

Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

*Efecto de la Foresta en las Transmisiones electromagnéticas
dentro de una WLAN (LAN inalámbrica)*

Conceptos generales de Antenas

*Emilio Monachesi, Ana Maria Frenzel, Guillermo Chaile, Carrasco
Agustín, Francisco A. Gómez López*

PID25/P031

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Tucumán

2011

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional - edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@rec.utn.edu.ar



Conceptos generales de Antenas

Emilio Monachesi, Ana María Frenzel, Guillermo Chaile, Carrasco Agustín, Francisco A. Gómez López.

Integrantes del grupo de investigación "Efecto de la Foresta en las Transmisiones electromagnéticas dentro de una WLAN (LAN inalámbrica)". PID25/P031- Facultad Regional Tucumán - UTN

RESUMEN

Se exponen los principios que gobiernan los sistemas irradiantes para la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas. Las antenas como elementos irradiantes de energía electromagnética tienen su principal aplicación en la construcción de sistemas inalámbricos de comunicaciones. Estos sistemas, tienen la particularidad que la energía radiada por la fuente no varía cuando una parte de la misma es absorbida por un dispositivo receptor en el espacio libre. Este efecto es contrario a lo que ocurre en el transporte de energía por conducción

En el marco de nuestro proyecto de investigación "Efecto de la Foresta en las Transmisiones electromagnéticas dentro de una WLAN (LAN inalámbrica)", de la FRT, UTN, interesa el tratamiento de las antenas en las redes de área local inalámbricas (Wireless Local Area Network), para el rango de frecuencias de las microondas, alrededor de 2,4 GHz. En este artículo se analizan las propiedades básicas y los parámetros que permiten caracterizar este tipo de redes inalámbricas.

Palabras claves: antenas, altas frecuencias, campos electromagnéticos, espacio libre.

Introducción

Una antena es un dispositivo metálico capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas del espacio. En los circuitos transmisores y receptores de radio, se producen corrientes y tensiones eléctricas de altas frecuencias y asociadas a ellas se encuentran las ondas electromagnéticas. Para viajar por el espacio esas señales eléctricas deben acoplarse primero al mismo. Esta es la función de la antena: *adaptar campos electromagnéticos entre distintos medios de conducción*. Por ello concebimos una antena, como un dispositivo encargado de convertir ondas electromagnéticas "conducidas" por una línea de transmisión o guía de ondas, en ondas que pueden propagarse *libremente* en el espacio. Una antena es entonces una interfase entre el espacio libre y la línea de transmisión. Mientras la línea no irradia energía al espacio, la antena sí lo hace y eso es lo que las distingue. Según la aplicación de la antena, el tamaño de la misma estará relacionado con la banda de frecuencias que se quiere captar o transmitir.

Cuando la antena es utilizada para radiar ondas electromagnéticas al espacio, cumple el papel de *antena emisora o transmisora* y cuando se emplea para interceptar o capturar ondas que se propagan en el espacio y convertirlas en energía útil, aprovechable por un receptor, cumple la función de *antena receptora*. Es un adaptador entre la fuente de energía y el espacio libre (antena transmisora) y también un adaptador entre el espacio libre y el sumidero de energía (antena receptora).

1. Como funciona una antena

La transferencia de energía debe realizarse con la mayor eficiencia posible, de modo que debe buscarse el acoplamiento óptimo entre las impedancias de los diversos elementos del sistema. De no ser así, una parte importante de la energía recibida o transmitida serán reflejadas en la línea de transmisión dando lugar a ondas estacionarias que no contribuyen a la energía útil y que, además, son causa de distorsiones en la señal transportada por la onda electromagnética y de pérdidas por calentamiento en los diversos componentes del sistema línea-antena. Para que una antena sea eficiente, es decir, para que radie la mayor parte de la energía que se le suministre, o que transmita al receptor la mayor parte de la energía que capture, sus dimensiones deben ser *del orden* de una longitud de onda, λ . En la práctica las dimensiones de la antenas se sitúan entre alrededor de $1/8\lambda$ y alrededor de una λ . Si sus dimensiones son mucho menores su eficiencia se reduce considerablemente.

Para entender el funcionamiento de una antena, es necesario conocer primero el comportamiento de una línea de transmisión que sirve para transportar o guiar los campos eléctricos y magnéticos que varían de manera temporal en relación a su frecuencia, desde la fuente generadora hasta una carga o sumidero que puede estar a una distancia mucho mayor que la longitud de la onda y que se propagan por la línea a una velocidad v_p . En la figura anterior es el cable coaxial que une el transmisor con la antena.

Una onda electromagnética en el espacio libre o vacío lo hace a una velocidad de propagación constante de aproximadamente 300.000 Km/segundo, es decir 3×10^8 m/segundo. Su longitud de onda y su frecuencia están relacionadas por la siguiente expresión:

$$c = \lambda f = 3 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Para la frecuencia de operación de 2.4 GHz, la longitud de la onda en el espacio libre es de 12,5 cm.

Esta velocidad de propagación disminuye cuando la onda atraviesa un medio distinto y debe corregirse por un factor γ :

$$v_p = \gamma c$$

$$\text{para : } \gamma \leq 1$$

La longitud de la onda es un dato muy importante en el comportamiento de la línea de transmisión y las dimensiones de la antena.

Una línea que termina en **circuito abierto**, representa una impedancia de carga equivalente a un circuito resonante paralelo LC (impedancia máxima) en sus extremos. En estas condiciones, se forma una **onda estacionaria** de tensión con un máximo de tensión y otra onda estacionaria con un mínimo de corriente. La formación de la onda estacionaria es consecuencia del avance de la onda incidente hacia la carga y del retroceso de la onda desde la carga hacia la fuente (onda reflejada).

A una distancia de $\lambda/4$ mirando hacia el generador, se tendrá la respuesta de un circuito equivalente resonante serie LC (máxima corriente e impedancia mínima). Esto se muestra en la siguiente figura donde se observan las ondas estacionarias de tensión y de corriente, la distribución de las cargas eléctricas por efecto del campo eléctrico juntamente con las corrientes estacionarias producidas por el campo magnético alrededor del conductor.

Figura 1 - Línea de transmisión abierta (sin carga) alimentada con un generador de RF y la formación de las ondas estacionarias de tensión y de corriente.

