**ANTENA**

**Una antena** es un dispositivo (conductor metálico) diseñado con el objetivo de emitir o recibir [ondas electromagnéticas](http://es.wikipedia.org/wiki/Ondas_electromagn%C3%A9ticas) hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

La definición formal de una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir [ondas](http://www.monografias.com/trabajos5/elso/elso.shtml#ondas) de [radio](http://www.monografias.com/trabajos13/radio/radio.shtml). Convierte 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 realidad una antena es un trozo de material conductor al cual se le aplica una señal y esta es radiada por el espacio libre.

 Las [antenas](http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml) deben de dotar a la onda radiada con un aspecto de [dirección](http://www.monografias.com/trabajos15/direccion/direccion.shtml). Es decir, deben acentuar un solo aspecto de dirección y anular o mermar los demás. Esto es necesario ya que solo nos interesa radiar hacia una dirección determinada.

Esto se puede explicar con un ejemplo, hablando de las antenas que llevan los [satélites](http://www.monografias.com/trabajos12/comsat/comsat.shtml). Estas acentúan mucho la dirección hacia [la tierra](http://www.monografias.com/trabajos15/origen-tierra/origen-tierra.shtml) y anulan la de sentido contrario, puesto que lo que se quiere es comunicarse con la [tierra](http://www.monografias.com/trabajos11/tierreco/tierreco.shtml) y no mandar [señales](http://www.monografias.com/trabajos36/signos-simbolos/signos-simbolos.shtml) hacia el espacio.

Las antenas también deben dotar a la onda radiada de una polarización. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el[tiempo](http://www.monografias.com/trabajos901/evolucion-historica-concepciones-tiempo/evolucion-historica-concepciones-tiempo.shtml), por el extremo del vector del campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación.

Para todas las ondas, esa figura es normalmente una elipse, pero hay dos casos particulares de [interés](http://www.monografias.com/trabajos7/tain/tain.shtml) y son cuando la figura trazada es un segmento, denominándose linealmente polarizada, y cuando la figura trazada es un círculo, denominándose circularmente polarizada.

Una onda está polarizada circularmente o elípticamente a derechas si un observador viese a esa onda alejarse, y además viese girar al campo en el sentido de las agujas de un reloj. Lógicamente, si lo viese girar en sentido contrario, sería una onda polarizada circularmente o elípticamente a izquierdas.

Existe una gran diversidad de tipos de antenas, 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 comercial o una estación base de teléfonos móviles), otras veces deben serlo para canalizar la potencia en una dirección y no interferir a otros servicios (antenas entre estaciones de radioenlaces). También es una antena la que está integrada en la computadora portátil para conectarse a las redes [Wi-Fi](http://es.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi" \o "Wi-Fi).

Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la [longitud de onda](http://es.wikipedia.org/wiki/Longitud_de_onda) de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas se denominan elementales, si tienen dimensiones del orden de media longitud de onda se llaman resonantes, y si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda son directivas.

## Parámetros de una antena

Las antenas se caracterizan por una serie de parámetros, estando los más habituales descritos a continuación:

**Distribución De Corriente En Una Antena**

Una antena, al ser un elemento de un circuito, tendrá una [distribución](http://www.monografias.com/trabajos11/travent/travent.shtml) de corrientes sobre ella misma. Esta distribución dependerá de la longitud que tenga la antena y del punto de [alimentación](http://www.monografias.com/Salud/Nutricion/) de la misma.

Una onda estacionaria es una onda que se crea cuando una señal se está propagando por un medio de transmisión y es reflejada por culpa de una mala adaptación o por culpa de un final de línea.

Supongamos primero que tenemos una línea acabada en circuito abierto y alimentada en uno de sus extremos.

En el momento de alimentar a esta línea de transmisión con una señal senoidal, se crea una onda que se propaga por la línea.

Esta señal se irá repitiendo cada longitud de onda landa (una longitud de onda y no media longitud de onda) ya que es una señal senoidal y es periódica. Esto provoca que ahora tengamos una distribución de corrientes que no es constante y que varía en [función](http://www.monografias.com/trabajos7/mafu/mafu.shtml) de la longitud de onda landa.

En la siguiente figura podemos ver una representación gráfica de como quedaría una distribución de corrientes en la línea que estamos tratando.

Una vez que la onda llega al final de la línea, esta es reflejada al no [poder](http://www.monografias.com/trabajos35/el-poder/el-poder.shtml) continuar su camino, volviendo hacia el generador. Esta onda reflejada tiene un desfase de 90º respecto de la onda incidente, por lo que al sumarse con la onda incidente, tendremos puntos en donde la suma de un máximo y en donde de un mínimo. Esta suma de las dos ondas es la onda estacionaria que estamos buscando.

Si en vez de estar acabada la línea en circuito abierto, estuviera acabada en corto circuito, también se reflejaría la onda, pero en vez de estar desfasada 90º, estaría desfasada 180º. También se sumaría a la onda incidente y lógicamente también creará la onda estacionaria.

**Diagrama de radiación**

Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la dirección (coordenadas en azimut y elevación). Lo más habitual es representar la densidad de potencia radiada, aunque también se pueden encontrar diagramas de polarización o de fase. Atendiendo al diagrama de radiación, podemos hacer una clasificación general de los tipos de antena y podemos definir la directividad de la antena (antena isotrópica, antena directiva, antena bidireccional, antena omnidireccional,…) Dentro de los diagramas de radiación podemos definir diagrama copolar aquel que representa la radiación de la antena con la polaridad deseada y contrapolar al diagrama de radiación con polaridad contraria a la que ya tiene.

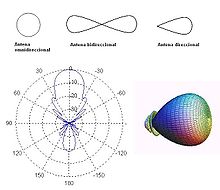
[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama_gen_rad.JPG)

Diagrama de radiación

Los parámetros más importantes del diagrama de radiación son:

* Dirección de apuntamiento: Es la de máxima radiación. Directividad y Ganancia.
* Lóbulo principal: Es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
* Lóbulos secundarios: Son el resto de máximos relativos, de valor inferior al principal.
* Ancho de haz: Es el margen angular de direcciones en las que el diagrama de radiación de un haz toma un valor de 3dB por debajo del máximo. Es decir, la dirección en la que la potencia radiada se reduce a la mitad.
* Relación de lóbulo principal a secundario (SLL): Es el cociente en dB entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario.
* Relación delante-atrás (FBR): Es el cociente en dB entre el valor de máxima radiación y el de la misma dirección y sentido opuesto.

**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

La Directividad (D) de una antena se define como la relación entre la intensidad de radiación de una antena en la dirección del máximo y la intensidad de radiación de una antena isotrópica que radia con la misma potencia total.

*D* = *U*(*max*) / *U*(*iso*)

La Directividad no tiene unidades y se suele expresar en unidades logarítmicas (dBi) como:

*D* = 10 \* *log*(*U*(*max*) / *U*(*iso*))*dBi*

**Ganancia**

Se define como la ganancia de potencia en la dirección de máxima radiación. La Ganancia (G) se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación.

*G* = 10*log*[4*pi* \* *U*(*max*) / *P*(*in*)]

La unidad de Ganancia (G) de una antena es el dBd o dBi, dependiendo si esta se define respecto a un dipolo de media onda o a la isotrópica.

Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. La máxima ganancia directiva se llama directividad. Matemáticamente, la ganancia directiva es:

donde:

D = ganancia directiva (sin unidades)

P = densidad de potencia en algún punto de una antena determinada (W/m2)

Pref = densidad de potencia en el mismo punto de una antena de referencia (W/m2)

La ganancia de potencial es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (o sea, que se toma en cuenta la eficiencia de la antena). Se supone que la antena indicada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene perdidas (h = 100%). Matemáticamente, la ganancia de potencia (Ap) es:

Ap = D h

Si una antena no tiene perdidas, irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directa. La ganancia de potencia para una antena también se da en decibeles en relación con alguna antena de referencia.

**Polarización de la Antena**

La polarización de una antena se refiere solo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo general, polarizada horizontal o vertical), en forma elíptica o circular. Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente.

**Eficiencia**

Relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena.

También se puede definir como la relación entre ganancia y directividad.

*e* = *P*(*r*) / *P*(*in*) = *G* / *D*

El parámetro **e** (eficiencia) es adimensional

Relacionado con la impedancia de la antena tenemos la [eficiencia](http://www.monografias.com/trabajos11/veref/veref.shtml) de radiación y la eficiencia de reflexión. Estas dos eficiencias nos indicarán una, cuanto de buena es una antena emitiendo señal, y otra, cuanto de bien está adaptada una antena a una línea de transmisión.

La Eficiencia de Radiación se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena. Como la potencia está relacionada con la resistencia de la antena, podemos volver a definir la Eficiencia de Radiación como la relación entre la Resistencia de radiación y la Resistencia de la antena:

La Eficiencia de Adaptación o Eficiencia de Reflexión es la relación entre la potencia que le llega a la antena y la potencia que se le aplica a ella. Esta eficiencia dependerá mucho de la impedancia que presente la línea de transmisión y de la impedancia de entrada a la antena, luego se puede volver a definir la Eficiencia de Reflexión como 1 - módulo del Coeficiente de reflexión2 , siendo el coeficiente de reflexión el cociente entre la diferencia de la impedancia de la antena y la impedancia de la línea de transmisión, y la suma de las mismas impedancias.

Eficiencia de Reflexión = 1 - (Coeficiente de Reflexión)2 , donde

Algunas veces se define la Eficiencia Total, siendo esta el [producto](http://www.monografias.com/trabajos12/elproduc/elproduc.shtml) entre la Eficiencia de Radiación y la Eficiencia de Reflexión.

Eficiencia Total = Eficiencia de Radiación x Eficiencia de Reflexión

Otra forma de calcular la eficiencia de una antena es utilizando la figura siguiente, en la que se [muestra](http://www.monografias.com/trabajos11/tebas/tebas.shtml) un circuito equivalente eléctrico simplificado para una antena.

