

# **Antenas de telecomunicaciones**

**José Manuel Huidobro**



***Revista Digital de ACTA***

**2013**

Publicación patrocinada por



## **Atenas de telecomunicaciones**

© 2013, José Manuel Huidobro

© 2013, 

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

*ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.*

## INTRODUCCIÓN

Para recibir o emitir señales radioeléctricas a través de un medio aéreo son necesarios unos dispositivos especiales, denominados antenas, de los que hay muchos tipos y variedades, que dependiendo de sus características constructivas tendrán mayor o menor potencia (ganancia) y precisión (directividad), así como soportarán unas bandas u otras de frecuencia.

Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia/desde el espacio libre. Una antena transmisora transforma corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa. En el caso de que las antenas estén conectadas por medio de guía ondas, esta función de transformación se realiza en el propio emisor o receptor. Se utilizan en la radio, televisión, teléfonos móviles, routers inalámbricos, mandos remotos, etc., unas veces visibles y otras ocultas en el interior del propio dispositivo.

El elemento radiante (dipolo, bocina, o cualquier otro) es capaz, al mismo tiempo, de captar energía que, tras ser amplificada convenientemente, llega al receptor y puede ser tratada para su utilización.

Así, pues, en el extremo transmisor de un sistema de radiocomunicaciones, una antena convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio. En el extremo receptor, una antena convierte las ondas electromagnéticas en el espacio en energía eléctrica en una línea de transmisión.

El funcionamiento de una antena lo podemos explicar de acuerdo con la ilustración de ondas estacionarias en una línea de transmisión (figura 1).

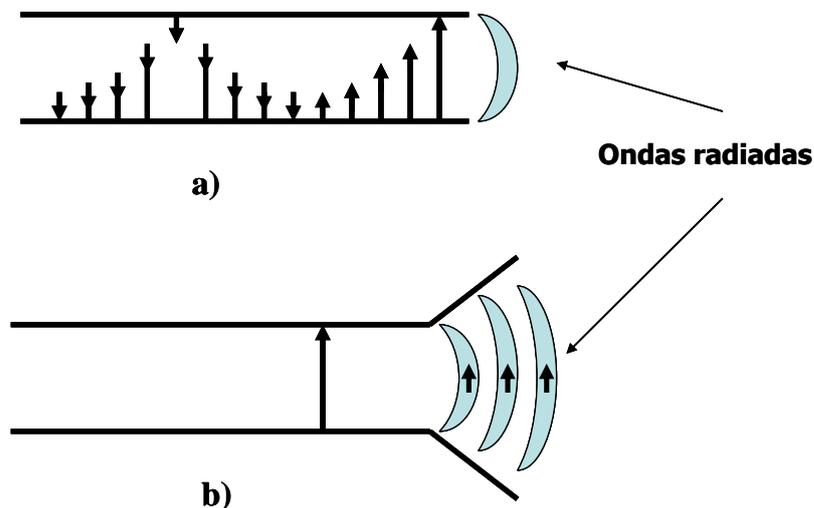


Figura 1. Radiación de una línea de transmisión.

(A) radiación de línea de transmisión; (b) conductores divergentes

La línea de transmisión termina en un circuito abierto, que representa una discontinuidad abrupta para la onda incidente de voltaje o de corriente. La inversión de fase hace que se radie algo del voltaje incidente, sin reflejarse hacia la fuente. La energía radiada se propaga alejándose de la antena, en forma de ondas electromagnéticas transversales. La eficiencia de radiación es la relación de la energía irradiada entre la energía reflejada.

## LA INVENCION DE LA ANTENA

Alexandr Stepánovich Popov es reconocido como el inventor de la antena. Hijo de un sacerdote ortodoxo fue uno de los pocos ingenieros rusos de la época (siglo XIX) que además se interesó por la electricidad y sus posibilidades.

Estudió física y matemáticas en la universidad de San Petersburgo (Rusia) y cuando se graduó, en el año 1885, comenzó su estudio por la física de manera más intensa, estudiando las teorías de otros investigadores como Hertz y Maxwell.

Entre uno de sus logros más importantes se encuentra un dispositivo que tenía la peculiaridad de registrar y captar las perturbaciones eléctricas de la atmósfera. Lo cierto es que este dispositivo lo descubrió por casualidad y se trataba de algo parecido a una varilla conductora que se levantaba "en dirección al cielo", de manera que pudiera captar la energía de las tormentas. Estaba compuesta de manera que pudiera percibir las ondas electromagnéticas originadas artificialmente. Sin darse cuenta y de la forma rudimentaria "acaba de inventar la antena".



*Figura 2. Popov, considerado como el inventor de la antena.*

En el año 1897, cuando Popov estudió las teorías de Heinrich Hertz, experimentó que la sensibilidad del aparato cohesor aumentaba al unirlo a un hilo conductor que dejó suspendido en una cometa. De esta forma la capacidad de recepción era mejor y, además, permitía un mayor rango de longitudes de onda (frecuencias). En estas fechas dejó patente todo esto con una de las pruebas más importantes que diseñó de la siguiente manera: equipó una estación de tierra en la ciudad de Kronstadt y a un crucero ruso con todos los aparatos de comunicación inalámbricas que eran necesarios, y de esta manera consiguió realizar la primera comunicación entre un navío que se encontraba en alta mar con la costa, siendo la distancia entre ambos puntos de 600 yardas.

