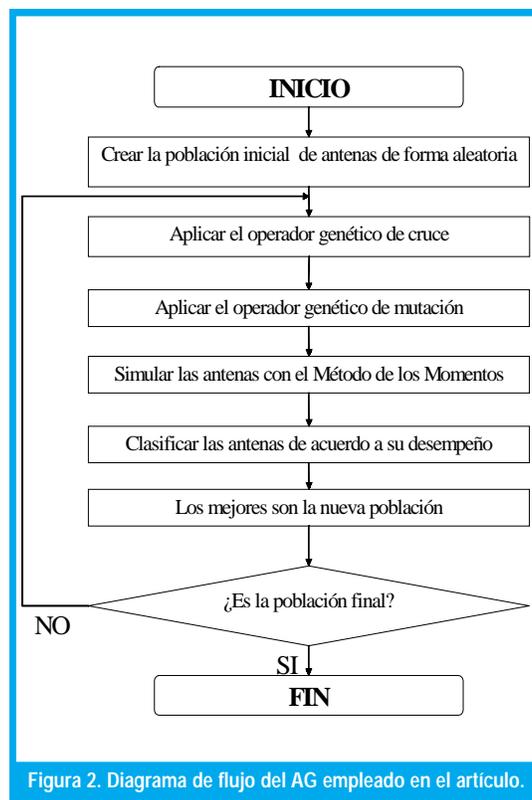


Figura 2. Diagrama de flujo del AG empleado en el artículo.

Cada cromosoma está compuesto por una serie de genes, estos genes representan una característica física particular de la antenna: la longitud de un elemento o la separación entre dos elementos contiguos. El tipo de codificación empleada en este artículo fue de punto flotante: cada gen dentro de cualquier cromosoma es representado por medio de un número de punto flotante.

A medida que la antenna a diseñar tiene un mayor número de elementos, aumenta el tamaño del cromosoma, pues deben ser representados un mayor número de características físicas de la antenna (más longitudes y espaciamentos) a través de genes. También al aumentar el número de elementos de la antenna hay que aumentar el tamaño de la población y el número de generaciones. Estos cambios tienen dos motivos: con un número mayor de elementos, el espacio de búsqueda se hace más grande, y debe ser muestreado de una manera más exhaustiva, lo que se puede efectuar aumentando el tamaño de la población; por otro lado, al tener una población mayor de individuos, se debe dar más tiempo (en términos de generaciones) al algoritmo para lograr una convergencia adecuada, lo que se logra aumentando el número de iteraciones o generaciones. En las Tablas 1 y 2 se ilustra como varía el tamaño de la población y el número de generaciones al aumentar el número de elementos.

Tabla 1. Al aumentar el número de elementos, aumenta el tamaño de la población

Número de elementos	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Tamaño de la población	5	6	7	8	8	9	10	12	12	13	15	17	20	22	24	25	28	30

Tabla 2. Al aumentar el número de elementos, aumenta el número de generaciones

Número de elementos	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Número de generaciones	50	50	50	50	60	60	60	60	75	75	75	75	75	80	80	80	80	80

El esquema de cruce utilizado fue el cruce heurístico. En él, se obtiene un solo individuo descendiente de dos padres, según la regla:

$$x' = r \cdot (x_2 - x_1) + x_2 \quad (2)$$

En la ecuación (2), x' representa el descendiente por cruce, r es un número aleatorio entre 0 y 1, y x_1 y x_2 son los cromosomas padres, siendo x_2 el individuo más adaptado. El cruce heurístico produce un descendiente que posee más información genética del padre que presenta mayor adaptación. A la probabilidad p_c de cruce se adjudicó el valor de 0.8.

