

Antenas básicas

J. Alpuente

*La UIT-R considera que, atendiendo principalmente a las bandas de frecuencia, han de utilizarse como antenas de referencia las denominadas **antenas básicas**, definidas como aquellas que se consideran como referencia en los cálculos a realizar en la propagación de ondas de cualquier sistema radioeléctrico.*

Las antenas básicas utilizadas normalmente son la antena isótropa, el dipolo en $\lambda/2$ y la antena vertical corta. El estudio y caracterización del campo radiado por estas antenas va a permitir modelar la mayoría de los mecanismos de propagación de ondas de radio, toda vez que permiten expresar el campo eléctrico radiado por una antena cualquiera en función del que radian las mismas.

7.1. Antena isótropa.

La antena básica de referencia es la antena isótropa, cuya propiedad fundamental es la de radiar la misma energía en todas las direcciones. Esta antena es una antena ideal (sin pérdidas) y puntual.

A partir de esta definición, la densidad de potencia radiada por una antena isótropa estará dada por la expresión

$$\wp_{av}(\theta, \phi) = \frac{P_{rad}}{4\pi \cdot r^2}$$

El módulo del campo eléctrico generado por una antena isótropa a una distancia d se obtiene a partir de la densidad de potencia y de la impedancia de onda del vacío, utilizando la fórmula

$$|E_{iso}|^2 = \wp_{av}(\theta, \phi) \eta_0$$

Sustituyendo valores, queda este módulo, expresado en unidades del sistema internacional, como

$$|E_{iso}| = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{rad}}}{d} \quad (\text{V/m})$$

Sin embargo, por lo general resulta más práctico expresar la potencia radiada en kW, la distancia en km y el campo recibido en mV/m. Introduciendo estas unidades en la expresión anterior, el campo generado por una antena isótropa queda como:

$$|E_{iso} \text{ (mV/m)}| \approx \frac{173 \sqrt{P_{rad} \text{ (kW)}}}{d \text{ (km)}}$$

Definiendo la **fuerza cimomotriz** [1] de una antena como el producto, medido en voltios, del campo eléctrico por la distancia, se puede escribir,

$$f_{cm} = |E| \cdot d \text{ (V)}$$

Como normalmente la fuerza cimomotriz se determina para una potencia radiada de 1 kW a 1 km de distancia, la fuerza cimomotriz de la antena isótropa es de $f_{cm_{iso}} = 173$ (V).

7.1.1. Campo radiado por una antena cualquiera en función del radiado por la antena isótropa.

Generalizando la expresión del campo radiado obtenida para una antena isótropa, el campo radiado por cualquier antena se puede expresar como

$$|E_{ant} \text{ (mV / m)}| = f_{cm_{ant}} \frac{\sqrt{p_{rad} \text{ (kW)}}}{d \text{ (km)}}$$

El valor del módulo del campo generado por esa antena genérica puede obtenerse a partir del generado por la antena isótropa si se conoce la ganancia de dicha antena con respecto a la antena isótropa:

$$|E_{ant} \text{ (mV / m)}| = \frac{173 \sqrt{p_{rad} \text{ (kW)} \cdot g_{ant/iso}}}{d \text{ (km)}}$$

Al producto de la potencia radiada por la ganancia de la antena en estudio con respecto a la antena isótropa se le conoce como **potencia isótropa radiada equivalente** (pire) [2], que tiene las mismas unidades que la potencia radiada,

$$pire = p_{rad} \cdot g_{ant/iso}$$

y que se define, para una dirección dada, como la potencia que radiaría una antena isótropa para que a una distancia determinada el campo que generase fuese el mismo que el generado por la antena en estudio situada en el mismo lugar que la antena isótropa.

Así, en función de la potencia isótropa radiada equivalente, el módulo del campo generado por una antena cualquiera se puede expresar como

$$|E_{ant} \text{ (mV / m)}| = \frac{173 \sqrt{pire \text{ (kW)}}}{d \text{ (km)}}$$

Analizando la antena genérica en su función de antena receptora, como la superficie equivalente de la antena isótropa es, por definición, $S_{EQ} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$, la superficie equivalente de cualquier antena puede obtenerse directamente conociendo su ganancia con respecto a la antena isótropa a partir de la siguiente expresión:

$$S_{EQ(ant)} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot g_{ant/iso}$$

siendo $g_{ant/iso} = e_{cd} \cdot d_{ant/iso}$.

7.2. Antena dipolo $\lambda/2$.

El dipolo $\lambda/2$ es una antena resonante cuya longitud física es igual a media longitud de onda. Si el dipolo se coloca en el centro de los ejes de coordenadas su diagrama de radiación es el mostrado en la figura 7.1

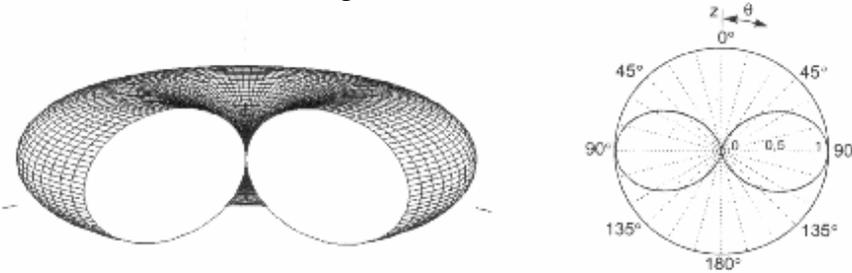


FIGURA 7.1. Diagramas de radiación de un dipolo $\lambda/2$: tridimensional (izquierda) y un corte del mismo para $\Phi=90^\circ$ (derecha).

Esta antena, cuya relación delante-atrás es igual a la unidad y la anchura del haz a potencia media es de 78° , aproximadamente, radia un campo eléctrico con polarización lineal que, en la dirección de máxima radiación, en función de la distancia y en unidades del SI, está dado por la expresión

$$|E_{\lambda/2}| = \frac{\sqrt{49,18 \cdot p_{rad}}}{d} \quad (\text{V/m})$$

Expresado en unidades prácticas, el campo radiado por el dipolo $\lambda/2$ está dado por la expresión

$$|E_{\lambda/2}(\text{mV/m})| \approx \frac{222 \sqrt{p_{rad}(\text{kW})}}{d(\text{km})}$$

de donde se deduce que la fuerza cimomotriz de esta antena es $f_{cm_{\lambda/2}} = 222 \text{ (V)}$.

El dipolo $\lambda/2$ es una antena elemental muy empleada. Por ejemplo es la base para la construcción de las antenas de TV conocidas como antenas Yagi-Uda. Por este motivo también suele emplearse como antena de referencia para medir la ganancia de otras antenas.

A partir de la expresión del campo eléctrico radiado por el dipolo se puede calcular la ganancia del mismo con respecto a la antena isótropa, resultando, en unidades naturales,

$$d_{(\lambda/2)/iso} = \left(\frac{|E_{\lambda/2}|}{|E_{iso}|} \right)^2 = 1,64$$

En unidades logarítmicas, esta misma ganancia valdrá

$$D_{(\lambda/2)/iso}(\text{dB}) = 20 \cdot \log \left(\frac{|E_{\lambda/2}|}{|E_{iso}|} \right) = 2,15 \text{ dB}$$

7.1.2. Campo radiado por una antena cualquiera en función del radiado por el dipolo $\lambda/2$.

Para calcular el campo radiado por una antena, conocida su ganancia con respecto al dipolo se emplea la expresión, ya en unidades prácticas, siguiente

$$|E_{ant}(mV/m)| = \frac{222\sqrt{p_{rad}(kW) \cdot d_{ant/(\lambda/2)}}}{d(km)}$$

Al producto de la potencia radiada por una antena por su ganancia con respecto al dipolo $\lambda/2$ se le conoce como **potencia radiada aparente** (pra) [3], y tiene las mismas unidades de la potencia radiada,

$$pra = p_{rad} \cdot d_{ant/(\lambda/2)}$$

definiéndose, para una dirección dada, como la potencia que habría de radiar un dipolo $\lambda/2$ para que a una distancia dada el campo generado fuese el mismo que generaría nuestra antena en estudio si se situase en el mismo lugar que el dipolo.

Campo radiado en función de la pra

En función de la potencia radiada aparente, el módulo del campo generado por una antena cualquiera se puede expresar como

$$|E_{ant}(mV/m)| = \frac{222\sqrt{pra(kW)}}{d(km)}$$

La relación entre la potencia isótropa radiada equivalente (pire) y la potencia radiada aparente se puede determinar como, está dada por

$$pire = p_{rad} \cdot d_{ant/iso} = p_{rad} \cdot d_{ant/(\lambda/2)} \cdot d_{(\lambda/2)/iso} = pra \cdot 1,64$$

que en unidades logarítmicas se puede expresar como $PIRE = PRA + 2,15 \text{ (dB)}$.

Si una antena genérica actúa como receptora, sabiendo que La longitud efectiva de un dipolo $\lambda/2$ está dada por la expresión siguiente: $\ell_{EF(\lambda/2)} = \frac{\lambda}{\pi}$, por lo que para obtener la longitud efectiva de cualquier antena, una vez conocida su ganancia con respecto al dipolo $\lambda/2$, mediante la siguiente expresión:

$$\ell_{EF(ant)} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot g_{ant/(\lambda/2)}$$

siendo $g_{ant/(\lambda/2)} = e_{cd} \cdot d_{ant/(\lambda/2)}$.

7.3. Antena vertical corta

Se trata de una antena empleada como referencia en los enlaces de frecuencias inferiores a 30 MHz y que utilizan el mecanismo de propagación conocido como onda de superficie. Una antena vertical corta ideal es un conductor recto, de longitud mucho menor que un cuarto de longitud de onda, situado perpendicularmente a la superficie de la tierra supuesta esta perfectamente conductora.