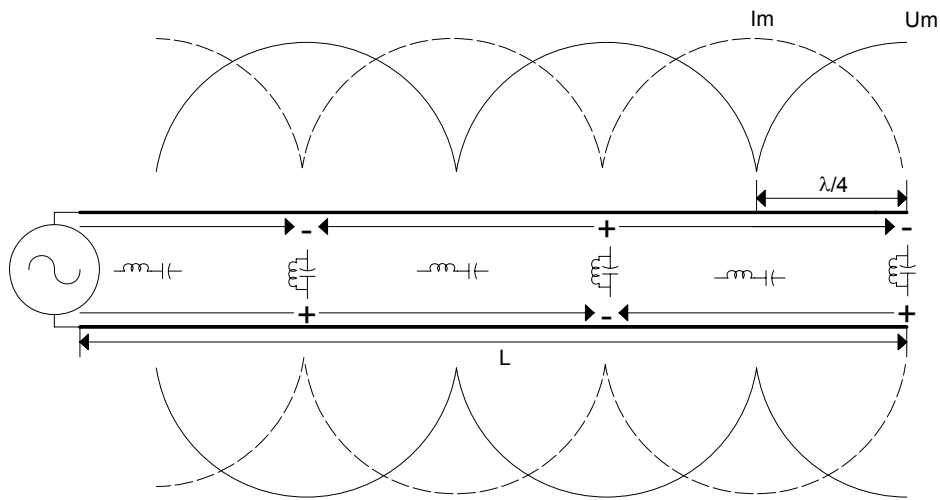
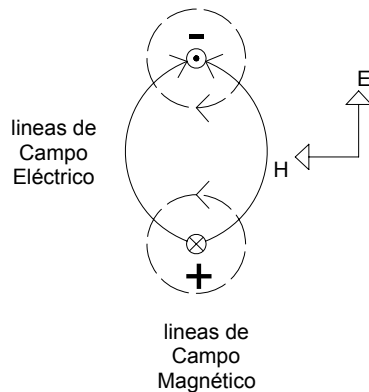


Figura 2 - Vista desde un plano perpendicular a la línea de transmisión donde observamos la formación en un instante determinado de los campos eléctricos y magnéticos alrededor de ambos conductores.



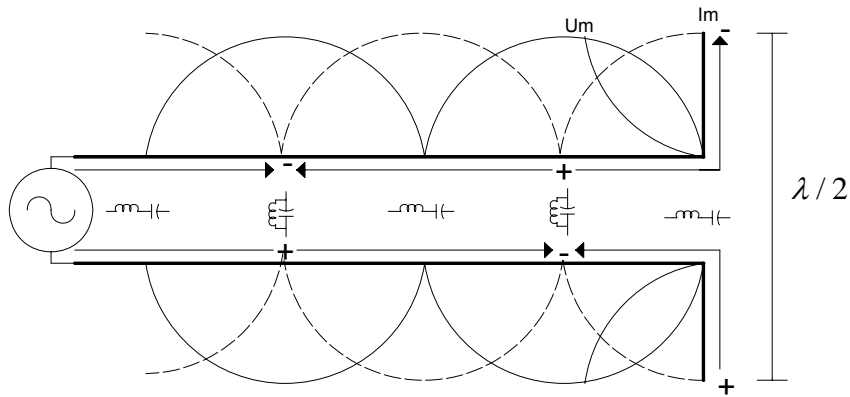
La fuente entrega una tensión variable en el tiempo de forma sinusoidal y el campo eléctrico que se genera por la distribución de las cargas también será sinusoidal y los conductores se comportarán como una guía de onda. De igual manera, las corrientes variables en el tiempo que se generan en cada conductor lo harán en sentidos opuestos y formarán también campos magnéticos variables en el tiempo que se desplazarán entre los conductores con un retardo de fase en el tiempo de 90 grados respecto al campo eléctrico. En estas condiciones, si se trata de una línea sin pérdidas, toda la energía de los campos electromagnéticos regresarán a la fuente y la línea no irradiará energía. La radiación solo ocurrirá cuando los campos eléctricos y magnéticos varíen en forma simultánea (en fase en el tiempo).

Si realizamos ahora el doblez de cada una de las líneas a una distancia de $\lambda/4$ desde los extremos formando un ángulo de 90° respecto al eje de cada una ellas, la onda de tensión en los extremos de cada conductor será la misma respecto a su plano origen de referencia, mientras que los campos eléctricos se va a distribuir en forma co lineal en cada uno de los nuevos segmentos. Las corrientes en cada segmento tienen la misma dirección y por tanto los campos magnéticos en estos tramos no se anulan.

La disposición de estos dos segmentos de $\lambda/4$ colineales recibe el nombre de **dipolo de $\frac{1}{2}$ onda o antena de Hertz**.

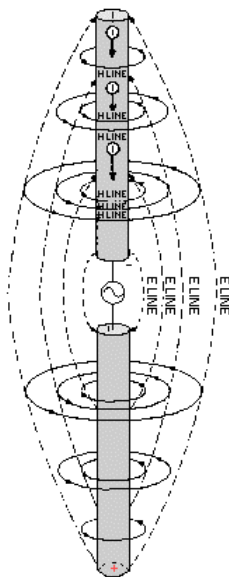
Estos campos alineados en fase a través del dipolo de media onda pueden ahora convertirse en ondas electromagnéticas que se desplazan por el dipolo y se transfieren al espacio libre.

Figura 3 - Antena dipolo de media onda a partir de un tramo de línea.



El campo magnético ocurre de manera similar, con la diferencia de que tiene su origen por la circulación de la corriente en el dipolo y alrededor del conductor en determinados instantes de tiempo, con la formación de valores máximos, mínimos y cero. Esto genera ondas viajeras de campo magnético que viajan en direcciones opuestas y normales al dipolo pero distribuidas en un plano perpendicular al campo eléctrico y en fase con el otro campo.

Figura 4 - Proceso de radiación de ondas para el campo eléctrico (el campo magnético se manifiesta de manera similar en un plano perpendicular al campo eléctrico).



2. Parámetros de una Antena

Los parámetros de una antena son parámetros susceptibles de ser medidos. Permiten, desde el punto de vista de sistemas, tratar la antena como un dipolo. Se definen parámetros de tipo circuital y de tipo direccional. La mayoría de estos parámetros se definen en transmisión, pero son válidos también en recepción.