Parte de la potencia de entrada se disipa en las resistencias efectivas (resistencia de tierra, dieléctricos imperfectos, etc.) y la restante se irradia. El total de la potencia de la antena es la suma de las potencias disipada y radiada. En términos de resistencia y corriente, la eficiencia es:

donde:

n = eficiencia de la antena

i = corriente de la antena

Rr = resistencia de radiación

Re = resistencia de la antena efectiva

Patrón de Radiación

En algunas circunstancias es necesario la representación gráfica de la fase del campo eléctrico. Esta representación recibe el nombre de Diagrama de Fase o Patrón de Radiación.

Un patrón de radiación es un diagrama polar o gráfica que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena. Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico (E) o de la [densidad](http://www.monografias.com/trabajos5/estat/estat.shtml) de potencia (P), se llama patrón de radiación absoluto. Si se traza la intensidad del campo o la densidad de potencia en relación al [valor](http://www.monografias.com/trabajos14/nuevmicro/nuevmicro.shtml) en un punto de referencia, se llama patrón de radiación relativo.

Algunas veces no nos interesa el diagrama de radiación en tres dimensiones, al no poder hacerse mediciones exactas sobre el. Lo que se suele hacer es un corte en el diagrama de radiación en tres dimensiones para pasarlo a dos dimensiones. Este tipo de diagrama es el más habitual ya que es más fácil de medir y de interpretar.

**Impedancia de entrada**

Es la impedancia de la antena en sus terminales. Es la relación entre la tensión y la corriente de entrada. Z=\frac{V}{I}.

La impedancia es un número complejo. La parte real de la impedancia se denomina Resistencia de Antena y la parte imaginaria es la Reactancia. La resistencia de antena es la suma de la resistencia de radiación y la resistencia de pérdidas. Las antenas se denominan resonantes cuando se anula su reactancia de entrada.

Una antena se tendrá que conectar a un transmisor y deberá radiar el máximo de [potencia](http://www.monografias.com/trabajos14/trmnpot/trmnpot.shtml) posible con un mínimo de perdidas. Se deberá adaptar la antena al transmisor 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 su impedancia característica, atenuación y longitud.

Como el transmisor producirá corrientes y campos, a la entrada de la antena se puede definir la impedancia de entrada mediante la relación tensión-corriente en ese punto. Esta impedancia poseerá una parte real Re(w) y una parte imaginaria Ri(w), dependientes de la frecuencia.

Si a una frecuencia una antena no presenta parte imaginaria en su impedancia Ri(w)=0, entonces diremos que esa antena está resonando a esa frecuencia.

Normalmente usaremos una antena a su frecuencia de resonancia, que es cuando mejor se comporta, luego a partir de ahora no hablaremos de la parte imaginaria de la impedancia de la antena, si no que hablaremos de la resistencia de entrada a la antena Re. Lógicamente esta resistencia también dependerá de la frecuencia.

Esta resistencia de entrada se puede descomponer en dos [resistencias](http://www.monografias.com/trabajos16/componentes-electronicos/componentes-electronicos.shtml#RESIST), la resistencia de radiación (Rr) y la resistencia de pérdidas (RL). Se define la resistencia de radiación como una resistencia que disiparía en forma de [calor](http://www.monografias.com/trabajos15/transf-calor/transf-calor.shtml) la misma potencia que radiaría la antena. La antena por estar compuesta por conductores tendrá unas pérdidas en ellos. Estar pérdidas son las que definen la resistencia de pérdidas en la antena.

Como nos interesa que una antena esté resonando para que la parte imaginaria de la antena sea cero. Esto es necesario para evitar tener que aplicar corrientes excesivas, que lo único que hacen es producir grandes pérdidas.

Veamos este ejemplo:

Queremos hacer una transmisión en onda media radiando 10 KW con una antena que presenta una impedancia de entrada Ze = 50 - j100 ohmios.

Si aplicamos las fórmulas P = |I|2 x Real[Ze] = |I|2 = P / Real[Ze]

Obtenemos que |I| = 14.14 A.

Si ahora aplicamos la [ley](http://www.monografias.com/trabajos4/leyes/leyes.shtml) de Ohm

|V| = |I| x |Ze| = 14.14 x (50 - j100) = 14.14 x 111.8 = 1580.9 V.

Si ahora logramos hacer que resuene la antena, tendremos que la impedancia de entrada no tendrá parte imaginaria, luego Ze = 50 ohmios. Aplicando las mismas fórmulas de antes obtenemos que la intensidad que necesitamos es la misma

|I| = 14.14 A, pero vemos que ahora la tensión necesaria es |V| = 707 V.

Con este pequeño ejemplo vemos que hemos ahorrado más de la mitad de tensión teniendo la antena resonando que si no la tenemos. No se ha dicho, pero se ha supuesto que la parte real de la impedancia de entrada de la antena no varía en función de la frecuencia.

**Anchura de haz**

Es un parámetro de radiación, ligado al diagrama de radiación. Se puede definir el ancho de haz a -3dB, que es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la potencia máxima (en la dirección principal de radiación). 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.

El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomando en uno de los planos "principales". El ancho del haz para una antena cuyo patrón de radiación se muestra en la figura siguiente es el ángulo formado entre los puntos A, X y B ( ángulo q ). Los puntos A y B son los puntos de media potencia (la densidad de potencia en estos puntos es la mitad de lo que es, una distancia igual de la antena en la dirección de la máxima radiación). El ancho de haz de la antena se llama ancho de haz de -3dB o ancho de haz de media potencia.

Ancho de Banda de la Antena

    El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es "satisfactoria". Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

**Polarización**

*Artículo principal:* [Polarización electromagnética](http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica)

Las antenas crean campos electromagnéticos radiados. Se define la [polarización electromagnética](http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica) en una determinada dirección, como 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, +45º, -45º). 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).

En el marco de antenas se define un **coeficiente de desacoplo por polarización**. Este mide la cantidad de potencia que es capaz de recibir una antena polarizada de una forma con una longitud efectiva \vec{l}_{ef}de un campo eléctrico incidente con una determinada polarización \vec{E}_{in}. De este modo, el coeficiente de desacoplo por polarización se define como:

C_p = \frac{|\vec{E}_{in} \cdot \vec{l}_{ef}|}{|\vec{E}_{in}| \cdot |\vec{l}_{ef}|}

De esta manera, obtenemos la fracción de potencia que finalmente la antena es capaz de recibir, multiplicando la potencia incidente en la antena por este coeficiente definido anteriormente, de la forma:

P_{rec}=P_{in}\cdot C_p

Se llama diagrama copolar al diagrama de radiación con la polarización deseada y diagrama contrapolar (*crosspolar*, en [inglés](http://es.wikipedia.org/wiki/Idioma_ingl%C3%A9s)) al diagrama de radiación con la polarización contraria.

**Relación Delante/Atrás**

Este parámetro se define como la relación existente entre la máxima potencia radiada en una dirección geométrica y la potencia radiada en la dirección opuesta a esta.

Cuando esta relación es reflejada en una gráfico con escala en dB, el ratio F/B (Front/Back) es la diferencia en dB entre el nivel de la máxima radiacción y el nivel de radiacción a 180 grados. Este parámetro es especialmente útil cuando la interferencia hacia atrás es crítica en la elección de la antena que vamos a utilizar.

Esta relación, además lo podemos ver desde otro punto de vista, indicando lo buena que es la antena en el rechazo de las señales provenientes de la parte trasera. Rara vez es verdaderamente importante, ya que la interferencias por la parte trasera no ocurren habitualmente, pero puede suceder.

La relación F / B no es un número muy útil, ya que a menudo varía enormemente de un canal a otro. Por supuesto, si se tiene el patrón de radiación, entonces no se necesita la relación F/B.

Comparando una antena yagui con una parabólica, podemos ver que para la antena yagui tenemos una relación F/B de aproximadamente 15 dB (según modelo y fabricante) mientras que para la parabólica la relación F/B es >35dB (según modelo y fabricante). De esta forma observamos como es "de buena" una antena respecto al rechazo de señales por la parte trasera. Cuanto mayor sea este paramentro en las antenas parabolicas mejor será.

Los 15 dB de la antena yagui lo podemos interpretar también como la atenuación que tendríamos en el sistema, en caso de captar una onda rebotada por ejemplo de un edificio, por la parte trasera de esta.

**Resistencia de radiación**

Cuando se le suministra potencia a una antena, parte de ella se irradia y otra parte, se convierte en calor disipándose.Cuando se habla de resistencia de radiación, se hace teniendo en cuenta que no se puede medir de forma directa.

Si se reemplaza la antena por la resistencia de radiación, esta, haría su trabajo, es decir, disiparía la misma cantidad de potencia que la irradiaría la antena.La resistencia de radiación es igual a la relación de la potencia radiada por la antena dividida por el cuadrado de la corriente en su punto de alimentación.

Rr=\frac{P}{i^2}

Siendo:

*Rr= Resistencia de radiación (Ohms)*

P = Potencia radiada por la antena (Watts)

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

Se podría obtener la eficiencia de una antena, dada que es la relación de la potencia radiada y la potencia disipada.

## Clasificación clásica de las antenas

## Una antena es un dispositivo formado por un conjunto de conductores que, unido a un generador, permite la emisión de ondas de radio frecuencia, o que, conectado a una impedancia, sirve para captar las ondas emitidas por una fuente lejana para este fin existen Existen tres tipos básicos de antenas: antenas de hilo, antenas de apertura y antenas planas. Asimismo, las agrupaciones de estas antenas (arrays) se suelen considerar en la literatura como otro tipo básico de antena.

