

1.4. Medición de la Ganancia de una Antena.

La ganancia de una antena, es una medida de la directividad de una antena y describe el rendimiento de ésta. Aunque la ganancia está relacionada con la directividad es una medida que toma en cuenta la eficiencia de la antena, como también, su capacidad direccional[7]. La ganancia de una antena con respecto a la del isotrópico se define de tal modo como:

$$G_i(\theta, \phi) = \frac{S_{rad}(r, \theta, \phi)}{S_i(r, \theta, \phi)} \Big|_{P_r=P_i} = \frac{P_{ei}}{P_e} \Big|_{S_i=S_r(r, \theta, \phi)} \quad (1.59)$$

donde

P_{ei} es la potencia activa promedio suministrada a la entrada de la antena isotrópica.

P_e es la potencia activa promedio suministrada a la entrada de la antena bajo prueba.

La definición de la ecuación (1.59) es semejante al de la directividad, teniendo en cuenta que en vez de utilizar la potencia radiada (P_r) se toma en cuenta la potencia de entrada (P_e).

De la ecuación (1.58), podemos colocar la ganancia de una antena en función de la directividad de la misma.

$P_e = P_r/\eta$ y sabiendo que la potencia de entrada de la antena isotrópica es idéntica a la potencia radiada $P_{ei} = P_{ri}$, podemos escribir la ecuación (1.59) como:

$$G_i(\theta, \phi) = \frac{P_{ei}}{P_e} \Big|_{S_i=S_r(r, \theta, \phi)} = \frac{P_{ri}}{\frac{P_r}{\eta}} = \eta \cdot \frac{P_{ri}}{P_r} \Big|_{S_i=S_r(r, \theta, \phi)} = \eta \cdot D_i(\theta, \phi)$$

$$G_i(\theta, \phi) = \eta \cdot D_i(\theta, \phi) \quad (1.60)$$

y en la máxima de radiación de la antena bajo prueba ésta ganancia se determina como:

$$G_i = \eta \cdot D_i \quad (1.61)$$

aquí G_i es la máxima ganancia de la antena bajo prueba referida a la antena isotrópica. En decibelios se determina de la siguiente forma:

$$G_{i\text{ dB}} = 10 \cdot \text{Log}_{10}(G_i) \quad [\text{dB}_i] \quad (1.62)$$

1.4.1. Técnica de medición de la Ganancia de una Antena.

En la práctica resulta más fácil medir la ganancia G_i de la antena, en vez de su directividad D_i , y en general el conocimiento de G_i , es ventajoso ya que aporta información de la directividad del sistema como de la eficiencia de radiación. Utilizando el procedimiento de estimación de la directividad aproximada vista en la ecuación (1.56), podemos evaluar aproximadamente la directividad en el máximo de radiación de la antena bajo prueba. Al determinar la ganancia podremos tener una cifra de la eficiencia

1.4 Medición de la Ganancia de una Antena.

de la antena bajo prueba. Existen dos técnicas para medir la ganancia de una antena, estas técnicas son:

- Medición de la ganancia absoluta.
- Medición de la ganancia por comparación.

1.4.1.1. Medición de la ganancia absoluta

De acuerdo a [11], la medida de ganancia absoluta puede ser realizada utilizando la fórmula de transmisión de Friss, la cual establece que para dos sistemas de antenas, la potencia máxima disponible que se puede obtener de la antena receptora (P_r), la cual se alcanza cuando la misma tiene una carga adaptada en sus bornes de alimentación, viene dada por la siguiente expresión [11]:

$$P_r = P_o \cdot G_A \cdot G_B \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (1.63)$$

donde P_o es la potencia activa promedio entregada a la antena transmisora, λ es la longitud de onda a la frecuencia de operación, r es la distancia de separación entre las dos antenas, G_A es la ganancia de la antena transmisora y G_B es la ganancia de la antena receptora. Si ambas antenas son iguales la ganancia de una de ellas se puede determinar mediante de acuerdo a la Ref.[11] Pag.493, como:

$$(G_A)_{dB} = (G_B)_{dB} = \frac{1}{2} \cdot \left[20 \cdot \text{Log} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) - 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_o}{P_r} \right) \right] \quad (1.64)$$

Si no se posee dos antenas iguales o no se puede asegurar que tengan la misma ganancia, puede realizarse una medida similar con tres antenas. En este caso es necesario realizar tres mediciones, tomando las tres combinaciones posibles de dos de ellas, y formando el enlace de medida. Si se conoce los parámetros del campo y todas las antenas tienen la misma polarización y cada una de ellas absorbe su máxima potencia disponible, puede escribirse el siguiente sistema de ecuaciones[4] para obtener la ganancia de cada una de ellas.

$$\text{Enlace } a - b \quad (G_a)_{dB} + (G_b)_{dB} = 20 \cdot \text{Log} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) + 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_{rb}}{P_{ta}} \right) \quad (1.65)$$

$$\text{Enlace } a - c \quad (G_a)_{dB} + (G_c)_{dB} = 20 \cdot \text{Log} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) + 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_{rc}}{P_{ta}} \right) \quad (1.66)$$

$$\text{Enlace } b - c \quad (G_b)_{dB} + (G_c)_{dB} = 20 \cdot \text{Log} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) + 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_{rc}}{P_{tb}} \right) \quad (1.67)$$

De las ecuaciones 1.65, 1.66 y 1.67, las ganancias $(G_a)_{dB}$, $(G_b)_{dB}$ y $(G_c)_{dB}$ pueden ser determinadas proveyendo la distancia de separación de las antenas (r), la longitud de onda de operación λ y las potencias descritas a continuación:

- P_{rb} es la potencia máxima disponible recibida por la antena “b”, cuando la antena “a” transmite con una potencia P_{ta} en enlace a-b.
- P_{rc} es la potencia máxima disponible recibida por la antena “c”, cuando la antena “a” transmite con una potencia P_{ta} en enlace a-c.
- P_{rb} es la potencia máxima disponible recibida por la antena “c”, cuando la antena “b” transmite con una potencia P_{tb} en enlace b-c.

Es importante destacar que la utilización de las ecuaciones 1.65, 1.66 y 1.67, deben cumplirse las siguientes condiciones:

1. El sistema debe ser estable en frecuencia.
2. Cada una de las antenas debe estar separada una de la otra la misma distancia en los tres enlaces y tal distancia debe cumplir con el criterio de zona lejana.
3. Las antenas tienen que estar alineadas cada una de ellas apuntando hacia su máximo de radiación y colocadas a la misma altura.
4. Todos los componentes deben estar adaptados en impedancia y polarización

1.4.1.2. Medición de la Ganancia por Comparación de antenas linealmente polarizadas

La técnica de medición de ganancia por comparación se basa en el principio de reciprocidad mencionado en el apartado 1.3.1.2, (siempre cuando el medio que rodea la antena sea isotrópico) de tal modo, que la ganancia de la antena operando en su modo de recepción será la misma si ésta opera en su modo de transmisión. De acuerdo a [2], desde el punto de vista de la antena operando en su modo de recepción, se establece que la ganancia máxima de una antena “a” con respecto a una antena de referencia o estándar “s” se define como la relación de la máxima potencia disponible de la antena “a” (P_{dma}) entre la máxima potencia disponible de la antena de referencia “s” (P_{dms}), con la condición que sobre ella incida el *mismo* vector de Poyting, es decir, el mismo vector de densidad de potencia promedio; es decir:

$$G_{as} = \left. \frac{P_{dma}}{P_{dms}} \right|_{S_a^i = S_s^i} \quad (1.68)$$

donde $S_a^i(S_s^i)$ es el vector de Poynting que incide sobre la antena “a” (“s”), el cual es producido por otra antena “i” lejana que opere como emisor de campo electromagnético. De acuerdo por lo establecido por la Ref. [2], se comprueba que la ganancia de la antena “a” con respecto a la antena de referencia “s” (G_{as}) es la relación entre la ganancia de

1.4 Medición de la Ganancia de una Antena.

la antena “a” con respecto al radiador isotrópico (G_{ai}) entre la ganancia de la antena “s” con respecto a la mismo radiador isotrópico (G_{si}), de tal forma que:

$$G_{as} = \frac{G_{ai}}{G_{si}} \quad (1.69)$$

Para la medición de la ganancia por el método de comparación, la ganancia de la antena de referencia es conocida, de tal forma que la ganancia de la antena bajo prueba con respecto al isotrópico (G_{ai}) se determina utilizando la ecuación (1.68) como:

$$G_{ai} = G_{si} \cdot \frac{P_{dma}}{P_{dms}} \Big|_{S_a^i = S_s^i} \quad (1.70)$$

en decibelios esta ganancia tiene la forma:

$$G_{ai(dB)} = 10 \cdot \text{Log}_{10}(G_{si}) + 10 \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{P_{dma}}{P_{dms}} \right) \quad [dB_i] \quad (1.71)$$

$$G_{ai(dB)} = G_{si(dB)} + 10 \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{P_{dma}}{P_{dms}} \right) \quad [dB_i] \quad (1.72)$$

La ecuación (1.70) es la ecuación fundamental para llevar a cabo la medición de la ganancia por el método por comparación.

En la técnica de medición de la ganancia de una antena por el método de comparación suele utilizarse para la banda de VHF y UHF una antena tipo dipolo de $\lambda/2$, y en el rango de las microondas antena tipo Horn [10]. Adicionalmente la comparación debería ser realizada en una localización disponible donde el frente de onda de la antena que produce el vector de Poyting S^i debe ser plano y constante, por lo que deben cumplirse los requerimientos de zona lejana encontrados en la ecuación (1.40). Posteriormente, luego de hacer cumplir los requerimientos de ubicación dada por la ecuación (1.40), ambas antenas deben estar adaptadas. Esto último es muy importante, porque significa que tanto la antena bajo prueba “a” como la antena de referencia “s”, ambas deben presentar en sus bornes de alimentación, el complejo conjugado de su impedancia propia (Z_{11}^*) correspondiente, es decir, la antena “a” debe tener en sus bornes de alimentación una impedancia (Z_{a11}^*) y la antena de referencia debe presentar en sus bornes de alimentación la impedancia (Z_{s11}^*). Esto último es para garantizar que se obtenga la potencia disponible máxima de cada una de las antenas.

La medición de la ganancia por este método en condiciones de espacio libre se realiza de la siguiente manera. Ver Figura. 1.14.

1. Se hace incidir sobre la antena bajo prueba una onda sectorialmente plana y se mide la potencia en una carga adaptada a la antena
2. Luego en la misma altura y al misma distancia de la antena transmisora se coloca la antena de referencia y se mide la potencia sobre una carga adaptada a esta antena.

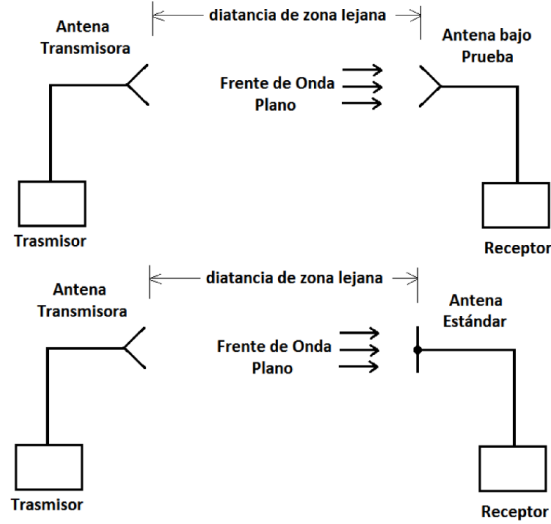


Figura 1.14: Medida de ganancia por comparación. Fuente: El Autor.

Luego la ganancia de la antena bajo prueba se determina por la ecuación (1.71). Para realizar la mediciones deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Las antena bajo prueba y la antena estándar deberían tener la misma polarización.
- Las antenas deben estar colocadas en el mismo lugar y a la misma altura, para garantizar que sobre ellas incida el mismo vector de Poynting.
- Con las condiciones anteriores se mide la potencia absorbida por cada una de ellas.

Si en el proceso de medición existen pérdidas por desacoplo de polarización entre la antena ABP y la estándar, pérdidas por desadaptación entre la línea y la antena y la línea y el generador, todas estas pérdidas pueden ser tomadas en cuenta para el cálculo de la ganancia por comparación. Para mayor documentación sobre la corrección de 1.71 ver Ref. [2], pág. 255-259.

Es importante destacar que en los procedimientos descritos en la Sección.1.4.1.1 y Sección. 1.4.1.2 la potencia máxima disponible P_{dms} (Pdms) a la cual se hace referencia en las ecuaciones 1.65, 1.67, 1.66 y 1.68, se determina tomando como referencia a una antena individual que posee un solo elemento por el cual se excita o alimenta, por lo que el cálculo involucrado es la determinación de la impedancia propia de la antena para que la misma absorba la máxima potencia disponible.

En el caso de un sistema radiante, conformado por un arreglo de “n” antenas o arreglo de elementos de excitación individual, la potencia máxima disponible que absorberá el sistema radiante dependerá de la potencia que absorba cada elemento individual del arreglo y ésta potencia será máxima cuando cada elemento individual del arreglo presente en su punto de alimentación el conjugado de su impedancia propia, es decir, (Z_{nn}^*)

1.4 Medición de la Ganancia de una Antena.

calculada en presencia de todas las antenas adyacentes a ésta. Ver ecuación (1.16). Por lo que la potencia máxima disponible del sistema radiante será la suma de la potencia absorbida por cada elemento individual cuando cada una de ellas presente en sus terminales de alimentación el conjugado de su impedancia (Z_{nn}^*). El cálculo de ésta impedancia propia debe determinarse en cada punto de alimentación de cada uno de los elementos a excitar utilizando la ecuación (1.16).