Los principales parámetros de las antenas son:

- Directividad y Ganancia
- Diagrama de radiación o patrón de radiación
- Ancho del haz
- Impedancia de entrada
- Eficiencia de la antena
- Polarización
- Campos de Inducción de Radiación
- Longitud eléctrica y longitud física
- Ancho de Banda
- Intensidad de Campo
- Relación frente detrás

2.1 Directividad y Ganancia

La **directividad** es la propiedad que tiene una antena de transmitir o recibir la energía irradiada en una dirección particular. Para un enlace inalámbrico que utiliza antenas fijas en ambos extremos, se puede utilizar esta directividad para concentrar la radiación en la dirección deseada.

En cambio, para una estación móvil y otra fija o ambas móviles, donde no se puede predecir donde va a estar una de ellas, la antena deberá radiar en todas las direcciones del plano horizontal y para ello se utiliza una **antena omnidireccional**.

La **ganancia** es una relación o cociente entre dos magnitudes físicas iguales (energías, potencias, tensiones, etc.), es decir un número adimensional que puede ser mayor, menor o igual a la unidad.

La **ganancia de una antena** se expresa tomando como referencia la energía radiada de una antena estándar. Las dos referencias más comunes son la **antena isotrópica** y la **antena dipolo resonante de media longitud de onda**.

La antena isotrópica irradia en todas las direcciones con la misma intensidad. Esta antena no existe, pero sirve como patrón técnico sencillo con el que se comparan las antenas reales ya que cualquier antena real va a irradiar más energía en algunas direcciones que en otras.

Antena isotrópica

Se define como una antena hipotética puntual en el espacio libre que irradia energía de manera uniforme en todas las direcciones. El flujo de energía radiada por unidad de tiempo y de área conocida como **Vector de Poynting o Densidad de potencia [W/m²]**, esta dado por:

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$$

E es la intensidad del vector campo eléctrico [V/m] y H la intensidad del vector campo magnético [A/m] y solo tiene componente radial para una fuente puntual. La potencia aplicada por dicha antena se repartirá uniformemente en el área de una esfera, y la densidad de potencia para el radiador isotrópico, a una distancia d será:

$$P = \frac{P_t}{4\pi d^2}$$

P = Densidad de potencia [Watts/m²]

P_t = Potencia en los terminales de la antena

El denominador es la superficie de la esfera [m^2]

Las antenas reales no crean energía dado que la potencia total irradiada es la misma que la de una antena isotrópica. La energía favorecida en una dirección es consecuencia de menos energía en otra dirección.

La ganancia de una antena en una dirección dada es la cantidad de energía radiada en esa dirección comparada con la energía que podría radiar una antena isotrópica en la misma dirección, alimentada con la misma energía de una fuente.

Lo que interesa generalmente es la ganancia máxima en la dirección hacia la cual la antena está radiando la mayor potencia. Si una antena real tiene una ganancia de potencia de 3 dB en una determinada dirección comparada con una antena isotrópica debe expresarse como **3 dBi**.

El dipolo resonante de media longitud de onda también es un estándar útil para compararlo con otras antenas reales para una frecuencia dada o sobre una banda estrecha de frecuencias. Si la ganancia de potencia de una antena es de 3 dB en una determinada dirección comparada con el dipolo resonante de media onda debe ser expresada como **3 dBd**.

Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia

Ambos términos se refieren a la capacidad de una antena para concentrar la energía en cierta dirección. Si se suministra la misma potencia a una antena cualquiera y también a una antena isotrópica, la **Ganancia Directiva D** (o directividad) de la primera antena, se obtiene mediante la relación:

$$D = \frac{\text{Densidad de Potencia en la dirección de máxima radiación (lóbulo principal)}}{\text{Densidad de Potencia que existiría con la antena isotrópica}}$$

La Ganancia de Potencia G, se define como la relación entre la **potencia radiada** que debe emitir un radiador isotrópico para obtener una intensidad de campo en cierto punto, y la **potencia eléctrica** que se debe suministrar a la antena directiva, para obtener la misma intensidad de campo.

Las dos definiciones anteriores aparentan ser iguales, pero la diferencia es que la **Ganancia de Potencia** considera las pérdidas óhmicas, es decir:

En algunos textos se dice que estas dos ganancias son prácticamente iguales en antenas de VHF y UHF, pero se debe tener cuidado de no manejarlas en forma indistinta

La ganancia suele expresarse en **decibeles** si nos referimos a potencias tomando como referencia el radiador isotrópico como:

$$G_{dB(iso)} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_A}{P_{iso}} \text{ [dBi]}$$

Si nos referimos a las intensidades de campo eléctrico:

$$G_{dB(iso)} = 20 \cdot \log_{10} \frac{E_A}{E_{iso}} \text{ [dBi]}$$

La ganancia de un dipolo de media onda en el espacio libre respecto a un radiador isotrópico es de **1,64** que representa una ganancia de **2.15 dBi**, o sea que posee una capacidad de concentrar 2.15 dB en una sola dirección de máxima radiación comparado con una antena isotrópica.

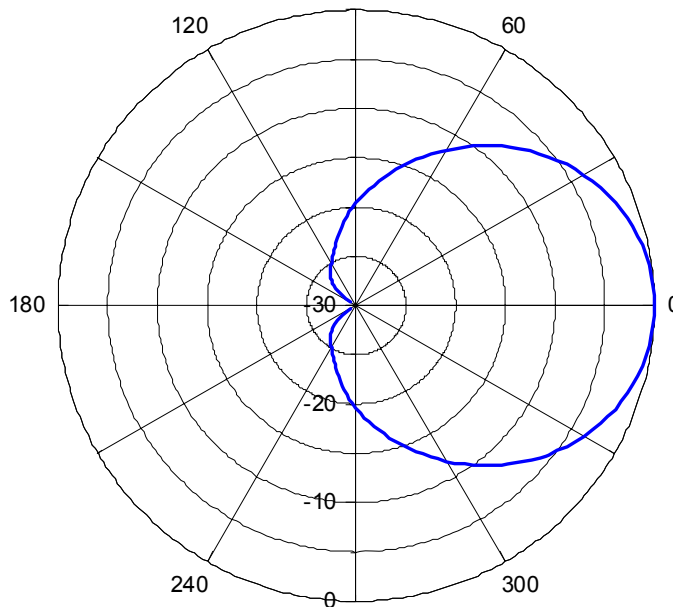
De igual manera, si tomamos como referencia al dipolo de media onda:

$$G_{dBd} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_A}{P_d} \text{ [dBd]}$$

