

2.2 GANANCIA, GANANCIA DIRECTIVA, DIRECTIVIDAD Y EFICIENCIA

GANANCIA

Otra medida útil para describir el funcionamiento de una antena es la ganancia. Aunque la ganancia de la antena está íntimamente relacionada a la directividad es una medida que toma en cuenta la eficiencia de la antena, así como sus capacidades direccionales.

La ganancia de potencia de una antena en una dirección dada esta definida como “ 4π veces la razón de la intensidad de radiación en esa dirección a la potencia neta aceptada por la antena de un transmisor conectado”.

Cuando no se establece la dirección la ganancia de potencia se toma usualmente en la dirección de máxima radiación. Así en general:

$$\text{Ganancia} = 4\pi \frac{\text{Intensidad de radiación}}{\text{Potencia total de entrada}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{en}}$$

$$\text{Ganancia} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{en}} \quad \text{Sin dimensiones}$$

En la mayoría de los casos trataremos como **ganancia relativa** la cual se define como **la razón de la ganancia de potencia en una dirección dada a la ganancia de potencia de una antena de referencia en su dirección referenciada**. El nivel de potencia de entrada deberá ser el mismo en ambas antenas.

La antena de referencia es usualmente un dipolo trompeta o cualquier otra antena cuya ganancia se calcula ó se conoce. En la mayoría de los casos, sin embargo la antena de referencia es una fuente isotrópica sin pérdida.

$$G_g = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{en}} \quad (2.15)$$

Podemos escribir que la potencia total radiada (P_{rad}) se relaciona a la potencia de entrada total P_{en} por.

$$P_{rad} = e_t P_{en}$$

Donde e_t eficiencia total de la antena (sin dimensiones) se reduce a :

$$G_g(\theta, \phi) = e_t \left[4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad (2.16)$$

La cual se relaciona a la ganancia directiva de 2.16 por

$$G_g(\theta, \phi) = e_t D(\theta, \phi) \quad (2.17)$$

En donde :

$$D_g(\theta, \phi) = e_t \left[4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad \text{Ganancia Directiva} \quad (2.18)$$

De una forma análoga, el máximo valor de la ganancia esta relacionada a la directividad por:

$$G_0 = G_g(\theta, \phi)|_{m\acute{a}x} = e_t D(\theta, \phi)|_{m\acute{a}x} = e_t D_0 \quad (2.19)$$

Para muchas antenas prácticas una formula aproximada para la ganancia correspondiente a la 2.19

$$G_0 \cong \frac{30000}{\theta_{1d} \theta_{2d}} \quad (2.20)$$

En la práctica el término ganancia se refiere a la ganancia de potencia máxima definido por 2.20

Usualmente la ganancia está dada en términos de decibeles dB en lo que de la cantidad a dimensional de 2.20 la formula de conversión es ta dada por:

$$G_o(dB) = 10 \log_{10} [e_t D_0]$$

sin dimensiones

DIRECTIVIDAD.

Antes de de definir la directividad, hay que definir la ganancia directiva

GANANCIA DIRECTIVA

La ganancia directiva se define en una dirección particular como la razón de la intensidad de potencia radiada en esa dirección, a una distancia dada a la densidad de potencia que seria radiada a la misma distancia por una antena isotrópica que radia la misma potencia total.

Entonces, **Directividad** se define como la máxima ganancia directiva.

Las definiciones anteriores están basadas en que la antena de la referencia es el isotrópico, ocasionalmente la ganancia directiva y la directividad se puede dar con alguna otra antena de referencia tal como un dipolo de $\frac{\lambda}{2}$.

Generalmente la ganancia se expresa en dBi , el termino i indica que es con referencia al isotrópico y generalmente se define la ganancia en función del ancho de la banda de trabajo de la antena.

La definición antena de ganancia directiva compara la densidad de potencia de una antena actual y la de un isotrópico sobre la suposición que ambos radian la misma potencia total.