Se usó, además, un tipo de mutación no uniforme, que produce un solo descendiente de un único cromosoma padre. Sea el padre $x = [x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n]$. El descendiente por mutación es $x' = [x_1, x_2, \dots, x_k', \dots, x_n]$. En el descendiente, sólo varía el gen x_k' dentro de dos posibilidades, ambas con probabilidad de ocurrencia de 50%:

$$x_k' = \begin{cases} x_k + \Delta(t, x_k^U - x_k), \\ x_k - \Delta(t, x_k - x_k^L), \end{cases} \quad (3)$$

Simplemente, la mutación consiste en sumar o restar una cierta cantidad Δ al valor actual x_k del gen padre. Este valor Δ está determinado por:

$$\Delta(t, y) = y \cdot r \cdot \left(1 - \frac{t}{T}\right)^b \quad (4)$$

En la función $\Delta(t, y)$, t es el valor actual de generación, y es el valor actual del gen, T es el número de generaciones, r es un número aleatorio entre 0 y 1, y b es un parámetro que determina la no uniformidad, que para este artículo, tomó el valor $b=1$. La probabilidad p_m de mutación tomó el valor de 0.2.

El mecanismo de selección utilizado fue la clasificación o *ranking*. Consiste en un ordenamiento de la población de acuerdo a su aptitud. Este esquema no selecciona individuos respecto a su aptitud absoluta, sino tomando en cuenta su clasificación respecto a la de los demás individuos. Este tipo de selección previene problemas como la convergencia prematura y la finalización lenta, dos problemas típicos en AG. La clasificación o *ranking* controla la cantidad de oportunidades que tiene cada individuo para re-

producirse, de manera que no tenga muy alta o muy baja probabilidad de reproducción, en otras palabras, el *ranking* comprime el rango de adaptación.

En este AG, el propósito principal fue maximizar el valor de la directividad de la antena, obteniendo una combinación óptima de longitudes de elementos y espaciamientos entre ellos. La penalización surge por la necesidad de que dicha antena de directividad máxima cumpla ciertos parámetros de desempeño o determinados criterios de diseño. Es decir, el diseñador puede desear una antena de directividad máxima que cumpla requerimientos de impedancia de entrada, RDD, y NLL. Es así como la penalización castiga a un individuo que presente cierto valor de directividad y no cumpla con los parámetros de diseño escogidos. Cada restricción está ponderada, o sea, existe una constante que multiplica cada parámetro para posteriormente ser restado a la función de evaluación. Las constantes referidas están consignadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Constantes que multiplican las restricciones de diseño para la penalización. Estas constantes varían con el número de elementos.

Parte Real	Impedancia		RDD	NLL	Número elementos
	Parte Imaginaria				
3	0.3		1.5	1.5	3-4
1.2	0.13		1.5	1.5	5-6
0.8	0.1		1.5	1.5	7-12
0.8	0.02		1.5	1.5	13-20

Los valores consignados en las Tablas 1, 2, y 3, como también los valores de b , p_c y p_m , son resultado de un proceso de prueba, en el que se escogieron los parámetros con los que el AG llegaba a una respuesta satisfactoria al problema de diseño.

IV. RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento de diseño esbozado en este artículo. Se mostrarán 3 ejemplos de antenas Yagi Uda para diversos requerimientos de desempeño y optimizado para máxima directividad, y se comparan con ejemplos, publicados previamente, diseñados por medio del método tradicional propuesto por Viezbicke [4]. Primero, se presenta una antena de 6 elementos, con impedancia de entrada cercana a 50 Ω , RDD superior a 25 dB, y NLL mayor que 10 dB. En el segundo ejemplo, se optimizó una antena de 15 elementos para obtener impedancia de entrada de 50 Ω , RDD mayor que 15 dB, y NLL mayor que 10 dB. Por último, se ofrecen los resultados obtenidos al diseñar una antena de 5 elementos, con impedancia de entrada próxima a 50 Ω , RDD mayor que 10 dB, y NLL superior a 15 dB. Los valores de impedancia se calcularon con dipolo recto. Todas las longitudes, separaciones y radios, se dan en longitudes de onda.

