



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE
HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERÍA

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Tesina:

**ANTENAS INTELIGENTES Y SUS APLICACIONES EN REDES DE
TELECOMUNICACIÓN**

PRESENTA:

ALDO GODÍNEZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ARUMIR RIVAS MARIANO

Pachuca de Soto, Hgo.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Gracias a su educación, cariño, amor, comprensión y apoyo soy la gran persona que formaron y logro superarse y se siente bendecido por tenerlos a su lado y muy orgulloso de ellos.

MIS HERMANOS

Compañeros y amigos, que con sus consejos, experiencias, cariño, me ayudaron y apoyaron en todo momento para superar los obstáculos y seguir adelante, así como en las discusiones que surgieron siempre salíamos adelante.

A ESTHER

Un Ángel puesto en mi vida y compañera en todo momento, que con su apoyo, amor y comprensión, ha hecho de mi otra persona, que ha atribuido a superarme y corregir todos los errores y caídas más fácil.

A DIOS Y LA VIRGEN

Participes importantes, que con sus bendiciones, me guiaron y acompañan en todo momento cuidándome para ser mejor en todo momento y sobre todo creer en su divinidad.

MI FAMILIA

A todos por sus palabras de aliento, alegrías, cariño, comprensión, sabios consejos y apoyo en todos los sentidos, son la bendición más grande que puedo tener, y que cada uno de ustedes tiene un lugar en mi corazón y vida.

MIS AMIGOS

A todos ustedes por ser mis hermanos y brindar una amistad sincera e incondicional, consejos y vivencias que quedaran para siempre en nuestras mentes para la eternidad.

ÍNDICE

CAPITULO 1

1.1 Antecedentes Básicos de Antenas	1
1.2 Tipos de Antenas	4
1.2.1 Antenas Omnidireccionales	5
1.2.2 Antenas Direccionales	6
1.2.3 Antenas Eléctricamente pequeñas	6
1.2.4 Antenas Resonantes	7
1.2.5 Antenas de gran ancho de banda	8
1.2.6 Antenas de apertura	8
1.2.7 Antenas de Media onda (Dipolo)	9
1.2.8 Antenas de un cuarto de onda	11
1.2.9 Antena dipolo doble	12
1.2.10 Antena Marconi	12
1.2.11 Antena Yagi	13
1.2.12 Antena Parabólica	16
1.2.13 Antena de cuadro	19

CAPITULO 2

2.1 Características de las Antenas	22
2.1.1 Curva de distribución de corriente	22
2.2 Campos de Fuerza	23
2.3 Campo de Radiación	24
2.3.1 Patrón de Radiación de las Antenas	24
2.3.1.1 Campos cercanos y Campos lejanos	30

2.3.2 Resistencia de Radiación	31
2.4 Conformación de la onda de radio	32
2.5 Directividad	33
2.6 Polarización	34
2.6.1 Polarización Lineal	35
2.6.2 Polarización Circular	35
2.6.3 Polarización Elíptica	36
2.7 Impedancia	38
2.8 Ancho de Banda	40
2.9 Longitud de onda	41

CAPITULO 3

3.1 Antenas Inteligentes	42
3.1.1 Antecedentes Básicos	42
3.2 ¿Qué es una antena inteligente?	42
3.2.1 Ventajas del uso de las antenas inteligentes con los sistemas 3G	43
3.2.2 Incremento de la capacidad y confiabilidad	44
3.2.3 Reducción de la potencia transmitida	45
3.2.4 Reducción de propagación multitrayecto	46
3.2.5 Reducción del nivel de interferencia	47
3.2.5 Incremento del nivel de seguridad	48
3.2.6 Incorporación de nuevos servicios	49
3.3 Desventajas de las Antenas Inteligentes	49
3.3.1 Complejidad de los transceptores	49
3.3.2 Complejidad de los procedimientos de gestión	50
3.3.3 Modificaciones a los métodos de planificación	50

3.4 Tipos de Antenas inteligentes	51
3.4.1 Antenas inteligentes de Haz conmutado	51
3.4.2 Antenas inteligentes de Haz de seguimiento	54
3.4.3 Antenas inteligentes de Haz adaptivo	56
3.5 Modos de aplicaciones para la introducción de antenas Inteligentes de una red móvil	58
3.6 Receptor de alta sensibilidad	58
3.6.1 Rechazo de interferencias por filtrado espacial (SFIR)	59
3.7 Acceso múltiple por división espacial (SDMA)	60
3.8 Antenas de telefonía móvil, antena down tilt	61

CAPITULO 4

4.1 Aplicación de las antenas inteligentes	62
4.2 WiMAX	64
4.3 Antenas en Wi-Fi	67
4.4 Antenas en los Satélites	69
Conclusiones	73
Referencias Bibliográficas	75
Glosario de términos	77

INTRODUCCIÓN

El campo de las comunicaciones es sinónimo de innovación, y avance de cosas nuevas para continuar facilitando las actividades humanas. Su utilización ha provocado modificaciones en nuestras categorías de tiempo y de espacio y ha obligado a redefinir incluso el concepto de realidad, a partir de la posibilidad de construir realidades.

Uno de estos avances lo podemos constatar con la creación de las antenas inteligentes, que como sabemos, éstas nos han ayudado en el gran avance tecnológico de hoy en día, sobre todo en los aspectos de telecomunicaciones porque sencillamente sin ellas no contaríamos con la facilidad de comunicarnos a distancia.

Este hecho lo vemos y lo ocupamos en nuestra vida diaria, como por ejemplo:

- La oportunidad de sintonizar un noticiero o un partido de fútbol.
- Una estación de radio
- Una comunicación a distancia vía celular
- Hasta una videoconferencia.

Estos y todos los tipos de comunicación se han desarrollado a pasos agigantados en las últimas dos décadas y parte de ésta, llevando así a que todo mundo tenga la oportunidad de comunicarse y por ello, el modo de vida que hasta hoy llevamos, nos sea más fácil.

El hablar de Antenas Inteligentes, no solo se hace referencia a su forma y manera de funcionar, sino también entra el aspecto de la movilidad, ya que también se tienen Antenas, las cuales se pueden desplazar una determinada distancia, girar 360° y posicionarse a coordenadas precisas para la transmisión.

No solo es hablar de Antenas Inteligentes de su forma y manera de transmitir, de igual modo es resaltar como han ido evolucionando en cuestión de su movilidad y exactitud de posicionarse con los enlaces a transmitir.

JUSTIFICACIÓN

Esta tesina está hecha con el propósito de mostrar la cronología de las antenas inteligentes móviles. Tomando en cuenta sus orígenes, hasta llegar a la nueva tecnología que se ha desarrollado hasta nuestros días.

Desde el uso de un simple alambre al principio de los orígenes de la antena para la transmisión y recepción de datos, y el cómo han ido progresando con el paso del tiempo y adecuándose a las necesidades y uso de las mismas y llegando hasta el momento a lo que hoy tenemos como antenas inteligentes con movilidad y gran eficiencia de trabajo.

Así mismo, se muestran los diferentes tipos de antenas y los propósitos para los cuales fueron desarrolladas.

Incluyendo la nueva tecnología que viene en camino e intensificando la estructura y funcionamiento de las antenas inteligentes móviles.

OBJETIVO GENERAL

- Al término del trabajo de investigación, realizaremos una descripción cronológica de la operación y uso de las antenas inteligentes móviles.
- Así como las aplicaciones más destacadas dentro de las redes de Telecomunicaciones, entre las que se pueden mencionar la telefonía móvil, WiFi, Wimax, entre otras.

CAPITULO 1

1.1 ANTECEDENTES BÁSICOS DE ANTENAS

DEFINICIÓN

Una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Una Antena puede ser desde una simple varilla de metal enterrada, la cual sigue la base de $\frac{1}{2}\lambda$.

También puede definirse como un sistema de conductores que irradia o capta ondas electromagnéticas.¹

Otra definición de una Antena es un dispositivo que constituye la interfaz entre campos electromagnéticos guiados en una línea de transmisión y campos electromagnéticos radiados en el espacio.²

Fueron A. Popoff y G. Marconi quienes encontraron que un cable largo y vertical funcionaba como una antena para emitir y recibir ondas de radiofrecuencias. Por semejanza con las antenas de los insectos se les llamo de esta forma.

Las Antenas son las partes de los Sistemas de Telecomunicación específicamente diseñadas para radiar y recibir ondas electromagnéticas.

Como lo muestra en la ilustración, podemos ver que al poner una antena sobre la tierra, solo vamos a tener $\frac{1}{4}\lambda$, con lo cual se puede recibir información; claro está que para obtener información, debemos tener un convertidor de señales después de la antena para poder procesar la información.

¿Y cómo lo podemos lograr? Pues una forma sencilla es poniendo la varilla a nuestra bajada de luz, que es de 120V y eso nos da una frecuencia de 60Hz, lo cual no es audible para nosotros; pero ya estamos recibiendo información.

¹ Revista Saber Electrónica edición Americana de Comunicaciones Vía Satélites.

² Definición del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del IPN. Tema: Medición de las Características de una Antena.

Ahora, para poder alcanzar a escuchar la información, si ésta es de audio, necesitamos mínimo ponerla a una frecuencia de 4KHz, frecuencia a la que nuestro oído es capaz de escuchar el sonido.

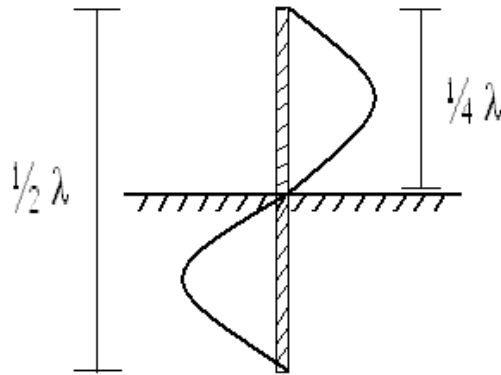


Fig. 1.1 Obtención de λ

Ahora, también nos muestra en la fig. 1.1 que, al colocar la varilla de forma enterrada, lo cual sería unos 3mts, nos da una mayor eficiencia ya sea a la hora de la recepción como a la de la transmisión.

Claro está que obteniendo $\frac{1}{2}\lambda$, ya podemos realizar la recepción y transmisión de información.

El funcionamiento de la Antena es convertir la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre. En pocas palabras, como se muestra en la Fig.1.2, es un tramo conductor que va a actuar como un dispositivo conversor en el cual, las señales eléctricas las va a convertir en energía electromagnética o viceversa.

En realidad, una antena es un trozo de material conductor al cual se le aplica una señal y esta es radiada por el espacio libre.

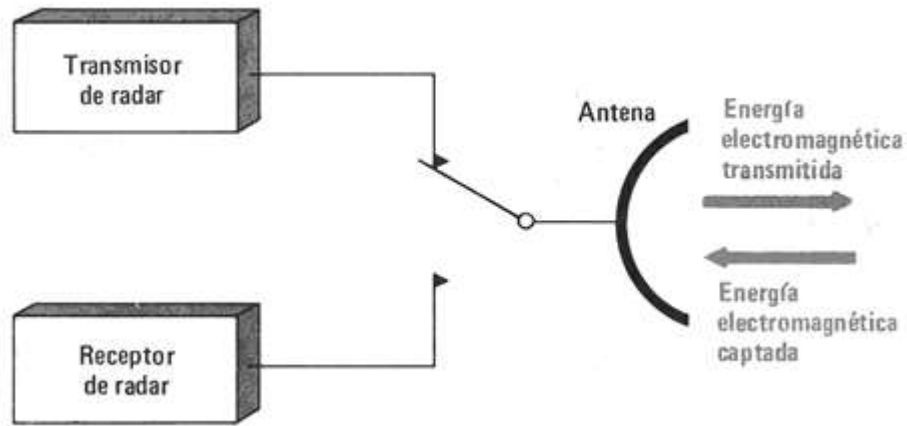


Fig. 1.2 Esquema de una Antena

Una de las partes importantes para poder realizar la transmisión de información con una antena, son las que están detrás de ella haciendo unos procesos para poder enviarla o recibirla.

Tenemos un ejemplo en nuestros hogares, la radio. Para poder llegar a escuchar el audio en nuestros receptores eléctricos, existe un proceso previo donde se envía la señal a la atmósfera y será captada por cualquier antena que esté en frecuencia con la señal. En este proceso previo, tenemos a un elemento llamado fuente de alimentación, éste elemento convierte el voltaje de corriente alterna (CA), o sea 127V que vienen de la toma de la pared en nuestras casas, a corriente de voltaje continuo o directa (CD) que es utilizada en los aparatos electrónicos, que puede ser de un valor de 13.8 o 15V.

Otro elemento importante es el *transmisor*, el cual va a recibir la señal de audio proveniente ya sea de un micrófono, una mezcladora, etc. Generando una señal eléctrica que será enviada por una antena, es decir, el transmisor genera una señal de radio frecuencia (RF).

La antena, este elemento va a ser el causante de que la señal de radio frecuencia sea convertida en una onda electromagnética que será captada por cualquier receptor de radio que se encuentre sincronizado con la frecuencia a la que se envió la señal, el rango de frecuencias

en que puede haber una sincronización, es entre los 88.1Mhz a los 107.9Mhz y va a depender de cada emisora la frecuencia en que envíe su señal.

1.2 TIPOS DE ANTENAS

Un dato importante por describir es que usualmente no se utilizan antenas de onda completas, por los problemas que tiene para su adaptación a las impedancias típicas, que son de 600 ohmios, de las líneas de alimentación. Las antenas que comúnmente se utilizan son la Hertz (fig.1.3a), de media onda, y la Marconi que es de un cuarto de onda (fig.1.3b).

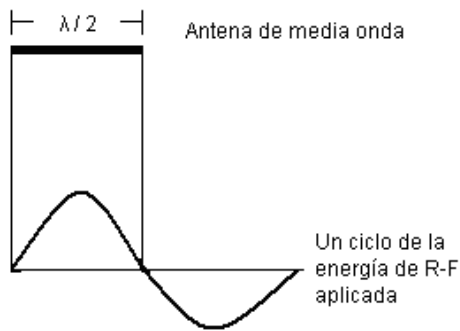


Fig. 1.3 a) Antena de Media Onda.

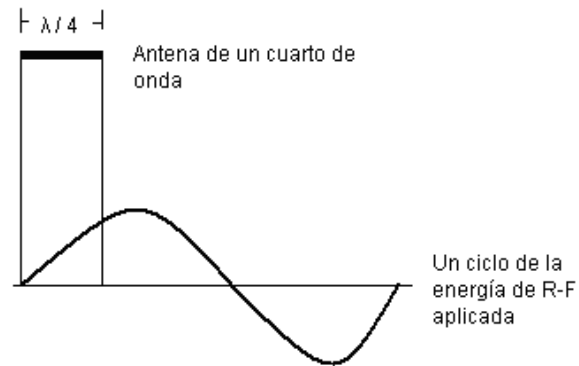
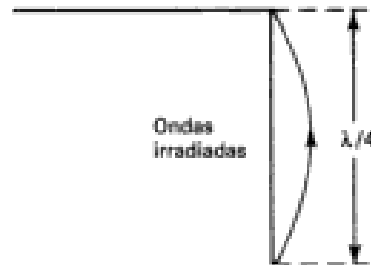
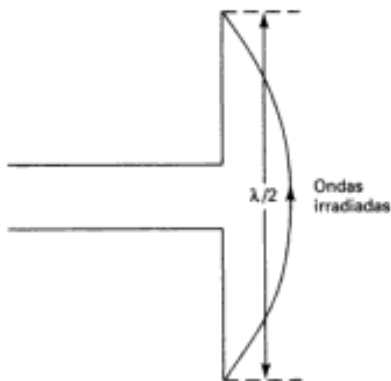


Fig. 1.3 b) Antena de un Cuarto de Onda.



En la práctica ya vemos que la energía generada para llegar a la antena, llega a través de una línea de alimentación que se encarga de llevar la radiofrecuencia generada desde el emisor de la antena.

Es importante recalcar que los puntos convenientes para la excitación de una antena son los extremos, el centro o su tercio. Para la excitación en los extremos se realiza con líneas abiertas y resonantes utilizando un cuarto de onda o número impar de ellas.