Otro concepto de ganancia, la ganancia de potencia compara la densidad de potencia radiada de un isotrópico suponiendo que radian toda la potencia pero parte de la potencia suministrada a la antena se disipa en resistencia OHMICA (es decir se convierte en calor).

La ganancia de potencia toma en cuenta la eficiencia de las antenas así como también sus propiedades direccionales.

El factor de eficiencia K , es la razón de la potencia radiada por la antena a la potencia total en la entrada, es un número entre cero y uno.

Si la ganancia se designa G y la directividad D la interrelación entre ellas es

$$G=KD \quad (2.21)$$

Si la antena no tiene pérdidas OHMICAS y en consecuencia $K=1$, entonces $G=D$, es decir, la ganancia de potencia y la directividad son iguales.

$$G_{dB} = 10 \log G \quad (2.22)$$

Significado práctico de la ganancia de potencia

Es aparente que pasa si una cantidad de potencia entrada a una antena, la densidad de potencia en un punto en el espacio es proporcional a la ganancia de potencia de la antena en esa dirección, en consecuencia la señal disponible en la antena receptiva en esa zona puede incrementarse, elevando la ganancia de potencia de la antena transmisora sin aumentar la potencia del transmisor.

Un transmisor con una potencia de salida de 1Kw y una antena con una ganancia de potencia de 10 (10dB) proporcionara la misma densidad de potencia en un punto de recepción si se cuenta con un transmisor de 500 de potencia y una antena con ganancia de potencia de 20 (13 dB)

Resulta evidente que el segundo sistema es más económico.

Algunas veces puede ser más barato duplicar la ganancia de la antena (añadir 3 dB), que duplicar la potencia del transmisor; aunque en otros casos se opte por el 1er sistema.

Sin embargo es deseable usar la ganancia de la antena tanto como sea posible y así lograr los niveles de la intensidad de campo en el sitio deseado.

En otro caso, sin embargo puede ser necesario radiar por igual en todas direcciones en forma horizontal sobre un sector amplio entonces, debido a la conexión entre el patrón de antena y la ganancia directiva o directividad la máxima ganancia obtenida será ilimitada.

La determinación de la ganancia deberá ser en último caso de acuerdo a la aplicación a la cual se define la antena y sus características lo decidirá el ingeniero.

De una forma más simple. La directividad de una fuente no isotrópica es igual a la región de su máxima intensidad de radiación sobre aquella de una fuente isotrópica.

En forma matemática usando la ecuación de intensidad de radiación de una fuente isotrópica.

$$U_0 = \frac{P_{rad}}{4\pi}$$

Se puede escribir como:

$$D_g = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.23)$$

$$D_0 = \frac{U|_{MAX}}{U_0} = \frac{U_{MAX}}{U_0} = \frac{4\pi U_{MAX}}{P_{rad}} \quad \text{Ecuación Exacta.} \quad (2.24)$$

D_g = Ganancia directiva (sin dimensiones)

D_0 = Directividad (sin dimensiones)

U = Intensidad de radiación (w/ unidad de ángulo sólido)

$U_{máx}$ = Intensidad máxima radiación (w/ unidad de ángulo sólido)

U_0 = Intensidad de radiación de una fuente isotrópica (w/ unidad de ángulo sólido)

P_{rad} = Potencia total radiada (w)

Para una fuente isotrópica, es muy obvio de las ecs. 2.23 y 2.24 que, la ganancia directiva y la directividad sean iguales a la unidad, puesto que U , U_{MAX} y U_0 son iguales entre si.

La directividad de una fuente isotrópica es unitaria, puesto que su potencia radiada es igual en todas direcciones. Para todas las fuentes, la directividad siempre será mayor que la unidad y es una figura de merito relativa, la cual nos da indicación de las propiedades direccionales de una antena; cuando se comparan con la de una fuente isotrópica.