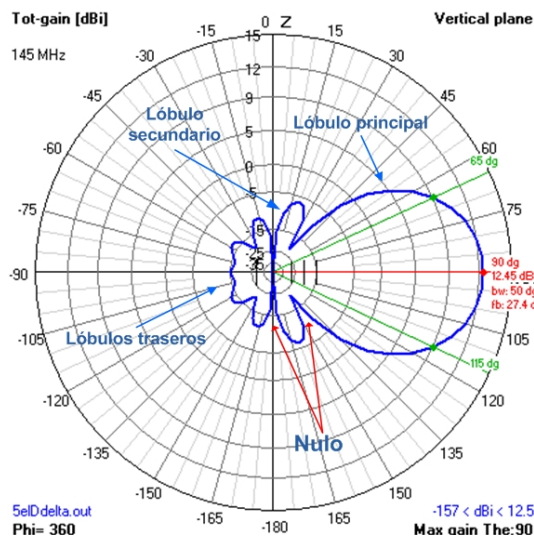
2.2 Diagramas de radiación o patrón de radiación

Es la representación gráfica de la forma en que la energía electromagnética se distribuye en el espacio. El diagrama puede ser obtenido por la colocación de una antena fija de prueba en relación a un entorno donde se está midiendo el diagrama, también por la rotación de la antena en torno a sus ejes, donde las señales enviadas son recibidas en un receptor capaz de discriminar con precisión la frecuencia y la potencia recibidas. Se puede representar esta medición en forma cartesiana o polar. La representación polar se hace mediante el trazado de segmentos proporcionales a una magnitud de referencia (módulo) y un ángulo que nos da la dirección respecto a una semirecta de referencia (argumento). Los resultados obtenidos son generalmente normalizados. El valor máximo de la señal recibida para 0 dB de referencia, facilita la interpretación de los lóbulos secundarios en relación al frente de los bordes.

Figura 5 - Ejemplo de diagrama de radiación polar que representa la energía radiada alrededor de una antena para un valor máximo y mínimo y el ancho del haz de 60° para mitad de potencia -3dB.



El lóbulo principal define los **ángulos de media potencia y de máxima ganancia**. El análisis correcto de una antena necesita de dos planos, vertical o plano E y horizontal o plano H.



2.3 Ancho del haz

El **ancho del haz** de una antena se entiende como ancho del haz a mitad de potencia. Se encuentra en el pico de intensidad de radiación, luego se localizan los puntos de ambos lados del pico que representan la mitad de la potencia de intensidad del pico. La distancia angular entre los puntos de mitad de potencia se define como el ancho del haz. La mitad de la potencia expresada en decibelios es de -3dB, por lo tanto algunas veces el ancho del haz a mitad de potencia es referido como el ancho del haz a 3dB. Generalmente se consideran tanto el ancho de haz vertical como horizontal.

Suponiendo que la mayoría de la potencia radiada no se disperse en lóbulos laterales, entonces la ganancia directiva es inversamente proporcional al ancho del haz: cuando el ancho del haz decrece, la ganancia directiva se incrementa.

En la figura 5 tenemos la distribución de ángulos entre 0° y 360° y en el eje vertical la distribución de las potencias desde 0 dB (círculo exterior) a -30 dB (centro).

Para -3dB el ancho del haz es $(360^\circ - 330^\circ + 30^\circ) = 60^\circ$. Indica que el ancho del haz a mitad de potencia es de 60°.

Lóbulos laterales

Ninguna antena es capaz de radiar toda la energía en una dirección preferida. Inevitablemente una parte de ella es radiada en otras direcciones. Esos picos más pequeños son denominados **lóbulos laterales**, especificados comúnmente en dB por debajo del lóbulo principal.

Nulos

En los diagramas de radiación de una antena, una zona **nula** es aquella en la cual la potencia efectivamente radiada está en un mínimo. Un nulo a menudo tiene un ángulo de directividad estrecho en comparación al haz principal. Los nulos son útiles para varios propósitos tales como la supresión de señales interferentes en una dirección dada.

2.4 Impedancia de entrada

Es el cociente entre el voltaje aplicado a los terminales de entrada de la antena y la corriente resultante. En general tiene una componente resistiva y una reactiva; sin embargo, si el punto de alimentación de la antena está en un máximo de corriente, la componente reactiva resulta despreciable, por tanto **la impedancia de entrada es igual a la suma de la resistencia de radiación más la resistencia de pérdida.**

Si la impedancia no presenta una parte reactiva (puramente resistiva) a una frecuencia determinada se dice que es una antena resonante.

Resistencia de radiación

La resistencia de radiación es un valor asignado a una resistencia ficticia cuyo valor es el que tendría una resistencia que disipara la misma potencia eléctrica entregada por la antena con la misma potencia radiada por la antena.

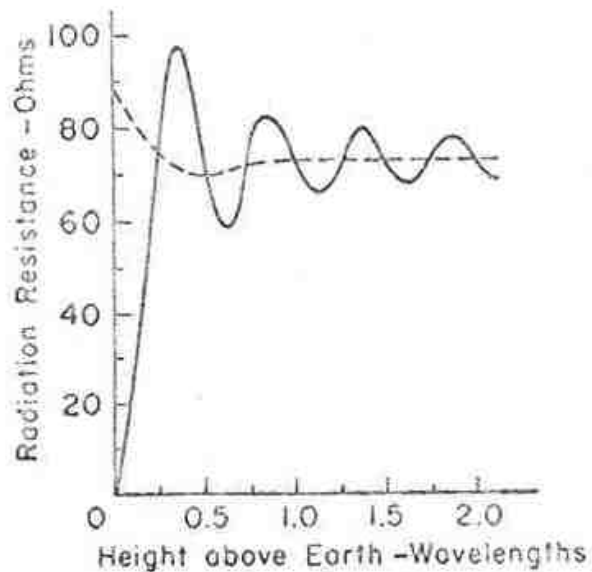
En la práctica no toda la potencia entregada por la antena es radiada totalmente al espacio que la rodea. Una parte se disipa bajo la forma de calor a causa de las pérdidas resistivas provocada por los conductores, aisladores de soporte, la torre y los cables de anclaje.

Las pérdidas óhmicas están determinadas por la frecuencia de trabajo. En bajas frecuencias, estas pérdidas son pequeñas comparadas con la resistencia de radiación y la antena es un radiador muy eficiente. En altas frecuencias, donde la antena es relativamente corta en relación a su longitud, el suelo es un componente esencial que forma parte del sistema irradiante. La altura de la antena respecto al suelo conductor es un factor importante que afecta la resistencia de radiación. Algunas ondas son reflejadas por el suelo, y al regresar a la antena, inducen corriente cuya magnitud y

fase dependen de la distancia entre la antena y el suelo. Si llegan en fase habrá más radiación y sucede lo contrario si llegan en oposición de fase.

