



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UNA MICROANTENA DE PARCHE CON
GEOMETRÍA RECTANGULAR UTILIZANDO ALGORITMOS
GENÉTICOS PARA SU OPTIMIZACIÓN**

Ludwing Jacob Arredondo Rodríguez

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, febrero de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA MICROANTENA DE PARCHE CON
GEOMETRÍA RECTANGULAR UTILIZANDO ALGORITMOS
GENÉTICOS PARA SU OPTIMIZACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUDWING JACOB ARREDONDO RODRÍGUEZ
ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga
EXAMINADOR	Ing. Erwin Efraín Segura Castellanos
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Duran Córdova
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UNA MICROANTENA DE PARCHE CON
GEOMETRÍA RECTANGULAR UTILIZANDO ALGORITMOS
GENÉTICOS PARA SU OPTIMIZACIÓN,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 2 de noviembre de 2005.

LUDWING JACOB ARREDONDO RODRÍGUEZ

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

MIS PADRES: Rosendo Arredondo
Angelina Rodríguez Lima

MIS HERMANOS: Darwin Alexander Arredondo Rodríguez
Karen Angelina Arredondo Rodríguez
Débora Carolina Arredondo Rodríguez
Daniel Rosendo Arredondo Rodríguez
Jaqueline Amilza Arredondo Rodríguez
Elizabeth Karina Arredondo Rodríguez
Linda Esther Arredondo Rodríguez

MI SOBRINA: Dara Sofía Arredondo Rodriguez

MIS ABUELOS

MIS TÍOS

MIS PRIMOS

MIS AMIGOS

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

AGRADECIMIENTOS A:

Ingeniero Enrique Ruiz, por su ayuda incondicional para la realización de este trabajo de graduación.

La Escuela de Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Todos aquellos que me ofrecieron ayuda en el momento que necesite.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. TEORÍA BÁSICA DE LAS ANTENAS	1
1.1 Antenas	1
1.2 Parámetros de las antenas	2
1.2.1 Impedancia y eficiencia de una antena	2
1.2.2 Directividad de una antena	6
1.2.3 Patrón de radiación	7
1.3 Campos Electromagnéticos producidos por una antena	7
1.4 Antenas Receptoras	9
2. MICROANTENAS DE PARCHÉ	11
2.1 La microantena de parche rectangular	13
2.2 Métodos de análisis	16
2.2.1 Modelo de Línea de transmisión	16
2.2.2 Modelo de la cavidad	18
2.3 Técnicas de alimentación	19
2.3.1 Alimentación en el borde	20
2.3.2 Alimentación por sonda coaxial	22
2.3.3 Alimentación por acople de apertura	23
2.3.4 Alimentación de acople por proximidad	25
2.4 Reducción del tamaño del conductor	26

2.5	Polarización Circular	28
3	ALGORITMOS GENÉTICOS	31
3.1	Ventajas de los algoritmos genéticos	32
3.2	Desventaja de los algoritmos genéticos	32
3.3	Componentes de un algoritmo genético	33
3.3.1	Cromosomas	33
3.3.2	Genes	33
3.3.3	Alelos	34
3.3.4	Genotipo	34
3.3.5	Fenotipo	34
3.3.6	Locus	35
3.3.7	Función de Ajuste	35
3.4	Operadores Genéticos	35
3.4.1	Operador Cruce	35
3.4.2	Operador mutación	37
3.4.3	Operador Inversión	37
3.5	Métodos de Selección	38
3.5.1	Selección Elitista	39
3.5.2	Selección por ruleta	39
3.5.3	Selección por torneo	39
3.6	Factores a tomar en cuenta en la generación de un algoritmo genético	40
3.7	Implementando un algoritmo genético	42
3.8	Tipos de Algoritmos Genético	43
3.8.1	Algoritmos genéticos reales	43
3.8.2	Algoritmos Genéticos Binarios	44
4	ALGORITMO GENÉTICO APLICADO A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE LA ANTENA	47
4.1	Diseño de una microantena de parche con geometría rectangular	47

4.2 Aplicación de algoritmos genéticos a la optimización en una microantena de parche con geometría rectangular	50
4.2.1 Inicialización	53
4.2.2 Evaluación	54
4.2.3 Ordenación	54
4.2.4 Reinicio	55
4.2.5 Cruce	56
4.2.6 Mutación	56
4.3 Utilización del programa	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXO	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Circuito equivalente de una antena	2
2.	Una microantena de parche y sus campos	14
3.	Alimentación en el borde	20
4.	Alimentación por sonda coaxial	23
5.	Alimentación por apertura	24
6.	Alimentación de acople por proximidad	26
7.	Alimentación en una esquina para crear polarización circular	28
8.	Polarización circular por señales desfasadas	29
9.	Operación de cruce	36
10.	Operación de inversión	38
11.	Diagrama de flujo de un algoritmo genético	42
12.	Cromosoma real	43
13.	Cromosoma Binario	45
14.	Programa para el diseño de la antena	51

TABLA

I.	Constantes dieléctricas de algunos materiales	65
----	---	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Γ	Coefficiente de Reflexión
θ	Ángulo del Plano E
φ	Ángulo del Plano H
π	Pi
$\hat{\mathbf{k}}$	Vector Unitario
η	Eficiencia
ε	Constante Dieléctrica
λ	Longitud de Onda
ΔL	Diferencia de Longitud

GLOSARIO

Algoritmo	Juego de reglas secuenciales preestablecidas para la resolución de un problema expresado en un lenguaje de programación de alto nivel.
Antena	Dispositivo para la captación o emisión de radiaciones electromagnéticas.
Campo Eléctrico	Región del espacio en que una masa eléctrica pasiva colocada en cualquier punto sufre la acción de una fuerza.
Campo Magnético	Campo de fuerzas creado por cargas eléctricas en movimiento, que se manifiesta por la fuerza que experimenta una carga eléctrica al moverse en su interior.
Ganancia	Cociente entre el valor de una magnitud obtenido a la salida de un sistema y el que poseía a la entrada.
Muestreo	Método estadístico que basa el estudio de un fenómeno complejo en el examen de solo una parte de la totalidad de sus elementos.
Potencia	La magnitud que relaciona el trabajo realizado por una máquina y el tiempo empleado en realizarlo.

Programa

Conjunto de instrucciones secuenciales, correspondientes a un algoritmo escrito en cualquier lenguaje de programación, con las que se puede realizar un trabajo determinado mediante la ejecución de tales instrucciones por la computadora.

Radiación

Se llama así a la emisión de ondas en un medio.

RESUMEN

Las antenas nos sirven para poder comunicar sistemas utilizando el aire como medio de transmisión. Las características generales de cualquier antena son su resistencia de radiación, el patrón de radiación, su directividad y su eficiencia.

Las antenas radían campos electromagnéticos, los cuales a distancias bastante alejadas de la antena se pueden ver como ondas planas.

Una antena nos puede servir para transmitir o para recibir información, porque el mismo patrón que tiene la antena para la transmisión lo tiene para la recepción, a esto se le llama reciprocidad.

Las microantenas de parche son antenas que se construyen sobre un substrato, que tiene una constante dieléctrica específica, y debajo de este substrato tiene que existir un plano de tierra. Existen varios tipos de geometría para la construcción de microantenas de parche, cada una de estas configuraciones tienen sus ventajas y desventajas. Las microantenas de parche se analizan comúnmente con dos modelos los cuales son: el modelo de la cavidad resonante y el modelo de la línea de transmisión.

Las microantenas de parche pueden ser alimentadas de cuatro formas: alimentación en el borde, alimentación por sonda coaxial, alimentación por apertura y alimentación de acople por proximidad.

Los algoritmos genéticos son un procedimiento de búsqueda que se basa en los métodos de selección natural, y las posiciones de muestreo se representan con una estructura que es llamada cromosoma. Los cromosomas son similares a las estructuras del ADN artificial para una

especie particular de muestreo. La solución de un problema se encuentra al crear una población de cromosomas aleatoriamente y luego aplicar operadores como el cruce, mutación, y métodos de selección que nos lleva a los que en la vida se llama la sobrevivencia del mejor.

Se creó un programa el utilizando algoritmos genéticos, el cual nos dará las dimensiones de una antena y la constante dieléctrica del material con el que se construirá la antena, los datos ingresados son el ángulo de radiación en el plano E de la antena y la frecuencia de trabajo. El programa buscare una solución que cumpla con el mayor campo radiado en la dirección dada.

OBJETIVOS

General

Conocer la forma de construcción de una microantena de parche, así como de la implementación de programas con algoritmos genéticos.

Específicos

1. Conocer cuáles son las ventajas y desventajas que puede tener una microantena de parche.
2. Establecer los pasos necesarios para poder realizar el diseño de una microantena de parche.
3. Aplicar los algoritmos genéticos en el diseño de una microantena.

INTRODUCCIÓN

Las antenas y los métodos computacionales hoy en día tienen muchas importancia, ya que ambos son necesarios para la realización de tareas cotidianas, en el siguiente trabajo se trata de explicar como un método computacional puede ser utilizado para realizar el diseño de una micro antena de parche.

En los primeros dos capítulos se explica básicamente lo que es una antena y qué es una microantena de parche, sus características principales, los modelos utilizados para su representación matemática, como se construye, en que forma puede alimentarse y la forma en que puede polarizarse.

En el tercer capítulo se da una explicación sencilla sobre qué es un algoritmo genético, su estructura general y sus características.

En el cuarto capítulo se explica el procedimiento que se sigue para la fabricación de una microantena de parche y cómo se realizó un programa que nos sirve para hallar las dimensiones adecuadas para construir una antena para que radie a un ángulo específico y una frecuencia de trabajo una potencia optima.

1. TEORÍA BÁSICA DE LAS ANTENAS

1.1 Antenas

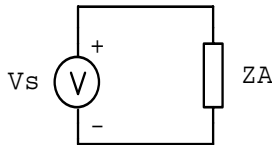
Una antena es un componente de un sistema de transmisión inalámbrica que se utiliza para transmitir o recibir una señal. Una señal se genera en un transmisor y la señal se envía a través de un elemento conductor para conectar el equipo con la antena. Una antena conectada a un transmisor es el dispositivo que radia energía en forma de un campo electromagnético con el objeto de ser enviado a un receptor distante. La antena receptora toma la energía y es a través de esta se induce una señal la cual se utiliza para recuperar la información que esta trasladada.

Una antena es un dispositivo eléctrico, que se construye a base de un buen conductor, y es diseñado para que tenga la forma y el tamaño que se adecuen para poder radiar potencia electromagnética en una manera eficiente. Para que una antena pueda radiar esta tiene que se alimentada por corrientes variantes en el tiempo. La transmisión de información con una antena se realiza a través de los campos electromagnéticos generados con estas. Existen tanto antenas que son utilizadas para transmitir y antenas que son utilizadas para la recepción de la señal generada por una antena transmisora.

En la actualidad los tipos de antenas que existen son muchos y las podemos encontrar en muchos lugares debido a las aplicaciones inalámbricas que la tecnología nos ofrece hoy en día tales como televisión, teléfonos, Internet inalámbrico, etc.

Como cualquier dispositivo eléctrico una antena se puede representar de manera equivalente como se puede ver en la figura 1.

Figura 1. Circuito equivalente de una antena



Las antenas que son utilizadas para transmitir también pueden ser utilizadas para recibir una señal, a esto se le llama reciprocidad.

1.2 Parámetros de las antenas

1.2.1 Impedancia y Eficiencia de una antena

Cuando una antena es utilizada, para transmitir, esta radia energía electromagnética. La impedancia de entrada de una antena, es igual a la razón entre el voltaje y la corriente que se miden en la entrada de esta. También se puede decir que la impedancia de una antena es el equivalente de la resistencia que disiparía la misma cantidad de potencia que la antena radia cuando se aplica la misma corriente entre las terminales de la resistencia equivalente y la antena.