1.2.1 ANTENAS OMNIDIRECCIONALES

Son aquellas que irradian un campo en todo su contorno en la forma de una figura geométrica circular sin agujero central. Una antena vertical es, por su naturaleza, generalmente omnidireccional, fig. 1.4.³

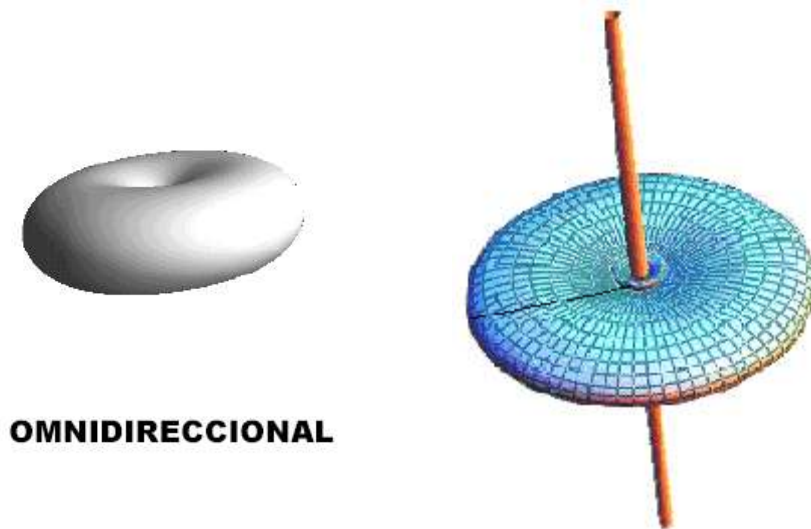
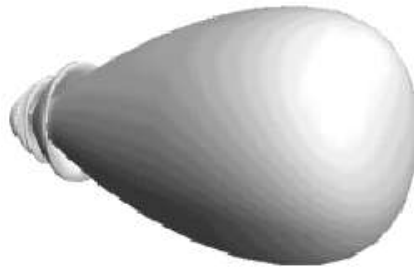


Fig. 1.4 Irradiación de las Antenas Omnidireccionales.

³ Revista Saber Electrónica edición Americana de Comunicaciones Vía Satélites.

1.2.2 ANTENAS DIRECCIONALES

Son aquellas a las cuales es posible dirigirles el campo de irradiación hacia uno o más lugares, en forma instantánea, esto dependerá del concepto de cálculo y su forma de construcción. La antena horizontal tipo dos polos es por lo general direccional o directiva (Fig. 1.5) .



DIRECTIVO

Fig. 1.5 Irradiación de Antenas
Direccionales.

1.2.3 ANTENAS ELECTRICAMENTE PEQUEÑAS

En este tipo de antenas, lo largo de su estructura es mucho menor que su longitud de onda (fig. 1.6).

“Si las dimensiones del dipolo son reducidas en términos de λ y no existen elementos acumuladores de carga en los extremos, la distribución de corriente no será uniforme sino sinusoidal”.⁴

Sus propiedades que tenemos de ésta antena son:

⁴ CARDAMA AZNAR Ángel, JOFRE ROCA Lluís, Et al: *Antenas*, 2da. Edición, Alfaomega, Septiembre 2004, pág. 142.

- Baja directividad
- Baja resistencia de entrada
- Alta reactancia de entrada
- Baja eficiencia de radiación

Tenemos como algunos ejemplos:



Fig. 1.6 Antenas Eléctricamente Pequeñas

1.2.4 ANTENAS RESONANTES

La particularidad de esta antena es que su operación es buena con una simple estrecha banda de frecuencia (fig. 1.7). Las propiedades características son:

- Una ganancia pequeña a moderada
- Real impedancia de entrada
- Estrecho ancho de banda

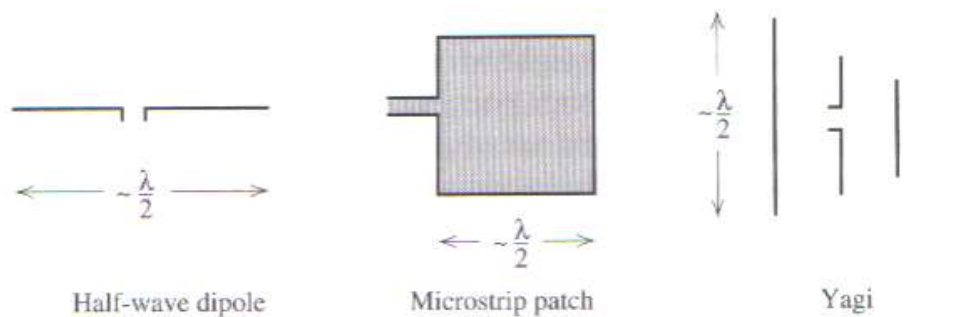


Fig. 1.7 Antenas Resonantes

1.2.5 ANTENAS DE GRAN ANCHO DE BANDA

Este tipo de antenas son muy eficientes porque tanto como su patrón de radiación, la ganancia y la impedancia obtenidas son aceptables y constantes sobre un rango de ancho de frecuencia, además se caracterizan por su región activa con una circunferencia de una longitud de onda o una extensión de media onda la cual se reubica en la antena como cambios de frecuencia. Sus propiedades principales son:

- Su ganancia es baja a moderada
- Su ganancia es constante
- La impedancia de entrada es real
- Tiene un gran ancho de banda

1.2.6 ANTENAS DE APERTURA

Son antenas que tienen una apertura física a través de la cual fluyen las ondas (fig.1.8). Sus propiedades son:

- Tienen una gran ganancia
- Su ganancia incrementa con la frecuencia
- Tiene un moderado ancho de banda

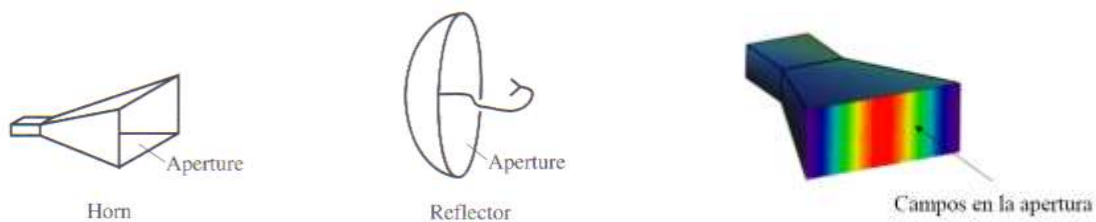


Fig. 1.8 Antena de Apertura o de Bocina.

1.2.7 ANTENA DE MEDIA ONDA (DIPOLO)

El Dipolo de Media Onda lineal es una de las Antenas más ampliamente utilizadas en frecuencias arriba de 2 MHz, la longitud física de una antena de Media Longitud de Onda es prohibitiva en frecuencias debajo de 2 MHz. A este Dipolo también se le refiere por lo general como Antena de Hertz.

“Tiene importancia por sí mismo, ya que en gran número de antenas de baja frecuencia poseen estas características”.⁵

Una Antena de Hertz es una Antena resonante, ósea es un múltiplo de $\frac{1}{4}$ de longitud de Onda de largo y de circuito abierto en el extremo más lejano. Las ondas estacionarias de voltaje y de corriente existen a lo largo de una Antena resonante. En la siguiente figura (fig.1.9) se representa a una antena dipolo con una alimentación de radiofrecuencia por medio de una línea de alimentación paralela con su impedancia (z) de 73 Ohms, la antena tendría un valor de:

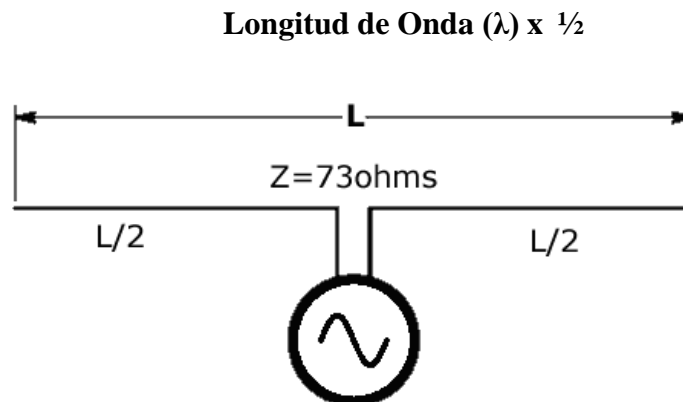


Fig. 1.9 Antena Dipolo o de Hertz.

⁵ CARDAMA AZNAR Ángel, JOFRE ROCA Lluís, Et al: *Antenas*, 2da. Edición, Alfaomega, Septiembre 2004, pág. 127.

Vemos que al aplicarle a esta antena una CA, se genera una tensión y una intensidad (corriente) las cuales estarán desfasadas 90° . Así, si podríamos imaginar gráficamente (fig.1.10) la radiofrecuencia aplicada a la antena, veríamos que la onda generada, en su centro, la tensión sería “0” y tendríamos la máxima en sus extremos, generada por la RF, y evidentemente se tiene menos pérdidas. Ahora si vemos la intensidad, se observa que es lo inverso a lo antes mencionado, es decir, en el centro de la antena la intensidad sería la máxima eficaz y siendo así que en sus extremos sería de “0”.

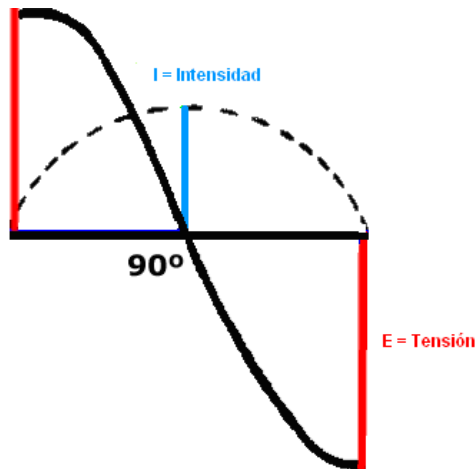


Fig. 1.10 Tensión / Intensidad de una Antena de Media Onda

El cálculo de la impedancia en cualquier antena, se puede obtener mediante la relación entre el valor de la tensión y el de la intensidad en punto cualquiera de la antena. La tensión, la intensidad y la impedancia son variables.

Por lo tanto, se deduce que en un extremos de ésta antena el valor de la tensión es máximo mientras la intensidad es mínima y por lo tanto el valor de la impedancia será máximo. Mientras que en su centro es a la inversa, por lo tanto la impedancia tendrá el mínimo valor, que por lo regular es de 73 Ohms y en sus extremos será 2500 Ohms. A estos se les conoce como valores de resistencia pura.

Para sacar el valor de la Longitud Eléctrica es igual a la Longitud de Onda dividida por 2. Ahora, para obtener el valor físico real de ésta antena, se obtiene multiplicando la Longitud de onda (en metros) x la constante de 0.475. Esto es:

$$\text{Longitud de Onda} \times \frac{1}{2} \times 0.475$$

1.2.8 ANTENA DE UN CUARTO DE ONDA

Para la explicación de ésta antena, solo basta con ver la figura anterior (fig.1.11) viendo la tensión/intensidad. Sólo que a comparación con la antena de media onda, la antena de un cuarto de onda solo tendremos la mitad de rendimiento, conectándola por un extremo y como referencia de la misma, con una masa conectada a un plano de tierra isotrópico. Así, la tendríamos gráficamente:

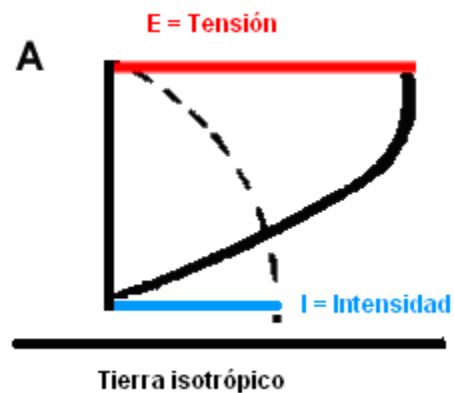


Fig. 1.11 Tensión / Intensidad de una Antena de un Cuarto de onda.

1.2.9 ANTENA DIPOLO DOBLE

La antena está formada por dos dipolos paralelos con un corto circuito en cada uno de sus extremos. Uno de los extremos será alimentado por medio de un generador. Una de las características que tiene esta antena es que el dipolo se puede descomponer en el modo par o modo antena con la misma alimentación en los dos brazos. También se tiene el modo impar o modo línea de transmisión que cuenta con dos generadores con signos opuestos.

Desde el punto de vista de radiación, un dipolo doblado es el doble de un dipolo simple en el valor de la corriente y cuatro veces mayor en su impedancia (Fig. 1.12).

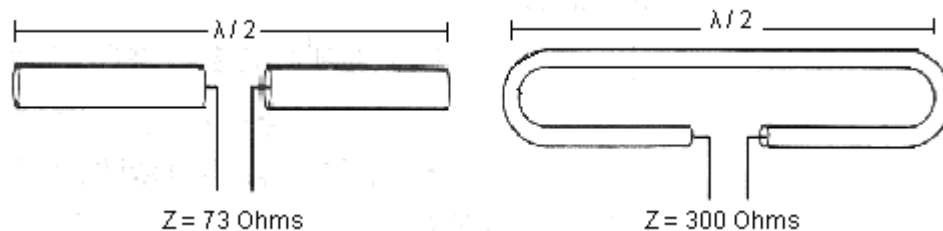


Fig. 1.12 El Dipolo Doblado es 4 veces mayor en la Impedancia que el Dipolo Simple.

1.2.10 ANTENA MARCONI

Son antenas de un cuarto de onda de longitud o un múltiplo impar de éste, con toma a tierra. Existe una reflexión que se genera con el plano de la tierra produciendo un efecto equivalente a una antena de media onda. Por lo tanto, la antena Marconi tiene las mismas características eléctricas que la antena común de media onda, excepto por la impedancia de la base, la cual es aproximadamente la mitad de la del dipolo.

En estas antenas sólo se produce un sólo nodo de intensidad (vientre de tensión) en un extremo de la antena y viceversa en el plano de referencia de la puesta de la tierra. (Fig.1.13).

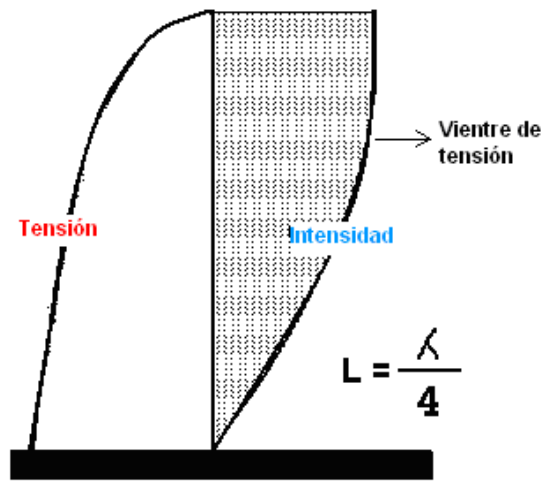


Fig. 1.13 Tensión e Intensidad de la Antena Marconi.

El sistema Marconi o el radiador puesto a tierra de alta frecuencia y de bandas intermedias es el más usado por las marinas, en contraste con la antena Hertz.

1.2.11 ANTENA YAGI

Una antena Yagi está compuesta por los siguientes elementos (Fig.1.15):

- Elemento conductor (emisor/receptor): Son los elementos que se encargan de emitir y captar las señales, como su nombre lo dice.
- Reflectores: Su participación de estas dos varillas es el reflejar las ondas hacia el elemento conductor.
- Directores-Guía de ondas: Son dos varillas de menor longitud que se encuentran alejadas del conductor con cierta distancia precisa entre ellas, tienen el objetivo de llevar las ondas hacia el elemento conductor. Influyen en la impedancia de la antena.

- **Cableado:** Puede ser un cable coaxial o bifilar que va desde la fuente de origen hasta la antena.

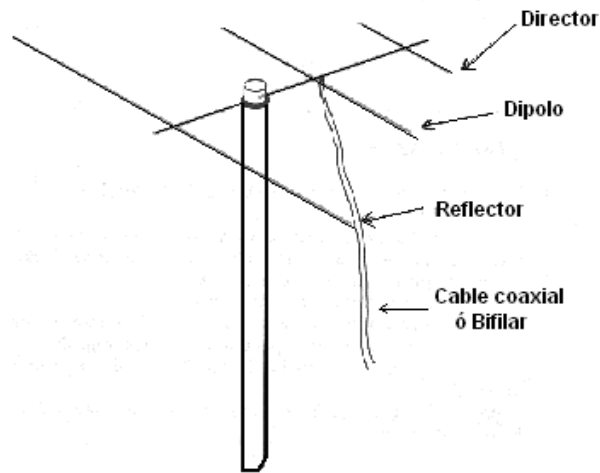


Fig. 1.15 Antena Yagi y sus componentes.

Para el funcionamiento de una antena Yagi, nos basaríamos en el principio de la reciprocidad donde se puede demostrar que las propiedades (impedancia, ganancia, etc.) de una antena cualquiera, son las mismas tanto como en la emisión como en la recepción.

El comportamiento de la intensidad y de la corriente en la antena Yagi, siendo ésta una evolución del dipolo, la tensión y un vientre de corriente se representan en el punto medio del elemento de conductor (Fig.1.16).

Los elementos conductores y reflectores también cuentan con sus tensiones y corrientes sin importar que estén directamente alineados.

