1.5. Medición de la Polarización de una Antena.

La polarización de una onda se define de acuerdo a la Ref. [4] por la curva registrada por el campo eléctrico instantáneo radiado por la antena en un plano perpendicular a la dirección radial de propagación, tal como se muestra en la Figura. 1.15. El lugar geométrico de la curva registrada es usualmente una elipse. En un sistema de coordenadas esféricas la elipse de polarización se construye por las componentes ortogonales del campo eléctrico E_θ y E_ϕ. El sentido de rotación, también referido como el sentido de polarización se define como el sentido de rotación de la onda, cuando es observada a lo largo de su dirección de propagación. Ver Figura. 1.15.

La polarización general de una antena se caracteriza por los siguientes parámetros: razón axial (AR), el ángulo de inclinación (τ) y el sentido de rotación [1]. El sentido de rotación será:

- De sentido horario o polarización de mano derecha (Clockwise (CW) o right hand polarization (RHP))
- De sentido antihorario o polarización de mano izquierda (Counterclockwise (CCW) o left hand polarization (LHP)).

El ángulo de inclinación se muestra en la Figura. 1.15. A continuación se describirá cada uno de estos parámetros:

1. *Razón axial (AR),* es la relación de la longitud del eje mayor al eje menor de la elipse de polarización. Es el inverso de la razón de elipticidad de la elipse.
2. *Ángulo de inclinación* (τ) *(tilt angle)* , es el ángulo de orientación del eje mayor con respecto a un eje de referencia medido sobre un plano que contiene a la elipse de polarización. La elipse de polarización se posiciona sobre un plano perpendicular a la dirección de propagación (a_r) , denominado comúnmente plano de polarización. De acuerdo a [1] definición 2.394, el ángulo de inclinación (τ) es medido en sentido horario (clockwise) desde una línea de referencia (contenida en el plano de polarización) hasta el eje mayor de la elipse y la dirección de observar el plano de polarización debe ser en la dirección de propagación de la onda plana. Si el ángulo de inclinación se observa desde el punto de vista del receptor de la onda plana , tal ángulo debe medirse en sentido antihorario desde la misma línea de referencia hasta el eje mayor de la elipse. La línea de referencia que tiende a utilizarse es aquella donde está contenido el vector a_θ[7, 2]

De acuerdo a la expresión 1.26, el campe eléctrico se puede escribir.
$\mathbf{E} = E_\theta . a_\theta + E_\phi . a_\phi = V_o . e^{j.\psi_a} \left[F_\theta(\theta,\phi) . \mathbf{a}_\theta + F_\phi(\theta,\phi) . \mathbf{a}_\phi \right] \frac{e^{(-j.k.r)}}{r}$
por lo que el vector polarización puede escribirse de acuerdo a [14] como:

$$\mathbf{p}(\theta,\phi) = \frac{\left[F_\theta(\theta,\phi) . \mathbf{a}_\theta + F_\phi(\theta,\phi) . \mathbf{a}_\phi \right]}{F(\theta,\phi)} \tag{1.73}$$

