RAE

TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO ELECTRÓNICO

TITULO: DESARROLLO DE UN APLICATIVO QUE PERMITA LA VARIACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA INTELIGENTE, SEGÚN LA POSICIÓN DE UN PUNTO DETERMINADO.

AUTORES: Daniel Marino Gutiérrez Camelo, Cristian Alberto Triana Villa.

LUGAR: Bogotá, D.C.

FECHA: Febrero de 2012

PALABRAS CLAVE: Arreglo de antenas, arreglo lineal, factor del arreglo $(FA)_N$, smart antenna (SA), dipolo finito, patrón de radiación, fase progresiva, fase de alimentación.

DESCRIPCION DEL TRABAJO: El objetivo principal de este trabajo, consistió en el desarrollo de un aplicativo que permite variar el patrón de radiación de una antena inteligente, según la posición de un punto determinado.

LINEAS DE INVESTIGACION: Línea de investigación de la USB: Tecnologías actuales y Sociedad. Sub línea de investigación: Sistemas de información y comunicación. Campo temático del programa: Tecnologías y aplicaciones móviles.

FUENTES CONSULTADAS: C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley. John D. Kraus, Ronald . Marhefka. Antennas for all Aplications 2nd Ed, New Delhi: Tata Mc Graw Hill. Ramirez Artunduaga. Jaime. Conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño. Bogotá: Editorial Bonaventuriana,2010. Simon R. Saunders and Alejandro Aragon-Zavala. Antennas and propagation for wireless communication systems 2nd Ed: Wiley,2007. Rene Escalante Fernández. Curso introductorio de Matlab.1ra Ed: Equinoccio. Venezuela,2006. Hector Manuel Vega. Lógica y Algoritmos, Programación en Matlab aplicada a la ingeniería. 1ra Ed. Bonaventuriana. 2006.

CONTENIDOS: La tecnología de antenas inteligentes es la que posee la capacidad de variar su patrón de radiación de forma predefinida, entre otras funciones, de tal forma que modifica la dirección del lóbulo cuando el usuario se desplaza para que se mueva con él. Gracias a sus ventajas tanto en capacidad como en ancho de banda han alcanzado enorme interés mundial en los últimos años. Otras razones importantes para el uso de esta tecnología son el rápido crecimiento en la demanda de comunicaciones móviles. Una de las formas para lograr una eficiente atención a esta demanda es la implementación de sistemas de radiación cuyos lóbulos solo estén orientados al sitio donde se encuentre el móvil demandante del servicio de telefonía móvil celular. Estas cambiarían la forma tradicional de las antenas que radian energía en todas direcciones teniendo un pequeño porcentaje de la misma en el usuario deseado, y el resto se convierte en interferencia para los demás usuarios degradando el servicio. Por lo tanto existe la necesidad en desarrollar un aplicativo que permita la variación del patrón de radiación de una antena inteligente, según la posición de un punto determinado.

METODOLOGIA: Es de carácter empírico-analítico, con un enfoque de investigación orientado a la interpretación y transformación del mundo material.
CONCLUSIONES: El patrón de radiación de un arreglo de antenas, se logra haciendo variar uno o varios de los parámetros que definen dicho patrón. Para facilitar la variación del patrón de radiación de un radiador, es conveniente que este radiador corresponda a un arreglo de antenas. Existen una variedad de tipos de arreglo de antenas: lineal, circular, planar (matricial), entre otros. El sistema de arreglo lineal es el más fácil de implementar. Es por esta razón, que se seleccionó este tipo de arreglo para el desarrollo de este trabajo. En este trabajo, se tomó como parámetro para variar el patrón de radiación el de la fase, ya que facilita su implementación. La implementación de un sistema como el propuesto en este trabajo, reviste de todo un proceso ingenieril bastante complejo y de altos costos. Los sistemas de antenas inteligentes, además de la identificación, localización y seguimiento de objetos móviles, se podrían utilizar entre otras aplicaciones, las siguientes: Aumentar la eficiencia del funcionamiento de los sistemas móvil celular, debido a que estos sistemas de radiación pueden generar simultáneamente diversos haces de radiaciones, lo que permite que la ERB, de la celda correspondiente, reciba con mayor intensidad la señal de la estación móvil celular respectiva, lo cual implica el incremento de la relación de potencia portadora a interferencia cocanal, lo anterior permite, también, una optimización en la reutilización de frecuencia, así mismo estos sistemas de antenas inteligentes son muy utilizados para efectos de seguridad y defensa militar, tales como la intersección de dispositivos (por ejemplo proyectiles, aeronaves, entre otros) enemigos. La realización de este trabajo puede motivar el desarrollo de nuevos trabajos de grado o investigación, para otras aplicaciones de los sistemas de antenas inteligentes, así como el perfeccionamiento de funcionamiento del algoritmo aquí propuesto y su implementación en un prototipo de la estructura del sistema real.

DESARROLLO DE UN APLICATIVO QUE PERMITA LA VARIACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA INTELIGENTE, SEGÚN LA POSICIÓN DE UN PUNTO DETERMINADO

DANIEL MARINO GUITIERREZ CAMELO
CRISTIAN ALBERTO TRIANA VILLA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA
BOGOTÁ
2012

DESARROLLO DE UN APLICATIVO QUE PERMITA LA VARIACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA INTELIGENTE, SEGÚN LA POSICIÓN DE UN PUNTO DETERMINADO

DANIEL MARINO GUTIÉRREZ CAMELO
CRISTIAN ALBERTO TRIANA VILLA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Asesor
Ing. Jaime Ramírez Artunduaga

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA
BOGOTÁ
2012

Nota de aceptación

_____
_____
_____
_____

_____
Presidente del jurado

_____
Jurado

_____
Jurado

Cuidad y fecha (Bogotá / / /)

DEDICATORIA

A Dios, por la fuerza y sabiduría para cumplir con esta meta.

A mis padres Abraham y Edilma, por su amor y confianza.

a mi abuela Amelia, por su amor y paciencia.

Cristian Alberto Triana Villa

A mi padre Marino, por su apoyo incondicional durante estos años de estudio.

Daniel Marino Gutiérrez Camelo

AGRACEDIMIENTOS

Al ingeniero Jaime Ramírez Artunduaga “maestro y tutor”, quien nos orientó con sus aportes académicos y su dedicación impulsó y motivó al trabajo en equipo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13
2.1. ANTECEDENTES 13
2.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 16
2.3. JUSTIFICACIÓN 16
2.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 17
2.4.1. Objetivo general 17
2.4.2. Objetivos específicos 17
2.5. ALCANCES Y LIMITACIONES 18
2.5.1. Alcances 18
2.5.2. Limitaciones 18
3. METODOLOGÍA 18
3.1. Enfoque de la investigación 18
3.1.2. Definición de la estrategia de trabajo 18
4. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/ SUB-LÍNEA DE FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA 18
4.1 Líneas de investigación. Tecnologías actuales y sociedad 18
4.1.2. Sub-línea de investigación 19
4.1.2.1. Sistemas de información y comunicación: 19
4.1.2.2. Campos de investigación por programa 19
5. MARCO TEORICO-CONCEPTUAL 20
5.1. DIPOLO ELEMENTAL 20
5.1.1. Dipolo infinitesimal (l<<ʎ/50) 20
5.1.2. Dipolo pequeño 23
5.1.3. Dipolo de Longitud Finita 25
5.1.4. Arreglo lineal de dipolos 29
5.1.4.1. Arreglo lineal de N-elementos 32
5.1.4.1.1. Directividad máxima para un arreglo lineal 34
5.1.4.2. Arreglo Broadside 35
6. DESARROLLO INGENIERIL 39

6.1. Modelo matemático de un dipolo finito 39
6.1.1. Representación del patrón del elemento.....39
6.1.2. Arreglo lineal para N-elementos "$(FA)_N$".....41
6.1.2.1. Reconocimiento de un punto estático por el patrón del arreglo 48
6.1.2.3. Fijación del patrón de radiación del arreglo 51
6.1.2.4. Fijación de un punto móvil por el patrón de radiación del arreglo.....55
6.1.3. Phased Array.....60
6.1.3.1. Representación del patrón total del arreglo 63
6.1.3.2. Representación del patrón total del arreglo en 3D 66
6.1.3.3. Reconocimiento de un objeto dadas sus coordenadas polares.....71
6.1.4. Aplicativo con interfaz gráfica de usuario.....73
7. UNA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA. 74
8. CONCLUSIONES.....77
10. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA.....79

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Dipolo Infinitesimal....21
Figura 2.Dipolo Pequeño 24
Figura 3. Patrón de radiación de un Dipolo....27
Figura 4.Distribución de Corriente a lo largo de un dipolo 28
Figura 5.Arreglo de antenas receptoras (2x8 antenas Yagi) ubicadas en Paracas 29
Figura 6.Geometría de elementos posicionados en el eje z 31
Figura 7.Diagrama de Fasores de campo lejano para N-elementos. 33
Figura 8.Patrón de radiación para un arreglo broadside. 37
Figura 9.Patrón de radiación del elemento 41
Figura 10.Diagrama de Fasores de un arreglo lineal de antenas. 42
Figura 11.Convolución del patrón del elemento con (FA)N y β=0 47
Figura 12.Convolución del patrón del elemento con (FA)N y β=.π/2....47
Figura 13.Convolución del patrón del elemento con (FA)N y β= π....48
Figura 14.Convolución del patrón del elemento con (FA)N y β=2 π....48
Figura 15.Convolución de 4 elementos detectando la posición de un punto. 50
Figura 16.Fijación de un punto móvil por el patrón de radiación del arreglo. 59
Figura 17.Patrón de radiación del Phase Array 63
Figura 18.Patrón total del arreglo. 66
Figura 19.Patrón total del arreglo 3D. 69
Figura 20. Recorrido de un objeto 69
Figura 21. Patrón total del arreglo. 70
Figura 22. Aplicativo con Interfaz Gráfica de usuario 74

CONTENIDO DIAGRAMAS

Diagrama 1.Diagrama de flujo gráfica polar de dipolo de λ/2.....39
Diagrama 2.Diagrama de flujo de la inicialización de parámetros "Ψ", “β”. 43
Diagrama 3. Diagrama de flujo de la convolución del patrón del elemento y el (FA)N ...45
Diagrama 4. Diagrama de flujo de un punto en una posición asignada dentro de la convolución del patrón del elemento y el (FA)N 49
Diagrama 5. Diagrama de flujo de la fijación del patrón de radiación del arreglo 53
Diagrama 6. Diagrama de punto móvil para valores positivos. 56
Diagrama 7.Diagrama de punto móvil para valores negativos. 57
Diagrama 8. Diagrama de flujo gráfica polar del Phase Array para 10 elementos. 61
Diagrama 9. Diagrama de flujo del patrón tota del arreglo. 64
Diagrama 10. Diagrama de flujo del reconocimiento de un objeto dado sus coordenadas polares 72

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de antenas inteligentes es la que posee la capacidad de variar su patrón de radiación de forma predefinida, entre otras funciones, de tal forma que modifica la dirección del lóbulo cuando el usuario se desplaza, para que se mueva con él. Gracias a sus ventajas tanto en capacidad como en ancho de banda han alcanzado enorme interés mundial en los últimos años.

En cuanto a telefonía móvil, su razón fundamental de uso se encuentra gracias a la opción de incrementar su capacidad, esto significa, manejar más usuarios por estación base y dicha capacidad depende del nivel de interferencia que se compara con la potencia recibida, ya que la interferencia de otros usuarios es la principal fuente de ruido de estos sistemas.

Otras razones importantes para el uso de esta tecnología son el rápido crecimiento en la demanda de comunicaciones móviles. Una de las formas para lograr una eficiente atención a esta demanda es la implementación de sistemas de radiación cuyos lóbulos solo estén orientados al sitio donde se encuentre el móvil demandante del servicio de telefonía móvil celular. Estas cambiarían la forma tradicional de las antenas que radian energía en todas direcciones teniendo un pequeño porcentaje de la misma en el usuario deseado, y el resto se convierte en interferencia para los demás usuarios degradando el servicio

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES

En la actualidad el mayor uso que se les ha dado a las antenas inteligentes ha sido para incrementar la zona de cobertura, reducir el nivel de interferencia y mejorar la eficiencia y la calidad en la prestación del servicio, pero con el desarrollo de las tecnologías que utilizan los sistemas de telecomunicaciones, las antenas inteligentes han venido implementado una diversidad de aplicaciones que redundan en el mejoramiento del servicio de dichos sistemas.
Se considera que las antenas inteligentes se encuentran dentro de las últimas innovaciones tecnológicas, que tiene el potencial para aumentar la funcionalidad de los sistemas de comunicaciones inalámbricas. En comunicaciones móviles las antenas adaptativas han alcanzado enorme interés mundial en los últimos años, gracias a su gran aumento de capacidad de ancho de banda y su potencial para introducir nuevos servicios, pero debido a la complejidad de su funcionalidad demanda mayor cantidad de recursos en los sistemas operativos en las Estaciones Radio Base (ERB), lo que implica, también, la incrementación de los costos de funcionalidad de las mismas.[1]

Debido al gran aumento de demanda en la telefonía móvil, las antenas inteligentes son hoy en día una de las técnicas más apropiadas y prometedoras para aumentar la calidad de servicio de los sistemas celulares, y de esta forma poder manejar un mayor número de usuarios por ERB. Las ventajas detalladas de estos sistemas serian: incremento en la calidad de la comunicación, aumento de la capacidad del sistema, bajo consumo de baterías en los terminales móviles, localización geográfica del usuario y reducción de la interferencia a otros usuarios.

Se ha encontrado también como otra gran razón para el uso de esta tecnología, en el mejoramiento del medio ambiente, puesto que en vez de radiar energía en todas las direcciones en forma permanente como las antenas tradicionales, envía la señal directamente a cada usuario deseado y solo en el momento que se necesite, consiguiéndose una disminución de este tipo de contaminación y un considerable ahorro energético. Por otro lado las antenas inteligentes posibilitan una reducción en la cantidad de estaciones base de las redes.[2]

[1] Antenas Inteligentes [Internet] [consultado 01 de abril de 2010]. Disponible en http://es.wikitel.info/wiki/Antenas_inteligentes
[2] Estudio De Antenas Inteligentes Y Principales Aplicaciones en los sistemas de Telefonía Móvil [Internet] [consultado 01 de abril de 2010]. Disponible en http://ciecfie.epn.edu.ec/JIEE/historial/XIXJIEE/34Antenas%20Corr.pdf

La idea de usar esta tecnología ha existido durante mucho tiempo. De hecho, se han aplicado algunas variaciones de antenas inteligentes muy costosas, en sistemas militares de defensa. El costo de este sistema ha sido su mayor barrera de implementación en sistemas comerciales. Otros inconvenientes han sido su alto nivel de complejidad y dificultad en los diseños, el uso de potentes procesadores para poder ejecutar los algoritmos de optimización y su tamaño físico, ya que para que estas tenga una ganancia razonable, es necesario un arreglo de a veces hasta diez elementos, los que deben estar separados horizontalmente al aire libre para tecnologías móviles.[3]

Otra aplicación de las antenas inteligentes ha sido su uso en sistemas de video vigilancia, ya que las cámaras de video colocadas en diversos sitios estratégicos, aunque han permitido fortalecer la lucha contra la delincuencia, se ven limitadas por hilos, a través de los cuales la información y los datos son cursados con dificultad. Para mejorar esto han sido implementadas en principio estaciones base móviles las cuales tienen todos los equipos necesarios para que el sistema funcione en el lugar que se requiera, con sistemas incorporados de antenas inteligentes que funcionan como punto de acceso central de la información proveniente de cámaras móviles y un PC en el cual se pueda realizar el procesamiento de dichas señales recibidas.[4]

En el *Progress In Electromagnetics Research Symposium 2007,* se presentó el proyecto titulado *Design of Dual-band Reconfigurable Smart Antenna* (Diseño de una Antena inteligente de doble Banda Reconfigurable), que estudió el uso de arreglos adaptables de antenas microstrip de parche reconfigurables, buscando combinar adaptabilidad y capacidad de reconfiguración en arreglos sencillos de las mismas.
Así, una antena original microstrip capaz de una operación de cambio de frecuencia mediante interruptores RF MEMS, se presenta en el documento citado. De este modo, la antena parche (patch antenna) fue diseñada con base en las ecuaciones del modelo de aproximación de línea de transmisión (TLM). Como consecuencia, usando este método, la antena fue diseñada para frecuencias de 2,4 GHz y 3,5 Ghz para luego ser implementadas en un arreglo sencillo de antenas, demostrando la factibilidad de estas para la integración en los sistemas de antenas inteligentes.

Además, este trabajo contribuye al desarrollo de algoritmos de procesamiento de señal y diseño, dado que, se usaron algoritmos de baja complejidad para determinar los

[3] Antenas [Internet] [consultado 01 de abril de 2010]. Disponible en http://espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/antenas05.htm
[4] Radiación y Propagación [Internet] [consultado 01 de abril de 2010] www.gr.ssr.upm.es/rdpr/transparencias/transp_tema4.pdf

pesos de las señales recursivamente y así poder simular en MATLAB el comportamiento de un arreglo de 4 antenas funcionando con este algoritmo.[5]

Las redes de datos de archivo y bibliotecas de medios electrónicos de difusión de audio y vídeo han adquirido un gran interés recientemente. Este trabajo propone la utilización de las antenas inteligentes (de adaptación) para HIPERLAN / 2 (High Performance Radio Local Area Network / 2) a fin de aumentar la velocidad de datos y la capacidad de orientación del usuario en sustitución de cableado LAN Audio / Video modernos en los entornos de radiodifusión de estudios de televisión. Los modelos de canal espaciales son necesarios para un adecuado diseño, análisis y aplicación de sistemas de antenas inteligentes. El modelo de simulación ofrece una estimación rápida de la potencia perfil de retardo (PDP) y la dirección de llegada (DOA) información basada en la óptica geométrica (GO) la teoría teniendo en cuenta las reflexiones doble. Los efectos de la posición relativa del transmisor y el receptor, dimensiones de la sala, así como el número de transmisores son investigados.[6]

Específicamente una antena inteligente es capaz de generar en tiempo real haces directivos y enfocados a cualquier destino, e incluso adaptarse a las condiciones radioeléctricas del medio.

Durante 1996-1997 se llevaron a cabo una serie de pruebas para estándares GSM, DCS y DECT. Involucrando empresas como Ericson, AT&T y laboratorios como Bells Labs. Este proyecto incluyó el desarrollo de una serie de bancos de pruebas para los sistemas móviles de segunda generación, destinados a evaluar la viabilidad de varios prototipos de antenas, así como intentar establecer modelos espaciales del canal radio; para el diseño de la etapa de radiofrecuencia de la estación base, se implemento una red de conformación de haz (tecnología RF mediante DSPs) y de una serie de cadenas receptoras y transmisoras independientes, en las cuales había que cuidar su calibración y linealidad. Los conversores A/D y los DSPs eran los encargados del procesado array y se ubicaban en la etapa de banda base.

Entre 1998 y 1999 se desarrolló el proyecto SUNBEAM, con el fin de estudiar la viabilidad de las antenas inteligentes en UMTS con el desarrollo de algoritmos de conformación de haz eficientes. El uso de arrays lineales dieron cobertura completa para las antenas sectoriales y los canales de difusión, arrays circulares para las celdas

[5] Torpi, H. and Y. Damgaci, \Design of dual-band recon¯gurable smart antenna," PIERS Proceedings, 425{429, Prague, Czech Republic, August 27{30, 2007.}

[6] An Application Of Smart Antenna Systems For Archiving Networks In Tv Studios [Internet] [consultado 03 de Marzo de 2010] Disponible en http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.11.3818&rep=rep1&type=pdf.

de cobertura omnidireccional; su modo de operación fue mediante digitalización directa en la señal de banda base a la salida de cada antena antes de aplicar el algoritmo de conformación de haz, manejando una velocidad de 3.8Mchip/s; aclarando que para trabajar en el modo TDD fue necesario utilizar códigos de midámbulo distintos para cada usuario, no solo en el enlace ascendente, sino también en el descendente.