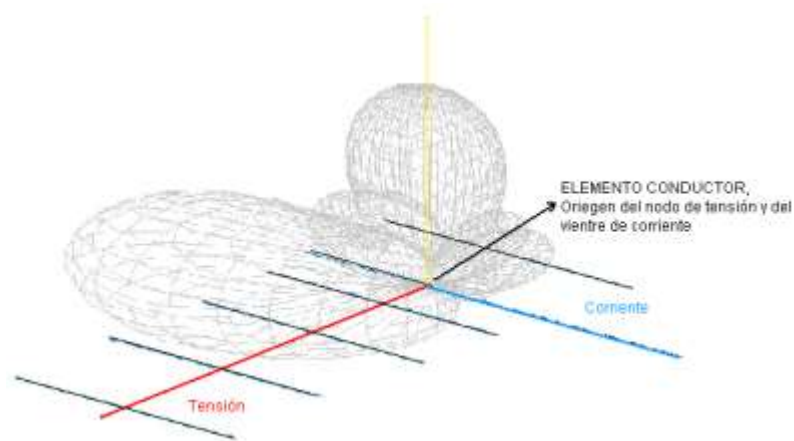


Fig. 1.16 Diagrama Tridimensional de campo lejano; muestra el origen del nodo de tensión y vientre de corriente en el elemento conductor y el patrón de radiación.

Como se había mencionado, Yagi es una evolución de un dipolo, donde los reflectores reducen la emisión hacia atrás y los directores concentran la emisión hacia delante (Fig.1.16). Para poder obtener máximas ganancias va a depender de la cantidad de los elementos directores y de la longitud de la antena. La antena Yagi no genera energía y eso es un punto a favor, ya que a mayor ganancia que se obtenga, más estrecho será el haz de la antena.

El objetivo principal de las antenas Yagi es tener el mayor coeficiente de ganancia en las direcciones $0^\circ - 180^\circ$ es decir, que sea direccional. ¿Y qué es lo que se obtendrá teniendo el mayor coeficiente de ganancia? Pues si tenemos grandes ganancias en la antena, menos oportunidad tendrán de interferir las señales provenientes de otras direcciones.

La polarización (Polarización vertical u horizontal) de la antena Yagi va a depender de la posición en que se encuentre instalada con respecto al plano de la tierra, ya sea paralela o perpendicular a ésta.

En clase de emisión banda lateral única HF (High Frequency), se utiliza la polarización horizontal y en la clase de emisión frecuencia modulada VHF (Very High Frequency) se utiliza la polarización vertical.

La impedancia de la antena Yagi va a depender del tamaño y el espacio que se encuentre entre los reflectores y directores. El diseño para la impedancia de estas antenas se realiza básicamente por los aparatos que se conectan a ésta, que por lo regular tienen una impedancia entre los 50 – 75 Ohms. Para los radioaficionados, utilizan antenas de emisión/recepción con una impedancia de 50 Ohms y de igual manera para las antenas WiFi. Para antenas receptoras de televisión, es una antena de 75 Ohms. Se dice que la antena Yagi es una antena resonante, porque tiene una frecuencia en la cual existe una resistencia óhmica pura.

1.2.12 ANTENA PARABÓLICA

Este tipo de antenas se caracteriza por tener un reflector parabólico en la parte frontal y porque también se pueden utilizar como antenas receptoras o transmisoras.

En las antenas parabólicas transmisoras, el reflector parabólico, como su nombre lo indica, realiza la función de reflejar la onda electromagnética que es generada por un dispositivo radiante que está ubicado en el reflector parabólico, la ventaja de esta antena es que estas ondas generadas son más coherentes que otro tipo de antenas.

Y ahora, sucede lo contrario con las antenas parabólicas receptoras que el reflector parabólico realiza la función de concentrar la onda recibida en su foco, donde también se encuentra el detector.

Las antenas parabólicas son utilizadas de mayor manera en las comunicaciones de redes de microondas donde su funcionamiento es de forma full-dúplex. Este tipo de antena utiliza una alta frecuencia y su ventaja es que su ganancia es elevada (Fig. 1.17).



Fig. 1.17 Antena Parabólica.

Existen tipos de antenas parabólicas como los son:

- Foco primario: También llamadas antenas paraboidales, se caracterizan por tener su reflector parabólico centrado con respecto al foco, tienen un rendimiento máximo del 60% aproximadamente (Fig.1.18).

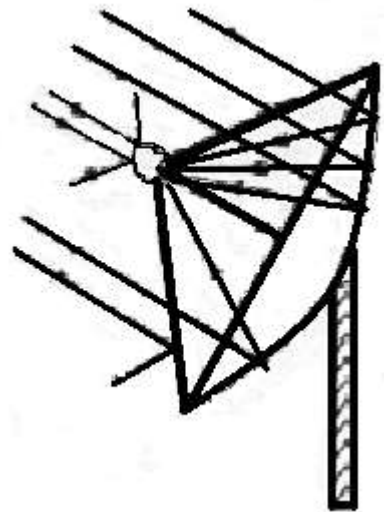


Fig. 1.18 Antena Parabólica de Foco Primario.

- Off set: Se caracteriza por tener el reflector parabólico desplazado con respecto al foco y son más eficientes que las antenas de foco primario (Fig.1.19).

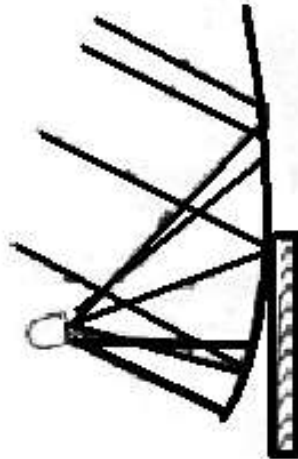


Fig. 1.19 Antena Parabólica Off Set.

- Cassegrain: Se caracteriza por tener un segundo reflector junto a su foco, el cual su función es reflejar la onda radiada desde el dispositivo radiante hacia el reflector de las antenas transmisoras y en las antenas receptoras, refleja la onda recibida desde el reflector hacia el dispositivo reflector (Fig.1.20).

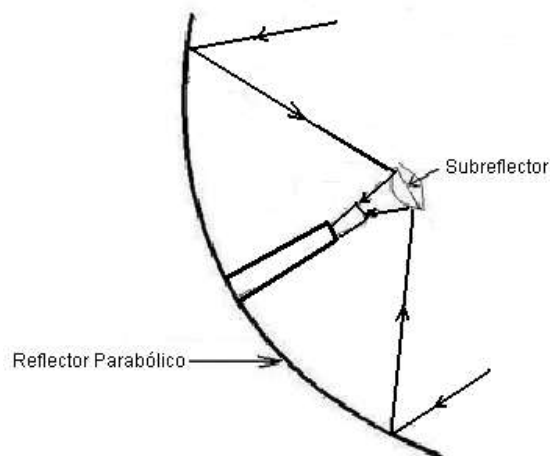


Fig. 1.20 Antena Parabólica Cassegrain.

1.2.13 ANTENA DE CUADRO

Una antena de cuadro o loop está conformada básicamente por una o más espiras conductoras que forman figuras como la de un cuadro, hexágono o un círculo (Fig. 1.21). Es una antena bidireccional, lo cual es muy útil para radiogoniometría. Las dimensiones de estas figuras pueden variar, siendo desde una pequeña de unos 40 centímetros hasta una de varios metros, todo esto dependiendo de la frecuencia.

Para realizar la inductancia de las espiras, generalmente se sintoniza un con un capacitor variable, así las espiras se van acoplando a la línea de transmisión por medio de un eslabón o por un acoplamiento capacitivo. Este tipo de antenas también llegan a ser utilizadas por los militares.

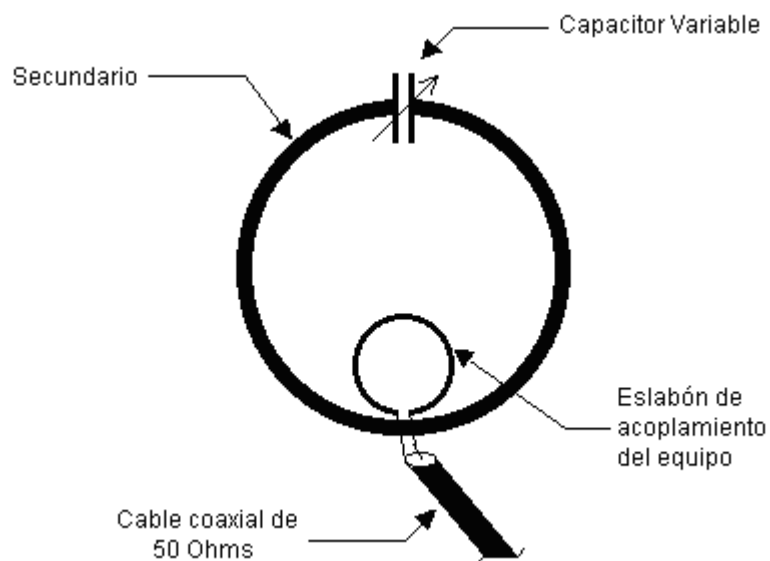


Fig. 1.21 Esquema de una Antena de Cuadro.

Una de las desventajas de la antena de cuadro es en su pequeño ancho de banda operativo, por lo que al cambiar la frecuencia, también se necesita su re sintonía de su capacitor. Si se puede realizar rápidamente esta acción, pues esta desventaja deja de importar.

A la hora de su construcción mecánica, debe realizarse con gran precisión en el colocamiento de las partes eléctricas por lo que un error, se pueden obtener valores bajos que afecten a nuestra recepción.

Como se ha de saber que la antena como es de cuadro serie, éste es un circuito resonante y para que su rendimiento sea aceptable, las pérdidas de las resistencias deben ser muy pequeñas, y al tener un valor muy elevado de Q , hace que el ancho de banda, donde se supone que debe operar en una posición ya determinada, se estreche.

Y aún más, como ya mencionado anteriormente, es un circuito sintonizado serie, la tensión en el capacitor es Q veces la tensión aplicada al circuito por lo que la tensión es muy alta y para la orden de los cien Watts, ya tendremos un alto índice en el orden de los miles de Volts. Ahora en la cuestión de la inductancia, ésta será de acuerdo a la longitud en metros que sea la antena.

Y si la longitud es grande, por lo tanto, la inductancia así lo será y ésta no se podrá sintonizar mediante un capacitor variable por la capacidad distribuida.

A continuación se mostrarán tipos de antenas que tienen asociadas formas de antenas específicas del mismo. Algunas de estas formas de antena fueron mencionadas y/o explicadas con anterioridad.

Antecedentes Básicos de Antenas

DE ELEMENTO DE CORRIENTE	DE ONDA PROGRESIVA	REDES	DE ABERTURA
Monopolar	De fuente lineal	De radiación transversal	De reflector
Dipolar	De alambre largo	De radiación longitudinal	De bocina
De cuadro	Rómbica	Lineal	De lente
De rendija radiante	De guía de ondas ranurada	Planar	De radiación de retroceso
Bicónica	Espiral	Circular	Varilla dieléctrica
De ranura	Helicoidal	Confome	Bocina parabólica
Esferoidal	Periódica logarítmica	Periódica logarítmica	
De reflector parabólico	De ondas lentas	De procesamiento de señales	
De microcinta	De ondas rápidas		

CAPITULO 2

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS

Las Antenas poseen diversas características para su buen funcionamiento, de las cuales se mencionaran a continuación.

2.1.1 CURVA DE DISTRIBUCIÓN DE CORRIENTE

Una antena, al formar parte de un circuito, tendrá que existir una distribución de corriente por la misma. Algo importante por mencionar, es que la distribución de la corriente dependerá de la longitud que tenga la antena y de su punto de alimentación. A continuación se mostrará el cómo se origina la curva de distribución de corriente. En la Fig. 2.1 se aprecia el origen de ésta curva, esta inicia cuando la salida de un transmisor llega a la antena, en ésta se origina una corriente, donde el flujo de electrones va en dirección del extremo negativo hacia el extremo positivo del transmisor y una carga que se distribuye a lo largo de la antena de manera desigual.

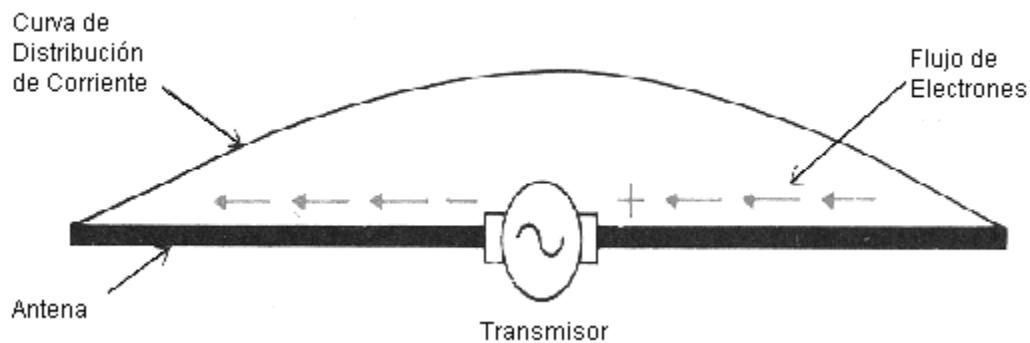


Fig. 2.1 Curva de distribución de Corriente.

2.2 CAMPOS DE FUERZA

Como se había mencionado con anterioridad, una antena es un dispositivo capaz de emitir o recibir ondas de radio. Donde para poder transmitir un campo electromagnético se realiza a través de un conjunto de conductores diseñados para radiar y aplicándole una fuerza electromotriz alterna al campo electromagnético.

Y para realizar la recepción, se realiza de manera inversa, si a la antena se le coloca un campo electromagnético, como respuesta de éste obtendremos una fuerza electromotriz alterna (Fig. 2.2).

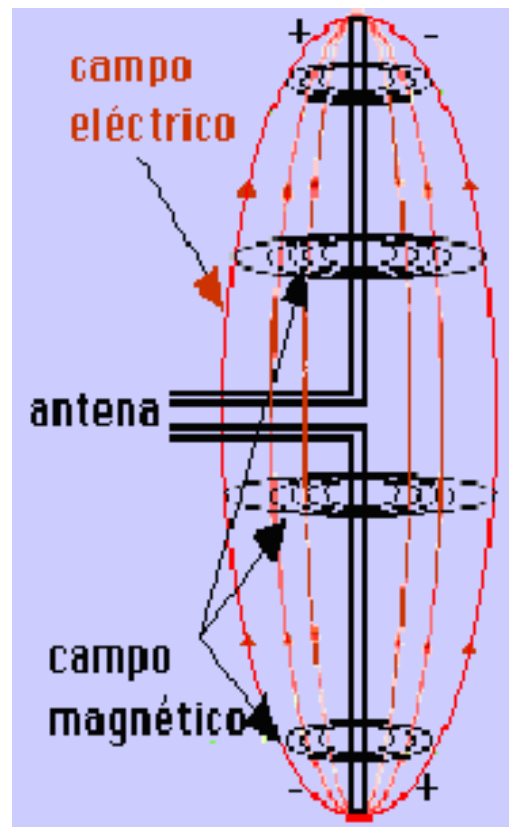


Fig. 2.2 Campos de Fuerza (Eléctrico y Campo Magnético).

2.3 CAMPO DE RADIACIÓN

Solo una porción del campo eléctrico que rodea la antena es radiada al espacio. Las antenas deben de dar a la onda radiada un aspecto de dirección. Es decir, deben recalcar un sólo aspecto de dirección y anular o disminuir a los demás. Esto es necesario ya que solo nos interesa radiar hacia una dirección determinada (Fig. 2.3).

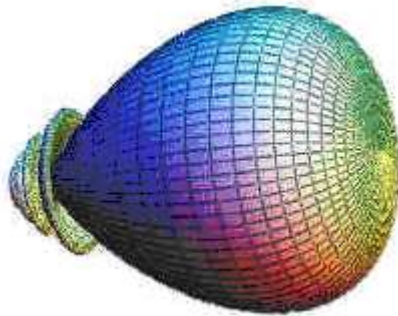


Fig. 2.3 Campo de Radiación de una antena

Lo anterior lo podemos ejemplificar con lo siguiente; claro, hablando de las antenas que llevan los satélites. Estas intensifican mucho la dirección hacia la tierra y anulan la de sentido contrario, porque el objetivo a seguir es comunicarse con la tierra y no mandar señales hacia el espacio.

2.3.1 PATRON DE RADIACIÓN DE LAS ANTENAS

“Las antenas son un tipo muy particular de circuitos cuya misión más importante es la de adaptar y radiar eficientemente las OEM al espacio, y dirigir esa radiación en una dirección preferente.”¹

¹ LEDESMA A. OSCAR, PATIÑO V. ALBERTO, PEÑA P. HERIBERTO: *SISTEMA AUTOMATICO PARA LA OBTENCION DE PATRONES DE RADIACIÓN DE ANTENAS DE BOCINA*, REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 38, No. 4, 2006, pág. 1439 – 1442.

“Las formas que pueden tomar las antenas es muy variada, existen antenas de hilos, como los monopolos y dipolos, antenas conectadas a guías de ondas como las bocinas, y antenas más complejas como las formadas por reflectores parabólicos. Una manera para determinar los parámetros básicos y característicos de una antena, es a través del análisis de su patrón de radiación.”²

“El patrón de radiación de antena, el cual típicamente comprende un haz principal y una estructura de lóbulos laterales, es comúnmente representado como un trazo en dos dimensiones”.

