

ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS A LA OPTIMIZACIÓN DE ANTENAS YAGI-UDA

Edgardo César De La Asunción López*
Eduardo Enrique Zurek Varela**
Lácides Antonio Ripoll Solano***
Javier Eduardo Hernández Cantillo****

Recibido: 05/03/2009

Aceptado: 07/05/2009

RESUMEN

En el presente artículo se muestra un proceso de optimización implementado usando algoritmos genéticos. La población inicial del AG está compuesta por 128 cromosomas con 11 genes por cromosoma. Los cromosomas del AG están compuestos por las longitudes y separaciones de los elementos de la antena Yagi-Uda; los rangos de estos genes fueron escogidos siguiendo estándares de diseño para dichas antenas. Los genes pasan un proceso de análisis para medir cada una las antenas de cada generación de del AG para asignar la aptitud de los individuos. Con el fin de verificar los resultados obtenidos, se aplicaron varias pruebas, entre ellas la construcción de una antena Yagi-Uda optimizada a la cual se le midieron y verificaron sus características electromagnéticas.

Palabras clave: Antena yagi-uda, optimización, algoritmos genéticos.

* Ingeniero Electrónico, Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia). Dirección: Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, Kilómetro 5 Vía Puerto Colombia. E-mail: edelaasuncion@uninorte.edu.co, Conmutador: 57-5-3509509

** Ph.D. (Doctor of Philosophy - Department of Electrical Engineering, University of South Florida, Tampa, Florida, U.S.A.); Master of Science in Electrical Engineering (Department of Electrical Engineering, University of South Florida, Tampa, Florida, U.S.A.); Ingeniero de Sistemas (Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia). E-mail: ezurek@uninorte.edu.co. Teléfono: 57-5-3509268

*** Magister en Telecomunicaciones, Ingeniero Electricista (Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia). E-mail: lripoll@uninorte.edu.co. Teléfono: 57-5-3509539

**** Estudiante del Programa de Ingeniería de Sistemas (Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia). E-mail: edelaasuncion@uninorte.edu.co

GENETIC ALGORITHMS APPLIED TO YAGI-UDA ANTENNA OPTIMIZATION

ABSTRACT

This paper describes an optimization process implemented using Genetic Algorithms. The initial population of the GA is composed of 128 chromosomes with 11 genes per chromosome. The chromosomes of the GA are composed by the length and separations of the elements of the Yagi-Uda antenna; the ranks of this genes were chosen by design standards for such antennas. All genes undergo a process of analysis to assess every one of the antennas of each generation of the GA to assign the fitness of the individuals. In order to verify the obtained results, various tests were made, and among them excel the construction of the optimized Yagi-Uda antenna to measure and verify its electromagnetic characteristics.

Key words: Yagi-Uda Antenna, optimization, genetic algorithms.

INTRODUCCIÓN

En los últimos treinta años, gracias al avance de los computadores y de las técnicas numéricas se han producido mejoras significativas en los parámetros de desempeño de las antenas, debido a que se han podido implementar dichos métodos para estructuras muy complejas. En la actualidad existen diversos programas de análisis de antenas basados en estos métodos, los cuales han contribuido al avance de las telecomunicaciones [1].

En el diseño y síntesis de antenas, el objetivo es encontrar una estructura radiante que tenga el mejor criterio de desempeño, dependiendo de la aplicación deseada. Usualmente estos criterios incluyen ganancia, máximo nivel de lóbulos, ancho de banda, impedancia de entrada y tamaño físico. Para las estructuras más simples de antenas, hay un número de variables de diseño que afectan el desempeño de las mismas. Debido a los efectos de acoplamiento entre sus diversas estructuras, a menudo es difícil encontrar buenas soluciones iniciales en el diseño de una antena. Para tales problemas, un algoritmo genético puede encontrar una solución global que satisfaga especificaciones de diseño sintetizadas en una función objetivo [2-4].