El resultado es una serie de variaciones respecto al valor R de la resistencia de radiación en el espacio libre. Como la componente reflejada es la más débil, el rango de fluctuación disminuye a medida que la antena se separa del suelo. Esta variación es mayor cuando la antena se coloca en posición horizontal. Esto se puede apreciar el siguiente gráfico.

Figura 6 - Variación en la Resistencia de Radiación de una antena de media onda sobre un suelo perfectamente conductor. Línea continua para antena horizontal y punteada para antena vertical.



La resistencia de radiación para una antena de una longitud igual a un número n de medias longitudes de onda, se puede determinar a partir de la siguiente expresión matemática.

$$R = 73 + 69 \log_{10} n$$

Para un dipolo de media onda la resistencia teórica de radiación es de 73 Ohms.

2.5 Eficiencia de la antena

Es la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia total entregada a la antena para una frecuencia dada de operación. Se puede considerar que la resistencia total de carga está formada por dos resistencias en serie, una de valor de R (resistencia de radiación) y otra de valor r que representa la disipación óhmica de la antena. Será tanto más eficiente cuanto mayor sea la relación R/r . En consecuencia, se puede expresar la eficiencia de la antena en valores porcentuales como:

$$\eta = \frac{R}{R+r} \cdot 100$$

2.6 Polarización

La **polarización** se define como la orientación del campo eléctrico de una onda electromagnética. En general, la polarización se describe por una elipse. Hay dos casos especiales de la polarización elíptica: la **polarización lineal** y la **polarización circular**.

Con la **polarización lineal**, el vector del campo eléctrico se mantiene en el mismo plano del eje de la antena todo el tiempo. El campo eléctrico puede posicionar a la antena en una orientación vertical, horizontal o en algún ángulo intermedio entre los dos.

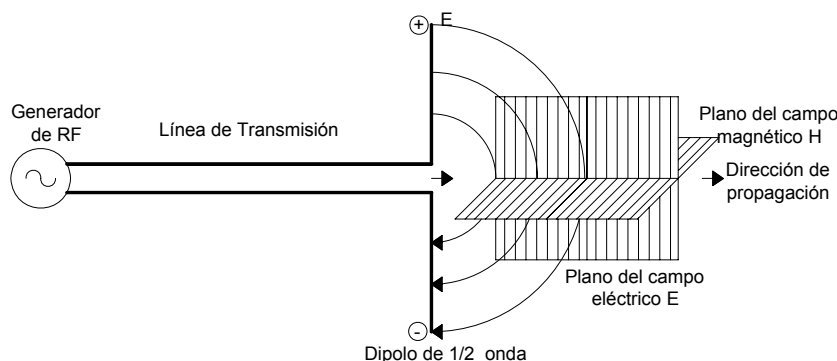
La radiación en una antena **polarizada verticalmente** se ve ligeramente menos afectada por las reflexiones en el camino de transmisión. Las **antenas omnidireccionales** siempre tienen una polarización vertical.

Con la antena en **polarización horizontal**, tales reflexiones causan variaciones en la intensidad de la señal recibida. Las antenas horizontales tienen menos probabilidad de captar interferencias generadas por el hombre que las normalmente polarizadas verticalmente.

En la **polarización circular** el vector del campo eléctrico aparece rotando con un movimiento circular en la dirección de la propagación, haciendo una vuelta completa para cada ciclo de RF. Esta rotación puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda.

La elección de la polarización es una de las elecciones de diseño disponibles para el sistema irradiante de RF.

Figura 7 - Disposición de los planos vertical y horizontal donde se sitúan los campos E y H respecto al eje longitudinal del dipolo para una polarización vertical.



2.7 Campos de inducción y campos de radiación

De la energía de los campos electromagnéticos que se generan alrededor de la antena, una zona cercana a la misma forma parte de los **campos de inducción** donde la intensidad de los campos es una función inversa del cuadrado de la distancia. El dispositivo se comporta como un circuito resonante donde hay intercambio de energía entre el campo eléctrico y el campo magnético y no hay radiación. Uno de los campos es máximo cuando el otro pasa por cero y a su vez se encuentran desfasados 90° en el tiempo.

Otra zona situada a unas pocas longitudes de onda de la antena la constituyen los **campos de radiación** donde se manifiesta la energía de radiación de la antena. La intensidad de los campos radiados es una función inversa de la distancia. Estos campos obedecen al hecho de que se requiere un cierto tiempo para que los campos se transfieran de un medio físico (antena) al espacio libre. Parte del campo original

permanece en la antena y la otra parte se propaga como una onda electromagnética por el espacio libre.

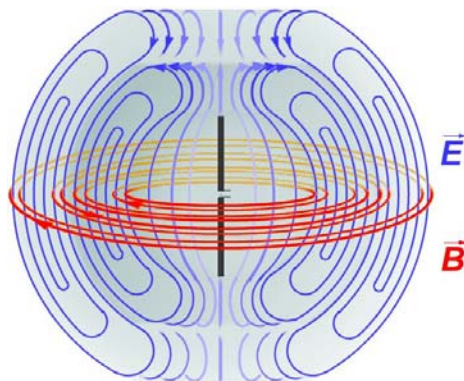
La fórmula aceptada para esta distancia es:

$$r_{\min} = \frac{2d^2}{\lambda}$$

r_{\min} es la distancia mínima desde la antena, d es la longitud de la antena, y λ es la longitud de onda.

Para la frecuencia de 2.4 GHz, con una longitud de la onda en el espacio libre de 12,5 cm, tomando un factor de acortamiento de 0.93, la antena dipolo de media onda nos da una longitud real de 5,93 cm y un r mínimo de 5,64 cm, donde a partir de esta distancia se manifiestan los campos de radiación.

Figura 8 – Radiación de ondas electromagnéticas desde una antena dipolo.



Comportamiento del dipolo para longitudes diferentes de $\lambda/2$

Si la línea de transmisión se abre en otro punto que sea múltiplo de $\lambda/4$, también se darán las condiciones de que se transforme en un sistema irradiante y podemos diseñar de esta forma antenas con longitudes que sean múltiplos de $\lambda/2$. En este caso, se darán diferentes distribuciones de corriente para el campo magnético y de tensión para el campo eléctrico, para cada uno de estos múltiplos y recibe el nombre de **comportamiento armónico de la antena** cuando la dirección de la corriente se invierte en cada sección alternada correspondiente a $\lambda/2$.