A continuación se realiza un análisis para mostrar la relación que existe entre la impedancia de la antena y su eficiencia.

Si consideramos una fuente a circuito abierto que tiene una amplitud V_F y una impedancia interna $Z_F = R_F + jX_F$, la cual es aplicada a una antena que tiene una impedancia de entrada $Z_A = R_A + jX_A$ donde R_A y X_A son la

resistencia y la reactancia de la antena respectivamente. El voltaje y la corriente que se medirían en las terminales de entrada de la antena serían:

$$V_A = \frac{V_F Z_A}{Z_F + Z_A}$$

$$I_A = \frac{V_F}{Z_F + Z_A}$$

la potencia promedio absorbida por la antena es:

$$P_A = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[V_A I_A^*]$$

$$P_A = \frac{|V_F|^2 R_A}{2|Z_F + Z_A|^2}$$

Del teorema de máxima transferencia de potencia se sabe que si tenemos un circuito equivalente de Thévenin con una impedancia que para nuestro caso sería igual a Z_F , se entrega a la carga la potencia máxima cuando esta que en este caso sería la impedancia de la antena Z_A se hace igual al complejo conjugado de Z_F o dicho de otra forma cuando $R_A = R_F$ y $X_A = -X_F$. De esta manera la potencia transmitida a la antena será:

$$P_F = \frac{|V_F|^2}{8R_F}$$

Cuando no se cumplen las condiciones para la máxima transferencia de potencia la potencia de la antena será solo una fracción de la potencia de la fuente

$$P_A = qP_F$$

Donde q es la eficiencia de reflexión de la antena que podemos expresar de la siguiente manera:

$$q = \frac{4R_A R_F}{|Z_A + Z_F|^2}$$

Cuando las impedancias Z_A y Z_F son puramente reales la eficiencia de reflexión de la antena se puede escribir:

$$q = 1 - |\Gamma|^2$$

Con Γ , el cual es el coeficiente de reflexión dado por:

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_F}{Z_A + Z_F}$$

Idealmente una antena transmisora radia toda la potencia que hay entre sus terminales, pero en la práctica esto no sucede debido a las pérdidas óhmicas y dieléctricas que hay en la antena. La potencia radiada por la antena denotada como P_R , se expresa como una fracción de P_A así:

$$P_R = eP_A$$

Donde e es la eficiencia de la antena. La diferencia entre P_A y P_R debe ser P_D que es la potencia disipada por la antena y lo expresaremos como:

$$P_D = P_A - P_R = (1 - e)P_A$$

Además podemos escribir la resistencia de la antena como:

$$R_A = R_R + R_D$$

Donde R_R es la resistencia de radiación y R_D es la resistencia de pérdidas, ahora escribiremos las potencia de de la antena, de radiación y de pérdidas respectivamente.

$$P_A = \frac{1}{2} R_A |I_A|^2$$

$$P_R = \frac{1}{2} R_R |I_R|^2$$

$$P_D = \frac{1}{2} R_D |I_D|^2$$

De ahí se puede expresar la eficiencia de la antena con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{R_R}{R_A} = \frac{R_R}{R_R + R_D}$$

La eficiencia es una constante que nos relaciona la potencia de entrada a la antena y la de salida por lo regular este es un valor menor que uno. La mayoría de las antenas tienen una eficiencia muy cercana a uno.

1.2.2 Directividad de una antena

Las antenas no radian uniformemente en todas las direcciones. La directividad es una función que relaciona la variación de la intensidad con dirección en el espacio.

Para cuestiones de análisis hay un tipo de antena ideal que radia uniformemente en todas las direcciones, a esta antena se le llama isotrópica u omnidireccional. Como esta antena radia la misma cantidad de potencia en todas las direcciones podemos suponer que la densidad de potencia es la misma en todos los puntos de una esfera con radio r que esta centrada en la antena. Podemos escribir la densidad de la siguiente manera

$$S_i = \frac{P_{rad}}{4\pi r^2}$$

Podemos definir la directividad de una antena como la razón de la densidad de potencia radiada en una dirección dada (θ, ϕ) hacia la densidad de potencia isotrópica y lo expresaremos con la siguiente ecuación:

$$D(\theta, \phi) = \frac{S(\theta, \phi)}{S_i} = \frac{4\pi r^2 S(\theta, \phi)}{P_{rad}}$$

Con esta expresión se puede observar que la directividad de una antena isotrópica es la unidad.

La directividad máxima a la cuál muchas veces solo le llamamos directividad es una medida de la habilidad que tiene una antena para concentrar la potencia radiada en una dirección dada.

1.2.3 Patrón de radiación

El patrón de radiación de una antena es la distribución relativa de la potencia radiada como una función de la dirección en el espacio.

Las vistas más importantes de estas antenas son los patrones del plano-E y plano-H. El patrón del plano-E es una vista del patrón de radiación que se obtiene de una sección conteniendo el máximo valor de el campo radiado y en el cual el campo eléctrico esta en el plano de la vista seccional elegida.

1.3 Campos Electromagnéticos producidos por una antena

Una señal que es generada por un transmisor y para ser transmitida se utiliza una antena a través de la cual se libera la energía de la señal forma de campo electromagnético. Como lo dice la palabra el campo electromagnético tiene dos componentes los cuales son una componente de campo eléctrico y un campo magnético los cuales viajan a través del espacio. El primero es una inducción que se asocia con la energía almacenada, y el segundo es un campo de radiación. Las intensidades de estos campos son grandes en las antenas, y son proporcionales a la cantidad de energía que es transmitida a la antena. Solo el campo radiado va más allá de una corta distancia de la antena. El campo electromagnético es el por el cual se puede transmitir y recibir energía electromagnética a través del espacio. El campo electromagnético en el que se transmite la señal tiene la propiedad de que el campo eléctrico y el campo magnético del cual se compone estos viajan en ángulos rectos.

Los campos electromagnéticos que son radiados por una antena en un punto muy lejano pueden ser descritos por la ecuación:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{e^{-jkr}}{r} \left[FF_{\phi}(\hat{\mathbf{k}})\hat{\phi} + FF_{\theta}(\hat{\mathbf{k}})\hat{\theta} \right]$$

La ecuación esta escrita en coordenadas cilíndricas. En esta ecuación r es la distancia que hay de la antena al punto donde se esta midiendo la intensidad del campo, las constante k representa al numero de onda en el espacio libre y $FF_\phi(\hat{\mathbf{k}})$ y $FF_\theta(\hat{\mathbf{k}})$ son las componentes del campo en un punto muy lejano, y estos están en función del vector $\hat{\mathbf{k}}$.

El vector $\hat{\mathbf{k}}$ es un vector unitario que relaciona las coordenadas cilíndricas con las cartesianas:

$$\hat{\mathbf{k}} = \sin \phi \cos \theta \hat{\mathbf{x}} + \cos \phi \sin \theta \hat{\mathbf{y}} + \sin \theta \hat{\mathbf{z}}$$

El campo eléctrico como se puede ver a simple vista es inversamente proporcional a la distancia r , lo que claramente explica que mientras más alejado se esta de la antena la intensidad del campo disminuye.

Para que la ecuación del campo eléctrico cumpla se deben de cumplir algunas condiciones que son: cuando se esta a una distancia r de la antena, esta distancia debe ser mucho mayor que el radio que se crearía al medir del centro de la antena a uno de sus extremos, además la distancia r también debe ser mucho mayor que la longitud de onda de la señal que esta siendo transmitida.

El campo magnético medido en un punto muy alejado se puede expresar como:

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\eta} [\hat{\mathbf{r}} \times \mathbf{E}(\mathbf{r})]$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\eta} \frac{e^{-jkr}}{r} [FF_\phi(\hat{\mathbf{k}})\hat{\boldsymbol{\phi}} + FF_\theta(\hat{\mathbf{k}})\hat{\boldsymbol{\theta}}]$$

Las condiciones respecto a la distancia del punto medido son las mismas que en el caso del campo eléctrico, donde la constante η es la impedancia de la onda en el espacio libre.

1.4 Antenas Receptoras

El trabajo que realiza una antena receptora es de transformar la energía que transporta una onda electromagnética. Cuando la radiación electromagnética producida por una antena es recibida por otra antena el resultado entre las terminales de la antena es una señal de voltaje a la salida de la antena que ha recibido. Luego de ser recibida la señal en la antena esta se debe amplificada ya que muchas veces la señal que se recibe es muy pequeña y debe realizarse un tratamiento, para evitar ruido en la señal que se quiere obtener.

Podemos ver las terminales de una antena como un generador de voltaje. En el dominio de la frecuencia y en la notación compleja, esta se comporta como un generador de fuerza electromotriz y de impedancia interna, debido a esto se puede describir por medio de su equivalente de Thevenin.

Las antenas receptoras siempre están muy lejos de la antena transmisora. Por tanto la corriente inducida en la antena receptora es mucho más pequeña que en la antena de transmisión. El campo generado en la antena transmisora por la corriente generada en la antena receptora es insignificante.

La impedancia de la transferencia, tiene exactamente el mismo significado que en los circuitos acoplados mediante el campo eléctrico inducido. En este caso también él es quien induce la fuerza electromotriz y la corriente en la antena receptora; la única diferencia consiste en que ahora es

preciso tener en cuenta la velocidad finita de la propagación de las ondas electromagnéticas

El patrón de recepción que tiene una antena receptora es el mismo que cuando esta antena radia cuando la estamos utilizando como antena transmisora.

Podemos relacionar el área efectiva de la antena que con su ganancia con la siguiente ecuación:

$$A_e = \frac{\lambda_0^2}{4\pi} G$$

Esta ecuación puede ser aplicada a todos los tipos de antenas, aun a las antenas de dipolo pequeñas, para las cuales no puede considerarse un área que pueda ser relacionada con A_e .

2. MICROANTENAS DE PARCHE

Las microantenas de parche son un tipo de antena que se construye en un circuito impreso, estas antenas hoy en la actualidad son muy importantes ya que son útiles para todos aquellos sistemas inalámbricos que requieren antenas que ocupen poco espacio y que operen de manera eficiente.

Estas antenas son diseñadas a partir de líneas de transmisión o resonadores sobre substrato dieléctrico. La forma en que deben estar construidas las antenas es la siguiente: El parche metálico el cual está colocado sobre un dieléctrico el cual no debe tener pérdidas, estos dos elementos anteriores deben estar colocados sobre un chasis metálico al cual también se le llama plano de masa. Las dimensiones de el parche se elige de manera que el parche disipe la potencia en forma de radiación, este parche debe tener dimensiones comparables a la longitud de onda $\lambda/2$, el grosor del dieléctrico debe estar entre 0.003λ a 0.05λ además la constante del dieléctrico ϵ_r debe estar en el rango 2.2 a 12. El papel que desempeña el grosor del dieléctrico en el funcionamiento de la antena es muy importante. Las frecuencias típicas con las que se trabaja con estas antenas son de 400 MHz a 40 GHz.

Las ventajas que tienen las microantenas de parche son:

- Pequeño tamaño y poco peso
- Bajo perfil
- Fabricación sencilla y barata
- Robustas
- Combinables con circuitos integrados de microondas
- Versátiles en la elección de la frecuencia de resonancia o la polarización.

- Ajustable a superficies no planas
- Robustez mecánica
- Sencillez de la realización de arreglos
- Adecuadas para el diseño CAD

Los inconvenientes que presentan este tipo de antenas son los siguientes:

- Estructura resonante con pequeño ancho de banda
- Limitaciones de potencia
- Baja eficiencia
- Alto Q
- Pobre pureza de polarización
- Radiación espuria de las líneas
- Perdidas en el sustrato

A través de los años se han propuesto muchas formas para la construcción de las antenas de parche, a continuación se describen algunos de ellos y sus características y desventajas:

- Los parches cuadrados y rectangulares, que probablemente son los que más se utilizan. Los parches rectangulares tienen el rango más grande de impedancias, simplemente porque estos son mayores que las otras geometrías existentes.
- Los parches circulares y elípticos que seguramente son los que le siguen en número de uso a los de geometría rectangular. Lo que tienen este tipo de geometría de parches es que resultan ligeramente menores que su contraparte rectangular y por eso mismo es que tienen su ancho de banda y ganancia son un poco menores, que los parches de geometría cuadrada. Una de las primeras razones por las

cuales este tipo de geometría fue arduamente investigas es debido a la inherente simetría que esta tiene.

- Los parches de geometría triangular y de sectores circulares resultan menores que las dos geometrías anteriores por lo tanto estas tienen menor ancho de banda y ganancia que las anteriores. Los parches triangulares tienden a generar mayores niveles de polarización cruzada debido a que estas no tienen mucha simetría. Parches con polarización Dual se pueden realizar utilizando este tipo de geometría; sin embargo el ancho de banda es típicamente muy estrecho.
- Las geometrías de anillo son las geometrías que tienen el tamaño de conductor más pequeño, esto a costa de un ancho de banda y ganancia menor que todas las geometrías anteriores. Todos los asuntos que se relacionan con la simetría del parche circular también aplica en estos casos.

2.1 La microantena de parche rectangular

La microantena de parche rectangular se diseña para que pueda operar cerca a una frecuencia de resonancia. Esto implica que la parte imaginaria de la impedancia compleja sea igual a cero. Algunos modelos son desarrollados para determinar la frecuencia de resonancia, tal como el modelo de cavidades.

El efecto de borde de los campos actúa como una longitud adicional del parche. La longitud del parche de media onda es ligeramente más pequeña que la longitud de media onda con tal de compensar la longitud introducida por el efecto de borde.

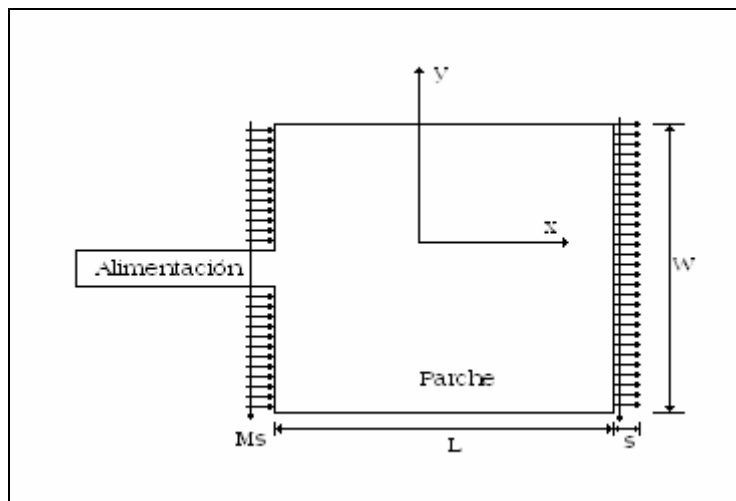
La longitud que es introducida por el efecto de bordes dependen del substrato con el que se este trabajando, y la longitud y grueso de este. Una

formula aproximada para la longitud de resonancia se muestra en la siguiente ecuación donde λ es la longitud de onda en el vacío, λ_d es la longitud de onda en el dieléctrico y ϵ_r es la constante del dieléctrico

$$L \approx 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Los campos de borde pueden ser representados por una corriente magnética superficial equivalente. Ambos tienen la misma dirección y están separados por una longitud de media onda. Los campos totales de borde en los bordes están desfasados 180° y son iguales en magnitud. Cuando se ve desde arriba, las componentes x de los campos de borde están en fase, dando como resultado un patrón de lado ancho. La radiación pico esta en la dirección +z. Lo anterior se muestra en la figura 2.

Figura 2. Una microantena de parche y sus campos



El patrón de un una microantena de parche rectangular es un poco más ancho en una dirección máxima normal a el plano de la antena. La evaluación del patrón de un parche rectangular es fácilmente realizada primero representado los campos de efecto de borde usando $M_s = 2E_a \times \hat{n}$,

en donde E_a es el campo de los bordes. El factor 2 viene de la imagen de la corriente magnética en plano de tierra eléctrico si el grosor del dieléctrico es pequeño. Las componentes de campo lejano se dan en las siguientes ecuaciones.

$$E_\theta = E_o \cos \phi \cdot f(\theta, \phi)$$

$$E_\phi = -E_o \cos \theta \sin \phi \cdot f(\theta, \phi)$$

$$f(\theta, \phi) = \frac{\sin \left[\frac{\beta W}{2} \sin \theta \sin \phi \right]}{\frac{\beta W}{2} \sin \theta \sin \phi} \cos \left(\frac{\beta L}{2} \sin \theta \cos \phi \right)$$

En estas ecuaciones, β es la constante de fase en el vacío. En la tercer ecuación El primer factor es el factor de patrón para un línea uniforme con ancho W en la dirección de Y . El segundo factor de arreglo para un elemento de dos arreglos a lo largo del eje x correspondiendo a los borde laterales.

Típicamente la impedancia de una microantena de parche rectangular varía desde 100 a 400Ω . En la frecuencia de resonancia, la impedancia aproximada del parche se muestra en la ecuación siguiente

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2$$

Haciendo el parche más ancho, la impedancia de entrada puede ser reducida. Para un parche cuadrado con $L = W$ el factor en la ecuación anterior se vuelve 1, y la impedancia de entrada se vuelve un función de la constante del dieléctrico. La ecuación anterior se utiliza cuando la antena se alimenta por el borde.

2.2 Métodos de análisis

Los métodos de análisis mas populares para el diseño de microantenas de parche son el modelo de línea de transmisión, el modelo de cavidad, y el modelo de onda completa. El modelo de línea de transmisión es el más simple y da un buen modelo físico, pero no es muy exacto. El modelo de la cavidad es más exacto y da un buen modelo físico pero es más complejo. El modelo de onda completa es muy exacto, y puede tratar con elementos singulares, arreglos finitos e infinitos, elementos apilados, con acoples y formas arbitrarias, solo que este modelo no da un buen modelo físico y es mucho más complejo.

2.2.1 Modelo de Línea de transmisión

El modelo de línea de transmisión representa a la microantena de parche por dos ranuras de ancho W y altura h . Separado por una línea de transmisión de largo L . el parche es esencialmente una línea no homogénea de dos dieléctricos, típicamente el sustrato y el aire. La mayoría de líneas reside en el sustrato y algunas de ellas en el aire. Esta línea de transmisión no puede soportar el modo puro de transmisión de ondas electro-magnéticas transversales, debido a que las velocidades de fase deberían ser diferentes en el aire y en el sustrato. Así el modo de transmisión debe ser el modo cuasi-electromagnético transversal. Entonces se debe obtener una constante dieléctrica efectiva (ϵ_{reff}) con tal de tomar en cuenta el campo de efecto de borde y la propagación de la onda en la línea. El valor de ϵ_{reff} es ligeramente menor que porque los campos de borde no están confinados en el sustrato y están dispersos en el aire. La expresión para la constante dieléctrica efectiva es la siguiente:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-1/2}$$

Con tal de operar en el modo TM_{10} , la longitud del parche debe ser ligeramente, $\lambda/2$ donde λ es la longitud de onda en el dieléctrico y es igual a $\lambda_0/\sqrt{\epsilon_{reff}}$. El modo TM_{10} implica que el campo varía $\lambda/2$ ciclo a través de la longitud. No hay variaciones a lo largo del ancho del parche. a lo largo del ancho del parche el voltaje es máximo y la corriente mínima debido a terminaciones abiertas. Los campos en los bordes pueden ser resueltos en componentes normales y tangenciales con respecto al plano de tierra.

Las componentes normales del campo eléctrico en los dos bordes a lo largo del ancho del parche están en direcciones opuestas y por lo tanto fuera de fase cancelándose entre ellos. Las componentes tangenciales que están en fase, se combinan para darle campo máximo radiado normal a la superficie de la estructura. Los efectos de campo en el borde pueden representarse por medio de dos ranuras lo que hará parecer que la estructura tendrá una longitud mayor. Las dimensiones del parche en su longitud en se extenderá una distancia ΔL en cada borde, y se obtiene utilizando la siguiente expresión.

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

Ahora tenemos que el parche tendrá una longitud efectiva L_{eff} la que se expresa de la siguiente manera

$$L_{eff} = L + 2\Delta L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

Para microantenas de parche rectangulares, la frecuencia de resonancia para cualquier modo TM_{mn} se da en la siguiente ecuación

$$f_0 = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} \left[\left(\frac{m}{L} \right)^2 + \left(\frac{n}{W} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Donde m y n son los modos en L y W respectivamente.

Para una radiación eficiente el ancho de la antena debe resolverse con la siguiente expresión

$$W = \frac{c}{2f \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$

2.2.2 Modelo de la cavidad

Las microantenas de parche se comportan como una cavidad resonante. En el interior de la cavidad se producirán ondas entre las paredes eléctricas y magnéticas. Se analizan los campos en el interior de la cavidad resolviendo la ecuación de onda, sujeta a las condiciones de contorno de los campos tangenciales.

La ecuación de onda es:

$$\nabla^2 A_x + k^2 A_x = 0$$

Y la solución correspondiente al resolverla es

$$A_x = A_{0np} \cos\left(\frac{n\pi}{L} y'\right) \cos\left(\frac{p\pi}{W} z'\right)$$

La frecuencia de resonancia depende del modo

$$f_{0np} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}} \sqrt{\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2}$$

La antena se comporta de manera similar a un circuito resonante con pérdidas. A la frecuencia de resonancia la potencia se consume en la resistencia de radiación.

El modo dominante coincide con la frecuencia de resonancia más baja, que aparece cuando la longitud L equivale a media longitud de onda en el dieléctrico.

2.3 Técnicas de alimentación

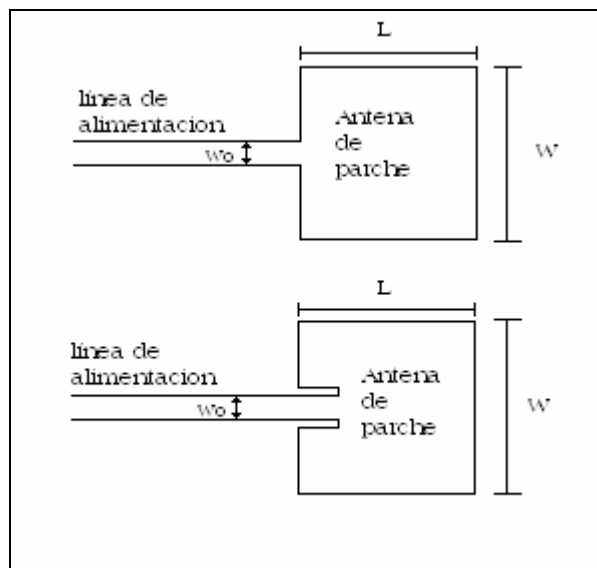
Hay cuatro técnicas de alimentación para las microantenas de parche las cuales son; alimentación en el borde, alimentación por sonda coaxial, unión de apertura y acople por proximidad. Estas dos técnicas se pueden agrupar como alimentación de manera directa e indirecta, las técnicas de alimentación por en el borde y alimentación por sonda coaxial es alimentación de manera directa, y la alimentación por unión de apertura y acople por proximidad son técnicas de alimentación de manera indirecta. Hay algunas técnicas además de las ya mencionadas que son más recientes que las anteriores y una de esta es la sonda en forma de L , pero podemos

decir que esta es una forma híbrida de alimentación por sonda y acople por proximidad.

2.3.1 Alimentación en el borde

La alimentación en el borde es uno de los primeros métodos que fueron utilizados para alimentar una antena de parche, esta alimentación también es conocida como alimentación por línea microstrip. En la figura 3 se muestra de manera gráfica la alimentación de este tipo. Aquí una línea con un ancho W_a entra en contacto directo con un conductor rectangular de lado L y de ancho W . Típicamente la línea de alimentación entra en contacto con uno de los lados.

Figura 3. Alimentación en el borde



La alimentación en el borde tiene muchas ventajas sobre las otras técnicas. Una de las principales características de este tipo de tecnología es la facilidad de fabricación, porque la línea de alimentación y los parches pueden ser unidos en uno de los bordes de la antena. Es a causa de esto que en muchos de los arreglos que utilizan microantenas de parche es

utilizada esta técnica de alimentación. Otra de las ventajas es la facilidad con la que se puede controlar la impedancia de entrada. Simplemente al insertando la línea de alimentación la impedancia de resonancia puede ser ajustada de 150 a 250 ohmios cuando el punto de contacto de la línea de alimentación y el borde de el parche, y estos valores decrecen cuando el punto de contacto se acerca más al centro.

Los parches alimentados en su forma más primitiva son relativamente muy fáciles de modelar, si un material eléctrico muy delgado es utilizado. Se puede utilizar un modelo de líneas de transmisión para estimar los valores para obtener estimaciones del comportamiento de la impedancia de entrada de nuestro sistema. Para los casos cuando materiales gruesos son utilizados, el modelado del funcionamiento no es tan sencillo realizar el modelo. Esto se debe a la distribución de corrientes de discontinuidades asociada con el punto de contacto entre la línea de alimentación y la antena de parche.

Los parches alimentados en el borde tienen características de ganancia y ancho de banda que están relacionados con el tipo de sustrato que se utiliza y debido a esto este tipo de antenas tienen un ancho de banda estrecho. Si un material con una constante dieléctrica alta es utilizado, la eficiencia de la onda superficial es baja. Esta forma de alimentación sufre de radiación espuria muy alta. Esto es debido a que la red de alimentación no esta separada de la antena y por lo tanto el material que es apropiado para la antena causa que la red de alimentación radie.

2.3.2 Alimentación por sonda coaxial

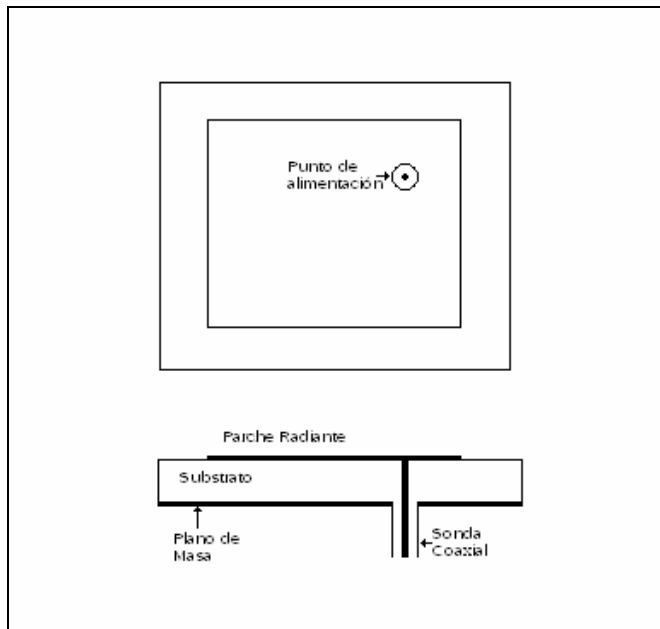
La alimentación por sonda coaxial es otra de las formas originales que se utilizaba para la alimentación de las microantenas de parche y esta surgió a mediados de los setentas. En la figura 4 se muestra una sonda de radio r_0 .

que se extiende en el plano de masa y se conecta al parche conductor, y regularmente es soldada a este. La terminal de la sonda que se conecta al parche por lo regular es el conductor interno de la sonda coaxial. La posición en la que se conecta la terminal de la sonda en el parche de manera similar a la alimentación en el borde hace que la impedancia de entrada varíe, y esto puede ser utilizado para controlar la impedancia a un valor deseado. A causa del contacto directo entre la línea de alimentación y el parche, se dice que es alimentado en forma directa.

La alimentación por sonda tiene muchas ventajas, la primera es que la red de alimentación donde podrían estar localizados los desplazadores de fase y los filtros están aislados de la antena por medio del plano de masa. La segunda ventaja, es que de todos los métodos de alimentación que pueden ser utilizados, la alimentación por sonda es la más eficiente debido a que la línea de alimentación esta en contacto directo con la antena y la mayoría de la red de alimentación se encuentra aislada de el parche, minimizando la radiación espuria.

Los parches alimentados por sonda coaxial y por alimentación en el borde tienen mucho en común, en ambos tipos se tiene un ancho de banda pequeño y en este tipo de antenas es algo difícil hacer un análisis preciso. La sonda utilizada para alimentar la antena puede generar grandes campos de polarización cruzada, si los substratos utilizados son gruesos. Esto es porque la antena no tiene una geometría de capa simple, y debido a que hay que buscar la ubicación para el punto de alimentación en el que la sonda se colocar el diseño se hace más tedioso.

Figura 4. Alimentación por sonda coaxial



2.3.3 Alimentación por acople de apertura

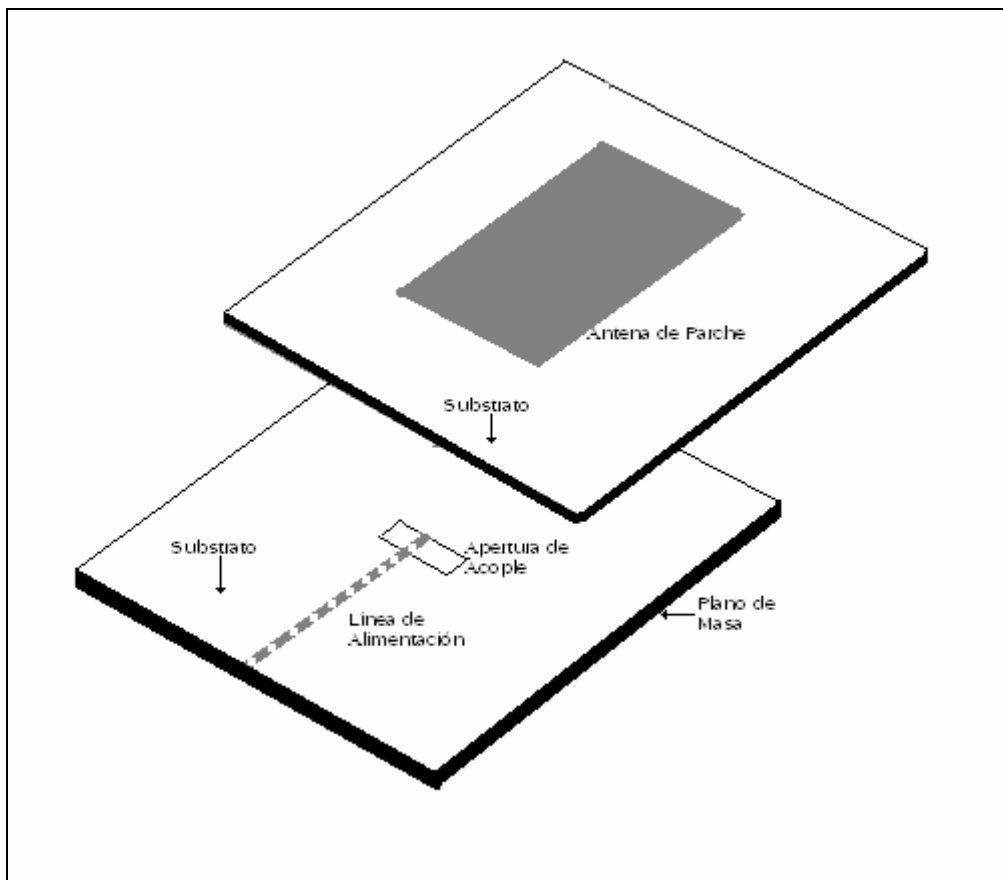
A causa de todas las desventajas que nos da la alimentación directa, es decir, las pequeñas inherencias del ancho de banda y detrimentos de los efectos de onda superficial, surgieron las técnicas de alimentación indirectas. En la figura 5 se muestra como son utilizadas capas separadas para la red de alimentación y la antena.

Las capas están separadas por un plano de masa y acoplados entre la alimentación, en este caso una línea microstrip y la antena es alcanzada a través de una pequeña apertura en el plano de masa.

Esta configuración tiene sus ventajas sobre las configuraciones de alimentación directa. A diferencia de los parches que tienen alimentación por borde, se puede optimizar la alimentación y el substrato utilizado en la antena de manera independiente. Al contrario de la alimentación por sonda coaxial, no se requieren interconexiones verticales, simplificando la

fabricación y adhiriendo a la naturaleza de la tecnología de los circuitos impresos. Sin embargo la alineación y procesos de fabricación multiniveles son requeridos. Una antena con múltiples capas puede crear otros problemas. La presencia de pequeños espacios entre dieléctricos puede hacer que la impedancia de entrada varíe de manera significativa en la antena, especialmente a frecuencias altas donde siempre surgen problemas que no están a frecuencias bajas, donde ya se toman deben tomar capacitancias por ejemplo. También los materiales que son utilizados para unir las distintas capas de las antenas deben ser tomados en cuenta ya que estos juegan un papel muy importante en el funcionamiento de la antena.

Figura 5. Alimentación por apertura



Los parches acoplados por apertura tienen más parámetros de diseño que los parches que se alimentan en el borde y por lo tanto tienen más grados de libertad para el diseñador. A pesar de su apariencia compleja, las antenas con alimentación por acople de apertura son fáciles de modelar de manera precisa aun usando un análisis de onda completa. La razón es que al contrario de los parches alimentados de manera directa, aquí no hay discontinuidades abruptas de corrientes.

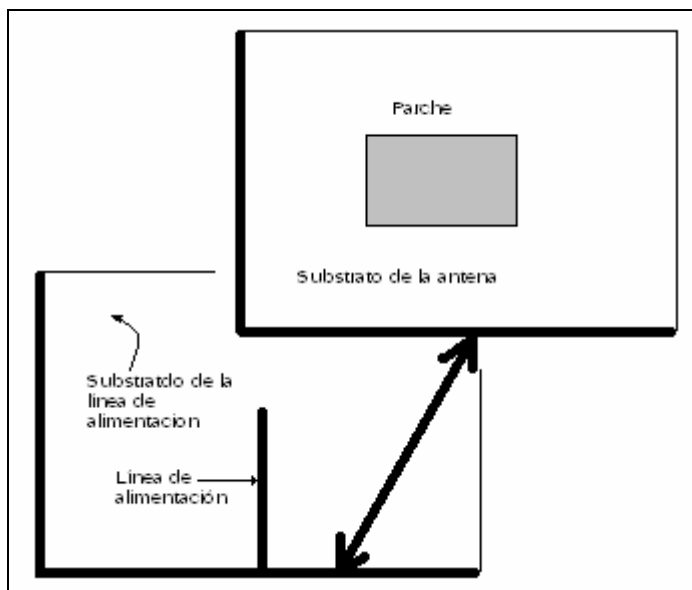
2.3.4 Alimentación de acople por proximidad

La alimentación de acople por proximidad es alimentación de tipo indirecto y surgió para solventar todas aquellas desventajas que nos daban las alimentaciones anteriores, este tipo de alimentación también es conocida como alimentación por acople electromagnético. Esta alimentación consiste en la línea de alimentación la cual esta colocada sobre un substrato que tiene un plano de masa, encima de esta capa se otra capa de dieléctrico en la cual esta colocada la microantena de parche. Las dos capas de dieléctrico se colocan una sobre otra sin nada que las separe. La potencia suministrada por la red de alimentación llega a la antena por medio de acople electromagnético, al contrario de cuando se realiza la conexión por contacto directo.

Una de las principales características de la alimentación de acople por proximidad es que el tipo de acople que se realiza es de naturaleza capacitiva. Esto al contrario de los métodos de alimentación por contacto directo, los cuales son predominantemente inductivos. El ancho de banda de un parche con alimentación de acople por proximidad es inherentemente más grande que los parches alimentados por contacto directo, debido a que el acople inductivo que estos tienen limitan el grueso del material que se esta utilizando para la construcción de la antena. En la figura 6 se muestra la implementación de la alimentación de acople por proximidad.

La capa de sustrato que tiene la línea de alimentación y la que contiene la antena, porque la potencia debe de acoplarse eficientemente. Las antenas que se alimentan por acople por proximidad pueden tener una alta radiación espuria, aunque esta no será tan grande como en el caso de cuando se utiliza la alimentación en el borde. Se debe tomar en cuenta que en este tipo de alimentación las capas de material utilizado para la construcción de la antena deben de estar unidas de manera correcta por que al igual que en el caso de alimentación por acople de apertura, si quedan pequeños espacios entre los sustratos, se podría afectar el funcionamiento de la antena de manera considerable.

Figura 6. Alimentación de acople por proximidad



2.4 Reducción del tamaño del conductor

En muchas ocasiones es necesario que la antena que se desea construir ocupe un espacio pequeño, es por eso, que se hace necesaria buscar la manera en que se pueda minimizar el tamaño de la antena sin que

esto signifique sacrificar, algunas propiedades importantes como lo pueden ser el ancho de banda por ejemplo.

A continuación se menciona alguna de las maneras en que el tamaño del conductor se puede reducir.

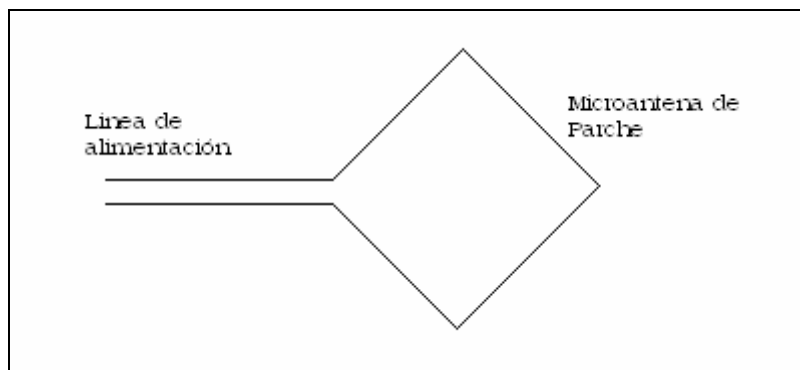
- La antena de un cuarto de onda es una de las técnicas más utilizadas para reducir el tamaño del parche que constituye la antena. En este caso uno de los bordes que radian se conectan al plano de masa. Haciendo esto el plano de masa actúa como que fuera un espejo y de esta manera se puede reducir a la mitad el tamaño del material conductor de la antena. Sin embargo existen dos inconvenientes al utilizar esta técnica. El primero es que la reducción del tamaño del parche no puede hacerse muy grande. Y la segunda es que el ancho de banda de la impedancia se reduce de manera considerable.
- Cuando se construye una antena sobre un material que tiene una constante dieléctrica que es muy grande, el tamaño del material conductor puede ser reducido. Solo que utilizar esta forma de reducción tiene el inconveniente que el ancho de banda de la antena se hace muy estrecho o lo que es lo mismo el factor de calidad de esta se hace muy grande. Esto afecta a la hora de la construcción de la antena debido a que si el ancho de banda es muy reducido, esta es muy susceptible a que pueda ocurrir un pequeño error, entonces el funcionamiento de la antena no será el que se está buscando.
- Cargando resistivamente una antena pueda hacer que se reduzca el tamaño del conductor, sin que se disminuya el ancho de banda de impedancia de la microantena de parche. La desventaja que se tiene al utilizar esta técnica de reducción es que se pierde eficiencia de radiación en la antena, ya que mucha de la potencia se pierde en el resistor.

- Otra manera de reducir el tamaño de la antena es poner en corto la antena utilizando un pin. Esta forma se tiene la ventaja que la reducción de tamaño de la antena puede ser muy grande, Esta técnica es muy utilizada cuando se utiliza alimentación por medio de sonda coaxial. Al utilizar esta técnica de reducción siempre existe el problema de lograr el ancho deseado para el funcionamiento de la antena.

2.5 Polarización Circular

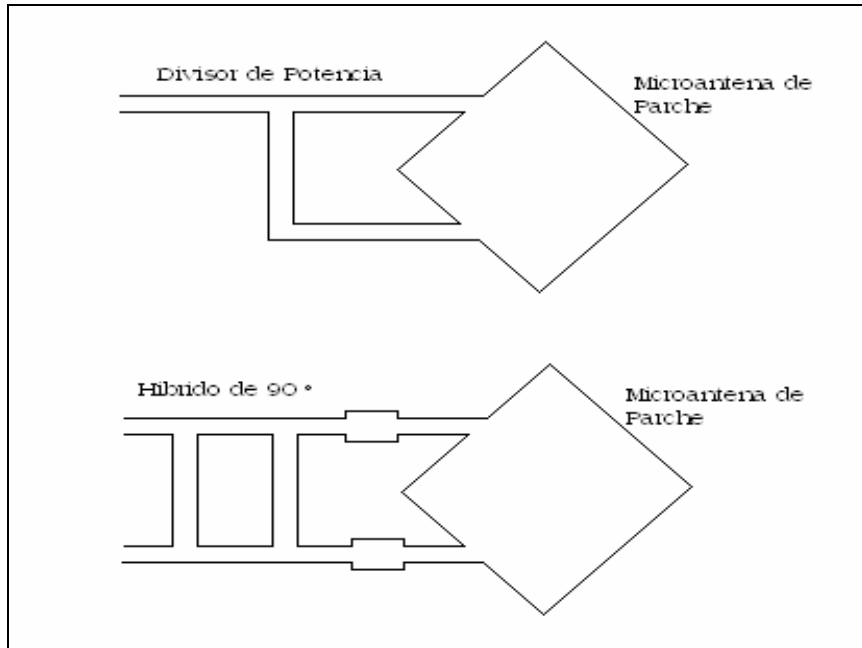
Para crear polarización circular en una antena de parche no se necesita circuitería externa, debido a que cuando se alimenta una antena con dos señales desfasadas en un ángulo de 90° . Si la antena es alimentada en una de sus esquinas se puede lograr que se creen dos modos resonantes que estén en ángulo recto. En la figura 7 se ilustra una microantena con alimentación en una de sus esquinas para que tenga polarización circular.

Figura 7. Alimentación en una esquina para crear polarización circular



Otra manera de crear la polarización circular es alimentar a la antena utilizando dos líneas de alimentación las cuales llevaran las señales que tienen un desfase de 90° , esto se muestra en la figura 8.

Figura 8. Polarización circular por señales desfasadas



3. ALGORITMOS GENÉTICOS

Basados en los pensamientos Darwinistas, se dice que la vida en este mundo en toda la extensa diversidad de formas que hay, a evolucionado por selección natural y que por procesos que controlados por la sobrevivencia de los mejores en las especies.

Debido a esto nos podemos hacer la pregunta cuales son los métodos que la naturaleza utiliza para realizar la selección, y si podemos utilizar métodos similares a los que utiliza la naturaleza para crear sistemas óptimos.

Debido a todas estas inquietudes surgieron los algoritmos genéticos que son algoritmos que nos ayudan a mejorar un sistema basado en los mecanismos de selección natural. Los primeros ejemplos de lo que hoy puede ser llamado algoritmo genético aparecieron entre los años 1950 y 1960. En los años 70s John Holland en la Universidad de Michigan estados Unidos desarrollo los algoritmos Genéticos y estos luego fueron popularizado por Goldberg. La primera publicación del tema fue realizado por Holland en el año de 1975, el cual tenía el titulo "Adaptación en sistemas naturales y artificiales".

Estos algoritmos combinan las nociones de supervivencia del más apto con un intercambio estructurado y aleatorio de características entre individuos de una población de posibles soluciones, conformando un algoritmo de búsqueda que puede aplicarse para resolver problemas de optimización en diversos campos [Goldberg, 1989].

En otras palabras podemos decir que los algoritmos genéticos son un procedimiento de búsqueda que iterativamente nos conduce a una población que ha sido generado de manera aleatoria y que nos da como resultado la solución optima.

3.1 Ventajas de los algoritmos Genéticos

- Se pueden trabajar de manera paralela.
- Se desenvuelven bien en problemas que tienen un gran paisaje adaptivo complejo.
- Si es implementado de manera adecuada, nos puede conducir a la solución de manera rápida y eficiente relativamente.
- Trabaja de manera ciega, ya que no requiere más información que la del valor de cada cromosoma para la función objetivo.
- Puede optimizar sistemas muy complicados sin la intervención humana.
-

3.2 Desventaja de los algoritmos Genéticos

- El planteamiento del problema.
- Convergencia Prematura.

3.3 Componentes de un algoritmo genético

Debido a que los algoritmos genéticos se basan en la manera en la que la naturaleza realiza la selección del organismo que mejor se adapte, todos los componentes de un algoritmo genético toman nombres que están relacionados con la evolución natural.

3.3.1 Cromosomas

Se le llama así debido que en un sistema biológico natural, estos son todos los que contienen la información, en los algoritmos estos están compuestos por varios genes.

3.3.2 Genes

Se llama así a los componentes individuales de un cromosoma, estos son los que contienen la información de cada componente en un organismo en un sistema biológico natural, en los algoritmos genéticos las secuencias están compuestas de caracteres, que toman diferentes valores y se pueden colocar en cualquier posición de la secuencia, en el diseño de antenas se puede considerar un gene como un parámetro de la antena tal como el ancho de una capa de substrato, o la longitud de la antena. etc.

3.3.3 Alelos

Estos son todos los posibles valores que puede tomar un gene, por ejemplo para un cromosoma binario los genes son 0 o 1, entonces diríamos que los alelos son 1 y 0.

3.3.4 Genotipo

Se llama genotipo a la codificación numérica que se le da a un gen.

3.3.5 Fenotipo

Este es el nombre que toma, el organismo cuando entra en interacción con el medio ambiente en los sistemas biológicos naturales. En los algoritmos genéticos las estructuras se codifican para formar un conjunto de parámetros o punto del espacio solución.

3.3.6 Locus

Es la posición física en la que se encuentra un gene en un cromosoma, por ejemplo si un cromosoma tiene 24 genes un locus será la posición 10 del mismo cromosoma.

3.3.7 Función de Ajuste

La función de ajuste es una medida de cómo el individuo que es candidato resuelve el problema.

3.4 Operadores Genéticos

Los operadores genéticos no proporcionan un método para mezclar genes de cromosomas padres distintos para formar la próxima generación de cromosomas, entre estos tenemos cruce, mutación inversión etc.

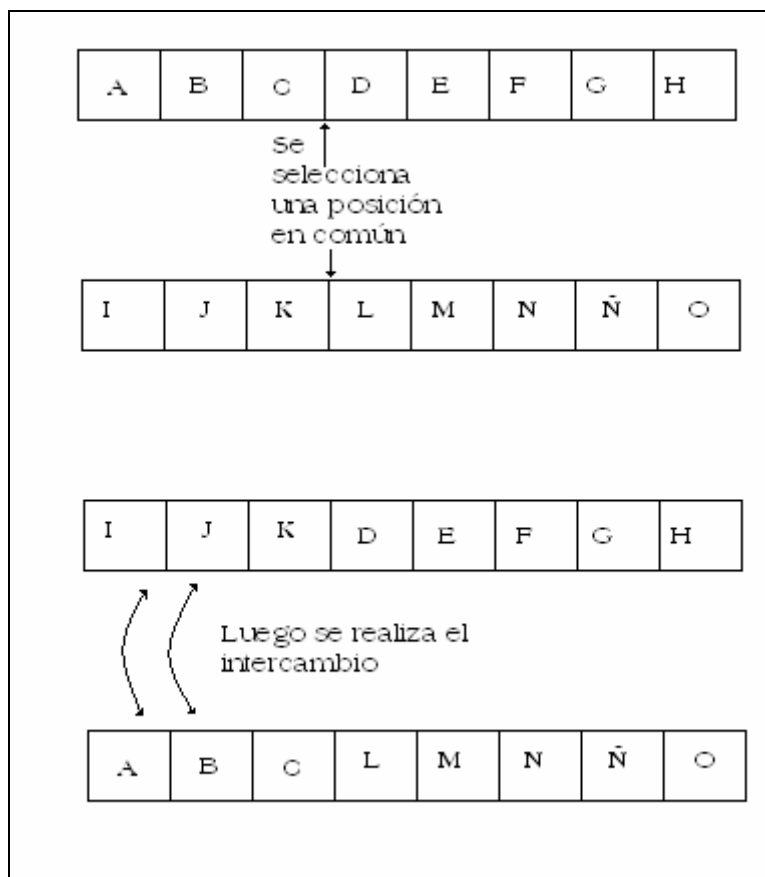
3.4.1 Operador Cruce

El operador cruce es un operador que permite la creación de nuevos miembros en la población, esta operación se realiza entre dos individuos. La manera básica de realizarlo es que se selecciona una posición que será

común a ambos cromosomas luego de esto se dividen en dos los cromosomas y los datos son intercambiados como se muestra en la figura 9.

Cuando se quiere que el proceso sea aun más aleatorio se pueden seleccionar las posiciones de intercambio seleccionando al azar la posición en la que deberá realizarse el intercambio. En la figura 9 se ilustra la operación de cruce.

Figura 9. Operación de cruce



3.4.2 Operador mutación

El operador mutación cambia los valores de cada uno de los genes, creando los nuevos valores que tendrán estos aleatoriamente. La mutación por lo general se aplica después de que se han aplicado todos los operadores.

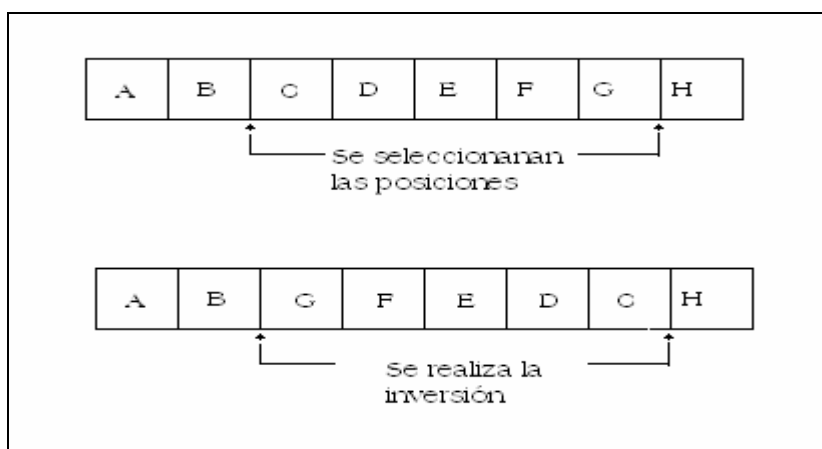
El método más simple de mutar un gene es generar un valor al azar que se encuentre en el rango de valores permitidos para esta variable. Un método un poco más complicado es tomar un número aleatorio de una distribución gaussiana o uniforme centrada en cero, con una desviación estándar de 10% del rango permitido del parámetro. Este número entonces se suma al parámetro original con tal de obtener un nuevo valor para la variable. Si este valor cae fuera del rango, se rechaza y se vuelve aplicar otra vez lo anterior, si no se cumple entonces se da un valor diferente que caiga siempre dentro de los límites.

3.4.3 Operador inversión

El operador inversión simplemente cambia de orden de un rango de genes. Lo primero que debe realizarse es seleccionar las posiciones entre las cuales se realizara la operación, luego se debe de cambiar el orden de las posiciones, por ejemplo si se seleccionan 5 elementos entonces el primer elemento tomara la 5ta posición y así sucesivamente hasta que la 5ta. Posición tomara la primera. Si este proceso quiere realizarse de manera más

aleatoria, la selección de las posiciones con las que se trabajar deberá realizarse aleatoriamente, esto puede observarse en la figura 10.

Figura 10. Operación de inversión



3.5 Métodos de Selección

Los métodos de selección tienen como propósito buscar candidatos que cuando sean mezclados nos den una población con individuos mejorados, los métodos más comunes son elitista, ruleta y torneo.

3.5.1 Selección Elitista

La selección elitista se realiza después de que se han aplicado los operadores genéticos, para la creación de nuevos individuos, entonces el individuo que nos da el mejor resultado al ser evaluado se mantendrá intacto.

3.5.2 Selección por ruleta

En este método de selección se debe evaluar los miembros de la población, luego se suman todos los resultados (S) y se genera un número aleatorio que va desde 0 hasta S, luego se toma el primer individuo que cuyo resultado al ser evaluado con la función de ajuste sumado al resultado de la evaluación del miembro precedente es igual o mayor que m.

3.5.3 Selección por torneo

En la selección por torneo se toman dos individuos de la población actual, entonces ambos se evalúan con la función de ajuste y se tomara el que nos de un mejor resultado para la evaluación. En una población con N individuos para un algoritmo genético, deberán realizarse $2N$ torneos.

3.6 Factores a tomar en cuenta en la generación de un algoritmo genético

- Debemos buscar la representación adecuada para el problema que deseamos resolver. Deben buscarse como se harán las representaciones de los genotipos, la manera como serán evaluados y por ultimo los operadores genéticos a utilizar.
- Dependiendo si trabajaremos el algoritmo genético de forma real o con codificación binaria debemos utilizar la manera más adecuada para inicializar la población con la que se trabajara, dependiendo de lo anterior.
- Se debe de buscar una correspondencia entre genotipo y fenotipo.
- Evaluar al individuo que es una de las partes más difíciles cuando se esta creando una aplicación real, por eso podemos utilizar funciones aproximadas para reducir el costo de la evaluación.
- Ver cual forma de realizar la operación de cruce y mutación de los individuos nos es más útil en la resolución del problema.

Para la realización del operador de cruce debemos tomar en cuenta que el operador que elijamos sea el que mejor se adapte a la representación que hemos elegido para el individuo. Una de las condiciones más importantes para el operador de cruce es que genere valores validos para la población con la que estamos trabajando.

Para la realización del operador de mutación debemos tomar en cuenta que al igual que con el operador de cruce se produzcan cromosomas válidos, ya que si no tomamos en cuenta este factor el algoritmo creado no sería funcional. El operador de mutación debe ser capaz de generar valores que alcancen el espacio de búsqueda.

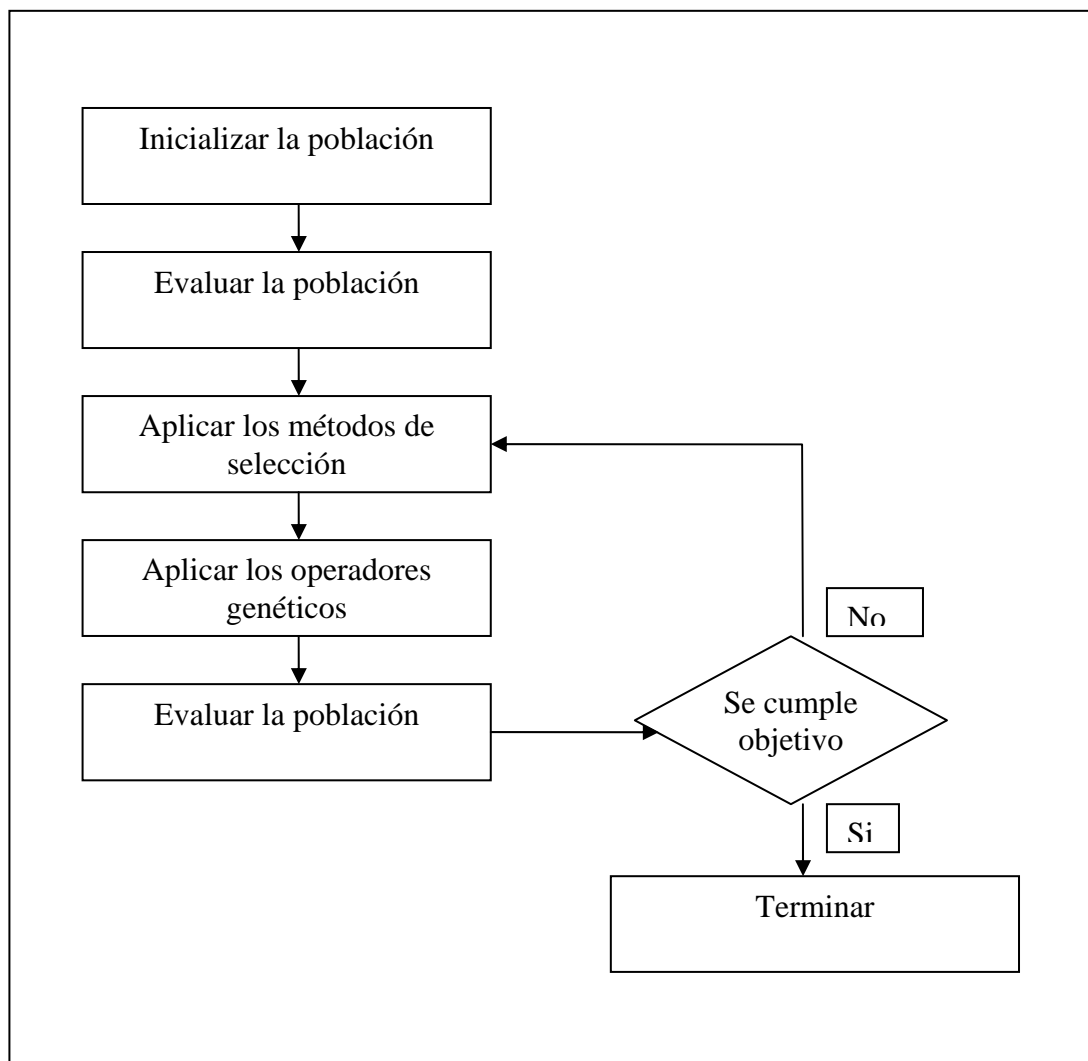
- Cuando se realiza la selección debemos buscar que los individuos que muestren las mejores características tengan una probabilidad, más alta de reproducirse que aquellos individuos que tienen características pobres, aunque es muy importante que a estos individuos debe dárseles la oportunidad, para que puedan reproducirse porque estos podrían tener información útil en algún momento.
- Para el remplazamiento de individuos pueden utilizarse métodos probabilísticos puede utilizarse métodos determinísticos o probabilísticos.
- Por ultimo debemos de ver cuando el algoritmo dejara de realizar las iteraciones, se pueden tomar varias condiciones como los son, cuando hemos llegado a la mejor respuesta que resuelve el problema, dependiendo de la precisión que se requiere para resolver el problema se pueden establecer el número de iteraciones que se utilizaran para que el problema sea resuelto, otra muy importante y que debe ser tomada en cuenta es que hay que diseñar el algoritmo a partir de los recursos que se tienen, por ejemplo la memoria de el equipo, el tipo de procesador etc. El numero de iteraciones también puede ser fijado si cuando resolvemos un tipo de problema, nos

damos cuenta que existe un límite en el número de iteraciones en el cual se converge.

3.7 Implementando un algoritmo genético

El esquema básico para la creación para un algoritmo genético se realiza como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Diagrama de flujo de un algoritmo genético



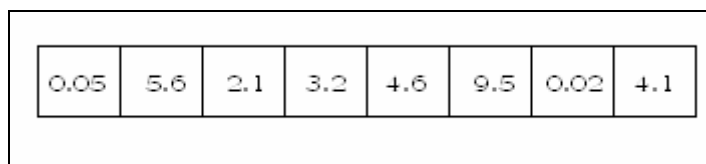
3.8 Tipos de Algoritmos Genéticos

Los algoritmos genéticos pueden ser clasificados en dos categorías, binarios y reales, dependiendo en los métodos particulares que sean utilizados para codificar los parámetros de diseño. Los algoritmos genéticos se crean cuando codificamos cada uno de los parámetros como cadenas de bits. En los algoritmos genéticos reales los parámetros se codifican utilizando números reales.

3.8.1 Algoritmos genéticos reales

Los algoritmos genéticos reales están compuestos de cadenas que contienen los parámetros en cada gen, y están valuados como números reales como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Cromosoma real



La figura 12 tiene un cromosoma con 8 genes. Cada gene esta representado como un número real.

Cuando inicializamos una población con parámetros reales, nos es de mucha utilidad tener conocimiento del rango en el que trabajaremos con cada parámetro. Para iniciar cada parámetro específico podemos utilizar la expresión

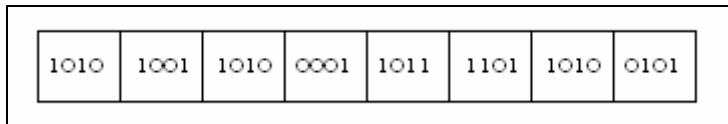
$$\text{Valor_Inicial} = \text{Valor_Minimo} + \text{Num_Aleatorio} * (\text{Valor_Max} - \text{Val_Min})$$

Se debe notar que la expresión Num_Aleatorio debe ser un número que varié entre 0 y 1.

3.8.2 Algoritmos Genéticos Binarios

En los algoritmos genéticos binarios la representación de cada parámetro se hace al codificar cada parámetro en una cadena con valores 1 o 0. En la figura 13 se muestra un cromosoma con 8 parámetros (genes) los cuales cada uno de ellos su valor esta dado por números binarios.

Figura 13. Cromosoma Binario



Cuando utilizamos para resolver algoritmos genéticos binarios tenemos que tomar en cuenta en nuestro procedimiento que debemos realizar la conversión de de decimal a binario para cada parámetro y viceversa.

Los algoritmos genéticos binarios tienen muchas ventajas ante los reales porque para la selección solo tiene que seleccionarse un punto de cruce, además en la mutación solo se cambian por valores de 0 o 1.

Para la inicialización en los algoritmos genéticos binarios se tiene que utilizar con la ayuda de la computadora un generador de números aleatorios, luego codificándolos a números binarios.

4. ALGORITMO GENÉTICO APLICADO A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE LA ANTENA

Hay parámetros en los diseños de las microantena de parche a los que quisiéramos optimizar como por ejemplo su ancho de banda, o bien decidir con que dieléctrico trabajar para obtener un tamaño menor de la antena. Por medio de los algoritmos genéticos podemos realizar un programa que nos ayude a resolver esta necesidad.

4.1 Diseño de una microantena de parche con geometría rectangular

Para realizar un diseño de una microantena debemos saber cual es la frecuencia de trabajo a la que vamos a trabajar, la constante dieléctrica, y el espesor del dieléctrico.

Teniendo los datos anteriores hallaremos el ancho del medio conductor, esto lo realizaremos con la siguiente expresión

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$

Luego de hallar el ancho de la parte conductora de la antena hallaremos la constante dieléctrica efectiva utilizando la ecuación siguiente

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-1/2}$$

Ya teniendo el valor de la constante dieléctrica efectiva hallaremos la longitud efectiva de la antena. Debemos notar que esto no es la longitud del dieléctrico ni de la parte conductora de la antena. Obtendremos el valor de esta valuando los parámetros ya obtenidos en la expresión

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}}$$

Ahora que hemos encontrado la longitud efectiva hallaremos una diferencia de longitud que es la longitud que los campos creados en los bordes de la antena con la ecuación

$$\Delta L = 0.412h \frac{\left(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3\right)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{\left(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258\right)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

Ya teniendo el dato anterior hallaremos la longitud de la parte conductora de la antena, esta y la longitud que se extiende el dieléctrico, debemos recordar que debajo del dieléctrico tenemos que colocar un plano de masa. En las siguientes expresiones L representa la longitud que tiene la parte conductora de la antena y L_g y W_g son las dimensiones del dieléctrico en el que debe ir la parte conductora de la antena, el dieléctrico y el plano de masa tienen las mismas dimensiones.

$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta l$$

$$L_g = 6h + L$$

$$W_g = 6h + W$$

El paso final del diseño sería el de hallar el punto donde se alimentara la antena. La alimentación la realizaremos en el borde y podemos hallar la distancia a la que debe ser introducida la alimentación con la siguiente expresión, cuando la constante del dieléctrico esta entre 2 y 10.

$$y_0 = \left(\begin{array}{l} 0.001699\epsilon_r^7 + 0.13761\epsilon_r^6 - 6.1783\epsilon_r^5 + 93.187\epsilon_r^4 \\ - 682.69\epsilon_r^3 + 2,651.9\epsilon_r^2 - 4043\epsilon_r + 6697 \end{array} \right) \frac{L}{2}$$

4.2 Aplicación de algoritmos genéticos a la optimización en una microantena de parche con geometría rectangular

Realizaremos un diseño en el cual tenemos un ángulo específico en el plano E de la antena, trabajando a una frecuencia dada. Entonces nuestro objetivo será buscar cuales son las dimensiones de la antena para los datos que tenemos en el cual tendrá una mayor radiación.

La expresión con la que trabajaremos es la ecuación para el plano E de la antena y esta dado por la siguiente ecuación

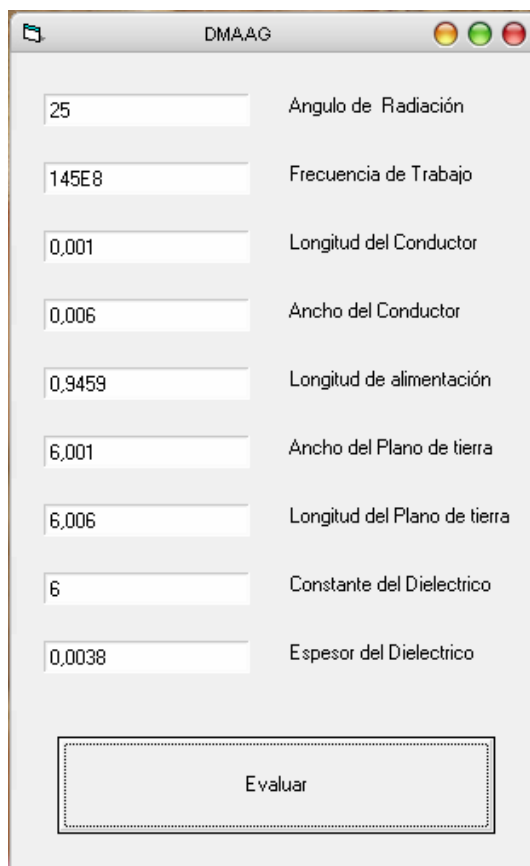
$$F(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{k_0 h}{2} \cos(\theta)\right)}{\frac{k_0 h}{2} \cos(\theta)} \cos\left(\frac{k_0 L}{2} \cos(\theta)\right)$$

Buscaremos entonces el dieléctrico y su grosor, que nos de el mayor valor de radiación.

El dieléctrico se trabajara en un rango de 2.0 hasta 10.0, el rango de frecuencias lo trabajaremos de 40Mhz hasta 40Ghz, el ángulo del plano E lo trabajaremos en le rango de 0° a 90° y el grosor del dieléctrico en un rango de 0.003λ a 0.05λ

El programa lo hemos realizado en Visual Basic 6.0 debido a que ofrece facilidad para la presentación gráfica y se puede trabajar fácilmente con matrices. En la presentación grafica el programa tiene dos cuadros de textos que servirán para el ingreso de los datos los cuales serán el ángulo en el que se desea trabajar la radiación y la frecuencia a la que se trabajara. Luego aparecen otros cuadros de texto en los cuales no pueden ser ingresados datos, en ellos aparecerán los datos para la construcción de la antena los cuales son: Longitud del conductor, Ancho del conductor, la longitud a la que debe colocarse la alimentación, El ancho del plano de tierra, la longitud del plano de tierra, la constante del dieléctrico y el espesor del mismo. Los datos aparecerán en los cuadros de texto anteriores después de haber pulsado el botón que esta etiquetado con la palabra Evaluar, en la siguiente figura se muestra como se ve el programa.

Figura 14. Programa para el diseño de la antena



The screenshot shows a window titled "DMAAG" with a standard Windows-style title bar. The interface contains ten input fields, each with a numerical value and a corresponding label to its right. At the bottom, there is a large button labeled "Evaluar".

Input Value	Label
25	Angulo de Radiación
145E8	Frecuencia de Trabajo
0,001	Longitud del Conductor
0,006	Ancho del Conductor
0,9459	Longitud de alimentación
6,001	Ancho del Plano de tierra
6,006	Longitud del Plano de tierra
6	Constante del Dielectrico
0,0038	Espesor del Dielectrico

Evaluar

En los datos de entrada el rango para el ángulo debe estar entre 0 y 90 grados, si no es ingresado así, el programa sacara un mensaje en el cual indicara que el rango debe estar en grados, para la frecuencia también sucede lo mismo si no es ingresada en un rango de 400Mhz a 40Ghz el programa lo indicará también en un mensaje. En el código del programa se toma en cuenta que si estos datos son ingresados no se realizara ninguna iteración si son ingresados los datos incorrectos.

La estructura que se sigue para la realización del programa utilizando algoritmos genéticos es la siguiente. El primer paso que se realiza es la inicialización de la población, luego de ser inicializada la población se realiza una evaluación para ver que valor nos da la función objetivo, después de que se ha realizado la evaluación se entra a un ciclo en el cual primeramente se realiza una ordenación de la población para ver que cuales individuos nos dan un mayor valor en la función objetivo, a continuación se realiza una operación de cruce, y después de esto se aplica una operación de mutación después de cierto número de iteraciones el ciclo termina y se procede a mostrar cuales son los resultados para los datos de la antena que debe de ser construida. El proceso anterior se muestra en el diagrama de bloques de la figura 11.