El invento de la antena fue muy importante en su momento, pero sobre todo posteriormente, porque permitió al italiano Guillermo Marconi poner en marcha su sistema de radio sin hilos, y sirvió para superar algunos inconvenientes que existían con las transmisiones a largas distancias.

## EMISIÓN Y RECEPCIÓN

El origen de las ondas electromagnéticas se basa en el hecho de que toda carga eléctrica en movimiento emite energía en forma de onda electromagnética, siendo la frecuencia de esta onda la misma que la del movimiento de la carga.

Un campo electromagnético se caracteriza por su frecuencia o longitud de onda y su intensidad (potencia), así como por la polarización (variación con el tiempo de la dirección de la intensidad de campo en un punto determinado del espacio) y la modulación empleada. Tanto la Intensidad de campo eléctrico (E) como la Intensidad de campo magnético (H) son magnitudes vectoriales, función de la posición y del instante, que se relacionan con las fuerzas electrostáticas y electromagnéticas y se miden en voltios/metro y amperios/metro (o su equivalente en teslas). Para su medición se emplea un sensor (sonda) apropiado, capaz de detectar ambos campos y reflejar el valor de su intensidad en la escala del aparato de medición, que se puede relacionar con la densidad de potencia en el punto, mediante una fórmula matemática. No toda la potencia que se entrega a una antena se irradia, pues parte de ella se convierte en calor y se disipa.

A la hora de estudiar las antenas, sus diferentes tipos y el modo en el que consiguen la propagación o recepción de las ondas electromagnéticas, es conveniente presentar el concepto de "campo cercano" y de "campo lejano".



Figura 3. Antena empleada en telefonía móvil.

## CAMPO CERCANO Y LEJANO

El término campo cercano se refiere al patrón de campo que está cerca de la antena, y el término campo lejano (también conocido como zona de Fraunhofer) se refiere al patrón de campo que está a gran distancia. Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano. Durante la segunda mitad del ciclo, la potencia que está en el campo cercano regresa a la antena. Esta acción es

similar a la forma en que un inductor guarda y suelta energía. Por tanto, el campo cercano se llama a veces campo de inducción. La potencia que alcanza el campo lejano continúa irradiando lejos y nunca regresa a la antena. Por tanto, el campo lejano se llama campo de radiación. La potencia de radiación, por lo general, es la más importante de las dos; por consiguiente, los patrones de radiación de la antena, por lo regular se dan para el campo lejano.

Es decir:

El campo cercano debe ser para  $br \ll 1$

El campo lejano debe ser para  $br \gg 1$

Donde:

$r$  es la distancia de la antena al punto P de observación del campo y

$b$  para el espacio libre es  $2\pi/\lambda$ , donde  $\lambda$  es la longitud de la onda

### 1.1.2 Parámetros de una antena

Las antenas se comportan de igual manera en recepción que en emisión y se caracterizan por una serie de parámetros, entre los más habituales: respuesta en frecuencia, polarización, ganancia, longitud y área efectiva, peso, dimensiones, tipos de conectores, resistencia al viento, etc.

Los más importantes, a nivel eléctrico, se describen a continuación:

- **Ancho de banda.** Es el margen de frecuencias en el cual los parámetros de la antena cumplen unas determinadas características. Se puede definir un ancho de banda de impedancia, de polarización, de ganancia o de otros parámetros.
- **Directividad.** Es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación, a una cierta distancia  $R$ , y la potencia total radiada dividida por el área de la esfera de radio  $R$ . La directividad se puede calcular a partir del diagrama de radiación. La ganancia de una antena es igual a la directividad multiplicada por la eficiencia. La relación entre la densidad de potencia radiada por la antena en la dirección útil y la que radia por el lóbulo trasero se conoce como relación delante/detrás (forward/backward) y es un importante parámetro de diseño de la antena en lo relativo a interferencias.

El ángulo que hace referencia al diagrama de radiación del lóbulo principal en el plano horizontal de la antena se denomina "azimut", que para el diagrama de radiación vertical se denomina "ángulo de elevación", que se diseña para concentrar el máximo de radiación para aquellos ángulos por debajo de la horizontal, que es donde se agrupan los usuarios, ya que las antenas se colocan en cotas elevadas para alcanzar una mayor cobertura.

- **Ganancia.** Es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección del máximo a una distancia  $R$  y la potencia total entregada a la antena dividida por el área de una esfera de radio  $R$ . La eficiencia es la relación entre la ganancia y la directividad, que coincide con la relación entre la potencia total radiada y la potencia entregada a la antena.

- **Rendimiento en la antena.** El rendimiento de una antena transmisora es la relación entre la potencia de radiación y la potencia total aplicada a la antena, en la cual se toma en cuenta, además de la potencia de radiación, la potencia de pérdida.
- **Impedancia.** Una antena se tendrá que conectar a un transmisor (o a un receptor) y deberá radiar (recibir) el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas. Se deberá adaptar el transmisor o receptor a la antena para una máxima transferencia de potencia, que se suele hacer a través de una línea de transmisión. Esta línea también influirá en la adaptación, debiéndose considerar entre otros, su impedancia característica y atenuación.