En la Figura 9, las flechas indican el sentido temporal de desplazamiento de la corriente en la antena y su magnitud representada por líneas segmentadas. En lo que respecta a la tensión ocurre de manera similar, excepto que lo hace con un ángulo de fase de 90° en el tiempo.

Para una longitud básica de $L = \lambda/2$ y múltiplos impares de $\lambda/2$ habrá un máximo de corriente en el centro de la antena y será mínimo para múltiplos pares, inclusive para $L = 2\lambda/2$ dado que en los dos tramos básicos la corriente tiene el mismo sentido y por lo tanto no es una antena armónica, sino que realmente tenemos dos antenas de media onda operando en fase en frecuencia fundamental y en un arreglo colineal de dipolos, cada uno alimentado en un extremo.

Si se alimentan en un extremo, la distribución de la corriente solo cambia para las antenas que son múltiplos pares.

Figura 9 - Magnitud y sentido de las corrientes para antenas de diferentes longitudes múltiplos de $\lambda/2$ alimentadas en el centro.

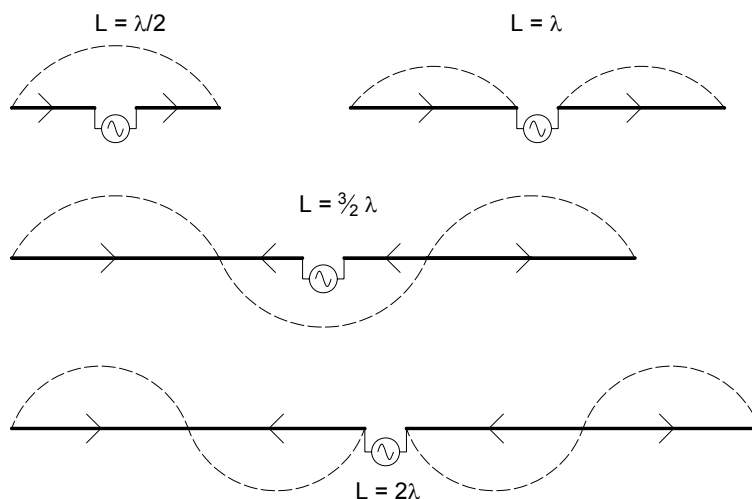
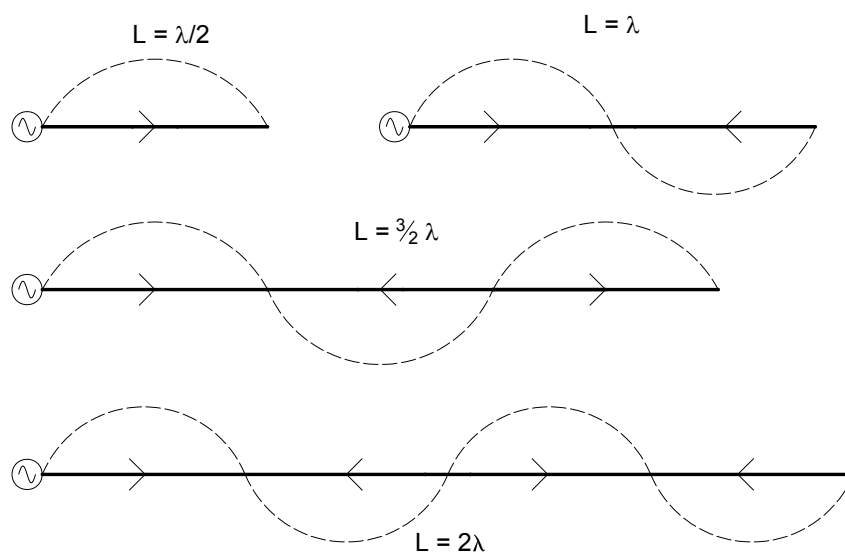


Figura 10 - Magnitud y sentido de las corrientes para antenas de diferentes longitudes múltiplos de $\lambda/2$ alimentadas en el extremo.



Cuando una antena es de longitud de un múltiplo par de media longitud de onda, la distribución de la corriente y por consiguiente, la forma de radiar, dependerán del punto de alimentación.

La dirección de máxima radiación en las antenas armónicas es hacia cuatro puntos no colineales situados en un plano paralelo al eje de la antena y de dirección normal al mismo, cuyos ángulos se alejan de la normal al eje de la antena.

2.8 Longitud eléctrica y longitud física

La longitud de onda en una línea de transmisión es menor que la longitud de onda en espacio libre por el cambio de la velocidad de propagación de la onda respecto al espacio libre o vacío. De manera similar, una antena tendrá su propia longitud de onda física que será menor a la longitud de onda eléctrica que opera en el espacio libre, provocada por su cercanía con suelo y otros medios conductores, también los soportes y la torre de contención que introducen capacitancias que afectan la velocidad de la onda en la antena. También si el área transversal del conductor de la antena aumenta, también lo hace su permeabilidad relativa μ_r y por tanto la velocidad de la onda disminuye. Solamente si el espesor es despreciable y el conductor se encuentra aislado en el espacio libre, las velocidades tienden a igualarse.

La longitud física es la longitud real que debe tener la antena y es menor que la longitud eléctrica en el espacio libre. Este acortamiento se conoce en la práctica como efecto de borde (end effect).

Para $\frac{\lambda_0}{2} = \frac{150}{f}$ en el espacio libre, la longitud física de una antena dipolo de media

onda puede expresarse como $L = k \frac{150}{f}$.