“El ancho de haz marca su importancia en la medida de qué tan exacto debe apuntarse la antena y qué tan rápidamente la antena rechaza las señales fuera de la región deseada”.³

“La representación gráfica 3D o 2D de las características de radiación de una antena. Dicho diagrama suele representar la densidad de potencia radiada, o bien la amplitud y/o fase del campo eléctrico radiado por la antena, a una distancia dada fija (habitualmente se representa la amplitud del campo eléctrico)”.

“La representación del diagrama 3D se da en coordenadas esféricas con centro en la antena; manteniendo la distancia de medida constante. En algunos casos, no es necesario obtener el patrón de radiación 3D; es suficiente representar algunos cortes del diagrama completo”.

“Normalmente, en estos casos se representa el comportamiento del diagrama en dos planos principales: los llamados plano E y plano H. El plano E se define como aquel plano en el que oscila el campo eléctrico; mientras el plano H es el plano normal al plano E (Fig. 2.4)”.⁴

² LEDESMA A. OSCAR, PATIÑO V. ALBERTO, PEÑA P. HERIBERTO: *SISTEMA AUTOMATICO PARA LA OBTENCION DE PATRONES DE RADIACION DE ANTENAS DE BOCINA*, REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 38, No. 4, 2006, pág. 1439 – 1442.

³ CORONADO RODRÍGUEZ A. Y F. MOUMTADI: *Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite*, INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII. 3. 245-253, 2006, pág. 246-252.

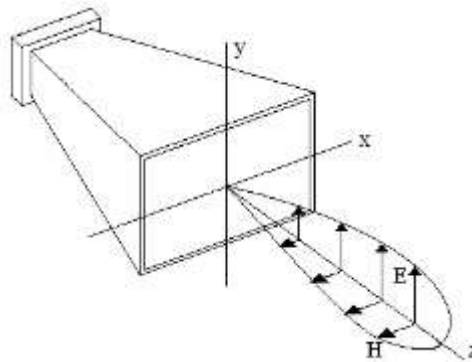


Fig. 2.4. Antena de apertura (bocina piramidal)

“Los cortes 2D del patrón de radiación pueden representarse tanto en coordenadas polares como en cartesianas; en el primer caso, el ángulo en el diagrama representa la dirección del espacio, mientras el radio indica la amplitud del campo eléctrico o la densidad de potencia radiada. En cartesianas, se representa el ángulo en el eje de abscisas y la amplitud en el eje de las ordenadas (Fig. 2.5)”⁵

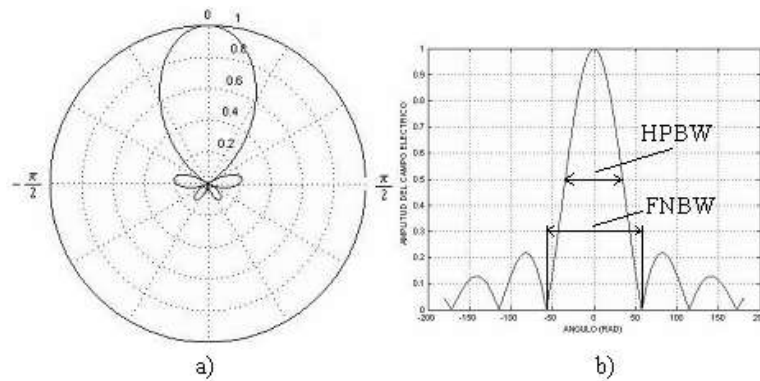


Fig. 2.5 Cortes del patrón de radiación en 2D. a) Coordenadas cartesianas
 b) coordenadas polares.

⁵ LEDESMA A. OSCAR, PATIÑO V. ALBERTO, PEÑA P. HERIBERTO: *SISTEMA AUTOMATICO PARA LA OBTENCION DE PATRONES DE RADIACION DE ANTENAS DE BOCINA*, REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 38, No. 4, 2006, pág. 1439 – 1442.

“La amplitud del campo eléctrico, o la densidad de potencia radiada, pueden mostrarse de forma absoluta o relativa (valores normalizados). En el segundo caso, el máximo toma un valor igual a la unidad, se pueden representar dichos valores relativos en escalas lineales o logarítmicas (dB)”.

“En un diagrama de radiación típico, se aprecia una zona en la que la radiación es mayor, a la cual se denomina haz o lóbulo principal. A las zonas situadas alrededor de otros máximos del diagrama, pero de menor amplitud que el máximo absoluto, se les llama lóbulos secundarios”.

“Ancho de haz a -3dB(Half Power Beamwidth, HPBW): separación angular entre las direcciones en las cuales el diagrama de radiación toma valores iguales a la mitad del máximo de potencia”.⁶

El ancho angular del haz principal del patrón de radiación de la antena, es caracterizado por el ancho del haz a media potencia (HPBW), que se define como el ancho angular total entre los dos puntos que están 3dB abajo del pico del haz principal. El HPBW es dependiente de la distribución de iluminación en la apertura de la antena y la dimensión de la apertura en el plano en el cual el patrón es medido.⁷

Ancho de Haz entre nulos (First Null Beamwidth, FNBW): Separación angular entre las direcciones del espacio en las que el lóbulo principal toma valor mínimo.⁸

“Ganancia y directividad son cantidades que definen la capacidad de concentrar la energía de una antena en una dirección particular, y están directamente relacionadas al patrón de radiación de la antena. La ganancia $G(\theta, \phi)$ de una antena en una dirección específica (θ, ϕ)

⁶ ¹³ LEDESMA A. OSCAR, PATIÑO V. ALBERTO, PEÑA P. HERIBERTO: *SISTEMA AUTOMATICO PARA LA OBTENCION DE PATRONES DE RADIACION DE ANTENAS DE BOCINA*, REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 38, No. 4, 2006, pág. 1439 – 1442.

⁷ CORONADO RODRÍGUEZ A. Y F. MOUMTADI: *Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite*, INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII. 3. 245-253, 2006, pág. 246-252.

está definida como la razón de la potencia radiada por unidad de ángulo sólido $P(\theta,\phi)$, en la dirección (θ,ϕ) a la potencia por unidad de ángulo sólido radiada desde una antena isotrópica, alimentada con la misma potencia total P_T . La antena isotrópica es una antena hipotética, la cual radia uniformemente en todas direcciones. Por lo tanto:”

$$G = \frac{P}{P_T/4\pi}$$

“Esta cantidad es una propiedad inherente de la antena e incluye pérdidas por disipación. Cuando sólo nos importa qué tan bien se forma el haz en el espacio, en lugar de las pérdidas, entonces se aplica el término de directividad. La directividad D de una antena, no incluye las pérdidas por disipación y está definida como la razón de P a la potencia por unidad de ángulo sólido, desde una antena isotrópica radiando la misma potencia P_T . Por lo tanto:”

$$D = \frac{P}{P_T/4\pi}$$

“La razón de $G(\theta,\phi)$ a $D(\theta,\phi)$ se conoce como “eficiencia de radiación” de la antena.

El valor de $G(\theta,\phi)$, donde la máxima radiación ocurre, se le conoce simplemente como “ganancia” de la antena, y en la mayoría de los casos se expresa en dBi (decibeles con relación a una antena isotrópica). Este valor corresponde al pico del haz principal del patrón de radiación, el cual es generalmente la dirección $(0,0)$ referida como “la dirección de apuntamiento o eje de apuntamiento de la antena”.⁹

⁹ CORONADO RODRÍGUEZ A. Y F. MOUMTADI: *Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite*, INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII. 3. 245-253, 2006, pág. 246-252.

“El factor de mayor importancia para determinar la eficiencia de la utilización de la Órbita geostacionaria es el patrón de radiación asociado a la antena de la estación terrena, particularmente en la región angular de 0–50° desde el eje de apuntamiento.

Para cálculos de interferencia es conveniente describir la envolvente de los lóbulos laterales de la antena de una estación terrena de la siguiente forma:”

$$S(q) = A - B \log q \text{ 10 dBi}$$

“Para $q > 1^\circ$ que es el ángulo en grados desde el eje de apuntamiento, A y B son coeficientes numéricos representando el nivel de la envolvente a 1° , fuera de la línea de apuntamiento y la tasa de disminución de la envolvente, respectivamente.”

“El Comité Consultivo de Radiocomunicaciones de la UIT adoptó un patrón de radiación de referencia para usarse en cálculos de interferencia para antenas grandes con $A=32$ y $B=25$, conduciendo a una mínima separación entre satélites de 2.9° .”

“Para reducir el espacio mínimo entre satélites a 2° y por consecuencia, conseguir más posiciones orbitales, se creó una especificación más estricta $A=29$ y $B=25$, que está aplicándose actualmente en las antenas de estaciones terrenas en el modo de transmisión.”

“Otro factor importante en la calidad de una transmisión vía satélite es la polarización. En el caso de una antena transmitiendo o recibiendo un campo linealmente polarizado, el componente Cross-polarizado es el campo en el ángulo recto del componente co-polar. Por ejemplo, si el componente co-polar es vertical, el componente Cross-polar será horizontal.”¹⁰

¹⁰ CORONADO RODRÍGUEZ A. Y F. MOUMTADI: *Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite*, INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII. 3. 245-253, 2006, pág. 246-252.

2.3.1.1 CAMPOS CERCANOS Y CAMPOS LEJANOS

El campo de radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual que el campo de radiación que se encuentra a gran distancia.

El término de campo cercano se refiere al patrón de campo que está se encuentra cerca de la antena y el término campo lejano es el patrón que se encuentra a gran distancia, como su nombre lo indica. Fig. 2.6.

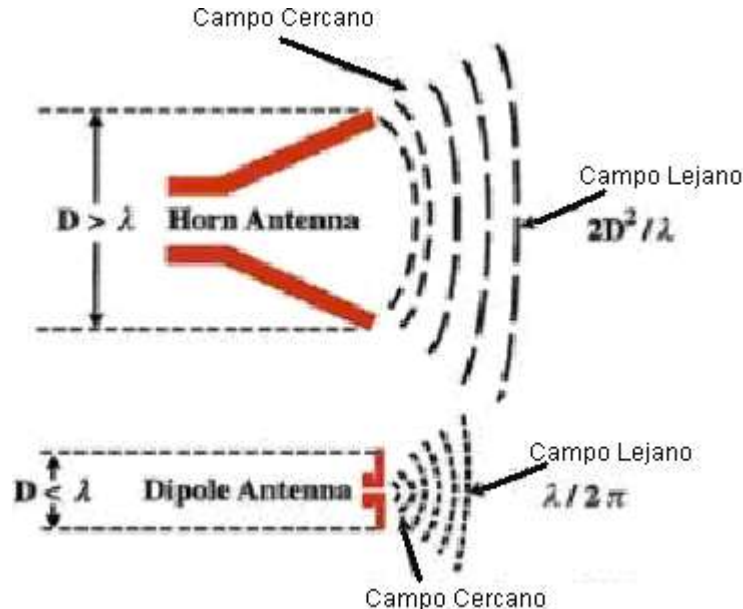


Fig. 2.6 Campo cercano y lejano de Radiación de una Antena

Mientras se está desarrollando la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano.

Después, en el trayecto de la segunda mitad del ciclo, la potencia que se había quedado en el campo cercano, regresa a la antena; acción similar a la de un inductor, guarda y suelta energía.

Por lo cual, a veces el campo cercano se le llama campo de inducción. La potencia que alcanza el campo lejano sigue irradiando lejos, por lo tanto, ésta no regresa a la antena y por ello también se le llama campo de radiación.

La potencia de radiación es la más importante, en mayor de los casos, dando como resultado a que los patrones de radiación de la antena se les atribuyan al campo lejano.

La radiación depende de la frecuencia de la señal que esté suministrando el transmisor a la antena.

2.3.2. RESISTENCIA DE RADIACIÓN

Las antenas al momento de enviar la potencia para irradiar, no toda ésta potencia se logra enviar, parte de la potencia se convierte en calor y se disipa. La resistencia de radiación no se puede medir directamente por lo que se dice que es un poco irreal. Entonces tenemos que la resistencia de radiación es una resistencia de la antena en ca y es igual a la relación de la potencia radiada por la antena al cuadrado de la corriente en su punto de alimentación.

$$R_r = P / i^2$$

Donde:

R_r = Resistencia de radiación (Ohms)

P = Potencia radiada por la antena (Watts)

i = Corriente de la antena en el punto de alimentación (Amperes)

2.4 CONFORMACIÓN DE LA ONDA DE RADIO

Como se había mencionado anteriormente, que la antena tiene que dar dirección a la onda radiada porque lo que queremos es radiar hacia una dirección determinada. La figura de estas ondas es normalmente una elipse, pero hay dos casos particulares de interés y son cuando la figura trazada es un segmento, dándole el nombre de linealmente polarizada (fig. 2.7a) y cuando la figura trazada es un círculo, denominándose circularmente o elípticamente polarizada (fig. 2.7b).



Fig. 2.7a Onda Linealmente Polarizada.



Fig. 2.7b Onda Circularmente Polarizada.

Una carga eléctrica acelerada crea un campo eléctrico variable y como explican las leyes de Maxwell, los campos pueden abandonar la fuente que los produce y viajar por el espacio sin soporte material.

Los campos no necesitan un medio deformable que vibre a su paso, lo que vibra, son los valores de los campos.

Como se indica en las ecuaciones de Maxwell, el campo eléctrico variable da lugar a un campo magnético variable, que éste a su vez, da origen a otro campo eléctrico y así sucesivamente van avanzando por el espacio.

2.5. DIRECTIVIDAD

La Directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada.

Esto se puede representar por medio de unos diagramas polares, para poder ver la respuesta de una antena a la radiación.

En un diagrama polar se muestra la respuesta, por medio de un esquema, de la cantidad de radiación que recibe una antena cuando ésta está enfocada a un punto determinado.

En la sig. Fig.2.8 se muestra la radiación de una antena, suponiendo que ésta está orientada hacia la línea azul; los lóbulos que se encuentran de color amarillo, son los que reciben la cantidad de radiación de cualquier punto del cielo.

El lóbulo principal es que va a recibir la mayor cantidad de radiación debido a que está orientada a un punto determinado.

Los lóbulos que se encuentran a un lado del principal, se les llaman lóbulos secundarios, estos son los culpables de que pueda entrar otra radiación proveniente del cielo a la que no esté orientada la antena, aunque la radiación es mínima.

“El tamaño del haz es el ángulo que se forma en los puntos de los lóbulos, justo a la mitad de la máxima radiación, esto se llama anchura a media altura o sus siglas en inglés HPBW (Half Power Beam Width). El tamaño del haz determina el poder de la radiación de una antena.”¹¹

¹¹ CORONADO RODRÍGUEZ A. Y F. MOUMTADI: *Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite*, INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII. 3. 245-253, 2006, pág. 246-252.

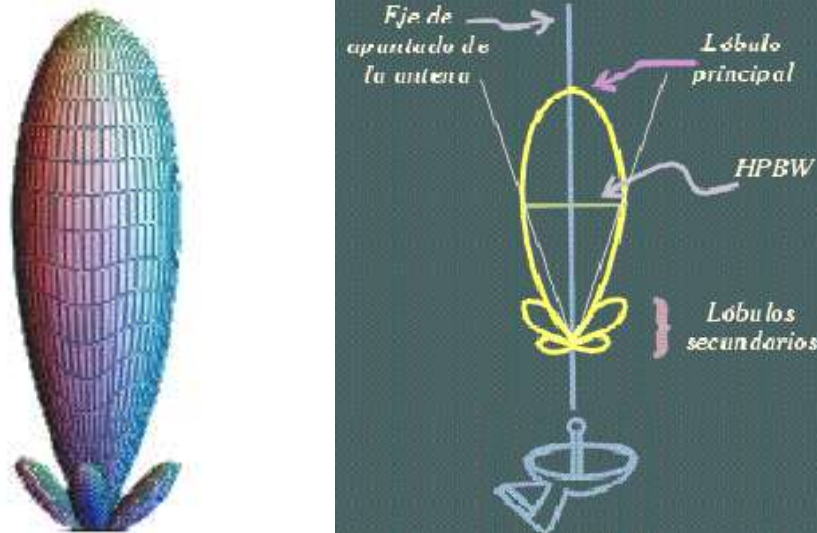


Fig. 2.8 Diagrama Polar de Radiación de una Antena.

2.6. POLARIZACIÓN

La polarización de una antena es tiene un rol importante en el diseño de la misma. La polarización se define como la trayectoria que describe el vector del campo eléctrico o magnético cuando la onda se aleja del observador (propagación de la onda). Existen diferentes tipos de polarización, dependiendo de la posición en que se encuentre la antena y de cómo la vea el observador. Así, tenemos que:

- Polarización lineal
- Polarización circular
- Polarización elíptica

2.6.1. POLARIZACION LINEAL

Es cuando las variaciones del vector de campo eléctrico oscilan en el plano perpendicular que están dentro de una única dirección donde se propaga la onda, es decir, estas vibraciones siguen una línea ya fijada en el espacio (Fig. 2.9).