La penalización permite obtener antenas con directividad máxima y, por ejemplo, lóbulos laterales muy pequeños.

Al penalizar un cromosoma (antena) que no cumpla con determinado requerimiento el AG converge a antenas que cumplen con las restricciones impuestas por la compatibilidad electromagnética.

A. Ejemplo 1: Antena de 6 elementos

Los datos correspondientes a este ejemplo están consignados en la Tabla 4. En este caso, serán presentados los resultados correspondientes a una antena de 6 elementos, publicada por el autor Stutzman [3], confrontados con los datos obtenidos al optimizar, por medio del AG, una Yagi Uda para directividad máxima, impedancia de entrada próxima a 50Ω con parte imaginaria pequeña, RDD superior a 25 dB, y NLL mayor que 10 dB.

Tabla 4. Características físicas y eléctricas para una antena Yagi Uda de 6 elementos diseñada por el método tradicional, publicada por Stutzman [3], comparada con una antena optimizada con AG.

Elemento	Antena método clásico		Antena optimizada AG	
	Longitud	Separación	Longitud	Separación
Reflector	0.5		0.49806	
Dipolo Activo	0.47	0.25	0.47	0.18908
Director 1	0.43	0.3	0.40264	0.31289
Director 2	0.43	0.3	0.42962	0.14238
Director 3	0.43	0.3	0.44030	0.28860
Director 4	0.43	0.3	0.40134	0.15311
Radio	0.00260		0.00260	
Longitud Total de la Antena (λ)	1.450		1.086	
Cantidad de material utilizado (λ)	2,690		2,642	
Directividad (dB)	11.52557		10.81460	
Ancho del Haz en E ($^\circ$)	42.18609		47.97882	
RDD en E (dB)	9.41787		26.18726	
NLL en E (dB)	16.25088		16.80067	
Ancho del Haz en H ($^\circ$)	46.43713		54.80830	
RDD en H (dB)	9.41150		26.18058	
NLL en H (dB)	9.63323		12.05753	
Impedancia (Ω)	51.59438 + 36.80014i		50.73448 - 0.49415i	
VSWR	2.03440		1.01773	

El patrón de radiación en coordenadas polares para la antena propuesta por Stutzman se ilustra en la Figura 3. En la Figura, el patrón del campo E está representado en negro, mientras que el patrón del plano H está representado en verde.

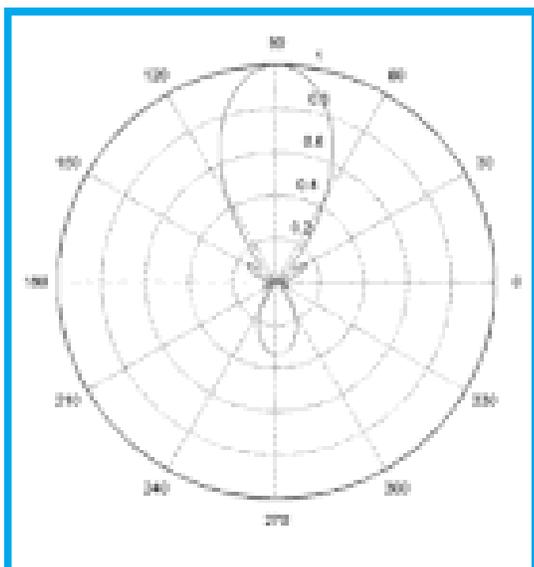


Figura 3. Patrón de radiación en coordenadas polares para la antena propuesta por Stutzman.

En la Figura 4 se presenta el patrón de radiación, también en polares, de la antena obtenida con el AG. En la Figura, el patrón del campo E está representado en negro, mientras que el patrón del plano H está representado en verde.