La impedancia característica ( $Z_0$ ) es un parámetro que depende de parámetros primarios; de la relación longitud-diámetro del material del conductor y de la frecuencia de trabajo, mientras que la impedancia de entrada es el parámetro circuital de la antena (relación del voltaje de entrada a la corriente de entrada).

- **Anchura de haz.** Es un parámetro de radiación, ligado al diagrama de radiación. Se puede definir el ancho de haz a -3 dB, que es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la máxima. También se puede definir el ancho de haz entre ceros, que es el intervalo angular del haz principal del diagrama de radiación, entre los dos ceros adyacentes al máximo.

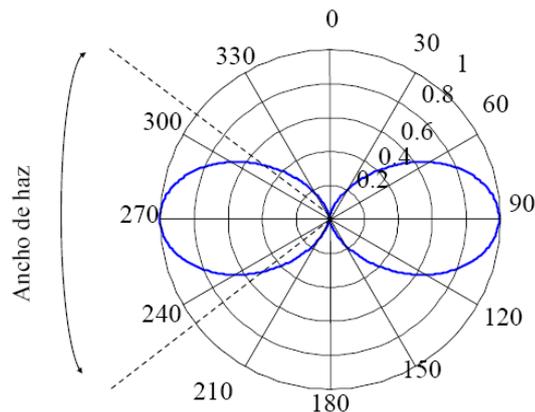


Figura 4. Ancho de haz de 3dB.

- **Polarización.** La polarización electromagnética, en una determinada dirección, es la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar el tiempo. La polarización puede ser lineal, circular y elíptica. La polarización lineal puede tomar distintas orientaciones (horizontal, vertical,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ). Las polarizaciones circular o elíptica pueden ser a derechas o izquierdas (dextrógiras o levógiras), según el sentido de giro del campo (observado alejándose desde la antena). Se llama diagrama copolar al diagrama de radiación con la polarización deseada, y diagrama contrapolar (crosspolar, en inglés) al diagrama de radiación con la polarización contraria.

## TIPOS DE ANTENAS

Existe una gran diversidad de tipos de antena, dependiendo del uso a que van a ser destinadas. En unos casos deben expandir en lo posible la potencia radiada, es decir, no deben ser directivas (ejemplo: una emisora de radio o una estación base de teléfonos móviles), otras veces deben serlo para canalizar la potencia y no interferir a otros servicios (antenas entre estaciones de radio enlaces).

El tamaño de las antenas está relacionado con la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, debiendo ser, en general, un múltiplo o submúltiplo exacto de esta longitud de onda y es por eso que, a medida que se van utilizando frecuencias mayores, las antenas disminuyen su tamaño. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda, las antenas se denominan elementales. La longitud de las antenas resonantes (cuando se anula su reactancia de entrada) es un múltiplo entero de la semilongitud de onda.

### ANTENA ISOTRÓPICA

La antena isotrópica es una antena hipotética sin pérdida (se refiere a que el área física es cero y por lo tanto no hay pérdidas por disipación de calor) que tiene intensidad de radiación igual en todas direcciones. (IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms, 1979).

Sirve de base de referencia para evaluar la directividad. La antena isotrópica no es una antena, sino un concepto de referencia para evaluar a las antenas en su función de concentración de energía y a las pérdidas por propagación en el espacio libre en los enlaces de radiofrecuencia. Su patrón de radiación es una esfera.

Cada aplicación y cada banda de frecuencia presentan características peculiares que dan origen a unos tipos de antenas especiales muy diversas. Los tipos más comunes de antenas son los que se explican en los siguientes apartados.

### ANTENAS DE HILO

Las antenas de hilo están formadas por hilos conductores, eléctricamente delgados, cuyo diámetros  $\ll \lambda$ . Se modelan como un conductor de sección infinitesimal. Pueden estar formadas por hilos rectos (dipolos, rombos), espirales (circular, cuadrada o cualquier forma arbitraria) y hélices. En la figura 5 se muestran algunos tipos ampliamente empleados en radiocomunicaciones.

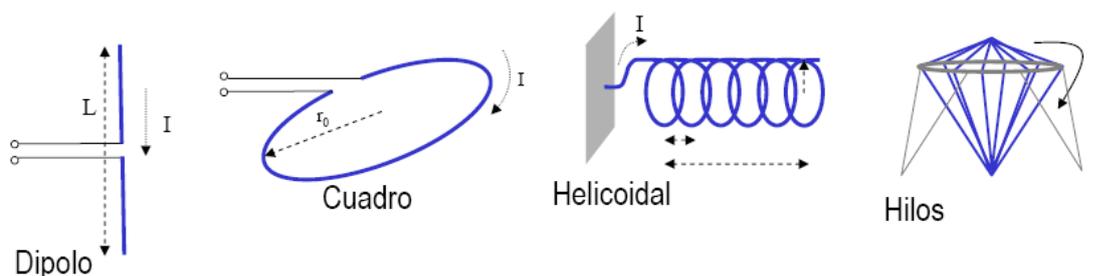


Figura 5. Distintos tipos de antenas de hilo.