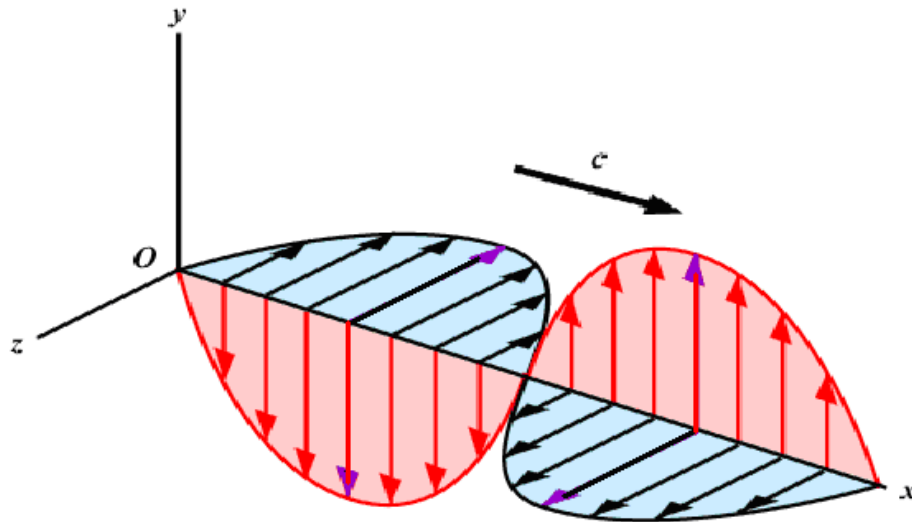


Fig. 2.9 Polarización Lineal.

En la fig. 2.9 se muestra como se propagan los campos eléctricos y magnéticos en una dirección, que es “X” y la polarización de éstos mismos pero en dirección hacia “Y”.

2.6.2. POLARIZACION CIRCULAR

Es cuando la intensidad del vector del campo eléctrico es constante describiendo una trayectoria circular en el espacio y al igual, la dirección de oscilación es constante. Si ésta trayectoria rota en el sentido de las agujas del reloj, la polarización es a derechas y si es al sentido contrario, la polarización es a izquierdas. No existe una preferencia por la dirección de oscilación.

2.6.3. POLARIZACION ELÍPTICA

Es cuando el vector del campo eléctrico describe una trayectoria elíptica o de forma de circunferencia en el espacio (Fig. 2.10). Cabe destacar que el vector del campo eléctrico, no es la misma cuando la encontramos en diferentes direcciones. Es la misma temática que la anterior polarización, se distingue la polarización elíptica a derechas o a izquierdas.

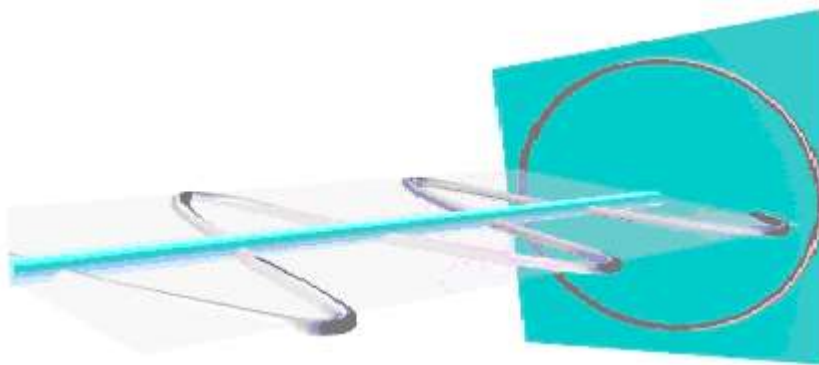


Fig. 2.10 Polarización Elíptica.

En ésta figura (Fig. 2.10) se pueden mostrar los dos tipos de polarización, la elíptica y la circular.

En “X” encontramos la propagación de la onda polarizada circularmente. Mientras que la elíptica la encontramos en el campo eléctrico que está descrito como una superposición de dos campos, uno vibrando en el sentido de “Y” y el otro en “Z”.

Estos tipos de polarización dependen del campo de referencia que tenga el observador, aunque esto no produce un cambio en la polarización.

La polarización lineal como la circular, son casos particulares de la elíptica; si tenemos una elipse de excentricidad infinita, es una lineal y una con excentricidad nula, es una circunferencia.

La polarización se debe realizar en la zona lejana de la antena, por si existe una variación en la distancia de ésta, no exista algún cambio en la polarización que se haya obtenido.

Si una antena trabaja en polarización vertical (fig. 2.10), en teoría solo puede transmitir y recibir ondas verticalmente polarizadas debido a que el campo eléctrico varía en una dirección perpendicular al suelo y por ello no podrá recibir una onda polarizada horizontalmente que tienen una dirección

Paralela al suelo (fig. 2.11). Y por esto, se dice que la antena no puede trabajar con ondas de polarización cruzada.

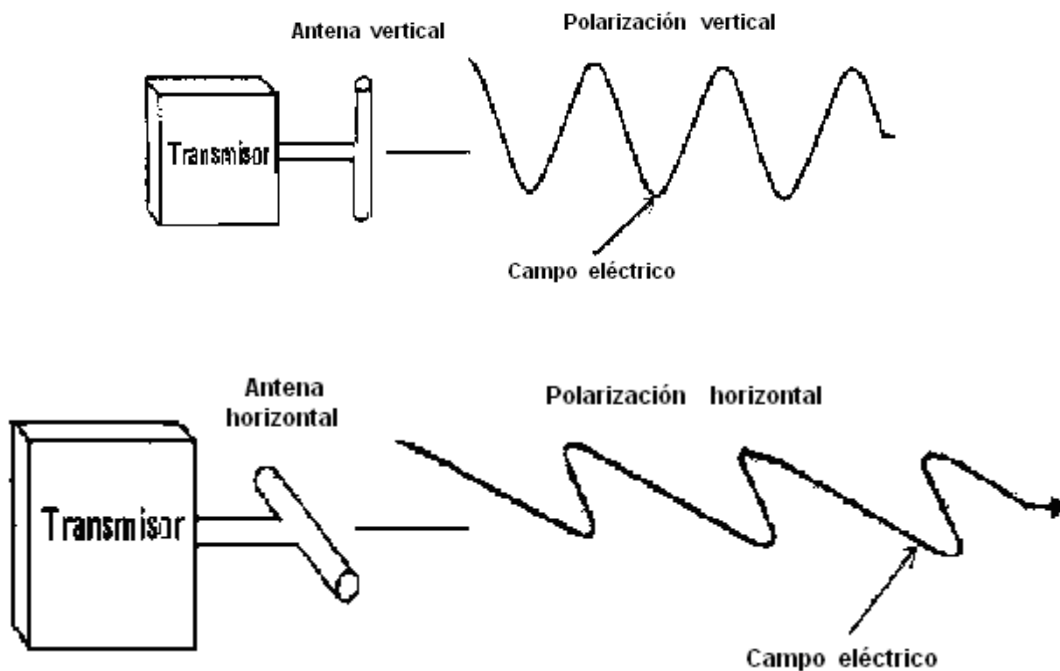


Fig. 2.11 Polarización Horizontal.

Esto mismo también se aplica en las otras polarizaciones. Por decir, si una antena trabaja en polarización circular a derechas, no podrá recibir ondas de otra antena que esté trabajando con polarización circular a izquierdas. Si dos antenas que están intentando realizar una comunicación y están trabajando con diferentes polarizaciones, sufrirán un desacople de potencia, que es la pérdida de potencia.

2.7 IMPEDANCIA

Para que una antena pueda transmitir la información requerida, ésta se tiene que adaptar y conectar a un transmisor, y tendrá que radiar con su potencia máxima posible y poder obtener un mínimo de pérdidas por medio de una línea de transmisión.

La línea de transmisión influye en la adaptación, debido a la su impedancia característica, atenuación y longitud.

Sabiéndose que el transmisor producirá corrientes y campos a la entrada de la antena, por lógica existe una relación de tensión-corriente en ese punto donde definiremos la impedancia de entrada. La impedancia tendrá una parte real $Re(w)$ y una parte imaginaria $Ri(w)$ que serán dependientes de la frecuencia. Si una antena que esta a una cierta frecuencia y no presenta la parte imaginaria, o sea $Ri(w)=0$, quiere decir que la antena se encuentra en resonancia a dicha frecuencia. Pero para mantener a $Ri(w)= 0$, no se deben aplicar corrientes excesivas que lo único que hacen es producir grandes pérdidas.

Todo esto, suponiendo que la antena está aislada, es decir que no existan otras antenas u objetos cercanos a ella que puedan afectar la impedancia, y como se había mencionado, la impedancia de entrada está compuesta por una parte real y una imaginaria, por lo consiguiente tenemos:

$$\mathbf{Z}_A = \mathbf{R}_A + \mathbf{jX}_A$$

Ahora para la impedancia de entrada real $\text{Re}(w)$, que como se había mencionado también depende de la frecuencia, ésta se puede descomponer en dos resistencias, la resistencia de radiación R_r y la resistencia de pérdidas $R\Omega$. “Dado que la antena radia energía, hay una pérdida neta de potencia hacia el espacio debido a la radiación, que puede ser asignada en una resistencia de radiación R_r ”.¹²

$$\mathbf{P radiada} = \mathbf{I}^2 \mathbf{R}_r$$

“La potencia entregada a la antena es la suma de las potencias radiada y de perdidas en la antena. Todas las pérdidas pueden globalizarse en una resistencia de pérdida $R\Omega$. La Resistencia de entrada es la suma de la radiación y pérdidas”.¹³

$$\mathbf{P entrega} = \mathbf{P radiada} + \mathbf{P perdidas} = \mathbf{I}^2 \mathbf{R}_r + \mathbf{I}^2 \mathbf{R}\Omega$$

“La existencia de pérdidas en la antena hace que toda la potencia entregada por el transmisor sea radiada, por lo que se puede definir un rendimiento o eficiencia de la antena η , mediante la relación de potencia radiada y la entregada, o equivalentemente entre la resistencia de entrada de esa antena, si hubiera sido ideal (sin perdidas), y la que presenta realmente”.

$$\mathbf{\eta} = \mathbf{P radiada} / \mathbf{P entregada} = \mathbf{R}_r / \mathbf{R}_r + \mathbf{R}\Omega$$

¹² CARDAMA AZNAR Ángel, JOFRE ROCA Lluís, Et al: *Antenas*, 2da. Edición, Alfaomega, Septiembre 2004, pág. 18.

¹³ Ibidem; pág. 8.

La resistencia de radiación sería como una resistencia que se encargaría de disipar en forma de calor la misma potencia que radiaría la antena. Y como la antena está compuesta por conductores, estos provocarán pérdidas que definen la resistencia de pérdidas de la antena.

2.8 ANCHO DE BANDA

Es el Intervalo de frecuencias en el que la Antena funciona. Como sabemos, las antenas ya tienen bien establecido una forma geométrica y por lo tanto también deben adaptarse a operar efectivamente dentro de un intervalo de frecuencias o de una banda. Este intervalo de frecuencias, es por donde va a circular toda la información deseada a transmitir o recibir, se le denomina como ancho de banda (BW).

Este significado se puede expresar de mejor manera: “es la relación que existe entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central”. Esta expresión se representa por medio de porcentaje.

$$BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0}$$

Y para antenas de banda ancha se suele expresar como:

$$BW = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} : 1$$

2.9 LONGITUD DE ONDA

La longitud de onda (λ) es la distancia recorrida por la onda durante el tiempo requerido para completar un ciclo (Fig.2.12). Sabiendo de por medio que las ondas herzianas viajan en el espacio con la velocidad de la luz, que su valor es de 300,000 Km/s. Por ejemplo, si tenemos una onda electromagnética que tiene una frecuencia de 1 ciclo, ésta recorrería en 1 segundo 300,000 Km, y esta sería su longitud de onda.

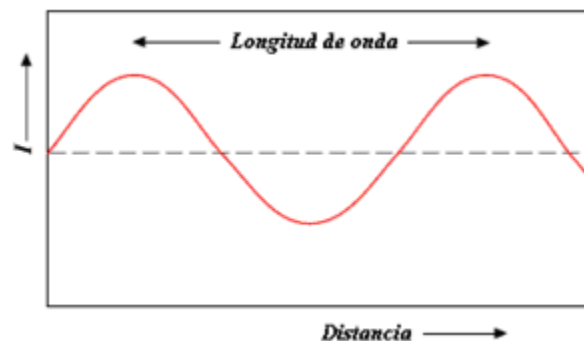


Fig. 2.12 Longitud de Onda.

En la figura se muestra que en el eje “x” representa la distancia recorrida y el “y” representa el parámetro físico.

La longitud de onda se mide en metros (m), porque es una distancia. Para asegurar el buen funcionamiento de una antena, su longitud debe ser igual a un submúltiplo de la longitud de onda de la energía RF aplicada. Como sabemos las antenas trabajan a ciertas longitudes de onda, ésta longitud de onda va a depender del tamaño de la antena.

CAPITULO 3

3.1 ANTENAS INTELIGENTES

3.1.1 ANTECEDENTES BÁSICOS

En los últimos años hemos visto la gran creciente de la tecnología, sobre todo en las tecnologías móviles, donde se ha incrementado en gran cantidad el número de usuarios en éstas. Y con todo esto va con la ayuda de la nueva entrada de la 3ª generación (3G) UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Con estas tecnologías podremos apreciar algunas ventajas, como incrementar la capacidad, el poder aumentar la calidad de la señal así como también, el nivel de seguridad e incrementar el alcance, debido a que UMTS tiene gran ancho de banda espectral a diferencia de GSM, que será el reemplazado.

Una verdad muy clara es que los sistemas móviles de hoy en día, van tomando una tendencia hacia la introducción del uso de los servicios multimedia y abonados, por lo cual se va a necesitar grandes tasas binarias, aunado con el crecimiento de los usuarios, lo que se va a tener como resultado un gran tráfico en las redes móviles por lo tanto, se tendrá que trabajar en el aumento de la capacidad de los sistemas de redes de comunicaciones móviles.

3.2 ¿QUÉ ES UNA ANTENA INTELIGENTE?

Una antena inteligente es un arreglo de antenas (Fig. 3.1), aquellas que en lugar de tener un diagrama de radiación, ésta tiene la capacidad de generar ó elegir haces de entre varios, eligiendo los más directivo que estén enfocados hacia el usuario deseado; también teniendo la capacidad de adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento y

cuentan con una unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP), la cual se encargará de optimizar lo diagramas de recepción y de transmisión.



Fig. 3.1 Antena Inteligente.

3.2.1 VENTAJAS DEL USO DE LAS ANTENAS INTELIGENTES CON LOS SISTEMAS 3G

Existen varias ventajas en los sistemas aprovechando la tecnología de las antenas inteligentes como el aumentar la capacidad de conexión a múltiples usuarios, el no tener que cambiar de Terminal; esto debido a la principal característica de las antenas que es el tener haces con una gran directividad es decir, tendremos una gran ganancia y selección de ángulos y otras ventajas de importancia adicionales a las anteriores que son:¹

¹ B. SALAS, M. PIZARROSO: *Antenas inteligentes como solución a problemas de calidad y capacidad en redes celulares y de acceso sin hilos*, VIII Jornadas Telecom I+D, septiembre de 1998, pág. 21-29.

- Incremento de la Capacidad y Confiabilidad
- Reducción de la Potencia Transmitida
- Reducción de Propagación Multitrayecto
- Reducción del Nivel de Interferencia
- Incremento del Nivel de Seguridad
- Incorporación de Nuevos Servicios

3.2.2 INCREMENTO DE LA CAPACIDAD Y CONFIABILIDAD

Debido a que un arreglo de antenas tiene mayor ganancia a comparación de una antena omnidireccional o sectorizada, tenemos que a la misma potencia de transmisión, la señal será recibida a mayor distancia. Este hecho, se aprovecha en el caso de los sistemas de telefonía móvil, en poder reducir el número de estaciones base para poder cubrir una cierta área, siempre y cuando el tráfico no sea el factor limitante.

“Para conseguir una mayor eficiencia al poder reutilizar las frecuencias disponibles, es la división de la zona de cobertura en áreas más pequeñas denominadas celdas.

En cada célula existe una estación base que transmite un conjunto de canales de tráfico junto con otros de señalización y que se encarga de dar servicio a la célula a la que pertenece”.

² (Fig. 3.2).

² HUIDOBRO MOYA José M., ROLDÁN MARTÍNEZ David: *Comunicaciones en Redes WLAN*, Limusa, 2006, pág. 143.