El módulo del campo eléctrico radiado por la antena monopolo corto a una distancia d , en la dirección de máxima radiación, está dado, en unidades del sistema internacional, por la expresión

$$|E_{AVC}| = 9,4868 \frac{\sqrt{P_{rad}}}{d} \text{ (V/m)}$$

valor que en unidades prácticas se puede poner de la forma:

$$|E_{AVC} \text{ (mV/m)}| \approx \frac{300 \sqrt{p_{rad} \text{ (kW)}}}{d \text{ (km)}}$$

A esta antena se le conoce también como antena vertical corta, cuyas siglas “AVC” se han utilizado como subíndice de la intensidad de campo eléctrico producido por la misma.

La fuerza electromotriz de esta antena, atendiendo a la propia definición de este parámetro será de $f_{cm_{AVC}} = 300 \text{ (V)}$.

A partir de la expresión del campo eléctrico radiado por la antena vertical corta (monopolo corto), se puede calcular la ganancia de la misma con respecto a la antena isotrópica, o ganancia absoluta, que estará dada por

$$d_{AVC/iso} = \left(\frac{|E_{AVC}|}{|E_{iso}|} \right)^2 = 3$$

que, en unidades logarítmicas valdrá $D_{AVC/iso} \text{ (dB)} = 6 \text{ dB}$.

De igual manera, la ganancia de esta antena con respecto al dipolo en $\lambda/2$ se puede determinar como

$$d_{AVC/(\lambda/2)} = \left(\frac{|E_{AVC}|}{|E_{\lambda/2}|} \right)^2 = 1,82$$

que, en unidades logarítmicas, será $D_{AVC/(\lambda/2)} \text{ (dB)} = 2,62 \text{ dB}$.

Lógicamente, entre las ganancias de potencia absoluta y referida al dipolo $\lambda/2$, para el monopolo corto se cumple la relación $D_{AVC/iso} = D_{AVC/(\lambda/2)} + D_{(\lambda/2)/iso}$.

7.3.1. Campo radiado por una antena en función del radiado por la antena vertical corta.

Para calcular el campo radiado por una antena, conocida su ganancia con respecto al monopolo corto o antena vertical corta, se emplea la expresión, ya en unidades prácticas, siguiente

$$|E_{ant} \text{ (mV/m)}| = \frac{300 \sqrt{p_{rad} \text{ (kW)} d_{ant/avc}}}{d \text{ (km)}}$$

en la que $d_{gant/avc}$ es la ganancia de la antena con respecto a la antena vertical corta.

Al producto de la potencia radiada por una antena por su ganancia con respecto al monopolo corto se le conoce como **potencia radiada aparente de la antena vertical corta** (p_{ravg}) [4], y tiene las mismas unidades de la potencia radiada,

$$p_{ravg} = p_{rad} \cdot d_{ant/avc}$$

definiéndose, para una dirección dada, como la potencia que habría de radiar un monopolo corto para que a una distancia dada el campo generado fuese el mismo que generaría nuestra antena en estudio si se situase en el mismo lugar que el monopolo.

7.4. Definición de ganancias con respecto a las distintas antenas de referencia.

La ganancia de una antena cualquiera puede calcularse en función de alguna de las antenas básicas. Así, según la antena elegida como referencia, se definen las siguientes ganancias, expresadas en dB, para las antenas [5]:

- La **ganancia** isótropa o **absoluta** (G_i) si se emplea como referencia una antena isótropa en espacio libre.
- La **ganancia con respecto a un dipolo de media longitud de onda** (G_d) si la antena de referencia es un dipolo $\lambda/2$ en espacio libre.
- La **ganancia con relación a una antena vertical corta** (G_v) si la antena de referencia es un dipolo corto.

En las definiciones anteriores se considera la ganancia como Relación generalmente expresada en decibelios, que debe existir entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión, para que ambas antenas produzcan, en una dirección dada, la misma intensidad de campo, o la misma densidad de flujo de potencia, a la misma distancia. Realmente, la ganancia así definida está indicando que se considera la potencia entregada a la antena en condiciones de adaptación de impedancias, lo que viene a establecer que esta ganancia coincide con el producto del rendimiento de radiación por la directividad.

En la tabla 7.1 se recogen la fuerza cimomotriz y la ganancia isótropa de algunas antenas típicas.

Antena	fcm (V)	Gi (dB)
Isótropa en espacio libre	173	0
Dipolo de Hertz en espacio libre	212	1,76
Dipolo $\lambda/2$ en espacio libre	222	2,15
Antena vertical corta	300	4,77
Dipolo de Hertz sobre plano conductor	300	4,77
Monopolo $\lambda/4$ sobre plano conductor	314	5,18

TABLA 7. 1. Características de antenas típicas.

Referencias bibliográficas.

- [1] ITU-R.- Rec. V.573-4: Radiocommunication vocabulary.- Internacional Telecommunication Union, Switzerland, 2000. p.14.
- [2] p. 15.
- [3] p. 15.
- [4] p. 15.
- [5] p. 14.