

# **ANTENAS**

(Apuntes del libro "Antenna analysis" de Edward A. Wolff. Ed. Wiley & Sons (1967).)

Traducción por A. G. Sherar - Agosto de 2008.

## **INDICE**

### **1.- Consideraciones generales**

#### **Ecuaciones básicas**

#### **Aplicaciones**

Comunicaciones

Radar

Radioastronomía

Navegación

Instrumentación

#### **Parámetros de las antenas**

Patrones de antena

Impedancia

Ganancia

Polarización

Temperatura de ruido

Manejo de potencia

Características mecánicas

Efectos ambientales

### **2.- Antena puntual**

## 1.- Consideraciones generales

### Ecuaciones básicas

Una antena es un dispositivo empleado para emitir o recibir ondas de radio. La teoría en que se basa su funcionamiento tiene sus raíces en los primeros experimentos sobre electricidad.

En 1820, Hans Christian Oersted descubrió que una corriente eléctrica producía una fuerza magnética. En 1831, Michael Faraday concibió el campo magnético y su representación mediante líneas de fuerza. En 1873, James Clerk Maxwell publicó "Electricity and Magnetism", con sus ecuaciones que describen el campo electromagnético. Estas ecuaciones se suelen escribir (ver \*):

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{i} + \epsilon d\mathbf{E}/dt$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\mu d\mathbf{H}/dt$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

$$\text{div } \mathbf{D} = \rho$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$$

donde:

$\mathbf{H}$  es la intensidad de campo magnético,  $\mathbf{E}$  es la intensidad de campo eléctrico,  $\mathbf{B}$  es la densidad de flujo magnético,  $\mathbf{D}$  es la densidad de flujo eléctrico,  $\mathbf{i}$  es la corriente de conducción eléctrica o corriente convectiva,  $\rho$  es la densidad volumétrica de carga,  $\mu$  es la permeabilidad y  $\epsilon$  la permitividad.

Para un conductor con conductividad  $\sigma$  la corriente  $\mathbf{i}$  es:

$$\mathbf{i} = \sigma \mathbf{E}.$$

Para una densidad de carga  $\rho$  que se mueve con velocidad  $\mathbf{v}$ , la corriente  $\mathbf{i}$  es:

$$\mathbf{i} = \rho \mathbf{v}.$$

Maxwell descubrió que las ondas electromagnéticas (EM) podían deducirse de sus ecuaciones. Encontró que estas ondas se propagaban a la velocidad de la luz, y así dedujo que la luz era también radiación EM. La ecuación de onda deducida de las ec. de Maxwell, para un medio libre de cargas y corrientes ( $\rho=0$ ,  $\mathbf{i}=0$ ) es:

$$\text{div}^2 \mathbf{E} = \mu \epsilon d^2 \mathbf{E}/d t^2 \quad \text{y} \quad \text{div}^2 \mathbf{H} = \mu \epsilon d^2 \mathbf{H}/d t^2$$

donde la velocidad de la luz es:  $c = 1 / (\mu \epsilon)^{1/2}$

\* La operación  $d( )/dt$  indica derivada parcial.

Las primeras antenas fueron construidas en 1885 por H. R. Hertz, y fueron utilizadas para demostrar la existencia de las ondas EM. En 1896 Guglielmo Marconi construyó una gran antena para enviar señales telegráficas a lo largo de una gran distancia. Así, las antenas se usan para comunicaciones desde fines del siglo XIX.

Los campos eléctricos y magnéticos variables se producen mediante cargas y corrientes que varían en el tiempo. Si estos campos están confinados por condiciones de contorno, como en el caso de guías de onda, la radiación es mínima o nula. Sin embargo, cuando los campos no están confinados, como en el caso de una antena, se puede producir la radiación EM.

Desde cierto punto de vista, cuando las dimensiones de una antena son grandes comparadas con la longitud de onda, se dan condiciones en las que el retraso de tiempo a lo largo de la antena es significativo, y existen regiones donde los campos E y B están en fase, resultando un flujo neto de energía emitida. La antena se convierte así en un transductor en el cual las ondas propagadas a lo largo de una línea de transmisión se transforman en ondas radiadas hacia el espacio, y viceversa, para el caso de transmisores y receptores respectivamente.

El problema del análisis de una antena es determinar las características de radiación de la antena. A diferentes tipos de antenas corresponden diferentes distribuciones de cargas y corrientes, así como diferentes geometrías. Si bien el modelo físico es usualmente el mismo, para cada caso conviene emplear diferentes técnicas matemáticas de análisis.

## **Aplicaciones**

Para comprender los distintos parámetros de las antenas es necesario conocer en qué sistemas se emplean antenas. Las antenas fueron usadas por primera vez en sistemas de comunicación. Desde los días de Hertz y de Marconi se han encontrado muchas aplicaciones a las antenas. Entre las principales se pueden nombrar: Comunicaciones, Radar, Radioastronomía, Navegación, Instrumentación. Las antenas son las máximas responsables de la "performance" o rendimiento de estos sistemas.

### **Comunicaciones**

El rendimiento de una antena en un sistema de comunicaciones puede entenderse a partir de la ecuación de propagación en una dirección. Si un transmisor irradia una cantidad de potencia  $W_t$  igualmente en todas direcciones, la densidad de potencia a una distancia R del transmisor es:

$$P = W_t / (4\pi R^2)$$

Una antena receptora con un área efectiva  $A_r$  recibe una cantidad de potencia:

$$W_r = P A_r = W_t A_r / (4\pi R^2)$$

si no hay pérdidas de potencia entre el emisor y el receptor. Para tener en cuenta las pérdidas en el medio y por polarización se introducen los coeficientes  $C_m$  y  $C_p$ , y la fórmula queda:

$$W_r = C_m C_p W_t A_r / (4\pi R^2)$$

Las antenas no irradian su potencia igualmente en todas direcciones. La proporción de potencia por unidad de área emitida hasta una distancia fija, y en una dada dirección, dividida por la densidad de potencia total irradiada se denomina ganancia de la antena. Si la ganancia del transmisor en la dirección del receptor es  $G_t$  entonces la potencia recibida es:

$$W_r = G_t C_m C_p W_t A_r / (4\pi R^2)$$

La ganancia de la antena y el área efectiva están relacionadas mediante:

$$A_e = \lambda^2 G / 4\pi$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación. Combinando las dos últimas ecuaciones se obtiene:

$$W_r = W_t G_t G_r \lambda^2 C_m C_p / (4\pi R)^2$$

habiéndose utilizado la ganancia  $G_r$  y el área efectiva  $A_r$ , ambas de la antena receptora, y donde  $\lambda$  y  $R$  deben expresarse en las mismas unidades de medida. Esta es la fórmula básica de la radio transmisión en una dirección.

La sensibilidad del sistema de comunicaciones está limitado por la presencia de ruido. La potencia de ruido disponible en el receptor está dada por:

$$W_n = k T B$$

donde  $k$  es la constante de Boltzmann ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  Joule/ K),  $T$  la temperatura equivalente de ruido en grados Kelvin, y  $B$  es el ancho de banda del receptor expresado en Hz. La temperatura equivalente de ruido incluye todo tipo de fuentes de ruido EM, pero como el ruido EM producido por el hombre generalmente puede mantenerse bajo control, las principales fuentes de ruido son las generadas térmicamente en el receptor y en el sensor, la temperatura de la antena y el ruido de origen cósmico.

La relación señal/ruido  $S_n$  en la salida del receptor puede expresarse mediante las relaciones anteriores:

$$S / N = S_n = W_t G_t G_r \lambda^2 C_m C_p / k T B (4\pi R)^2$$

Esta expresión muestra que varios parámetros de la antena afectan el rendimiento de un sistema y algunos parámetros del sistema deben tenerse en cuenta al diseñar la antena. Es necesario entonces considerar la ganancia y polarización de las antenas emisora y receptora, el ancho de banda de operación y la temperatura de la antena. También se debe considerar la impedancia característica de la antena, la que determina las pérdidas debidas a reflexiones entre la antena y su línea de transmisión, que no han sido consideradas en la última fórmula. La temperatura de la antena depende también de sus patrones ("patterns"). El diseño de la antena debe tener en cuenta la potencia emitida y la

frecuencia de operación, así como los aspectos relacionados con el coeficiente de pérdidas en el medio,  $C_m$ . Las pérdidas por propagación depende de muchos aspectos como la ubicación de la antena con respecto al suelo, las propiedades del suelo, y la frecuencia de operación. Otros factores adicionales deben ser considerados para las situaciones en que la propagación ocurre más allá de la línea de visual del emisor y el receptor.

Muchos sistemas de comunicaciones tienen otros requerimientos poco usuales. Por ejemplo para sistemas de comunicación diseñados para comunicarse con naves espaciales a distancias grandes, es deseable tener antenas de ganancia elevada, lo que requiere un ancho del haz muy angosto (alta direccionalidad). Esto significa, sin embargo, que la antena debe ser orientada con precisión para seguir a la nave espacial. El sistema resultante a menudo pone mayor exigencia sobre el dispositivo mecánico de seguimiento que en el diseño de RF.

De la expresión anterior también se suele despejar  $R_t$ , el alcance máximo limitado por ruido térmico, para una dada relación señal/ruido:

$$R_t = \{ W_t G_t G_r \lambda^2 C_m C_p / [k T B S_n (4\pi)^2] \}^{1/2}$$

## **Radar**

El rol de la antena de radar puede entenderse considerando la ecuación de radar. Si el blanco de radar tiene un área efectiva  $s$ , la potencia incidente sobre él está dada por:

$$W_i = W_t G_t s / (4\pi R_t^2)$$

que es similar a la ecuación de  $W_r$ , siendo  $R_t$  la distancia transmisor-blanco. Si el blanco de radar dispersa esta energía interceptada en todas direcciones por igual, la densidad de potencia sobre el receptor a una distancia  $R_r$  desde el blanco será:

$$P = W_i / (4\pi R_r^2) = W_t G_t s / (4\pi R_r R_t^2)$$

y la potencia recibida por la antena receptora es:

$$W_r = P A_r = W_t G_t G_r \lambda^2 s C_m C_p / [(4\pi)^3 (R_r R_t)^2]$$

donde se han introducido nuevamente las constantes  $C_m$  y  $C_p$  para considerar las pérdidas en el medio y por despolarización. A menudo transmisor y receptor están ubicados a igual distancia respecto del blanco, con lo que  $R_t = R_r$ . Con esto despejaremos  $R$  de la última ecuación, lo que da el rango del radar:

$$R = \{ W_t G_t G_r \lambda^2 C_m C_p / [k T B S_n (4\pi)^3] \}^{1/4}$$

Los parámetros que intervienen son los mismos que en la expresión correspondiente al sistema de comunicaciones. Sin embargo, existen para el radar algunas complicaciones adicionales relacionadas con el mecanismo de seguimiento del blanco. Otros requerimientos tienen que ver con la capacidad de discernir blancos muy cercanos entre sí, y con la eliminación de interferencias no deseadas

Los "patrones" de las antenas a menudo juegan un importante rol en la resolución de estos problemas.

## **Radioastronomía**

Los sistemas de radioastronomía generalmente operan como receptores de señales extraterrestres. Como tales pueden clasificarse como sistemas de comunicación y puede emplearse las expresiones antes vistas. Sin embargo en sistemas de radioastronomía es deseable ubicar con precisión la posición exacta de fuentes a distancias muy remotas. Esto requiere usar una antena receptora con un haz muy estrecho y dimensiones físicas muy grandes. Debido a que las señales recibidas son extremadamente débiles es necesario emplear sistemas con muy baja temperatura de ruido. Debido a que las dimensiones de la antena son normalmente grandes puede resultar un problema seguir el posicionamiento de la fuente con la precisión necesaria.

## **Navegación**

Los sistemas de navegación también pueden ser asignados a la categoría de sistemas de comunicación. Los sistemas de navegación generalmente consisten en un conjunto de emisores que irradian señales conocidas y un receptor cuya posición es determinada por procesamiento de la señal dentro del receptor. El problema en este caso es determinar la dirección del receptor respecto de varios emisores. Estos requerimientos afectan el patrón de forma de la antena y la posibilidad de disponerla para que gire alrededor de un eje vertical.

## **Instrumentación**

Estos son sistemas diseñados para medir ciertos parámetros físicos con el uso de radiación EM. La antena es entonces un transductor entre el equipo de medición y el medio de propagación. Las características de la antena dependerán de la naturaleza especial de la medición que se intenta. Algunos ejemplos son los sistemas usados para investigar propiedades del aire, del agua, de la tierra y de los plasmas.

## **Parámetros de las antenas**

Los parámetros que se emplean para describir las características y rendimiento de las antenas, se pueden clasificar en distintos grupos. Estos son: patrones de antena ("patterns"), ganancia, impedancia, parámetros eléctricos misceláneos y parámetros mecánicos. El rendimiento de una antena puede verse afectado significativamente por su entorno.

## **Patrones de antena o "patterns"**

El patrón de una antena es una representación gráfica tridimensional de la radiación de la antena como función de la dirección. En la práctica el patrón 3D de una antena se mide y se registra como una serie de patrones 2D. El rendimiento de una antena se describe a menudo en términos de sus patrones en los planos principales. Así se definen los patrones en los planos E y H, siendo estos definidos por el radio vector en la dirección de mayor intensidad de radiación, y el vector E o H respectivamente.

El patrón de radiación puede especificarse en términos de tensión o potencia, y provee información del ancho del haz de la antena, de sus lóbulos laterales, de su resolución, y hasta cierto punto también determina la temperatura de la antena.

El **patrón de potencia** de la antena es una medida de la densidad de potencia que fluye a través de una esfera de gran radio. Esta densidad de potencia puede definirse como el promedio del vector de Poynting:

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

Para el caso estacionario periódico este valor es:

$$\langle \mathbf{P} \rangle = 1/2 \operatorname{Re}(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*)$$

donde el asterisco indica conjugación compleja.

Un patrón de potencia absoluta es aquél en que la intensidad se indica explícitamente en Watt/cm<sup>2</sup>. En la práctica los patrones de potencia se expresan a menudo en valores relativos al valor máximo del haz principal. Esta representación se denomina patrón de potencia normalizada. En la práctica normal un patrón de potencia se obtiene empleando una segunda antena, en un sistema de comunicación de una vía. En ese caso el patrón de potencia depende de la polarización de la segunda antena.

El **ancho del haz** de una antena es el ancho o apertura angular de su patrón de radiación entre puntos en que el nivel de potencia cae a la mitad de su valor máximo. Este ancho del haz se llama también ancho del haz a media potencia. Otros anchos de interés son las aperturas hasta puntos de -10 db y a -20 db, que corresponden a puntos donde la potencia cae a 1/10 y a 1/100 del valor máximo.

Los patrones de antena se clasifican a menudo según su forma. Entre las formas más comunes se pueden mencionar:

"isotrópica": igual potencia en todas direcciones, irrealizable en la práctica,

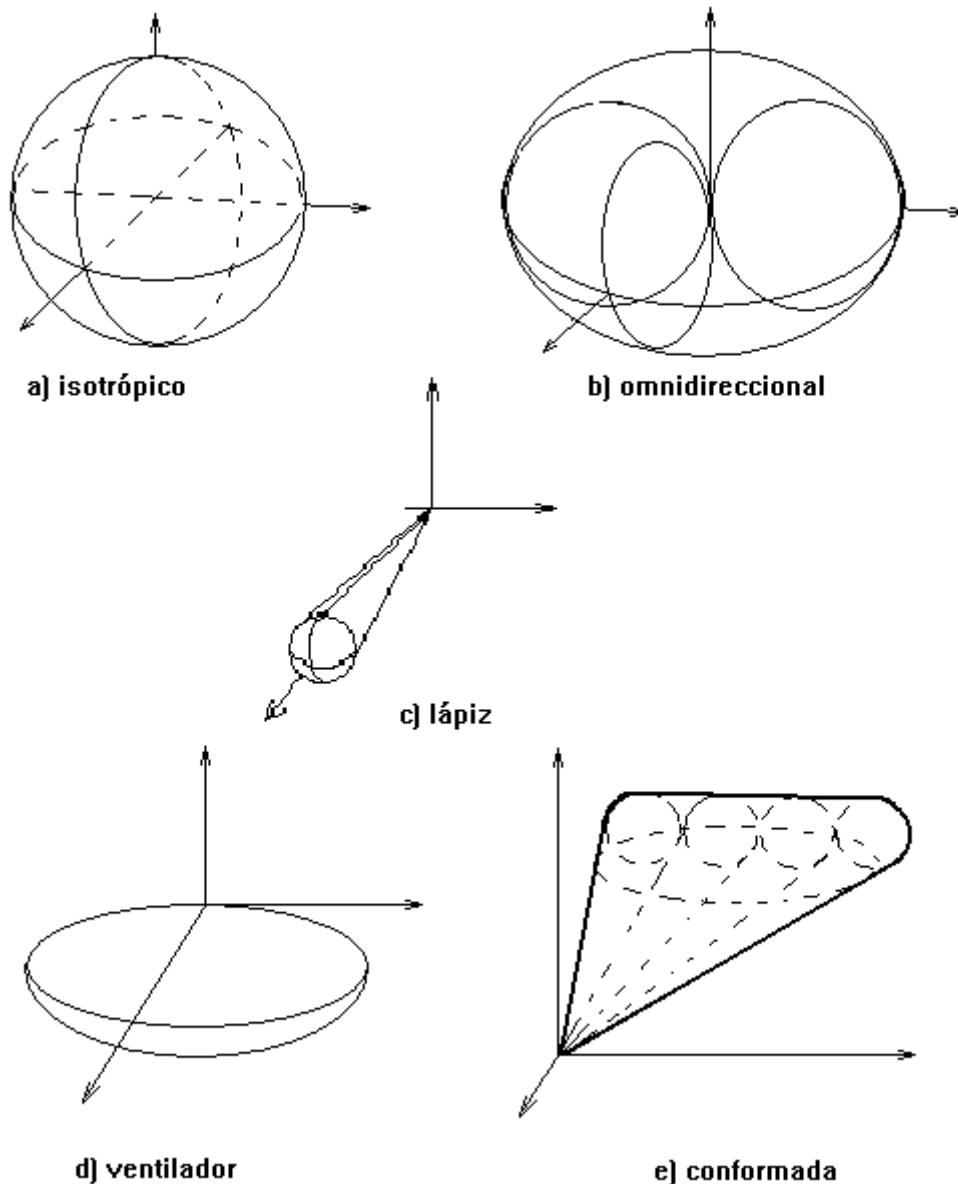
"omnidireccional": igual potencia para todo ángulo sobre un mismo plano, generalmente horizontal, utilizado en comunicaciones,

con forma de lápiz: un haz angosto de sección transversal circular,

con forma de ventilador: similar a la forma de lápiz pero con sección transversal angosta en una dirección y ancha en la dirección transversal.

Una clase especial de ventilador es al caso del patrón conformado. En este patrón la variación de potencia del haz irradiado con el ángulo, en un plano y subra gran parte del haz, sigue una fórmula prescrita. Un patrón común es el de forma de "cosecante cuadrado" que proporciona igual señal recibida como función del ángulo, en sistemas de radar.

Estas formas de patrones se muestran en la figura 1.1.



**Fig. 1.1.- Formas típicas de patrones de antena.**

El **ancho del haz** de una antena determina la resolución angular de la antena, o la mínima separación angular entre dos fuentes que pueden distinguirse por una antena receptora.

Los patrones de radiación de la mayoría de las antenas de uso práctico contienen un lóbulo principal ("mainlobe") y varios lóbulos auxiliares, denominados lóbulos laterales ("sidelobes"). Un lóbulo ubicado en la dirección opuesta al lóbulo principal se denomina lóbulo trasero ("backlobe").

El nivel de lóbulos laterales de una antena se define como la relación (en decibeles) de la amplitud de pico del lóbulo principal respecto de la amplitud de pico del lóbulo lateral en cuestión.

### **Impedancia**

Este parámetro determina la eficiencia con la cual la antena actúa como transductor entre el medio de propagación y la línea de transmisión que la conecta al equipo con que está operando. En la práctica se considera la auto-impedancia de



la antena además de la impedancia mutua con otros elementos, por ejemplo el plano de tierra y otros objetos cercanos a la antena. Si la antena no está adaptada en impedancia con la línea de transmisión deben colocarse adaptadores de impedancia, los que también afectarán su eficiencia.

La antena es una red de dos terminales como se ilustra en la figura 1-2a que se conecta al resto del circuito mediante una línea de transmisión. La impedancia de la antena de dos terminales se denota mediante  $Z_A$  y la impedancia de terminación de la línea de transmisión del sistema como  $Z_T$ . La tensión inducida en la antena receptora por la onda EM incidente se puede escribir como  $V_R$ . La señal transmitida por el sistema puede ser representada por la señal  $V_T$ . En general la impedancia de una antena y la de la terminación serán complejas, como se ilustra en la fig.1-2c. La impedancia de la antena consiste en la resistencia de radiación  $R_r$ , la resistencia de pérdidas  $R_L$  y la reactancia  $X_A$ . La impedancia de la terminación de línea también tendrá una componente resistiva  $R_T$  y una reactancia  $X_T$ .

La corriente en la antena es:

$$I = (V_R - V_T) / Z_t$$

donde

$$Z_t = Z_A + Z_T$$

La condición para la máxima transferencia de potencia queda:

$$R_r + R_L + j X_A = R_T - j X_T$$

y potencia entregada por la antena a un receptor resulta:

$$W_R = I^2 R_T = V_R^2 R_T / |Z_t|^2$$

La potencia re-radiada o dispersada por la antena receptora se expresa:

$$W_S = I^2 R_r = V_R^2 R_r / |Z_t|^2$$

La potencia disipada en las pérdidas óhmicas de la antena es:

$$W_L = I^2 R_L = V_R^2 R_L / |Z_t|^2$$

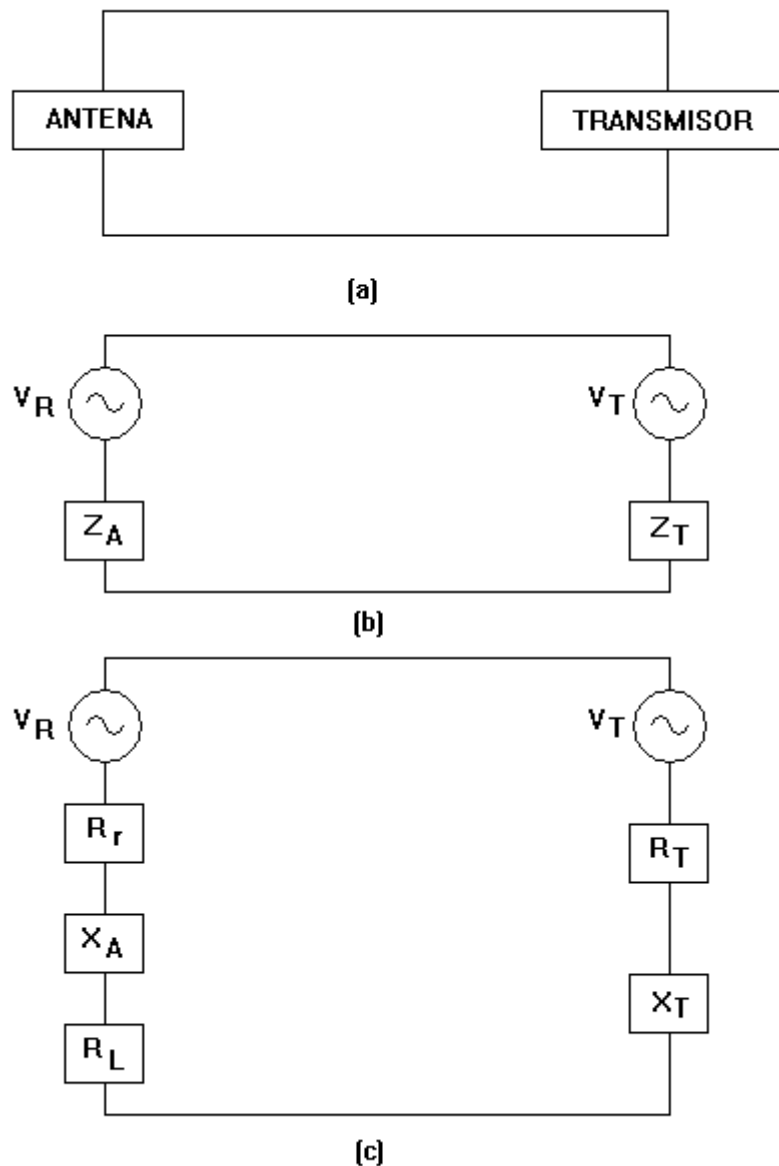
Para el caso de una antena transmisora la potencia emitida será:

$$W_T = I^2 R_r = V_T^2 R_r / |Z_t|^2$$

y la potencia disipada en las pérdidas óhmicas:

$$W_L = I^2 R_L = V_T^2 R_L / |Z_t|^2$$

Fórmulas similares pueden escribirse para las admitancias ( $1/Z$ ) de la antena.



**Fig. 1.2.- La antena como elemento de un circuito transmisor. (a) circuito esquemático, (b) circuito equivalente simple, (c) circuito equivalente mostrando los componentes de la impedancia.**

Todos los componentes tanto reactivos como resistivos de la impedancia de una antena son funciones de la frecuencia. La dependencia de la línea de transmisión en cambio, no tiene en general una dependencia tan crítica. Hay por lo tanto una banda de frecuencia restringida dentro de la cual la antena estará bien adaptada a la línea de transmisión. En la práctica el **ancho de banda de la antena** se define como el rango en el que se cumple la relación de impedancias:

$$1/2 < Z_A / Z_T < 2$$

El parámetro que se emplea para establecer el **ancho de banda de la antena** es la relación de tensiones a la entrada y a la salida de la línea de transmisión, denominada por su sigla en inglés VSWR (voltage standing wave ratio) que debe

cumplir la misma relación.

$$1/2 < V_T / V_R < 2$$

La impedancia de una antena depende de muchos factores incluida su geometría, su método de manufactura y su proximidad a los objetos que la rodean. Esto hace que el cálculo de la impedancia de una antena sea una tarea muy difícil, por lo que sólo se dispone de expresiones para algunos tipos sencillos de antenas. Aún para estos casos las influencias externas son tan importantes que en general es deseable la verificación experimental.

## **Ganancia**

La ganancia de una antena es una medida importante de su rendimiento en un sistema. Se define como la relación entre la máxima intensidad en el valor de pico del haz principal respecto de la intensidad que irradiaría una antena isotrópica en la misma dirección y con la misma potencia de entrada. La función ganancia mide la variación de la potencia radiada con el ángulo, y se define como:

$$G(\theta, \phi) = P(\theta, \phi) / (W_T / 4\pi)$$

donde  $P(\theta, \phi)$  es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido, y  $W_T$  es la potencia radiada total. De aquí se puede ver que una antena de ganancia elevada debe tener un haz principal con una amplitud elevada, un ancho de haz angosto y lóbulos laterales de amplitud relativamente baja. La direccionalidad  $D$ , de una antena, se define como:

$$D = P_{\text{máxima}} / P_{\text{promedio}}$$

Para una antena 100% eficiente la direccionalidad es equivalente a la ganancia. En el caso más general, la relación entre ambas es:

$$G = \eta D$$

donde  $\eta$  es la eficiencia de la antena. En la práctica es común alcanzar eficiencias entre 50 % y 75 %.

Tanto  $D$  como  $G$  pueden estimarse a partir de el ancho del haz de la antena. Si las dimensiones del haz principal son los ángulos  $\Theta$  y  $\Phi$  medidos en la dirección de los ángulos  $\theta$  y  $\phi$  respectivamente, una fuente de potencia unidad tendrá una potencia media de  $1/4\pi$  y una potencia máxima de  $1/(\Theta \Phi)$ , con lo que la direccionalidad queda:

$$D = 4\pi / (\Theta \Phi) ,$$

y la ganancia puede calcularse sabiendo el valor de la eficiencia:

$$G = 4\pi \eta / (\Theta \Phi).$$

Hay una relación constante entre la ganancia  $G$  y el área efectiva  $A_e$  de una antena dada por:

$$G / A_e,$$

y puede demostrarse rigurosamente que esta cantidad es la misma para todas las antenas.

El área efectiva de una antena se define como la relación entre la potencia recibida y la densidad de potencia de la onda incidente. Esta área es un máximo cuando la potencia recibida es máxima o cuando las impedancias están adaptadas como se indicó en la fórmula de máxima transferencia de potencia. El área efectiva máxima de una antena sin pérdidas es entonces:

$$A_e = W_{Rmax} / P = V_R^2 / 4 R_R P$$

El área efectiva es realmente la relación entre la potencia disipada en la impedancias de la terminación adaptada de una antena receptora sobre la densidad de potencia de la onda incidente.

Es conveniente utilizar a menudo el concepto de altura efectiva. Si una antena tiene una altura efectiva  $h$ , la tensión inducida  $V_R$  debido a un campo incidente de valor  $E$  es:

$$V_R = E h$$

Si el medio de propagación tiene una impedancia característica  $Z_0$  la densidad de potencia incidente es:

$$P = E^2 / Z_0$$

Por lo tanto combinando las ecuaciones anteriores se tiene:

$$A_e = h^2 Z_0 / 4 R_R$$

El área de dispersión (scattering) de una antena puede definirse como el cociente entre la potencia dispersada por la antena y la densidad de potencia incidente. Para una antena adaptada y sin pérdidas:

$$A_s = V_R^2 / 4 R_R P$$

que es igual al área efectiva máxima. La tasa de dispersión  $\beta$  es el cociente entre el área de dispersión sobre el área efectiva. Esto es:

$$\beta = A_s / A_e = (W_s / P) / (W_R / P) = R_r / R_T$$

La eficiencia  $\eta$  de la antena se puede definir entonces como:

$$\eta = (W_R / P) / (W_{Rmax} / P)$$

o:

$$\eta = 4 R_r R_T / (R_r + R_L + R_T)^2$$

Para una antena adaptada esto queda:

$$\eta = R_r / (R_r + R_L)$$

que en ausencia de pérdidas ( $R_L=0$ ) vale  $\eta = 1$ .

La mayoría de las antenas se construyen con líneas de transmisión y otros elementos que son recíprocos. Estas antenas obedecen el **teorema de reciprocidad**, que establece que **los patrones de transmisión y de recepción de una antena son idénticos**.

Puede demostrarse que dadas dos antenas, la corriente recibida en la antena receptora, debido a una tensión aplicada en la antena transmisora, es la misma independientemente de cuál antena sea empleada como emisora y cuál como receptora, respectivamente. Lo mismo vale para sus patrones.

### **Polarización**

La polarización de una antena se define como el locus (lugar geométrico) descrito por el extremo del vector campo eléctrico **E**, a medida que la radiación avanza en la dirección del haz principal. En la práctica la polarización de la energía radiada varía con la dirección desde el centro de la antena, por lo tanto diferentes partes del patrón y diferentes lóbulos laterales pueden tener polarizaciones diferentes.

La polarización puede ser lineal, en cualquier ángulo, o elíptica con cualquier excentricidad y cualquier sentido de rotación. La polarización depende de la magnitud y fase relativas de las componentes ortogonales del campo **E**.

Para una polarización elíptica el campo **E** rota a una frecuencia igual a la de la onda EM, y el locus del extremo del vector **E** describe una elipse. La polarización elíptica puede ser a izquierda o a derecha, según la rotación de **E** sea contraria, o a favor del giro de las manecillas del reloj, cuando se mira desde el transmisor hacia la onda que avanza.

Si las dos componentes del campo tienen igual amplitud y un desfase de  $90^\circ$ , se tiene polarización circular.

### **Temperatura de ruido**

La temperatura de ruido de una antena es una medida de la potencia de ruido que una antena receptora entrega al receptor en el terminal de la antena. La mayor parte de esta potencia de ruido proviene de fuentes de ruido iluminadas por el patrón de la antena. Esto incluye ruido galáctico proveniente del espacio exterior, ruido originado en cuerpos celestes ubicados dentro del haz de la antena y ruido de fuentes terrestres generados dentro del haz de la antena. Como todas estas fuentes de ruido están relativamente fijas con respecto a las coordenadas de tierra en todo momento, la temperatura de ruido de una antena depende de la posición de esta y del tamaño y ubicación de los lóbulos laterales.

La temperatura de ruido  $T_n$  de una antena está dada por:

$$T_n = P_n / k B ,$$

donde  $P_n$  es la potencia de ruido disponible, entregada en el terminal de la antena. Si  $T(\theta, \phi)$  es la temperatura de ruido para cada valor de los ángulos  $\theta$  y  $\phi$ , para calcular la temperatura de ruido de la antena  $T_a$ , debe integrarse la expresión diferencial:

$$[ T(\theta, \phi) G(\theta, \phi) \sin(\theta) d\theta d\phi / 4\pi ],$$

sobre todo el ángulo sólido.