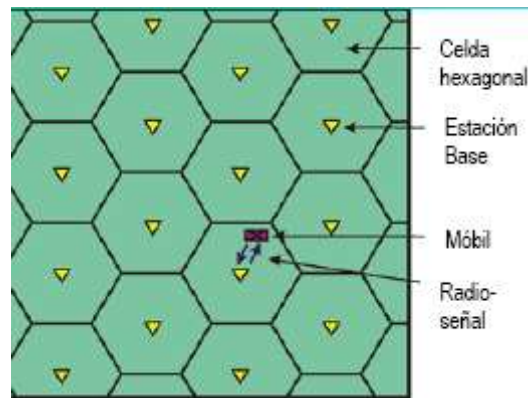


Fig. 3.2 Diagrama representativo de Antenas.

“Célula o Celda, es cada una de las unidades básicas de cobertura en que se divide un sistema celular. Cada célula contiene un transmisor, que puede estar en el centro de la célula, si las antenas utilizadas son o utilizan un modelo de radiación omnidireccional, o en un vértice de la misma, si las antenas tiene un diagrama directivo- y transmiten su subconjunto del total de canales disponibles para red celular a instalar”.³

3.2.3 REDUCCIÓN DE LA POTENCIA TRANSMITIDA

Gracias al arreglo de antenas tenemos un incremento de potencia, el cual va a provocar en la estación base que tenga una mayor sensibilidad en la recepción de señales y por consecuencia tenemos que los equipos móviles podrán transmitir a menor potencia incidiendo en el ahorro de batería (Fig. 3.3), pese a esta menor potencia de transmisión, se verá que en la estación base podrá transmitir a la misma potencia.

Entonces, el beneficio que se obtiene es en el ahorro de costos en la etapa de amplificación, debido a que nuestro sistema de antenas inteligentes se encuentra radiando a

³ HUIDOBRO MOYA José Manuel, MILLÁN TEJEDOR Ramón J., ROLDAN MARTÍNEZ David: *Tecnologías de Telecomunicaciones*, 1ra. Edición, Alfaomega Grupo editorial, México, Agosto 2006, pág. 90.

menor potencia y sin importar las especificaciones de los amplificadores de potencia, estos se pueden simplificar.

De igual modo, gracias a la ganancia del array, es posible que la estación base transmita igual potencia, pese a que cada elemento del array esté radiando una potencia muy inferior. Así se relajarían las especificaciones sobre los amplificadores de potencia utilizados, que podrían resultar más baratos.⁴



Fig. 3.3 Radiación de las Antenas de los Teléfonos Móviles.

3.2.4 REDUCCIÓN DE PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO

La menor dispersión angular de la potencia radiada por el sistema de antenas inteligentes o estación base tiene como producto la reducción de manera significativa el número de los trayectos múltiples que son recibidos por el equipo móvil simplificando el sistema de equalización del mismo.

⁴ J, RAMOS, MARTÍNEZ: *Aumento de la capacidad de Sistemas celulares mediante la modulación y antenas inteligentes*, VIII Jornadas Telecom I+D, septiembre 1998, pág. 121-150.

Dependiendo del tipo de configuración de la estación base se tienen dos situaciones:

- Cuando nuestra antena inteligente obtiene el haz más significativo de la señal de interés, eliminando las señales de multirrayecto propias y ajenas que pueden interferir.
- Cuando se obtiene el haz principal de la señal de interés y aprovechando las señales de multirrayecto para reforzar la principal y así poder eliminar a las señales ajenas interferentes.

3.2.5 REDUCCIÓN DEL NIVEL DE INTERFERENCIA

Gracias a la estación base se podrá obtener la mejor señal para una óptima recepción o transmisión de datos, evitando así la interferencia de señales de otros usuarios en el equipo receptor, haciéndolo menos sensible a este tipo de señales, en el caso de un enlace ascendente, y también reduciendo el nivel de la potencia de transmisión en las direcciones de esos otros usuarios evitando interferencia al equipo de ellos, en el caso de un enlace descendente (Fig. 3.4).



Fig. 3.4 Dibujo de Reducción de Interferencia.

Uno de los aspectos importantes en la reducción del nivel de interferencia, es el incremento de la relación C/I (Relación Carrier to Interference) obteniendo dos consecuencias de gran relevancia:

- Una mejora en C/I, provocaría la reducción del nivel de la tasa de error (BER), lo que permite aumentar la calidad de transmisión de la información.
- La reducción de C/I, se puede sacar un gran beneficio explotando directamente, mediante técnicas de multiplexación espacial, o indirectamente, haciendo un plan de frecuencias más acorde (para GSM), y así se podrá incrementar la capacidad del sistema.

3.2.5 INCREMENTO DEL NIVEL DE SEGURIDAD

Debido a que la transmisión que existe entre la estación base y el equipo móvil del usuario, es direccional. Esto genera dos grandes principales ventajas; una de ellas es que otro usuario no puede interferir en la misma señal, a menos que éste se encuentre en la misma dirección en que está apuntando el haz de la antena. Y la segunda es que se puede utilizar para localizar a usuarios que estén haciendo mal uso del servicio de manera fraudulenta que ofrece la red de comunicación móvil (Fig. 3.5).



Fig. 3.5 Incremento de Seguridad.

3.2.6 INCORPORACIÓN DE NUEVOS SERVICIOS

Debido a que en la red se podría tener acceso al posicionamiento de cualquier móvil, se podría implementar servicios tales como la radiolocalización para llamadas de emergencia, introducir el GPS, publicidad de los servicios que se encuentren cerca del móvil, gestión avanzada de flotas, extravío del móvil, etc.

3.3 DESVENTAJAS DE LAS ANTENAS INTELIGENTES

Como se ha visto en los párrafos anteriores, existen muy buenas ventajas en esta evolución en las antenas pero no obstante, tenemos algunas desventajas, que como toda nueva tecnología deben de existir algunos ajustes, como los que se presentan a continuación:

- Complejidad de los transceptores
- Complejidad de los procedimientos de gestión
- Modificaciones a los métodos de planificación

3.3.1 COMPLEJIDAD DE LOS TRANSCEPTORES

Los sistemas de antenas inteligentes son demasiado complejos y de mayor dificultad para poder realizarse que como lo son los sistemas de antenas de radiación que comúnmente se utilizan; por lo tanto, para poder realizar una comunicación, se tendrá que disponer de una cadena de transmisión/recepción para cada uno de los arreglos de antenas que utilicemos y deben de estar calibradas y balanceadas en tiempo real.

Otro elemento muy importante es el tener que contar con potentes procesadores para poder saber cuál va a ser nuestro ángulo de llegada, conformación del haz, etc. Por lo cual se define que no será posible diseñar un sistema radiante independiente para cada array y su propia antena inteligente por la complejidad de estos.

3.3.2 COMPLEJIDAD DE LOS PROCEDIMIENTOS DE GESTIÓN

Este problema que se presenta a continuación se debe a que el haz que se está utilizando tiene que estar en constantes revisiones la gestión de recursos de radio y la gestión movilidad, ya que el haz está destinado a un solo usuario e implica el cambio de celda, establecimiento de conexiones.

3.3.3 MODIFICACIONES A LOS MÉTODOS DE PLANIFICACIÓN

Para la introducción de un nuevo sistema de antenas inteligentes, se necesita tener en cuenta muchas cuestiones en la aplicación de una red celular, como una de las más destacadas que es el poder contar con el aumento de alcance, tener bien establecido los posibles elementos que llegaran a interferir en nuestra comunicación, así como el seguimiento angular de los usuarios, el cambiar de celda en el transcurso de una comunicación de voz.

3.4 TIPOS DE ANTENAS INTELIGENTES

La necesidad básica de realizar un sistema de antenas inteligentes que proporcione grandes beneficios a los usuarios móviles de manera individual en el espacio.

Por ello existen tres ramificaciones, en las cuales se explicarán en cada una de ellas las características principales y veremos cuál es la que nos convendrá, claro dependiendo el uso a tratar.

Las Antenas Inteligentes se clasifican en tres tipos:

- Haz Conmutado
- Haz de Seguimiento
- Haz Adaptativo

3.4.1 ANTENAS INTELIGENTES DE HAZ CONMUTADO

Este tipo de sistema es el más simple de los tres existentes, el funcionamiento de éste es por medio de la generación de haces en diferentes direcciones, previamente fijados, que van cambiando consecutivamente durante un tiempo establecido dando como resultado un barrido sobre la región deseada a cubrir, ya sea un sector o una celda.

Es la configuración más simple de Antenas Inteligentes. El sistema genera varios haces a ángulos prefijados que se van conmutando secuencialmente dando como resultando un barrido discreto de la zona de cobertura en posiciones angulares fijas.

En cada posición discreta del haz se activa el sistema de recepción para detectar la posible existencia de señales.

En caso de recibir señal, el sistema guarda información correspondiente a la posición del haz (ángulo + identificación de usuario) y se establece la comunicación con el usuario en un intervalo de tiempo.

Después de este intervalo se conmuta al siguiente haz para detectar la existencia de otros posibles usuarios hasta llegar al límite angular de la zona de cobertura. Este proceso se repite permanentemente en el tiempo⁵.

Y aquí es donde entra la actuación del sistema en seleccionar el haz más conveniente para realizar una comunicación para cada usuario en particular, todo esto con base al nivel de potencia recibida, mejor SNR y mejor C/I.

Lo que hace el sistema es mandar varios haces para cubrir una región, como se había mencionado previamente, activando su sistema de recepción y verificando si existen señales. Si el sistema detecta alguna señal, este guarda la posición del haz, que es la posición del usuario y el ángulo en que se detectó, estableciendo así la comunicación con el usuario en un intervalo de tiempo.

Después el sistema realiza la conmutación con otro haz para verificar si existen otras señales de usuarios para poder realizar la misma operación hasta llegar al límite angular de la zona que se ha cubierto.

Una de las posibles desventajas que se tenga con este tipo de haz, es de no tener la garantía de que el móvil que se esté cubriendo, tenga el mejor haz con la máxima radiación y pudiendo así provocar alguna interferencia de alguna otra señal (Fig. 3.6). Esta señal interferente se puede introducir por los lóbulos secundarios.

⁵ *Antenas Inteligentes*, Ing. Rafael Albornoz. <http://www.lant.ing.uc.edu.ve>

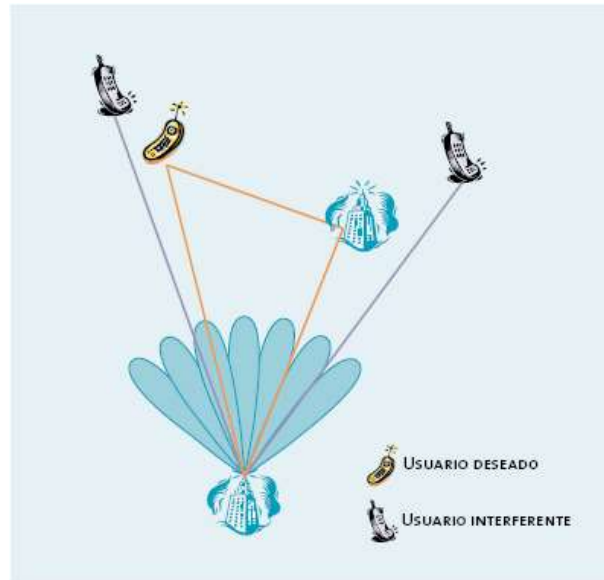


Fig. 3.6 Antena de haz Conmutado

Para este problema de este haz conmutativo, existe una de versión avanzada, que consiste en enviar el haz con mayor radiación hacia el usuario, mientras que los demás haces, se seleccionen algunas de sus componentes de multitrayecto para que se puedan procesar en un receptor Rake.

Un receptor Rake utiliza varios correlacionadores de banda base para procesar individualmente varias componentes de la señal multitrayecto. La salida del correlacionador se combina para obtener una mejor señal.

Los elementos que conforman el sistema de Haz Conmutado son los siguientes:

- Matriz de Butler
- Matriz de Blass
- Acopladores direccionales
- Híbridos 3dB-90°
- Líneas de transmisión

- Switches de microondas (diodos PIN)
- Sistema de control de fase

3.4.2 ANTENAS INTELIGENTES CON HAZ DE SEGUIMIENTO

Este tipo de haz es más complejo que el Haz Conmutado. El haz de seguimiento funciona mediante un *phased array* o *arreglo progresivo*, el cual consiste en controlar electrónicamente cada fase de la celda que compone a la antena (Fig. 3.7), y así dando la gran ventaja de poder orientar nuestro lóbulo principal hacia la dirección que nosotros queramos; pero para poder hacer posible esto, se necesita utilizar algoritmos de detección de la dirección de arribo (DoA), para así siempre estar apuntando el haz hacia el usuario⁶.

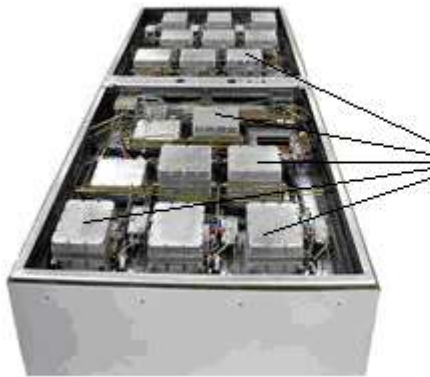


Fig. 3.7 Celdas que conforman a una Antena Inteligente.

⁶ GUITAL MANSILLA, Cristian, MUNOZ BRANDAU, Eduardo y FIERRO MORINEAU, Néstor. Antenas inteligentes y su desempeño en redes wireless. *Sínt. tecnol.* [online]. nov. 2007, vol.3, no.2 [citado 16 Junio 2009], p.97-109. Disponible en la World Wide Web: <http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-025X2007000100005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-025X.

Gracias a esta técnica, se puede dar la garantía de que el usuario estará siempre cubierto por el lóbulo principal y a su máxima radiación, claro, siempre y cuando no se superen los algoritmos previamente fijados.

Otra de las diferencias destacables de este tipo de haz es que encontramos que en el sistema de Haz Conmutado, en los cambios de fase, se realiza a ángulos prefijados y en cambio, en el sistema de Haz de Seguimiento, la posición del haz tiene mayor resolución angular, es decir, podemos direccionarlo a nuestra necesidad.

La única contra que encontramos en este tipo de haz, es al igual que el haz anterior, existe la posibilidad de que pueda entrar una señal interferente por medio de nuestros lóbulos secundarios (Fig. 3.8).

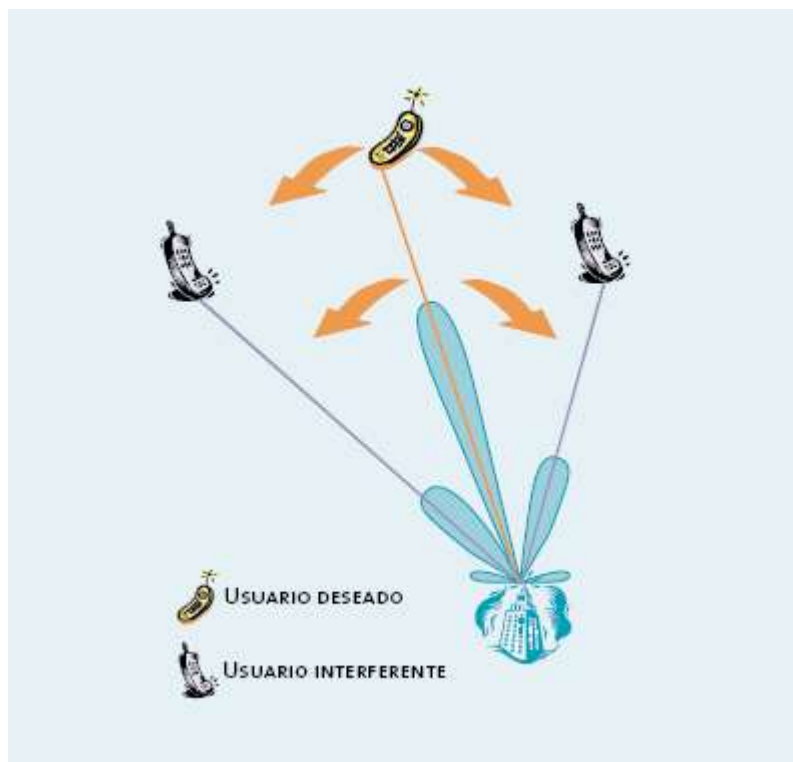


Fig. 3.8 Antena de Haz de Seguimiento.

De igual manera, para poder lograr un aprovechamiento de las señales multitrayecto, se podría implementar el uso de un receptor Rake para el procesamiento de las señales.

Por último, a continuación se mostrarán los electos componentes de un sistema de Haz de Seguimiento:

- Desfasadores
- Componentes
- Líneas de transmisión
- Sistema de detección de dirección de arribo (DoA)
- Sistema de control de fase

3.4.3 ANTENAS INTELIGENTES CON HAZ ADAPTATIVO

Este tipo de Haz es el de mayor inteligencia que puede contar este tipo de sistemas de antenas. Este consiste en que la salida de cada elemento de este arreglo de antenas se le proporciona, de manera ponderada, un peso donde su valor asignado será dado dinámicamente para poder conformar un diagrama de radiación, en el cual nos va a dar como resultado un lóbulo principal direccionado hacia el usuario, mientras que los lóbulos secundarios tienen una dirección hacia las componentes multitrayecto de la señal deseada y mínimos o incluso nulos de radiación, en direcciones hacia las fuentes de interferencia (Fig. 3.9).

