

Curso Teórico sobre Medidas de Antenas

Prof. Dr. Jose Luis Besada Sanmartín

Dr. Leandro de Haro Ariet

Introducción

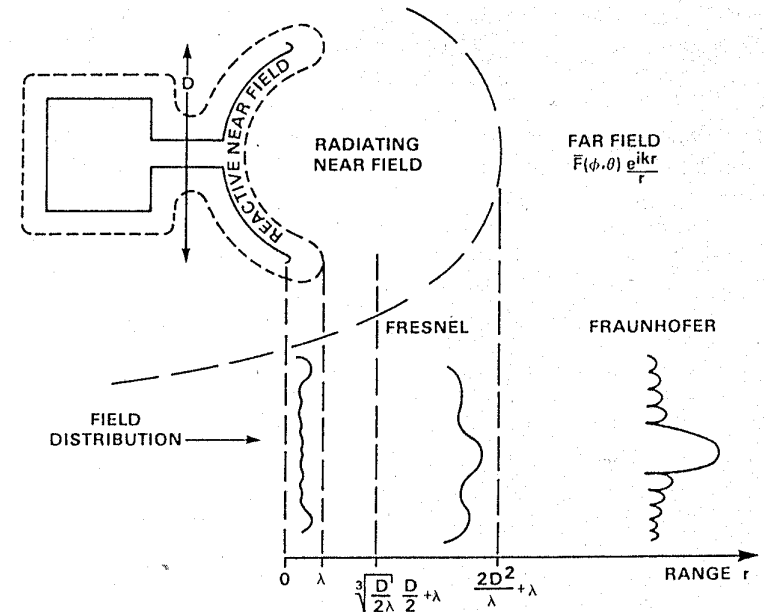
- **Bibliografía**
- **Zonas de Campo en torno a una Antena: Sistemas de Medida**
- **Parámetros de Radiación de una Antena**
 - Diagramas
 - Directividad
 - Ganancia
 - Polarización: Componentes Copolares y Contrapolares, Lineales y Circulares. Relación entre parámetros de polarización.
- **Criterios de diseño de sistemas de medida en Campo Lejano.**
- **Medidas clásicas en campo lejano**
 - Diagramas: Errores debidos a reflexiones. Efectos de la finitud de distancia
 - Ganancia: Errores de desadaptación de impedancias y de polarización.
 - Polarización: Asignación de ejes. Medidas directas CP-XP. Medidas indirectas (posibles errores). Medidas de relación axial vs frecuencia.

Bibliografía

- **Microwaves Antenna Measurements**
Hollis J.S., Lyon T.J. and Clayton L. Scientific Atlanta. 1970 (1983)
- **IEEE Standards Test Procedures for Antennas. IEEE Std. 149-1979**
John Wiley
- **The Handbook of Antenna Design. Chapter 8.**
A.W. Rudge et al (Ed.), Appel-Hansen J, et al. Peter Pelegrinus Ltd 1982
- **Spherical Near Field Antenna Measurements**
J.E. Hansen (TUD). IEE Electromagnetic Series. Peter Pelegrinus Ltd 1990.
- **Antenna Measurement Techniques**
G.E. Evans. Artech House Inc. 1990.
- **AMTA Proceedings.**
- **IEEE Transactions on Antennas and Propagation.**

Zonas de Campo en torno a la Antena

- El espacio que envuelve una antena se subdivide en tres regiones:
 - *Región de Campo Próximo Reactivo* ($r < \lambda$): Aquella región junto a la antena donde el campo reactivo predomina.
 - *Región de Campo Próximo Radiante* (Incluye la Zona de Fresnel): Región intermedia entre la de Campo Reactivo y la de Campo Lejano. Predominan las campos de radiación pero su distribución angular es función de la distancia a la antena.
 - *Región de Campo Lejano* (Zona de Radiación, Zona de Fraunhofer): La distribución angular del campo es prácticamente independiente de la distancia r a la antena.

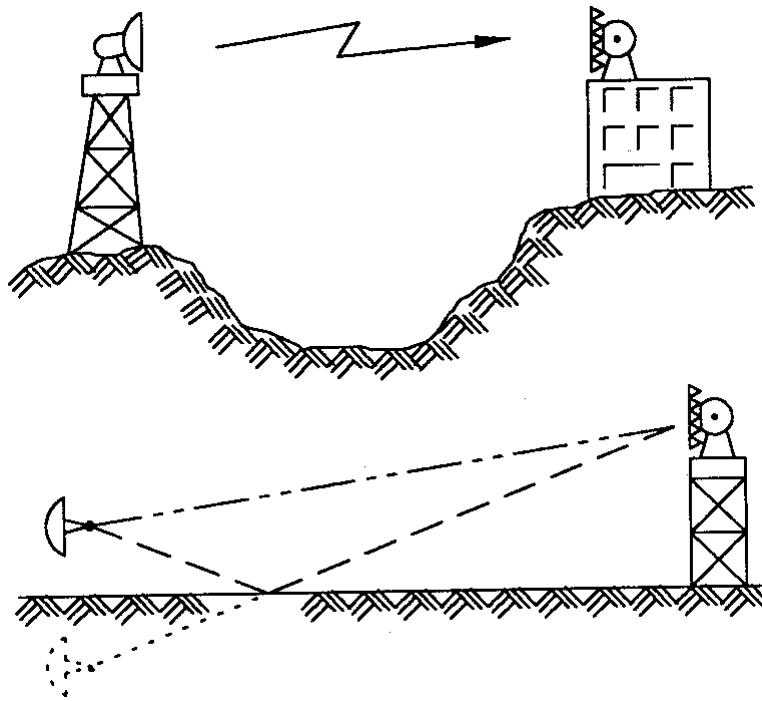


La condición de campo lejano es:

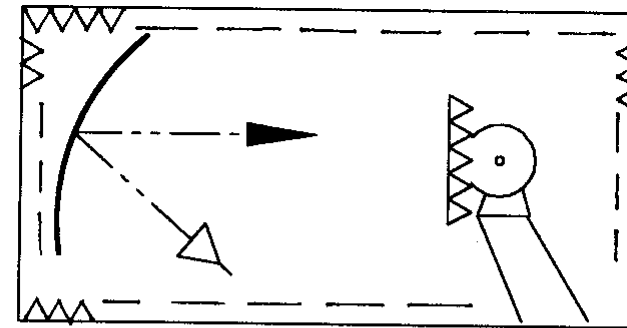
$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad \text{y} \quad r \gg \lambda$$

D: Dimensión máxima de la Antena

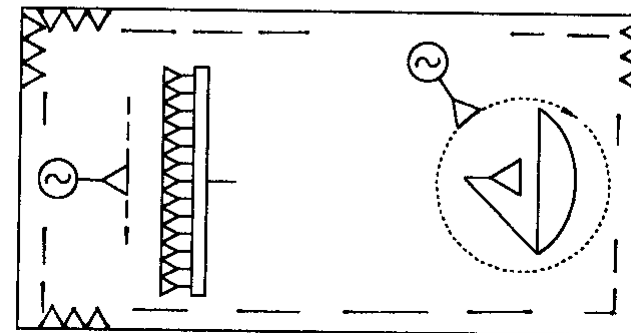
Sistemas de Medidas de Antenas



*Sistemas de Campo Lejano:
Elevado y en reflexión*



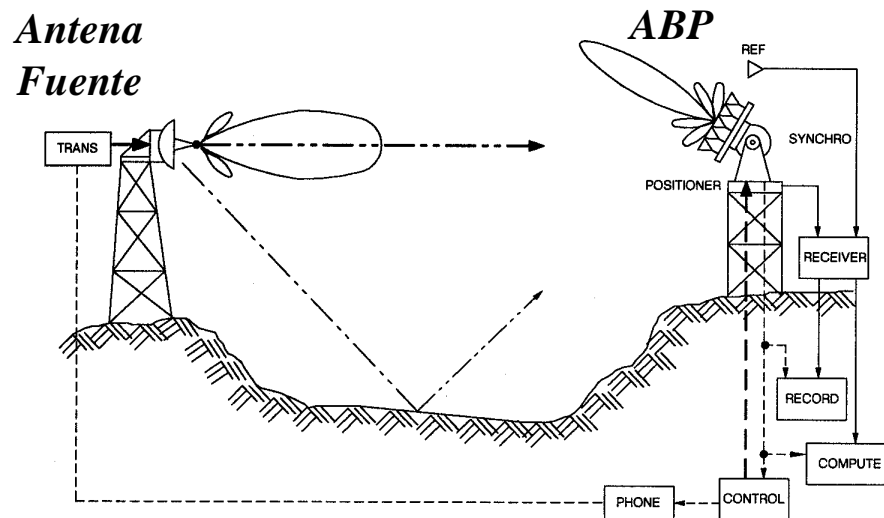
Sistema Compacto



*Sistemas de Campo Próximo:
Plano y Esférico*

Medidas Clásicas de Campo Lejano

- **La ANTENA BAJO PRUEBA (habitualmente en recepción) se ilumina por una ANTENA FUENTE.**
 - La antena fuente debe estar a suficiente distancia para que la onda incidente tenga características de onda plana:
 - Amplitud y fase cte. sobre un volumen que debe abarcar a toda la antena bajo medida.



NOTA:

La ABP se puede medir tanto en recepción como en transmisión (antena fuente receptora).

Los diagramas y parámetros obtenidos son IGUALES tal como pone de manifiesto el Teorema de Reciprocidad.

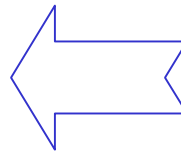
Criterios de Diseño de Sistemas de Medida en Campo Lejano

- Estos criterios determinan las características de la antena fuente y la distancia mínima (R) entre antenas.

① Acoplamiento reactivo

- Sólo importante a baja frecuencia.

$$R \geq 10\lambda \Rightarrow \frac{E_{1/r^2}}{E_{1/r}} \leq -36\text{dB}$$



Relación obtenida del campo de un dipolo corto

② Reradiación entre antenas.

- Sólo es importante con antenas muy mal adaptadas o soportes metálicos no bien cubiertos con absorbente.

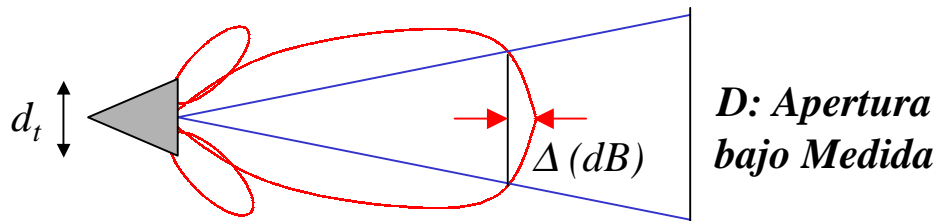
③ Variación longitudinal de amplitud.

- $R \geq 10 L$ (L longitud de la antena) \Leftrightarrow Variación ≤ 1 dB

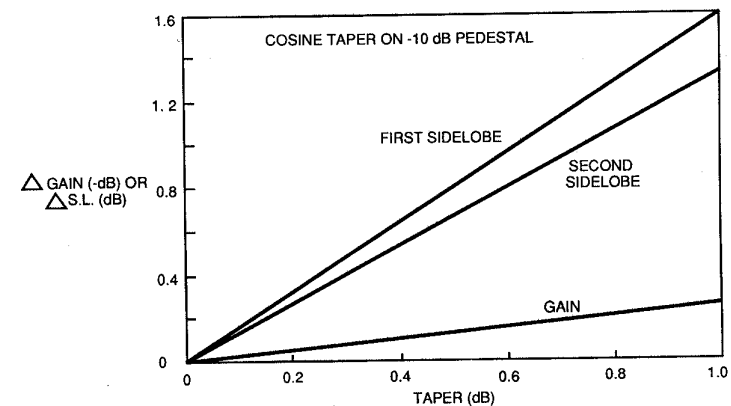
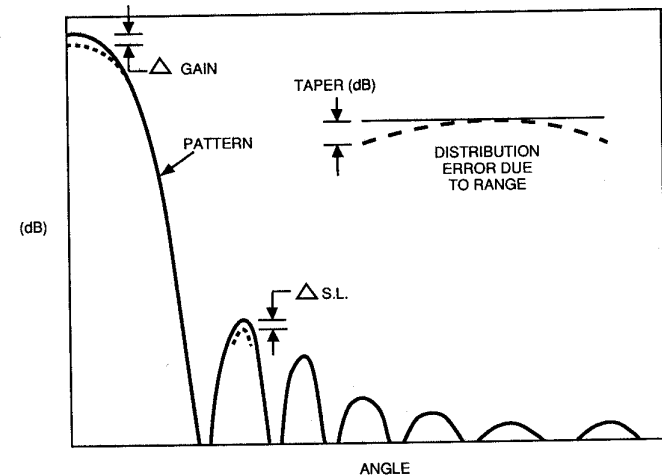
Criterios de Diseño de Sistemas de Medida en Campo Lejano

④ Decrecimiento transversal de la amplitud de la onda incidente, asociado al lóbulo de iluminación de la antena fuente.

- Reduce la ganancia medida y el nivel de SLL
- La iluminación coseno sobre pedestal de -10dB es representativa de un reflector parabólico
 - $\Delta = -0.5 \text{ dB} \Rightarrow \Delta G = -0.15 \text{ dB}$.



- **CRITERIO** $\Delta \approx -0.25 \text{ dB} \Rightarrow d_t$.



Criterios de Diseño de Sistemas de Medida en Campo Lejano

④ Variación de la fase sobre la apertura de la ABP.

- Reduce algo la ganancia.
- Aumenta los lóbulos secundarios adyacentes al principal y rellena los nulos entre ellos.

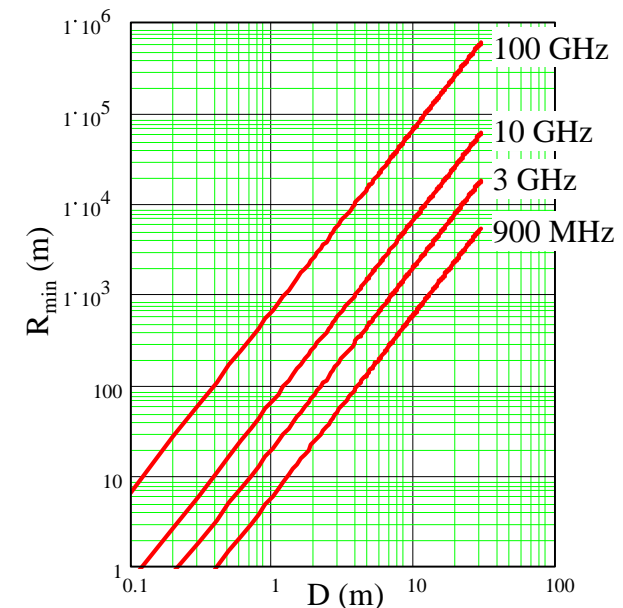
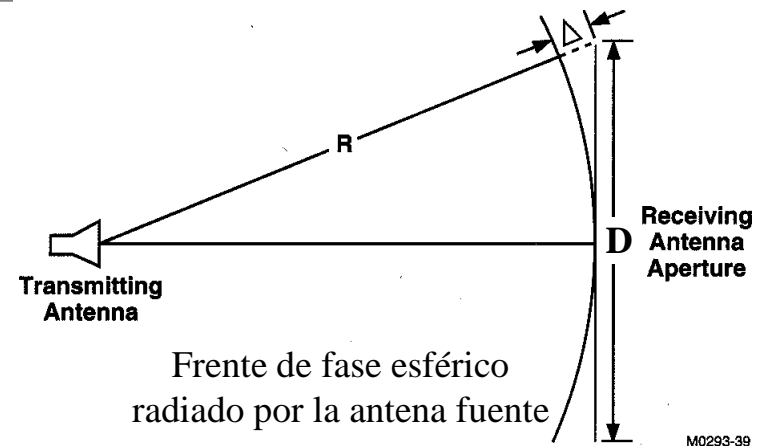
$$\Delta R \approx \frac{D^2}{8R} \quad \Delta \Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R \approx \frac{\pi D^2}{4\lambda R}$$

- CRITERIO DE DISTANCIA MÍNIMA

$$\Delta \Phi \leq \frac{\pi}{8}$$

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

Antena fuente en zona de campo lejano de la antena bajo medida (Reciprocidad)



Efectos de la Finitud de la Distancia de Medida

dB (INCREMENTO LOG. SEC.)

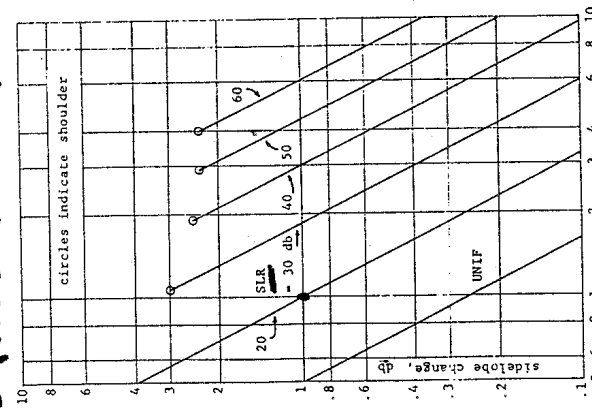


Fig. 1. Sidelobe change versus normalized measurement distance for Taylor n line source.

CATTERING
NORMAL

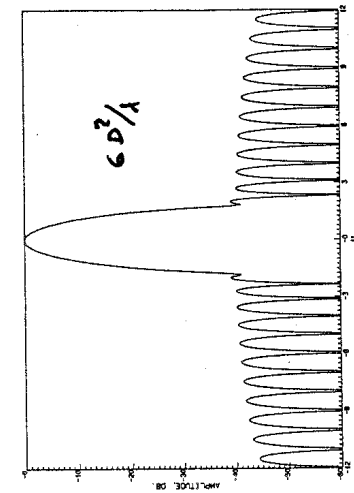


Fig. 2. Taylor space factor for $SLR = 40$ dB, $\bar{N} = 11$ at $6D^2/\lambda$.

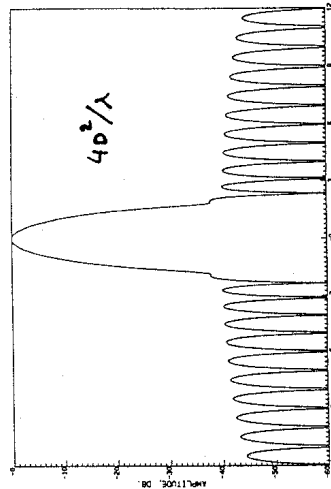


Fig. 3. Taylor space factor for $SLR = 40$ dB, $\bar{N} = 11$ at $4D^2/\lambda$.

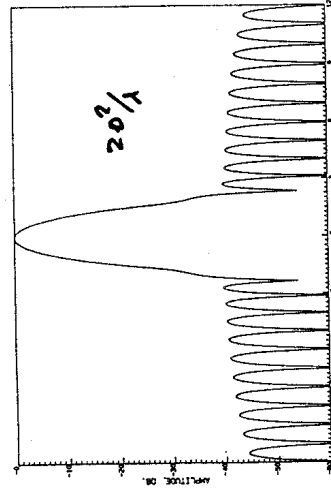


Fig. 4. Taylor space factor for $SLR = 40$ dB, $\bar{N} = 11$ at $2D^2/\lambda$.

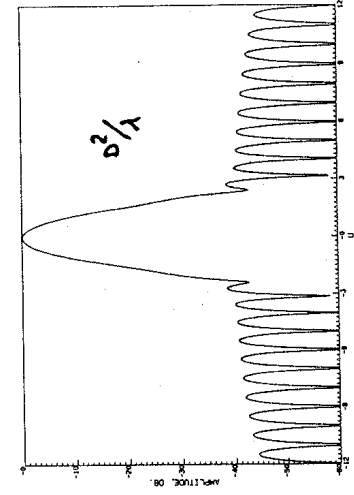
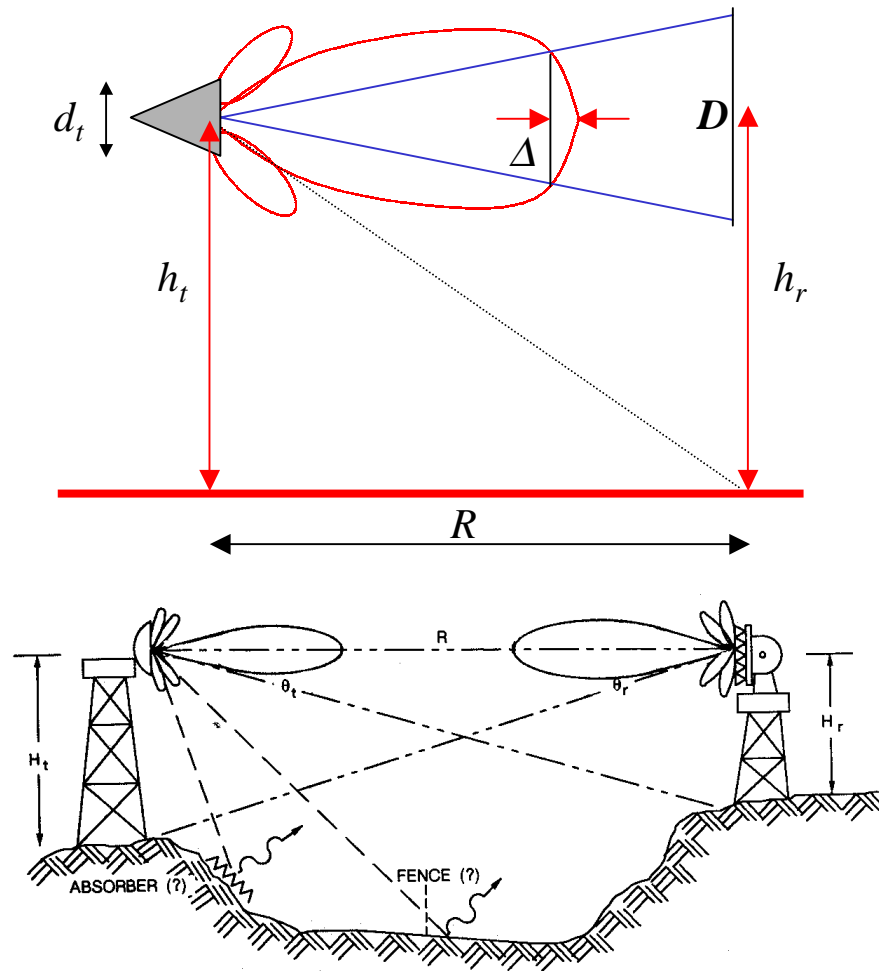


Fig. 5. Taylor space factor for $SLR = 40$ dB, $\bar{N} = 11$ at D^2/λ .

Diseño Típico de un Sistema Elevado



- **Condición de Fase: (Error en SLL)**

$$R = k \frac{D^2}{\lambda} \quad (k \geq 2)$$

- **Condición de Iluminación $\Delta \leq 0,25$ dB**

$$d_t \leq \frac{\lambda R}{4D}$$

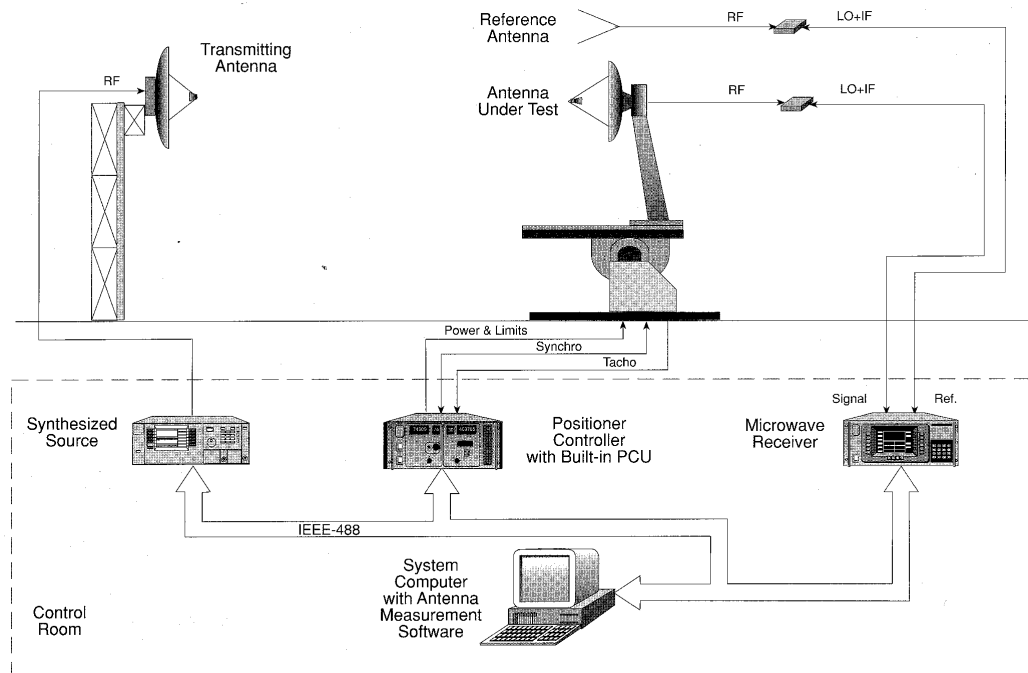
- **Condición de No iluminación del suelo**

Lóbulo Principal: $h_t = h_r \geq 4D$

1^{er} Lóbulo Secundario: $h_t = h_r \geq 6D$

Conviene utilizar antenas fuente con nivel de lóbulos secundarios reducido y depresiones del terreno para aumentar la altura de las posibles reflexiones.

Instrumentación Típica de un Sistema de Medida de Antenas



- Antena Fuente
- Posicionadores
- Sistema de Control de Posicionadores
- Instrumentación de RF
- Sistema y Software de Adquisición y Proceso

S/N	Error Amp.	Error Fase
20 dB	±0.9 dB	±5.7 °
30 dB	±0.28 dB	±1.8°
40 dB	±0.09 dB	±0.57°

Calculo de Potencias y Margen Dinámico

$$P_{Rmax} \text{ (dBm)} = P_T \text{ (dBm)} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) + G_T \text{ (dBi)} + G_R \text{ (dBi)} \leq P_{\text{Saturation}}$$

$$P_{Rmin} \text{ (dBm)} = \text{Sensibilidad}_{Rx} \text{ (dBm)} + (S/N_0) \text{ (dB)}$$

$$\text{Margen dinamico (dB)} = P_{Rmax} \text{ (dBm)} - P_{Rmin} \text{ (dBm)} \geq G_{ABP} \text{ (dBi)} + 10 \text{ dB}$$

Cálculo de las Cotas de Error debidas a Reflexiones Residuales

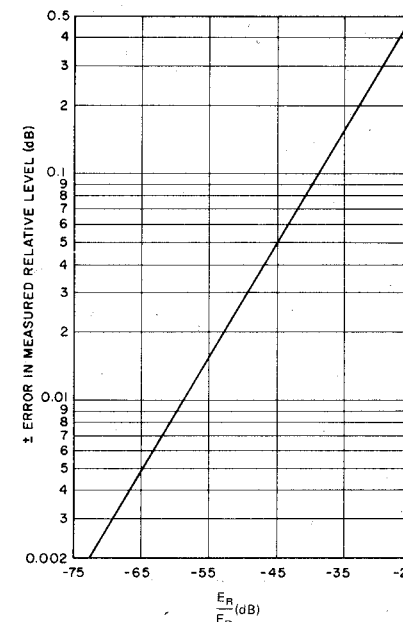
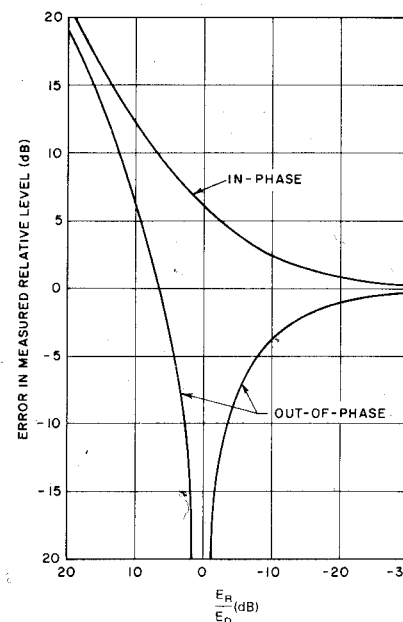
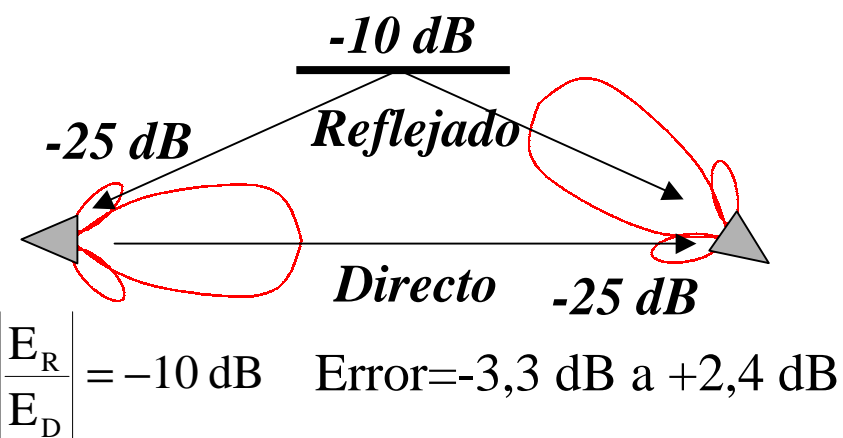
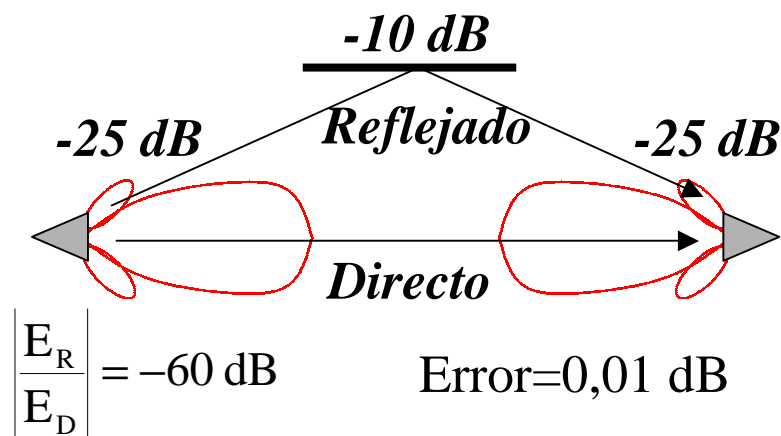
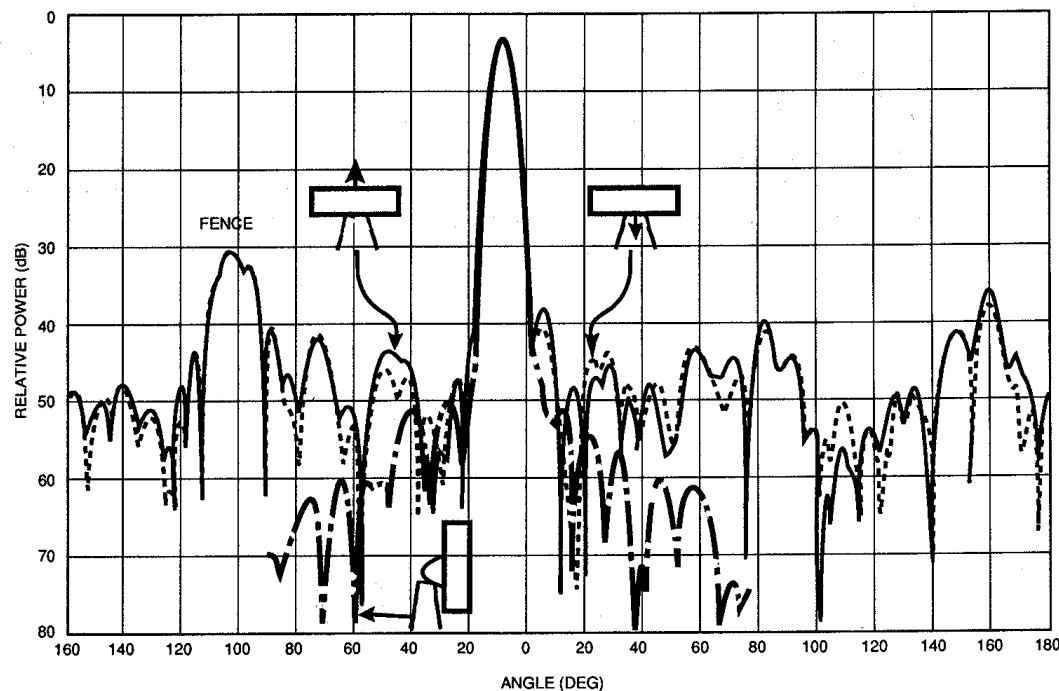
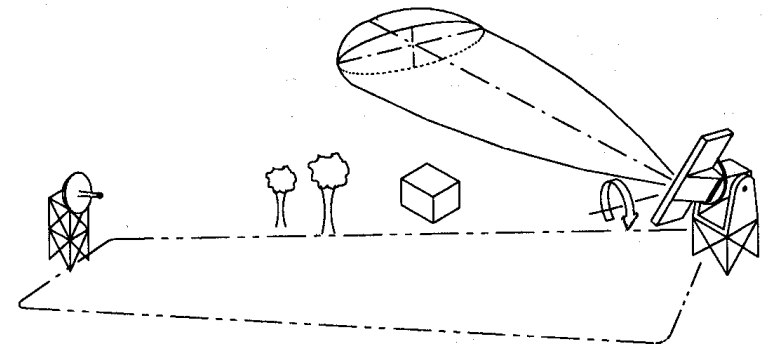
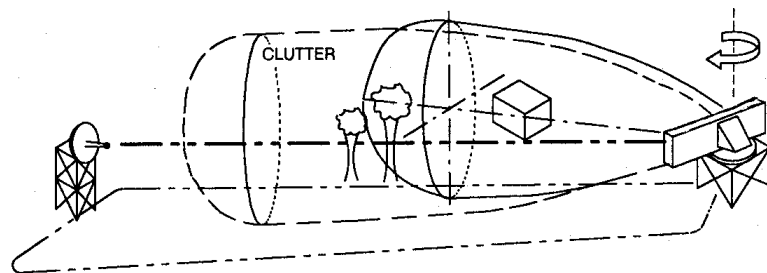


Fig 5

Possible Error in Measured Relative Pattern Level Due to Coherent Extraneous Signals
Linear Scales Are Employed for Signal Ratios of + 20 to -30 dB; the Plus-or-Minus Errors Are Essentially Equal for Ratios of - 25 dB or Less, as Indicated in the Logarithmic Plot for Ratios down to - 75 dB

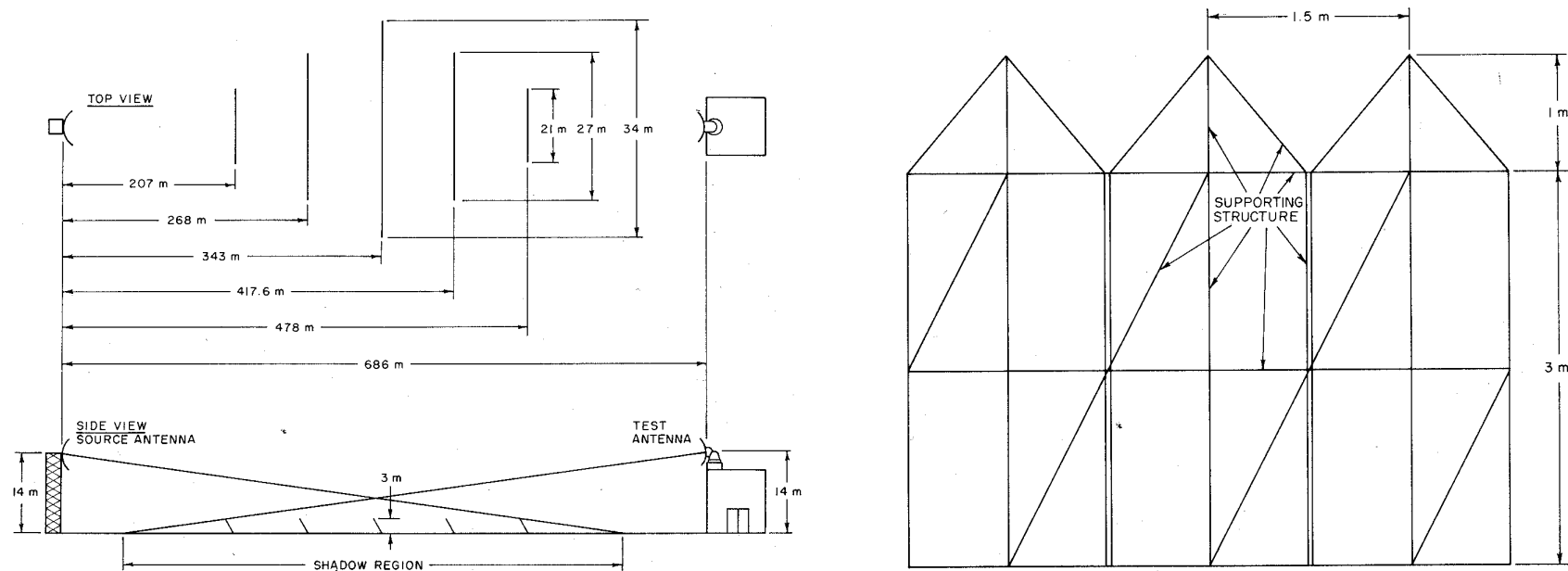
Técnicas de Medida para evitar Reflexiones



REGLAS BÁSICAS

- No apuntar nunca el lóbulo principal hacia el suelo.
- Con haces tipo abanico conviene medir los dos cortes en elevación.

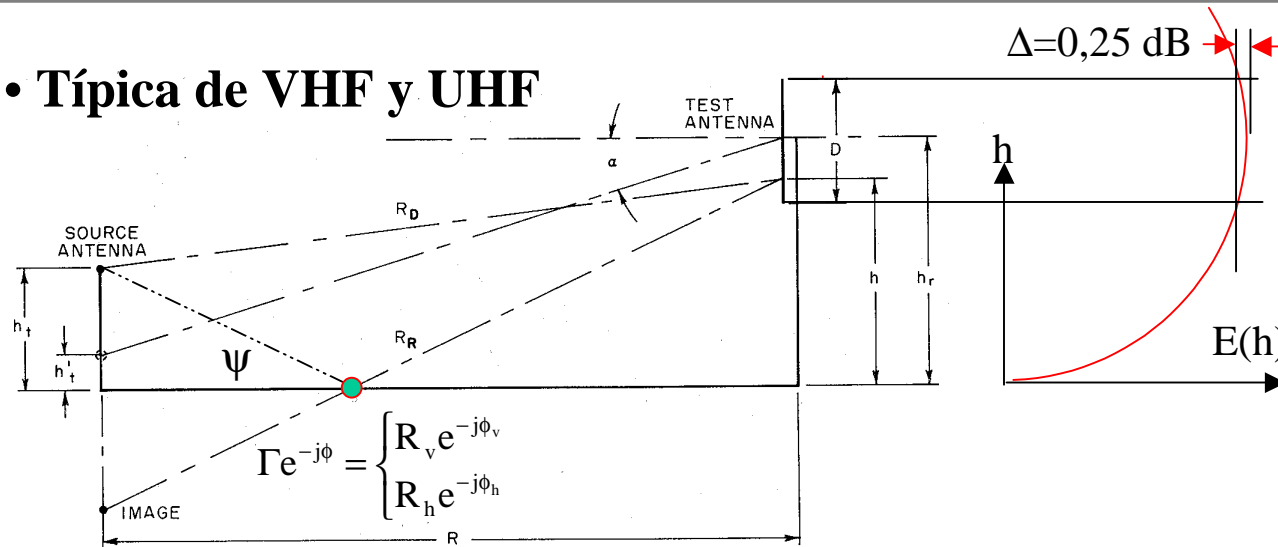
Vallas Difractantes para Reducir Reflexiones



- **Las vallas deben:**
 - cubrir en anchura unas 20 zonas de Fresnel y
 - las pilas aserradas tener una profundidad y una anchura de unas 5λ a la frecuencia inferior de funcionamiento

Diseño Típico de un Sistema por Reflexión

- Típica de VHF y UHF



$$\psi \rightarrow 0$$

Si Δh_{rms} rugosidad

$$\Delta h_{\text{rms}} < \frac{\lambda_{\text{min}}}{16 \sin \psi}$$

$$\phi_v, \phi_h \rightarrow 180^\circ$$

$$R_v, R_h \rightarrow 1$$

- Condición de Fase: (Error en SLL) $R = k \frac{D^2}{\lambda} \quad (k \geq 2)$

- Condición de Iluminación del diagrama interferente $\Delta \leq 0,25 \text{ dB}$: $h_r \geq 3.3D$