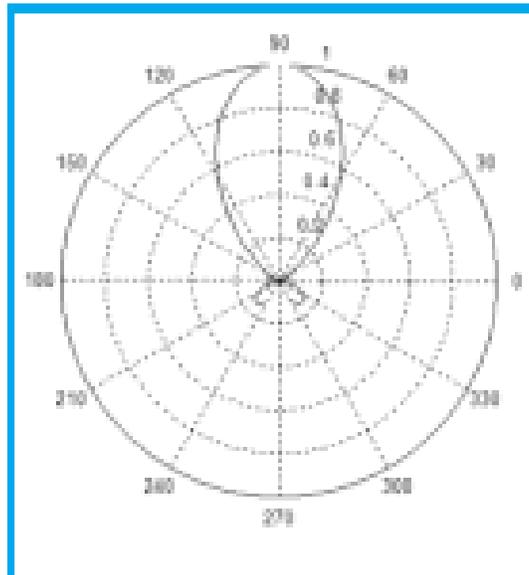


Figura 4. Patrón de radiación en coordenadas polares para la antena obtenida con el AG.

La parte real de la impedancia de entrada de la antena que produce el AG es aproximadamente 50Ω con una parte imaginaria de $-0.49415i$. Esta impedancia es más fácil de acoplar a una línea de alimentación, que, por ejemplo, la antena de Stutzman. Por otro lado, las demás características eléctricas de la antena se mantuvieron en valores óptimos, gracias a que se penalizó a cualquier cromosoma (antena) que presentara valores inferiores a 15 dB en NLL, y 25 dB en RDD. Es notoria la presencia de un lóbulo trasero considerable en el patrón de la antena diseñada por Stutzman, que se ha logrado disminuir en la antena diseñada por el AG. La directividad de la antena optimizada por el AG ha disminuido cerca de un 6,16863 %, es decir, se debió sacrificar una fracción mínima de directividad para obtener los beneficios de una antena con ventajas potenciales en cuanto a eficiencia de radiación, lo que se puede notar en el VSWR de la antena obtenida con el AG.

B. Ejemplo 2: Antena de 15 elementos

En este ejemplo serán mostrados los resultados correspondientes a una antena de 15 elementos, publicada por el autor Balanis [1], comparados con los datos obtenidos por el AG. Los datos de este ejemplo están consignados en la Tabla 5. El AG partió con la condición de obtener una antena Yagi Uda con directividad máxima, impedancia de entrada próxima a 50Ω con parte imaginaria pequeña, RDD superior a 15 dB, y NLL mayor que 10 dB.

Tabla 5. Características físicas y eléctricas para una antena Yagi Uda de 15 elementos diseñada por el método tradicional, publicada por Balanis [1], comparada con una antena optimizada con AG.

Elemento	Antena método clásico		Antena optimizada AG	
	Longitud	Separación	Longitud	Separación
Reflector	0.5		0.50492	
Dipolo Activo	0.47	0.25	0.47000	0.18998
Director 1	0.406	0.34	0.44922	0.21869
Director 2	0.406	0.34	0.44324	0.23955
Director 3	0.406	0.34	0.41743	0.27943
Director 4	0.406	0.34	0.41465	0.11892
Director 5	0.406	0.34	0.42187	0.28924
Director 6	0.406	0.34	0.40048	0.25914
Director 7	0.406	0.34	0.40850	0.22227
Director 8	0.406	0.34	0.41373	0.27403
Director 9	0.406	0.34	0.40068	0.34565
Director 10	0.406	0.34	0.40178	0.10505
Director 11	0.406	0.34	0.42825	0.34728
Director 12	0.406	0.34	0.42580	0.34060
Director 13	0.406	0.34	0.43301	0.13270
Radio	0.003		0.003	
Longitud Total de la Antena (λ)	4.670		3.363	
Cantidad material utilizado (λ)	6.248		6.434	
Directividad (dB)	14.32853		15.43065	
Ancho del Haz en E ($^{\circ}$)	27.94995		28.07145	
RDD en E (dB)	25.21451		15.18277	
NLL en E (dB)	10.78120		16.77895	
Ancho del Haz en H ($^{\circ}$)	28.95505		29.18420	
RDD en H (dB)	25.25931		15.15367	
NLL en H (dB)	8.91073		12.62583	
Impedancia (Ω)	60.01966+25.17696i		50.77257+0.18324i	
VSWR	1.63189		1.01588	

El patrón de radiación para la antena propuesta por Balanis se ilustra en la Figura 5. En la Figura, el patrón del campo E está representado en negro, mientras que el patrón del plano H está representado en verde.

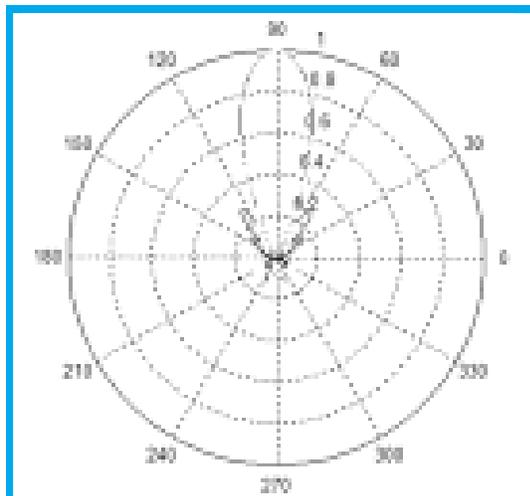


Figura 5. Patrón de radiación en coordenadas polares para la antena propuesta por Balanis.

En la Figura 6 se presenta el patrón de radiación, también en polares, de la antena obtenida con el AG. En la Figura, el patrón del campo E está representado en negro, mientras que el patrón del plano H está representado en verde.

Con los AG se obtienen antenas Yagi que requieren menor cantidad de material para su elaboración lo cual permite reducir costos.

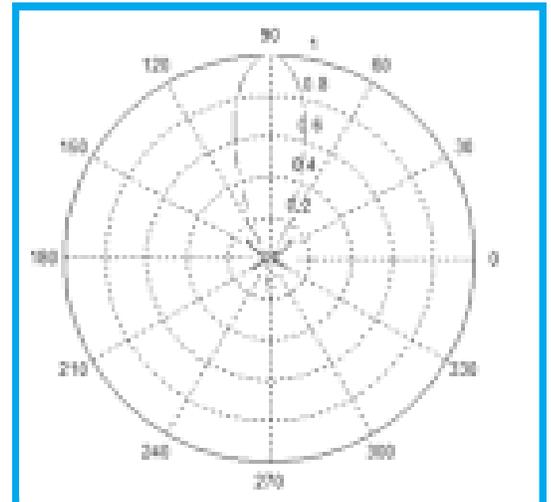


Figura 6. Patrón de radiación en coordenadas polares para la antena obtenida con el AG.

Se observa que el NLL disminuyó entre 120° y 180°, y el lóbulo trasero aumentó, como se deduce de la Tabla 5. La impedancia tuvo una mejoría ostensible en la parte imaginaria, y se logró un valor muy próximo a 50 Ω en la parte real, luego esta antena es mucho más fácil de acoplar a la línea de alimentación. La directividad de la antena aumentó 1.102 dB en la antena obtenida por el AG respecto a la ilustrada por Balanis. La longitud total de la antena es menor, pero se debe usar más material para cada elemento.

C. Antena de 5 elementos

En este ejemplo serán mostrados los resultados correspondientes a una antena de 5 elementos, diseñada por el método tradicional propuesto por Viezbicke [4], comparados con los datos obtenidos por el AG. Los datos de este ejemplo se encuentran en la Tabla 6. El AG partió de la condición de obtener una antena Yagi Uda con directividad máxima, impedancia de entrada próxima a 50 Ω con parte imaginaria pequeña, RDD superior a 15 dB, y NLL mayor que 10 dB.