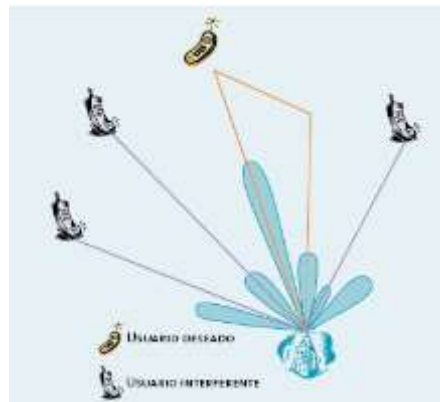


Fig. 3.9 Antena de Haz Adaptivo.

No siempre se podrán eliminar todo tipo de fuentes interferentes en nuestra señal, ya que esto va a depender de forma relacionada del número de elementos que conforman la antena con el número de señales interferentes.

En este tipo de técnica, se requiere también el uso de algoritmos DoA, como para las señales de detección de arribo e interferentes como para la detección de los mejores pesos que conformarán el haz⁷.

Otra inconveniente son los algoritmos, ya que son demasiado pesados, hablando en términos computacionales. Y una limitación importante es que estos deben ser procesados en tiempo real.

Los elementos que conforman a este tipo de haz, son los siguientes:

- Mezcladores
- Oscilador local
- Filtros pasa/banda
- Convertidores análogo/digital
- Down-converter
- Sistema de detección de dirección de arribo (DoA)

⁷ GUITAL MANSILLA, Cristian, MUNOZ BRANDAU, Eduardo y FIERRO MORINEAU, Néstor. Antenas inteligentes y su desempeño en redes wireless. *Sínt. tecnol.* [online]. nov. 2007, vol.3, no.2 [citado 16 Junio 2009], p.97-109. Disponible en la World Wide Web: <http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-025X2007000100005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-025X.

3.5 MODOS DE APLICACIONES PARA LA INTRODUCCION DE ANTENAS INTELIGENTES EN UNA RED MÓVIL

En este punto vamos a tratar sobre los modos en que se puede introducir este tipo de tecnología de las antenas inteligentes en una red de comunicaciones móvil. Para lograr este propósito nos encontramos con la ayuda de tres modos de hacerlo, por medio de:

- Receptor de Alta Sensibilidad (HSR)
- Rechazo de Interferencias por Filtrado Espacial (SFIR)
- Acceso Múltiple por División Espacial (SDMA)

3.6 RECEPTOR DE ALTA SENSIBILIDAD (HSR)

Para la implementación de este modo, las antenas inteligentes sólo se van a utilizar para los enlaces ascendentes. Y gracias a la obtención de la mayor directividad de la antena, existe una gran mejora en el aprovechamiento de la sensibilidad global en la cadena de recepción de la estación base. Tendiendo así como consecuencia, una serie de ventajas:

- Tendremos una ganancia en la extensión de la zona de cobertura, gracias a la mejora que existe en la sensibilidad en el enlace ascendente. Esta notable mejoría podría llegar a ser tan importante que actuaría de manera tal, que en el enlace descendente lo haría demasiado prohibitivo a la hora de realizar los cálculos de la cobertura de una estación base.

- Otra gran ventaja obtenida por el aumento de la sensibilidad, es que en los móviles que se encuentran cerca de la estación base, podrán realizar sus enlaces con menor potencia y teniendo la misma calidad de la emisión. Consecuentemente se obtendrá un ahorro de batería.
- Se tiene una tercer ventaja que se reflejaría en la mejora de la relación C/I, obteniendo menores tasas de error y una mayor calidad. Un dato importante es que esta mejora que se obtiene en la relación C/I, no se podría aplicar en un sistema CDMA para mejorar su capacidad, debido a que solo se puede obtener en los enlaces ascendentes y no en los descendentes.

3.6.1 RECHAZO DE INTERFERENCIAS POR FILTRADO ESPACIAL (SFIR)

En este modo empleado, a diferencia de la HSR, se emplean las antenas inteligentes tanto para el enlace ascendente como para el descendente.

Con esta configuración tenemos una gran mejoría en el mejoramiento por la selectividad espacial en las dos direcciones.

Ahora, vemos que existe una reducción en la BER y al existir una mejora en la relación C/I, se tiene la oportunidad de obtener grandes beneficios como en el aumento, directamente, de la capacidad en un sistema CDMA e indirectamente en un GSM; se puede realizar haciendo un plan de frecuencias más próximas, debido a que es menor distancia de reutilización, existe la posibilidad de un aumento en número de las portadoras de la estación base.

3.7 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN ESPACIAL (SDMA)

Este tipo de modo que se pretende introducir, es el más complejo, debido a que tiene la capacidad de poder aprovechar de manera muy amplia la selectividad espacial de las antenas inteligentes, ya sea de modo de un enlace ascendente o descendente para poder ubicar a varios usuarios simultáneamente en un mismo canal. Esto significa que, existe la posibilidad de que haya varios usuarios utilizando la misma frecuencia y el mismo *código de scrambling* no obstante, en ocasiones, hasta el mismo *timeslot* en GSM, pero con la diferencia es que se encuentran en distinto nivel angular con respecto a la estación base.

Al hacer la introducción de este modo tienen también sus desventajas, como la necesidad de incorporar complicados sistemas de gestión de usuarios, el aumento de canales (que será de manera proporcionada), así como la asignación de estos mismos, etc.

Una investigación sobre la implementación de SDMA a UTMS, se está tratando de implementar. Sería de manera extraordinaria aplicarlo, por la capacidad de aprovechamiento espacial que se obtendría.

Pero existe un gran problema, debido a que UTMS es un sistema CDMA; en este tipo de sistemas, existen varios usuarios que comparten la misma frecuencia simultáneamente y sólo se pueden diferenciar por su código de scrambling, los cuales tienen la garantía y la capacidad de producir una separación suficiente de las señales y cuentan con códigos de sobra para sus usuarios así que, para poder llevar a cabo la introducción de SDMA a UTMS no sería de gran utilidad un nuevo sistema que fuera capaz de diferenciar la situación espacial de cada usuario.⁸

⁸ WANEY, Tomasi: *Sistemas de Comunicaciones electrónicas*, México, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1996, 2º edición, pág. 377-410.

3.8 ANTENAS DE TELEFONÍA MOVIL, ANTENA DOWN TILT

El término “comunicaciones móviles” describe cualquier enlace de radiocomunicación entre dos terminales, de las cuales al menos una está en una localización indeterminada, en movimiento, o parado, pudiendo el otro ser un terminal fijo.

“Esta definición es de aplicación a todo tipo de enlace de comunicación, ya sea de móvil a móvil o entre fijo y móvil”⁹.

La antena Down Tilt sirve como método de enfoque de la radiación, con el cual se puede dirigir hacia abajo la radiación que fluye de la antena, con el objeto de reducir o concentrar la radiación excesiva en el área de cobertura que está siendo abarcada por la misma, buscando optimizar el “handoff o Handover”, corrigiendo problemas de interferencia con celdas pequeñas por la consecuencia del aumento de capacidad de tráfico (Fig. 3.10).

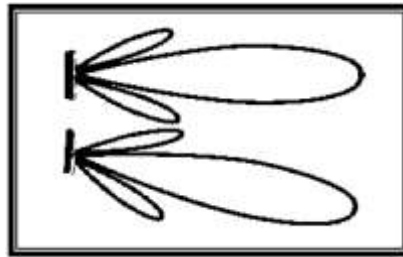


Fig.3.10 Diagrama de Radiación de una Antena Down Tilt.

Es el proceso de pasar una llamada de un canal de voz en una celda a un nuevo canal en otra celda o en la misma sin que los usuarios sean conscientes de ello, a medida que el usuario se mueve a través de la red.

En función de la relación entre los canales origen y destino de la comunicación, los trasposos pueden clasificarse en: duro y blando o inter/intra célula.

⁹ HUIDOBRO MOYA José Manuel, MILLÁN TEJEDOR Ramón J., ROLDAN MARTÍNEZ David: *Tecnologías de Telecomunicaciones*, 1ra. Edición, Alfaomega Grupo editorial, México, Agosto 2006, pág. 78-106.

CAPITULO 4

4.1 APLICACIÓN DE LAS ANTENAS INTELIGENTES

Las Antenas Inteligentes ahora en día tienen bastante aplicación dentro de las telecomunicaciones, de las cuales indicaremos a continuación.

El caso de la telefonía celular:

- ❖ Consiste en dividir un área geográfica en celdas o células hexagonales en cuyo centro se encuentra una estación base (EB).
- ❖ La EB puede transmitir y recibir señales de RF y establecer un enlace con un usuario (móvil) presente dentro de su área de cobertura.
- ❖ Cada EB tiene la capacidad de dar servicio a cierta cantidad de usuarios simultáneamente, y de conectarlos a otros usuarios en la misma o en otras células, o al servicio público de telefonía conmutado.

Con el cambio entre generaciones de las telecomunicaciones, fueron modificándose los requerimientos de las Antenas con respecto al servicio dado, y con esto llevo a la implementación de mejores Antenas tanto para la recepción y envío de la información, como para el tipo de servicio dado en ellas.

Así de la siguiente manera se fueron dando las modificaciones de la red de comunicación en el servicio móvil, como se muestra.

- ✓ 1G (1983)-Establece una comunicación analógica entre la estación base y el usuario.

- ✓ 2G (1996)-Utiliza esquemas de modulación digital. El acceso al canal es TDMA y CDMA.
- ✓ 2.5G (2002)-Servicios de conmutación de paquetes.
- ✓ 3G (2002)-Uso de antenas inteligentes, la cobertura de una antena se modifica para adaptarse a las características de la señal recibida considerando la dirección de llegada de la señal y de las fuentes de interferencia, haciendo uso de multicanalización por división de espacio.

La tecnología no para y, así, surge GPRS (General Packet Radio System), que introduce la conmutación de paquetes en las redes GSM (introducción al mundo IP).

En paralelo a la evolución de las redes, se da la evolución en el mundo de las antenas y terminales, necesaria para soportar los nuevos servicios.¹

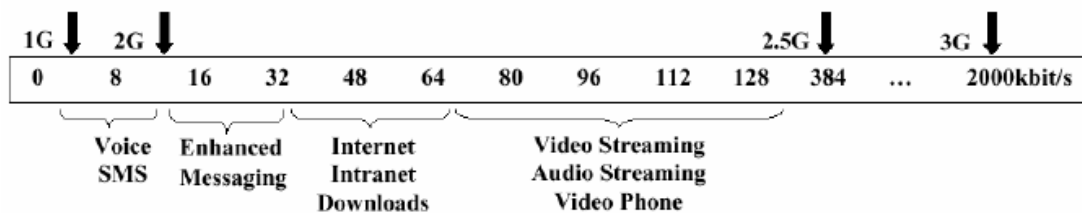


Fig. 4.1 Generación de tecnologías de telefonía móvil.

¹ HUIDOBRO MOYA José Manuel, MILLÁN TEJEDOR Ramón J., ROLDAN MARTÍNEZ David: *Tecnologías de Telecomunicaciones*, 1ra. Edición, Alfaomega Grupo editorial, México, Agosto 2006, pág. 78-106.

4.2 WIMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas)

Es una red de telecomunicación utilizada en la informática para la emisión vía inalámbrica del internet y para los autos (GPS) o que incluso tienen ya una tecnología muy avanzada y los teléfonos móviles (Fig. 4.2).

“Su principal característica es su gran alcance ya que puede llegar a los 50 km. con una velocidad de transmisión de hasta 70 Mbps”.²

Es un estándar aprobado en 2003 en el Wimax Fórum, de transmisión inalámbrica de datos diseñado para ser utilizado en el área metropolitana o MAN.

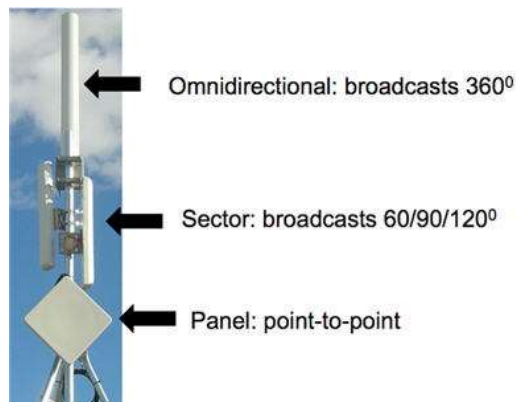


Fig. 4.2 Antena WiMax

La figura de arriba ilustra los tres principales tipos de antenas utilizadas en los despliegues de WiMAX. De arriba a abajo son una omnidireccional, el sector y la antena de cada grupo tiene una función específica (Fig. 4.3).

A través de una sola torre mediante una Antena de distribución ubicada a kilómetros del usuario final (hasta 48 kilómetros), proporciona acceso a miles de usuarios en áreas rurales o metropolitanas con alta densidad demográfica.

² GÓMEZ LÓPEZ Julio: *Guía de Campo Wi-Fi*, 1ra. Edición, Alfaomega, México, Abril 2008, pág. 13.

No requiere línea de visión directa (NLOS – Non Line of Sight), maneja tasas de transmisión de hasta 75 Mbps, cuenta con calidad de servicio, ofrece seguridad y opera en bandas con y sin licencia.

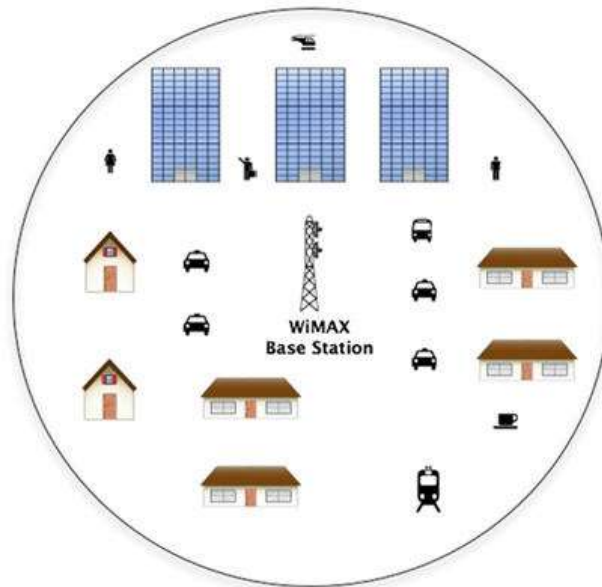


Fig. 4.3 Antena Omnidireccional WiMax

Esta tecnología se está empleando para conectar a los usuarios inalámbricamente por medio de radiofrecuencia con sus computadoras hacia Internet, sin la necesidad de tener que conectarse a un cable.

El uso de la antena inteligente se ve muy palpable en esta nueva tecnología, ya que la antena es capaz de recibir e enviar información al mismo tiempo a miles de usuarios que se conectan a ella, con la mejor calidad y con una gran distancia de transmisión, y que la cual radia a todas direcciones y utilizando una banda del espectro más estrecha y baja, de 2-11 GHz, facilitando su regulación (fig. 4.4).

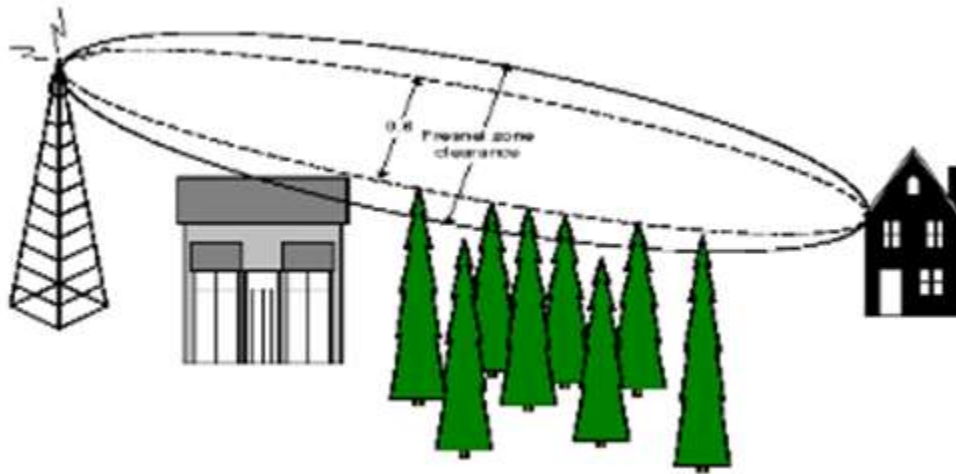


Fig. 4.4 Transmisión de una Antena Wimax

Además, como ventaja añadida, únicamente requiere del despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos (Fig. 4.5).