L = longitud física del dipolo de media onda [metros]

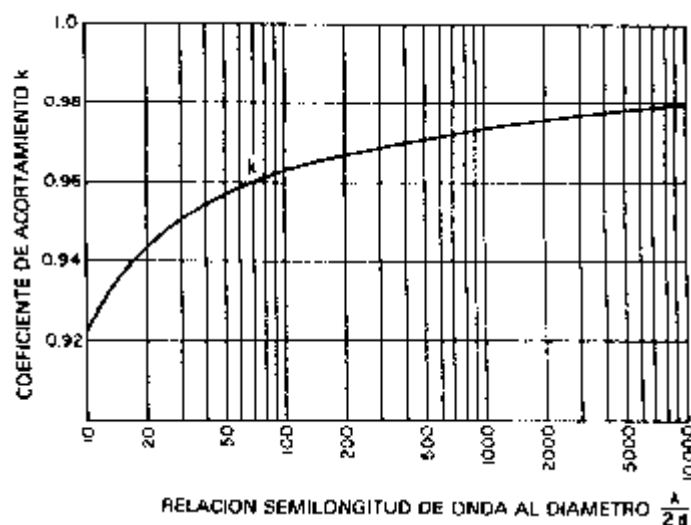
f = frecuencia en [MHz]

k = factor de velocidad [velocidad de la onda en la antena/velocidad de la onda en el espacio libre]

$c = 3 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$ = velocidad de la onda en el espacio libre

Para frecuencias inferiores a los 30 MHz, el factor k para fines prácticos es de 0.95 (aproximadamente un 5% mas corta que en el espacio libre). Para frecuencias superiores, hay que tener en cuenta el diámetro del conductor de la antena.

Figura 11 - En el siguiente gráfico, se da el factor de acortamiento en función de la relación de semilongitudes de onda respecto al diámetro del conductor.



Si tenemos un conductor de 5 mm de diámetro y una longitud de onda en el espacio libre de 125 mm para una frecuencia de 2.4 GHz, la relación es de 12.5, lo que nos da un coeficiente de acortamiento de aproximadamente 0.92 que verifica el acortamiento

de la antena respecto a la longitud de la onda en el espacio libre para la frecuencia de operación.

2.9 Ancho de banda de la antena

Es el intervalo de frecuencias en la cual debe funcionar satisfactoriamente la antena, dentro de las normas técnicas vigentes a su aplicación. Puede ser descrito en términos de porcentaje respecto a la frecuencia central de la banda:

$$\text{Ancho_de_Banda}[\%] = 100 \frac{f_H - f_L}{f_C}$$

f_H es la frecuencia más alta de la banda, f_L es la frecuencia más baja, y f_C es la frecuencia central. De esta forma, el ancho de banda porcentual es constante respecto a la frecuencia central. Los diferentes tipos de antenas tienen variadas limitaciones de ancho de banda.

2.10 Intensidad de Campo

La magnitud de la energía en la componente eléctrica y en la magnética es exactamente la misma. La variación de una componente resulta en la formación de la otra. Si ambas componentes tienen la misma energía, la determinación de una componente dará el valor de la otra. Se ha acordado expresar la intensidad de campo en términos de su componente eléctrica, es decir, en unidades de Volts/metro. La intensidad de campo esperada en el espacio libre a una distancia d de una antena transmisora está dada por:

$$E = \frac{\sqrt{30D_t P_t}}{d}$$

d = distancia [metros].

D_t = Ganancia de la antena transmisora respecto a una antena isotrópica.

P_t = Potencia radiada de la antena transmisora [Watts].

Para una potencia de 500 mW y una distancia de 10 metros tenemos 0,49 V/m y para 100 metros 0,049 V/m.

El campo recibido también se puede expresar en términos de la densidad de potencia, lo cual es muy común, sobre todo a frecuencias arriba de 300 MHz ($\lambda < 1$ metro). La conversión se puede efectuar mediante:

$$\rho = E^2 / 120\pi$$

E = Intensidad de Campo [V/ m].

ρ = Potencia de Campo. [W/ m²].

120 π es la **impedancia intrínseca del espacio libre** de valor **aprox. = 377 Ohms**. **Representa la oposición al flujo de energía electromagnética en el espacio libre**

$$z_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0}$$

Donde μ_0 es la permeabilidad absoluta [Henrios/m] y ϵ_0 la permitividad absoluta [Faradios/m] del espacio libre respectivamente.

La intensidad de campo requerida para una buena recepción depende del tipo de servicio y de los niveles de ruido en área donde se localiza el receptor. En área urbana (mucho ruido y grandes construcciones), se pueden requerir 1000 $\mu W / m^2$ para FM, y

de 5000 a 10 000 $\mu W / m^2$ para Televisión en VHF y UHF respectivamente. En áreas rurales pueden ser suficientes 500 $\mu W / m^2$ para Televisión en VHF.

2.11 Relación frente detrás


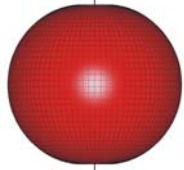
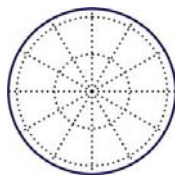
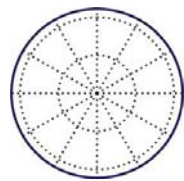
Es la relación de ganancia entre el lóbulo principal y posterior.


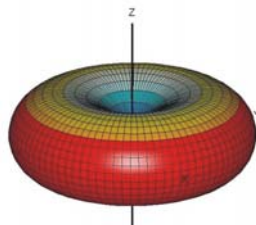
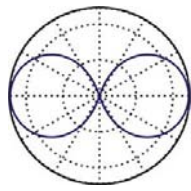
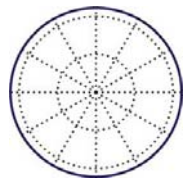
$$RFD[dB] = 10 \log_{10} \frac{P_m}{P_{op}}$$


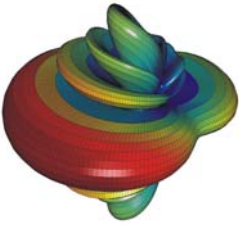
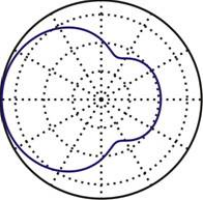
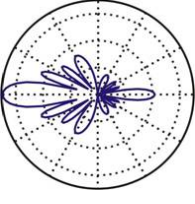
P_m : Energía máxima en la dirección de propagación.

P_{op} : Energía irradiada hacia atrás.

3. Diagramas de radiación típicos de algunas estructuras usuales

Tipo de antena	Diagrama tridimensional	Diagrama Vertical o de Elevación	Diagrama Horizontal o De Azimuth
			
Radiador isotrópico	G = 0 dBi G = 2,5 dBd	Plano Eléctrico	Plano Magnético

Tipo de antena	Diagrama tridimensional	Diagrama Vertical o de Elevación	Diagrama Horizontal o De Azimuth
			
Dipolo de media onda	G = 2,5 dBi G = 0 dBd RFD = 0 dB	Plano Eléctrico	Plano Magnético

			
Panel sectorial de 4 dipolos polarización vertical	G = 12.5 dBi G = 10.35 dBd	Plano Eléctrico	Plano Magnético

4. Tipos de antenas

Una clasificación de las antenas puede basarse en función de:

Frecuencia y tamaño: Las antenas utilizadas para HF son diferentes de las antenas utilizadas para VHF, las cuales también son diferentes de las antenas para microondas. La longitud de onda es diferente para diferentes frecuencias, por lo tanto las antenas deben ser diferentes en tamaño para radiar señales a la correcta longitud de onda.