En el 2001 Telefónica Móviles realizó unas pruebas de campo concerniente tanto a la reducción en el nivel de interferencia en la red, como al funcionamiento de la propia antena en un entorno complicado; con un prototipo de antena inteligente de la Ericsson para telefonía GSM. Esta antena disponía de 8 haces conmutados de 30° de anchura que cubrían un sector de 240°, más un haz estándar de 90° con el fin de emitir el canal de difusión BCCH, se dispuso en configuración SFIR; es decir, que hace uso de ella tanto en transmisión como en recepción. El control de haz elegido en cada instante para el downlink se hizo atendiendo al nivel de potencia recibido, a la calidad de la señal y a las posiciones anteriores del móvil.[7]

2.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Para reconocer espacialmente la ubicación de un objeto móvil a través de antenas tradicionales, requieren de un patrón de radiación permanente omnidireccional, lo que implica un consumo de energía innecesario.

¿Qué característica del patrón de radiación, de un arreglo de antenas, debe variarse para que el patrón se dirija al punto de posición del objeto?

2.3. JUSTIFICACIÓN

Las antenas inteligentes corresponden a una de las tecnologías más prometedoras en el campo de las radiocomunicaciones, facilitando radiar en una dirección deseada y permitiendo ajustes a los cambios de tráfico demandado.

El desarrollo de este proyecto contempla el diseño de una interfaz gráfica capaz de simular la variación del patrón de radiación, de una antena inteligente según la ubicación de un punto móvil en coordenadas polares.

[7] Introducción A La Tecnología De Antenas Inteligentes. Aplicación A UTMS [Internet] [consultado 13 de abril de 2010]. Disponible en http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/introduccion-tecnologia-antenas-inteligentes.pdf

Con esta investigación se aplicarán esencialmente conocimientos y teorías de informática, propagación, antenas y radiocomunicaciones. Con base en este proyecto se podrán desarrollar otros, que permitan su implementación y aplicabilidad en los diferentes sistemas de comunicaciones inalámbricas, tales como la Telefonía Móvil Celular.

2.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Objetivo general

Desarrollar un aplicativo que permita variar el patrón de radiación de una antena inteligente, según la posición de un punto determinado.

2.4.2. Objetivos específicos

- Analizar y describir el funcionamiento básico de las antenas inteligentes, orientados hacia la variación de su haz de radiación.
- Definir el algoritmo que permita la orientación del patrón de radiación hacia el objeto.
- Implementar los algoritmos desarrollados.
- Desarrollar la interfaz gráfica que permita la ubicación de un objeto y la orientación del patrón de radiación de la antena inteligente hacia el mismo.

2.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

2.5.1. Alcances

Este proyecto culminará con la entrega de un aplicativo del algoritmo desarrollado, que permita que el patrón de radiación se dirija hacia la posición determinada del objeto.

Se presentara un bosquejo de propuesta de implementación del sistema, que podría servir de referencia para futuros desarrollos.

2.5.2. Limitaciones

El algoritmo se diseñara teniendo en cuenta que el radio que indica la distancia al objeto sea constante.

El funcionamiento de la antena inteligente está limitado a la ubicación del objeto dentro de un rango de 0° a 180°.

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque de la investigación

Empírico-analítico, cuyo interés es el técnico, orientado a la interpretación y transformación del mundo material.

3.1.2. Definición de la estrategia de trabajo

Analizar y describir el funcionamiento básico de las antenas inteligentes. Implica investigar la característica básica de su aplicación; para este proyecto la capacidad de ubicar espacialmente un objeto móvil en tiempo real.

4. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/ SUB-LÍNEA DE FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

4.1 Líneas de investigación. Tecnologías actuales y sociedad

Conceptos generales: conocimientos técnicos de vanguardia que ayuden a la solución de problemas o faciliten los procesos de mejoramiento de la calidad de vida de las personas que pertenecen a un grupo social determinado.

Conocimientos implicados: es necesaria para el desarrollo de esta línea de investigación, la actualización constante de los conocimientos tecnológicos en diferentes áreas como informática, comunicaciones, control, etc., con el fin de poder efectuar las aplicaciones y adaptaciones requeridas en la solución de los problemas y en la satisfacción de las necesidades de la sociedad.

Resultados esperados: se espera con esta línea de investigación, mantener actualizados los conocimientos científicos y técnicos que permitan generar proyectos de calidad con enfoque social, lo cual a su vez mejora las relaciones entre la universidad y comunidad.

Recursos: los recursos para estructurar adecuadamente esta línea se basan principalmente en la actualización constante de los docentes, equipos, software, etc., con el fin de que la tecnología utilizada y/o desarrollada tenga completa vigencia con referencia a los requerimientos de la sociedad, en el tema específico.

4.1.2. Sub-línea de investigación

4.1.2.1. Sistemas de información y comunicación:
En el desarrollo de este proyecto se requiere profundizar sobre los conceptos y aplicaciones de las tecnologías informáticas radiocomunicaciones y antenas, debido a que la esencia de este trabajo es el desarrollo de un software que permita simular la variación del lóbulo de radiación de las antenas inteligentes hacia un objeto móvil en tiempo real. Así mismo, es indispensable conceptualizar sobre los sistemas de radio comunicación que permitan la interconexión entre la ERB y la móvil deseada. En la ERB es donde se generará los haces de radiación, a través de las antenas inteligentes, que harán el seguimiento a la móvil deseada.

4.1.2.2. Campos de investigación por programa
Los campos específicos de investigación que van a ser contemplados en el desarrollo de este proyecto son los siguientes: Tecnologías y aplicaciones móviles, desarrollo de software, análisis y tratamiento de datos y comunicaciones.

5. MARCO TEORICO-CONCEPTUAL

5.1. DIPOLO ELEMENTAL

En términos muy generales se puede considerar que un dipolo elemental es aquella estructura radiador de señales electromagnéticas (señales de radio), conformada por dos elementos conductores lineales, alimentados con polaridad inversa entre sí.[8]

5.1.1. Dipolo infinitesimal (l<<ʎ/50)

Para minimizar la complejidad de los cálculos matemáticos correspondientes a las características eléctricas y magnéticas de estos elementos, se suele empezar su estudio con un dipolo de longitud mucho menor que la *longitud de onda* de la corriente que pasa por él ($l \ll \lambda$), el cual no es práctico de implementar en la vida real, es ubicado en el origen de un sistema de coordenadas tridimensional, orientado a lo largo del eje z. de este dipolo se obtienen los siguientes modelos matemáticos:[9]

Campos radiados:

$$\boldsymbol{A(x,y,z) = \hat{a}_z \frac{\mu I_0}{4\pi r} e^{-jkr} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} dz' = \hat{a}_z \frac{\mu I_0 l}{4\pi r} e^{-jkr},}$$ vector de potencial (4.1.1-1)

Para el campo magnético:

$$\mathrm{H_r} = \mathrm{H_\theta} = 0 \qquad (4.1.1\text{-}2)$$

$$H_\phi = j \frac{kI_0 sin\theta}{4\pi r}\left[1 + \frac{1}{jkr}\right] e^{-jkr} \qquad (4.1.1\text{-}3)$$

Para el campo eléctrico:

$$E_r = \eta \frac{I_0 l cos\theta}{2\pi r^2}\left[1 + \frac{1}{jkr}\right] e^{-jkr} \qquad (4.1.1\text{-}4)$$

$$E_\theta = j\eta \frac{kI_0 l sin\theta}{4\pi r}\left[1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{(kr)^2}\right] e^{-jkr} \qquad (4.1.1\text{-}5)$$

$$\mathrm{E_\phi} = 0 \qquad (4.1.1\text{-}6)$$

Para la densidad de potencia radiada y la resistencia de radiación

$$P_{rad} = \left(\frac{\pi}{3}\right)\left|\frac{I_0 l}{\lambda}\right|^2 = \frac{1}{2}|I_0|^2 R_r \qquad (4.1.1\text{-}7)$$

[8] Ramirez Artunduaga. Jaime. Conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño. Bogotá: Editorial Bonaventuriana,2010. Cap.4. Pág.105

[9] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 p.133

$$R_r = \eta\left(\frac{2\pi}{3}\right)\left|\frac{l}{\lambda}\right|^2 = 80\pi^2\left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \qquad (4.1.1\text{-}8)$$

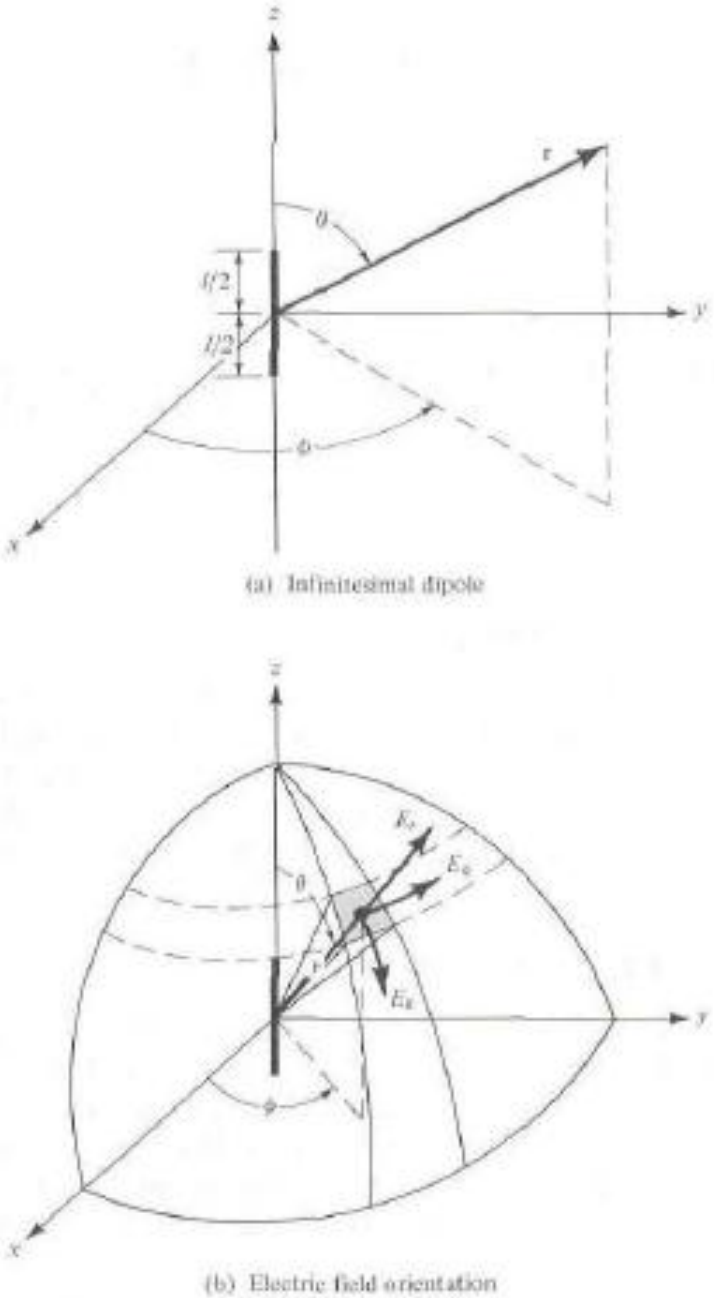


Figura 1. Dipolo Infinitesima[10]l

[10] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 p.134

Las ecuaciones para región cercana (kr<<1):

$$E_{r\cong} - j\eta \frac{I_0 l e^{-jkr}}{2\pi k r^3} cos\theta \qquad (4.1.1\text{-}9)$$

$$E_{\theta\cong} - j\eta \frac{I_0 l e^{-jkr}}{4\pi k r^3} sin\theta \qquad (4.1.1\text{-}10)$$

$$E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \qquad (4.1.1\text{-}10)$$

$$H_\phi \cong \frac{I_0 l e^{-jkr}}{2\pi k r^2} sin\theta \qquad (4.1.1\text{-}11)$$

Las ecuaciones para región intermedia (kr>1):

$$E_r \cong \eta \frac{I_0 l e^{-jkr}}{2\pi r^2} cos\theta \qquad (4.1.1\text{-}12)$$

$$E_\theta \cong j\eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} sin\theta \qquad (4.1.1\text{-}13)$$

$$E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \qquad (4.1.1\text{-}14)$$

$$H_\phi \cong \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} sin\theta \qquad (4.1.1\text{-}15)$$

Y las ecuaciones para región lejana (kr>>1):

$$E_\theta \cong j\eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} sin\theta \qquad (4.1.1\text{-}16)$$

$$E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \qquad (4.1.1\text{-}17)$$

$$H_\phi \cong j \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} sin\theta \qquad (4.1.1\text{-}18)$$

La directividad se expresa como

$$D_0 = 4\pi \frac{U_{max}}{P_{rad}} = \frac{3}{2} \qquad (4.1.1\text{-}19)$$

Donde Umax es:

$$U_{max} = \frac{\eta}{2}\left(\frac{k I_0 l}{4\pi}\right)^2 \qquad (4.1.1\text{-}20)$$

Y la máxima apertura efectiva es

$$A_{em} = \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right) D_0 = \frac{3\lambda^2}{8\pi} \qquad (4.1.1\text{-}21)$$

5.1.2. Dipolo pequeño[11]

El dipolo pequeño permite una mejor aproximación de la distribución de la corriente superficial, cuya longitud es ʎ/50<l≤ ʎ/10, dado que en el dipolo infinitesimal la distribución de esta corriente se considera constante, lo cual no es realizable.

De acuerdo a lo anterior la distribución de corriente superficial está dada por,

$$\mathbf{I}_e(x', y', z') = \begin{cases} \hat{a}_z I_0 \left(1 - \frac{2}{l} z'\right), 0 \le z' \le -l/2 \\ \hat{a}_z I_0 \left(1 + \frac{2}{l} z'\right), -l/2 \le z' \le 0 \end{cases} \qquad (4.1.2\text{-}1)$$

Luego, el vector de potencial se puede escribir usando

$$\mathbf{A}(\mathrm{x,y,z}) = \frac{\mu I_0}{4\pi r}\left[\hat{a}_z \int_{-\frac{l}{2}}^{\mathbf{0}} I_0 \left(1 + \frac{2}{l} z'\right) \frac{e^{-jkR}}{R}\, dz' + \hat{a}_z \int_{\mathbf{0}}^{\frac{l}{2}} I_0 \left(1 - \frac{2}{l} z'\right) \frac{e^{-jkR}}{R}\, dz' + \right] \qquad (4.1.2\text{-}2)$$

En general, el tamaño del dipolo es muy pequeño, los valores de R para diferentes valores de z' a lo largo de la longitud del cable no difieren mucho de r, asi que en la integración se puede aproximar R≈r.

$$\mathbf{A} = A\hat{a}_z = \hat{a}_z \frac{1}{2}\left[\frac{\mu I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r}\right] \qquad (4.1.2\text{-}3)$$

[11] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 p.143

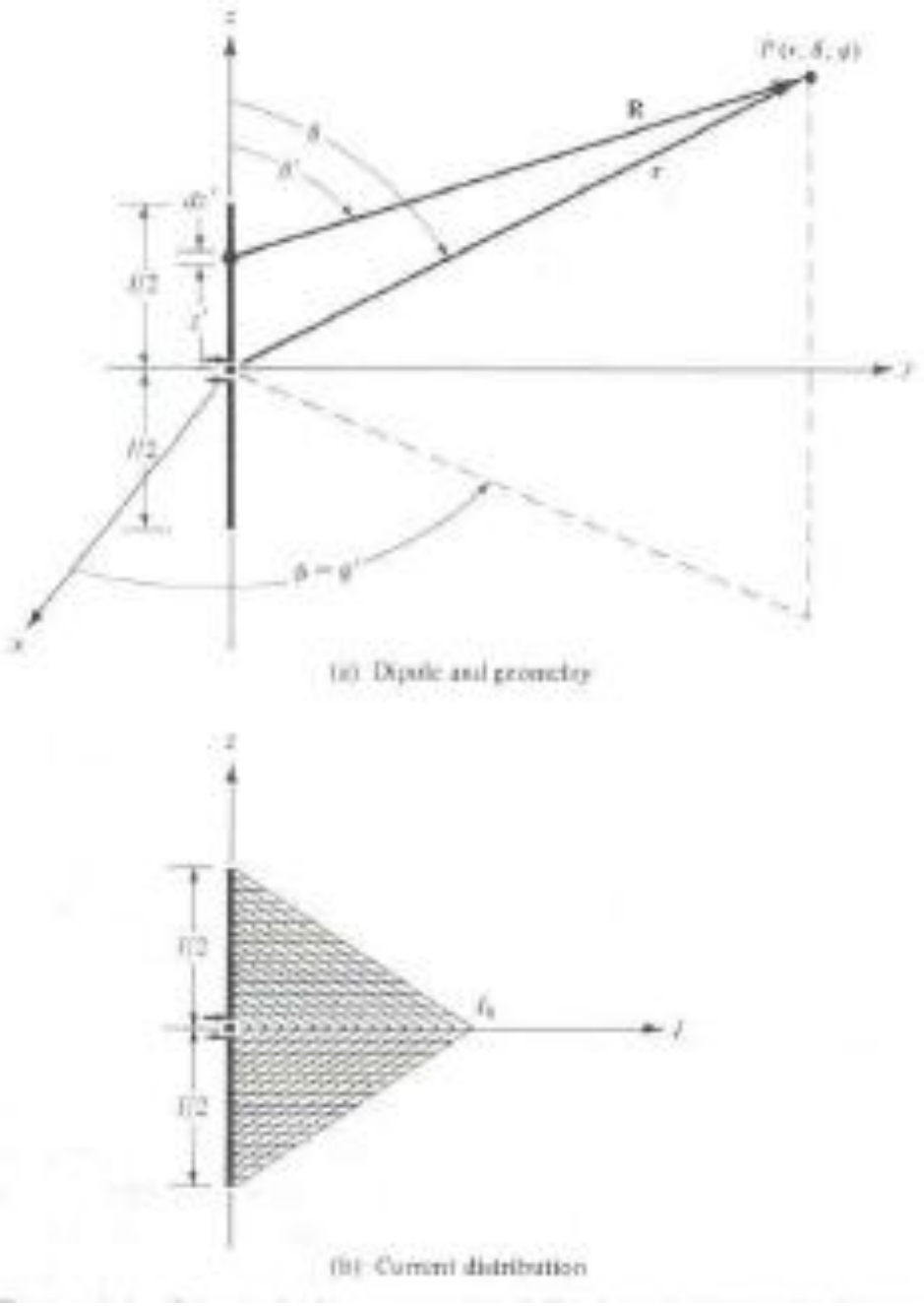


Figura 2.Dipolo Pequeño[12]

[12] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 p.143

Así, la ecuaciones que describen el campo radiado para kr>>1 quedan,

$$E_\theta \cong j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{8\pi r} sin\theta \qquad (4.1.2\text{-}4)$$

$$E_r \cong E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \qquad (4.1.2\text{-}5)$$

$$H_\phi \cong j \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{8\pi r} sin\theta \qquad (4.1.2\text{-}6)$$

5.1.3. Dipolo de Longitud Finita[13]

Como consecuencia de lo explicado anteriormente, se pueden analizar dipolos de cualquier longitud. Sin embargo, para reducir la complejidad matemática de los cálculos, se supone que el diámetro del dipolo a analizar es despreciable.