El tipo más común son las antenas de **dipolo**. Esta clase de antena es la más sencilla de todas. El dipolo de media onda o antena de Hertz –el tipo más común– consiste en un hilo conductor de media longitud de onda a la frecuencia de trabajo, cortado por la mitad, en cuyo centro se coloca un generador o una línea de transmisión. Suelen estar fabricados de aluminio o cobre.

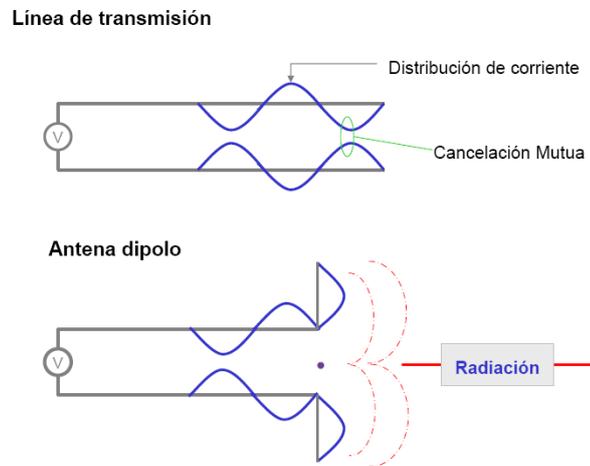


Figura 6. El dipolo consigue radiar al separar los dos conductores que forman la línea de transmisión.

En el centro del dipolo hay una tensión reducida y una intensidad elevada, mientras que en las puntas se produce una tensión muy elevada y una intensidad nula, y por tal motivo los dipolos pueden plegarse para darles mayor ganancia a la vez que mayor rigidez mecánica. La impedancia nominal de un dipolo es de 75 ohmios (300 ohmios para el dipolo doble). Sin embargo, en un dipolo real situado a una cierta distancia del suelo la impedancia varía considerablemente, pero este efecto no tiene mayor importancia si se puede aceptar una ROE (Razón de Onda Estacionaria) máxima en la línea de transmisión de 2:1.

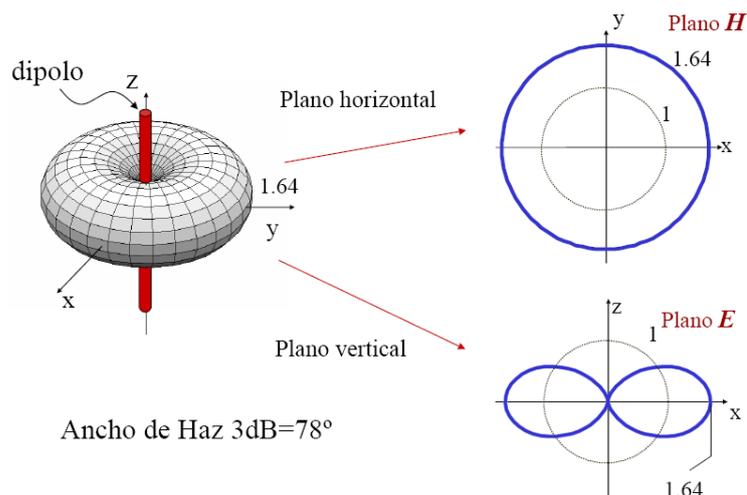


Figura 7. Diagrama de radiación de un dipolo en el plano horizontal y vertical.

Para otros dipolos, con longitud  $L$  diferente a  $\lambda/2$ , los diagramas de radiación son los que se muestran en la figura 8, todos ellos omnidireccionales.

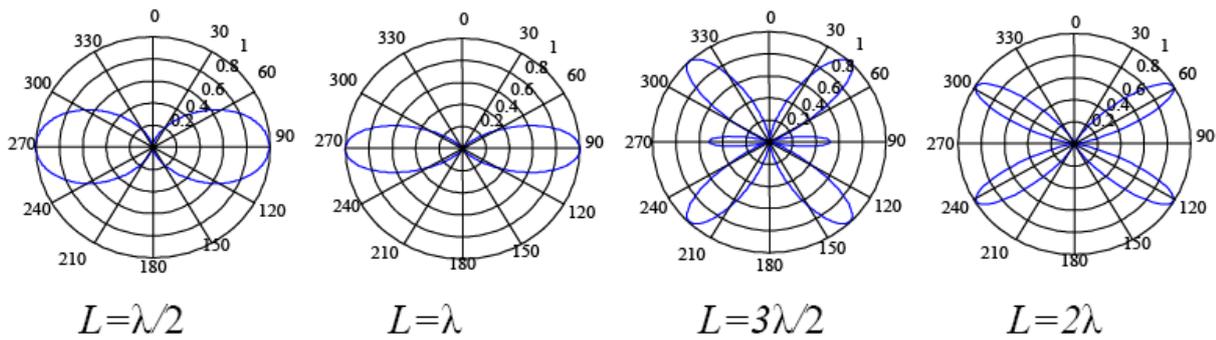


Figura 8. Diagrama de radiación de un dipolo para diferentes longitudes.