1. METODOLOGÍA

1.1 Preliminares

Los algoritmos genéticos son métodos de búsqueda estocásticos, basados en principios y conceptos de evolución natural de los seres vivos. En estos se mantiene una población que representa una multiplicidad de soluciones, que son sometidas a ciertas transformaciones y a un proceso de selección a favor de los mejores candidatos. Estos candidatos son seleccionados a partir de una aptitud que es asignada por una función objetivo. El objetivo primordial de un algoritmo genético es evolucionar a partir de una población de soluciones para un determinado problema, produciendo

nuevas generaciones de soluciones que sean mejores que la anterior [5, 6].

El algoritmo genético presentado en este artículo se encuentra implementado en el *software* DIRECT PRO, desarrollado en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Norte [7]. Los cromosomas del algoritmo genético descrito en este artículo están compuestos por las longitudes y los espaciamentos de elementos de las antenas Yagi-Uda. El tipo de antena anteriormente mencionado consiste en un arreglo de dipolos lineales que se encuentran paralelos y coplanarios, uno de los cuales es energizado por una fuente de alimentación mientras que los otros funcionan como radiadores parásitos, debido a que sus corrientes son inducidas por acople. Esencialmente el radiador opera utilizando unos elementos situados en el frente de la antena que actúan como directores y otros situados en la parte posterior que actúan como reflectores [8-10].

1.2 Parámetros de diseño y funcionalidades

La población inicial está compuesta de 128 cromosomas con 11 genes por cromosoma. Los genes que conforman cada cromosoma son longitudes y espaciamentos. Los rangos de estos genes fueron escogidos por estándares de diseño de antenas Yagi-Uda.

Los genes mencionados son sometidos a un proceso de análisis, el cual se realizó con el *software* de análisis y diseño de antenas SADI 1.12 [11, 12] desarrollado en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Norte, que evaluó cada antena de cada una de las generaciones del algoritmo genético, para posteriormente asignar las aptitudes de los individuos.

Los rangos utilizados para las longitudes son los siguientes: para el elemento reflector y activo se utilizó un rango de $[0.3\lambda, 0.9\lambda]$ longitudes de onda (λ), para los directores y los espaciamentos se utilizó un rango de $[0.1\lambda, 0.6\lambda]$ longitudes de onda.

Después de analizar cada una de las antenas de la generación inicial, sus parámetros son evaluados por la siguiente función objetivo [7]:

$$f(D, FTB) = D + \frac{1}{32} FTB \quad (1)$$

Donde:

D: Directividad (Ganancia)

FTB: Relación Frontal-Trasera

El individuo que tenga mayor función objetivo es al que se le será asignada mayor aptitud. En el caso de las funciones de selección estocásticas, los individuos con mayor aptitud tienen la mayor probabilidad de ser escogidos, mientras que en la función de selección equiprobable todos tienen la misma probabilidad de ser escogidos.

La implementación en *software* del algoritmo genético tiene como parámetro de entrada dos métodos de selección estocástica y uno no estocástica. Los métodos de selección estocástica que se utilizaron fueron el de ruleta y el de clasificación geométrica normalizada; y el no estocástico fue la función de selección equiprobable.

En la función de selección por ruleta, a los mejores individuos de determinada población se les asigna una porción de la ruleta dependiendo de su aptitud, y luego se simula el sorteo de la ruleta, y se seleccionan los individuos que salgan favorecidos. En la función de selección clasificación geométrica normalizada la probabilidad de selección de un individuo depende de una función exponencial, y entre menor sea el exponente, mayor es la probabilidad de ser escogido. Lo anterior es simulado mediante posiciones en la lógica implementada. Mientras que en la función de selección equiprobable todos tienen la misma posibilidad de ser escogidos [5, 6].

Después de que los individuos son sometidos al proceso de selección, la información genética de cada cromosoma es codificada. El mecanismo de codificación que se utilizó fue codificación por valor, en el cual cada cromosoma es una secuencia

de valores; para la implementación presentada aquí se codificó con números reales [2].

Luego se realiza el cruzamiento. En nuestra implementación el usuario cuenta con la posibilidad de escoger entre tres mecanismos de recombinación o cruzamiento que son cruzamiento por un punto, cruzamiento por dos puntos y cruzamiento por múltiples puntos.

En el cruzamiento por un punto se intercambian las colas entre los dos individuos para generar los nuevos descendientes. De esta manera ambos descendientes heredan información genética de los padres.

La estructura de los cromosomas con un punto de cruce es como se muestra en la figura 1:

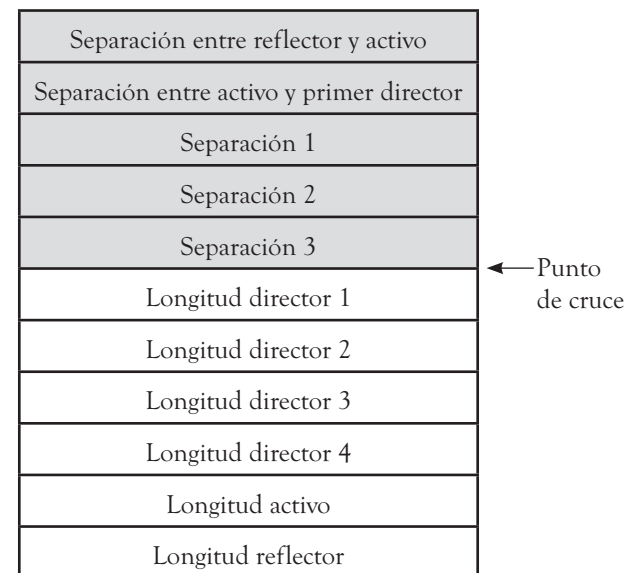


Figura 1. Cruzamiento por un punto.

Fuente: Elaboración propia.

En el cruzamiento por dos puntos se cortan los cromosomas padre en dos segmentos. Deberá tenerse en cuenta que ninguno de estos puntos de corte coincida con el extremo de los cromosomas para garantizar que se originen tres segmentos. Para generar la descendencia se escoge el segmento central de uno de los padres y los segmentos laterales del otro padre. La estructura del cromosoma con dos puntos de cruce es la siguiente:

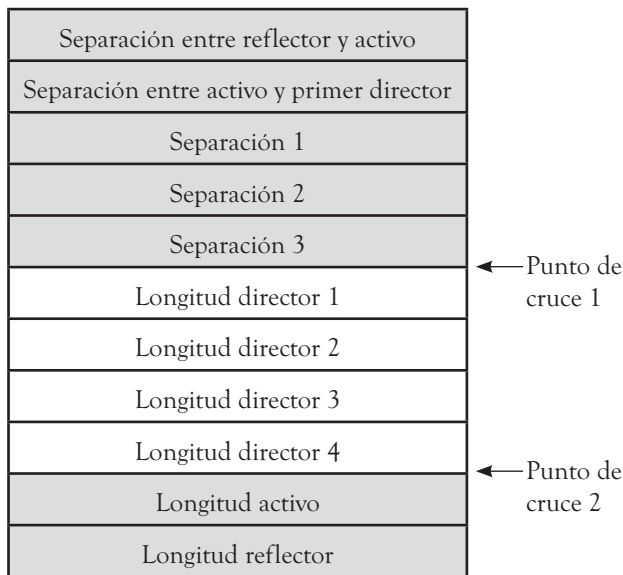


Figura 2. Cruzamiento por dos puntos.

Fuente: Elaboración propia.

En el cruzamiento por múltiples puntos la cadena de genes del cromosoma descendente es formada por copias alternadas de los genes de sus padres respetando el orden genético en el cual está formado y codificado el cromosoma. La estructura del cromosoma con múltiples puntos de cruce es la siguiente:

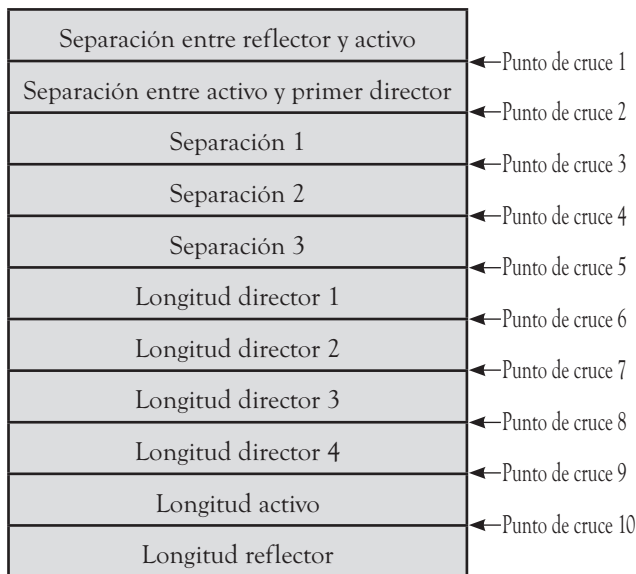


Figura 3. Cruzamiento por múltiples puntos.

Fuente: Elaboración propia.

Después de realizados los cruzamientos se aplica un proceso de mutación, en el cual se mantiene la variedad de las poblaciones alterando las características hereditarias (cambios en la información genética de los cromosomas). La mutación cambia aleatoriamente la descendencia.

El proceso de mutación que se realizó fue el de mutación por valor, correspondientemente al tipo de codificación que se utilizó. Esta se efectúa realizando restas y sumas de ciertos números de una cantidad pequeña al número asignado o cambiando aleatoriamente un gen determinado. En este proyecto se alteró un gen por cromosoma de manera aleatoria.

Después del proceso de mutación los individuos son organizados en una nueva población. Todo este proceso se realiza 50 veces, que es el número de generaciones diseñado para que el algoritmo genético converja alternando funciones de selección.

2. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para validar la veracidad del proceso efectuado en el programa y verificar el cumplimiento de los objetivos planteados se implementaron tres tipos de pruebas, las cuales se organizaron y se efectuaron de la siguiente forma:

- Pruebas de implementación: en estas pruebas se muestra con cuál función de selección y con cuántos puntos de cruce se obtuvo la mejor ganancia y se estableció cuál era la relación frontal trasera más alta para establecer la constante que acompaña a la función objetivo.
- Pruebas comparativas: en estas pruebas, se comparó la mejor antena que resultó del proceso de optimización, con las especificaciones de diferentes fabricantes de antenas, así como con resultados de otros procesos de optimización realizados con antenas Yagi-Uda de seis elementos.

- Prueba experimental: por último, se realizó una prueba experimental. Se construyó una antena con el mejor diseño que arrojó el algoritmo, se le aplicó una prueba de campo y se midieron sus características electromagnéticas. Esta prueba se realizó con la finalidad de establecer una comparación práctico-teórica y así poder establecer un margen de error.

2.1 Pruebas de implementación

En esta sección se realizaron dos pruebas. En la primera se estableció con cuál función de selección y con cuántos puntos de cruce se obtuvo la antena con mejor ganancia, y la segunda se realizó para determinar cuál era la relación frontal-trasera más alta entre las diferentes combinaciones de funciones de selección y de puntos de cruce, y así poder establecer el valor de la constante que acompañaba al término de la relación frontal-trasera en la función objetivo. Estas pruebas se efectuaron, realizando todas las combinaciones posibles de las tres funciones de selección y de los diferentes puntos de cruce. El número de modos que se escogió fue el automático (cinco modos) y el radio de las varillas de la antena es de 0.001λ .

En esta prueba se estableció cuáles parámetros generaron la mejor ganancia. La ganancia que se obtuvo fue de 12.921 dBd, la cual se logró con la función de selección equiprobable y un punto de cruce. En la figura 4 y en la tabla 1 se muestran las relaciones de ganancia obtenidas en el proceso de optimización.

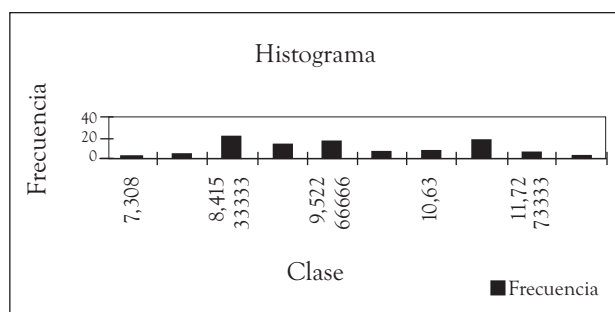


Figura 4. Histograma de ganancias.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Frecuencias -clases (ganancias).

Clase	Frecuencia
7,308	1
7,86166667	4
8,41533333	21
8,969	13
9,52266667	15
10,0763333	6
10,63	7
11,1836667	17
11,7373333	5
y mayor...	1

Fuente: Elaboración propia.

El histograma de la figura 4 demuestra que con los métodos elitistas se puede converger a una solución más estable. Esto se ve reflejado en la frecuencia con que sus soluciones se repiten, mientras que con la función de selección equiprobable (no elitista) se pueden obtener soluciones de mayor o de menor magnitud de manera aislada que, aunque parecen sesgos, son las que realmente hicieron la diferencia en el proceso de optimización.

Los parámetros físicos de la antena optimizada son los que se muestran a continuación (figura 5):

Separación entre reflector y activo: 0.326772λ

Separación entre activo y primer director: 0.326772λ

Separación 1: 0.326772λ

Separación 2: 0.326772λ

Separación 3: 0.326772λ

Longitud Director 1: 0.452756λ

Longitud Director 2: 0.452756λ

Longitud Director 3: 0.452756λ

Longitud elemento activo: 0.676378λ

Longitud Reflector: 0.488189λ

Radio: 0.001λ

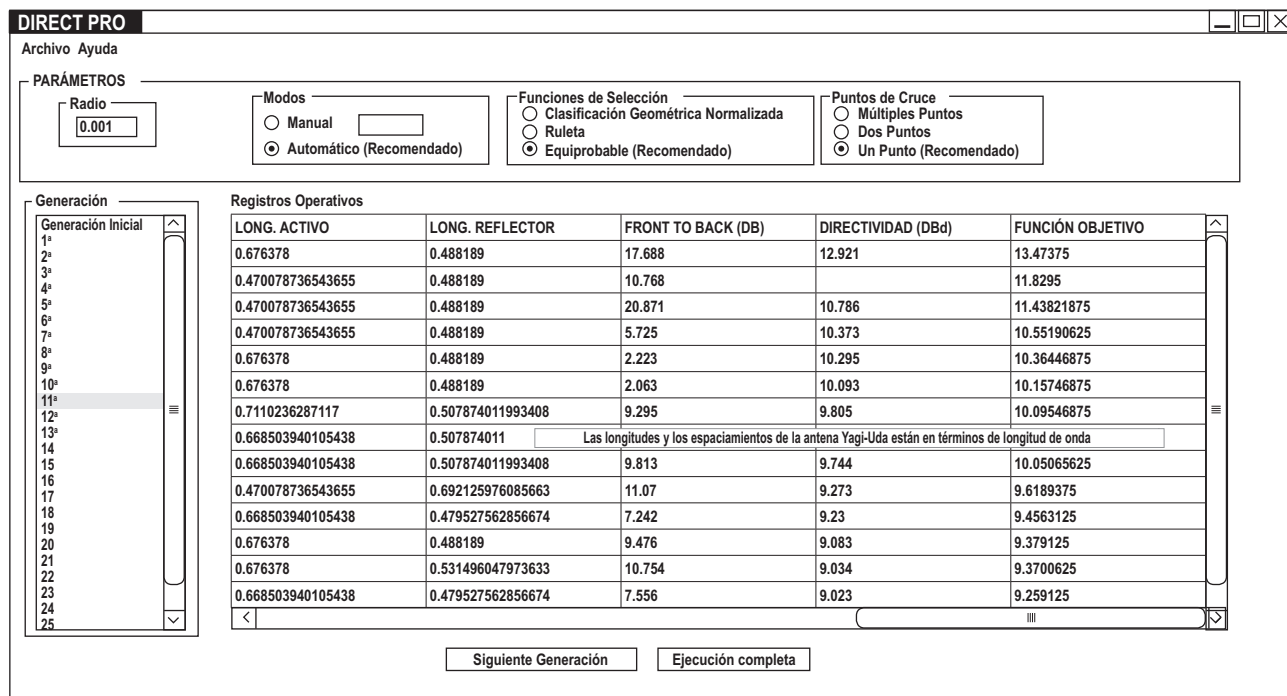


Figura 5. Antena Optimizada de DIRECT PRO [7].

Cabe aclarar que con cualquier función de selección, el usuario debe ejecutar el programa las veces que él considere necesarias, hasta que encuentre un resultado que llene sus expectativas, debido a la naturaleza estocástica que el programa presenta.

La segunda prueba se realizó para determinar cuál era la relación frontal-trasera más alta entre las diferentes combinaciones de funciones de selección y de puntos de cruce con un radio dado de 0.001λ y el número de modos automático (5 modos). La relación frontal trasera más alta fue 32.587 dBs y se obtuvo con la función de selección clasificación geométrica normalizada y un punto de cruce. Esta prueba se hizo para establecer el valor de la constante que acompañaba al término de la relación frontal-trasera en la función objetivo.

En la figura 6 y en la tabla 2, se muestran las relaciones frontal-traseras más altas obtenidas en 90 ejecuciones previas al diseño de la función objetivo.

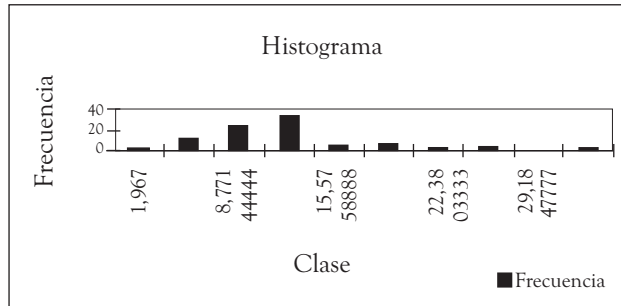


Fig. 6. Histograma de relaciones Frontal-Trasera

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Frecuencias-clases (relaciones frontal-trasera).

Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
1,967	1	18,9781111	7
5,3692222	12	22,3803333	3
8,7714444	25	25,7825556	2
12,1736667	33	29,1847778	0
15,5758889	6	y mayor...	1

Fuente: Elaboración propia.

Los elementos aislados en el histograma de la figura 6 no tienen que ver con el elitismo de determinada función de selección. Estos sesgos, en especial los que presentan alta relación frontal-trasera, demuestran los rasgos atípicos que se pueden presentar y que pueden alterar las aptitudes de los individuos, los cuales son corregidos mediante un factor de escalamiento del mismo valor e inverso (ver ecuación 1).

2.2 Prueba comparativa

En esta prueba se compararon las características electromagnéticas (ganancia y relación frontal-trasera) de la antena optimizada, dada por nuestro *software*, con las de diversos fabricantes de antenas Yagi-Uda reconocidos. Cabe resaltar que no se evaluaron ni se compararon parámetros físicos debido a que estos parámetros no son proporcionados por los fabricantes.

A continuación se muestra en la figura 7 un diagrama de barras comparativo de las características electromagnéticas (ganancia y relación frontal-trasera) que ofrecen los diversos fabricantes de antenas con las ofrecidas por la antena con ganancia optimizada dada por el algoritmo genético.

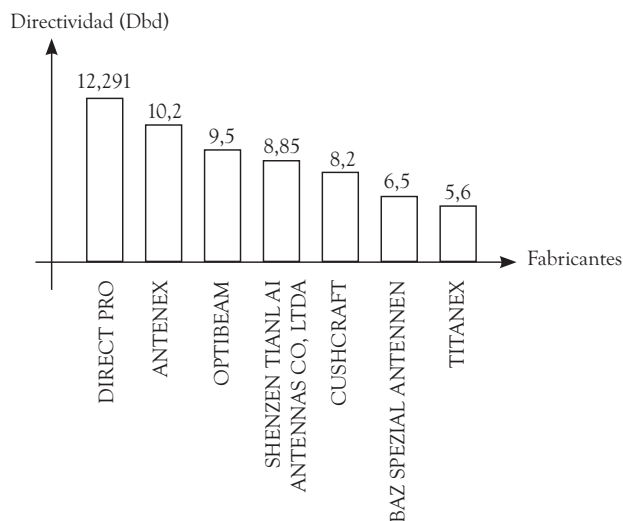


Figura 7. Diagrama de barras fabricantes.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Prueba experimental

Como prueba definitiva se construyó una antena con las características físicas de la antena con ganancia optimizada arrojada por el algoritmo, y se validaron las características electromagnéticas obtenidas experimentalmente con una prueba de campo.

Para esta prueba, se utilizaron los siguientes implementos del laboratorio de transmisión de la Universidad del Norte: SIP360AM, base para el suministro de potencia S300PSB, panel de antena SIP360A, mástil de antena SIP 360-1, medidor de intensidad de campo SIP 360-6, cable RG-58, la escala polar SIP 360-9, conectores de RF (para adaptar los conectores coaxiales entre sí) (figura 8). La frecuencia a la que opera la antena construida son 700 Mhz, que es la frecuencia real medida a la base de suministro de potencia S300PSB.

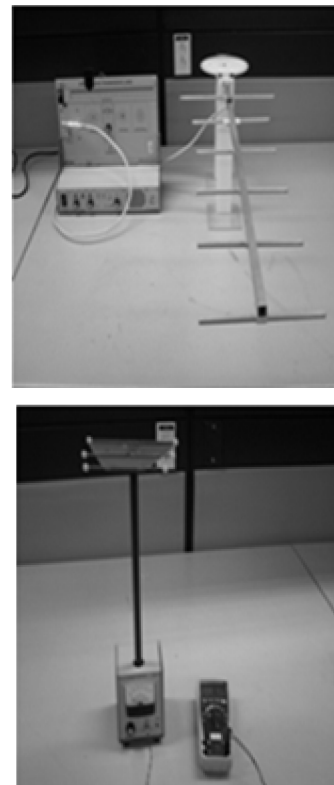


Figura 8. Elementos utilizados en prueba experimental.

Fuente: Elaboración propia

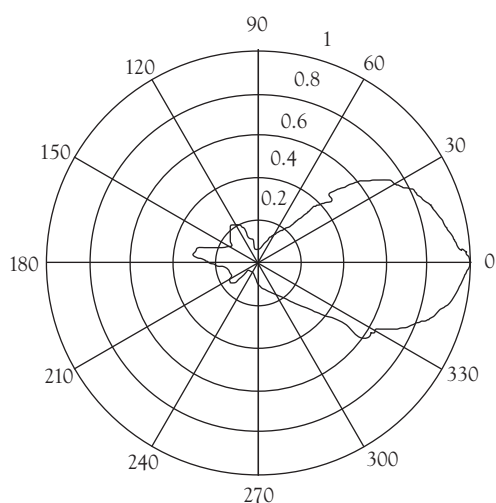


Figura 9. Patrón de radiación experimental.
Fuente: Elaboración propia.

Tomando registro de las tensiones rotando la antena, se obtuvo el siguiente patrón de radiación que se aprecia en la figura 9.

La ganancia se halló mediante la siguiente relación:

$$D_{DBd} = 20 \log \frac{V_{Yagi-Uda}}{V_{dip}} = 20 \log \frac{61.8mV}{15.6mV} = 11.96DBd \tag{2}$$

Donde:

G_{DBd} = Ganancia en dBd de la antena.

$V_{Yagi-Uda}$ = Tensión máxima registrada con la antena Yagi-Uda

V_{dip} = Tensión máxima registrada con el dipolo de media onda

Como se puede observar en la tabla 3, existen algunas discrepancias entre los resultados teóricos y los prácticos, pero esto es debido a que esta prueba fue realizada en un laboratorio donde la energía irradiada por la antena tiende a reflejarse por la presencia de objetos.