Se denomina **coeficiente de ruido**  $F$  a la cantidad:

$$F = 1 + T_a / T_0,$$

donde  $T_0$  es la temperatura de referencia, de 290 Kelvin ( $\sim 17^\circ$  Celsius).

Cuando se requiere operar en condiciones de bajo ruido se debe mantener los lóbulos traseros y laterales en un mínimo de amplitud, a fin de iluminar muy pocas fuentes de ruido terrestres. También es deseable mantener bajas las pérdidas de potencia en la línea de transmisión a fin de reducir la temperatura de ruido de la antena.

### **Manejo de potencia**

Cuando se emplean junto con transmisores de alta potencia, las características de manejo de potencia de una antena deben tenerse en cuenta. Por ejemplo, el espaciado entre los conductores se debe elegir a fin de evitar arcos eléctricos. Se deben evitar también los bordes filosos y las discontinuidades. Si la antena opera en un entorno de baja presión puede ser deseable presurizar las áreas críticas con aire u otros gases. También es deseable evitar las des-adaptaciones de impedancia ya que estas generan ondas estacionarias y puntos de alta tensión innecesarios.

### **Características mecánicas**

Ciertos requerimientos mecánicos deben tenerse en cuenta en el momento del diseño eléctrico de una antena. Para antenas de gran tamaño con base en tierra, los márgenes de tolerancia a cumplir durante el posicionamiento en direcciones preestablecidas, a menudo condicionan aspectos del diseño eléctrico. Para antenas ubicadas a bordo de aeronaves y naves espaciales, pueden surgir condicionamientos al diseño eléctrico surgidos de los aspectos relacionados con la integración de la antena al vehículo. El diseñador debe tener en cuenta también los problemas relacionados con la fabricación y con las características de los materiales y estructuras disponibles para su uso en la antena. También deben tenerse en cuenta aspectos como el tamaño, el peso y las restricciones de tolerancia impuestas a la antena.

### **Efectos ambientales**

El diseñador de la antena debe considerar cuidadosamente el entorno en el que la antena deberá operar. Antenas dentro de la atmósfera terrestre deben adecuarse a factores como el viento, la lluvia, la nieve, el hielo, spray de sales, y el efecto causado por objetos circundantes sobre el patrón y la impedancia de la antena. Otros factores a tener en cuenta son la temperatura de operación, los esfuerzos

mecánicos, los golpes y las vibraciones. El uso de domos debe considerarse como forma de protección contra el entorno a fin de obtener un funcionamiento apropiado con el menor costo.

## INDICE

### **2.- Antena puntual**

Aunque es irrealizable en la práctica proporciona una referencia isótropa conveniente para comparar resultados con otros tipos de antenas. En la práctica, cualquier antena vista desde una gran distancia parece tener dimensiones infinitesimales y puede considerarse como una antena puntual. Sin embargo algunos de los parámetros definidos en general no tendrán sentido para esta antena en particular.

Para calcular la potencia emitida partiremos de la condición de isotropía y por lo tanto el vector de Poynting resulta constante en todas direcciones.

$$\mathbf{P}(\theta, \phi) = \text{const.}$$

La potencia total  $W_T$  que atraviesa una esfera de radio  $r$  es la integral sobre  $4\pi$  de la expresión:

$$\mathbf{P} d\mathbf{s} = P_r dA$$

donde  $P_r$  es la componente radial de  $\mathbf{P}$  y:

$$dA = r^2 \sin(\theta) d\theta d\phi$$

Esto da finalmente:

$$W_T = 4\pi r^2 P_r$$

y la densidad de potencia (en Watt/m<sup>2</sup>) queda:

$$P_r = W_T / (4\pi r^2).$$

Como para una antena isótropa la potencia máxima es igual a la potencia promedio, la direccionalidad resulta:

$$D = 1,$$

y como esta antena no tiene pérdidas la ganancia es también:

$$G = 1.$$

El área efectiva de esta antena es:

$$A_e = \lambda^2 / (4\pi).$$

Debido a que esta antena no tiene dimensiones no se pueden calcular cantidades

como la corriente, la resistencia de radiación, y el área de dispersión.

*La antena puntual isótropa irradia una onda esférica. En la práctica, cuando una antena es vista a gran distancia sus dimensiones parecen pequeñas y su radiación parece tomar la forma de una onda esférica. Por lo tanto la mayoría de las antenas se consideran fuentes puntuales cuando se analizan sus efectos de campo lejano.*

## **INDICE**

---

*Traducción por A. G. Sherar - Agosto de 2008.*