

1 Procedimientos para medir parámetros de entrada y salida de una Antena.

1.1. Introducción

El presente capítulo se enfoca en analizar los procedimientos experimentales para determinar parámetros de entrada y salida de una antena. El mismo aborda aspectos teóricos sobre los parámetros de las antenas y los procedimientos a realizar para estimar éstos en rangos de antenas de espacio libre. Un análisis completo puede verse en [7]. Los parámetros de entrada y salida permiten hacer una descripción del carácter de funcionamiento de una antena tanto en su modo de transmisión como en su modo de recepción. Los parámetros de entrada los podemos identificar como: impedancia de entrada " Z_a ", el coeficiente de reflexión de la antena " Γ_a " y su Relación de Onda Estacionaria (ROE). Por otro lado sus parámetros de salida, convencionalmente, los identificamos como: Diagrama de radiación $\mathbf{F}(\theta, \phi)$, Ganancia (G), Directividad (D) y Polarización (\mathbf{p}), entre otros.

1.2. Técnicas de medición de la impedancia propia y mutua de una antena.

La impedancia de entrada de una antena se define como la impedancia especificada en los bornes o terminales de entrada de la misma y se obtiene como la razón del voltaje y corriente en los terminales de entrada o como la razón apropiada del campo eléctrico y campo magnético en ese punto[4]. Ésta impedancia afecta la interacción entre la antena y sus circuitos asociados. La impedancia es un factor importante a tomar en cuenta en consideraciones de transferencia de potencia y ésta es la que frecuentemente limita el ancho de banda de operación de la antena. En muchas aplicaciones lo buscado es la condición de adaptación entre la línea de transmisión y la antena, donde se busca la adaptación conjugada de los circuitos o redes electrónicas vía líneas de transmisión [7]. Es de destacar que la medición de la impedancia de entrada es realizada en un único puerto y la misma se verá afectada por el ambiente alrededor de la antena. Por tal motivo la medición de la impedancia debe ser realizada en un ambiente libre de obstáculos que produzcan mínimas interferencias sobre ésta. La impedancia de entrada de una antena se define mediante la ecuación (1.1):

$$Z_a = R_a + j.X_a \quad (1.1)$$

dónde:

R_a representa la resistencia en los terminales de entrada.

X_a representa la reactancia en los terminales de entrada.

R_a se puede descomponer en una resistencia denominada resistencia de radiación R_r y una resistencia R_L que considera las pérdidas óhmicas de la antena.

$$R_a = R_r + R_L \quad (1.2)$$

El modelo equivalente de la antena actuando como transmisora y receptora se muestra en la figura 1.1, donde se ha mostrado su circuito equivalente de Thevenin.

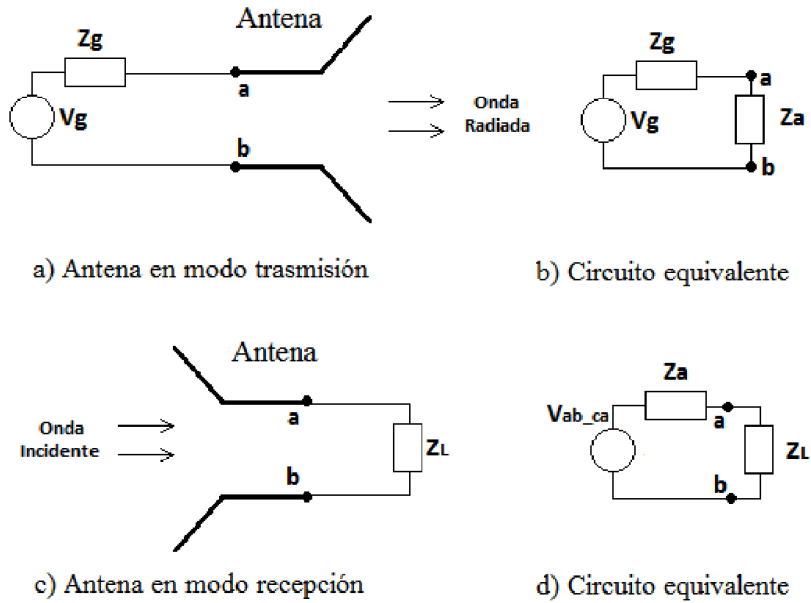


Figura 1.1: Antena y su circuito equivalente en su modo transmisión y recepción. Fuente: El Autor.

En la figura 1.1a se muestra la antena en su modo transmisión conectada con una fuente de tensión (transmisor) y la impedancia asociada a la misma. De igual manera se muestra, el modelo en recepción de la antena, donde se visualiza la fuente de tensión $V_{ab_{ca}}$, que representa la tensión inducida en los terminales a y b en circuito abierto cuando sobre la misma incide una onda E_i que se propaga en el espacio libre. La

1.2 Técnicas de medición de la impedancia propia y mutua de una antena.

impedancia Z_L representa una carga conectada en los bornes a y b. La tensión $V_{ab_{ca}}$ puede ser determinada utilizando el principio de reciprocidad de Lorentz [2, 3, 4, 10].

Cuando existe en el entorno de la antena transmisora otra antena u objetos metálicos, estos pudiéndose encontrar en la zona cercana, intermedia y lejana de la antena, existirá un acoplamiento entre estos y la antena transmisora y tal acoplamiento será débil o fuerte dependiendo de la cercanía entre ellos. El acoplamiento tendrá una influencia directa en la impedancia en el punto de alimentación o en bornes de entrada de la antena trasmisora. Ésta impedancia la denotamos como " Z_{e1} ", la cual dependerá tanto de la impedancia propia de la antena Z_a (la impedancia de entrada de la antena en ausencia de obstáculos o de cualquier otro elemento) y de la impedancia mutua entre la antena bajo estudio y otros obstáculos. El acoplamiento se deriva del principio de reciprocidad de Lorentz y el mismo se puede modelar de manera circuital utilizando un cuadripolo formado por dos antenas, ambas en el espacio, con bornes de entrada en las regiones terminales de las antenas, tal como se muestra en la figura 1.2.

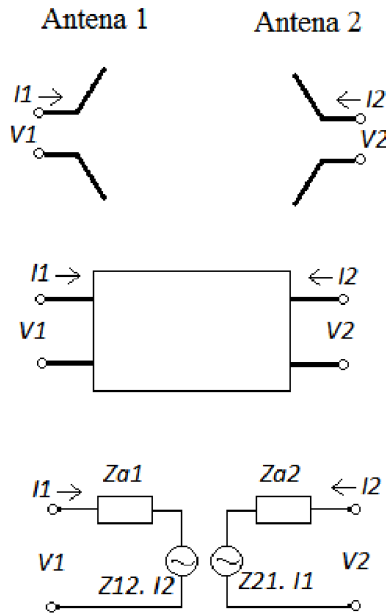


Figura 1.2: Circuito equivalente entre las antenas 1 y 2. Fuente: El Autor.

En la figura 1.2 muestra que en la antena 2 se inducirá una tensión que será proporcional al producto de la corriente que circula en la antena 1 multiplicada por la impedancia mutua entre ambas antenas. El cuadripolo está representado por las siguientes relaciones de tensión -corriente[4]:

$$\begin{cases} V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{cases} \quad (1.3)$$

aquí las impedancias Z_{11} y Z_{22} , representan las impedancias propias respectivas a cada antena, es decir, $Z_{a1}=Z_{11}$ y $Z_{a2}=Z_{22}$.

En tal sentido las impedancias de entrada en los bornes de alimentación de las antenas 1 y 2 del cuadripolo vienen dadas por las ecuaciones 1.4 y 1.5

$$Z_{e1} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{a1} + Z_{12} \cdot \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \quad (1.4)$$

$$Z_{e2} = \frac{V_2}{I_2} = Z_{a2} + Z_{21} \cdot \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \quad (1.5)$$

donde

$$Z_{11} = Z_{a1} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad (1.6)$$

$$Z_{22} = Z_{a2} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0} \quad (1.7)$$

y las impedancias mutua entre ambas antenas se obtendrán de la siguiente manera:

$$Z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \quad (1.8)$$

$$Z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad (1.9)$$

Se demuestra por el teorema de reciprocidad, que en un medio homogéneo, lineal e isotrópico las impedancias mutuas, mostradas en la figura 1.2 entre ambas antenas son iguales, es decir, $Z_{12} = Z_{21}$ [3].

Si la salida del cuadripolo, antena 2, se carga con una impedancia Z_2 , la expresión de la impedancia de entrada del mismo, vendrá dada por la siguiente ecuación (1.10)

$$Z_{e1} = Z_{a1} \cdot \left(1 - \frac{Z_{12}^2}{Z_{a1} \cdot (Z_{a2} + Z_2)} \right) \quad (1.10)$$

y si el acoplamiento de las antenas es débil[2],

$$\left\| \frac{Z_{12}^2}{Z_{a1} \cdot (Z_{a2} + Z_2)} \right\| \leq 0,01 \quad (1.11)$$

se puede decir, que:

$$Z_{e1} = Z_{a1} \quad (1.12)$$

De la ecuación (1.11) se vislumbra que si el acoplamiento entre dos antenas es débil, la impedancia en bornes de entrada de la antena Z_{e1} será igual a la impedancia propia de la misma Z_a . En el procedimiento para medir la impedancia propia de la antena Z_a , deben cumplirse determinadas condiciones que no afecten la medición de la misma. Ver Ref.[2] sección 3.4.

1.2.1. Medición de la Impedancia propia y mutua de una antena en forma experimental

Los procedimientos para medir la impedancia propia de una antena consisten en utilizar líneas ranuradas, puentes de impedancias y de muy común uso es utilizar analizadores de redes[7], donde directamente éstos instrumentos permiten conocer en todo un barrido de frecuencias la componente resistiva y reactiva de la impedancia medida. Al medir la impedancia de entrada de una antena debe tomarse en cuenta la línea de transmisión usada para conectar la antena al equipo medidor. Por tal motivo en el procedimiento de medir la impedancia de entrada de una antena, previamente haber cumplido con los requisitos o condiciones para llevar con éxito una medición correcta, se realizan dos mediciones:

- * Se conecta la línea al equipo de medición y en su otro extremo se conecta un corto circuito. Luego se mide la impedancia que se obtiene al comienzo de la línea (Z_{e1}), en todo el rango de frecuencia donde se pretenda hacer la medición.
- * Luego se conecta al final de la línea de transmisión la antena y se mide la impedancia que presenta la misma al inicio de la línea (Z_{e2})

El procedimiento bosquejado arriba, presenta la ventaja que elimina la necesidad de conocer el producto ($L.\gamma$), siendo “L” la longitud de la línea y “ γ ” su constante de propagación.

Con el procedimiento enunciado anteriormente, se determina el coeficiente de reflexión de la antena con la siguiente expresión [2]:

$$\Gamma_a = \frac{(Z_o - Z_{e2}) \cdot (Z_o + Z_{e1})}{(Z_{e1} - Z_o) \cdot (Z_{e2} + Z_o)} \quad (1.13)$$

Donde Z_o es la impedancia característica de la línea de transmisión. A partir del coeficiente de reflexión se determina la impedancia propia de la antena (Z_a).

En el siguiente trabajo, el procedimiento de medición de la impedancia de entrada de una antena se realizará en un ambiente simulado utilizando un programa basado en el Código Electromagnético Numérico (NEC). Ver Capítulo 2. El mismo permite calcular impedancias de entrada de antenas por el método numérico denominado Método de los Momentos (MOM) Sección. 2.3. Tal medición podrá realizarse tomando en cuenta que en las cercanías de la antena bajo prueba (ABP) se encuentra otras antenas u objetos metálicos. Como se mencionó en párrafos anteriores, la presencia de otra antena afectara la impedancia de entrada de la antena, dependiendo de la cercanía de ésta con la ABP.

De acuerdo a la figura 1.2 puede verse que la impedancia propia de la antena 1 podrá obtenerse haciendo que en los terminales de la antena 2 se encuentren en circuito abierto, por lo que en esta situación, la corriente I_2 será igual a cero y no reflejará su efecto sobre la antena 1. Mediante este procedimiento y utilizando un programa de simulación capaz de calcular la impedancia en bornes de alimentación de la antena 1, dicha impedancia será igual a la impedancia propia. Dicho procedimiento se muestra en la figura 1.3. Con éste procedimiento la impedancia propia Z_{11} se obtendrá como:

$$Z_{11} = Z_{a1} = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{I_2=0} \quad (1.14)$$

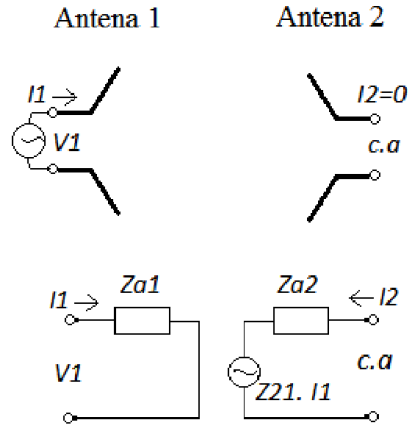


Figura 1.3: Cálculo de la impedancia propia de la antena 1 en presencia de una antena 2. Fuente: El Autor.

Para un sistema de n antenas de acuerdo al principio de superposición los voltajes y corrientes en los terminales de cada una de ellas vendrán dados por:

$$\begin{cases} V_1 = Z_{11}.I_1 + Z_{12}.I_2 + \cdots + Z_{1n}.I_n \\ V_2 = Z_{21}.I_1 + Z_{22}.I_2 + \cdots + Z_{2n}.I_n \\ \vdots \\ V_n = Z_{n1}.I_1 + Z_{n2}.I_2 + \cdots + Z_{nn}.I_n \end{cases} \quad (1.15)$$

por lo que la impedancia propia Z_{nn} de cada antena se determinará mediante la relación V_n/I_n , cuando las corrientes restantes $n-1$, todas valgan cero, es decir:

$$Z_{nn} = \frac{V_n}{I_n} \Big|_{I_m=0 \forall m \neq n} \quad (1.16)$$

La impedancia mutua entre dos o más elementos o antenas es definida de acuerdo a [7] como:

$$Z_{mn} = \frac{V_m}{I_n} \Big|_{I_m=0 \forall m \neq n} \quad (1.17)$$

donde I_n es la corriente en el punto de alimentación del elemento en estudio “n”, y V_m es el voltaje producido por elemento “m”, cuando todos los elementos, excepto el elemento en estudio están en circuito abierto en sus puntos de alimentación. Los terminales de referencia o puntos de alimentación en los cuales los voltajes y corrientes son determinados o calculados son seleccionados como aquellos donde el patrón de corriente es máximo en la porción del elemento radiante.

De acuerdo al principio de superposición en un sistema de n antenas, los voltajes y corrientes en los terminales de entrada de cada una de ellas vendrán dados por la ecuación (1.15) por lo que la impedancia en los terminales de alimentación de cada antena o elemento se determinará como a continuación :

$$\begin{cases} Z_1 = Z_{11} + Z_{12} \cdot \frac{I_2}{I_1} + Z_{13} \cdot \frac{I_3}{I_1} + \dots + Z_{1n} \cdot \frac{I_n}{I_1} \\ Z_2 = Z_{21} \cdot \frac{I_1}{I_2} + Z_{22} + Z_{23} \cdot \frac{I_3}{I_2} + \dots + Z_{2n} \cdot \frac{I_n}{I_2} \\ \vdots \\ Z_n = Z_{n1} \cdot \frac{I_1}{I_n} + Z_{n2} \cdot \frac{I_2}{I_n} + Z_{n3} \cdot \frac{I_3}{I_n} + \dots + Z_{nn} \end{cases} \quad (1.18)$$

En un arreglo de antenas, en el cual la distribución de corriente es crítica para formar o diseñar un determinado patrón de radiación, es necesario determinar la impedancia de entrada de cada elemento tomando en cuenta las relaciones encontradas en la ecuación (1.18) y así diseñar el sistema de adaptación para la impedancia de entrada en vez de la impedancia propia [9].

El procedimiento para determinar la impedancia mutua entre dos elementos puede colocarse en práctica utilizándose algún software de modelado de antenas que determine voltaje y corrientes en puntos de excitación de las mismas. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente programas basados en NEC, determinan voltajes y corrientes en los puntos de alimentación de las antenas.

Por ejemplo, para determinar la impedancia mutua entre dos elementos o antenas se puede calcular Z_{12} de la ecuación (1.8) o utilizar un procedimiento descrito en la sección 3.5 de la Ref.[2], mediante la ecuación:

$$Z_{12}^2 = Z_{e1} \cdot (Z_{e2} - Z_2) \quad (1.19)$$

dónde en base a la Figura.1.4 , se tiene:

$Z_{e1} = Z_{11}$ es la impedancia en bornes de la antena 1, determinada cuando en bornes de alimentación de la antena 2, existe un circuito abierto

$Z_{e2} = Z_{22}$ es la impedancia en bornes de la antena 2, determinada cuando en bornes

de alimentación de la antena 1, existe un circuito abierto y

Z_2 es la impedancia en bornes de la antena 2, cuando en bornes de la antena 1 existe un corto circuito.

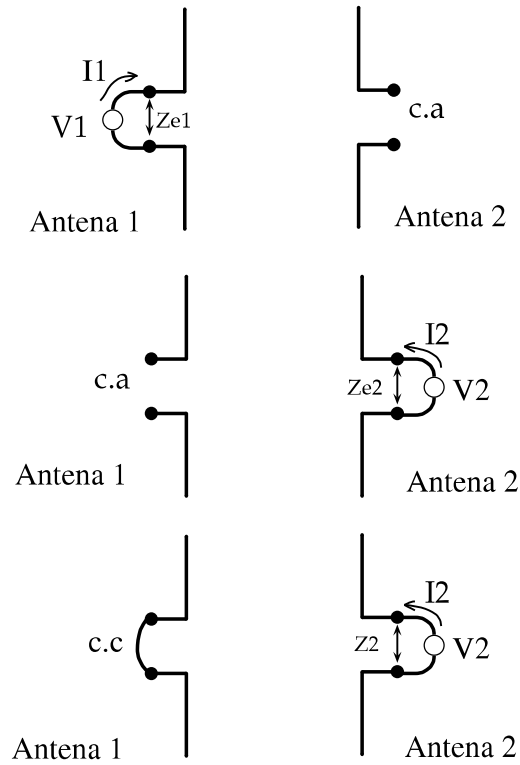


Figura 1.4: Procedimiento para la determinación de la impedancia mutua entre dos antenas. Fuente: El Autor.