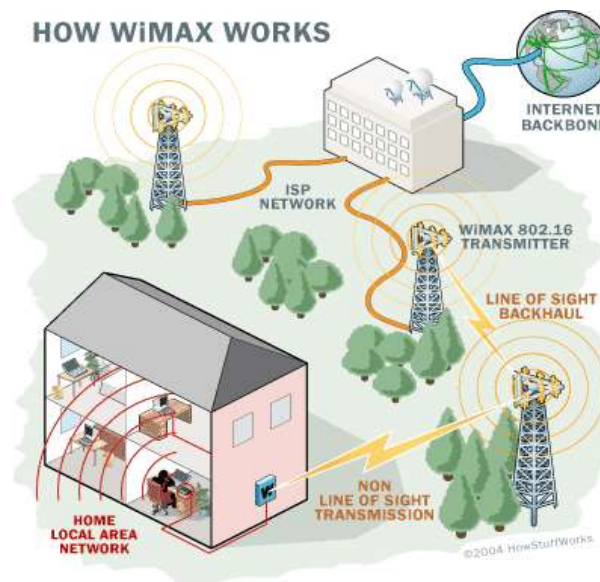


Fig. 4.5 Transmisión WiMax

WiMax, fue diseñado como una solución de última milla en redes metropolitanas (MAN) para prestar servicios a nivel comercial.

La antena WiMax, puede radiar tanto omnidireccional, como direccionalmente y ya que maneja una frecuencia baja (entre 2 y 11 GHz), que las transmisiones de más baja longitud de onda no son fácilmente interrumpidas por obstáculos físicos. Pueden fácilmente propagarse alrededor de ellos y esto hace a que se tenga una mejor recepción de la señal.

4.3 ANTENAS EN Wi-Fi (Wireless Fidelity)

“WiFi surgió con el objetivo de normalizar el mercado de las comunicaciones inalámbricas, ya que durante muchos años existieron diferentes propietarios que eran incompatibles entre sí”.³

“Para crear una red inalámbrica WiFi debe disponer una serie de dispositivos hardware compatibles con la norma IEEE 802.11. El primer componente necesario es el punto de acceso, que es elemento que da cobertura a la red inalámbrica, y consiste básicamente en un aparato de radio con una o varias antenas que ofrece cobertura a nuestra red y actúa como controlador central de la comunicación. A este punto de acceso podrán conectarse numerosos ordenadores u otros dispositivos a través de adaptadores de red inalámbrica”.⁴

Los sistemas Wi-Fi son básicamente es un estándar técnico para la transmisión de información a corta distancia por medio de señales de radio desarrollado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

³ GÓMEZ LÓPEZ Julio: *Guía de Campo Wi-Fi*, 1ra. Edición, Alfaomega, México, Abril 2008, pág. 8.

⁴ Ibidem; pág. 9-10.

A diferencia de WiMax, Wi-Fi es para transmisión en áreas más reducidas o distancias relativamente cortas.

Wi-Fi utiliza la misma tecnología con respecto a las antenas, las cuales transmiten y reciben información de múltiples usuarios.

Las antenas son más pequeñas a las utilizadas en WiMax, y estas están enfocadas a la transmisión de datos a través o por medio del internet, y comúnmente utilizadas en oficinas, edificios, escuelas, etc., y Wi-Fi está enfocada especialmente para uso privado y no tanto a público, como lo es WiMax (Fig. 4.6).



Fig. 4.6 Antenas Wi-Fi.

Esta nueva tecnología surgió por la necesidad de establecer un mecanismo de conexión inalámbrica que fuera compatible entre los distintos aparatos.

“WiFi se promueve más comúnmente como dispositivos que proporcionan una velocidad de datos máxima de 11 Mbps, es importante observar que la especificación 802.11b IEEE que presenta los fundamentos para que WiFi soporte en realidad un total de cuatro velocidades de datos: 1, 2, 5.5 y 11 Mbps”.

“Más tarde se decidió que WiFi debería de ser extendido para incluir los productos con velocidades de datos máxima de 54 Mbps”.⁵

⁵ REID Neil, SEIDE Ron: *802.11 (WiFi) Manual de Redes Inalambricas*, 1ra. Edición en español, Mc Graw Hill, 2004, pág. 92-93.

Actualmente, en muchas ciudades se han instalados nodos WiFi que permiten la conexión a los usuarios. Cada vez es más común ver personas que pueden conectarse a Internet desde cafés, estaciones de metro y bibliotecas, entre muchos otros lugares.

4.4 ANTENAS EN LOS SATÉLITES

El uso de las Antenas en los satélites es diferente a las conocidas, ya que estas se llaman Transponder, que es un tipo de dispositivo utilizado en telecomunicaciones cuyo nombre viene de la fusión de las palabras inglesas Transmitter (Transmisor) y Responder (Contestador/Respondedor).

Los ‘transponders’ son sistemas de comunicación y control que responden automáticamente cuando reciben un mensaje o señal.

El término proviene de la contracción de la palabra **transmisor** y **responder**. Pueden ser de tipo pasivo o activos. Se designa con este término (o con alguna de las abreviaturas XPDR, XPNDR, TPDR o TP) a equipos que realizan la función de:

- Recepción, amplificación y reemisión en una banda distinta de una señal (estos transpondedores se utilizan en comunicaciones espaciales para adaptar la señal satélite entrante/saliente a la frecuencia de los equipos en banda base).
- Respuesta automática de un mensaje (predeterminado o no) a la recepción de una señal concreta de interrogación (estos transpondedores se utilizan en aeronáutica para sistemas de pseudo-radar) (Fig. 4.7).

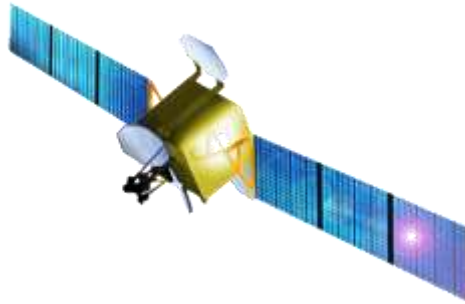


Fig. 4.7 Satélite con Transponders

Al igual que las antenas los Transponder reciben y envían señales, pero a diferencia estos las transmiten un diferentes bandas, una para la recepción y otra diferente para el envío.

El uso de los Transponder o Tags es amplio, utilizada en los aviones, para la transmisión con las torres de control, y para ser detectados por los radares. En los automóviles para ser localizados vía satélite o para ser inmovilizados por medio de la alarma a través de la llave que contiene de igual manera un tag que envía una respuesta encriptado (Fig. 4.8).



Fig. 4.8 Tag utilizado en los automóviles

Los transponder pasivos permiten a un sistema identificar un objeto. Por ejemplo las protecciones antirrobo con forma de antena en espiral metida en una pegatina, que utilizan los grandes almacenes.

En la náutica de recreo, un claro ejemplo de transponder es el dispositivo de seguridad que deseáramos todos llevar en la balsa salvavidas en caso de naufragio. Está aprobado por la IMO, se llama S4 - RESCUE SART y funciona en la banda radar de 9 GHz (banda X). Al activar el transponder, el dispositivo se queda a la escucha, y si ‘oye’ una señal de radar, se pone a emitir en la misma frecuencia, actuando como una especie de reflector de radar pero de enorme tamaño. En la marítima para los barcos que sean detectados o en dado caso de transmitir una señal cuando estos se pierden o naufragan sobre el mar (Fig. 4.9).



Fig. 4.9 Transponder utilizado en naufragios.

Una vez activado, el transponder funcionará durante 96 horas. En la pantalla del barco de salvamento aparecen una serie de 12 puntos muy claros indicando nuestra posición. En una balsa salvavidas sin transponder, no apareceremos en ninguna pantalla de radar.

Los avanzados transponder activos de aviación permiten a una aeronave conocer en tiempo real, todo lo que vuela a su alrededor, indicando rumbos, velocidades, altura de vuelo, identificación de la aeronave, y muchos más datos. Estos sistemas activos también se utilizan en la navegación marina, como el sistema AIS, que son increíblemente sofisticados ofreciendo toda la información detallada de cada buque.

Los transponder también se utilizan fuera del ámbito marino, en las redes de satélites. Estos reciben una señal en una banda, y retransmiten el mensaje en otra frecuencia actuando como un repetidor. Así hacen también los nodos de las redes de telefonía móvil, o los repetidores de televisión repartidos por toda la geografía (Fig. 4.10).

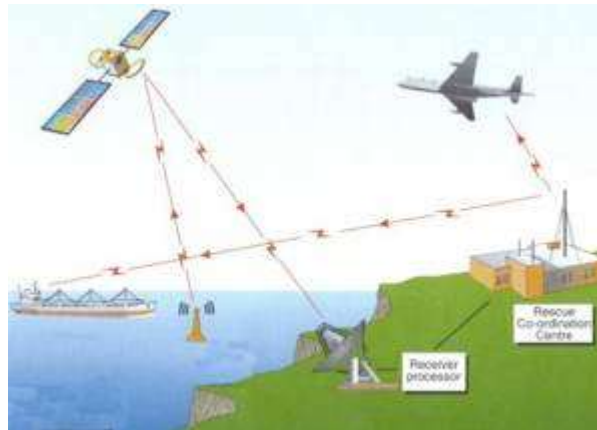


Fig. 4.10 Transmisión y aplicación del Transponder.

CONCLUSIONES

Hemos visto que con el paso del tiempo las Antenas han ido evolucionando, cambiado de forma y modificado sus características tanto de emisión como de recepción y de la potencia con la que estas llegan a emitir, cubriendo una mayor área.

Al igual que los avances tecnológicos que han surgido con el paso del tiempo y por las necesidades de tener una mayor eficiencia y calidad en las comunicaciones y de introducir mucho más aplicaciones y servicios.

Las Antenas Inteligentes hoy en nuestros días son de gran importancia y un gran adelanto en cuestión de las telecomunicaciones, ya que con ellas se tiene un innumerable de beneficios.

Donde más encontramos la aplicación y uso de estas es en la telefonía celular o móvil y en redes de telecomunicaciones.

Las Antenas han tenido un gran desarrollo, ya que vemos que el haz del lóbulo de transmisión de las antenas con respecto al receptor, ya es enfocado en un solo elemento y no como se tenía con anterioridad, en la cual el lóbulo estaba dirigido en una dirección y este tomaba todas las señales que estuvieran a su alcance para su transmisión y recepción de la señal y en la cual generaba interferencias entre los dispositivos.

Incluso era más propenso para que la señal fuera interceptada y se pudiera escuchar las conversaciones.

Con los adelantos que han tenido las antenas es posible localizar a un usuario dando una ubicación exacta del lugar donde se encuentra, por medio de la emisión del dispositivo móvil.

Las Antenas además de proveer servicios de telefonía, también dan servicio de radio, un claro ejemplo lo encontramos con la empresa de servicios de telefonía y radio Nextel, en la cual proporciona el servicio de ambos en el mismo equipo, lo cual la antena maneja una señal para la telefonía celular o otra para el servicio de radio.

Otro servicio que puede proporcionar estas, es el llamado GPRS en el cual envía los datos para poder localizar lugares. Al igual que el internet móvil dentro de nuestro equipo.

Para las Antenas Inteligentes surgirán más aplicaciones para estas, con los enlaces de Radio Frecuencia, conectarán aun número diverso de dispositivos a través del sistema de microondas y ondas milimétricas⁶.

Un elemento o dispositivo muy parecido o similar a una antena es el transponder, el cual recibe y emite señales de manera activa o pasiva. Los aviones y barcos utilizan este dispositivo para poder ser visibles en los radares aéreos y marítimos, o para transmitir y recibir datos.

El hablar de antenas y transponders es hablar de la actualidad de los avances y de las futuras modificaciones que estos seguirán teniendo para una mejoría y mayor aplicación.

No es solo hablar de Antenas Inteligentes por los servicios que estas proporcionan, si no igualmente es tener en cuenta que muchas de ellas poseen debido a su tamaño y peso movilidad rotatorio y angular e incluso de desplazamiento para poder posicionarlas en las coordenadas exactas para la transmisión.

En resumen las Antenas son una herramienta indispensable para las telecomunicaciones y de las cuales se dependen infinidad de servicios y para diversas utilidades.

⁶ Estas se encuentran ubicadas en la zona espectral entre las ondas de radio e infrarrojo. Esta gama de frecuencias posee la propiedad única de pasar por materiales ligeros como tela de ropa de un modo transparente.

Referencias Bibliográficas:

1. B. SALAS, M. PIZARROSO: Antenas inteligentes como solución a problemas de calidad y capacidad en redes celulares y de acceso sin hilos. VIII Jornadas Telecom I+D, septiembre de 1998.
2. Saber Electrónica. Ed. Americana Año julio 2001. Comunicaciones Vía Satélites. Pág. 5-8.
3. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del IPN. Tema: Medición de las Características de una Antena. Año 2005.
4. <http://web.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/antenas.html>
5. CARDAMA: Antenas, Editorial. Alfa Omega, 2da. Edición, 2004.
6. RUIZ VASSALLO, FRANCISCO: Antenas, Conocimientos fundamentales, Editorial CEAC, 2001.
7. SAUNDERS, SIMON: ANTENNAS AND PROPAGATION FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS, Año de Edición: 2000 , 1ª edición.
8. MICHAEL W. THELANDER: WiMAX Oportunidades y desafíos en un mundo inalámbrico, Signals Research Group, LLC, Julio 2005. CDG (CDMA Development Group).
9. Stewart S. Miller: Seguridad en WiFi, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U., 1ª edición, 01/02/2004.
10. Antenas Inteligentes, Ing. Rafael Albornoz. <http://www.lant.ing.uc.edu.ve>
11. <http://www.wimaxforum.org>
12. GUITAL MANSILLA, Cristian, MUNOZ BRANDAU, Eduardo y FIERRO MORINEAU, Néstor. Antenas inteligentes y su desempeño en redes wireless. *Sínt. tecnol.* [online]. nov. 2007, vol.3, no.2 [citado 16 Junio 2009], p.97-109. Disponible en la World Wide Web: http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-025X2007000100005&lng=es&nrm=iso. ISSN 0718-025X.

13. CARDAMA AZNAR Ángel, JOFRE ROCA Lluís, Et al: *Antenas*, 2da. Edición, Alfaomega, Septiembre 2004.
14. HUIDOBRO MOYA José M., ROLDÁN MARTÍNEZ David: *Comunicaciones en Redes WLAN*, Limusa, 2006.
15. HUIDOBRO MOYA José Manuel, MILLÁN TEJEDOR Ramón J., ROLDAN MARTÍNEZ David: *Tecnologías de Telecomunicaciones*, 1ra. Edición, Alfaomega Grupo editorial, México, Agosto 2006.
16. WANEY, Tomasi: *Sistemas de Comunicaciones electrónicas*, México, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1996, 2º edición.
17. GÓMEZ LÓPEZ Julio: *Guía de Campo Wi-Fi*, 1ra. Edición, Alfaomega, México, Abril 2008.
18. REID Neil, SEIDE Ron: *802.11 (WiFi)Manual de Redes Inalámbricas*, 1ra. Edición en español, Mc Graw Hill, 2004.

GLOSARIO

λ . Longitud de Onda, distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos.

BER. (Bit Error Ratio), número de bits o bloques incorrectamente recibidos, con respecto al total de bits o bloques enviados durante un intervalo especificado de tiempo.

C.A. Corriente alterna.

C.D. Corriente Directo o continuo.

CDMA. (Code Division Multiple Access), acceso múltiple por división de código.

dB. Decibeles.

DSP. Procesamiento Digital de señales.

Frecuencia. Es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo.

FNBW. First Null Beamwidth, Primera Amplitud del Haz Nula.

GPS. (Global Position System), Sistema de Posicionamiento Global; permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros.

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

Hertz [hercio] (Hz): Cantidad de ciclos completos de una onda en una unidad de tiempo. 1 Hertz = 1 ciclo/seg.

HF. (High Frequency). Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 3 MHz a 30 MHz.

HPBW. Half Power Beamwidth, Anchura De Haz De Media Potencia.

LAN. (Local Area Network) Red de Área local.

OEM. Ondas Electromagnéticas.

Ohm [ohmio] (Ω): Unidad de medición de la resistencia eléctrica, representada por la letra griega (Ω) omega.

Reflector. Es una superficie que refleja la luz o cualquier otro tipo de onda.

RF. Radiofrecuencia.

SDMA. (Space Division Multiple Access), Acceso múltiple por división de espacio; es una tecnología que segmenta el espacio en sectores utilizando antenas unidireccionales.

SNR. (Signal to noise ratio SNR o S/N), relación Señal / Ruido; margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.

TDMA. (Time Division Multiplexing Access), Acceso múltiple por división de tiempo; más utilizado en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digitales.

UMTS. (Universal Mobile Telecommunications System) Sistema Universal de Telecomunicaciones móviles; tecnología usada por los móviles de tercera generación.

Volt [voltio] (V): Unidad de medición de la diferencia de potencial eléctrico o tensión eléctrica, comúnmente llamado voltaje.

VHF (*Very High Frequency*). Es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz.