

Diseño de arreglos de antenas logarítmicas usando algoritmos genéticos

Juan C. Gómez¹
Manuel Fernando Gómez
Jaime Zarate

RESUMEN

Las antenas logarítmicas periódicas de dipolos se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, especialmente en las bandas de VHF y UHF. Su ganancia, relativamente baja, puede incrementarse combinando varias antenas en un mismo arreglo. Estos arreglos se caracterizan porque las localizaciones de los elementos con respecto a los otros son definidas por ángulos, estos ángulos determinan, conjuntamente con las dimensiones de los elementos, la ganancia del sistema. Optimizando entonces estos ángulos y las dimensiones de los elementos optimizamos también la ganancia y el tamaño de la antena. El proceso de optimización descrito antes puede ser adelantado utilizando Algoritmos Genéticos (AG).

Palabras clave: Antenas logarítmicas periódicas, ganancia, arreglos, ángulos, aplicaciones de algoritmos genéticos.

ABSTRACT

The LPDA antennas are employed widely, especially in the VHF and UHF bands. They have a lower gain, and may be increased by combining several antennas in an array. The arrays are characterized by the location of the elements with respects to the others are defined by angles which determine in conjunction with the dimensions of the elements, the gain of the system. By optimizing these angles and the dimensions of the elements we also optimize the gain and size of the antenna. The process of optimization described above may be speeded up by employing Genetic Algorithms.

Key words: Periodic logarithmic antennas, gain, arrangement, angle, genetics algorithm applications.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la relativamente baja ganancia de las antenas logarítmicas periódicas de dipolos, suelen combinarse varias antenas en un arreglo para conseguir ganancias mayores.

El modelo matemático utilizado para el diseño de estos arreglos está soportado en un gran número de aproximaciones dada la complejidad que implicaría utilizar criterios de diseño rigurosos. Como conse-

cuencia de lo anterior, el sistema que se obtiene no garantiza parámetros del arreglo óptimos, como por ejemplo, la separación angular entre los elementos y las dimensiones de los mismos. Se hace necesario por lo tanto construir un prototipo sobre el cual se realiza un proceso de prueba y error experimental para intentar llegar a resultados satisfactorios.

El procedimiento descrito en el párrafo anterior hace que el tiempo y los recursos utilizados para obtener un prototipo de arreglo de antenas logarítmicas periódicas funcional sean considerables; además, es posible que el arreglo resultante incorpore un mayor número de antenas (elementos) que el que se requeriría para la ganancia considerada.

Resultaría conveniente, entonces, implementar algún método de optimización que le incorpore al diseño de estos arreglos la rigurosidad necesaria como para que el sistema que se obtiene esté lo más cerca posible de un arreglo óptimo.

Los AG son métodos adaptativos que pueden ser utilizados para implementar búsquedas y dar solución a problemas de optimización, de manera que pueden ser usados para resolver al problema anterior.

II. ALGORITMOS GENÉTICOS (AG)

El estudio de los AG se encuentra ampliamente relacionado con el concepto de Computación Evolutiva, que, como su nombre lo indica, se centra en la adaptación al entorno como el principal motivo y fin de la evolución. Se inicia con el estudio de Holland y alumnos en la aplicación de operadores de tipo genético a problemas artificiales de adaptación [1].

Holland construyó una Teoría de Sistemas Adaptativos de propósito general (que sólo quedó como teoría). Según esta, la adaptación estudia como los sistemas pueden hacer una definición efectiva del ambiente en que se encuentran y generar procedimientos que les permitan ajustarse eficientemente a este.

Los AG están basados en los procesos genéticos de organismos biológicos al codificar una posible solución a un problema en un "cromosoma" compuesto por una cadena de bits o caracteres.

Estos cromosomas representan individuos que son llevados a lo largo de varias generaciones, en forma

Los algoritmos genéticos pueden ser utilizados para optimizar el desempeño de arreglos de antenas logarítmicas periódicas.

¹ Director Grupo de Investigación de Telecomunicaciones Universidad Distrital GITUD. Telecomunicaciones.

similar a las poblaciones naturales, evolucionando de acuerdo a los principios de selección natural y "supervivencia" del más apto. Emulando estos procesos, los AG son capaces de "evolucionar" soluciones a problemas del mundo real.

El poder de los AG es consecuencia de que la técnica es robusta, y puede manejar exitosamente un amplio rango de problemas, incluso algunos que son difíciles de resolver por otros métodos. Los AG garantizan que encontrarán una solución óptima al problema. El campo principal de aplicación es donde no existan técnicas exactas para la solución de problemas.

III. ARREGLOS DE ELEMENTOS LOGARITMOCOS PERIÓDICOS

Las antenas logarítmicas periódicas radian sobre una región que es el cuadrado de la longitud de onda en tamaño. Como resultado estas estructuras tienen una ganancia relativamente baja debido a su pequeña apertura. Un método para incrementar la ganancia y mantener el ancho de banda es combinar varias antenas en un arreglo.

El patrón de radiación de un arreglo de antenas logarítmicas periódicas puede ser considerado como una simple superposición de los patrones de los elementos individuales si se asume que la presencia de otros elementos no afecta el patrón de cada elemento. Para obtener una operación independiente de la frecuencia con un arreglo, es necesario que las localizaciones de los elementos con respecto a los otros sean definidas por ángulos más que por distancias. Esto implica que todos los elementos tienen sus vértices en el punto de alimentación o en un punto común. Estos arreglos son únicos en dos aspectos: Primero, aunque el patrón de radiación de los elementos es idéntico en forma (asumiendo que los parámetros de diseño son idénticos), apuntan en diferentes direcciones. Segundo, se puede considerar que la radiación desde cada elemento emana desde el centro de fase.

IV. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ALGORITMOS GENÉTICOS AL DISEÑO DE ARREGLOS DE ANTENAS LOGARÍTMICAS PERIÓDICAS DE DIPOLOS

4.1 Codificación

La codificación es el proceso mediante el cual se introducen los parámetros necesarios a evaluar en el proceso de búsqueda de la solución.

Este proceso se inicia con la definición de los genes, estos son cada una de las variables a tener en cuenta; para este caso se eligieron 10 genes diferentes, los cuales son [3]:

- N : Número de elementos del arreglo, es decir, el número de antenas logarítmicas que tendrá el arreglo a diseñar.
- δ : Determina el ángulo de espaciamiento entre cada uno de los elementos del arreglo.
- $\gamma_1 \dots \gamma_8$: Es cada uno de los γ (fase relativa del campo radiado por cada uno de los elementos que componen el arreglo), de un máximo de ocho antenas del arreglo.

Para el primer gen, N , este valor varía entre 1 y 8. El valor solo llega hasta 8, ya que al haber más de 8 elementos en el arreglo, estos se encuentran lo bastante próximos como para que sus patrones de radiación comiencen a interferirse [2].

El segundo gen, δ , representa un número aleatorio entre 0 y 1, que representa a su vez los ángulos δ_n entre las antenas. δ_n se determina de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\delta_n = \phi - \frac{[10^\circ(N-1)]}{2} + \frac{[90^\circ - (10^\circ(N-1))]\delta}{2} + \left\{ \frac{[10^\circ(N-1) + \delta(90^\circ - (10^\circ(N-1)))]}{N-1} \right\}_n \quad (1)$$

Donde δ es el número aleatorio descrito antes. Con esto se asegura que $\delta_n - \delta_{n-1}$ sea igual para todos los δ_n , además de que sea mayor a 10° . Y que δ_1 se puede variar dependiendo de δ . Esto con el fin de que todos los elementos del arreglo tengan una contribución considerable al lóbulo resultante del arreglo.

El factor γ representa un retardo en fase, el cual hace que cada una de las antenas del arreglo radie de una forma determinada, variando así el patrón de radiación del arreglo. Varía entre 0 y -2π y es optimizado por la herramienta, determinando las dimensiones de cada una de las antenas del arreglo.

Estos 10 genes constituyen el cromosoma, el cual es referido como genotipo.

La longitud en caracteres de este fenotipo es fija, aunque en la teoría de AG se contempla la posibilidad de hacerlos de longitud variable, pero este tipo de cadenas ofrece dificultad al momento de aplicar los operadores cruce y mutación [1].

4.2 Población y reproducción

La población es generada, la primera vez, de manera aleatoria. El tamaño de la población es de 60 individuos, realizándose las validaciones adecuadas para evitar poblaciones iniciales demasiado distantes de la que sería la solución óptima.

Al ser evaluados cada uno de los individuos se les asigna una puntuación de adaptación, la cual varía inicialmente entre 1 y 25 aproximadamente (20 para el individuo con menor adaptación y 1 para el de mayor adaptación). Después estos individuos se ordenan de manera ascendente de acuerdo con su puntuación.

La ganancia de las antenas logarítmicas periódicas puede incrementarse combinando varias en 7 un mismo arreglo.

Al presentarse soluciones bastante alejadas de la óptima, tal como debe ocurrir en las primeras generaciones, a la puntuación de adaptación se le adiciona un valor que indica que tan alejada se encuentra esta solución de una óptima. A este valor se le denomina penalización. De esta forma se está haciendo una elección de lo alejado que se encuentran cada uno de los individuos generados de una solución óptima.

Ya con los individuos ordenados se procede a obtener la próxima generación de la siguiente manera:

- Se obtienen de los primeros 20 individuos 5 nuevos individuos. Grupo 1.
- Se obtienen de los primeros 40 individuos 10 nuevos individuos. Grupo 2.
- Se obtienen del total de la población 25 nuevos individuos. Grupo 3.
- Cada uno de los hijos es evaluado. De esta forma se puede determinar si el hijo posee mejor adaptación que el padre para entrar a reemplazarlo, es decir para ocupar su lugar en la próxima generación.

Este tipo de reproducción tiene las siguientes características:

- Se le ofrece la mayor probabilidad de reproducción a los 20 individuos mejor adaptados, esta es de 0.91. Se obtiene así:

$$P(1) = 25 / 60 + 10 / 40 + 5 / 20 = 0.91$$

- A los siguientes 20 individuos se les ofrece una probabilidad de reproducción de 0.666, de esta forma:

$$P(2) = 25 / 60 + 10 / 60 = 0.666$$

- A los últimos 20 individuos en puntaje de adaptación, se les asigna una probabilidad de reproducción de 0.4166, derivada así:

$$P(3) = 25 / 60 = 0.4166$$

- Ningún individuo tiene probabilidad 0 o 1 de reproducirse como lo sugiere la técnica de AG.
- Para la siguiente generación se conserva entre un 33% y un 100% de la generación anterior, de acuerdo a la mejor o peor respuesta por parte de los nuevos individuos, a la función de evaluación.

4.3 Cruce

El cruce entre dos genotipos para lograr un nuevo individuo, se realiza de manera diferente en los individuos del tercer grupo y en los de los otros dos. Para obtener los 25 individuos a partir del total de la población se usan dos puntos de corte. El primero

fijo, después del primer gen, y el segundo variable, en cualquier punto después del tercer gen.

De esta manera se definen dos puntos de corte. El primero permite al individuo padre determinar en el nuevo genotipo el número de elementos del arreglo (Gen 1). Además, permite al individuo 2 determinar el ángulo inter-elementos y los primeros ángulos de fase de elementos, y va hasta el segundo punto de corte, este varía su posición de manera aleatoria y permite que en los últimos ángulos de fase del nuevo individuo se presenten los valores provenientes del primer padre. En este caso se está haciendo uso de cruce multipunto. La designación del padre uno y dos se hace sin ningún criterio específico, evitando así la convergencia prematura.

La creación de los otros quince individuos se hace según las siguientes consideraciones. En este caso el punto de corte es variable, presentándose, así, cruzamiento de un punto. Ahora el nuevo individuo presenta características del padre, sin realizarle muchas variaciones a este, teniendo en cuenta que como el padre presenta mayor nivel de adaptación no es conveniente realizar grandes cambios ya que el algoritmo está convergiendo. En contraste con el tipo de cruzamiento anterior, donde el nuevo individuo presenta características provenientes de ambos padres en proporciones similares.

4.4 Mutación

Se produce mutación cada vez que se presenta una reproducción entre padres con primer gen igual, se presenta cuando se selecciona el mismo padre o cuando se seleccionan dos individuos de la población con la misma condición. La mutación se realiza cambiando por un valor aleatorio uno de los últimos ocho genes del individuo.

El proceso de reproducción se realiza durante 5000 generaciones, lo suficiente para que el algoritmo converja de manera adecuada.

4.5 Función de evaluación

La evaluación de cada uno de los genotipos se hace en primera instancia, de acuerdo al patrón de radiación que genera cada arreglo, para poder evaluar su directividad y con esta determinar si la solución encontrada cumple con la mínima requerida. Como segundo criterio de evaluación se calcula la dimensión total de cada arreglo, para darle a cada individuo que cumple con el patrón, un valor de adaptación por este concepto [3].

El primer paso consiste en evaluar el campo radiado por la configuración del arreglo representada por el individuo a evaluar, en el ángulo Φ , hacia el cual se quiere radiar. Esto se hace a partir de la siguiente ecuación.

$$E_R(\phi) = \sqrt{[A]^2 + [B]^2} \quad (2)$$

Donde

$$A = \sum_{n=1}^N \text{Cos}^c\left(\frac{\phi - \delta_n}{2}\right) \text{Cos}(\beta d \text{Cos}(\phi - \delta_n) - \gamma_n)$$

$$B = \sum_{n=1}^N \text{Cos}^c\left(\frac{\phi - \delta_n}{2}\right) \text{Sen}(\beta d \text{Cos}(\phi - \delta_n) - \gamma_n)$$

Donde β es el número de onda o constante de longitud del medio que rodea a la antena, d es la distancia al centro de fase y el resto de las magnitudes fueron definidas antes.

El segundo paso consiste en evaluar el campo radiado por la configuración del arreglo representada por el individuo, en el ángulo inferior de media potencia del patrón requerido. Es decir en $\Phi - \Phi_1$, y además en ángulos inferiores espaciados a partir de este en 10 grados. Esto para asegurar que el patrón de radiación sea coherente y sus lóbulos laterales sean despreciables.

Se utiliza para esto una función similar a la anterior, pero ya no evaluada en Φ sino en $\Phi - \Phi_1 - (10 * P)$. Donde P se incrementa desde 0 hasta 5, cada vez que se introduce en la función de evaluación. El valor de P solo llega hasta 5 para evitar evaluar en ángulos cercanos a cero grado, donde se encuentran los lóbulos menores. Se utiliza entonces la siguiente ecuación para realizar este proceso.

$$E_R(\phi) = \sqrt{[C]^2 + [D]^2} \quad (3)$$

$$C = \sum_{n=1}^N \text{Cos}^c\left(\frac{\epsilon_- - \delta_n}{2}\right) \text{Cos}(\beta d \text{Cos}(\epsilon_- - \delta_n) - \delta_n)$$

$$D = \sum_{n=1}^N \text{Cos}^c\left(\frac{\epsilon_- - \delta_n}{2}\right) \text{Sen}(\beta d \text{Cos}(\epsilon_- - \delta_n) - \delta_n)$$

Donde $\epsilon_- = \Phi - \Phi_1 - (10 * P)$ y $P = 1, 2, 3, 4, 5$

Si no se cumple con la condición que a continuación se muestra, se puede asumir que el patrón no cumple con la directividad deseada o con la premisa de que los lóbulos laterales sean despreciables, esta condición es:

$$E(\phi - \phi_1 - (10 * P))_{P=5} < E(\phi - \phi_1 - (10 * P))_{P=4} < \dots$$

$$\dots < E(\phi - \phi_1 - (10 * P))_{P=0} < \frac{E(\phi)}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Si el patrón no cumple el requerimiento, el valor que la función de evaluación entrega a este individuo será:

$$F = 25 - P - \frac{E(\phi)}{E(\phi - \phi_1)} \quad (5)$$

Con el P al que se llegó cumpliendo la condición:

$$E(\phi - \phi_1 - (10 * (P + 1))) < E(\phi - \phi_1 - (10 * P)) \quad (6)$$

Donde 25 es el valor dado por la función de evaluación por no cumplir con la directividad requerida. El segundo término es un valor de penalización,

el cual permite determinar que tan alejada se encuentra la solución representada por el individuo de la solución óptima y el tercero penaliza por tener una menor directividad aunque el patrón sea coherente.

El tercer paso consiste en evaluar el campo radiado por la configuración del arreglo representada por el individuo, esta vez en el ángulo superior de media potencia del patrón requerido y se realiza de forma similar a lo descrito en el paso dos [2].

En el caso en que el resultado entregado por las funciones de evaluación sean mayores en ambos casos, el valor que la función de evaluación entrega a este individuo será:

$$F = 25 - P_- - P_+ - \frac{E(\phi)/\sqrt{2}}{E(\phi + \phi_1)} - \frac{E(\phi)/\sqrt{2}}{E(\phi - \phi_1)} \quad (7)$$

Donde nuevamente 25 es el valor dado por la función de evaluación por no cumplir con la directividad requerida y el segundo y tercer término son el valor de penalización, esta vez mayor que en los dos casos anteriores. El cuarto y quinto término penalizan las directividades inferiores aunque el patrón sea coherente.

Para los individuos que no se encuentran en los casos anteriormente nombrados, los cuales son los que presentan un arreglo con directividad mayor o igual a la requerida, la función de evaluación entrega el siguiente valor:

$$F = \sum_{n=1}^N K_n = \sum_{n=01}^N \tau^{\gamma_n/2\pi} \quad (8)$$

Donde τ es el factor de escala de los elementos (antenas logarítmicas) que componen el arreglo.

Esta ecuación arroja como resultado máximo 10.4, esto con $N = 8$ y $K = 1.3$. Y como valor mínimo 1, con $N = 1$ y $K = 1$. Esto determina que cualquier individuo que se encuentre en este grupo recibirá mejor puntuación en cuanto a su adaptación que cualquiera de los del grupo anterior cuyo valor era siempre mayor a 15. Además se le dará mejor puntuación en cuanto a su adaptación al individuo que represente un arreglo con menores dimensiones, hallando de esta forma el diseño óptimo y no uno que entregue mejores resultados pero mayores dimensiones físicas, teniendo en cuenta que K es un factor multiplicador de las dimensiones de la antena.

Una vez que el AG ha determinado el individuo que representa la solución óptima, los parámetros que este contiene pueden entregarse a un procedimiento de diseño de antenas logarítmicas para hallar las dimensiones de cada uno de los elementos de cada una de las antenas [2]. Posteriormente se multiplican las dimensiones de los N elementos por el factor K , para lograr el defasaje en la radiación de cada elemento del arreglo.

Deben evitarse poblaciones iniciales demasiado distantes de la que sería la solución óptima.

El proceso de cruce multipunto evita la convergencia prematura garantizando individuos mejor adaptados.

V. COMPARACIÓN ENTRE LA TÉCNICA TRADICIONAL Y LOS ALGORÍTMOS GENÉTICOS EN EL DISEÑO DE ARREGLOS DE ANTENAS LOGARÍTMICAS PERIÓDICAS.

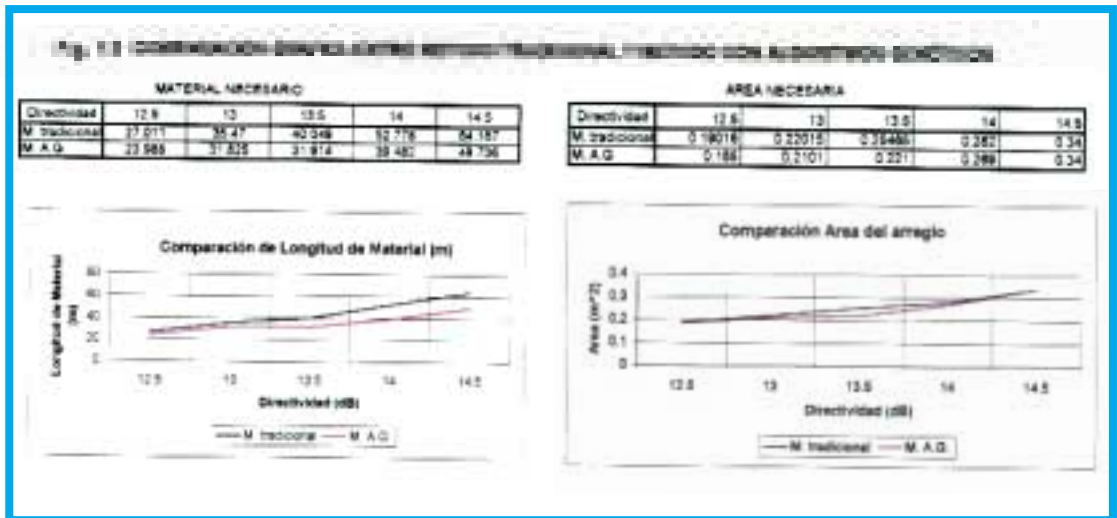
Las tablas 1 y 2 y los gráficos 1y 2 muestran los resultados que se obtienen cuando se diseñan arreglos de antenas logarítmicas periódicas según el método clásico de prueba y error [4] [5] y los AG [2] respectivamente. Al comparar estos resultados se concluye:

Tabla 1.0 DATOS ARROJADOS POR EL METODO TRADICIONAL DE DISEÑO

Directividad	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀	W ₁₁	W ₁₂	W ₁₃	W ₁₄	W ₁₅	W ₁₆	W ₁₇	W ₁₈	W ₁₉	W ₂₀
12.8	0.421	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0.465	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5	0.512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0.565	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.5	0.644	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 2.0 DATOS ARROJADOS POR EL METODO CON ALGORITMOS GENÉTICOS

Directividad	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀	W ₁₁	W ₁₂	W ₁₃	W ₁₄	W ₁₅	W ₁₆	W ₁₇	W ₁₈	W ₁₉	W ₂₀
12.8	0.421	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0.465	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5	0.512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0.565	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.5	0.644	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



5.1 Problemas del método tradicional

- El número de antenas requeridas para el arreglo aumenta de manera lineal con la directividad del mismo [6].
- Los ángulos, se deben ajustar a valores altos debido a que la mínima distancia entre ellos debe ser de 10° . Esto hace que d/λ , no pueda ser ajustada a un valor fijo para todos los valores de directividad del arreglo y por esto la directividad de los elementos debe ser mayor entre más alta sea la directividad del arreglo.
- Los parámetros hallados para cada elemento del arreglo, están muy alejados de los valores de óptimos. Esto se traduce en que los elementos son mucho más grandes de lo que serían si se usarán AG.
- El método tradicional no es un método totalmente formal, sino que utiliza suposiciones y

aproximaciones que hacen que una vez terminado el diseño, alguno de los parámetros estén fuera de rango haciéndose necesario analizar que parámetros cambiar, para que todos los parámetros de la solución estén dentro del rango [7].

- El método tradicional de diseño no puede ser considerado, ni siquiera, como iterativo, debido a que los valores no se ajustan según el resultado obtenido. Por esta razón se le denomina como un método de hacer y probar [7].
- La manera en que se calculan los valores de, para de allí sacar los K_n , no está determinada por el método de diseño, sino que se hace necesario hacer análisis para hallar estos ángulos.
- Debido a todo lo anterior, al implementar el arreglo, deben de ajustarse en la práctica los parámetros del arreglo para que cumplan con la directividad requerida.

5.2 Beneficios del método de algoritmos genéticos

- Todos los elementos del arreglo cumplen con el a óptimo, es decir tienen el menor tamaño posible.
- El número de antenas, aunque varía linealmente con la directividad del arreglo, no varía de manera tan pronunciada a como lo hace en el método tradicional. Esto representa una gran economía en materiales y una menor complejidad del arreglo para su construcción y la realización de ajustes finos, si es que hay necesidad de hacerlos.
- El método con AG proporciona no solo una solución que satisface los requerimientos del diseñador, sino que ofrece la mejor solución.
- El diseñador no se esfuerza haciendo operaciones matemáticas complejas y no asume parámetros de manera intuitiva.
- Ya que se trabaja con las ecuaciones exactas de campo, los ajustes una vez implementado el arreglo serán mínimos.
- No existen desventajas notables en el método de diseño con AG, que induzcan al diseñador a pensar en el uso del método tradicional como alternativa a los AG.

VI. CONCLUSIONES

Se presentó un método para diseñar y optimizar arreglos de antenas logarítmicas periódicas utilizando algoritmos genéticos. Para la implementación del mismo se desarrolló una herramienta de software que como mínimo requiere un procesador 486 o superior, capacidad de 8 Mbytes en memoria RAM, espacio en disco duro de 10 Mbytes y sistema operativo Windows 95 o superior, Windows NT 3.5 o superior.

Como resultado de la combinación del método de diseño y optimización con la herramienta de software se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Al obtener un diseño óptimo como resultado de la aplicación de los algoritmos genéticos se logra una gran economía en materiales ya que el arreglo está compuesto por un menor número de elementos y los elementos a su vez tienen dimensiones menores.
- Se elimina la necesidad de construir un prototipo a partir del cual mediante el método de prueba y error resulte una antena óptima, lográndose así un ahorro importante en materiales y tiempo.

- El patrón de radiación de los arreglos diseñados es coherente (directivo), con, además, mínima radiación lateral, lo cual hace a los arreglos diseñados según este procedimiento muy interesantes para ser usados en ambientes radioeléctricos donde se requiera minimizar la interferencia de RF. Estos resultados no se pueden asegurar con el método de diseño tradicional.
- Los resultados obtenidos permiten utilizar el procedimiento descrito en este artículo así como la herramienta de software desarrollada para optimizar arreglos de antenas logarítmicas tanto en el plano E como en el plano H, con lo cual se conseguirían antenas mucho más directivas.
- Los algoritmos genéticos son una técnica eficiente y versátil para la solución de problemas complejos en el ámbito de la ingeniería electrónica, específicamente en problemas relacionados con la radiación de ondas electromagnéticas, y pueden aplicarse por los resultados que se derivan de su implementación en escenarios tanto académicos como empresariales.

REFERENCIAS

- [1] Holland J. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan. Press, Ann Arbor. 1975.
- [2] Gómez Manuel F. y Zarate Jaime. *Diseño de Arreglos de Antenas Logarítmicas Periódicas usando Algoritmos Genéticos*. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Universidad Distrital. 1999.
- [3] K.K Yan and Y. Lu. *Sidelobe Reduction in Array-Pattern Synthesis Using Genetic Algorithm*. Transactions Antennas and Propagation. IEEE Vol AP 45, No.7. Pag 1117, 11226. July 1997.
- [4] J. D. Krauss. *Radio astronomy*. Mc. Graw Hill Book Co. Pag 170, 171. 1966.
- [5] Jasik Henry. *Antenna Engineering Handbook*. Mc. Graw Hill. 1981.
- [6] Duhamel & Ore. *Broadband Logarithmically Periodic Antenna Structure*. IRE National Convention Record. Pt 1. Pag 119-128. 1957.
- [7] Isbell D. E. *Nonplanar Logarithmically Periodic Antenna Structure*. University of Illinois, Antenna Laboratory, feb 20. 1958.
- [8] C. T. Tai & C. S. Pereira. *An approximate formula for calculating the directivity of antenna*. Transactions Antennas and Propagation. IEEE Vol AP 24, No.2. Pag 235, 236. March 1976.

Juan Carlos Gómez Paredes.

Ingeniero en Telecomunicaciones, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (I.S.P.J.A.E), Ciudad de la Habana, Cuba. Esp. Computadores Aplicados a la enseñanza de la ingeniería, I.S.P.J.A.E. - Universidad de la Habana, Ciudad de la Habana, Cuba. Msc. Sistemas de Transmisión por Fibras Ópticas, I.S.P.J.A.E. - Universidad de la Habana, Ciudad de la Habana, Cuba. Profesor del Proyecto Curricular de Ingeniería Electrónica y de la Especialización en Comunicaciones Móviles, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". jcgomez95@hotmail.com

Manuel Fernando Gómez Vargas.

Ingeniero Electrónico. Universidad Distrital.

Jaime Zarate Arcos.

Ingeniero Electrónico. Universidad Distrital.

los algoritmos genéticos son una muy poderosa técnica para la solución de problemas relativos a la radiación electromagnética