## ANTENAS YAGI-UDA

Una aplicación práctica de este tipo de antenas, es el de las antenas tipo yagi-uda (directivas), ampliamente utilizadas, por ejemplo, para la recepción de señales de televisión en la banda de UHF, ya que poseen una gran directividad, tanto mayor cuanto mayor sea el número de elementos pasivos (parásitos) que incorpore y así su ganancia es la adecuada para recibir el nivel de señal suficiente para que pueda ser amplificado sin problemas.

En la figura 9 podemos ver la imagen de una de ellas, que seguro que nos resultará muy familiar a todos, ya que es la típica antena de recepción de televisión. Su ganancia y directividad dependerá del número de elementos reflectores, cuantos más, mejor, y puede cubrir toda la gama de canales de UHF, desde el 21 al 69.

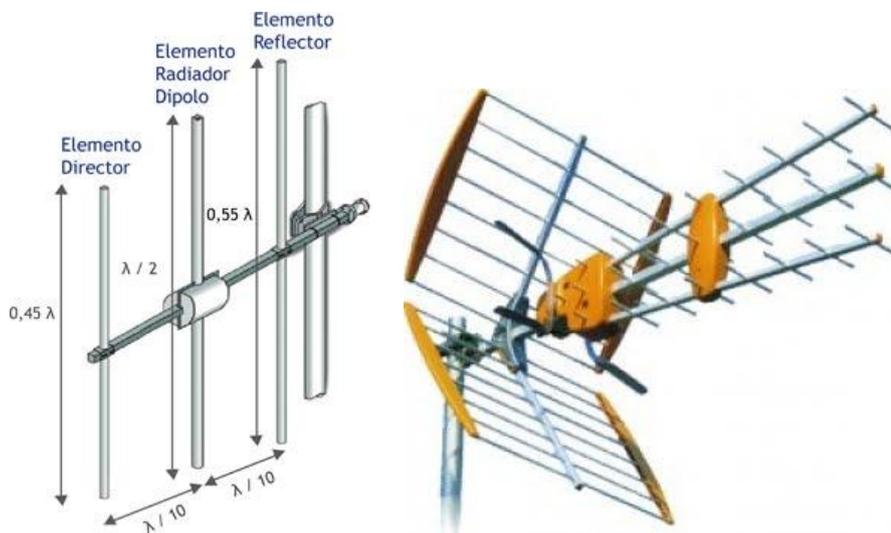


Figura 9. Antena Yagi-Uda (canales 21-69).

La antena Yagi es pues una antena capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada, aumentando así la potencia emitida hacia el receptor o recibida desde la fuente y evitando interferencias introducidas por fuentes no deseadas.

Una antena helicoidal es un tipo de antena que presenta un comportamiento de banda ancha. Una hélice es el resultado de bobinar un hilo conductor sobre un cilindro de diámetro constante. Los parámetros geométricos de diseño de una hélice son su diámetro, la separación entre dos vueltas o paso de la hélice, el número de vueltas, el diámetro del hilo y el sentido del bobinado (a derechas o izquierdas).

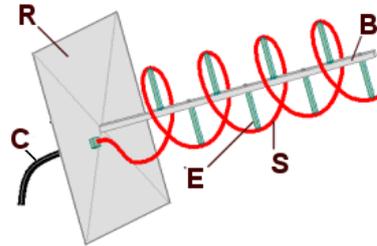


Figura 10. Tipo de antena helicoidal.

Podemos definir una antena **periódica-logarítmica** como un grupo de antenas dipolos unidas y alimentadas a través de una línea de transmisión común. Es una antena multibanda y su respuesta en frecuencia es muy plana, lo que la hace muy interesante en aplicaciones donde el usuario utiliza sistemas en diferentes bandas (por ejemplo, aplicaciones celulares). Debido a estas características, el coste de este tipo de antenas es más elevado que el de las mencionadas anteriormente.

El diseño de una antena de este tipo consiste en una figura geométrica básica que se repite, pero con distintos tamaños. Pueden ser unidireccionales o bidireccionales, y tener una ganancia directiva de baja a moderada. También se pueden alcanzar altas ganancias usándolas como elementos de una red más complicada. Tienen características de banda muy ancha y, por ende, se dice también que son independientes de la frecuencia.

Cuando una estación transmite una señal, y la antena se apunta en la dirección necesaria para recibir esa señal, se puede demostrar que sólo uno o dos de los elementos bipolares de la antena reaccionarán a la frecuencia. Todos los demás elementos serán inactivos a esa frecuencia dada, sin embargo, se harán activos para algunas otras frecuencias. En otras palabras, para cualquier frecuencia dada que se reciba, solo se consideran activos uno o dos de los elementos.

## ANTENAS DE APERTURA

En estas antenas, la onda radiada se consigue a partir de una distribución de campo soportada por la antena y se suelen excitar por guías de onda. Son antenas de apertura las bocinas (piramidales o cónicas), las aperturas sobre planos y ranuras sobre planos conductores y las guías de onda.

En concreto, una bocina es una antena que se utiliza de forma generalizada a frecuencias de microondas, por sus características de gran ancho de banda y por su facilidad de construcción y diseño. Las bocinas se pueden utilizar como antena individual, en forma de agrupaciones, o como alimentador de reflectores o lentes. De acuerdo con la forma de la apertura, las bocinas pueden ser de dos tipos: piramidal y cónica. El empleo de reflectores (superficies planas, parabólicas, hiperbólicas, elípticas) permite optimizar las características de radiación.