**Antenas de hilo**

Las antenas de hilo son antenas cuyos elementos radiantes son conductores de hilo que tienen una sección despreciable respecto a la longitud de onda de trabajo.[[1]](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_note-0) . Las dimensiones suelen ser como máximo de una longitud de onda. Se utilizan extensamente en las bandas de [MF](http://es.wikipedia.org/wiki/MF), [HF](http://es.wikipedia.org/wiki/HF), [VHF](http://es.wikipedia.org/wiki/VHF) y [UHF](http://es.wikipedia.org/wiki/UHF). Se pueden encontrar agrupaciones de antenas de hilo. Ejemplos de antenas de hilo son:

* El [monopolo vertical](http://es.wikipedia.org/wiki/Monopolo_vertical)
* El [dipolo](http://es.wikipedia.org/wiki/Dipolo_(antena)) y su evolución, la [antena Yagi](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_Yagi)
* La [antena espira](http://es.wikipedia.org/wiki/Espira_(antena))
* La [antena helicoidal](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_helicoidal) es un tipo especial de antena que se usa principalmente en VHF y UHF. Un conductor describe una hélice, consiguiendo así una polarización circular.

Las antenas de hilo se analizan a partir de las corrientes eléctricas de los conductores.

**Antenas de apertura**

La antenas de apertura son aquellas que utilizan superficies o aperturas para direccionar el haz electromagnético de forma que concentran la emisión y recepción de su sistema radiante en una dirección. La más conocida y utilizada es la antena parabólica, tanto en enlaces de radio terrestres como de satélite. La ganancia de dichas antenas está relacionada con la superficie de la parábola, a mayor tamaño mayor colimación del haz tendremos y por lo tanto mayor directividad.

El elemento radiante es el alimentador, el cual puede iluminar de forma directa a la parábola o en forma indirecta mediante un subreflector. El alimentador está generalmente ubicado en el foco de la parábola. El alimentador, en sí mismo, también es una antena de apertura (se denominan antenas de bocina) que puede utilizarse sin reflector, cuando el objetivo es una cobertura más amplia (e.g. cuando se pretende cubrir la totalidad de la superficie de la tierra desde un satélite en órbita geoestacionaria).

Se puede calcular la directividad de este cierto tipo de antenas, D_0\,, con la siguiente expresión, donde S\,es el área y \lambda\,es la longitud de onda:

D_0={4 \pi} \frac {S} {\lambda^2} \,

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Parabolic_Antennas.jpg)

Reflectores parabólicos

Hay varios tipos de antenas de apertura, como la [antena de bocina](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_de_bocina), la [antena parabólica](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_parab%C3%B3lica), la antena parabólica del [Radar Doppler](http://es.wikipedia.org/wiki/Radar_Doppler) y superficies reflectoras en general.

Antena de reflector o parabólica: Antena provista de un reflector metálico, de forma parabólica, esférica o de bocina, que limita las radiaciones a un cierto espacio, concentrando la potencia de las ondas; se utiliza especialmente para la transmisión y recepción vía satélite.

**Antenas planas**

Un tipo particular de antena plana son las antenas de apertura sintética, típicas de los radares de apertura sintética (SAR).

**Antenas de Array**

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Antena_Array.jpg)

**Antena de Array**

Las antenas de array están formadas por un conjunto de dos o más antenas idénticas distribuidas y ordenadas de tal forma que en su conjunto se comportan como una única antena con un diagrama de radiación propio.

La característica principal de los arrays de antenas es que su diagrama de radiación es modificable, pudiendo adaptarlo a diferentes aplicaciones/necesidades. Esto se consigue controlando de manera individual la amplitud y fase de la señal que alimenta a cada uno de los elementos del array.

Atendiendo a la distribución de las antenas que componen un array podemos hacer la siguiente clasificación:

* **Arrays lineales**: Los elementos están dispuestos sobre una línea.
* **Arrays Planos**: Los elementos están dispuestos bidimensionalmente sobre un plano.
* **Arrays conformados**: Los elementos están dispuestos sobre una superficie curva.

A nivel de aplicación los arrays de antenas se utilizan para la construcción de antenas inteligentes.

Una definición básica de un sistema de antenas inteligentes es cualquier configuración adaptativa de múltiples antenas que mejoran el rendimiento de un sistema de comunicaciones inalámbricas.

Las características de las antenas inteligentes con unos haces de radiación con una mayor directividad (es decir, mayor ganancia y mayor selectividad angular), proporcionan múltiples ventajas:

* **Incremento de la zona de cobertura**: Dado que la ganancia es mayor que en el caso de antenas omnidireccionales o sectorizadas.
* **Reducción de la potencia de transmisión**: La mayor ganancia de la antena permite incrementar la sensibilidad.
* **Reducción del nivel de interferencia**: La mejor selectividad espacial de la antena permitirá al receptor discriminar las señales de usuarios interferentes a favor de la señal del usuario deseado. Incluso se pueden utilizar antenas inteligentes con configuración antena principal y secundarias donde las secundarias anulan las interferencias.
* **Reducción de la propagación multitrayecto**:Debido a la menor dispersión angular de la potencia radiada, se reduce el número de trayectorias que debe seguir la señal antes de llegar al receptor.
* **Mejora de la seguridad**: Gracias a que la transmisión es direccional, hay una probabilidad muy baja de que un equipo ajeno intercepte la comunicación.
* **Introducción de nuevos servicios**: Al poder identificar la posición de usuarios se puede aplicar a radiolocalización, tarificación geográfica, publicidad en servicios cercanos...

## Clasificación funcional

La clasificación tradicional de las antenas se basa, fundamentalmente, en la forma en que se distribuye el [campo electromagnético](http://es.wikipedia.org/wiki/Campo_electromagn%C3%A9tico) en la propia antena o en la tecnología utilizada. No obstante, también pueden hacerse clasificaciones desde un punto de vista práctico: una catalogación de las antenas desde el punto de vista de sus prestaciones y tecnología, casos de uso concretos y discusiones acerca de los parámetros de ingeniería que ayuden al entendimiento de su funcionamiento.

**Antenas con reflector**

El origen de la antena con reflector se remonta a 1888 en el laboratorio de Heinrich Hertz, que demostró experimentalmente la existencia de las ondas electromagnéticas que habían sido predichas por James Clerk Maxwell unos quince años antes. En sus experimentos, Hertz utilizó un reflector parabólico cilíndrico de zinc, excitado por una chispa en la parte central de un dipolo colocado en la línea focal y otro similar como receptor.

Su funcionamiento se basa en la reflexión de las [ondas electromagnéticas](http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_electromagn%C3%A9tica) 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 el caso de una antena receptora, en cambio si se trata de una antena emisora, las ondas que emanan del foco (dispositivo de emisión) se ven reflejadas y abandonan el reflector en forma paralela al eje de la antena.

Cuando se desea la máxima directividad de una antena, la forma del reflector generalmente es parabólica, con la fuente primaria localizada en el foco y dirigida hacia el reflector.

Las antenas con reflector parabólico, o simplemente antenas parabólicas se utilizan extensamente en sistemas de comunicaciones en las bandas de UHF a partir de unos 800 MHz y en las de SHF y EHF. Entre sus características principales se encuentran la sencillez de construcción y elevada direccionalidad. La forma más habitual del reflector es la de un paraboloide de revolución, excitado por un alimentador situado en el foco.

##### **Tipos básicos de antenas con reflector**

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Foco_Primario.JPG)

Antena Foco Primario

* Foco primario

La superficie de estas antenas es un [paraboloide](http://es.wikipedia.org/wiki/Paraboloide) [de revolución](http://es.wikipedia.org/wiki/Superficie_de_revoluci%C3%B3n). Las [ondas electromagnéticas](http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_electromagn%C3%A9tica) inciden paralelamente al eje principal, se reflejan y dirigen al [foco](http://es.wikipedia.org/wiki/Foco_(geometr%C3%ADa)).

El foco está centrado en el paraboloide.

Tienen un rendimiento máximo de aproximadamente el 60%, es decir, de toda la energía que llega a la superficie de la antena, el 60% lo hace al foco y se aprovecha, el resto se pierde debido principalmente a dos efectos, el efecto [spillover](http://es.wikipedia.org/wiki/Spillover_(antena)) y el efecto bloqueo.

Su relativa gran superficie implica un menor ángulo de anchura del haz (3 [dB](http://es.wikipedia.org/wiki/Decibelio)), por lo que la antena debe montarse con mayor precisión que una antena offset normal. La lluvia y la nieve pueden acumularse en el plato e interferir en la señal; Además como el LNB va montado centralmente, bloquea muchas señales con su propia sombra sobre la superficie de la antena.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Offset.JPG)

Antena Offset

* Offset

Una antena offset está formada por una sección de un reflector paraboloide de forma oval. La superficie de la antena ya no es redonda, sino oval y simétrica ([elipse](http://es.wikipedia.org/wiki/Elipse)). El punto focal no está montado en el centro del plato, sino a un lado del mismo (offset), de tal forma que el foco queda fuera de la superficie de la antena. Debido a esto, el rendimiento es algo mayor que en la de Foco Primario, pudiendo ser de un 70% o algo más.

* Cassegrain

Este tipo de antenas presentan una gran [directividad](http://es.wikipedia.org/wiki/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](http://es.wikipedia.org/wiki/Foco_(geometr%C3%ADa)) (y la imposibilidad de colocar equipos en él) por lo que una solución es emplear un segundo reflector o subreflector. En el caso del reflector parabólico Cassegrain el subreflector es [hiperbólico](http://es.wikipedia.org/wiki/Hip%C3%A9rbola).

El reflector principal refleja la radiación incidente hacia el foco primario. El reflector secundario posee un foco en común con el reflector parabólico.

El sistema de alimentación está situado en el foco secundario, de manera que el centro de fases del alimentador coincide con el foco secundario del hiperboloide.

El paraboloide convierte una [onda plana](http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_plana) incidente en una [esférica](http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_esf%C3%A9rica) dirigida hacia el foco primario, que es entonces reflejada por el subreflector para formar una onda esférica incidente en el alimentador.