La distribución de corriente superficial, se escribe como

$$I_e(x'=0, y'=0, z') = \begin{cases} \hat{a}_z I_0 \sin\left[k\left(\frac{l}{2} - z'\right)\right], & 0 \le z' \le l/2 \\ \hat{a}_z I_0 sin\left[k(\frac{l}{2} + z')\right], & -l/2 \le z' \le 0 \end{cases} \qquad (4.1.3\text{-}1)$$

Esta distribución indica que la corriente desaparece en los puntos extremos, es decir, en z'=$\pm$l/2. *Experimentalmente se ha verificado que la corriente en una antena de alimentación central, presenta una forma sinusoidal, cuyos nulos se encuentran en los puntos finales.*

El dipolo de longitud finita se divide en partes infinitesimales de longitud $\Delta z'$, las cuales se aproximan a una longitud ***dz',*** por lo cual, un dipolo con esta longitud, ubicado a lo largo del eje z, tiene el siguiente campo magnético y eléctrico

$$dE_\theta \cong j\eta \frac{kI_e(x', y', z')e^{-jkR}}{4\pi R} \sin\theta \; dz' \qquad (4.1.3\text{-}2)$$

$$dE_r \cong dE_\phi = dH_r = dH_\theta = 0 \qquad (4.1.3\text{-}3)$$

$$dH_\phi \cong j\eta \frac{kI_e(x', y', z')e^{-jkR}}{4\pi R} \sin\theta \; dz' \qquad (4.1.3\text{-}4)$$

Donde las aproximaciones de campo lejano permiten expresar el campo eléctrico como

$$dE \approx j\eta \frac{kI_e\,(x'.y'.z'.)e^{-jkr}}{4\pi r} \sin(\theta)\, e^{+jkz'cos\theta} d \qquad (4.1.3\text{-}5)$$

[13] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 Cap. 4 Linear wire Antennas p.151

Luego, al reunir la contribución de todos los elementos del sistema se tiene que

$$\boldsymbol{E_\theta = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} dE_\theta = j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi r} sin\theta \left[\int_{-l/2}^{l/2} I_e(x', y', z') e^{-jkz' cos\theta} dz'\right]} \qquad (4.1.3\text{-}6)$$

En donde

$j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi r} sin\theta$ **,** es conocido como factor del elemento

$\int_{-l/2}^{l/2} I_e(x', y', z') e^{-jkz' cos\theta} dz'$ **,** es el factor espacial

Por lo tanto el campo total de un dipolo de longitud finita es igual al producto del factor espacial con el factor del elemento, lo cual es conocido como el patrón de multiplicación para fuentes distribución continua.

Por lo anterior la distribución de corriente se puede escribir como

$$E_\theta = j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi r} sin\theta \left\{\int_{-l/2}^{0} sin\left[k(\frac{l}{2} + z')\right] e^{-jkz' cos\theta} dz' + \int_{0}^{l/2} sin\left[k(\frac{l}{2} - z')\right] e^{jkz' cos\theta} dz'\right\}$$

Lo cual se reduce a

$$E_\theta \approx j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{cos\left(\frac{kl}{2} cos\theta\right) - cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin\theta}\right] \qquad (4.1.3\text{-}7)$$

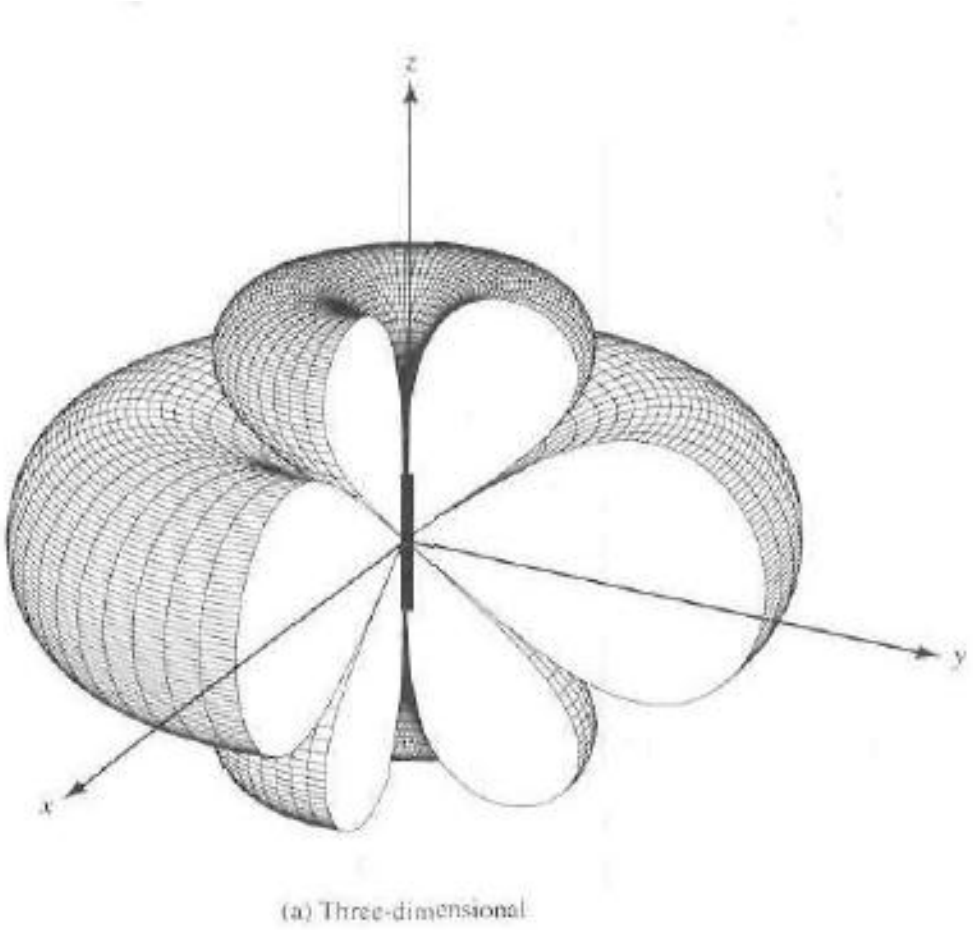


Figura 3. Patrón de radiación de un Dipolo[14]

Luego, usando la relación establecida entre el E_θ y $H_\emptyset$ para campo lejano, el campo magnético es

$$H_\emptyset \approx \frac{E_\theta}{\eta} \approx j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r}\left[\frac{cos\left(\frac{kl}{2}cos\theta\right) - cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin\theta}\right] \qquad (4.1.3\text{-}8)$$

[14] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 Cap. 4 Linear wire Antennas p.155

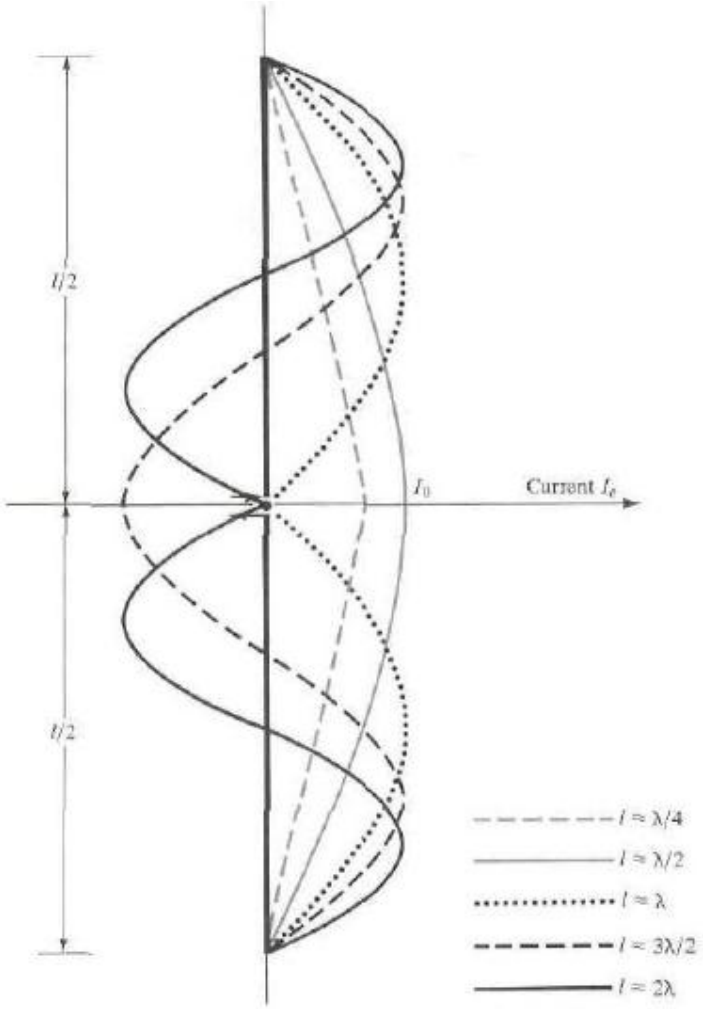


Figura 4.Distribución de Corriente a lo largo de un dipolo[15]

[15] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 Cap. 4 Linear wire Antennas p.156

5.1.4. Arreglo lineal de dipolos[16]

Los arreglos de antenas permiten mejorar ciertas características de la antena que, individualmente, en un solo elemento, implican cambiar alguna característica física o funcional de la antena.

Aumentar el tamaño de elementos individuales a menudo conduce a características más directivas. Otra forma de agrandar las dimensiones de la antena, sin por ello aumentar el tamaño de los elementos individuales, es la formación de montaje de elementos radiantes en arreglos de configuración geométrica o eléctrica. Esta nueva antena, formada por múltiples elementos, que se conoce como arreglo. En la mayoría de los casos, los elementos del arreglo son idénticos .dado que esto simplifica cálculos.

Figura 5.Arreglo de antenas receptoras (2x8 antenas Yagi) ubicadas en Paracas[17]

El campo total del arreglo está determinado por la suma vectorial de los campos radiados por los elementos individuales. Esto supone que la corriente en cada elemento es la misma que en del elemento aislado. Sin embargo, esto no suele ser el caso y depende de la separación entre los elementos. Para proporcionar patrones muy

[16] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 p.250
[17] http://jro.igp.gob.pe/newsletter/200702/news_IT.htm fecha 02/08/11 hora:12:00m

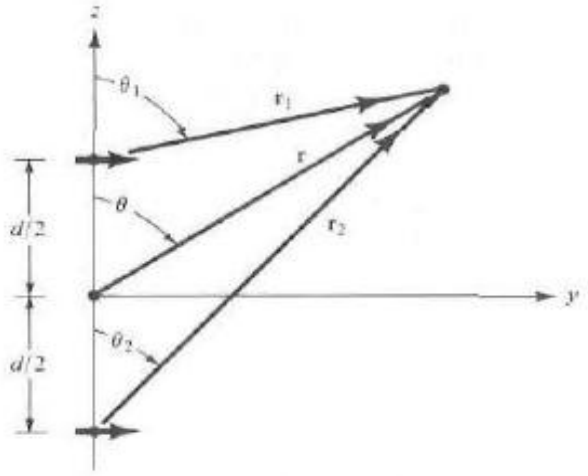
directivos, es necesario que los campos de los elementos del arreglo deben interferir constructivamente (añadir) en la dirección deseada e interfieren destructivamente (se anulan entre sí) en el espacio restante. En una serie de elementos idénticos, hay cinco procedimientos que se pueden utilizar para cambiar el patrón de radiación de la antena. Estos son:

1. Cambio de la configuración geométrica de todo el arreglo
2. Variación del distanciamiento entre los elementos
3. Cambio de la amplitud de excitación individual de cada elemento
4. Variación de la fase de excitación individual en cada elemento
5. Cambio del patrón de los elementos individuales

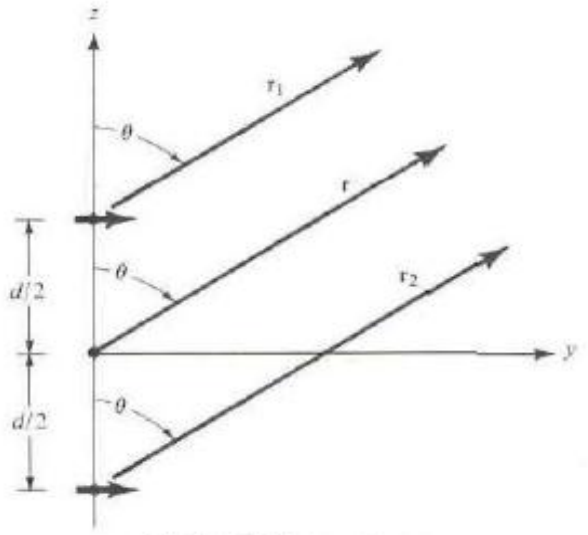
El análisis correspondiente de la interacción de los elementos de un arreglo de antenas permite deducir que el campo radiado por dicho arreglo es, indiferentemente del tipo de antena o de arreglo:

E(Total) **=** [**E**(elemento)] x [**Factor del Arreglo**]

Sin embargo esto solo aplica cuando todas las antenas del arreglo son idénticas.



(a) Two infinitesimal dipoles



(b) Far-field observations

Figura 6.Geometría de elementos posicionados en el eje z[18]

Adicionalmente, el Factor del Arreglo es una función que depende de:

- La cantidad de elementos en el arreglo.
- Distanciamiento de los elementos (Antenas).
- Su formación geométrica (es decir la forma como los elementos son ubicados, ya sea de manera lineal, circular, etc).
- La fase relativa de excitación de los elementos.

[18] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 p.251

- La magnitud relativa de los elementos.

5.1.4.1. Arreglo lineal de N-elementos[19]

Se asume que se tiene un arreglo de N elementos, con igual amplitud, pero con diferente fase de excitación para cada elemento, en donde esta diferencia de fase es progresiva.

Un arreglo donde todos los elementos son iguales del mismo modo que la amplitud y el espaciamiento, y cada elemento tiene una fase progresiva, siguiente a la anterior. El factor del arreglo se puede obtener considerando cada elemento como una fuente puntual.

$$AF = 1 + e^{+j(kdcos\,\theta\, +\beta)} + e^{+2(kdcos\theta+\beta)} + \cdots + e^{+N(kdcos\theta+\beta)} \qquad (4.1.4\text{-}1)$$

$$AF = \sum_{n=1}^{N} e^{j(n-1)(kdcos\theta+\,\beta)}$$

Que se puede escribir como

$$\boldsymbol{AF = \sum_{n=1}^{N} e^{j(n-1)\psi}}$$

Donde $\boldsymbol{\psi = kd\,cos\theta + \beta}$ (4.1.4-2)

Luego, el factor del arreglo es una suma de exponenciales que se pueden considerar como un vector suma de N fasores cada uno de amplitud y fase progresiva $\boldsymbol{\psi}$ respecto a la anterior. Así la amplitud y la fase del Factor del Arreglo en un arreglo uniforme de antenas se puede controlar mediante el angulo $\boldsymbol{\psi}$ relativo entre las antenas, aunque en un arreglo no uniforme la conformación del patrón de radiación se puede controlar mediante la amplitud y la fase de los elementos.

[19] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 p.257

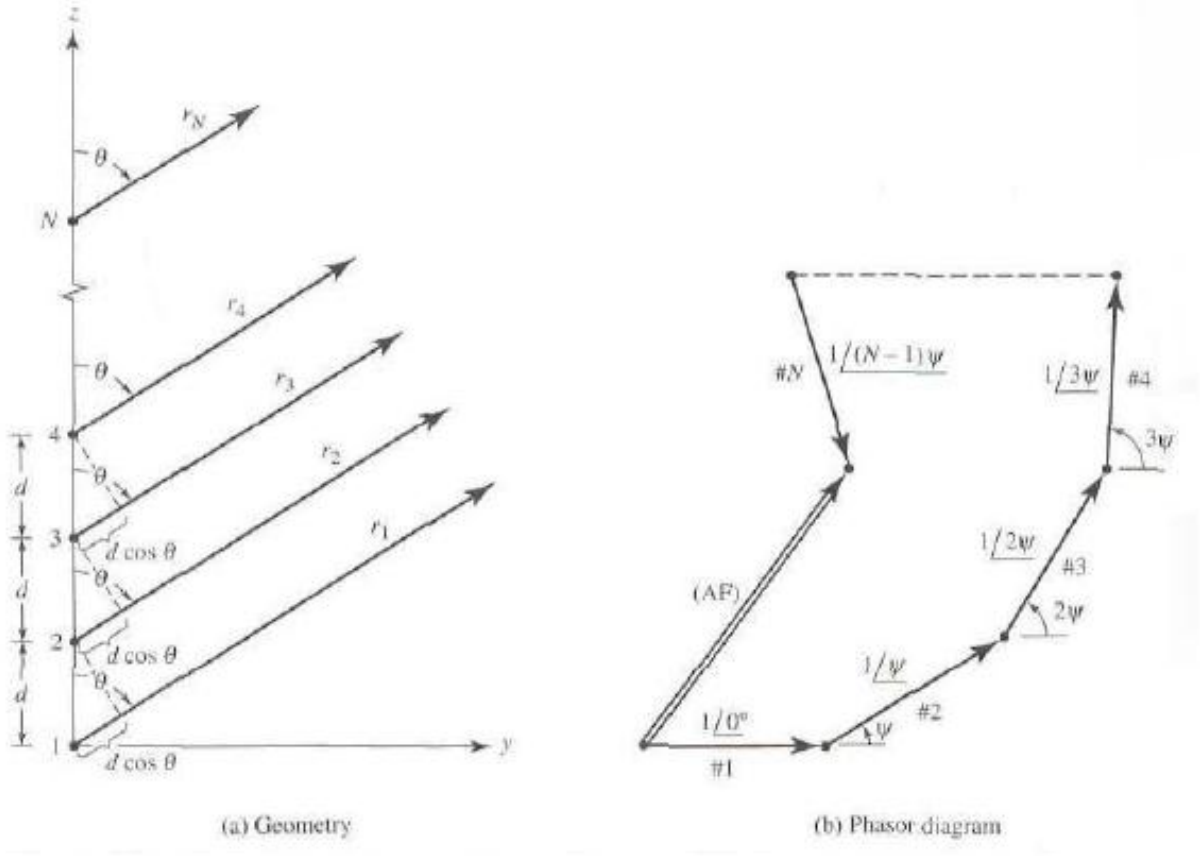


Figura 7.Diagrama de Fasores de campo lejano para N-elementos.[20]

El factor del arreglo se puede reducir, matemáticamente a

$$AF = e^{j\left[\frac{(N-1)}{2}\right]\psi}\left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)}\right] \qquad (4.1.4\text{-}3)$$

Para el centro físico del arreglo, la ecuación se reduce a:

$$\boldsymbol{AF} = \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)}\right] \qquad (4.1.4\text{-}4)$$

Y la forma normalizada para el factor del arreglo es:[21]

[20] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 pág. 258
[21] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 Apendice II

$$(\boldsymbol{AF})_{\boldsymbol{N}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{N}} \left[\frac{\mathbf{sin}\left(\frac{\boldsymbol{N}}{\mathbf{2}}\boldsymbol{\psi}\right)}{\mathbf{sin}\left(\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\boldsymbol{\psi}\right)} \right] \qquad (4.1.4\text{-}5)$$

5.1.4.1.1. Directividad máxima para un arreglo lineal[22]

La directividad máxima se define como

$$D_{max} = \frac{U_{max}}{P_{max}}$$

Y como $U = \frac{P_{rad}}{\Omega_B} = r^2 \wp_{rad}$, se puede decir que $U(\theta) = [(AF)_N]^2$ (4.1.4-6)

Y para ψ pequeños

$$(\boldsymbol{AF})_{\boldsymbol{N}} \approx \left[\frac{\mathbf{sin}\left(\frac{\boldsymbol{N}}{\mathbf{2}}\boldsymbol{\psi}\right)}{\frac{\boldsymbol{N}}{\mathbf{2}}\boldsymbol{\psi}} \right] \equiv \frac{\boldsymbol{Sin\, x}}{\boldsymbol{x}} \qquad (4.1.4\text{-}7)$$

El valor máximo de la función es de 1, por lo cual $[(AF)_N]_{max} = 1$, es decir $U_{max} = 1$ y como

$$P_{rad} = \oint_{\Omega_B} U d\Omega_B$$

Se tiene que

$$P_{rad} = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U sin\theta \; d\theta \; d\phi = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\frac{N}{2}\psi} \right]^2 sen\theta \; d\theta \; d\phi$$

Para β=0

[22] Ramirez Artunduaga. Jaime. Conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño. Bogotá: Editorial Bonaventuriana,2010. Cap. 6. Arreglo Lineal de Antenas. Pág. 174.

$$= \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2} kd\ cos\theta\right)}{\frac{N}{2} kd\ cos\theta} \right]^2 \ sen\theta\ d\theta\ d\phi$$

$$= \int_{\theta=0}^{\pi} \left\{ \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2} kd\ cos\theta\right)}{\frac{N}{2} kd\ cos\theta} \right]^2 \ sen\theta\ d\theta \right\} \phi\ |_0^{2\pi} \approx \frac{4\pi^2}{N\ k\ d}$$

Y al resolver se obtiene:

$$D_{max}|_{[AF]_N} = 4\pi\ \frac{1}{\frac{4\pi^2}{N\ k\ d}} = \frac{Nkd}{\pi} = \frac{N2\pi d}{\pi\lambda} = 2N\left(\frac{d}{\lambda}\right) \qquad (4.1.4\text{-}8)$$

La directividad del arreglo también se puede expresar en términos de la longitud del arreglo total L como:

$L = (N-1)d$ Entonces : $N = \frac{L}{d} + 1$

Por lo que se obtiene:

$$D_{max}|_{[AF]_N} = 2\left(\frac{L}{d} + 1\right)\left(\frac{d}{\lambda}\right)$$

$$\boldsymbol{D_{max}|_{[AF]_N} = 2\left(\frac{L+d}{\lambda}\right)}$$

5.1.4.2. Arreglo Broadside

En muchas aplicaciones es deseable tener el máximo de radiación de una serie dirigida perpendicularmente al eje de la matriz (costado, θ = 90 ° de la Figura 7). Para optimizar el diseño, los máximos de la elementos individuales y del factor de arreglo deben ser dirigidos hacia θ = 90 °. El requerimiento de los elementos individuales se puede realizar mediante la elección de los radiadores y los de la matriz del factor por separación y la excitación de los elementos individuales.