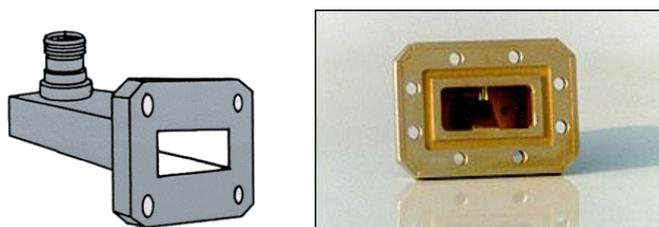


Figura 11. Adaptador coaxial-guía-apertura, con un amplio rango de frecuencias.

## ANTENAS PLANAS

Las antenas planas (*microstrip*) están formadas por un agrupamiento plano de radiadores (parches) y un circuito que distribuye la señal entre ellos. Su diseño se adecua de forma que la estructura disipe la potencia en forma de radiación. Ambos, parches y circuito, se fabrican utilizando técnicas de fotograbado sobre un sustrato dieléctrico laminado en cobre por ambas superficies. Al ser una tecnología plana, facilita su integración con el resto del sistema, favoreciendo la reducción del tamaño y peso global. Presentan la desventaja de su estrecho ancho de banda, pero actualmente existen numerosos métodos para solventar este inconveniente.



Figura 12. Fotografía de una antena plana (18 dBi).

## ANTENAS CON REFLECTOR (PARABÓLICAS)

En este tipo de antenas la señal emitida/recibida no sale/entra directamente en/del elemento captador, sino que se emite/recoge por/en el mismo una vez reflejada en un elemento pasivo que concentra la señal. En el caso de una antena receptora, su funcionamiento se basa en la reflexión de las ondas electromagnéticas, por la cual las ondas que inciden paralelamente al eje principal se reflejan y van a parar a un punto denominado foco que está centrado en el paraboloide. En cambio, si se trata de una antena emisora, las ondas que emanan del foco (dispositivo de emisión) se ven reflejadas y salen en dirección paralela al eje de la antena. Básicamente, existen tres tipos básicos de antenas con reflector.

Las antenas reflectoras parabólicas proporcionan una ganancia y una directividad extremadamente altas y son muy populares para las microondas y el enlace de comunicaciones por satélite. Una antena parabólica se compone de dos partes principales: un reflector parabólico y elemento activo llamado mecanismo de alimentación. En esencia, el mecanismo de alimentación aloja la antena principal (por lo general un dipolo), que irradia ondas electromagnéticas hacia el reflector. El reflector es un dispositivo pasivo que solo refleja la

energía irradiada por el mecanismo de alimentación en una emisión concentrada altamente direccional donde las ondas individuales están todas en fase entre sí (frente de ondas en fase).

### Foco primario

La superficie de la antena es un paraboloides de revolución, todas las ondas inciden paralelamente al eje principal, se reflejan, y van a parar al Foco. El Foco está centrado en el paraboloides. Tiene un rendimiento máximo del 60% aproximadamente, es decir, de toda la energía que llega a la superficie de la antena, el 60% llega al foco y se aprovecha; el resto no llega al foco y se pierde. Se suelen ver de tamaño grande, aproximadamente de 1,5 m de diámetro.



Figura 13. Antena parabólica de foco primario.

### Offset

Una antena *offset* está formada por una sección de un reflector paraboloides de forma oval. La superficie de la antena ya no es redonda, sino oval y simétrica (elipse). El punto focal no está montado en el centro del plato, sino desplazado a un lado del mismo (*offset*), de tal forma que el foco queda fuera de la superficie de la antena. La ventaja de esta tecnología es que la superficie de la antena ya no estará sombreada por el LNB (*Low Noise Block*), desde el punto de vista del satélite, y así se recibe algo más de señal.



Figura 14. Antena parabólica de foco offset.

### Cassegrain

Se caracteriza por llevar un segundo reflector cerca de su foco, el cual refleja la onda radiada desde el dispositivo radiante hacia el reflector en las antenas transmisoras, o refleja la onda recibida desde el reflector hacia el dispositivo detector en las antenas receptoras.

Este tipo de antenas presentan una gran directividad, una elevada potencia en el transmisor y un receptor de bajo ruido. Utilizar una gran antena reflectora implica grandes distancias del transmisor al foco (y la imposibilidad de colocar equipos en él) por lo que una solución es emplear un segundo reflector o subreflector.



*Figura 15. Antena parabólica cassegrain.*

## **ARRAYS**

Una antena de arreglo de fase (*array*) es un grupo de antenas que, cuando se conectan, funcionan como una sola antena cuyo ancho de haz y dirección (o sea, patrón de radiación) puede cambiarse electrónicamente sin tener que mover físicamente ninguna de las antenas individuales. La ventaja principal de este tipo de antenas es que eliminan la necesidad de mover en forma mecánica los elementos de la misma. Una aplicación típica es en radares, donde los patrones de radiación deben ser capaces de cambiar rápidamente para seguir un objeto en movimiento y, últimamente, también en las comunicaciones móviles de 3G y 4G.