Tabla 6. Características físicas y eléctricas para una antena Yagi Uda de 5 elementos diseñada por el método tradicional, comparada con una antena optimizada con AG.

Elemento	Antena método clásico		Antena optimizada AG	
	Longitud	Separación	Longitud	Separación
Reflector	0.49050		0.50617	
Dipolo Activo	0.47	0.20	0.47	0.20651
Director 1	0.45050	0.20	0.44976	0.10604
Director 2	0.44650	0.20	0.42384	0.10758
Director 3	0.45050	0.20	0.44107	0.10957
Radio	0.00150		0.00150	
Longitud Total de la Antena (λ)	0.800		0.529	
Cantidad de material utilizado (λ)	2.308		2.291	
Directividad (dB)	11.25969		9.36138	
Ancho del Haz en E ($^{\circ}$)	46.79944		56.82829	
RDD en E (dB)	12.42144		11.38806	
NLL en E (dB)	23.32079		120.00000	
Ancho del Haz en H ($^{\circ}$)	53.40199		70.72385	
RDD en H (dB)	12.41145		11.38396	
NLL en H (dB)	13.12981		14.87222	
Impedancia (Ω)	19.98827 + 16.05628i		54.94514 - 0.02572i	
VSWR	2.80234		1.09890	

Los AG permiten obtener antenas yagi que exhiben un desempeño superior a las que se obtienen por los métodos de diseño tradicionales.

En la Figura 7, se presenta el patrón de radiación para la antena diseñada por el método tradicional. En la Figura el patrón del campo E está representado en negro, mientras que el patrón del plano H está representado en verde.

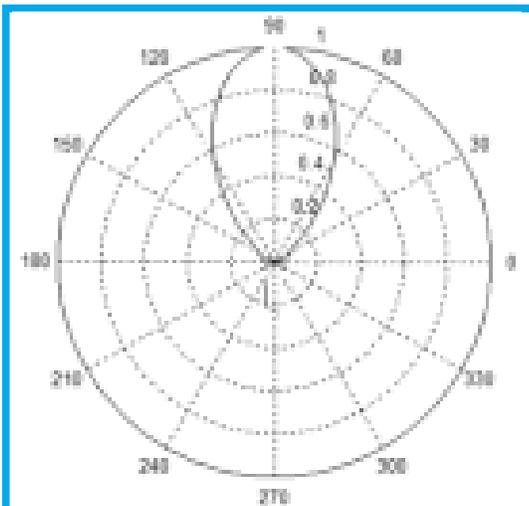


Figura 7. Patrón de radiación en coordenadas polares para la antena diseñada por el método tradicional.

En la Figura 8, se encuentra el patrón de radiación de la antena diseñada por el AG. En la Figura, el patrón del campo E está representado en negro, mientras que el patrón del plano H está representado en verde.

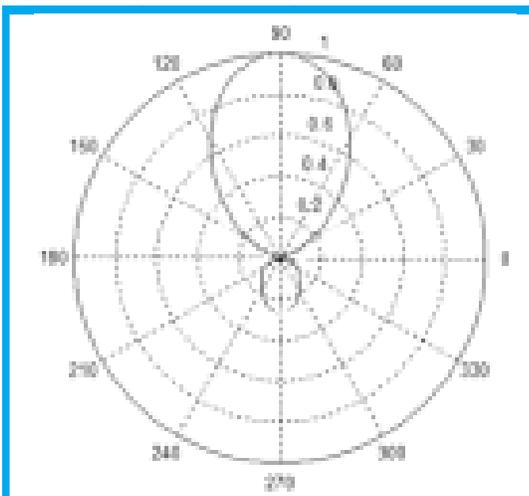


Figura 8. Patrón de radiación en coordenadas polares para la antena obtenida con el AG.

Es claro que la directividad es menor en la antena diseñada por el AG que para la diseñada por el método clásico. De la misma forma, la impedancia de entrada de la antena diseñada por el algoritmo genético es mucho mejor que la de la antena diseñada por el método de Viezbicke. En otras palabras, se debió sacrificar una fracción de ganancia (1.89831 dB) para obtener los beneficios de una impedancia de entrada con una parte imaginaria tan pequeña y una parte real próxima a 50Ω , como la obtenida por el algoritmo. La longitud total de la antena obtenida por el AG es menor que la correspondiente a la antena diseñada por el método propuesto por Viezbicke. De igual forma, la cantidad de material utilizado para elaborar la antena propuesta por el AG es menor que para la otra antena.

V. CONCLUSIONES

Respecto al problema específico que involucra el diseño de antenas de tipo Yagi Uda, los algoritmos genéticos AG han demostrado una gran efectividad al obtener antenas Yagi de mayor directividad y/o mejores características eléctricas que las que se obtienen por medio del método tradicional. El AG puede obtener antenas de menor tamaño y menor cantidad de material que las del método tradicional de diseño. Se demostró que por medio de la técnica de los algoritmos genéticos AG, se puede obtener una antena con ciertas dimensiones físicas y ciertos requerimientos para un régimen de trabajo específico. Por ejemplo, se lograron obtener antenas de mayor directividad que las diseñadas por el método tradicional, que poseían impedancias de entrada con parte imaginaria pequeña, y parte real próxima a los 50Ω , un valor que hace que la antena se pueda acoplar más fácilmente a la línea de transmisión; o antenas de máxima directividad con Nivel de Lóbulos Laterales NLL y Relación Delante Detrás RDD previamente establecidas por el diseñador. El diseño de antenas Yagi Uda usando AG brinda la oportunidad de diseñar estas antenas para que sean más directivas, y cumplan diversos requerimientos de diseño, permitiendo un manejo más eficiente del espectro electromagnético. Optimizar el patrón de radiación de las antenas Yagi Uda, conservando los lóbulos secundarios en valores óptimos, y adecuando el valor de impedancia de entrada, en un ancho de banda definido, podrá permitir una utilización más eficiente de las frecuencias dentro del espectro electromagnético, y brindará la posibilidad de implementar nuevas tecnologías o ampliar los servicios ya establecidos por las empresas prestatarias de comunicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALANIS, Constantine A. Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc. 1997
- [2] THIELE, Gary A. Analysis of Yagi Uda Type Antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, pp. 24-31. January 1969. Vol. 17. No. 1.
- [3] STUTZMAN, Warren L., THIELE, Gary A. Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons, Inc. Primera Edición 1981, Segunda Edición 1998
- [4] VIEZBICKE, Peter P. Yagi Antenna Design, National Bureau of Standards Technical Note 688, December 1976

Juan Carlos Gómez

Ingeniero en Telecomunicaciones, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE), Cuba. Esp. Computadores Aplicados a la Enseñanza de la Ingeniería., (ISPJAE), Universidad de La Habana, Msc. Sistemas de Transmisión por Fibras Ópticas (ISPJAE) - Universidad de La Habana. Profesor de Ingeniería Electrónica y de la Especialización de Comunicaciones Móviles, Universidad Distrital. jcgoomez95@hotmail.com

Luis Barrero Páez

Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital. Profesor en Ingeniería de Sistemas del Área de Telecomunicaciones y Robótica, Universidad de Cundinamarca. Expositor "Semana de Ingenio y Diseño 2003", Universidad Distrital, de la ponencia "Diseño de Antenas Yagi usando Algoritmos Genéticos". luisbarreropaez@yahoo.com.mx

Ricardo Celeita

Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital. Profesor en Ingeniería de Sistemas del Área de Telecomunicaciones y Robótica, Universidad de Cundinamarca. Expositor "Semana de Ingenio y Diseño 2003", Universidad Distrital, de la ponencia "Diseño de Antenas Yagi usando Algoritmos Genéticos". nericele@yahoo.es