Refiriéndose a (4.1.4-5) el máximo de la serie se produce cuando

$$\psi = kd\cos\theta + \beta = 0$$

Puesto que se desea tener el máximo dirigido hacia θ = 90, luego

$$\boldsymbol{\psi = kd\cos\theta + \beta\,|_{\theta=90} = \beta = 0}$$

Para que se logre el máximo patrón de radiación del factor del arreglo, es necesario que todos los elementos tengan la misma fase de excitación. La separación entre los elementos puede ser de cualquier valor. Para asegurarse de que no hay máximos principales en otras direcciones, que se conocen como lóbulos de rejilla, la separación entre los elementos no deben ser iguales a múltiplos de la longitud de onda,

$$\lambda \neq n\lambda, n = 1,2,3 \ldots \qquad (4.1.4.2\text{-}1)$$

Cuando $\beta = 90°$ y el espaciamiento no cumple con la condición anterior se obtiene:

$$\psi = kd\cos\theta + \beta\,|_{\substack{d=n\lambda \\ \beta=0 \\ n=1,2,3}} = 2\pi n\,cos\,\theta = \pm 2\,n\,\pi$$

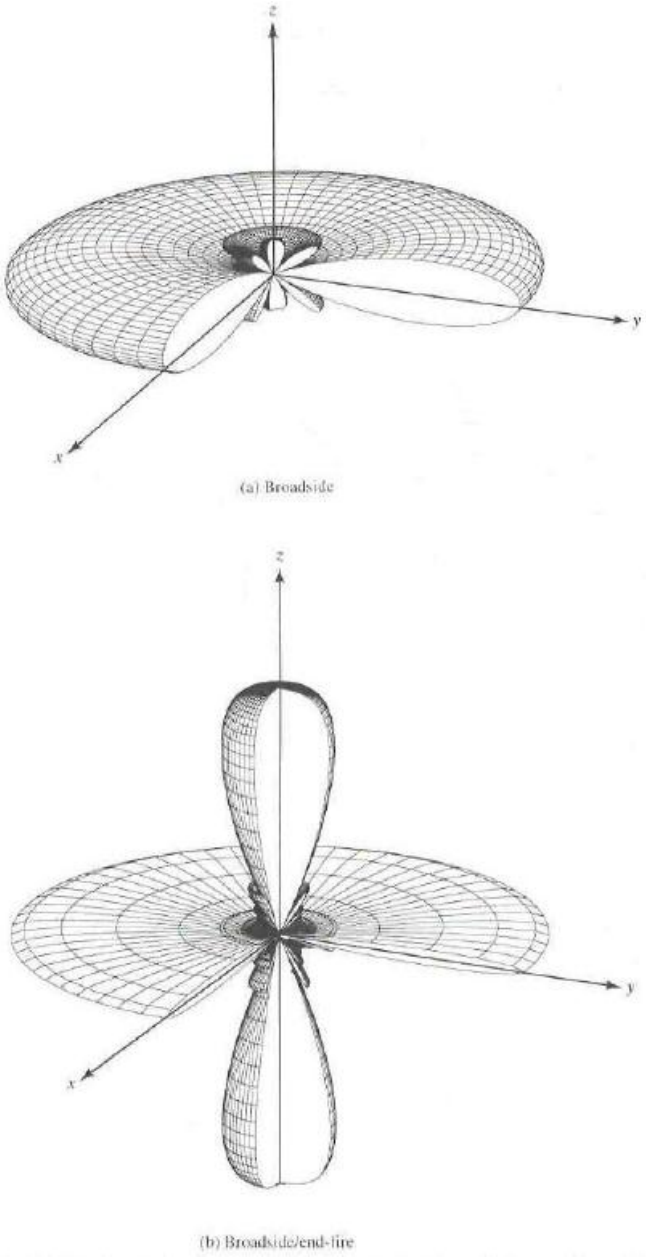


Figura 8.Patrón de radiación para un arreglo broadside.[23]

Este valor de psi cuando se sustituye en (4.1.4-5) hace al factor alcanzar su valor máximo. Así, para un arreglo uniforme con β = 0 y d = $n\lambda$, además de contar con el máximo del factor del arreglo dirigido (θ = 90 °) con respecto al eje del arreglo, hay otros máximos dirigido a lo largo del eje (θ = 0 °, 180 °) del arreglo (radiación end-fire).

[23] C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley,1997 pág. 263

Uno de los objetivos en muchos diseños es de evitar varios máximos, fuera del máximo principal, conocidos como lóbulos de rejilla. A menudo puede ser necesario seleccionar el mayor espacio entre los elementos, pero sin lóbulos de rejilla. Para evitar cualquier lóbulo rejilla de la mayor distancia entre los elementos debe ser inferior a una longitud de onda $(d_{max} = \lambda)$.

6. DESARROLLO INGENIERIL

6.1. Modelo matemático de un dipolo finito

Para conocer el patrón de radiación a utilizar en el arreglo, es necesario representar el patrón del elemento y el patrón del factor del arreglo, cuyo producto representará el patrón total del arreglo.

6.1.1. Representación del patrón del elemento

Parámetros como la constante de propagación “k”, longitud de onda “λ”, frecuencia de trabajo “f”, velocidad la luz ”c”, longitud eléctrica “l” deben inicializar con sus respectivas equivalencias:

*k=2*pi/ λ;*
f=2.4GHz;
c=3x10^8m/s^2;
l= λ/2;
λ=c/f;

Se genera un vector fila de n puntos linealmente espaciados y se asigna la ecuación de la intensidad de potencia radiada por un dipolo finito a una variable, para este caso la variable será “dp”, paso seguido se grafica en forma polar

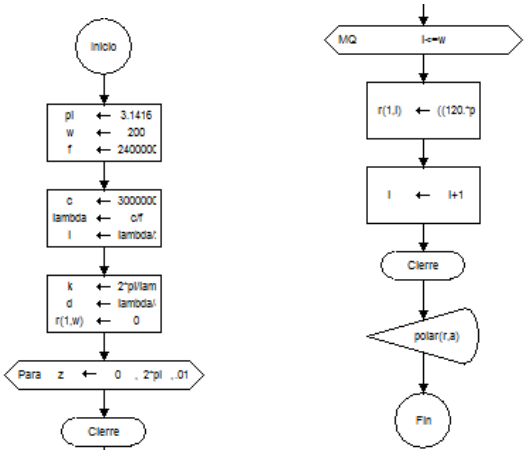


Diagrama 1.Diagrama de flujo gráfica polar de dipolo de λ/2

Con base en el diagrama 1 y la definición del dipolo finito, la implementación en matlab estará dada por el siguiente código.

```
clc;clear all;close all
f=2400000000;
% frec trabajo para wifi
c=300000000;
%vel. luz
lambda=c/f;
k=2*pi/lambda;
%constante propagacion
d=lambda/4;
%distancia entre los dipolos
l=lambda/2;
%longitud electrica del dipolo
w=200;
% muestras
z=linspace(0,2*pi,w);
g=linspace(0,pi,w);
i=1;
Dp(1,w)=0;
fase=0;

while  fase<=pi

Dp(i)=abs((120.*pi).*(1.^2./(8.*pi.^2)).*(cos(k.*l./2.*cos(z(1,i)))-
cos(k.*l./2))./sin(z(1,i))).^2;  %intensidad de potencia radiada
i=i+1;

figure (1)
clf
polar(z,Dp)

end
```

La representación en polar del patrón del elemento se puede apreciar en la Figura 9:

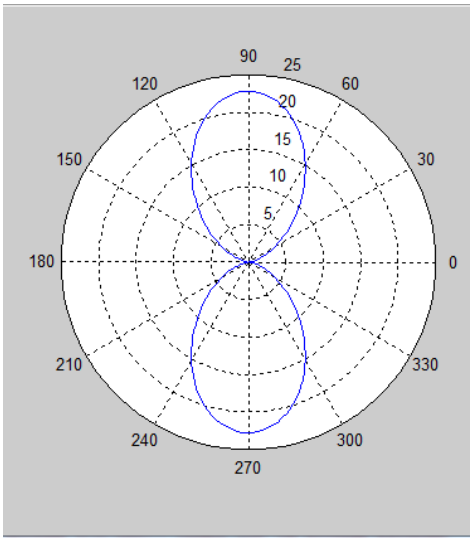


Figura 9.Patrón de radiación del elemento

Teniendo una perspectiva visual del comportamiento del patrón de radiación, se puede convolucionar con algunos arreglos lineales y evaluar el patrón total del mismo, con el fin de elegir el de mejor cobertura para la detección de un objeto en movimiento.

6.1.2. Arreglo lineal para N-elementos “$(FA)_N$”

Para definir el modelo del $(FA)_{N,}$ del arreglo lineal de N elementos, se tiene en cuenta el cumplimiento previo de las siguientes condiciones:

- Todos los elementos que conforman el arreglo deben ser idénticos.
- Todos los elementos deben estar orientados hacia la misma dirección.
- Todos los elementos deben tener igual magnitud de excitación.
- La separación entre los elementos “d” debe ser uniforme.
- Debe existir una fase relativa progresiva "Ψ" entre los elementos adyacentes.

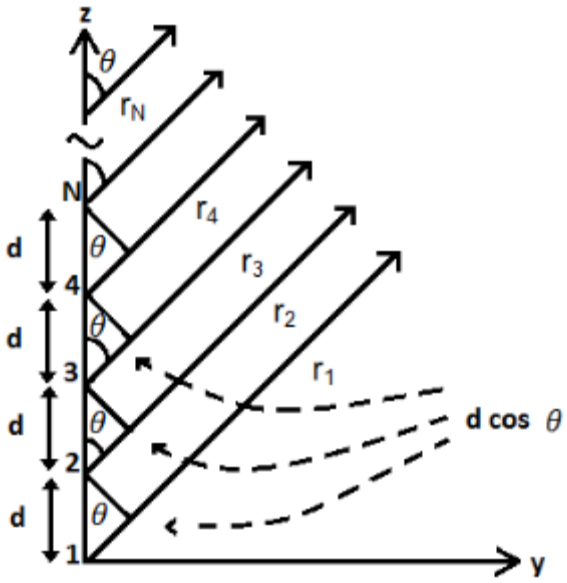


Figura 10.Diagrama de Fasores de un arreglo lineal de antenas.[24]

$$(FA)_N=\left[\frac{sen\left(\frac{N}{2}*\Psi\right)}{sen\left(\frac{1}{2}*\Psi\right)}\right]$$

Donde $\Psi_=(k*d*\cos(\theta)+\beta)$

$k*d*\cos(\theta)$ =desfase

β = fase progresiva de la alimentación

La inicialización de los parámetros y la asignación del patrón del elemento no sufren cambio alguno, pero la implementación del $(FA)_N$ para 10 elementos si requiere inicializar nuevos parámetros "Ψ", "β".

[24] Ramirez Artunduaga. Jaime. Conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño. Bogotá: Editorial Bonaventuriana,2010. Cap. 6. Arreglo Lineal de Antenas. Pág. 164.

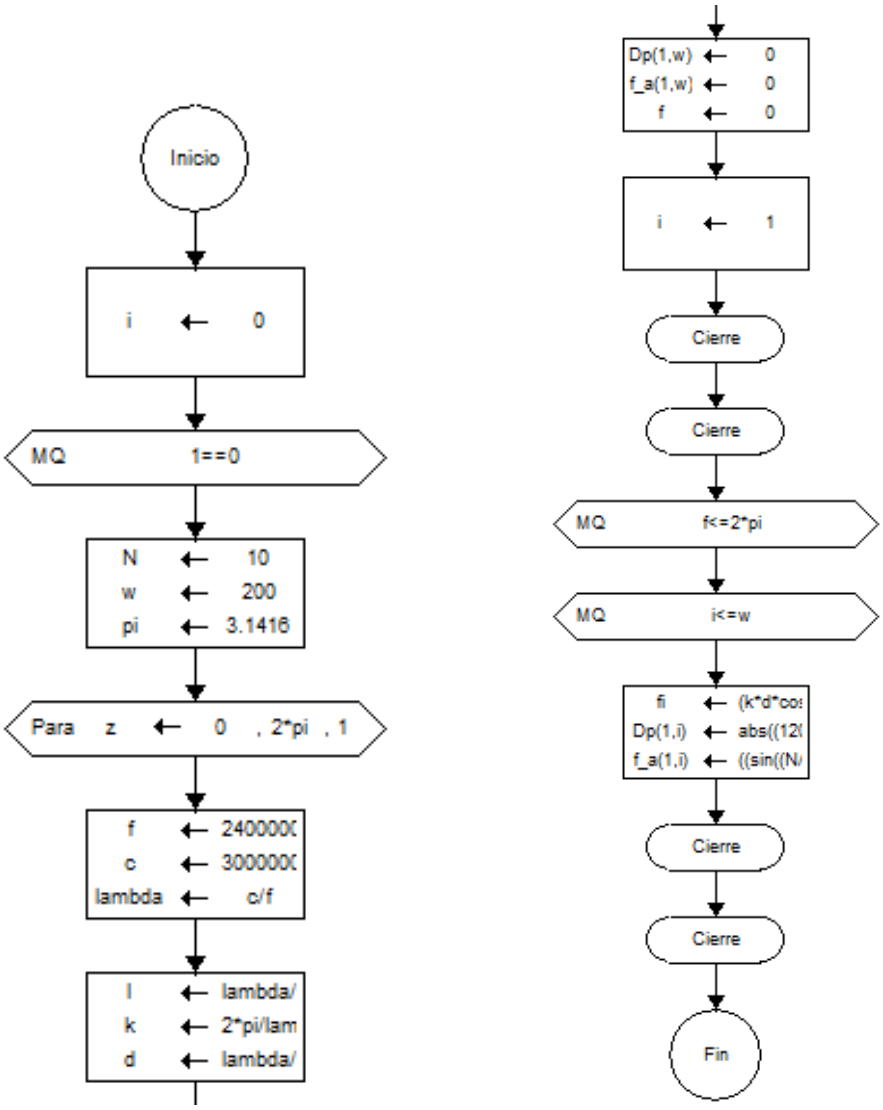


Diagrama 2.Diagrama de flujo de la inicialización de parámetros "Ψ", “β”.

En la implementación con matlab se asume que:

$\Psi = fi$; $\beta = f$; Esto por facilidad en la nomenclatura del código:

```
clc
clear all
close all;
i=0;
while i==0
    a=0;
    q=10;
    N=10;
```

```
    w=200;
    z=linspace(0,2*pi,w);
    f=2400000000;
    c=300000000;
    lambda=(c/f);
    l=(lambda/2);
    k=(2*pi)/(lambda);
    d=(lambda/2);
    Dp(1,w)=0;
    f_a(1,w)=0;
    a(1,w)=0;
    f=0;
    i=1;
end %inicialización de los parámetros
while f<=2*pi % corrimiento del lóbulo de radiación
    while i<=w, %se crean los vectores a graficar
        fi=(k*d*cos(z(1,i))+f);
        Dp(1,i)=abs((120.*pi).*(1.^2./(8.*pi.^2)).*(cos(k.*l./2.*cos(z(1,i)))-
cos(k.*l./2))./sin(z(1,i))).^2;
        f_a(1,i)=((sin((N/2)*(fi)))/((1/2)*fi));

  end

end
```

Es necesario crear una variable en la que quedarán guardados los datos de la misma, para este caso la variable se llamará “a”; una vez creada, se genera un contador en función de β para visualizar el comportamiento y corrimiento del arreglo. Paso a seguir se grafica en polar.

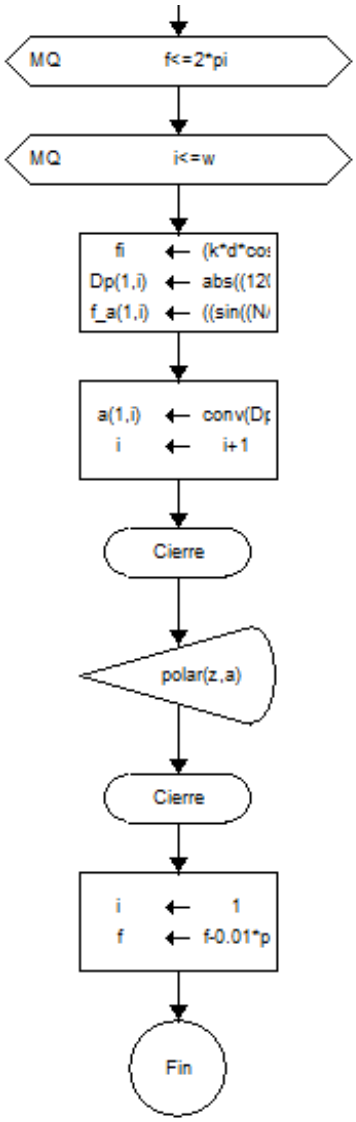


Diagrama 3. Diagrama de flujo de la convolución del patrón del elemento y el (FA)N

La implementación en matlab está dada por el siguiente código:

```
clc
clear all
close all;
i=0;
while i==0
    a=0;
    q=10;
    N=10;
    w=200;
    z=linspace(0,2*pi,w);
    f=2400000000;
```

```
    c=300000000;
    lambda=(c/f);
    l=(lambda/2);
    k=(2*pi)/(lambda);
    d=(lambda/2);
    Dp(1,w)=0;
    f_a(1,w)=0;
    a(1,w)=0;
    f=0;
    i=1;
end %inicializacion de los parametros
while f<=2*pi % corrimiento del lobulo de radiacion
    while i<=w, %se crean los vectores a graficar
        fi=(k*d*cos(z(1,i))+f);
        Dp(1,i)=abs((120.*pi).*(1.^2./(8.*pi.^2)).*(cos(k.*l./2.*cos(z(1,i)))-
cos(k.*l./2))./sin(z(1,i))).^2;
        f_a(1,i)=((sin((N/2)*(fi)))/((1/2)*fi));
        a(1,i)=conv(Dp(1,i),f_a(1,i));
        i=i+1;


    end
        figure (1);
        clf
        %hold on
        polar(z,a);%grafica convolucion
        grid on
        i=1;
        f=f-0.01*pi;


end
```

La representación gráfica inicial de la convolución en polar y rectangular se muestra a continuación (Figuras 11 a 14) cuando β=0, $\frac{\pi}{2}$, π,2 π.