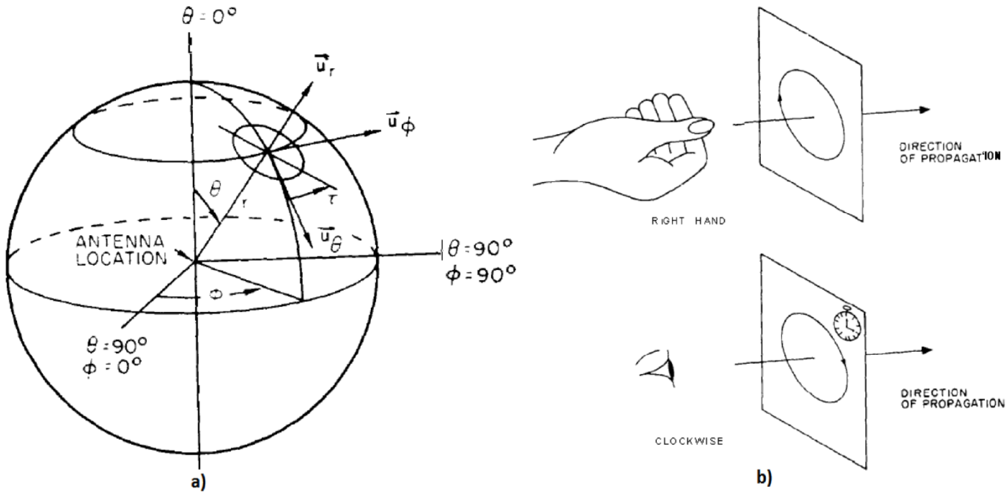

Figura 1.15: Sentido de rotación del campo eléctrico y sistema de coordenadas de la antena. Fuente: IEEE Standart Test Procedures for Antennas, IEEE Std 149-1979.

el vector unitario de polarización describe la forma de variación en el tiempo del campo eléctrico en un plano normal a la dirección de propagación y es de módulo unidad ($\mathbf{p}(\theta,\phi)\cdot\mathbf{p}(\theta,\phi)^{*}=1$). El mismo puede descomponerse de acuerdo a [2] como dos componentes lineales complejas de la forma:

$$\mathbf{p}(\theta,\phi) = p_{\theta}(\theta,\phi).a_{\theta} + p_{\phi}(\theta,\phi).a_{\phi} \tag{1.74}$$

dónde las funciones $p_{\theta}(\theta,\phi)$ y $p_{\phi}(\theta,\phi)$ indican en amplitud y fase de las componentes relativas de vector campo eléctrico E_{θ} y E_{ϕ} respectivamente.

En el análisis del vector polarización se recomienda de acuerdo la Ref.[2] expresar el vector fasorial $\mathbf{p}(\theta,\phi)$ en otra base vectorial ortogonal, tal que sus versores indiquen las componentes principal y cruzada del vector campo eléctrico radiado. De tal forma, el vector polarización en esta base vectorial puede ser expresado como:

$$\mathbf{p}(\theta,\phi) = \mathbf{a_{pr}}.\alpha\,(\theta,\phi) + \mathbf{a_{par}}.\alpha_{par}\,(\theta,\phi)\,.e^{j.\Phi(\theta,\phi)} \tag{1.75}$$

dónde:

$\mathbf{a}_{pr}$ es el vector unitario que representa la polarización principal o fundamental o componente deseada (CP)

$\mathbf{a}_{par}$ es el versor que representa la componente secundaria (cruzada) parásita o componente no deseada (XP)

$\alpha\,(\theta,\phi)$ es una función que representa la magnitud relativa de las componente principal de polarización o componente Copolar (CP)

$\alpha_{par}\,(\theta,\phi)$ es una función que representa la magnitud de la componente secundaria o parásita del vector polarización, denominada también componente Contrapolar (XP)

[14] y se obtiene como $\alpha_{par}(\theta,\phi) = \sqrt{1-\alpha^2(\theta,\phi)}$.

$\Phi(\theta,\phi)$ representa el desfasaje entre la componente parásita y principal.

Como se ha demostrado en [2], el vector polarización en el dominio del tiempo puede ser representado como la ecuación paramétrica de una elipse, gobernada por la siguiente expresión:

$$\frac{u^2}{\alpha^2} + \frac{2.u.v.cos(\Phi)}{\alpha.\sqrt{1-\alpha^2}} + \frac{v^2}{1-\alpha^2} = sen^2(\Phi) \tag{1.76}$$

la representación de esta elipse se muestra en la Figura. 1.16, y como se mencionó anteriormente, la misma se encuentra en el plano formado por las coordenadas (u,v) tangente a la superficie esférica que pasa por el punto (r,θ,ϕ) (ver Figura. 1.15) de zona lejana y ortogonal a la dirección de propagación. El eje "u" coincide con la dirección donde se encuentra la componente de polarización principal y el eje "v" donde se encuentra la componente cruzada o parásita del campo. En la Figura. 1.16 se muestra la elipse polarización una onda que viaja *acercándose* al lector.