Los valores de la ganancia directiva serán iguales o mayores que cero e iguales o menores que la directividad

$$(0 \leq D_g \leq D_0)$$

Una expresión más general; sea la intensidad de radiación de la forma:

$$U = B_0 F(\theta, \phi) \cong \frac{1}{2\eta} \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \quad (2.25)$$

Donde B_0 es una constante

E_θ, E_ϕ son los componentes del campo eléctrico en la zona lejana.

El valor máximo será.

$$U_{max} = B_0 F(\theta, \phi)|_{max} = B F_{max}(\theta, \phi) \quad (2.26)$$

La potencia total radiada se encuentra usando:

$$P_{rad} = \iint_{\Omega} U(\theta, \phi) d\Omega = B_0 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F(\theta, \phi) \text{sen}(\theta) d\theta d\phi \quad (2.27)$$

$$Dg(\theta, \phi) = 4\pi \frac{F(\theta, \phi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F(\theta, \phi) \text{sen}(\theta) d\theta d\phi} \quad (2.28)$$

Sabemos que:

$$D_g = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad , \quad D_0 = \frac{4\pi U_{m\acute{a}x}}{P_{rad}}$$

$$D_0 = \frac{U|_{MAX}}{U_0} = \frac{U_{MAX}}{U_0} = \frac{4\pi U_{MAX}}{P_{rad}}$$

$$D_0(\theta, \Phi) = 4\pi \frac{F(\theta, \phi)|_{m\acute{a}x}}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \text{sen}(\theta) d\theta d\phi} \quad \text{Ecuaci3n Exacta}$$

$$D_0 = \frac{4\pi}{\left[\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \text{sen}(\theta) d\theta d\phi \right] / F(\theta, \phi)|_{m\acute{a}x}} = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad (2.29)$$

Donde:

Ω_A = Haz de 3ngulo s3lido:

$$\Omega_A = \frac{1}{F(\theta, \phi)|_{MAX}} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \text{sen}(\theta) d\theta, d\phi = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi F_n(\theta, \phi) \text{sen}(\theta) d\theta d\phi \quad (2.30)$$

y

$$F_n(\theta, \phi) = F_n = \frac{F(\theta, \phi)}{F(\theta, \phi)|_{\max}} \quad (2.31)$$

El haz de 3ngulo s3lido Ω_A se define como el 3ngulo s3lido a trav3s del cual toda la potencia de una antena puede fluir si su intensidad de radiaci3n es constante (e igual al m3ximo valor de U) para todos los 3ngulos dentro de Ω_A .

Para antenas con un lóbulo mayor angosto y lóbulos menores despreciables; el ángulo sólido de haz es aproximadamente igual al producto de los anchos de haz de la potencia media en dos planos perpendiculares mostrados en la figura 2.8 Para un patrón racionalmente simétrico, los anchos de haz de la potencia media en cualquiera de los planos perpendiculares son iguales, como se ilustra en la figura 2.7 b.

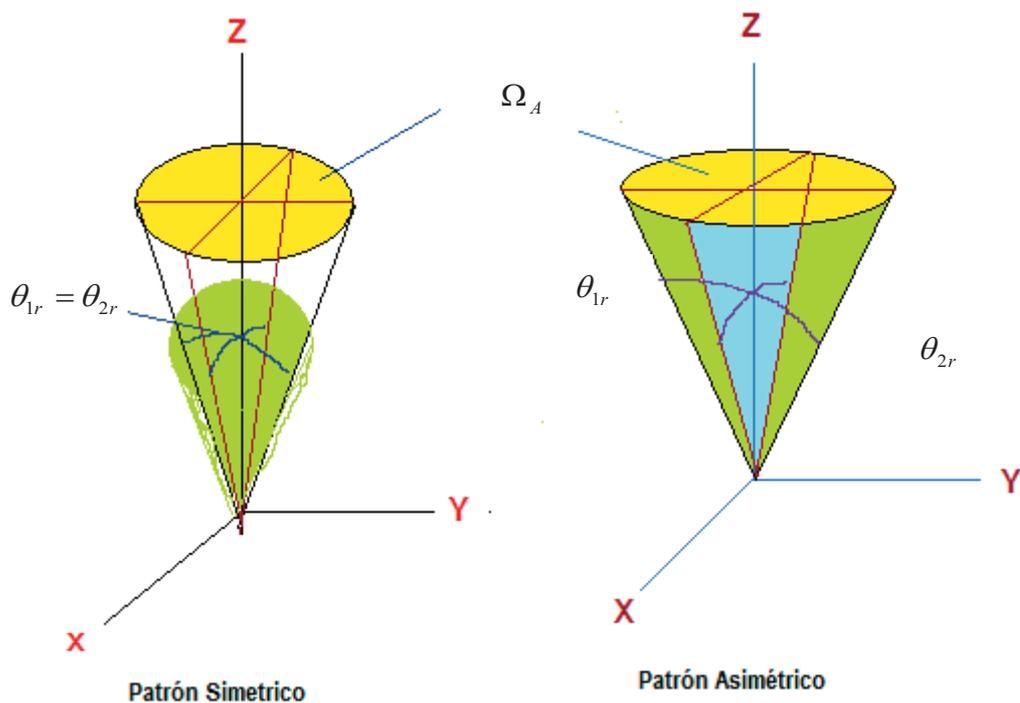


Figura 2.7 Haz de ángulos sólidos para patrones de radiación simétricos y asimétricos

El ángulo sólido Ω_A ha sido aproximado por:

$$D_0 = \frac{4\pi}{\Omega_A} \cong \frac{4\pi}{\theta_{1r} \theta_{2r}} \quad \text{Ecuación de Kraus.}$$

Donde:

$$\Omega_A = \theta_{1r} \theta_{2r}$$

θ_{1r} = ancho de haz de potencia medio en un plano (rad.)

θ_{2r} = ancho de haz de la potencia media en un plano en ángulo 90° al otro plano (rad.)

Sí los anchos de haz son conocidos con grados se puede escribir como:

$$D_0 \cong \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi} \right)^2}{\theta_{1d} \theta_{2d}} = \frac{41.253}{\theta_{1d} \theta_{2d}} \quad (2.32)$$

Donde:

θ_{1d} = ancho de haz de la potencia media en un plano (grados)

θ_{2d} = ancho de haz de la potencia media en un plano en ángulo recto al otro (grados)

para arreglar planos, una mejor aproximación .

$$D_0 \cong \frac{32400}{\Omega_A (\text{grados})^2} = \frac{32400}{\theta_{1d} \theta_{2d}}$$

Muchas veces es deseable expresar la ganancia directiva y la directividad en decibeles dB en lugar de cantidades a dimensionales.

La expresión para convertir cantidades a dimensionales de ganancia directiva y directividad a decibeles dB son:

$$D_g(\text{dB}) = 10 \log_{10} [D_G (\text{sin dimensional})] \quad (2.33)$$

$$D_0(\text{dB}) = 10 \log_{10} [D_0 (\text{sin dimensional})] \quad (2.34)$$

Se ha propuesto que la directividad de una antena se puede obtener también en forma aproximada usando la formula:

$$\frac{1}{D_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right) \quad (2.35)$$

Donde:

$$D_1 \cong \frac{1}{\left[\frac{1}{2 \ln 2} \int_0^{\theta_{1r}/2} \text{sen } \theta d\theta \right]} \cong \frac{16 \ln 2}{\theta_{1r}^2} \quad (2.36)$$

$$D_2 \cong \frac{1}{\left[\frac{1}{2 \ln 2} \int_0^{\theta_{2r}/2} \text{sen } \theta d\theta \right]} \cong \frac{16 \ln 2}{\theta_{2r}^2} \quad (2.37)$$

EFICIENCIA DE LA ANTENA

La eficiencia total de una antena e_t se usa para tomar en cuenta la perdida en las terminales de entrada y dentro de la estructura de la antena dichas perdidas se pueden deber a.