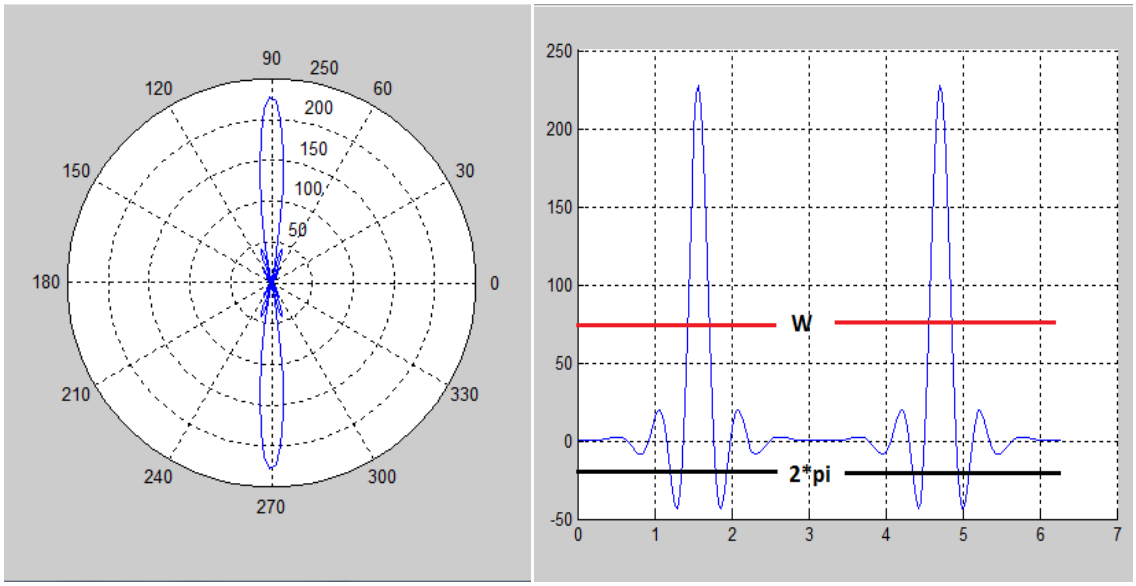


Figura 11.Convolución del patrón del elemento con (FA)N y β=0

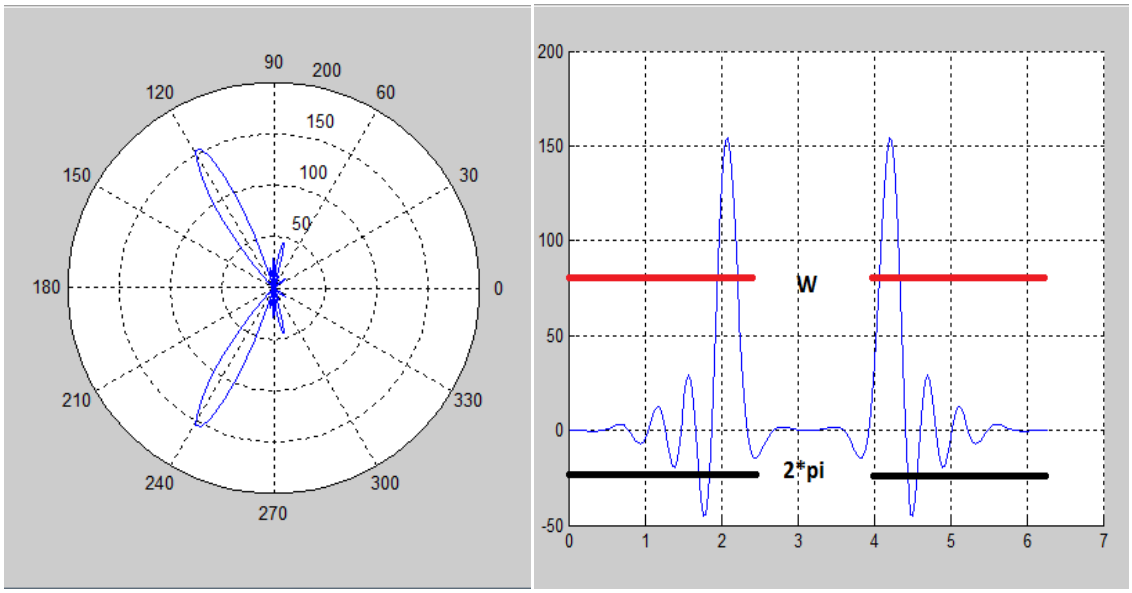


Figura 12.Convolución del patrón del elemento con (FA)N y β=.π/2

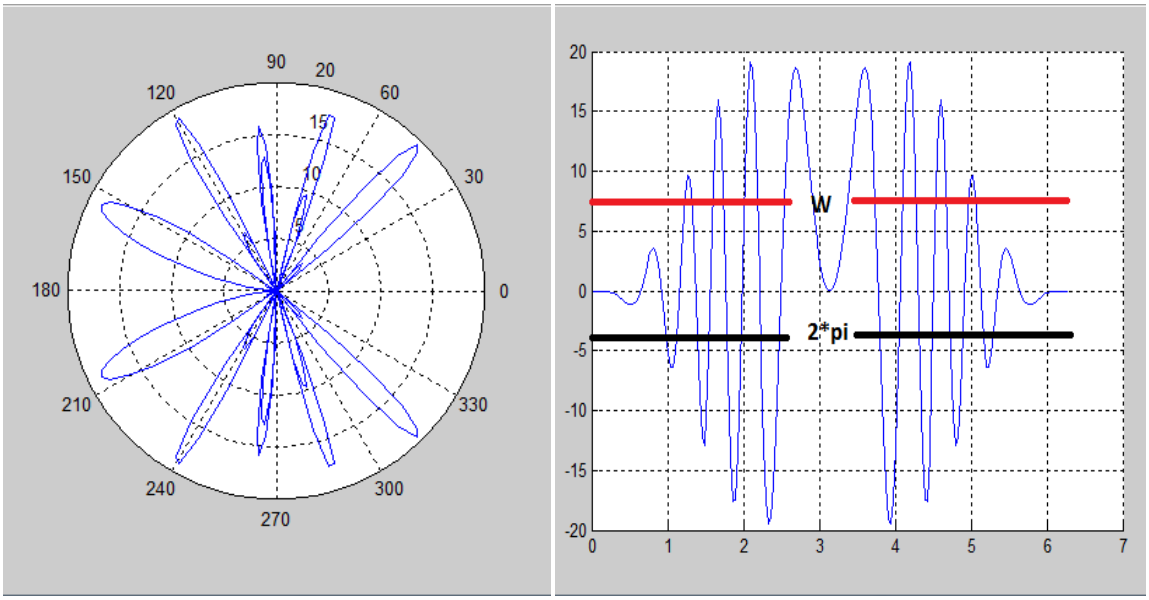


Figura 13.Convolución del patrón del elemento con (FA)N y β= π

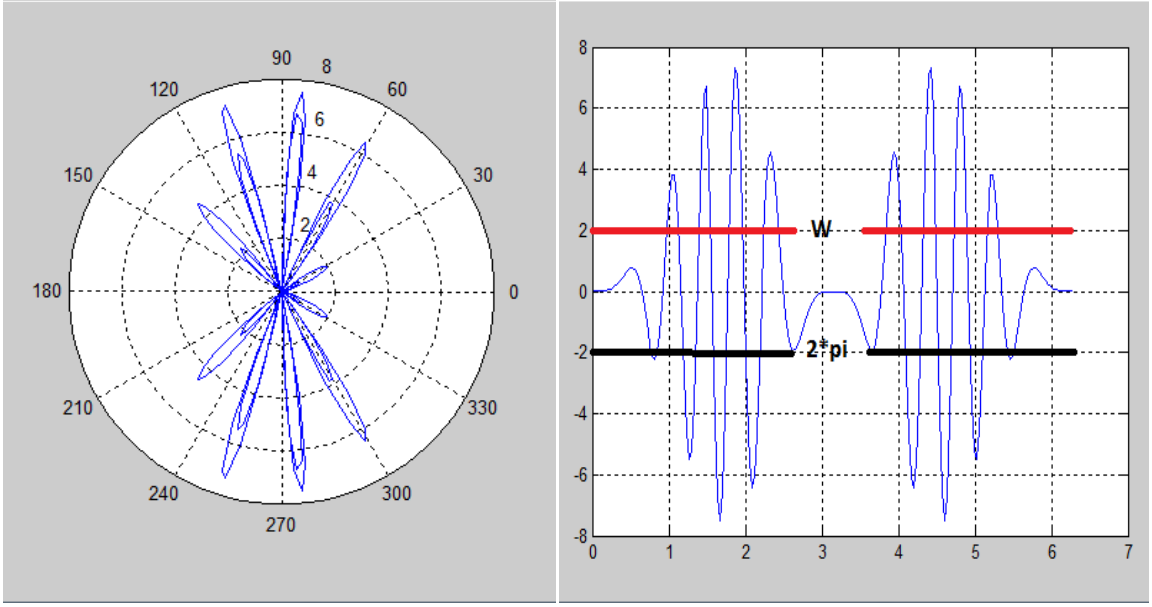


Figura 14.Convolución del patrón del elemento con (FA)N y β=2 π

6.1.2.1. Reconocimiento de un punto estático por el patrón del arreglo

Antes de programar un punto en movimiento, es necesario analizar la gráfica rectangular de la Convolución.

En la representación del patrón del elemento se generó un vector de 200 puntos “w” linealmente espaciados de cero a 2π tal como lo muestra la figura 2, al dividir el número de muestras sobre 2π tenemos los máximos que puede tomar la Convolución.

Como $2\pi = 6.2$

W/6=33.3

Para efectos de programación el punto máximo será a(33) y su reflejada a(33*4), por ahora se programará un punto sin movimiento en una posición asignada dentro de la convolución, con el fin de reconocerlo al momento que entra y salga de la cobertura de la antena, generando unas condiciones en función del máximo punto de la convolución.

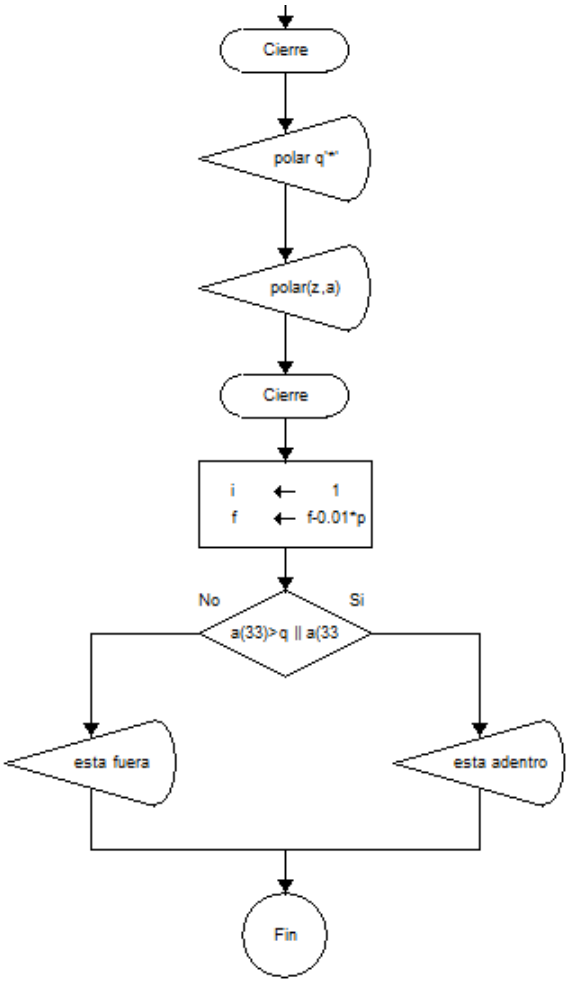


Diagrama 4. Diagrama de flujo de un punto en una posición asignada dentro de la convolución del patrón del elemento y el (FA)N

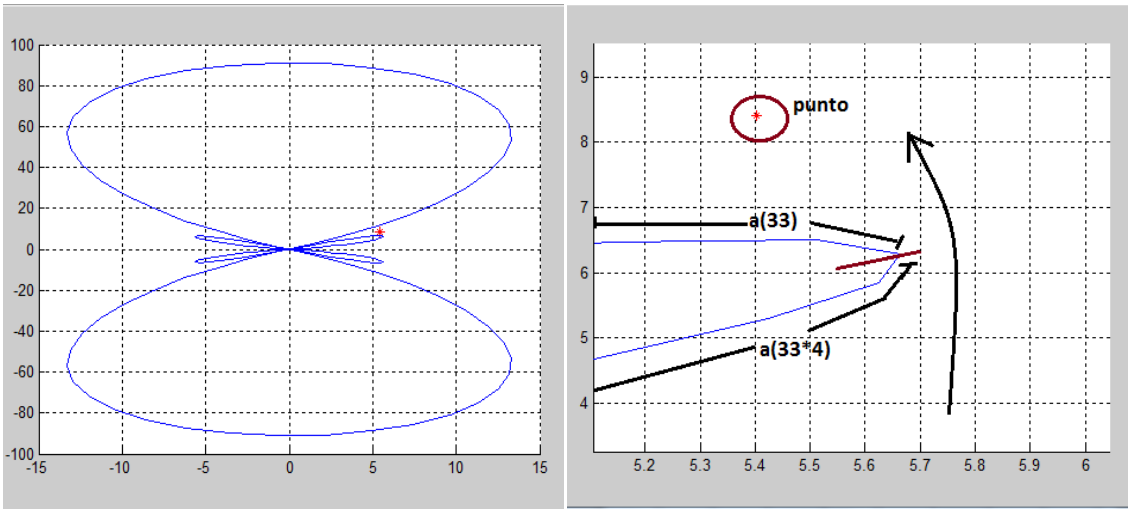


Figura 15.Convolución de 4 elementos detectando la posición de un punto.

La figura 7 muestra dos gráficas, en la parte izquierda se encuentra el patrón total de 4 elementos (*facilita la visualización del punto*) de la convolución entre el patrón del elemento y el $(FA)_N$ con un punto estático, en la parte derecha se observa el zoom del punto junto con uno de los lóbulos.

Para entender la dinámica del reconocimiento del punto por parte del lóbulo, es necesario identificar donde comienza los lóbulos principales a(33) y donde terminan a(33*4),teniendo en cuenta que la flecha indica el sentido en el que se mueve el lóbulo, la restricción para la detección del punto está dada por:

```
if    a(33)>q || a(33*4)<-q
          disp('esta adentro')
      else
          disp('esta afuera')
      end
```

Así se garantiza que cualquier lóbulo que pase por el punto reconozca cuando está dentro y fuera del mismo. La implementación total en matlab es:

```
clc
clear all
close all;
i=0;
while i==0
    a=0;
    q=10;
    N=4;
    w=200;
    z=linspace(0,2*pi,w);
    f=2400000000;
```

```
    c=300000000;
    lambda=(c/f);
    l=(lambda/2);
    k=(2*pi)/(lambda);
    d=(lambda/2);
    Dp(1,w)=0;
    f_a(1,w)=0;
    a(1,w)=0;
    f=0;
    i=1;
end %inicializacion de los parametros
while f<=2*pi % corrimiento del lobulo de radiacion
    while i<=w, %se crean los vectores a graficar
        fi=(k*d*cos(z(1,i))+f);
        Dp(1,i)=abs((120.*pi).*(1.^2./(8.*pi.^2)).*(cos(k.*l./2.*cos(z(1,i)))-
cos(k.*l./2))./sin(z(1,i))).^2;
        f_a(1,i)=((sin((N/2)*(fi)))/((1/2)*fi));
        a(1,i)=conv(Dp(1,i),f_a(1,i));
        i=i+1;


    end
        figure (1);
        clf
        hold on
        polar(q,'* r')
        polar(z,a);%grafica convolucion
        grid on
        i=1;
        f=f-0.01*pi;

        if   a(33)>q || a(33*4)<-q
         disp('esta adentro')
     else
         disp('esta afuera')
     end

    %pause
end
```

6.1.2.3. Fijación del patrón de radiación del arreglo

La variación del $(FA)_N$ debe ser capaz de reconocer un punto y al mismo tiempo garantizar que este no salga de la cobertura del mismo, esto se logra con una serie de restricciones y evaluando los posibles casos de detección.

Comienza la variación del $(FA)_N$

```
if (a(33)<q || a(33*4)>-q) && b==0 %esta afuera la primera vez
%         disp('esta afuera uno')
         fase=fase+0.01*pi;
    end
```

Esta fuera por primera vez y no encuentra el punto, por ende sigue incrementando su paso, este estado se guarda en una variable “b==0”.

```
if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==0 %entra la primera vez
%         fase=fase+0.01*pi;
         b=1;
    end
```

Entra por primera vez el punto, por ende llama a estado “b==1”

```
if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==1
%         disp('esta adentro uno')
         fase=fase+0.01*pi;
         b=2;
    end
```

Como está dentro continua con el incremento y llama al estado “b==2”

```
if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==2 %
%         fase=fase+0.01*pi;
         b=3;
    end
```

No sufre cambio alguno en el incremento, llama a estado “b==3”

```
if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==3 %
%         disp('esta adentro dos')
         fase=fase+0.01*pi;
    end
```

Aquí la parte inferior del lóbulo hace contacto con el punto, sigue incrementando y no llama ningún estado.

```
if (a(33)<q && a(33*4)>-q) && b==3 %esta afuera y debe regresar
         fase=fase-0.01*pi;
         b=4;
    end
```

Como siguió el incremento el punto sale del lóbulo, tan pronto sale decremento y llama a estado “b==4”.

```
if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==4 %esta afuera y debe regresar
%          disp('esta adentro tres')
          fase=fase-0.01*pi;
     end
```

El punto vuelve a entrar al lóbulo

```
if (a(33)<q && a(33*4)>-q) && b==4 %esta afuera y debe regresar
%         disp('esta afuera tres')
          fase=fase+0.01*pi;
          b=2;
     end
```

Cuando el punto sale del lóbulo, reinicio desde “b==2”

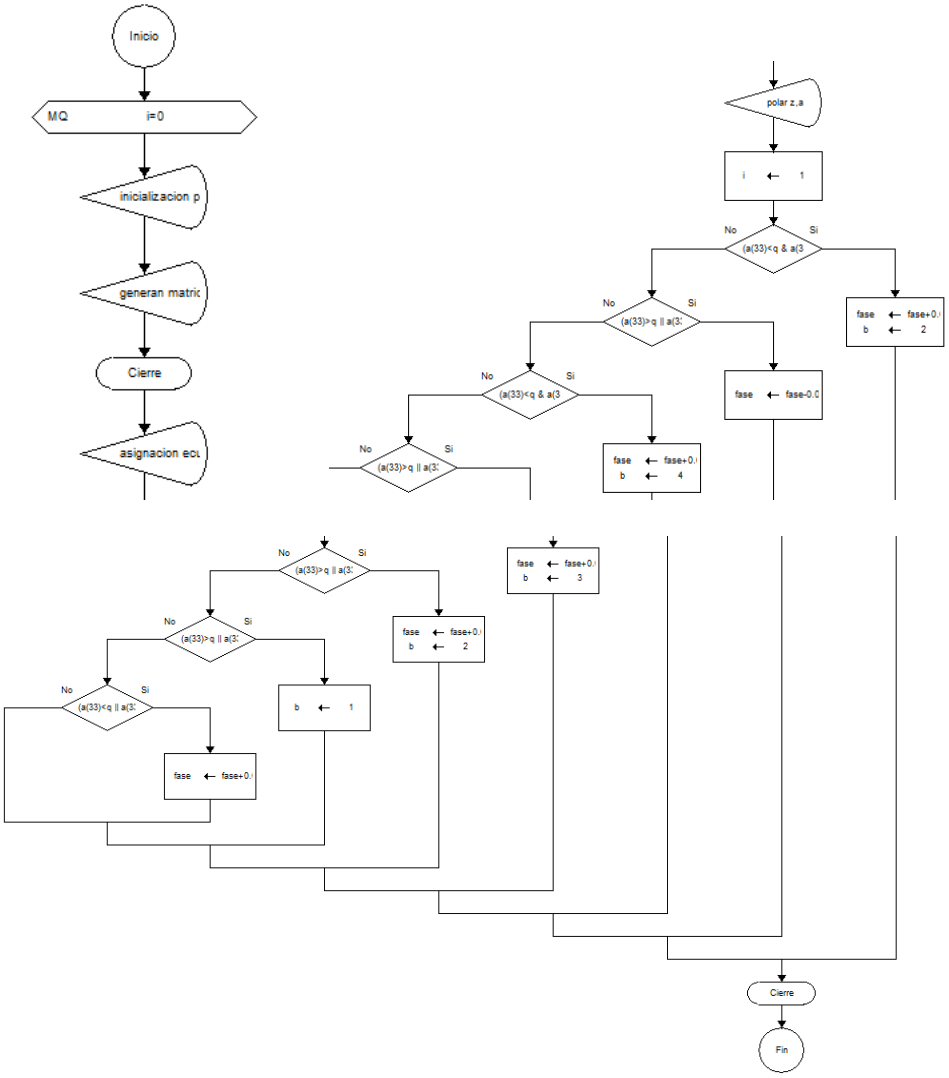


Diagrama 5. Diagrama de flujo de la fijación del patrón de radiación del arreglo

La implementación completa en matlab es:

```
clc
clear all
close all;
i=0;
b=0;
q=-1;
while i==0
    a=1;
    N=2;
    w=200;
    z=linspace(0,2*pi,w);
    f=289000000;
    c=300000000;
    lambda=(c/f);
    l=(lambda/2);
    k=(2*pi)/(lambda);
    d=(lambda/2);
    r(1,w)=0;% se genera una matriz de w espacios de ceros para agilizar la
grafica
    f_a(1,w)=0;
    f_aa(1,w)=0;
    a(1,w)=0;
    s=2;
    t=30;
    fase=0;
    i=1;
end %inicializacion de parametros
while fase<=2*pi
    while i<=w, %se crean los vectores a graficar
        fi=(k*d*cos(z(1,i))+fase);
        r(1,i)=(120*pi)*((1)^2/(8*(pi)^2))*(cos((((k*l/2)*cos(z(1,i)))-
cos(k*l/2))/sin(z(1,i))))^2;
        f_a(1,i)=((sin((N/2)*(fi)))/((1/2)*fi));
        a(1,i)=conv(f_a(1,i),r(1,i));
        i=i+1;

    end
    figure (1);
    clf
    hold on
    polar(q,'*')
    polar(z,a);%grafica convolucion
    grid on
    i=1;

    if (a(33)<q && a(33*4)>-q) && b==4 %esta afuera y debe regresar
%        disp('esta afuera tres')
        fase=fase+0.01*pi;
```

```
        b=2;
    end

    if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==4 %esta afuera y debe regresar
%         disp('esta adentro tres')
         fase=fase-0.01*pi;
     end

    if (a(33)<q && a(33*4)>-q) && b==3 %esta afuera y debe regresar
        fase=fase-0.01*pi;
        b=4;
    end

    if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==3 %
%         disp('esta adentro dos')
        fase=fase+0.01*pi;
    end

    if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==2 %
       fase=fase+0.01*pi;
        b=3;
    end

    if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==1
%         disp('esta adentro uno')
        fase=fase+0.01*pi;
        b=2;
    end

    if (a(33)>q || a(33*4)<-q) && b==0 %entra la primera vez
%         fase=fase+0.01*pi;
        b=1;
    end

    if (a(33)<q || a(33*4)>-q) && b==0 %esta afuera la primera vez
%         disp('esta afuera uno')
        fase=fase+0.01*pi;
    end
 %pause


end
```

6.1.2.4. Fijación de un punto móvil por el patrón de radiación del arreglo.

La implementación de un punto móvil requiere inicializar dos variables, para este caso las variables son **“dir”**, cambia de estado a medida que el punto llega a su destino y

“giro”, incrementa y decrementa n pasos la posición del punto. A continuación se evalúan las dos posibilidades que puede tener el punto

1. Si el punto comienza desde 0 hasta 17:

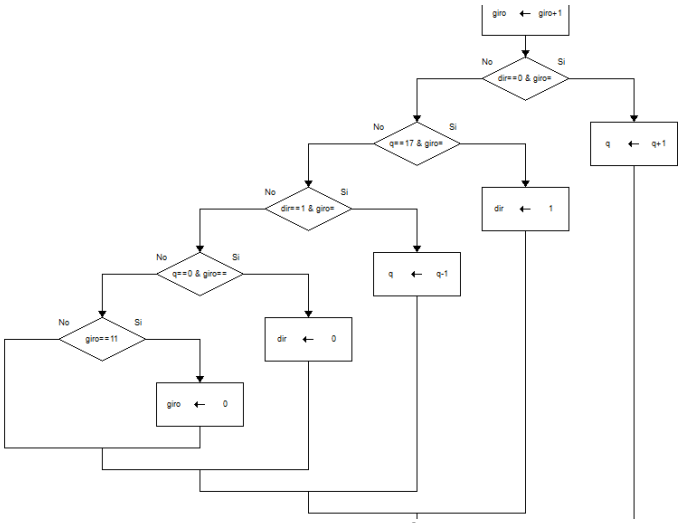


Diagrama 6. Diagrama de punto móvil para valores positivos.

```
giro=giro+1;
```

Se garantiza un incremento de 1 por cada paso, en la inicialización del parámetro se tiene que `giro=0;`

```
if dir==0 && giro==100;
    q=q+1;
end
```

El incremento se compara con la restricción del parámetro, para este caso giro==100, quiere decir que entre mas grande sea giro mas lento se moverá el punto; ahora si el estado de dir==0, es decir que el punto esta en el origen, la posición del punto “q” incrementa 1 paso.

```
if q==17 && giro==100;
    dir=1;
end
```

Cuando el punto llega a su máximo alcance, “dir” cambia de estado a dir==1

```
if dir==1 && giro==100;
    q=q-1;
end
```

Al reconocer el cambio de estado de “dir”, “q” decrementa para volver a su origen.

```
if q==0 && giro==100;
    dir=0;
end
```

El punto llega al origen, “dir” vuelve a su estado inicial

```
if giro==110;
    giro=0;
end
```

Cuando giro es mayor cambia a estado inicial, esta para garantizar que el punto en el primer movimiento que tenga, siga con el mismo y no pare.

2. Si el punto comienza desde cero hasta -17

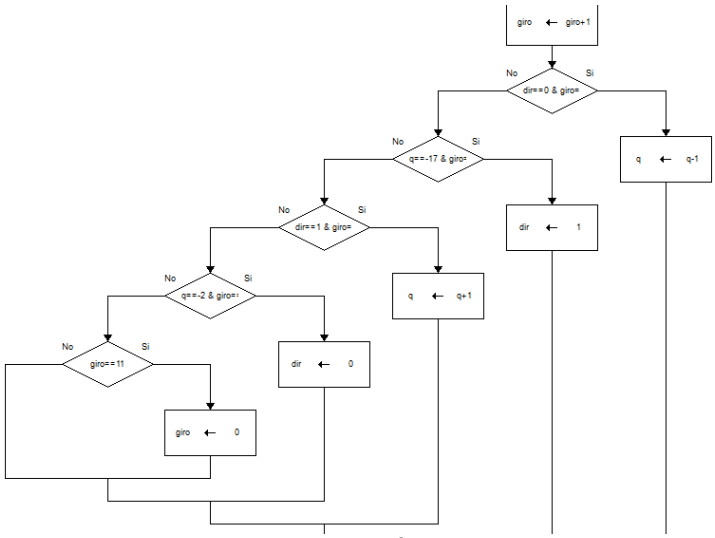


Diagrama 7.Diagrama de punto móvil para valores negativos.

```
giro=giro+1;
```

se garantiza un decremento de 1 por cada paso, en la inicialización del parámetro se tiene que `giro=0;`

```
if dir==0 && giro==100;
q=q-1;
end
```

Se compara con la restricción del parámetro, para este caso giro==100, quiere decir que entre más grande sea giro más lento se moverá el punto; ahora si el estado de

dir==0, es decir que el punto está en el origen, la posición del punto “q” decrementa 1 paso.

```
if q==-17 && giro==10;
dir=1;
end
```

Cuando el punto llega a su máximo alcance, “dir” cambia de estado a dir==1

```
if dir==1 && giro==10;
q=q+1;
end
```

Al reconocer el cambio de estado de “dir”, “q” incrementa para volver a su origen.

```
if q==-2 && giro==10;
dir=0;
end
```

El punto llega al origen, “dir” vuelve a su estado inicial

```
if giro==11
giro=0;
end
```

Cuando giro es mayor cambia a estado inicial, esta para garantizar que el punto en el primer movimiento que tenga, siga con el mismo y no pare.

Una vez implementado el punto móvil, las restricciones que se utilizan para la fijación del punto, son las mismas del numeral **6.1.2.3;** para el caso en que el punto toma valores negativos las igualdades de las restricciones cambian de sentido y su comportamiento es el mismo. A continuación se muestra la implementación en matlab cuando el punto toma valores negativos para observar el cambio de las igualdades.

```
    if ((a(33)<q && a(33*4)>-q) || (a(66)<q)) && b==4 %esta afuera y debe
regresar
       disp('esta afuera tres')
        Fase=Fase+0.02*pi;
        b=2;
    end

    if ((a(33)>q || a(33*4)<-q) || (a(66)>q)) && b==4 %esta afuera y debe
regresar
        disp('esta adentro tres')
         Fase=Fase-0.01*pi;
     end
```

```
    if ((a(33)<q && a(33*4)>-q) || (a(66)<q)) && b==3 %esta afuera y debe
regresar
         Fase=Fase-0.01*pi;
         b=4;
    end

    if ((a(33)>q || a(33*4)<-q) || (a(66)>q)) && b==3 %
       disp('esta adentro dos')
         Fase=Fase+0.01*pi;
    end

    if ((a(33)>q || a(33*4)<-q) || (a(66)>q)) && b==2 %
       Fase=Fase+0.01*pi;
         b=3;
    end

    if ((a(33)>q || a(33*4)<-q) || (a(66)>q)) && b==1
       disp('esta adentro uno')
         Fase=Fase+0.01*pi;
         b=2;
    end

    if ((a(33)>q || a(33*4)<-q) || (a(66)>q)) && b==0 %entra la primera vez
       Fase=Fase+0.01*pi;
         b=1;
    end

    if ((a(33)<q || a(33*4)>-q) || (a(66)<q)) && b==0 %esta afuera la primera
vez
       disp('esta afuera uno')
         Fase=Fase+0.01*pi;
    end


end
```

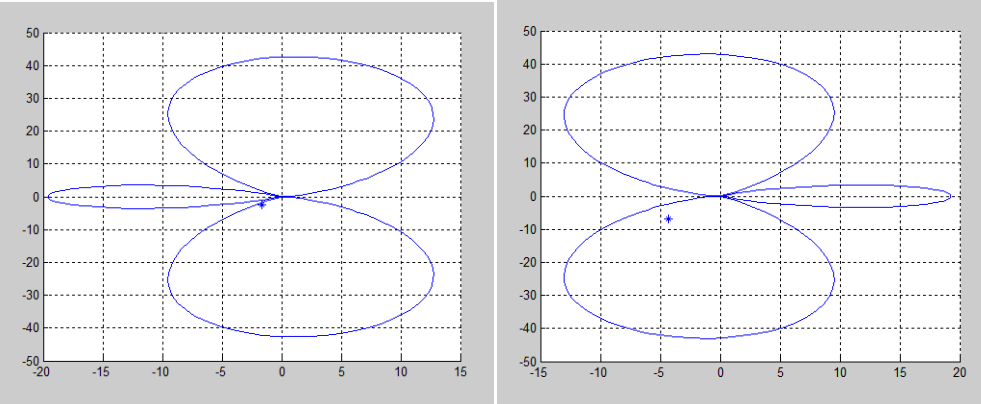


Figura 16.a.Fijación de un punto móvil por el patrón de radiación del arreglo.

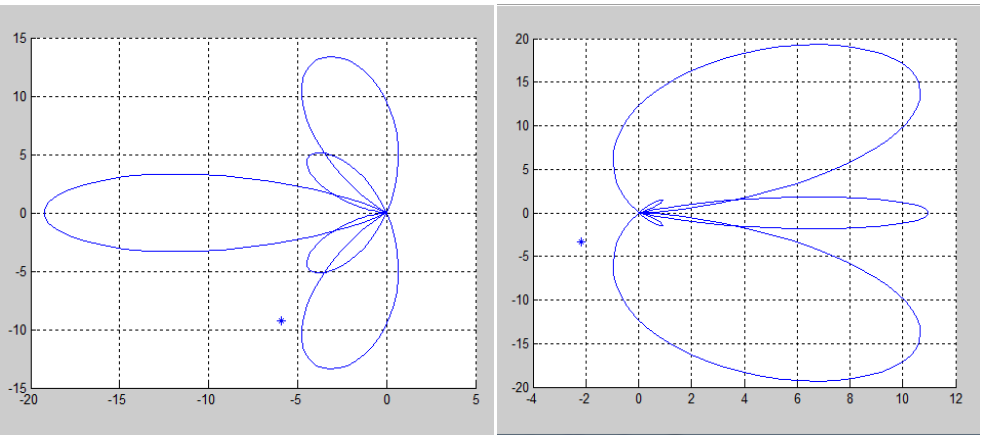


Figura 16.b. Fijación de un punto móvil por el patrón de radiación del arreglo.

Observaciones

- Al ejecutar el programa, el patrón del arreglo no alcanza a ubicar el punto, lo reconoce en el momento que este regresa al origen.
- El patrón del arreglo varía según el movimiento que presenta el punto.
- No se logran cancelar los lóbulos secundarios, es decir que este arreglo no es altamente directivo al momento de rastrear y detectar el punto.
- El punto presenta movimiento sobre un cuadrante, en el momento que el patrón del arreglo pierde la directividad respecto al punto, este no será capaz de reconocerlo nuevamente.

6.1.3. Phased Array

Se inicializan los parámetros del elemento junto con el del factor del arreglo cuya equivalencia es:

f_a=(sin((N)/(2).*(psi)))/(((1)/(2)).*(psi));

donde:

psi= cos[1/2*(k*d* cos θ+β)];

β= fase de excitación de los elementos

β=(-k)*d*cos(θ);

N=cantidad de elementos

Se genera un vector fila de n puntos linealmente espaciados y se asigna la ecuación del factor de arreglo para n dipolos finitos a una variable, para este caso la variable será f_a, el parámetro β se comporta como un ángulo que al variar cambia el patrón de radiación del elemento, paso a seguir se grafica en forma polar.

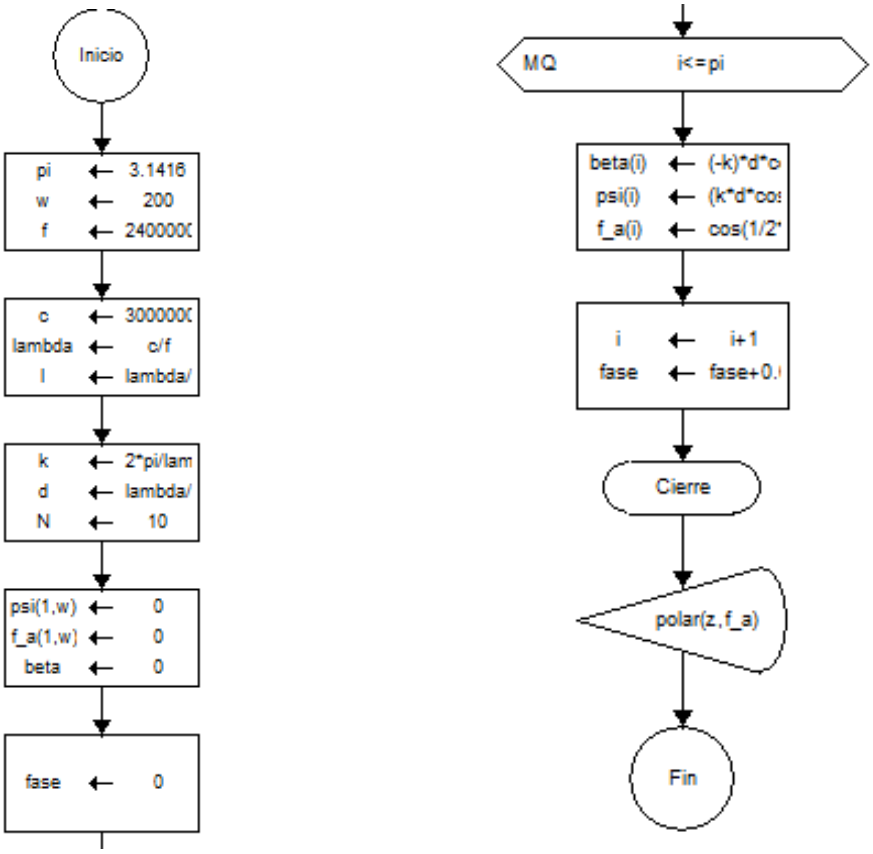


Diagrama 8. Diagrama de flujo gráfica polar del Phase Array para 10 elementos.

Con base en el diagrama 8 y la definición del phase array para n elementos, la implementación en matlab estará dada por el siguiente código.

```
clc;clear all;close all
f=2400000000;
% frec trabajo para wifi
c=300000000;
%vel. luz
lambda=c/f;
k=2*pi/lambda;
%constante propagacion
d=lambda/4;
%distancia entre los dipolos
l=lambda/2;
%longitud electrica del dipolo
w=200;
% muestras
z=linspace(0,2*pi,w);
g=linspace(0,pi,w);
i=1;
N=10;
%elementos (antenas)
psi(1,w)=0;
Dp(1,w)=0;
f_a(1,w)=0;
beta=0;
fase=0;

while  fase<=pi
beta=(-k)*d*cos(fase);
psi(i)=(k*d*cos(g(1,i))+beta);
f_a(i)=(sin((N)/(2).*(psi)))/(((1)/(2)).*(psi));
i=i+1;
fase=fase+0.015708

figure (1)
clf
polar(z,f_a);

end
```

La representación en polar de factor del arreglo es:

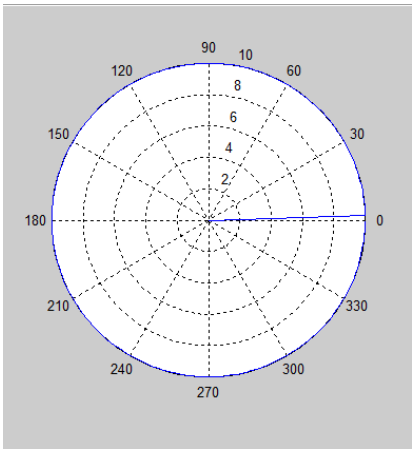


Figura 17.Patrón de radiación del Phase Array

6.1.3.1. Representación del patrón total del arreglo

Se inicializan los parámetros del elemento, phased array y el patrón total del arreglo cuya equivalencia es el producto entre el patrón del elemento “Dp” y el phase array “f_a”.

Se genera un vector fila de n puntos linealmente espaciados y se asigna la ecuación del patrón total del arreglo a una variable, para este caso la variable será “a”. El producto entre el patrón del elemento y el patrón del arreglo se guarda en “a” como una convolución. Paso a seguir se grafica en forma polar.

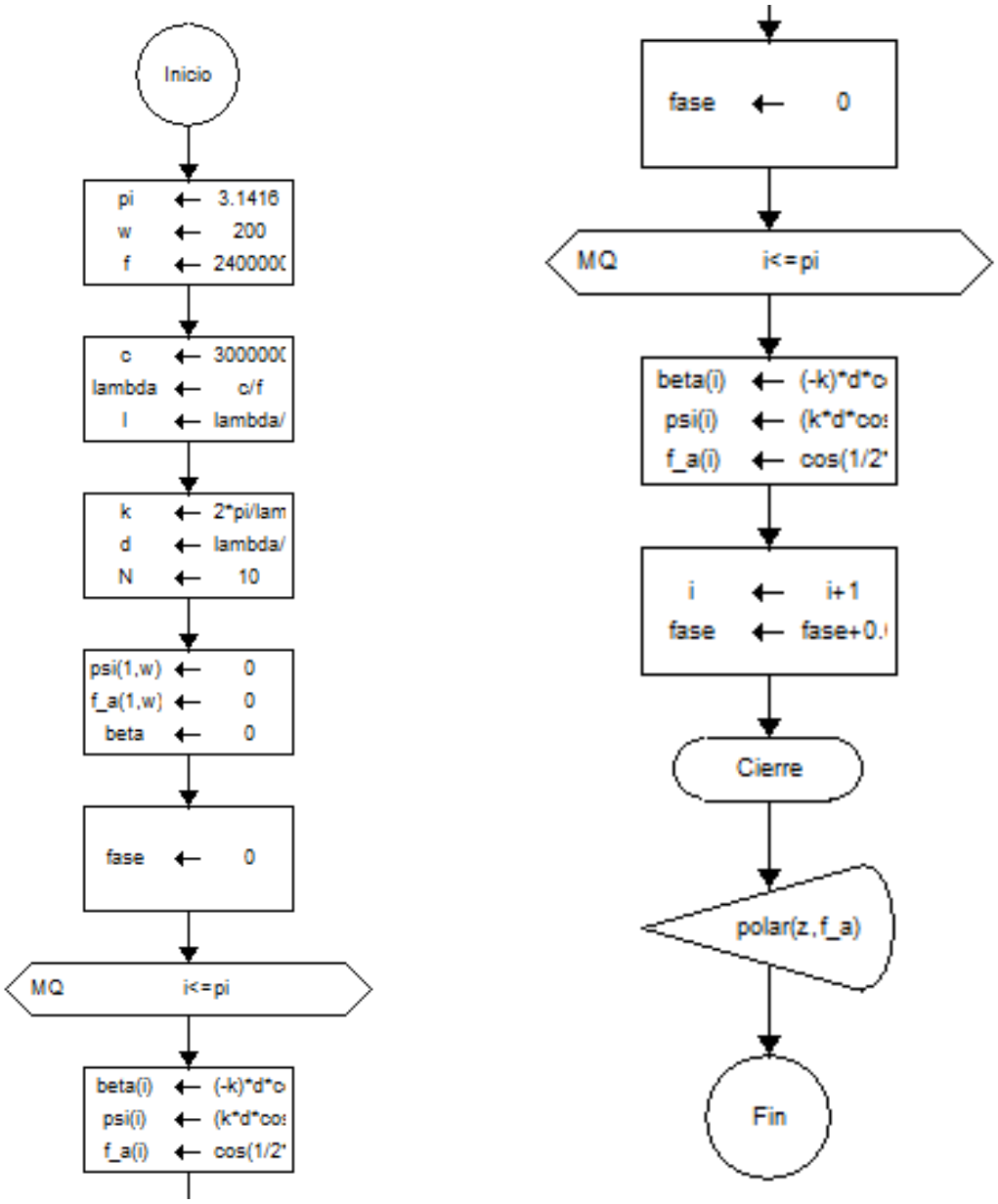


Diagrama 9. Diagrama de flujo del patrón tota del arreglo**.**

Con base en el diagrama 3, la definición del factor del arreglo para n elementos, dipolo finito, la implementación en matlab de la convolución estará dada por el siguiente código.

```
clc;clear all;close all
f=2400000000;
% frec trabajo para wifi
```

```
c=300000000;
%vel. luz
lambda=c/f;
k=2*pi/lambda;
%constante propagacion
d=lambda/4;
%distancia entre los dipolos
l=lambda/2;
%longitud electrica del dipolo
w=200;
% muestras
z=linspace(0,2*pi,w);
g=linspace(0,pi,w);
i=1;
N=10;
%elementos (antenas)
a(1,w)=0;
psi(1,w)=0;
Dp(1,w)=0;
f_a(1,w)=0;
beta=0;
fase=0;

while  fase<=pi
beta=(-k)*d*cos(fase);
psi(i)=(k*d*cos(g(1,i))+beta);
Dp(i)=abs((120.*pi).*(1.^2./(8.*pi.^2)).*(cos(k.*l./2.*cos(g(1,i)))-
cos(k.*l./2))./sin(g(1,i))).^2;  %intensidad de potencia radiada
f_a(i)=(sin((N)/(2).*(psi)))/(((1)/(2)).*(psi));
a(i)=conv(Dp(1,i),f_a(1,i));
i=i+1;
fase=fase+0.015708

figure (1)
clf
polar(z,a);

end
```

La representación en polar del patrón total del arreglo es:

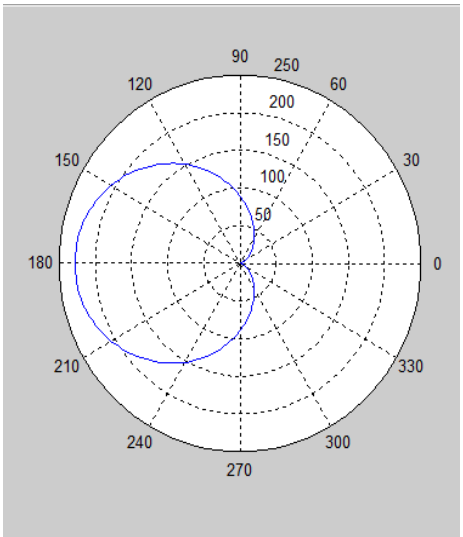


Figura 18.Patrón total del arreglo.

6.1.3.2. Representación del patrón total del arreglo en 3D

La inicialización y asignación de los parámetros del patrón total del arreglo no sufren cambio alguno pero, se transforma el dominio especificado por los vectores en dos matrices [X,Y] que se pueden utilizar para evaluar las funciones de dos variables y gráficos en tres dimensiones.

Las filas de la salida de la matriz serán [X] son copias del vector (x).

Las columnas de la matriz [Y] son copias del vector (y).

Realizada la convolución, se transforman los elementos correspondientes de las matrices de coordenadas esféricas a cartesianas donde [X Y Z] son las coordenadas, [PH TH a] son los desplazamientos angulares en radianes desde el eje x positivo y desde el plano x y respectivamente. Paso a seguir se grafica en 3D.

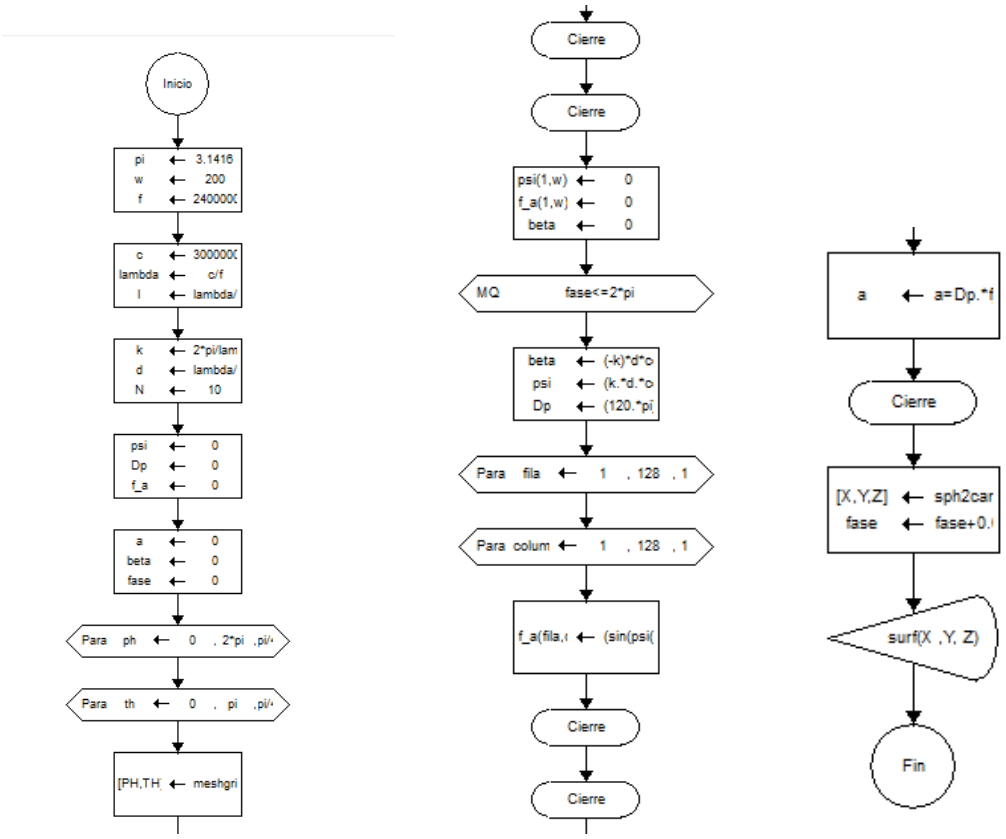


Diagrama 10: Diagrama de flujo del patrón tota del arreglo 3D.

Con base a los conceptos explicados previamente, la implementación en matlab del patrón total del arreglo en 3D es:

```
clc;clear all;close all
f=2400000000;
% frec trabajo para wifi
c=300000000;
%vel. Luz
lambda=c/f;
k=2*pi/lambda;
%constante 67ós67trica67n
d=lambda/4;
%distancia entre los dipolos
l=lambda/2;
%longitud 67ós67trica del dipolo
w=200;
% muestras
ph=(0:pi/400:1)*2*pi;
%fi
th=(0:pi/400:1)*pi;
%theta
```

```
[PH,TH]=meshgrid(ph,th);
i=1;
N=10;
%elementos (antenas)
psi=0;
Dp=0;
f_a=0;
a=0;
beta=0;
fase=0;
%rango donde se quiere que varíe el lóbulo


while fase<=2*68ó
    beta=(-k)*d*68ós(fase);
    psi=(k.*d.*cos(TH)+beta);
    Dp=(120.*pi).*(1.^2./(8.*pi.^2)).*(cos(k.*l./2.*cos(TH))-
cos(k.*l./2))./sin(TH).^2;  %intensidad de potencia radiada
    for fila=1:128
        for colum=1:128
        f_a(fila,colum)=(sin(psi(fila,colum)*N/2))/(sin(psi(fila,colum)/2));
        end
    end
    a=Dp.*f_a;
    figure (1)
    [X,Y,Z]=sph2cart(PH,TH,a);

    fase=fase+0.02455

    E=surf(X,Y,Z);

end
```

La representación del patrón total del arreglo 3D es:

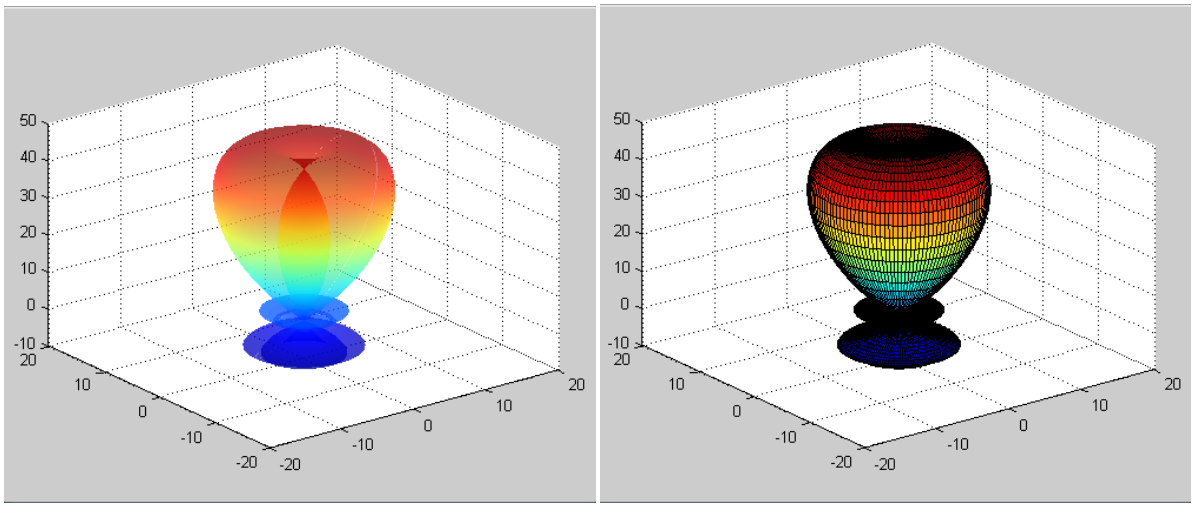


Figura 19.Patrón total del arreglo 3D.

Implementando el arreglo de barrido de fase en polar junto con un programa que simula el movimiento de un objeto tenemos las siguientes gráficas para la trayectoria de este último.

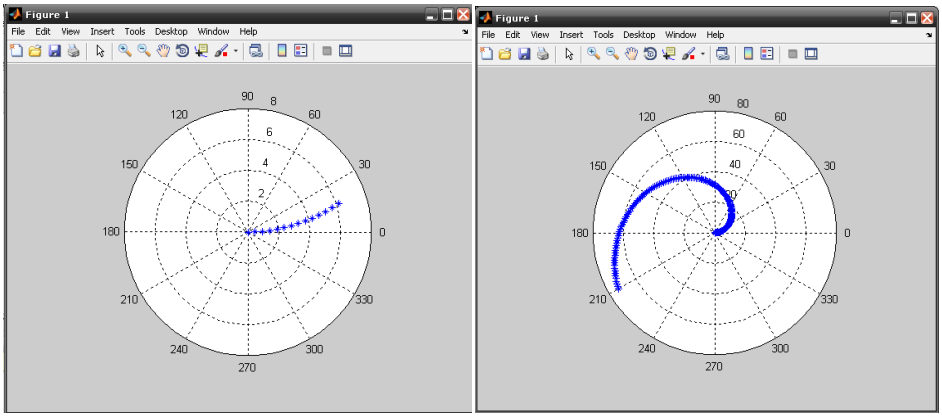


Figura 20. Recorrido de un objeto

Y para la variacion del patrón de radiacion del arreglo de antenas se obtiene

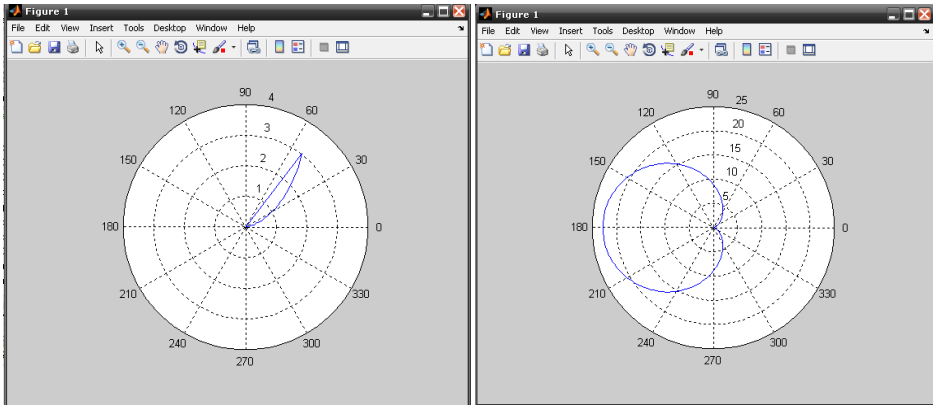


Figura 21. Patrón total del arreglo.

Lo anterior se hizo con el siguiente código de matlab

```
clc
clear all
close all
w=200;
70ós(1,w)=0;
teta(1,w)=0;
r(1,w)=0;
a(1,w)=0;
s(1,w)=0;
radio(1,w)=0;
ang=270;
r=20;
j=1;

while j<200

    x=pi*ang/180;
    teta=linspace(0,x,w);
    s(j)=r*teta(j);
    j=j+1



    figure (1)
    clf
    polar(teta,s,'*');

 end


clc;clear all;close all
f=2400000000;
% frec trabajo para wifi
```

```
c=300000000;
%vel. Luz
lambda=c/f;
k=2*pi/lambda;
%constante 71ós71trica71n
d=lambda/4;
%distancia entre los dipolos
l=lambda/2;
%longitud 71ós71trica del dipolo
w=200;
% muestras
z=linspace(0,2*pi,w);
g=linspace(0,pi,w);
i=1;
N=10;
%elementos (antenas)
psi(1,w)=0;
Dp(1,w)=0;
f_a(1,w)=0;
a(1,w)=0;
beta=0;
fase=0;
%rango donde se quiere que varíe el lóbulo

while  fase<=71ó

beta=(-k)*d*71ós(fase);
psi(i)=(k*d*71ós(g(1,i))+beta);
Dp(i)=abs((120.*71ó).*(1.^2./(8.*71ó.^2)).*(71ós(k.*l./2.*71ós(g(1,i)))-
cos(k.*l./2))./sin(g(1,i))).^2;  %intensidad de potencia radiada
f_a(i)=(sin((N)/(2).*(psi)))/(((1)/(2)).*(psi));
a(i)=conv(Dp(1,i),f_a(1,i));
fase=fase+0.015708
i=i+1;

figure (1)
clf
% hold on
polar(z,Dp)
```

6.1.3.3. Reconocimiento de un objeto dadas sus coordenadas polares

Para la visualización en coordenadas polares del objeto, es necesario ingresar su magnitud y ángulo, “p” y “ang”, se realiza la conversión del ángulo a radianes y se utiliza como parámetro final del vector fila con el que se realiza la gráfica.

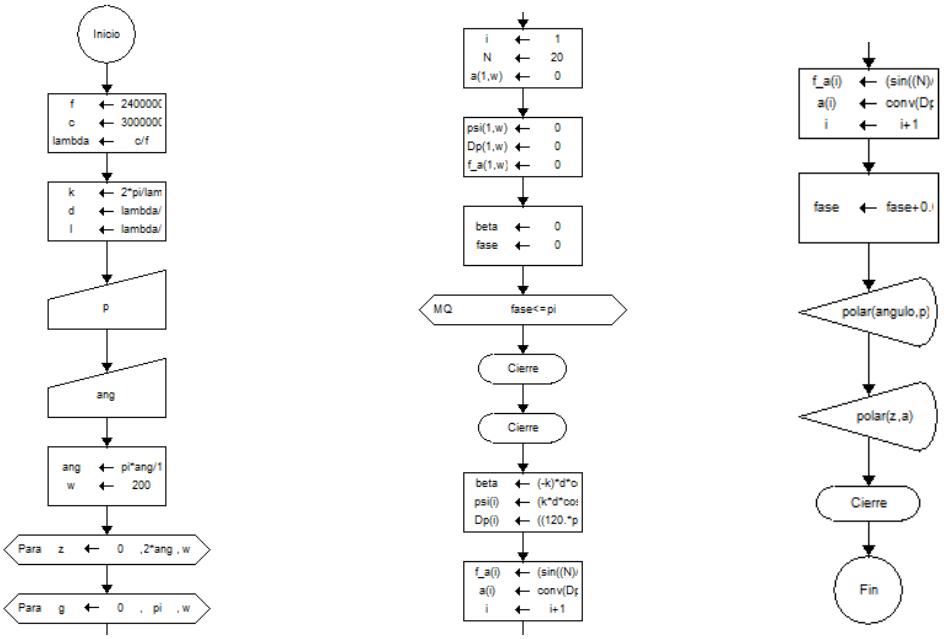


Diagrama 10. Diagrama de flujo del reconocimiento de un objeto dado sus coordenadas polares

La implementación en matlab es la siguiente:

```
clc;clear all;close all
f=2400000000;
% frec trabajo para wifi
c=300000000;
%vel. luz
lambda=c/f;
k=2*pi/lambda;
%constante propagacion
d=lambda/4;
%distancia entre los dipolos
l=lambda/2;
p=400;
ang=10;
angulo=pi*ang/180;
w=200;
% muestras
z=linspace(0,2*angulo,w);
g=linspace(0,pi,w);
dd=linspace(0,pi/2,w);
i=1;
N=20;
%elementos (antenas)
a(1,w)=0;
```

```
psi(1,w)=0;
Dp(1,w)=0;
f_a(1,w)=0;
beta=0;
fase=0;

%parametros punto

teta(1,w)=0;
r(1,w)=0;
a(1,w)=0;
s(1,w)=0;
r=50;

while  fase<=pi && r>=0
beta=(-k)*d*cos(fase);
psi(i)=(k*d*cos(g(1,i))+beta);
Dp(i)=abs((120.*pi).*(1.^2./(8.*pi.^2)).*(cos(k.*l./2.*cos(g(1,i)))-
cos(k.*l./2))./sin(g(1,i))).^2;  %intensidad de potencia radiada
f_a(i)=(sin((N)/(2).*(psi)))/(((1)/(2)).*(psi));
a(i)=conv(Dp(1,i),f_a(1,i));
i=i+1;
fase=fase+0.015708;


figure (1)
%hold on

clf
polar(angulo,p,'*')
hold on

polar(z,a);
hold on

end
```

6.1.4. Aplicativo con interfaz gráfica de usuario.

El objetivo de crear la interfaz gráfica de usuario es permitir al usuario final una fácil la visualización del comportamiento en la medida que se varían sus características de funcionamiento.

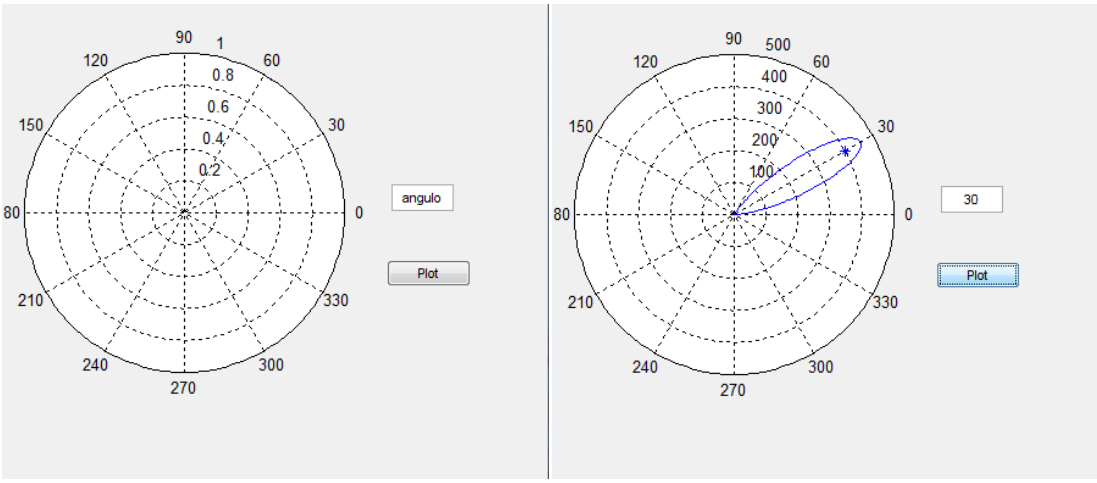


Figura 22. Aplicativo con Interfaz Gráfica de usuario

El usuario puede ingresar la coordenada principal de la posición del objeto “ángulo”, cabe aclarar que el factor de arreglo solo tiene una directividad óptima de 0° a 180°, por lo que el usuario no debe superar este límite y la magnitud siempre estará al máximo del patrón de radiación del arreglo. La implementación en matlab se encuentra en el ANEXO 1.

7. UNA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

Luego de evaluar la mejor opción en cuanto la implementación del sistema propuesto en este trabajo, existen básicamente dos opciones a considerar:

La primera consiste en que la Estación Radio Base trabaje por reflexión, es decir, las antenas de la misma estarán en la capacidad de cumplir con su función básica y reconocer por reflexión la posición de cualquier objeto que se encuentre dentro del alcance de la misma. Esta solución trae consigo la desventaja de señales interferentes por parte de otros objetos móviles.

La segunda consiste en el reconocimiento del punto de posicionamiento del objeto, mediante una señal definida y emitida por el mismo, la cual es identificada por la Estación Radio Base. Esta señal motiva la variación del parámetro del patrón del arreglo (para nuestro caso la fase) y de esta manera se inicia el proceso de localización del objeto.

Esta última opción requiere que el objeto, cuente con un transmisor que este radiando la señal de su localización. El software de la localización se deberá instalar en la Estación Radio Base en la unidad SA (*Smart antenna*).

El proceso de localización del objeto se realizaría básicamente de la siguiente forma:

- El objeto estaría radiando permanentemente una señal de posición previamente determinada
- Esta señal de posición del objeto, seria percibida por la Estación Radio Base (ERB) cuando el patrón de radiación de su sistema de antenas logre captarlo, mediante el barrido permanente que está realizando, a través de un patrón adicional que debe realizar tal tarea.
- La señal de identificación será enviada a la unidad SA, dando la iniciación de funcionamiento del algoritmo que realiza el proceso de localización del objeto. Se entiende que en esta unidad, es donde debe instalarse el algoritmo que hace este proceso, el cual corresponde al propuesto en este trabajo.
- Las instrucciones dadas por el algoritmo, serán enviadas a través de la unidad de transmisión de la ERB, haciendo que el patrón de radiación del arreglo de antenas tenga el comportamiento indicado para poder que el patrón de radiación del arreglo de antenas se oriente hacia el objeto.

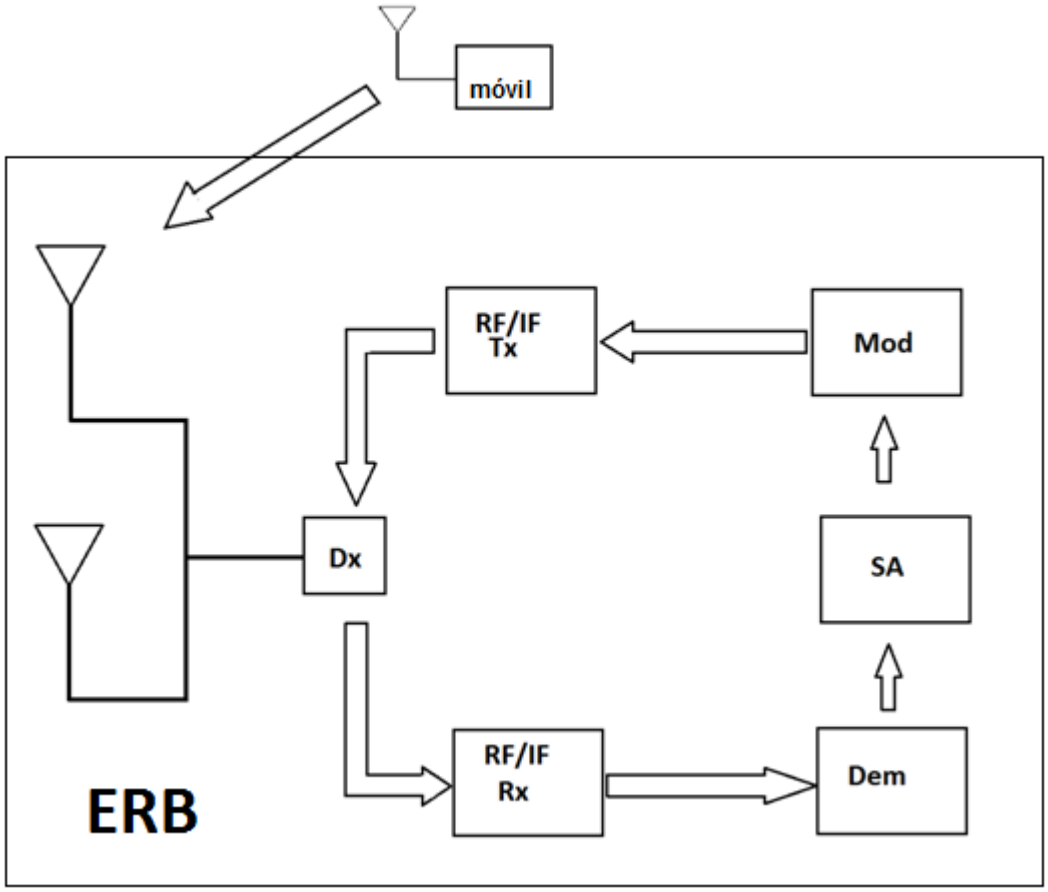


Figura 23: Estructura básica del radioenlace entre la móvil y la ERB

8. CONCLUSIONES

- El patrón de radiación de un arreglo de antenas, se logra haciendo variar uno o varios de los parámetros que definen dicho patrón.

- Para facilitar la variación del patrón de radiación de un radiador, es conveniente que este radiador corresponda a un arreglo de antenas.

- Existen una variedad de tipos de arreglo de antenas: lineal, circular, planar (matricial), entre otros. El sistema de arreglo lineal es el más fácil de implementar. Es por esta razón, que se seleccionó este tipo de arreglo para el desarrollo de este trabajo.

- En este trabajo, se tomó como parámetro para variar el patrón de radiación el de la fase, ya que facilita su implementación.

- La implementación de un sistema como el propuesto en este trabajo, reviste de todo un proceso ingenieril bastante complejo y de altos costos.

- Los sistemas de antenas inteligentes, además de la identificación, localización y seguimiento de objetos móviles, se podrían utilizar entre otras aplicaciones, las siguientes: Aumentar la eficiencia del funcionamiento de los sistemas móvil celular, debido a que estos sistemas de radiación pueden generar simultáneamente diversos haces de radiaciones, lo que permite que la ERB, de la celda correspondiente, reciba con mayor intensidad la señal de la estación móvil celular respectiva, lo cual implica el incremento de la relación de potencia portadora a interferencia cocanal, lo anterior permite, también, una optimización en la reutilización de frecuencia, así mismo estos sistemas de antenas inteligentes son muy utilizados para efectos de seguridad y defensa militar, tales como la intersección de dispositivos (por ejemplo proyectiles, aeronaves, entre otros) enemigos.

- La realización de este trabajo puede motivar el desarrollo de nuevos trabajos de grado o investigación, para otras aplicaciones de los sistemas de antenas inteligentes, así como el perfeccionamiento de funcionamiento del algoritmo aquí propuesto y su implementación en un prototipo de la estructura del sistema real.

9. BIBLIOGRAFÍA

C.A. Balanis. Antenna Theory: analisys and Design 2nd Ed., New York: wiley

John D. Kraus, Ronald . Marhefka. Antennas for all Aplications 2nd Ed, New Delhi: Tata Mc Graw Hill.

Ramirez Artunduaga. Jaime. Conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño. Bogotá: Editorial Bonaventuriana,2010.

Simon R. Saunders and Alejandro Aragon-Zavala. Antennas and propagation for wireless communication systems 2nd Ed: Wiley,2007.

Seungheon Hyeon; Kim,J.; Seungwon Choi; Electron. Commun. Eng., Hanyang Univ., Seoul. Evolution and standardization of the smart antenna system for software defined radio. Internet: (http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4623709)

Lopez A. R, Hazeltine Corp,USA, Performance predictions for cellular switched-beam intelligent antenna system. Internet: (http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs _all.jsp? arnumber=544336)

Rene Escalante Fernández. Curso introductorio de Matlab.1ra Ed: Equinoccio. Venezuela,2006.

Hector Manuel Vega. Lógica y Algoritmos, Programación en Matlab aplicada a la ingeniería. 1ra Ed. Bonaventuriana. 2006.

10. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

http://es.wikitel.info/wiki/Antenas_inteligentes 01/04/2010 11:35am

http://ciecfie.epn.edu.ec/JIEE/historial/XIXJIEE/34Antenas%20Corr.pdf 01/04/2010 11:40am

http://espanol.geocities.com/elradioaficionado/antenas/antenas05.htm 01/04/2010 11:45am

www.gr.ssr.upm.es/rdpr/transparencias/transp_tema4.pdf 01/04/2010 11:45am

http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.11.3818&rep=rep1&type=pdf. 17/03/2010 10:35pm

http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/introduccion-tecnologia-antenas-inteligentes.pdf Fecha:13/04/2010 9:30pm

Torpi, H. and Y. Damgaci, \Design of dual-band recon¯gurable smart antenna," PIERS Proceedings, 425{429, Prague, Czech Republic, August 27{30, 2007.}

GLOSARIO

Microstrip: El Microstrip es un tipo de línea de transmisión eléctrica que puede ser fabricada utilizando placa de circuito impreso, y se utiliza para transmitir señales de microondas.

HIPERLAN: es un estándar global para anchos de banda inalámbricos LAN que operan con un rango de datos de 54 Mbps en la frecuencia de banda de 5 GHz

GSM: El Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM, proviene de "Groupe Special Mobile") es un sistema estándar, completamente definido, para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital.

ARRAY: es una zona de almacenamiento contiguo, que contiene una serie de elementos del mismo tipo de los elementos de la matriz.

LAN: es la interconexión de varias computadoras y periféricos. Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno de 200 metros, o con repetidores podría llegar a la distancia de un campo de 1 kilómetro.

ANEXO 1

```
function varargout = fusiononon(varargin)
% FUSIONONON M-file for fusiononon.fig
%      FUSIONONON, by itself, creates a new FUSIONONON or raises the existing
%      singleton*.
%
%      H = FUSIONONON returns the handle to a new FUSIONONON or the handle to
%      the existing singleton*.
%
%      FUSIONONON('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%      function named CALLBACK in FUSIONONON.M with the given input arguments.
%
%      FUSIONONON('Property','Value',...) creates a new FUSIONONON or raises
the
%      existing singleton*.  Starting from the left, property value pairs are
%      applied to the GUI before fusiononon_OpeningFcn gets called.  An
%      unrecognized property name or invalid value makes property application
%      stop.  All inputs are passed to fusiononon_OpeningFcn via varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help fusiononon

% Last Modified by GUIDE v2.5 09-Feb-2012 20:29:49

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @fusiononon_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @fusiononon_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT


% --- Executes just before fusiononon is made visible.
function fusiononon_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

polar(handles.axes1,1,1);
```

```
guidata(hObject, handles);

% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to fusiononon (see VARARGIN)

% Choose default command line output for fusiononon
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes fusiononon wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);


% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = fusiononon_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=str2double(get(hObject,'String')); %Almacenar valor ingresado
if isnan(Val)
errordlg('La magnitud debe ser un numero','ERROR')
end
handles.edit=Val; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a
double


% --- Executes during object creation, after setting all properties.

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
Val=str2double(get(hObject,'String')); %Almacenar valor ingresado
if isnan(Val)
errordlg('El angulo debe ser un numero','ERROR')
end
handles.edit2=Val; %Almacenar en identificador
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación

% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a
double


% --- Executes during object creation, after setting all properties.

function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

f=2400000000;
% frec trabajo para wifi
c=300000000;
%vel. luz
lambda=c/f;
%ang=150
%p=0;

%ang=(handles.edit2);
```

```
%pp=handles.edit1
%p=(p-176.7305)*1000-3;

%handles.output = hObject;
%guidata(hObject,handles);
p=400;


%pp=uicontrol('style','edit','position',[800,500,30,20],'callback','pp=get(pp,
''string'');');
%pp=handles.edit1;
%  pp=get(handles.edit1,'string')
%  p=str2double('pp')
% %ang=45;
%p=str2double(pp)
ang=handles.edit2;
%p=handles.edit1;
angulo=pi*ang/180;
w=200;
z=linspace(0,2*angulo,w);
g=linspace(0,pi,w);
%dd=linspace(0,pi/2,w);
i=1;
N=20;
%elementos (antenas)
a(1,w)=0;
psi(1,w)=0;
Dp(1,w)=0;
f_a(1,w)=0;
beta=0;
%parametros punto
ang(1,w)=0;
teta(1,w)=0;
r(1,w)=0;
a(1,w)=0;
s(1,w)=0;


fase=0;
k=2*pi/lambda;
%constante propagacion
d=lambda/4;
%distancia entre los dipolos
l=lambda/2;

while  fase<=pi% && r>=0
beta=(-k)*d*cos(fase);
psi(i)=(k*d*cos(g(1,i))+beta);
Dp(i)=abs((120.*pi).*(1.^2./(8.*pi.^2)).*(cos(k.*l./2.*cos(g(1,i)))-
cos(k.*l./2))./sin(g(1,i))).^2;  %intensidad de potencia radiada
f_a(i)=(sin((N)/(2).*(psi)))/(((1)/(2)).*(psi));

% cual=0;
```

```
% while cual<30
%     cual=cual+1;
% end

a(i)=conv(Dp(i),f_a(i));
i=i+1;
fase=fase+0.015708;
%grid on;
%cla reset

axes(handles.axes1)

newplot

     handles.grf1 = polar(handles.axes1,z,a);

     hold on

     handles.grf2 = polar(handles.axes1,angulo,p,'*');

     hold off
%      if i==201
%          clear all
%      end

%set(handles.axes2,'Visible','on');
%pause
%handles.output = hObject;
%guidata(hObject, handles)
%figure (1)
%plot(1,1);

%plot(z,a);%grid on;%axis([0 2*pi -1 1]);

%handles.ejex=0:pi/360:2*pi;
%y1=cos(2*pi*1*handles.ejex);
%plot(handles.ejex,y1,'LineWidth',2);grid on;
%clf
%polar(z,a);hold on;

%polar(angulo,p,'*');

%axis([0 2*pi -1 1]);

%plot(z,a,'LineWidth',2);grid on;
%axis([0 2*pi -1 1]);

% hi=0;
% while hi<10
%     hi=hi+1;
% end
```

```
% polar(angulo,p,'*')
% set(handles.axes1, 'Xlim',[-50 50],'Ylim',[-50 50]);
% hold on

%polar(z,a);
%hold on
end

% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```