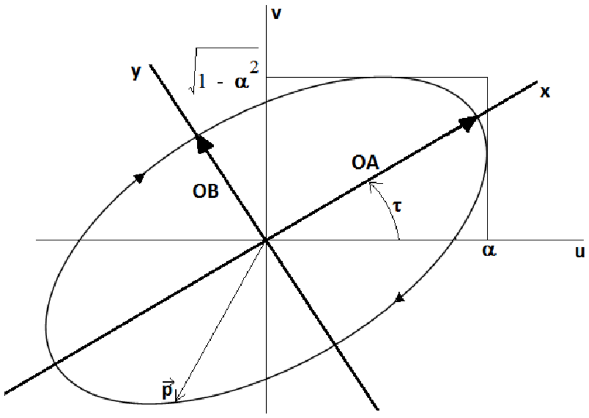

Figura 1.16: Elipse de polarización. Fuente: El Autor.

El ángulo de rotación del campo eléctrico dependerá de Φ, y será:

- Polarización derecha o de sentido horario (CW), para valores de $0 < \Phi < \pi$
- Polarización izquierda o en sentido antihorario (CCW), para valores de $-\pi < \Phi < 0$

La razón axial es el inverso del coeficiente de elipticidad, y ésta viene dada por el cociente del lado OA entre el lado OB, ver Ref.[14], es decir:

$$AR = \frac{Longitud\ del\ eje\ mayor}{Longitud\ del\ eje\ menor} = \frac{OA}{OB} \tag{1.77}$$

cuyo valor oscila $(1 \leq AR \leq \infty)$. En decibelios este valor se expresa como:

$$AR_{dB} = 20.Log_{10}\left(\frac{OA}{OB}\right) \tag{1.78}$$

Los parámetros básicos que describen o caracterizan la polarización del campo eléctrico se obtienen de la elipse de polarización mediante las siguientes expresiones obtenidas en la Ref. [2] las cuales se han puesto en función de las variables “AR” y “τ”

$$\alpha = \sqrt{\frac{AR^2.cos^2(\tau) + sen^2(\tau)}{1 + AR^2}} \tag{1.79}$$

$$\Phi = arctan\left(\frac{2}{(AR^2 - 1).sen^2(2\tau)}\right) \tag{1.80}$$

Existe una relación entre la base vectorial esférica $(\mathbf{a}_\theta, \mathbf{a}_\phi)$ y la base vectorial donde el vector polarización se ha descompuesto en una componente principal y una componente cruzada $(\mathbf{a_{pr}}, \mathbf{a_{par}})$, éstas relaciones son descritas en la Ref.[2],

- *Polarización lineal vertical*

$$\begin{cases} a_{pr} = a_\theta \\ a_{par} = -a_\phi.e^{j.\phi} \end{cases} \tag{1.81}$$

por lo que el vector polarización vendrá dado por :

$$\mathbf{p}(\theta, \phi) = \mathbf{a}_\theta.\alpha - \mathbf{a}_\phi.\left(\sqrt{1-\alpha^2}\right)e^{j.\phi} \tag{1.82}$$

donde ϕ es un ángulo cualquiera. Si se hace $\alpha = 1$, el vector polarización queda como:

$$\mathbf{p}(\theta, \phi) = \mathbf{a}_\theta \tag{1.83}$$

- Polarización lineal horizontal

$$\begin{cases} \mathbf{a_{pr}} = \mathbf{a}_\phi \\ \mathbf{a_{par}} = \mathbf{a}_\theta.e^{j.\phi} \end{cases} \tag{1.84}$$

y el vector polarización será:

$$\mathbf{p}(\theta, \phi) = \mathbf{a}_\phi\alpha + \mathbf{a}_\theta\left(\sqrt{1-\alpha^2}\right).e^{j.\phi} \tag{1.85}$$

Si se hace $\alpha = 1$, el vector polarización queda como:

$$\mathbf{p}(\theta, \phi) = \mathbf{a}_\phi \tag{1.86}$$

- Polarización lineal inclinada

$$\begin{cases} \mathbf{a_{pr}} = \mathbf{a}_\theta.cos(\gamma) + \mathbf{a}_\phi.sen(\gamma) \\ \mathbf{a_{par}} = (\mathbf{a}_\theta.sen(\gamma) - \mathbf{a}_\phi cos(\gamma)).e^{j\phi} \end{cases} \tag{1.87}$$

donde γ es el ángulo medido desde la componente a_θ hasta el vector a_{pr}. Si se hace $\alpha = 1$, el vector polarización queda como:

$$\mathbf{p}(\theta, \phi) = \mathbf{a}_\theta.cos(\gamma) + \mathbf{a}_\phi.sen(\gamma) \tag{1.88}$$

- Polarización circular

$$\begin{cases} \mathbf{a_{pr}} = (j.\mathbf{a}_\phi + \mathbf{a}_\phi).\dfrac{1}{\sqrt{2}} \\ \mathbf{a}_{par} = (\mathbf{a}_\theta + j.\mathbf{a}_\phi).\dfrac{1}{\sqrt{2}} \end{cases} \tag{1.89}$$

Si se hace $\alpha = 1$, el vector polarización queda como: $\mathbf{p}(\theta, \phi) = (j.\mathbf{a}_\theta + \mathbf{a}_\phi).\dfrac{1}{\sqrt{2}}$, que es una polarización circular derecha.

Una figura de mérito que mide el nivel relativo de la componente parásita o cruzada del campo eléctrico a la componente principal en decibelios se determina de acuerdo a [2] como:

$$Ap_{dB} = 20.Log_{10}\left(\frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{\alpha}\right) \quad [dB] \tag{1.90}$$

también se encuentra en [14], una a definición semejante a la anterior que relaciona las componente principal (CP) y la componente cruzada (XP) denominada relación polar-contrapolar o razón crosspolar (CPR) definida de la siguiente manera [14]:

$$CPR_{dB} = 20.Log_{10}\left(\frac{CP}{XP}\right) = 20.Log_{10}\left(\frac{\alpha}{\sqrt{1-\alpha^2}}\right) \tag{1.91}$$

a medida que Ap_{dB} se aproxime a -∞ o CPR_{dB} se aproxime a ∞, significará que la componente secundaria o parásita del campo tiende a cero .

1.5.1. Técnicas para medir la polarización

Existen varias técnicas para medir la polarización de una antena. Las mismas están descritas en [4, 7, 11] y son clasificadas en tres categorías:

1. Métodos parciales. Dan información incompleta a cerca de la polarización, pero son simples y requieren equipos convencionales.

2. Métodos por comparación. Producen información completa de la polarización, sin embargo se requiere un antena estándar con una específica polarización.

3. Métodos absolutos. Producen información completa de la polarización y no se requiere de un estándar de polarización.

Dentro de los métodos parciales se tiene el del patrón o diagrama de polarización parcial. Éste es un método simple de implementar y será el explicado a continuación.

1.5.1.1. Método del diagrama de polarización Parcial.

Éste método permite obtener los parámetros de la elipse de polarización que son la razón axial (AR), y ángulo de inclinación(τ), sin embargo no proporciona información del sentido de giro del campo eléctrico. Este método no genera incerteza para antenas con polarización lineal. Para realizar la determinación del patrón de polarización de la antena bajo prueba, ésta puede operar en su modo recepción o transmisión. A continuación se detalla el procedimiento donde la antena bajo prueba opera en modo transmisión.

- *Antena bajo prueba operando en su modo trasmisión.* El método consiste en medir la magnitud de voltaje inducido en un dipolo o en cualquier otra antena de prueba linealmente polarizada la cual se encuentra en un plano tangente al frente esférico a la distancia de zona lejana "Ro". Bajo esta premisa el dipolo se ira rotando en un plano normal a la dirección del campo eléctrico incidente. La magnitud del voltaje es graficado en función del ángulo de rotación (γ) medido con respecto a la dirección del vector (a_θ) y rotado en sentido en sentido horario(clockwise) desde el punto de vista de la onda alejándose de la antena transmisora. El patrón también puede ser trazado desde el punto de vista del receptor de la onda; cuando se realiza de ésta forma, el ángulo (γ) debe ser medido en sentido antihorario desde el mismo eje donde se encuentra el vector (a_θ). Posteriormente se realiza un gráfico del voltaje obtenido del receptor con respecto al máximo medido en función del ángulo de inclinación (γ). La figura obtenida se le denomina *patrón de polarización.* Las distintas formas del patrón de polarización para las polarizaciones lineal, circular y elíptica son mostradas en la Figura. 1.17. En la Figura. 1.18 se muestra el procedimiento de medición del patrón de polarización.

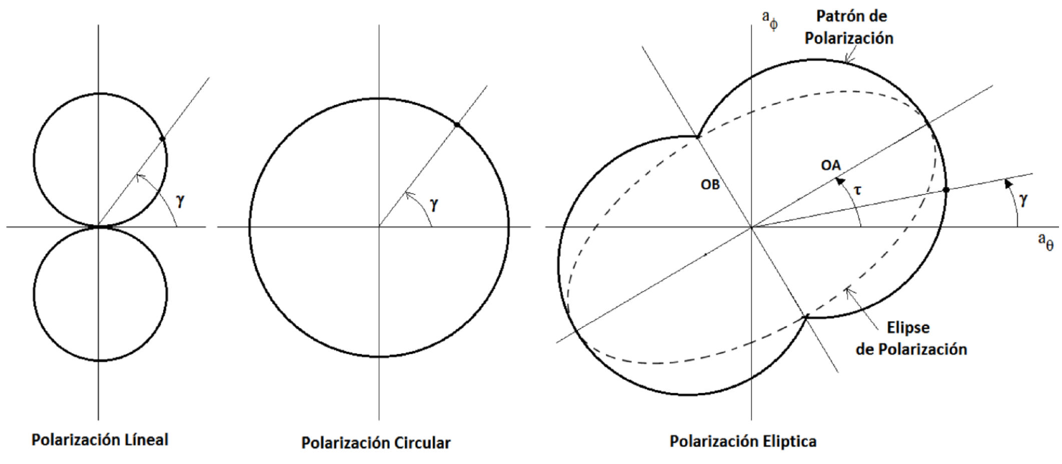

Figura 1.17: Método del patrón de polarización. Gráficos en plano de polarización vistos desde el punto de vista del receptor. Fuente: El Autor.

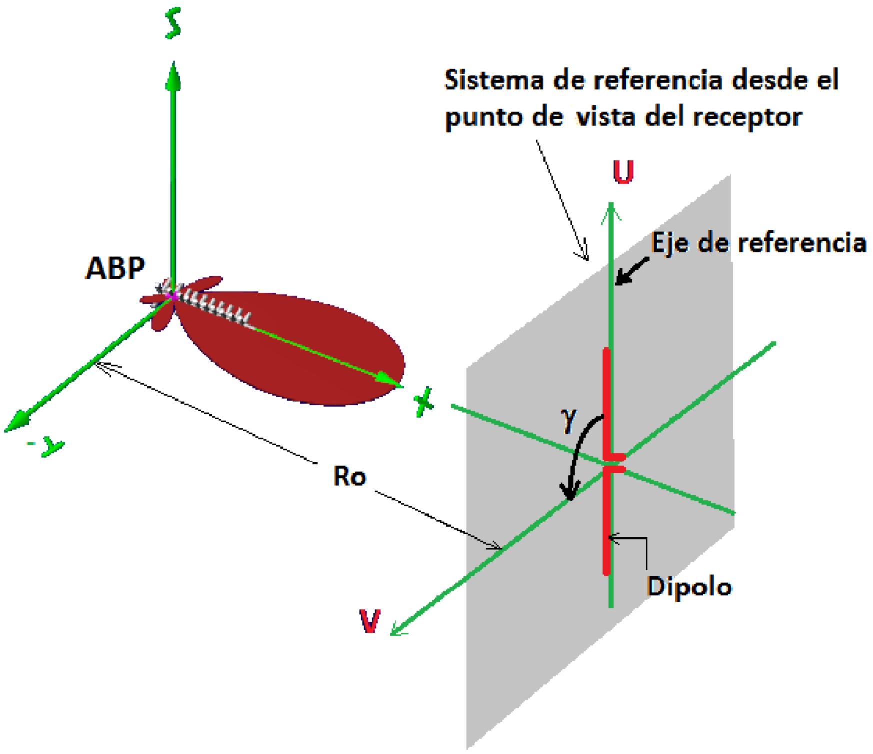

Figura 1.18: Procedimiento de medición del patrón de polarización. Fuente: El Autor.