El programa lo hemos realizado utilizando algoritmos genéticos binarios, por lo cual cada cromosoma es una secuencia de ceros o unos, los cromosomas contienen 14 genes. 7 genes sirven para la evaluación de la constante dieléctrica y los otros 7 genes sirven para evaluar el ancho del material dieléctrico. La población es de 16 cromosomas, para la representación de los cromosomas hemos utilizado matrices de una fila y 14 columnas y aunque solo varían entre 0 y 1 estas son de tipo entero. El tipo de selección utilizada para la creación del programa fue elitista, ya que

después de cada operación solo tomamos en cuenta los cromosomas que nos de un mejor resultado a la hora de ser evaluado y tratamos de no trabajar con los cromosomas que muestran peor rendimiento. Cada una de las operaciones básicas para algoritmos genéticos se realizaron por medio de procedimientos (Sub en Visual Basic) a los cuales les pasamos los datos originales por medio de argumentos por referencia, debido a que necesitamos que cambiaran los datos originales, de lo contrario solo cambiarían los valores de las variables que están dentro del procedimiento y no las originales. La ventaja de utilizar procedimientos esta en que podemos darle uso al mismo procedimiento para diferentes variables, lo que representa reducción del código. A continuación explicaremos los procedimientos de nuestro programa.

4.2.1 Inicialización

La inicialización en nuestro programa será el proceso en el cual se inicializara cada cromosoma. Como los cromosomas son binarios cuando los inicializamos utilizamos la función rnd de Visual Basic la cual nos da un valor que varia entre 0 y 1, entonces ponemos la condición que si el numero que se genera esta en el rango de $[0,0.5)$ lo asignamos al cromosoma como un cero o bien si el numero generado cae en el rango $[0.5 a 1)$ entonces asignamos un 1 a la matriz.

4.2.2 Evaluación

En este procedimiento se realiza la evaluación para cada cromosoma, en la función objetivo. Antes de evaluar los cromosomas en la función objetivo realizamos una división del cromosoma en dos por la mitad, los primeros siete bits los utilizaremos para el ancho del dieléctrico y los otros siete para la constante del dieléctrico, luego de que el cromosoma es dividido se realizan para cada segmento una conversión de binario a decimal. Después de realizada la conversión el resultado que nos da el segmento para el ancho del dieléctrico lo multiplicamos por 0.0001 y redondeamos este resultado para cuatro decimales, el resultado obtenido para la constante del dieléctrico lo dividimos entre 20 y redondeamos a un decimal, para la realización del redondeo en Visual Basic se utiliza la función Round. Luego de realizadas las operaciones anteriores se proceden a hallar las dimensiones de la antena específicamente para los datos que hemos obtenido en la evaluación anterior. Estos datos nos servirán para evaluar en la función para el plano E de la antena que es con el cual trabajaremos. Para evaluar los datos en el plano E el ángulo que nosotros ingresamos en la cajita de texto esta en grados y nosotros trabajaremos esta función en radianes, por lo que antes de la evaluación de los datos en esta función realizamos la conversión del ángulo a radianes.

4.2.3 Ordenación

Después de la evaluación de un cromosoma el resultado del plano E se guarda en una matriz que contiene los resultados por cada cromosoma evaluado, además hay una matriz que contiene un número con el que se identificara a cada cromosoma y esta en la misma posición de la matriz que

el resultado que corresponde a cada cromosoma. La ordenación se realiza para poder decidir cual es el cromosoma que produce el mejor resultado. La ordenación se realiza de manera descendente para la matriz de resultado, el numero correspondiente a cada cromosoma se ordenara según el cromosoma que produjo el resultado, así podremos observar cual fue el resultado producido por cada cromosoma y al final tomaremos el que produzca el valor mas alto, y este estará en la posición cero de la matriz.

El método para ordenar utilizado en este programa fue el método de burbuja, ya que para esta aplicación que no requiera de mayor eficacia, respecto a la ordenación ya que el número de datos es pequeño, y este ofrece bastante sencillez en el código, y opera de una manera bastante buena para los datos con los que se están trabajando.

4.2.4 Reinicio

Después que se ha realizado la ordenación, se realizara una operación de reinicio, en la cual no participaran los 4 individuos que tienen el mejor resultado en la evaluación.

En la operación de reinicio copiamos la información del cromosoma original a un cromosoma temporal y reiniciamos el cromosoma original, realizamos una evaluación y comparamos el nuevo valor que resulta de la evaluación con el valor que ya existe en la matriz que contiene los resultados y que corresponde al cromosoma con el que se ha trabajado, si el valor obtenido es mejor que el ya existente entonces este valor se copiara a la matriz de

resultados, de lo contrario es resultado de la evaluación no se guarda y los datos que quedaron en el cromosoma temporal, son copiados nuevamente a el cromosoma original. En el procedimiento se realiza un ciclo el termina únicamente cuando la evaluación de cromosoma produce un resultado para la constante dieléctrica que caiga en le rango de [2,10].

4.2.5 Cruce

El procedimiento cruce realiza una operación entre dos cromosomas, lo que se realizamos aquí es que, tomamos dos cromosomas, creamos otros dos cromosomas que serán temporales y copiamos los valores de los originales a los temporales. Realizamos un intercambio de datos entre los cromosomas temporales, el cual consiste en dividir en dos partes iguales el cromosoma y cambiar la primera mitad del primer cromosoma con la primera mitad del segundo. Luego de realizada ese intercambio se realiza una evaluación para cada uno de los cromosomas originales y temporales, si el cromosoma temporal tiene una mejor resultado en la evaluación que el cromosoma original, entonces los datos de el cromosoma temporal son asignados al cromosoma original y se guarda el valor que nos dio la evaluación en una matriz que contiene los resultados de las evaluaciones correspondientes a cada cromosoma.

4.2.6 Mutación

El procedimiento de mutación lo que hace es realizar una operación not aleatoriamente para cada gen ya creado en un cromosoma, por ejemplo si tenemos que el primer gen de cierto cromosoma tiene valor de cero, entonces es probable que ese gen cambie a un valor de uno. Esto se realiza

de la siguiente manera; tomamos un cromosoma y copiamos sus datos a un cromosoma temporal. Trabajamos con el cromosoma temporal revisamos que valor tiene cada uno. Si el valor es cero entonces generamos un numero aleatorio que varia entre un y cero si el numero cae en el rango de $[0,0.5)$ entonces le será asignado un 1. Si el gen tiene un valor de 1 generamos un numero aleatorio que varia entre cero y uno y si este numero cae en el rango de $[0.5,1)$ entonces se le asigna un cero. Lo anterior lo que realiza es una mutación del cromosoma de manera aleatoria. Luego de que el cromosoma temporal es mutado, se procede a evaluar el cromosoma original y el cromosoma temporal, si el cromosoma temporal muestra un mejor resultado que el cromosoma original los datos que tiene el cromosoma temporal le serán asignados al cromosoma original y se guardara el resultado de la evaluación correspondiente al mejor valor en la matriz que contiene los resultados de la evaluación correspondiente a cada cromosoma.

La realización de este procedimiento es de mucha importancia, ya que este nos ayuda a crear una población bastante diferente a la que ya existe, a partir de la ya existente.

4.3 Utilización del Programa

La utilización del programa es bastante sencilla, para abrirlo solo debe realizarse un doble clic en le icono del programa, luego aparecerá un cuadro que contiene varios cuadros de texto, los primeros dos es donde debe ingresarse el ángulo de radiación del plano E, este ángulo debe de estar entre 0° y 90° , luego debemos ingresar la frecuencia de trabajo la cual debe estar en un rango de 400Mhz hasta 40Ghz. Cuando ya se han ingresado los datos al programa el siguiente paso es utilizar el botón “Evaluar “, luego sólo

habrá que esperar alrededor de dos minutos para que el programa devuelva los datos para la construcción de la microantena.

CONCLUSIONES

1. Las microantenas de parche son de fácil construcción, lo que permite que al tener un diseño adecuado estas puedan ser fabricadas en serie de manera sencilla, estas pueden ser utilizadas en espacios muy pequeños.
2. Una de los operadores más importantes de los algoritmos genéticos es el operador mutación, porque nos permite crear nuevos individuos a partir de los que hay en la población existente.
3. La selección de tipo elitista nos permite que en la población queden aquellos cromosomas, que nos dan los mejores resultados.

RECOMENDACIONES

1. Las microantenas de parche pueden ser utilizadas para crear sistemas de control inalámbrico, permitiendo reducir el tamaño de los dispositivos de transmisión y recepción.
2. Con los algoritmos genéticos se pueden crear aplicaciones de optimización en tiempo real, lo que se podría aplicar en robótica para calcular trayectorias más cortas.
3. Para mejorar el rendimiento de los programas que utilizan algoritmos genéticos, es recomendable que se utilicen distribuciones probabilísticas en la inicialización y en el operador mutación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Altshuler, E.E. and Linden, D.S., Design of Wire Antennas Using Genetic Algorithms. In Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms (Y. Rahmat-Samii and E. Michielssen, eds.), John Wiley & Sons, New York, 1999.
2. Branko D. Popovic, Zoya Popovic. Introducción al electromagnetismo, México: CECSA, 591pp.
3. Chand Gondara, Lal. Handbook of antenna in wireless communication. Estados Unidos de América: Editorial CRC Press, 2002. 888pp.
4. Collin, Robert E. Antennas and Radiowave Propagation. Singapur: McGrawHill, 1976. 492pp.
5. Holland, J.H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975.

6. Leung, Martin. Microstrip antenna design using mstrip 40, s. l. s.e. 2002.
7. Lier, E. and Jakobsen, K. R. "Rectangular microstrip patch antennas with infinite and finite groundplane dimensions," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 31, Nov. 1983,. 978–984 pp.
8. Linden, Derek. Designing like Mother Nature an introduction to genetics algorithms. IEEE CS Meeting, April 15, 1999.
9. Zavosh, F. and Aberle, J. T. "Improving the performance of microstrip-patch antennas," IEEE Antennas Propagat. Mag., vol. 38, Aug. 1996.
10. Genetic Algorithms, <http://www.devmaster.net>, abril de 2006.

ANEXO

Tabla I. Constantes dieléctricas de algunos materiales

Material	Min.	Max.	Material	Min.	Max.
Air	1	1	Nylon	3.4	22.4
Amber	2.6	2.7	Paper	1.5	3
Asbestos fiber	3.1	4.8	Paraffin	2	3
Bakelite	5	22	Plexiglass	2.6	3.5
Barium Titanate	100	1250	Polycarbonate	2.9	3.2
Beeswax	2.4	2.8	Polyethylene	2.5	2.5
Cambric	4	4	Polyimide	3.4	3.5
Carbon Tetrachloride	2.17	2.17	Polystyrene	2.4	3
Celluloid	4	4	Porcelain	5	6.5
Cellulose Acetate	2.9	4.5	Quartz	5	5
Durite	4.7	5.1	Rubber	2	4
Ebonite	2.7	2.7	Ruby Mica	5.4	5.4
Epoxy Resin	3.4	3.7	Selenium	6	6
Ethyl Alcohol	6.5	25	Shellac	2.9	3.9
Fiber	5	5	Silicone	3.2	4.7
Formica	3.6	6	Slate	7	7
Glass	3.8	14.5	Soil dry	2.4	2.9
Glass Pyrex	4.6	5	Steatite	5.2	6.3
Gutta Percha	2.4	2.6	Styrofoam	1.03	1.03

Continúa

Material	Min.	Max.
Isolantite	6.1	6.1
Kevlar	3.5	4.5
Lucite	2.5	2.5
Mica	4	9
Micarta	3.2	5.5
Mycalex	7.3	9.3
Neoprene	4	6.7

Material	Min.	Max.
Teflon	2.1	2.1
Titanium Dioxide	100	100
Vaseline	2.16	2.16
Vynylite	2.7	7.5
Water distilled	34	78
Waxes, Mineral	2.2	2.3
Wood dry	1.4	2.9

Fuente: <http://www.csgnetwork.com/dieconstantstable.html> 14/07/2006