###### Alimentadores para antenas con reflector (bocinas)

Las bocinas son utilizadas como alimentador en las antenas, es decir, se utilizan para iluminar el reflector formando lo que se conoce como antena parabólica. La bocina de alimentación se encuentra situada en el [foco](http://es.wikipedia.org/wiki/Foco_(geometr%C3%ADa)) del [paraboloide](http://es.wikipedia.org/wiki/Paraboloide).

Una única bocina puede utilizarse como una antena de cobertura global en satélites; además se pueden agrupar varias bocinas (alimentándolas con una amplitud y una fase diferentes), para conseguir un determinado diagrama de radiación y dar cobertura a un país o continente. La agrupación de bocinas sería el alimentador del reflector.

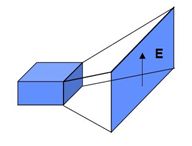
En una transmisión la bocina emite energía desde el foco hacia la superficie del reflector, consiguiendo radiar sobre el rango de cobertura deseado, mientras que en una recepción el reflector actúa como un acumulador de energía de la señal, que es concentrada hacia la bocina alimentadora.

Las bocinas pueden transmitir ó recibir dos ondas con [polarización](http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica) distinta, siempre que la polarización sea [ortogonal](http://es.wikipedia.org/wiki/Ortogonal). Esto se consigue con un dispositivo llamado acoplador ortomodo (OMT), que es un sistema de guía de ondas en forma de T, donde por la guía principal se propagan dos modos dominantes ortogonales y cada guía adosada soporta uno de los dos modos anteriores.

La polarización ha de ser ortogonal para que no se produzcan [interferencias](http://es.wikipedia.org/wiki/Interferencia).

De acuerdo con la forma de la apertura, las bocinas pueden ser de dos tipos: piramidal y cónica.

**Bocina piramidal**

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bocina_Piramidal.JPG)

Bocina Piramidal

Es un tipo de bocina rectangular. Se ensancha tanto en el plano E como en el H, lo que permite radiar haces estrechos en ambos planos. Este tipo de bocinas son adecuadas para sistemas de [polarización](http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica) lineal. Su ganancia puede calcularse exactamente a partir de sus dimensiones físicas por ello se suelen utilizar como patrones de comparación en las medidas de ganancia. El diseño de una bocina piramidal requiere que su garganta coincida con la guía rectangular de alimentación.

**Bocina cónica**

Se utilizan fundamentalmente en antenas de satélites de haz global. Son las más adecuadas para utilizar [polarizaciones](http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica) circulares, aunque también pueden utilizar polarización lineal.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bocina_C%C3%B3nica_Corrugada.JPG)

Bocina Cónica Corrugada (corrugaciones en la cara interna)

Según el modo de propagación transmitido se clasifican como: bocinas de modo dominante, bocinas de modo dual y bocinas corrugadas.

* Bocinas de modo dominante: se sintoniza al modo predominante de la guía de onda circular, el modo TE11.
* Bocinas multimodo: se sintoniza al modo de propagación TE11 de la onda que se propaga por la guía de onda, junto al modo TM11 que es el siguiente modo de propagación.
* Bocinas corrugadas (o híbridas): se ajustan a un modo híbrido (HE11), con lo que se consigue un ancho de haz amplio y simétrico gracias a lo cual el reflector se alimenta uniformemente. Además con este tipo de bocinas se consigue una polarización más pura.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:BocinaLenteDiel%C3%A9ctrica.JPG)

Bocina con lente dieléctrica

**Lentes dieléctricas**

Definición: Una lente dieléctrica es un objeto que nos sirve para conseguir que una onda esférica se transforme en una onda plana modificando amplitud y fase pudiendo de esta forma ganar directividad en la radiación aumentando la ganancia. De forma similar a las lentes ópticas, una lente dieléctrica está formada por dos materiales de constante dieléctrica diferente cuya forma geométrica describe una curva hiperbólica. De esta manera, podemos conseguir que una onda esférica se transforme en una onda plana consiguiendo así aumentar la ganancia. Para ello, es necesario que los caminos eléctricos recorridos sean los mismos para cualquier posible trazado de rayos. Una de las principales ventajas de la utilización de este tipo de dispositivos es poder modificar la distribución de amplitud, haciéndola más uniforme y aumentando la eficiencia de apertura del sistema. Una aplicación común de las lentes es su utilización a la salida de las antenas de bocina. Mediante este dispositivo, una fase distorsionada por este tipo de antena se puede corregir con una lente colocada a la salida de la antena

Gracias a la utilización de una lente dieléctrica en la boca del alimentador de una antena (bocina), se consigue disminuir el error de fase.

**Ingeniería con estas antenas**[**[2]**](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_note-1)

**Iluminación parabólica sobre pedestal**

Para distribuciones [parabólicas](http://es.wikipedia.org/wiki/Par%C3%A1bola_(matem%C3%A1tica)) sobre pedestal el modelo de campo de apertura es el siguiente:

**Eab(r) = C + (1 - C) [1 - (r / a) 2] n**

C \rightarrowIluminación sobre el borde de la parábola (dB)

n \rightarrowNivel del lóbulo secundario

a \rightarrowRadio de la apertura

*a* = *D* / 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Distribuciones parabólicas sobre pedestal: parámetros de campo radiado | | | | | | | | |
| Iluminación en el borde | | n=1 | | | n=2 | | |  |
| **C (dB)** | **C** | **HP (rad)** | **SLL (dB)** | **E** | **HP (rad)** | **SLL (dB)** | **E** |  |
| -8 | 0,398 | 1,12 λ /2a | -21,5 | 0,942 | 1,14 λ /2a | -24,7 | 0,918 |  |
| -10 | 0,316 | 1,14 λ /2a | -22,3 | 0,917 | 1,17 λ /2a | -27,0 | 0,877 |  |
| -12 | 0,251 | 1,16 λ /2a | -22,9 | 0,893 | 1,20 λ /2a | -29,5 | 0,834 |  |
| -14 | 0,200 | 1,17 λ /2a | -23,4 | 0,871 | 1,23 λ /2a | -31,7 | 0,792 |  |
| -16 | 0,158 | 1,19 λ /2a | -23,8 | 0,850 | 1,26 λ /2a | -33,5 | 0,754 |  |
| -18 | 0,126 | 1,20 λ /2a | -24,1 | 0,833 | 1,29 λ /2a | -34,5 | 0,719 |  |
| -20 | 0,100 | 1,21 λ /2a | -24,3 | 0,817 | 1,32 λ /2a | -34,7 | 0,690 |  |

HP \rightarrowAncho de Haz a -3dB

SLL \rightarrowNivel de lóbulo lateral

E \rightarrowEficiencia de iluminación

#### Ganancia en estas antenas

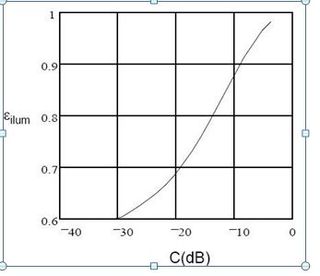
La ganancia se puede calcular como: **G = \Pi^2\frac{D^2}{\lambda^2}\epsilon_g**

D \rightarrowDiámetro reflector

\epsilon \rightarrowEficiencia global

La eficiencia total es debida a las siguientes eficiencias parciales:

* Rendimiento de radiación (típicamente el del alimentador).
* Eficiencia de iluminación (o de apertura).
* Eficiencia de spillover.
* Eficiencia por contrapolar.
* Eficiencia por error en la superficie.
* Eficiencia por bloqueo.
* Pérdidas por desplazamientos del alimentador.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Eficiencia_de_iluminacion.JPG)

Eficiencia de Iluminación aplicando el modelo de iluminación parabólica sobre pedestal (n=2)

**Eficiencia de Iluminación**:

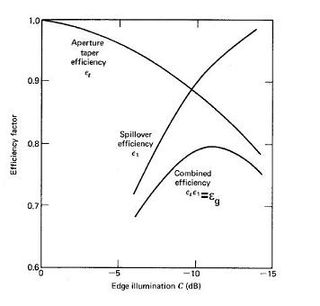
Son las pérdidas de ganancia relacionadas con la iluminación no uniforme de la apertura.

**Eficiencia de Spillover**:

Es la pérdida de ganancia debida a la radiación del alimentador fuera del ángulo que contiene el reflector.

A medida que la ilumnación del borde crece aumenta la eficiencia de iluminación pero disminuye la eficiencia de [spillover](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Spillover&action=edit&redlink=1).

El punto óptimo para la **eficiencia Combinada** (Iluminación y Spillover), se sitúa típicamente en torno a C=-10dB,-12dB.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Eficiencia_combinada.jpg)

Eficiencia combinada

**Eficiencia por Contrapolar**:

Es la medida de la pérdida de energía en la que el componente contrapolar radiada.

En los sitemas centrados que no introducen componente contrapolar, esta eficiencia mide las características del alimentador.

**Eficiencia por error en la superficie**:

Esta relacionada con las desviaciones del frente de fase en la apertura respecto a la [onda plana](http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_plana) ideal, debidas a las distorsiones de la superficie de los reflectores.

**Eficiencia por Bloqueo**:

Aparece a causa de la porción de apertura bloqueda por:

* Alimentador (ó Subreflector).
* Soportes del alimentador ó del subreflector.

**Pérdidas por desplazamientos**:

* Desplazamiento lateral:

El desplazamiento lateral del alimentador causa un apuntamiento del haz en sentido contrario al movimiento del alimentador.

Se produce una caída de la Ganancia y el Efecto de Coma (incremento asimétrico en el nivel de los lóbulos secundarios hasta juntarse uno de ellos con el lóbulo principal).

* Desplazamiento axial:

La variación en la posición del alimentador a lo largo del eje z produce un error de fase de orden cuadrático en el campo de apertura que rellena los nulos del diagrama de radiación y disminuye la ganancia.

