

Capítulo 2

PARAMETROS DE ANTENAS

2.1 PATRÓN DE RADIACIÓN. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PATRÓN DE RADIACIÓN EN LOS PLANOS E Y H.

El patrón de Radiación de una Antena se define como: ***Una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena como una función de las coordenadas del espacio.***

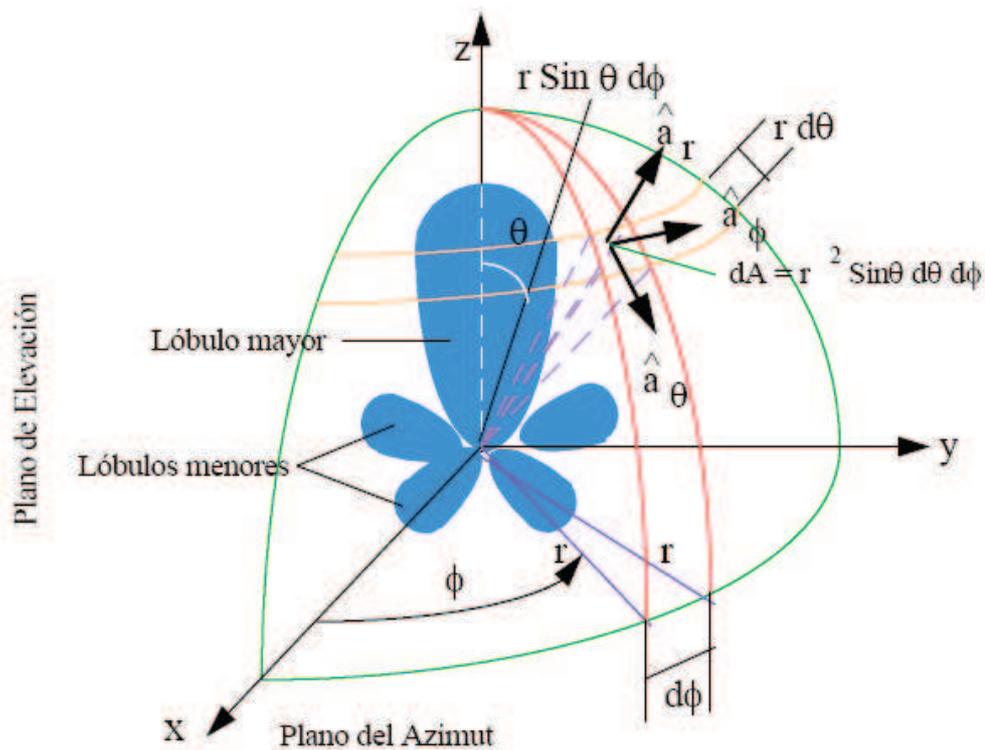


Figura 2.1

En la mayoría de los casos se especifica para el campo lejano y es una función de coordenadas direccionales y las propiedades de radiación incluyen intensidad de radiación, magnitud del campo, fase o polarización.

Las propiedades de radiación de la distribución espacial en tres dimensiones de la energía radiada como una función de la posición del observador a lo largo de un radio constante. Un conjunto conveniente de coordenadas se muestra en la figura 2.1.

PATRONES ISOTROPICOS, DIRECCIONALES Y OMNIDIRECCIONALES

Un radiador isotrópico se define como una antena hipotética que tiene radiación igual en todas direcciones, una fuente puntual podría ser un ejemplo de radiador aunque es ideal y no es físicamente realizable frecuentemente se toma como referencia para expresar las propiedades directivas de antenas practicas.

Una antena direccional es aquella que tiene la propiedad de radiar o recibir ondas electromagnéticas mas eficientemente en algunas direcciones que en otras. Un ejemplo de una antena con un patrón de radiación direccional es mostrado en la figura 2.2. Se puede observar que este patrón no es direccional en el plano de azimuth. ($f(\phi), \theta = \text{constante}$) y direccional en el plano de elevación ($g(\theta), \theta = \text{constante}$). Este tipo de patrón se designa como omnidireccional y esencialmente se define como a quel que tiene un patrón esencialmente no direccional en azimuth y un patrón direccional en el plano de elevación.

Un patrón omnidireccional es entonces un tipo especial de patrón direccional

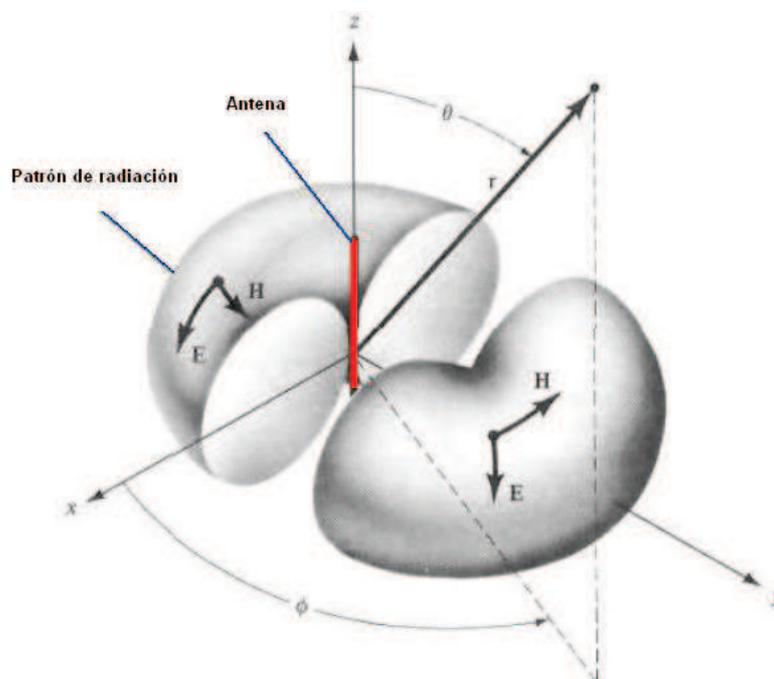


Figura 2.2 Patrón isotrópico

PATRONES PRINCIPALES

El funcionamiento de una antena es descrito muchas veces en términos de sus principales patrones en el plano **E** y en el plano **H**. Para una antena polarizada linealmente el patrón en el plano **E** es definido como: El plano conteniendo el vector del campo eléctrico y la dirección de máxima radiación y el plano **H** como: El plano conteniendo el vector de campo magnético y la dirección de máxima radiación.

En la fig. 2.3 el plano **X - Z** (plano de elevación $\phi = 0$) es el plano principal **E** y el plano **X - Y** (plano de azimut $\theta = \pi/2$) es el plano principal **H**.

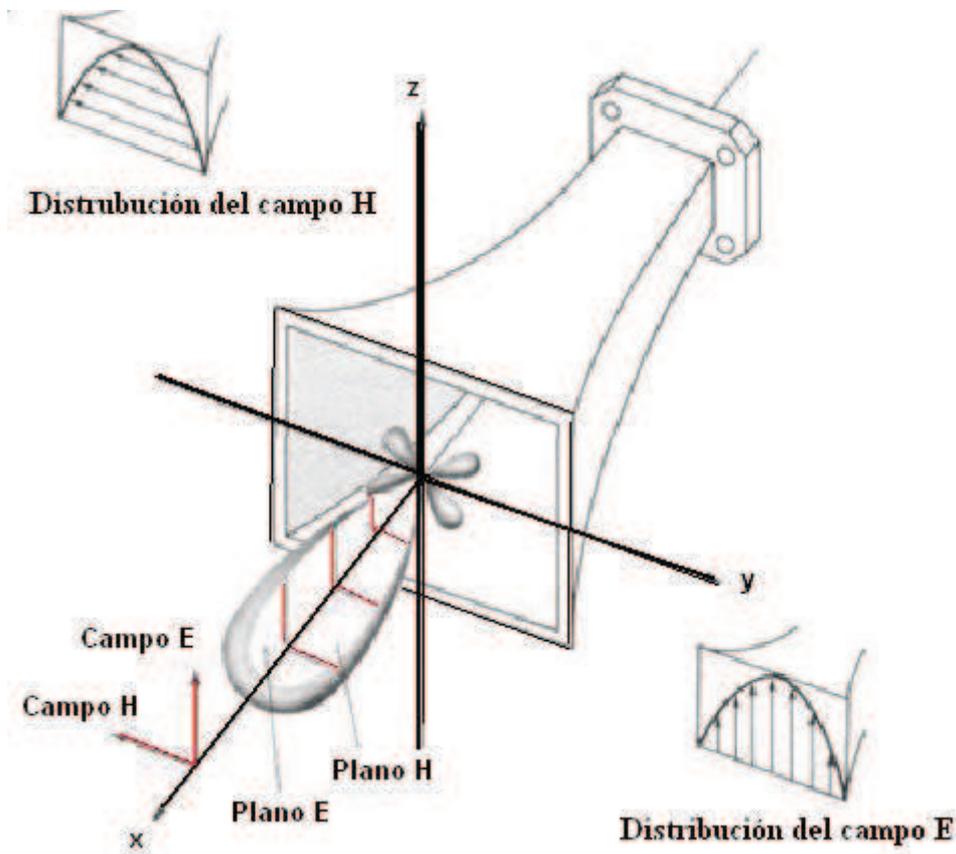


Figura 2.3 Lóbulos del patrón de radiación direccional

LOBULOS DEL PATRON DE RADIACION.

Varias partes del patrón de radiación son referidas como lóbulos, los cuales se pueden clasificar en mayor, menor, lóbulo lateral y lóbulo posterior.

Un lóbulo de radiación es: ***una porción del patrón de radiación limitada por las regiones de intensidad de radiación relativamente débiles.***

Lóbulo mayor (se denomina el lóbulo principal) se define como “el lóbulo de radiación que conteniendo la dirección de máxima radiación” en la dirección ($\theta = 0$).

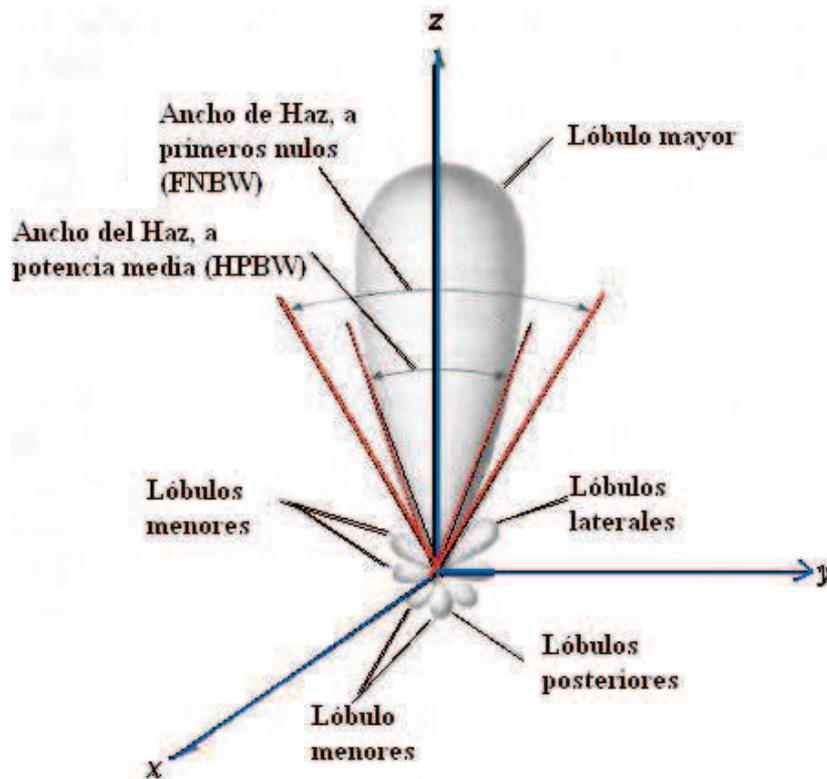


Figura 2.4

Lóbulo menor: Es cualquier lóbulo exceptuando el lóbulo principal. Comúnmente representa la radiación en las direcciones no deseadas y por lo general serán minimizados.

Lóbulo lateral: Es un lóbulo de radiación en cualquier otra dirección. Normalmente un lóbulo lateral es adyacente al lóbulo principal y ocupa el hemisferio en la dirección del lóbulo principal

Lóbulos posteriores: Comúnmente se refiere a un lóbulo menor que ocupa el hemisferio en una dirección opuesta al del lóbulo principal o mayor. Todo lo anterior se muestra en la fig. 2.4

REGIONES DE CAMPO

El espacio que rodea a una antena se divide usualmente en 3 regiones que son:

- a) Región Reactiva de Campo Cercano.
- b) Región de Radiación de Campo Cercano (Zona de Fresnel)
- c) Región de Campo lejano (Fraunhofer)

Lo anterior es mostrado en la fig. 2.5

$$R_2 > \sqrt{\frac{2D^2}{\lambda}}$$

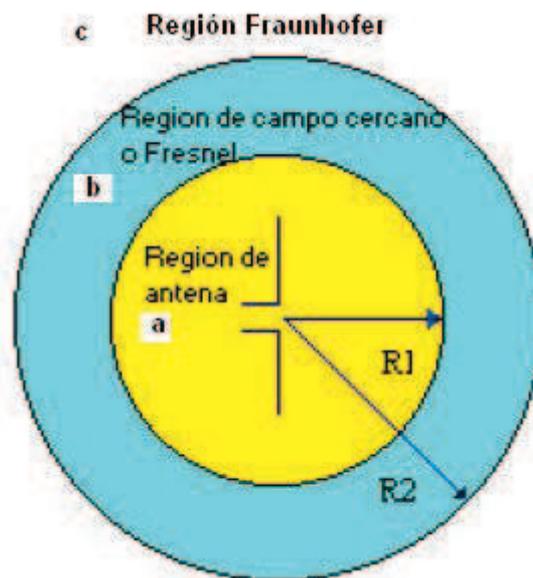


Figura 2.5 Región de Campo Electromagnético

REGION REACTIVA DE CAMPO CERCANO O DE ANTENA

Está definida como: *La región del campo inmediato que rodea a la Antena en donde el campo reactivo predomina.*

Para muchas Antenas, la frontera exterior de esta región es:

$$R_1 = 0.62 \sqrt{D^3 / \lambda}$$

Desde la superficie de la Antena.

REGION DE RADIACION DE CAMPO CERCANO (FRESNEL)

Está definida como: La región del campo cercano de una Antena, está en trela región reactiva o de Antena y la región de campo lejano en donde los campos de radiación predominan y donde la distribución del campo angular es dependiente sobre la distancia

Para la mayoría de las antenas, la frontera exterior de esta región se toma comúnmente a una distancia $R = 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ de la superficie de la antena donde λ es la longitud de onda y D es la dimensión más grande de la antena.

Región radiante campo cercano (Fresnel) se define como aquella región del campo de una antena entre la región cercana del campo reactivo y la región de campo lejano, aquí predominan los campos de radiación y la distribución angular del campo depende sólo de la distancia a la antena.

Para una antena enfocada al ∞ , a la región del campo cercano se le conoce como la región de Fresnel sobre la base de la terminología óptica.

Si la antena tiene una máxima dimensión global la cual es muy pequeña comparada a la longitud de onda, se puede dar el caso que no exista esta región, la frontera se toma como la distancia $R > 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ y la frontera exterior a la distancia $R > 2D^2/\lambda$ donde D es la dimensión mas grande de la antena. Este criterio se basa sobre un error de fase máximo.

En esta región el patrón de campo es una función de la distancia radial y la componente radial, la componente del campo radial puede ser apreciable.

La región Fraunhofer del campo eléctrico se define como aquella región del campo de una antena donde la distancia es la lejana de la antena, es decir, después de la de Fresnel. Si la antena tiene una máxima dimensión global D, la región de campo lejano se toma comúnmente para que exista a distancias mayores de $2D^2/\lambda$ de la antena, donde λ es la longitud de onda.

RADIAN Y ESTERORADIAN

Un radian se define como el ángulo plano con su vértice en el centro de un círculo de radio r que está subtendido por un arco cuya longitud es r . Una ilustración gráfica se muestra en la figura 2.6 a.

Puesto que la circunferencia de un círculo de radio r es $c = 2 \pi r$ hay 2π rad. ($2\pi r / r$) En un círculo completo.

La medida de un ángulo sólido es un estereoradián, el cual se define como un ángulo sólido con su vértice en el centro de una esfera de radio r esto es subtendido por una área superficial esférica igual a la de un cuadrado con cada lado de longitud r , ver figura 2.6 b.

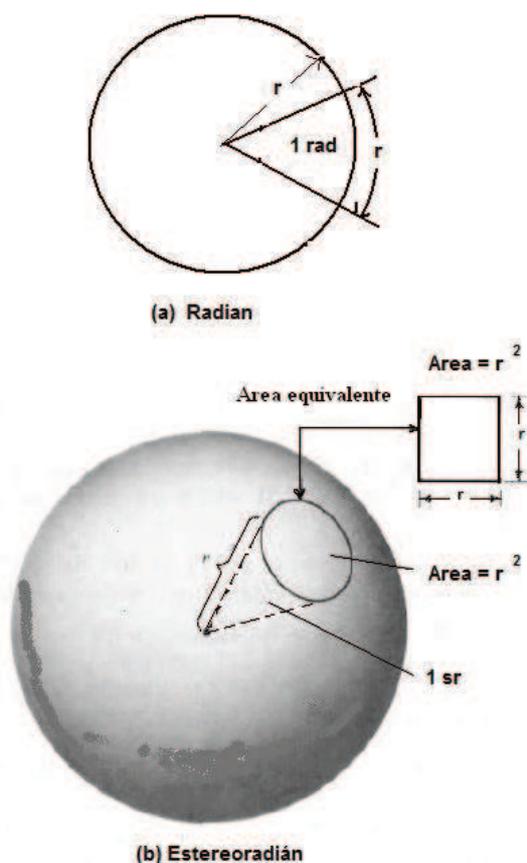


Figura 2.6

Puesto que el área de una esfera de radio r es $A = 4\pi r^2$ donde hay 4π sr ($4\pi r^2 / r^2$) en una esfera cerrada.

El área infinitesimal dA , sobre la superficie de la esfera de radio R como la mostrada en la figura 2.6b está dada por:

$$dA = r^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad \text{m}^2$$

en consecuencia, el elemento de ángulo sólido $d\Omega$ de una esfera se puede escribir como:

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin\theta d\theta d\phi \quad (\text{sr})$$

DENSIDAD DE POTENCIA DE RADIACION

Las ondas electromagnéticas se usan para transportar información a través de un medio inalámbrico o una estructura guiadora de un punto a otro punto. Es natural suponer entonces que la potencia y la energía están asociadas con los campos electromagnéticos.

La cantidad usada para describir la potencia asociada con una onda electromagnética es el vector de poynting instantáneo definido como:

$$W = E \times H$$

W = vector de poynting instantánea (w/m^2)

E = intensidad de campo eléctrico instantáneo (v/m)

H = intensidad de campo magnético instantáneo (A/m)

Puesto que el vector de poynting es una densidad de potencia, la potencia total que cruza una superficie cerrada se puede obtener integrando la componente normal del vector de poynting sobre toda la superficie, matemáticamente.

$$P = \oiint_s \mathbf{W} \cdot d\mathbf{s} = \oiint_s \mathbf{W} \cdot \mathbf{n} da \quad (2.0)$$

$P =$ Potencia total instantánea (w)

$Da = ds =$ área infinitesimal de una superficie cerrada(m^2)

Para aplicaciones de campo variantes con el tiempo, frecuentemente es deseable determinar la densidad de potencia promedio el cual se obtiene integrando el vector de poynting instantáneo sobre un periodo y dividiéndolo por el periodo por variaciones harmónicas de la forma $e^{j\omega t}$ definimos los campos complejos $\overline{E} \cdot \overline{H}$ los cuales se relacionan a sus contrapartes instantáneas E y H

$$E(x,y,z,t) = \text{Re} [E(x,y,z) e^{j\omega t}] \quad (2.1)$$

$$H(x,y,z,t) = \text{Re} [H(x,y,z) e^{j\omega t}] \quad (2.2)$$

Usando las definiciones de las ecuaciones 2.1 y 2.2 y la identidad;

$$\text{Re} [\overline{E} e^{j\omega t}] = \frac{1}{2} [E e^{j\omega t} + E^* e^{-j\omega t}] \quad (2.3)$$

Se puede escribir como

$$W = \overline{E} \cdot \overline{H} = \frac{1}{2} \text{Re} [E \cdot H^*] + \frac{1}{2} \text{Re} [E \cdot H e^{j2\omega t}] \quad (\text{w/m}^2) \quad (2.4)$$

El primer término de la Ec. 2.4 no es una función de tiempo y de las variaciones del segundo son doble a las frecuencias dadas. El vector de poynting promedio en el tiempo (densidad de potencias promedio) se puede describir como

$$W_{av}(x,y,z) = [W(x,y,z,t)]_{av} = \frac{1}{2} \text{Re} [E \cdot H^*] \quad (\text{w/m}^2) \quad (2.5)$$

El factor $\frac{1}{2}$ que aparece en las Ecs. 2.4 y 2.5 debido a que los campos E y H representan valores pico, deberán omitirse para valores de RMS.

Una observación detallada puede originar preguntas acerca de que si la parte real de $(E \times H) / 2$ representa la densidad de potencia promedio real o que si representa la parte imaginaria de la misma cantidad . En este punto, será muy

natural asumir que la parte imaginaria deba representar la densidad de potencia reactiva asociada con los campos electromagnéticos.

Basado en la definición de la ec. 2.5, la potencia media radiada por una antena puede escribirse como:

$$P_{rad} = P_{av} = \iint_s W_{rad} \cdot ds = \iint_s W_{av} \cdot ds = \frac{1}{2} \iint_s \text{Re}(E \times H^*) \cdot ds \quad (2.6)$$

Las observaciones normalmente son hechas sobre una gran esfera de radio constante, extendiéndose hasta el campo lejano. Sin embargo el desempeño de la antena es medido en términos de la ganancia y en términos del patrón de la potencia relativa. No pueden medirse modelos tridimensionales, pero ellos pueden construirse con varios cortes bidimensionales.

Una fuente puntual es una antena isotrópica ideal que radia uniformemente en todas las direcciones. Aunque no existe en la práctica, proporciona una referencia conveniente de radiador isotrópico, con el cual se puede comparar otras antenas. Debido a su radiación simétrica, el vector de poynting no será una función de los ángulos de las coordenadas esféricas θ, ϕ . Además se requiere que tenga solo una componente radial de manera que la potencia total radiada por está dada por:

$$P_{rad} = P_{av} = \iint_s W_{rad} \cdot ds = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi [a_r W_{r0}(r)] [a_r r^2 \text{sen}\theta d\theta d\phi] \quad (2.7)$$

$$P_{rad} = W_{r0} r^2 \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \text{sen}\theta d\theta = W_{r0} r^2 \left[\phi \Big|_0^{2\pi} \right] \left[-\cos(\theta) \Big|_0^\pi \right]$$

$$P_{rad} = W_{r0} r^2 \left[\phi \Big|_0^{2\pi} \right] \left[-\cos(\theta) \Big|_0^\pi \right] = W_{r0} r^2 [2\pi - 0] [-(-1 - 1)]$$

$$P_{rad} = 4\pi r^2 W_{r0} \quad (2.8)$$

y la densidad de la potencia por:

$$W_{r0} = a_r W_{r0} = \hat{a} \left(\frac{P_{rad}}{4\pi r^2} \right) \text{ (w/m}^2\text{)} \quad (2.9)$$

La cual esta uniformemente distribuida sobre la superficie de una esfera de radio r.

INTENSIDAD DE RADIACION

La intensidad de radiación en una dirección dada, está definido **como la potencia radiada desde una antena por unidad de ángulo solido** y es un parámetro de campo lejano el cual se puede obtener simplemente multiplicando la densidad de radiación por el cuadrado de la distancia.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.10)$$

Donde U = intensidad de radiación (w/unidad de ángulo solido)

W_{rad} = densidad de radiación (w/m²)

La densidad de radiación es relacionada al campo eléctrico de la zona lejana de una antena.

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} |E(r, \theta, \phi)|^2 \cong \frac{r^2}{2\eta} \left[|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 \right] \\ &\cong \frac{1}{2\eta} \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \end{aligned} \quad (2.11)$$

En donde:

E = intensidad del campo eléctrico en la zona lejana de una antena.

E_θ, E_ϕ = Componentes del campo eléctrico en la zona lejana.

η = Impedancia intrínseca del medio

Así, el patrón de potencia es también una medida de la intensidad de radiación. La potencia total se obtiene a través de la intensidad de radiación, dada (2.10), sobre ángulo solido entero de 4π , es decir:

$$P_{rad} = \iiint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U \sin(\theta) d\theta d\phi \quad (2.12)$$

Donde:

$d\Omega =$ elemento de ángulo solido

$$d\Omega = \sin(\theta) d\theta d\phi$$

Para una fuente puntual, U será independiente del ángulo solido θ, ϕ como fue el caso para W_{rad} , es decir;

$$P_{rad} = \iiint_{\Omega} U_0 d\Omega = U_0 \iiint_{\Omega} d\Omega = 4\pi U_0 \quad (2.13)$$

Es decir la intensidad de radiación de una fuente isotrópica es:

$$U_0 = \frac{P_{rad}}{4\pi} \quad (2.14)$$