*Figura 16. Array de antenas parabólicas.*

Se puede controlar –ajusta o cambiar– electrónicamente la amplitud de las corrientes y la fase de cada antena individual, modificando la forma del diagrama de radiación. Además, se puede conseguir que los parámetros de la antena dependan de la señal recibida a través de circuitos asociados a los elementos radiantes, como es el caso de las agrupaciones adaptativas.

Hay diferentes tipos: los lineales tienen los elementos dispuestos sobre una línea, mientras que los planos son agrupaciones bidimensionales cuyos elementos están sobre un plano.



Figura 17. Array de antenas de hilo.

## ANTENAS INTELIGENTES

Las últimas tendencias en comunicaciones móviles, principalmente con la introducción de la 3G y 4G, sobre todo en Europa, apuntan a la utilización de un nuevo tipo de antenas para mejorar la capacidad y la calidad de los servicios de telecomunicaciones, así como para ofrecer un mayor número de servicios inalámbricos. Todo ello será posible gracias a las antenas inteligentes (*smart antennas*), que consiguen aumentar la capacidad de conexión a múltiples usuarios simultáneamente con una serie de ventajas que se expondrán a continuación. En esencia, el sistema funciona de tal forma que cuando el usuario se desplaza, o lo hace la señal interferente, se modifica la dirección del lóbulo principal para que se mueva con él y/o se minimice la interferencia y, en el caso en que una estación de radio atienda a varios usuarios simultáneamente, los sistemas permiten transmitir el haz desglosado en varios lóbulos muy directivos, de forma que se reduce la interferencia en la red considerablemente y se incrementa la capacidad en ambos sentidos.

## PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

La tecnología de antenas para equipar las estaciones base de las redes celulares ha ido evolucionando progresivamente en respuesta a las necesidades de la industria. Los factores clave han sido la limitación de las frecuencias y la incorporación de nuevas bandas, junto con la integración de nuevas funcionalidades, para ofrecer más capacidad y funcionalidad a las redes móviles celulares. Así, se ha pasado por las antenas omnidireccionales, sectorizadas, logaritmo-periódicas, multibanda, multihaz, etc. hasta llegar a las inteligentes.

Los sistemas móviles tradicionales actuales, de uso extensivo, utilizan varias antenas monohaz para dar cobertura a una única célula (una por sector). Sin embargo, existe una limitación de la anchura de dicho haz, que viene impuesta por la ganancia de la antena, pues ganancias elevadas implican anchos de haz reducidos y viceversa. Esta restricción no existe en los sistemas de antenas inteligentes, también llamados SAS (*Smart Antennas Systems*).

Una antena inteligente es una agrupación (array) de antenas junto con el procesamiento digital (DSP), que optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno. Sin embargo, al hablar de "inteligencia", siendo estrictos, las antenas no son inteligentes sino lo que es inteligente es el sistema completo dado que puede interactuar con el medio y la inteligencia radica en la posibilidad de variar el patrón de radiación en su forma una vez se ha implementado la antena.

Es muy importante tener muy en cuenta las aplicaciones, el ancho de banda disponible y los servicios que se va prestar mediante estas antenas, ya que no en todas las ocasiones son recomendables, además de que su coste es muy superior al de una antena normal.

Estos sistemas multihaz (haz múltiple o haz gobernable) mejoran la recepción de la señal procedente del móvil minimizando, además, las interferencias. En contrapartida, se deben emplear algoritmos de conmutación entre haces y software de procesamiento de la señal de RF bastante complejos. Para cada llamada, estos algoritmos determinan cuáles son los haces que mantienen una mejor calidad de la señal eligiendo, en cada momento, el mejor de ellos. De este modo, el sistema asegura a los usuarios una calidad óptima mientras dura su llamada. La conmutación entre los diferentes haces o la variación del patrón de radiación se efectúa a medida que el móvil se desplaza. Para ello, el SAS monitoriza la calidad de la señal determinando cuándo un cierto haz debe ser seleccionado o modificado.

## **TIPOS DE ANTENAS INTELIGENTES**

Existen, básicamente, tres tipos de SAS, aunque los dos primeros presentan algunas características comunes.

### **Haz conmutado**

El sistema genera varios haces a ángulos prefijados que se van conmutando secuencialmente dando como resultado 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 determinar la posible existencia de señales. En caso de recibir la 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.

### **Haz de seguimiento**

El sistema es algo más complejo que el anterior y está formado por un array de antenas con una red de excitación que permite controlar electrónicamente las fases de las corrientes de excitación que llegan a los elementos del mismo para modificar la dirección del haz convenientemente y establecer la comunicación con el usuario respectivo.

La diferencia entre las de antenas de haz conmutado y de haz de seguimiento es que el de haz conmutado tiene posiciones angulares fijas (prefijadas) y el de seguimiento no, ofreciendo mayor resolución angular para identificar la dirección de llegada de las señales de los usuarios.