Tabla 3. Comparativa resultados experimentales y Teóricos

Parámetros	Datos Teóricos	Datos Prácticos	% de Error
Ganancia	12.921 dBd	11.96 dBd	7.43%
Relación Frontal-Trasera	17.688 dBs	17.1 dBs	3.32%

Fuente: Elaboración propia.

3. DISCUSIÓN

Cabe resaltar que el programa desarrollado en este proyecto, aunque se basó en modelos dados, tiene criterios propios de diseño en prácticamente todos los ámbitos del algoritmo genético. La solución presentada en este artículo tiene en cuenta los requerimientos del usuario con respecto a la escogencia del radio y la escogencia de la función de selección. Este programa también optimiza, además de la ganancia, la relación frontal-trasera.

4. CONCLUSIONES

- Tomando como base las pruebas realizadas, se ha corroborado de manera práctica y teórica la eficacia del método de optimización y de los parámetros de diseño utilizados, para mejorar la ganancia de las antenas Yagi-Uda.
- Se encontró que las bases de datos iniciales son fundamentales para obtener mejores resultados finales.
- Se creó una función objetivo, la cual permitió evaluar las actitudes de todas las antenas involucradas en el proceso, asignándoles mayor aptitud a los individuos con mejores características electromagnéticas y discriminando de manera complementaria los que tuvieran una relación frontal trasera muy baja.
- En las pruebas realizadas, se encontró que la ganancia obtenida con nuestra metodología es mayor a la que ofrecen los fabricantes de an-

tenas Yagi-Uda comúnmente en el comercio e inclusive superó la ganancia presentada en ciertos procesos de optimización que fueron objeto para el análisis comparativo.

- En la prueba experimental, se notó que en las mediciones de las características electromagnéticas de la antena con ganancia optimizada, los resultados obtenidos tuvieron una desviación tolerable respecto a los datos arrojados por nuestra metodología.

REFERENCIAS

- [1] C. I. Páez, and R. Bustamante, "Diseño Óptimo de Antenas Yagui-Uda," *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, vol. 15, no. May, pp. 10-16, 2002.
- [2] E. A. Jones, and W. T. Jiones, "Design of Yagi-Uda antennas using genetic algorithms," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 9, pp. 1386-1392, September 1997, 1997.
- [3] R. M. Ramos, R. Saldanha, R. Takahashi et al., "The Real-Biased Multiobjective Genetic Algorithm and Its Application to the Design of Wire Antennas," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 39, no. 3, pp. 1329-1332, May 2003, 2003.
- [4] N. V. Venkatarayalu, and T. Ray, "Optimum Design of Yagi-Uda Antennas Using Computational Intelligence," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 7, pp. 1811-1818, July 2004, 2004.
- [5] J. T. Palma Mendez, and R. Marín Morales, *Inteligencia Artificial: Métodos, técnicas y aplicaciones*, Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.U., 2008.
- [6] T. M. Mitchell, *Machine Learning*: WCB / McGraw-Hill, 1997.
- [7] E. De La Asunción López, "Optimización de antenas Yagi-Uda mediante algoritmos genéticos," Programa de Ingeniería Electrónica, Universidad del Norte, Barranquilla, 2008.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2 nd ed.: Wiley, 1996.
- [9] W. L. Stutzman, and G. A. Thiele, *Antenna theory and design*, New York: John Wiley & Sons Inc, 1981.
- [10] P. P. Viezbicke, *Yagi antenna design*, National Bureau of Standards, Boulder, CO, 1976.
- [11] D. C. Hasselbrinck A, and D. J. Rodríguez C, "Software de obtención de parametros de antenas y arreglos lineales," Programa de Ingeniería Electrónica, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, 2006.
- [12] A. Meza N, and S. Montoya A, "Software de análisis y diseño de antenas," Programa de Ingeniería Electrónica, Universidad del Norte, Barranquilla, 2005.