**Ganancias típicas**

La ganancia de una antena reflectora de apertura circular se obtiene como:

**G = \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \prod_{i} Eficiencias_{i} **

La eficiencia total que se suele obtener es del orden de:

* Reflector simple centrado: 60%
* Sistema Cassegrain centrado: 65 al 70%
* Sistema Offset: 70 al 75%
* Sistema doble con superficies conformadas para máxima ganancia: 85 al 90%

**Uso de cada tipo de reflector**

Antes de definir usos de antenas con reflector se debe notar que los tipos se deberían enunciar haciendo referencia a que todas son antenas "parabólicas" puesto que así queda más claro que son tipos de parabólicas.

* Antena parabólica de foco primario

Usos: Televisión, radio y transmisión de datos Conexión VSAT:

* [Ejemplo](http://www.plantaterrena.tv/antenas.htm)

Usos: Recepción de satélite, pero tiene un bloqueo del alimentador que reduce la simetría rotacional y reduce los haces.

* [Ejemplo](http://www.slb.com/content/services/consulting/infrastructure/global/spacetrack4000.asp?)
* Antena parabólica Offset

Usos: Antenas de recepción de satélite

* [Ejemplo 1](http://www.ikusi.es/public/ctrl_public_prod.php?accion=verGama&id_familia=4&id_gama=%2726%27)
* [Ejemplo 2](http://www.ikusi.es/public/ctrl_public_prod.php?accion=verProducto&id_familia=4&id_gama=%2726%27&id_producto=194)
* Antena parabólica Cassegrain

Es similar a la de Foco Primario, sólo que tiene dos reflectores; el mayor apunta al lugar de recepción, y las ondas al chocar, se reflejan y van al Foco donde está el reflector menor; al chocar las ondas, van al Foco último, donde estará colocado el detector. Se suelen utilizar en antenas muy grandes, donde es difícil llegar al Foco para el mantenimiento de la antena. Aplicaciones de radar multifunción:

* [Ejemplo 1](http://www.patentstorm.us/patents/4612550/description.html)
* [Ejemplo 2](http://www.integratedsoft.com/News/RandDnews.aspx?Article=Cassegrain-Antenna)

Aplicaciones militares:

* [Ejemplo 3](http://www.drdo.org/pub/techfocus/apr2000/Cassegrain%20antenna.htm)
* Sistema de antena Multihaz (MBA system)

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Antena_multihaz_offset.jpg)

Antena Multihaz Offset

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Antena_Multihaz_Cassegrain.jpg)

Antena Multihaz Cassegrain

Las antenas multihaz o sistemas MBA se utilizan generalmente en sistemas de satélite.

Este tipo de antenas están formadas por arrays de elementos alimentadores y circuitos de control para variar la potencia variando o combinando funciones del BFN, de esta manera se consige generar una red o matriz de haces (BFN beam-forming network).

Cada elemento del array ilumina con una apertura óptica generando un haz, el ancho de haz de un rayo va determinado por el tamaño de la apertura óptica y la posición. La separación angular de los rayos está determinada por la separación entre los elementos.

Con esta configuración, los satélites pueden comunicarse a través de una sola antena con varias estaciones terrenas geográficamente dispersas.

Existen varios tipos de antenas multihaz, los más importantes y más usados son:

* **Offset** Este tipo de antena se obtine recortando de grandes antenas parabólicas de forma esférica, tienen el Foco desplazado hacia abajo, de tal forma que queda fuera de la superficie de la antena, por esta razón, el rendimiento es mayor que en la de foco primario llegando a ser de un 70% aproximadamente. El diagrama de directividad tiene forma de óvalo.
* **Cassegrain**. Estas antenas son similares a las de Foco Primario, la diferencia es que tienen dos reflectores; el mayor de ellos apunta al lugar de recepción y las ondas al chocar, se reflejan y van al Foco donde está el reflector menor; al chocar las ondas, van al Foco último, donde estará colocado el detector. Se suelen utilizar antenas muy grandes, donde es difícil llegar al Foco para el mantenimiento de la antena. Además utilizan un reflector que lleva el radiador primario en el foco del mismo. La dirección del haz se puede modificar cambiando la posición de los elementos radiadores alrededor del foco, se debe tener en cuenta el bloqueo que producen los radiadores dispuestos en torno a éste. Por este motivo es más útil el empleo de configuraciones Offset.

### Antenas planas

#### Tipos Básicos de Antenas Planas

##### Antenas de bucle magnético

Las antenas de bucle magnético consisten en un bucle de forma circular, octogonal o rectangular. El perímetro de la antena puede ser del orden de la longitud de onda, o bien bastante menor.

Estas antenas tienen una elevada direccionalidad, con el máximo de recepción en el plano de la antena, y el mínimo en el plano perpendicular al plano de la antena,

Son poco afectadas por la tierra a partir de alturas superiores a un metro y medio.

En contrapartida, estas antenas desarrollan tensiones de varios kilovolts en bornes, lo que significa que los materiales deben ser capaces de desarrollar esas tensiones. Las medidas de seguridad también se ven afectadas.

Finalmente, el ancho de banda es de unos pocos kilohertz, lo que significa que en caso de cambio de frecuencia require un nuevo ajuste de la impedancia.

##### Antenas Microstrip[**[3]**](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_note-2)

Definición: Las antenas Microstrip son un tipo de antenas planas. Son una extensión de la línea de trasmisión Microstrip Las antenas planas son monomodo. Son unas antenas resonantes impresas, para conexiones wireless en microonda de banda estrecha que requiere una cobertura semiesférica. Debido a su configuración planar y fácil integración, este tipo de antenas se suelen usar como elmentos de un array. La forma y dimensiones se calculan para que el parche disipe la potencia en forma de radiación Su estructura se basa en: - Parche metálico de dimensiones comparables a la longitud de onda - Sustrato dieléctrico sin pérdidas - Plano de masa

Inconvenientes: - Baja eficiencia - Baja potencia - Alto Q - Pobre pureza de polarización - Banda estrecha - Radiación espuria de las líneas

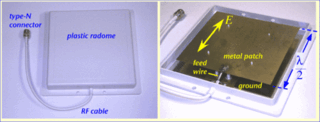
Ventajas: - Bajo perfil - Conformable a estructuras - Fabricación sencilla y barata - Robustas - Combinable con circuitos integrados de microondas - Versátiles en la elección de la frecuencia de resonancia o polarización

Existen varios tipos de antenas microstrip, la más común es la antena parche.Esta antena es de banda estrecha y esta fabricada cubriendo los elementos de la antena en un metal con sustrato dieléctrico formando una superficie plana. Las formas más comunes de los parches son cuadrados, rectangulares, circulares y elípticas pero es posible cualquier forma.

Estas antenas suelen estar montadas en aviones ,naves espaciales o incorporadas a radios de comunicaciones móviles. Las antenas microstrip son baratas de construir gracias a su simple estructura. Estas antenas también son utilizadas en UHF ya que el tamaño de la antenas es directamente proporcional al ancho de banda de la frecuncia de resonancia. Una sola antena microstrip puede tener una ganancia de 6-9dBi. Un array de estas antenas consigue mayores ganancias que una sola antena microstrip. La antena microstrip más utilizada es la de parche rectangular .Esta antena es aproximadamente la mitad de la sección de la longitud de onda de la línea de transmisión de una microstrip rectangular. Una ventaja de estas antenas es la diversidad de polarización, pueden ser fácilmente diseñadas para estar polarizadas en vertical, horizontal, circular derecha o circular izquierda.

Este tipo de antenas se diseñan a partir de líneas de transmisión o resonadores sobre sustrato [dieléctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Diel%C3%A9ctrico). Su estructura consiste en un parche metálico sobre un sustrato dieléctrico sin pérdidas. El grosor varía entre 0.003\lambda\, y 0.05\lambda\, y su constante dieléctrica puede tomar valores entre 2 y 12. En la parte inferior hay un plano conductor perfecto.

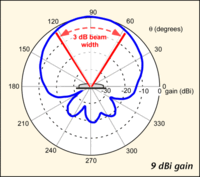
Las antenas parche son un tipo popular de antena cuyo nombre viene del hecho de que consisten básicamente en un parche de metal tapado por un soporte plano que normalmente es de plástico y lo protege de daños.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Patchantena.gif)

Antena parche

**Configuración**

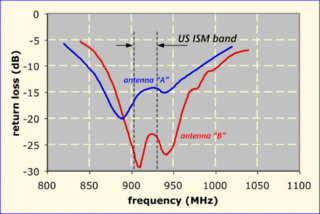
La antena parche más simple usa un parche con una longitud que es las mitad de la longitud de onda y un soporte más largo. El flujo de la corriente va en la dirección del cable de alimentación, así el vector de potencia y el campo magnético siguen la misma dirección que la corriente. Una antena simple de este tipo radia una onda polarizada linealmente.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Gananciaantena.gif)

**Ganancia**

En una antena microstrip con parche rectangular mientras la longitud del parche sea la misma que la del dipolo resonante podemos tener 2 dB de ganancia de la directividad de la línea vertical del parche. Si el parche es cuadrado pueden ser otros 2 o 3 dB. El soporte plano impide la radiación alrededor de la antena reduciendo la potencia media en todas las direcciones en un factor de 2.lo que hace que la ganancia aumente en 3 dB. Un patrón típico de diagrama de radiación de una antena polarizada linealmente de 900 Mhz es el dibujado en la siguiente gráfica. La gráfica muestra un corte en el plano horizontal, el plano vertical es muy similar.

En esta gráfica podemos ver que en un ángulo de 90º la radiación es máxima, mientras que si nos vamos alejando la radiación es menor y acaba cayendo 3 dB. También se puede ver que por detrás del parche hay una pequeña radiación.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Impedanciaantena.gif)

Comparación entre dos antenas: la antena "A" con un parche de 2×2 dm y la antena "B" con 3×3 dm. Puede observarse cómo varía el ancho de banda y la pérdida de retorno según va aumentando la frecuencia.

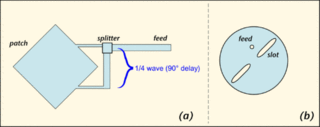
**Impedancia del ancho de banda**

La impedancia del ancho de banda de una antena está influenciado por el espacio que hay entre el parche y el soporte plano, cuanta menos distancia haya se radiara menos energía y más energía se quedara en la inductancia y capacitancia de la antena con lo que el factor Q aumenta. La ecuación para estimar el ancho de banda de estas antenas es:

 \frac{{\delta f}}{{f_{res} }} = \frac{{Z_0 }}{{2R_{rad} }}\frac{d}{W} 

Donde d es la altura del parche, W es el ancho, Z0 es la impedancia de espacio libre y Rrad es la resistencia de radiación de la antena. Una ecuación reducida podría ser:

 \frac{{\delta f}}{{f_{res} }} = 1.2\left( {\frac{d}{W}} \right) 

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Polarizacioncircular.gif)

Polarización circular

**Polarización circular**

También es posible fabricar antenas con ondas polarizadas circularmente. Mirando el dibujo se puede ver como se introduce un retardador de frecuencia que lo que hace es desfasar el vector en 90º y así se consigue que sea una radiación circular.

Algunas de las aplicaciones de estas antenas son para antenas de los sistemas de [teledetección](http://es.wikipedia.org/wiki/Teledetecci%C3%B3n), [sistemas de posicionamiento global](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global), antenas de móviles, aplicadores de calor de tratamientos de hipertermia, altímetros de aviones, aplicaciones militares y todos los sistemas a frecuencias de microondas.

Estas antenas se pueden alimentar de varias formas:

* A través de líneas impresas
* A través de ranuras
* Sondas coaxiales
* Acoplamiento de las cavidades

Se puede encontrar un modelo de simulación y la configuración de los distitntos parámetros de estas antenas en la siguiente página:[[1]](http://www.emtalk.com/tut_1.htm)

Una página donde se puede calcular una antena con los valores que desees es: [[2]](http://www.emtalk.com/mpacalc.php)

##### Antenas de apertura sintética (SAR)

Este tipo de antenas o radares ilumina una escena a través de una sucesión de pulsos en una frecuencia determinada. Una parte de la energía que se propaga (en todas direcciones) vuelve a la antena (eco).Un sensor mide la intensidad y el retardo de las señales emitidas y las que vuelven y con la interpretación de estos últimos se forman imágenes en función de la distancia al radar. Este radar es un sensor activo, ya que lleva su propia fuente de alimentación. Opera principalmente en la radiación microondas, lo que hace que sea más independiente de factores externos como lluvia, nubosidad o niebla. Esto permite la observación continua, incluso en horario nocturno.

Se trabaja en dominio [discreto](http://es.wikipedia.org/wiki/Discreto) al hacer muestreo de las señales. Las imágenes radar están compuestas por muchos puntos o elementos, denominados [píxeles](http://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADxel). Cada píxel representa un eco de vuelta detectado.

Un satélite que utiliza este tipo de antena o radar es el [European Remote Sensing Satellite](http://es.wikipedia.org/wiki/European_Remote_Sensing_Satellite) (ERS).

**Aplicaciones de las antenas planas**

##### Radio digital por satélite

Se trata de un servicio de radio con [procesamiento digital de sonido](http://es.wikipedia.org/wiki/Procesamiento_digital_de_sonido) que puede ser utilizado tanto en edificios como en un vehículo. Los abonados a este servicio podrán disponer de más de 100 canales con la posibilidad de escuchar la misma emisora de radio sin tener que mover el dial del receptor de la radio.

Este sistema sólo existe en [Estados Unidos](http://es.wikipedia.org/wiki/Estados_Unidos) y hay 2 equipos disponibles: Sony XM -Plug and Play- Radio y Pioneer XM Universal Receiver.

Las empresas que han lanzado este sistema son [XM](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=XM&action=edit&redlink=1) y [Worldspace](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Worldspace&action=edit&redlink=1).

**SAR**

En cuanto a los SAR algunas de sus aplicaciones son:

* *Generación de modelos digitales de terreno*. Se reconstruyen las altitudes de terreno a partir del desenrollado de fase de un [interferograma](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Interferograma&action=edit&redlink=1). Esto tiene importantes aplicaciones que incluyen la planificación de redes de telecomunicación móvil, explotación geológica y planificación urbana. También es útil para la construcción de modelos topográficos en áreas remotas donde no se dispone de datos.
* *Control del hielo en el mar*. La observación casi continua sin la influencia de las condiciones meteorológicas y la larga noche invernal proporciona datos para servicios de navegación en invierno. Con un estudio de este tipo se obtienen datos como localizaciones de masas de hielo, estimaciones del tipo de hielo y su concentración.
* *Clasificación de uso de tierra y monitorización de bosques*. Se puede estudiar la respuesta en amplitud o intensidad de la señal o eco de retorno para controlar distintos tipos de cultivos, talas incontroladas, es decir, los diferentes cultivos se pueden identificar según sus efectos sobre la variación de la coherencia o sobre la respuesta espectral.
* *Identificación de depósitos materiales*. Se pueden detectar los accidentes y estructuras que indican la presencia de depósitos minerales, bien sea para prospección con fines de explotación como de estudio.
* *Vigilancia de zonas costeras*. Se utilizan este tipo de radares para controlar los efectos del crecimiento incontrolado en las zonas costeras. Algunos de estos efectos pueden ser acumulación de contaminantes, erosión, agotamiento rápido de recursos...
* *Inundaciones*. Se pueden emplear estas técnicas para tener modelos hidrológicos y de cauces que sirvan como previsión.
* *Control de glaciares*. Es posible medir con estos radares sus dimensiones así como controlar sus variaciones a lo largo del tiempo

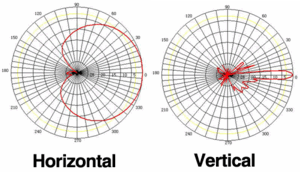
**Antenas sectoriales**

Son la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Es una solución tecnológica ideal para la planificación de redes móviles celulares.

Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional. La intensidad (alcance) de la antena sectorial es mayor que la omnidireccional pero algo menor que la direccional.

Para tener una cobertura de 360º (como una antena omnidireccional) y un largo alcance (como una antena direccional) deberemos instalar o tres antenas sectoriales de 120º ó 4 antenas sectoriales de 80º. Las antenas sectoriales suelen ser más costosas que las antenas direccionales u omnidireccionales.

A continuación podemos ver el diagrama patrón de una antena sectorial:

[Diagrama patrón antena sectorial](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama_patron_antena_sectorial.jpg) [](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama_sectorial.gif)

Combinando varias antenas en un mismo mástil, podemos lograr cubrir un territorio amplio, mitigando el efecto del ruido y ampliando el ancho de banda:

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Gsm_antenne.JPG)

###### **Ejemplo cálculo antenas sectoriales**

Para simular un simple ejemplo de cálculo de antenas sectoriales utilizamos el siguiente applet: [Applet cálculo antenas sectoriales](http://www.analyzemath.com/antenna_tutorials/antenna_arrays.html)

Calcularemos los diagramas para la siguiente antena real:

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Antena_sectorial_desmontada.jpg)

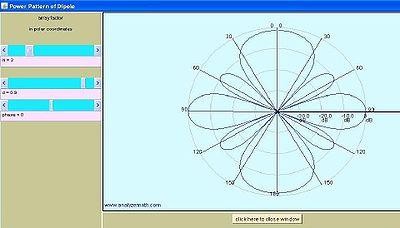
Estudiando la fotografía vemos que el número de elementos es 3, por lo que N=3

Por otro lado, para el funcionamiento del Applet necesitamos conocer la distancia d. Esta distancia, es la distancia en mm entre los dos centros de dos antenas contiguas. Esta distancia es por lo tanto una lambda (longitud de onda). Si nos fijamos en nuestro caso d = 0,92\*lambda.

Para conocer su fase Beta = K \* d , siendo d conocida y K=2\*Pi / lambda.

De esta maner vemos que Beta es igual a Beta = 2\*Pi\*distancia, siendo en nuestro caso Beta=2\*Pi\*0,92 radianes. En grados Beta= 2\*Pi\*0,92\*Pi / 180 = 0,1º, es decir prácticamente cero.

Para estos parámetros obtenemos el siguiente patrón:

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ejemplo_calculo_antena_sectorial.JPG)

#### Ingeniería con antenas planas

##### **Efecto del Dieléctrico**

La carga dieléctrica de una antena microstrip afecta tanto a la radiación como a su impedancia de ancho de banda.A medida que incrementa la constante dieléctrica del sustrato, el ancho de banda disminuye lo que hace que disminuya también el factor Q y por lo tanto también disminuye la impedancia de ancho de banda.Esto no aparece inmediatamente cuando se utiliza el modelo lineal de transmisión pero si cuando utilizamos el modelo de cavidad.La radiación de una antena microstrip rectangular se puede entender como un par de ranuras equivalentes.Estas ranuras pueden actuar como un array y tener su directividad más alta cuando la antena tiene como dieléctrico el aire y disminuye cuando la antena es cargada con material con incremento relativo de la constante dieléctrica del conductor.

### Antenas de dipolos

*Artículo principal:* [Dipolo (antena)](http://es.wikipedia.org/wiki/Dipolo_(antena))

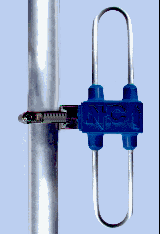
Un **dipolo** es una antena con alimentación central empleada para [transmitir](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiotransmisor) o [recibir](http://es.wikipedia.org/wiki/Receptor_de_radio) ondas de [radiofrecuencia](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia). Estas antenas son las más simples desde el punto de vista teórico.

#### Tipos básicos de antenas de dipolo

##### **Dipolo corto**

Un dipolo corto (o también llamado dipolo elemental) es un dipolo con una longitud mucho menor que la longitud de onda con polarización lineal (horizontal o vertical

A 1 [MHz](http://es.wikipedia.org/wiki/MHz) de frecuencia la longitud de onda es de 300 m. Por tanto, la mayoría de las antenas se comportan como dipolo corto a frecuencias menores de 1 Mhz.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Dipolocorto.gif)

Antena de dipolo corto

##### **Dipolo de media onda**

Es un dipolo muy similar al dipolo corto pero en este caso la longitud es igual a la mitad de la [longitud de onda](http://es.wikipedia.org/wiki/Longitud_de_onda).

##### **Dipolo doblado**

Un dipolo doblado consiste en dos dipolos paralelos cortocircuitados en su extremo. Uno de los dipolos es alimentado en el centro por un generador.

El ancho de banda del dipolo doblado es superior a la del dipolo simple, debido a que las reactancias se compensan y también tiene una mayor impedancia.

##### **Antena Yagi**

Una [antena Yagi](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_Yagi) consiste en una antena de dipolo a la cual se le añaden unos elementos llamados "parásitos" para hacerlo direccional. Estos elementos pueden ser directores o reflectores.

Los elementos directores se colocan delante de la antena y refuerzan la señal en el sentido de emisión.

Los elementos reflectores se colocan detrás y bloquean la captación de señales en la dirección opuesta al emisor.

##### **Log periódica**

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Schwarzbeck_UHALP_9108_A.jpg)

Antena logoperiódica.

Una antena de tipo log periódica es una antena cuyos parámetros de impedancia o de radiación son una función periódica del logaritmo de la frecuencia de operación. El diseño de estas antenas se realiza a partir de unas ciertas dimensiones como las dimensiones de un dipolo o la separación que se van multiplicando por una constante. Una de los diseños más conocidos es la agrupación logoperiódica de dipolos.

##### **Array**

Una antena array es un conjunto de elementos radiantes individuales alimentados desde un mismo terminal mediante redes lineales. Normalmente suelen ser elementos iguales y con la misma orientación. Se pueden encontrar muchos tipos de arrays diferentes dependiendo de su clasificación. Las agrupaciones se pueden clasificar por ejemplo según:

1. Su geometría
2. La red
3. Su aplicación
4. Su Funcionalidad

#### Ingeniería con estas antenas

##### **Log Periódica**

Una antena de tipo logarítmica periódica es una antena cuyos parámetros de impedancia o de radiación son una función periódica del logaritmo de la frecuencia de operación. Con una construcción similar a la de la antena Yagui, solo que las diferencias de longitudes entre los elementos y sus separaciones siguen una variación logarítmica en vez de lineal.

La ventaja de la antena logarítmica sobre la Yagui es que aquélla no tiene un elemento excitado, sino que recibe alimentación en todos sus elementos. Con esto se consigue un ancho de banda mayor y una impedancia pareja dentro de todas las frecuencias de trabajo de esta antena.

Funcionamiento: La receptora de la señal o su región activa cambia continuamente dependiendo de la frecuencia, donde en la frecuencia más baja de operación, el elemento largo es el resonante y el resto de elementos actúan como directores. En la frecuencia más alta, el elemento más corto resuena y los otros elementos (más largos) actúan como reflectores en el centro de la banda de frecuencia.

Antena banda ancha: con dipolos resonando en diferentes frecuencias estrechas, en una misma antena, conseguimos abrir el ancho de banda de la antena. Antena multibanda: con dipolos resonando en diferentes bandas, podemos obetener una antena capaz de ser multibanda.

Estas antenas pueden proveer hasta 10 dB más de ganancia que una antena de 1/4 de onda, a la vez que pueden atenuar hasta 30 dB fuentes de interferencia provenientes de otras direcciones. La longitud del elemento horizontal y el número de elementos transversales determinan el ancho de banda y la direccionalidad de la antena.

Se utilizan principalmente para transmitir señales de TV, FM y para comunicaciones militares.

Fuente <http://www.upv.es/antenas/>

##### **Yagi**

A continuación se muestran tres tipos de antenas, cuya comparación ilustra lo común de estas antenas, y también sus diferencias. Este tipo de ejercicio es el que los ingenieros deben realizar para elegir la antena más adecuada en cada caso. [[4]](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_note-3)

**Antena Yagi 1044**

Este tipo de antena tiene un ancho de banda del 57 % (canales 21-69) y una ganancia de 16,5 dBi. A la hora de seleccionar una antena un ingeniero debe tener en cuenta otros conceptos como la descripción de la antena que se hace a continuación. Estas antenas se caracterizan por el diseño en X de sus elementos directores, los cuales la hacen más corta que una antena Yagi convencional. Esta construcción consigue una elevada inmunidad contra las señales generadas por la actividad humana, tales como motores o electrodomésticos; y una perfecta adaptación de impedancias.

**Antena Yagi 1443**

Esta antena tiene un ancho de banda y una ganancia muy similar al ejemplo anterior. Está compuesta por un *array* angular de dos conjuntos de elementos directores dispuestos en V. De la misma manera que la antena descrita anteriormente, esta también tiene una reducidas dimensiones.

**Antena Yagi 1065**

Este tipo de antena, al tener muchos menos directores y tener un único reflector, tiene una ganancia mucho menor que las antenas anteriores. En este caso la ganancia es de 9,5 dBi. De esta manera se puede apreciar cuál es la función de los reflectores y directores en las antenas de dipolo y cómo estos modifican la ganancia de las mismas.

##### **Dipolo doblado**

A la hora de estudiar este tipo de dipolos, la corriente que los alimenta se suele descomponer en dos modos; par (o modo antena), e impar (o modo línea de transmisión).

El análisis en modo par es el que se realiza cuando se tiene en cuenta que en ambos brazos hay la misma alimentación y en el mismo sentido. El análisis en modo impar, sin embargo, es el que se hace teniendo en cuenta un sentido contrario de la corriente en cada brazo (dos generadores con signos opuestos). Las corrientes totales serán por tanto la suma de las corrientes halladas en cada modo.

**Análisis del modo impar**

El modo impar equivale a dos líneas de transmisión en cortocircuito, alimentadas en serie. La impedancia de una línea de transmisión de longitud H, terminada en cortocircuito es

*zt* = *jz*0*tankH*

La corriente del modo impar del dipolo doblado es

I_{Impar}=\frac{V}{2jZ_{0}tankH}

**Análisis del modo par**

A partir de la siguiente fórmula se halla la corriente del modo par:

I_{Par}=\frac{V}{4z_{d}}

Siendo *zd* la impedancia de un dipolo aislado, ya que la impedancia mutua de dos dipolos cercanos tiende a la impedancia de un dipolo aislado.

Una vez halladas las corrientes tanto en modo par como impar, se sumarán para hallar la corriente total. La fórmula resultante será la siguiente:

I_{Total}=\frac{V}{4z_{d}}+\frac{V}{2jZ_{0}tankH}

El ancho de banda del dipolo doblado es superior a la del dipolo simple, debido a que las reactancias se compensan. También hay que tener en cuenta que la relación entre las corrientes del dipolo doblado y del dipolo aislado es 2*Idd* = *Id* , y que la potencia a la entrada de los dos dipolos es idéntica, se deduce que

*zdd* = 4*zd*

En conclusión, un dipolo doblado equivale a un dipolo simple con corriente de valor doble, e impedancia 4 veces. El diagrama de radiación, sin embargo, será igual al del dipolo simple.

##### **Arrays**

El parámetro fundamental en el diseño de un array de antenas es el denominado **factor de array**.

El factor de array es el diagrama de radiación de una agrupación de elementos isotrópicos.

Cuando los diagramas de radiación de cada elemento del array son iguales y los elementos están orientados en la misma dirección del espacio, el diagrama de radiación de la agrupación se puede obtener como el producto del factor de array por el diagrama de radiación del elemento.

Para analizar el comportamiento de una antena array se suele dividir el análisis en dos partes: red de distribución de la señal y conjunto de elementos radiantes individuales. La red de distribución viene definida por su matriz de impedancias (Z), admitancias (Y) o parámetros de dispersión (S). Para analizar el Array, se excita un solo elemento y los demás de dejan en circuito abierto. También hay muchos casos en los que se debe tener en cuenta lo que influyen los demás elementos en la radiación del elemento alimentado (esto se denomina "acoplamiento"). El diagrama de radiación es el producto del diagrama del elemento y del factor de array. Gracias al factor de array (valor escalar) se puede analizar la geometría y la ley de excitación sobre la radiación.

La fórmula para hallar el campo total radiado será la siguiente:

\vec{E}_{grupo}=\vec{E}_{elemento} F

Factor de array:

F(\theta,\phi)=\sum A_{i}e^{jkr\vec{r_{1}}}

Resto de parámetros:

r\vec{r_{1}}=x_{i} sen(\theta)cos(\phi)+ y_{i}sen(\theta)sen(\phi)+z_{i}cos(\theta)

k=\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{w}{v}

#### Arrays de Dipolos para Redes GSM/UMTS

##### Acoplamiento entre Elementos Radiantes

Normalmente una antena se sitúa en una pared o sobre una estructura y muchas veces rodeada de elementos conductores. Las estaciones base de las antenas modernas GSM, incluso suelen estar compuestas de múltiples antenas por sector, donde es posible que dos antenas estén tan cerca que pueden interferir en su radiación. Los operadores GSM deben tener esto en cuenta ya que la ganancia de la antena puede variar. Esta distorsión puede utilizarse a nuestro favor si es necesario, simplemente añadiendo algún director o reflector en el área cercana para conseguir más dBs en la dirección deseada.[[5]](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_note-4)

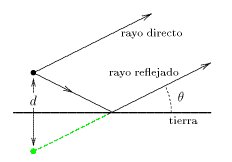
## Aspectos Generales Relacionados con la Física de las Antenas

### Influencia de la Tierra

La conductividad del terreno es un factor determinante en la influencia de la tierra sobre la propagación de las [ondas electromagnéticas](http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_electromagn%C3%A9tica). La conductividad de la superficie de la tierra depende de la frecuencia de las ondas electromagnéticas que inciden sobre ella y del material por la que esté compuesta, comportándose como un buen [conductor](http://es.wikipedia.org/wiki/Conductor_el%C3%A9ctrico) a bajas frecuencias y reduciendo su conductividad a frecuencias mayores.

El coeficiente de reflexión del suelo es un parámetro relacionado con la conductividad e informa acerca de como se reflejan las ondas en él. Su valor depende del ángulo de incidencia y del material que conforma el suelo: tierra húmeda, tierra seca, lagos, mares, zona urbana, etc.

Para un determinado coeficiente de reflexión, la energía reflejada por el suelo aumenta a medida que aumenta el ángulo de incidencia respecto de la normal, siendo la mayor parte de la energía reflejada cuando la incidencia es rasante, y teniendo los campos eléctrico y magnético de la onda reflejada casi la misma amplitud que los de la onda incidente.

En el caso de las antenas, tratándose habitualmente de emisión o recepción a grandes distancias, casi siempre existe una incidencia rasante.[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:A6-1.jpg)

El rayo reflejado por la tierra puede modelarse, desde el punto de vista de la antena receptora, como el rayo transmitido por una antena imagen de la antena transmisora, situada bajo el suelo. El rayo reflejado recorre más distancia que el rayo directo.

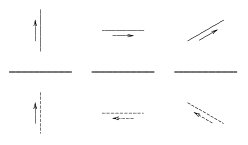
La apariencia de la antena imagen es una [imagen especular](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_especular) de la apariencia de la antena transmisora real. En algunos casos se puede considerar que la onda transmitida desde la antena real y la onda transmitida desde la antena imagen tienen aproximadamente la misma amplitud, en otros casos, por ejemplo cuando el suelo tiene irregularidades de dimensiones similares o mayores que la longitud de onda, la reflexión del rayo incidente no será neta.

La distancia recorrida por el rayo reflejado por la tierra desde la antena transmisora hasta la antena receptora es mayor que la distancia recorrida por el rayo directo. Esa diferencia de distancia recorrida introduce un desfase entre las dos ondas.

*Véase también:* [*Redes de antenas*](http://es.wikipedia.org/wiki/Redes_de_antenas)

La figura de la derecha representa un ángulo de incidencia respecto de la horizontal \scriptstyle{\theta}muy grande cuando, en la realidad, el ángulo suele ser muy pequeño. La distancia entre la antena y su imagen es \scriptstyle{d}.

La reflexión de las ondas electromagnéticas depende de la [polarización](http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica). Cuando la polarización es horizontal, la reflexión produce un desfase de \scriptstyle{\pi}radianes, mientras que cuando la polarización es vertical, la reflexión no produce desfase.

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:A6-2.jpg)

La componente vertical de la corriente se refleja sin cambiar de signo, en cambio, la componente horizontal cambia de signo.

En el caso de una antena que emite con [polarización](http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica) vertical (campo eléctrico vertical) el cálculo del campo eléctrico resultante es el mismo que en [radiación de un par de antenas](http://es.wikipedia.org/wiki/Redes_de_antenas). El resultado es:

\textstyle{\left|E_\perp\right|=2\left|E_{\theta_1}\right| \left|\cos\left({kd\over2}\sin\theta\right) \right|}

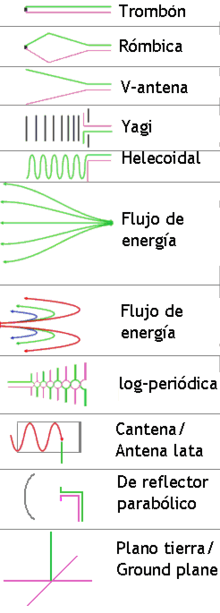
La inversión de signo para el campo paralelo solo cambia un coseno en un seno:

\textstyle{\left|E_=\right|=2\left|E_{\theta_1}\right| 
\left|\sin\left({kd\over2}\sin\theta\right) \right|}

En estas dos fórmulas:

* \scriptstyle{E_{\theta_1}}es el campo eléctrico de la onda electromagnética radiado por la antena si no hubiese la tierra.
* \scriptstyle{k={2\pi\over\lambda}}es el [número de onda](http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_onda).
* \scriptstyle{\lambda}es la [longitud de onda](http://es.wikipedia.org/wiki/Longitud_de_onda).
* \scriptstyle{d}es la altura de la antena.

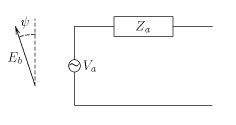
### Antenas en recepción

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tipos_de_antenas_esp.gif)

Los diferentes tipos de antenas y su irradiación.

El campo eléctrico de una onda electromagnética induce una tensión en cada pequeño segmento del conductor de una antena. La corriente que circula en la antena tiene que atravesar la impedancia de la antena.

Utilizando el [teorema de reciprocidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_reciprocidad) se puede demostrar que el [circuito equivalente](http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_equivalente) de [Thévenin](http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_Th%C3%A9venin) de una antena en recepción es el siguiente:

[](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Equiv-receiv-antenna.jpg)

V_a={\sqrt{R_aG_a}\,\lambda\cos\psi\over\pi\sqrt{120}}E_b

* \scriptstyle{V_a}es la tensión del circuito equivalente de Thevenin.
* \scriptstyle{Z_a}es la impedancia del circuito equivalente de Thevenin y es igual a la impedancia de la antena.
* \scriptstyle{R_a}es la resistencia en serie de la impedancia \scriptstyle{Z_a}\,de la antena.
* \scriptstyle{G_a}es la ganancia de la antena (la misma que en emisión) en la dirección de donde vienen las ondas electromagnéticas.
* \scriptstyle{\lambda}es la longitud de onda.
* \scriptstyle{E_B}es el campo eléctrico de la onda electromagnética incidente.
* \scriptstyle{\psi}es el ángulo que mide el desalineado del campo eléctrico con la antena. Por ejemplo, en el caso de una antena formada por un dipolo, la tensión inducida es máxima cuando el dipolo y el campo eléctrico incidente están alineados. Si no lo están, y que forman un ángulo \scriptstyle{\psi}la tensión inducida estará multiplicada por \scriptstyle{\cos\psi}.

El circuito equivalente y la fórmula de la derecha son válidos para todo tipo de antena: que sea un dipolo simple, una antena parabólica, una antena Yagi-Uda o una red de antenas.

He aquí tres definiciones:

\begin{matrix}
{ Longitud\ eficaz\  de\  la\  antena}&=&\textstyle{{\sqrt{R_aG_a}\lambda\cos\psi\over\pi\sqrt{120}}} \\
 & & \\
{ Potencia\  disponible\  m\acute{a}xima}&=&\textstyle{{G_a\lambda^2\over 480\pi^2}E_b^2} \\
 & & \\
{ Superficie\  eficaz\  o\  secci\acute{o}n\  eficaz}&=&\textstyle{{G_a\over4\pi}\lambda^2}\\
\end{matrix}

El corolario de estas definiciones es que la potencia máxima que una antena puede extraer de una onda electromagnética depende exclusivamente de la ganancia de la antena y del cuadrado de la [longitud de onda](http://es.wikipedia.org/wiki/Longitud_de_onda) (*λ*).

La intensidad de radiación es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido.

## Referencias

* Antenas. A. Cardama, L. Jofre, J.M. Rius, J. Romeu, S. Blanch, M. Ferrando. Edicions UPC [ISBN 84-8301-625-7](http://es.wikipedia.org/wiki/Especial:FuentesDeLibros/8483016257)
* Antenna Theory: Analysis and Design (John Wiley & Sons, 2005) by Constantine A. Balanis
* [Introducción a la teoría de antenas](http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Tema_1.PDF)
* [Radiocomunicaciones](http://www.marcombo.com/Radiocomunicaciones_isbn9788426714497.html), Curso con cientos de preguntas y ejercicios prácticos de autoevaluación para el diseño práctico de radioenlaces, Francisco Ramos Pascual, 2007.
* lectrical Engineers' Handbook, Pender & McIlwain.  
  -Enciclopedia de la Electronica, [Ingeniería](http://www.monografias.com/trabajos14/historiaingenieria/historiaingenieria.shtml) y [Tecnica](http://www.monografias.com/trabajos6/juti/juti.shtml), C. Belove.  
  -Propagación y Antenas Salmeron  
  -[Sistemas](http://www.monografias.com/trabajos11/teosis/teosis.shtml) de Comunicaciones Electrónicas Wayne Tomasi  
  -RCUA Antenas
* Webs De Interés  
  Eiffel Antenas  
  [http](http://www.monografias.com/trabajos11/wind/wind2.shtml)://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hall/3334/enlants.htm  
  http://www.laantena.com  
  http://www.geocities.com/wireless4data/  
  http://www.sonicolor.com/catalogo/antenas/antenas.html  
  http://www.geocities.com/eaqrpclub\_es/es/bibli\_es/antenas.html  
  http://www.ieee.org

[↑](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_ref-0) *"Salvan: Cradle of Wireless, How Marconi Conducted Early Wireless Experiments in the Swiss Alps", Fred Gardiol & Yves Fournier, Microwave Journal, February 2006, pp. 124-136.*

[↑](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_ref-1) Universidad Politécnica de Madrid: Reflectores

[↑](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_ref-2) Wikipedia en inglés: artículo "Microstrip Antenna"

[↑](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_ref-3) Televés

[↑](http://es.wikipedia.org/wiki/Antena#cite_ref-4) Applied Electromagnetics and Communications, 2003. ICECom 2003. 17th International Conference

<http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

<http://wndw.net/pdf/wndw-es/chapter4-es.pdf>