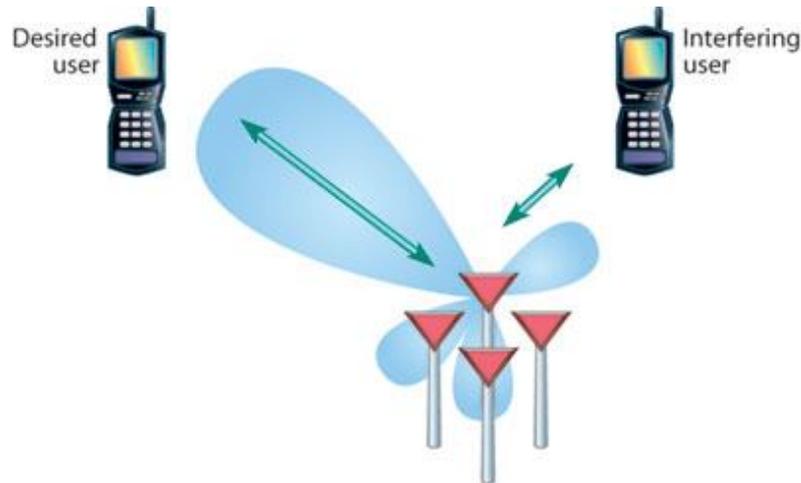


Figura 18. Formación de haz de antena inteligente.

### Haz adaptativo

En este sistema las salidas de cada elemento se ponderan con un valor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente para conformar un diagrama de radiación que presente el haz principal hacia la ubicación del usuario deseado y los haces o lóbulos secundarios hacia las direcciones de las componentes del multitrayecto de la señal deseada y mínimos o nulos de la radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

La selectividad espacial que proporciona los sistemas de este tipo, permite discernir las señales interferentes provenientes de otros usuarios, logrando con esto hacer insensible a la antena receptora hacia esas direcciones y evitar que esas señales sean procesadas en el sistema de recepción. Requieren el uso de algoritmos DoA, tanto para la detección de las señales de llegada e interferentes así como para la determinación de los pesos que conforman los haces. También, permiten reducir la potencia de transmisión en la dirección de esos usuarios para evitarles interferencias, lo que reduce el BER y permite aumentar la calidad de la transmisión de información.

Esta tecnología tiene un excelente potencial para aumentar la eficacia del uso del espectro en comparación con los sistemas radiantes tradicionales. Con un control inteligente de la iluminación de la antena se puede ampliar la capacidad y la cobertura de las redes móviles. Las antenas de haz adaptativo son, pues, las que ofrecen el mayor rendimiento e inteligencia.

### Antenas MIMO

Un caso particular de antenas de este tipo son las MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) o (entradas múltiples, salidas múltiples), una tecnología de antenas inteligentes de arrays adaptativos empleada también en algunas redes inalámbricas como, por ejemplo, en Wi-Fi, femtoceldas y en WiMAX que aprovecha el fenómeno de multipropagación (*multipath*) y radiocomunicaciones en diversidad de espacio para conseguir una mayor velocidad y un mejor alcance del que se consigue con las antenas tradicionales.



Figura 19. Router Wi-Fi con tres antenas (MIMO).

Un ejemplo de los beneficios que esta tecnología MIMO puede aportar en la vida diaria podemos verlos en la recepción de una emisora de radio en el coche, en la que su antena está recibiendo la señal directamente de un transmisor de la cadena de radio. Pero su radio también recibe señales ajenas de esa misma emisión desde diferentes direcciones, porque los edificios, árboles, accidentes geográficos y otras estructuras de la zona entre el emisor y el receptor pueden reflejar o refractar esas señales. El resultado final es que cada una de esas señales adicionales llega por un camino distinto, con una ligera distancia temporal, con lo que están desfasadas con respecto a la original y, ocasionalmente, puede aumentar o cancelar partes de la señal (interferencias).

Este diferencial introduce ruido y distorsión que se puede escuchar conforme el coche avanza por la ciudad, en forma de debilitación de la señal, recepción intermitente y repentinas pérdidas de señal. En las comunicaciones digitales, estos factores pueden causar una reducción en la velocidad de datos y un aumento del número de errores.

Añadir más antenas, como hacen algunos sistemas inalámbricos, ayuda a distinguir las señales, permitiendo al receptor elegir la antena que reciba la señal mas fuerte en cada momentos. MIMO puede utilizar los caminos de señal adicionales para transmitir más información y recombinar las señales desde el lado del receptor, consiguiendo así una ganancia extra de potencia.

Utilizar múltiples receptores de esta manera no es un fenómeno recién descubierto: se ha venido utilizando en determinadas transmisiones de radio durante al menos medio siglo. Pero hasta hace poco, la cantidad de procesado de señal que se necesitaba era demasiado cara como para que resultara práctico. Un importante factor que impulsa la aceptación actual de MIMO es la aparición de chips de alta velocidad que no resultan caros y tienen millones de transistores.

Los sistemas MIMO pueden utilizar multiplexación espacial para distinguir entre diferentes señales en una misma frecuencia. Es más, podemos codificar esas transmisiones para que la información de cada una pueda utilizarse para ayudar a reconstruir la información de las otras. En resumen, la diversidad de antenas en los sistemas actuales permite que haya varias antenas para recibir señales, y luego elija la "mejor" señal para ser procesada por el hardware de radio.