En este caso estamos particularmente interesados en las antenas que trabajan en el rango de las microondas, especialmente en las frecuencias de los 2,4 GHz y 5, GHz.

A los 2400 MHz la longitud de onda es 12,5 cm, mientras que a los 5000 MHz es de 6 cm.

Directividad: Las antenas pueden ser omnidireccionales, sectoriales o directivas.

Las **antenas omnidireccionales** irradian aproximadamente con la misma intensidad en todas las direcciones del plano horizontal, es decir en los 360°.

Los tipos más populares de antenas omnidireccionales son los dipolos y las de **plano de tierra**.

Las **antenas sectoriales** irradian principalmente en un área específica. El haz puede ser tan amplio como 180 grados, o tan angosto como 60 grados.

Las **direccionales** o **directivas** son antenas en las cuales el ancho del haz es mucho más angosto que en las antenas sectoriales. Tienen la ganancia más alta y por lo tanto se utilizan para enlaces a larga distancia.

Tipos de antenas directivas: las Yagi, las biquad, las de bocina, las helicoidales, las antenas patch, los platos parabólicos, y muchas otras.

Construcción física: Las antenas pueden construirse de muchas formas diferentes, como simples mallas, platos parabólicos, o tubulares.

Cuando consideramos antenas adecuadas para el uso en WLAN de 2,4 GHz se pueden utilizar otras clasificaciones.

Aplicaciones: Los puntos de acceso tienden a hacer redes punto a multipunto, mientras que los enlaces remotos son punto a punto. Esto implica diferentes tipos de antenas para el propósito. Los nodos utilizados para accesos multipunto pueden utilizar tanto antenas omnidireccionales las cuales irradian igualmente en todas direcciones, como antenas sectoriales que se enfocan en un área limitada.

En el caso de los enlaces punto a punto, las antenas se usan para conectar dos lugares. Las antenas directivas son la elección principal para esta aplicación.

Ahora les presentamos una breve lista de tipos comunes de antenas para la frecuencia de 2,4 GHz, con una corta descripción de la información básica acerca de sus características.

Antena dipolo

Es la más simple de las antenas y consta de dos elementos metálicos rectilíneos que se colocan en la terminación de una línea que transporta la energía electromagnética de una fuente.



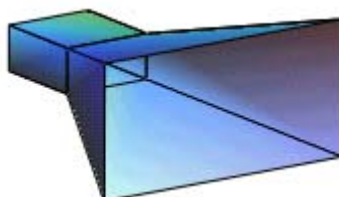
Antena de cuadro o cúbicas

Es una antena que se construye mediante espiras de alambre formando anillos o loops de forma cuadrada.



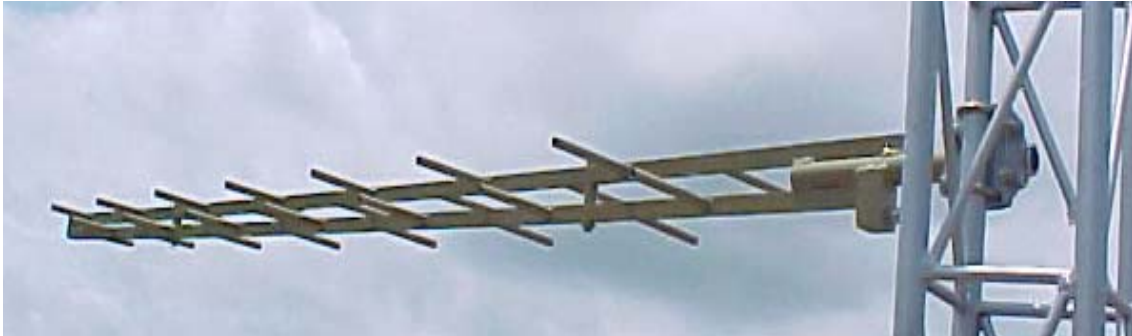
Antena de apertura

Se construyen con chapas de metal de forma cónica para lograr diferentes ángulos de apertura respecto al vértice y al eje del cono tanto en el plano vertical como en el plano horizontal.



Agrupamiento o arrays de antenas

Consiste en agrupar varias antenas iguales o diferentes formando una matriz. Con ello se consigue una determinada direccionalidad y efectividad controlando las fases de las ondas de cada antena.



Antenas con reflectores

Se colocan elementos adicionales a la antena para modificar su direccionalidad. Un ejemplo lo constituye el reflector parabólico donde la antena se coloca en el foco de la parábola y de esta manera solo hay radiación en una sola dirección.



5. Conclusiones

Las frecuencias operativas de las redes LAN inalámbricas alrededor de las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz para los servicios de transmisión de datos digitales establece longitudes de onda en espacio libre están en el orden de los 12.5 cm y 6 cm respectivamente, implica que los radiadores son de longitudes muy reducidas y de unos pocos centímetros, asimismo su diámetro son menores a 1 centímetro.

En lo que respecta a su directividad de energía, salvo en la construcción de enlaces punto a punto que se utilizan antenas direccionales, en la mayoría de los casos se opta por antenas de tipo omnidireccional para dar cobertura a cientos de usuarios.

La intensidad de campo de las señales que se reciben, teniendo en cuenta las limitaciones de potencia radiada menores a 500 mW para estas bandas de libre uso, hace que se reduzcan rápidamente su intensidad en función inversa a la distancia respecto a la antena, lo cual limita el alcance a no más de 100 metros para tener una relación de potencia a ruido aceptable en el receptor, suponiendo que las señales electromagnéticas no se atenúen considerablemente por atravesar a priori diferentes tipos de medios.

Bibliografía

- Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Wayne Tomasi
- Técnica de las Comunicaciones Eléctricas. Hans Fricke, Kurt Lamberts
- Ingeniería Electrónica y de Radio. Frederick Emmons Terman
- Antennas. John D. Kraus
- Radiohandbook. ARRL

Sitios WEB

- <http://www.eee.org>