1. - Reflexión debidas al desacoplamiento entre línea de transmisión y la antena.
2. - perdida I^2R (conducción y dieléctrico)

En general la eficiencia global esta dada como:

$$e_t = e_r e_c e_d \quad \text{donde :}$$

e_t = Eficiencia total (sin dimensiones)

e_r = eficiencia de reflexión (desacoplamiento) = $(1 - |\Gamma|^2)$ sin dimensional

e_c = eficiencia de conducción (sin dimensional)

e_d = eficiencia del dieléctrico (sin dimensional)

Γ = Coeficiente de reflexión de voltaje en las terminales de la antena

$$\Gamma = \rho_v = \frac{Z_{en} - Z_0}{Z_{en} + Z_0} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.38)$$

donde:

Z_{en} = impedancia de entrada de la antena.

Z_0 = impedancia característica de la línea

Usualmente e_c y e_d son muy difíciles de calcular pero pueden ser determinados experimentalmente.

$$e_t = e_r e_{cd} = e_{cd} (1 - |\Gamma|^2) \quad (2.39)$$

donde

$e_{cd} = e_c e_d$ = Eficiencia de radiación de la antena

ANCHO DEL HAZ A POTENCIA MEDIA

En un plano conteniendo la dirección del máximo de un haz, el ancho del haz a potencia media está definido como *“el ángulo entre las dos direcciones en el cual la intensidad de radiación es la mitad del valor máximo del haz”*.

A menudo el término del ancho de haz es usado para describir el ángulo entre dos puntos sobre el patrón como el ángulo entre los puntos de 10 dB. Los puntos deberán ser especificados para evitar confusión. Sin embargo el término

ancho de haz es generalmente reservado para describir el ancho del haz a -3 dB.

Para una antena con sus lóbulos mayores dirigido a lo largo del eje Z ($\theta = 0^\circ$),

$$BE = \frac{\text{Potencia transmitida (recibida) dentro del cono con ángulo } \Theta_1}{\text{Potencia transmitida (recibida) por la antena}}$$

En donde (θ_1) es la mitad del ángulo del cono, dentro del cual el porcentaje de la potencia total está siendo encontrada.

$$BE = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \phi) \sin(\theta) d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U(\theta, \phi) \sin(\theta) d\theta d\phi} \quad (2.40)$$

Si (θ_1) se elige como ángulo donde el primer nulo o mínimo ocurre, entonces la eficiencia del haz indicara la cantidad de potencia en el lóbulo mayor, comparada a la potencia total.

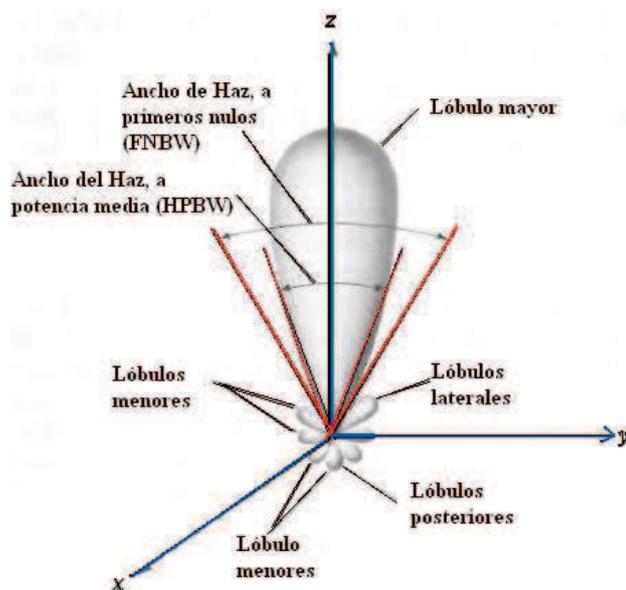


Figura 2.8