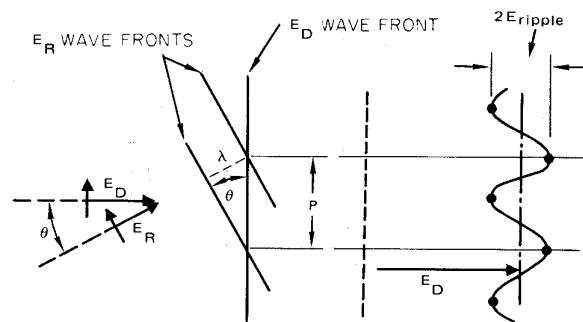
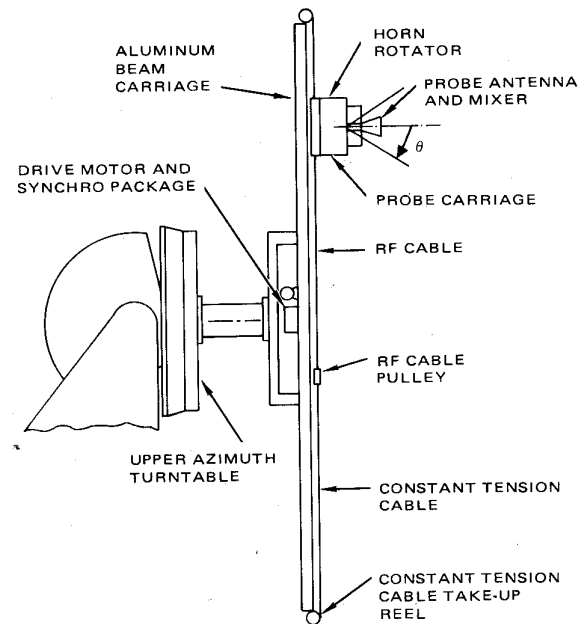
- Ajuste del máximo sobre el centro de la apertura: $h_t = \frac{\lambda R}{4h_r}$

Necesario ajustar a cada frecuencia

- Condición de Iluminación en el plano horizontal $\Delta \leq 0,25 \text{ dB}$: $d_t \leq \frac{\lambda R}{4D}$

Evaluación y Ajuste del Campo de Medida

Método de la sonda deslizante



- Utilizando una sonda deslizante se debe comprobar que el máximo de radiación de la fuente (o del lóbulo interferente) apunta al centro de la apertura de medida.
- Adquiriendo el campo de iluminación es posible detectar reflexiones espúreas y obtener su nivel.

$$P = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

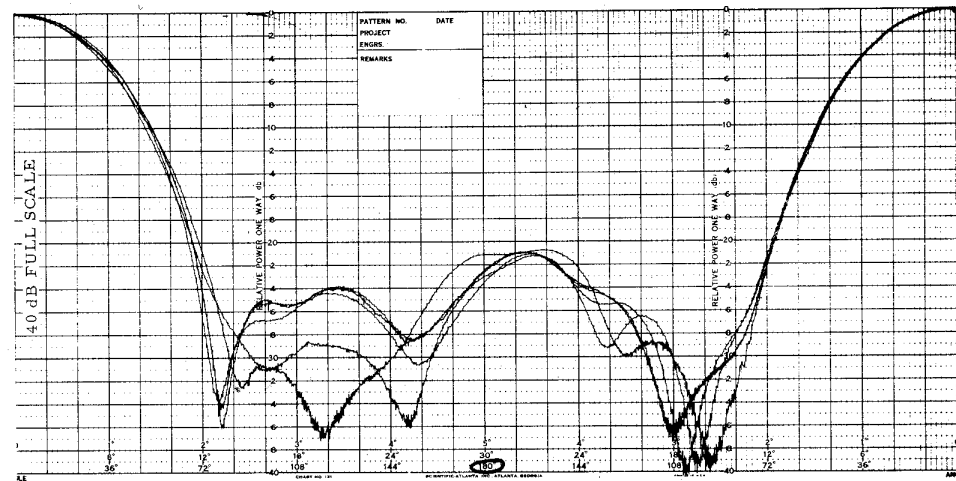
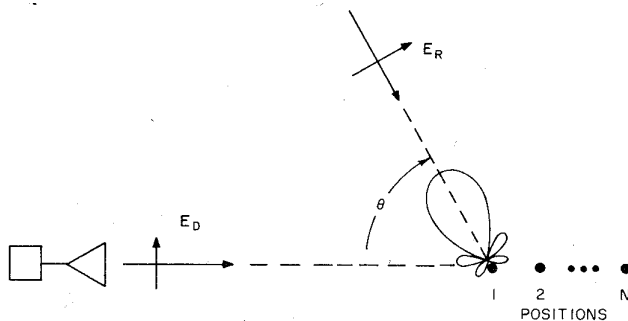
$$\frac{E_R}{E_D} (\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{-1 + 10^{\sigma/20}}{1 + 10^{\sigma/20}} \right)$$

σ = Rizado pico a pico en dB

Evaluación del Campo de Medida

Método de Comparación de Diagramas

- Es una forma de detectar reflexiones de gran ángulo (o comprobar su ausencia y la consistencia de una buena medida).
- Consiste en medir la misma antena en distintas posiciones a lo largo del eje del campo de forma que la señal directa y las reflejadas lleguen con distintas fases relativas a la ABP.
- La diferencia de máximo-mínimo y el valor medio para cada ángulo permite obtener el nivel de la señal reflejada (Transparencia 29).



ϕ = AZIMUTHAL PATTERN ANGLE (360°)

Medidas de Diagramas de Radiación

- **Directamente:**
 - Iluminando con la antena fuente polarizada de acuerdo con las componente copolares deseadas:
 - Lineales para CP-XP
 - Circulares para CPC-XPC
- **Indirectamente:**
 - Adquiriendo las componentes E_θ y E_ϕ para obtener por proceso:
 - E_{CP} - E_{XP} ,
 - E_{CPC} y E_{XPC}

Medidas de Ganancia

- **Suelen realizarse por comparación con la de un patrón, iluminando la antena bajo medida y el patrón con la misma fuente.**
 - Si hay adaptación de impedancias y de polarización:

$$G_{ABP}(\text{dB}) = G_{\text{Patron}}(\text{dB}) + 10 \log \left(\frac{P_{RABP}}{P_{R\text{Patron}}} \right)$$

- Corrección por desadaptación de impedancias:

$$\Delta_Z = -10 \log \left| \frac{(1 - |\Gamma_{ABP}|^2)(1 - |\Gamma_{Rx}|^2)}{|1 - \Gamma_{ABP}\Gamma_{Rx}|^2} \right| + 10 \log \left| \frac{(1 - |\Gamma_{Patron}|^2)(1 - |\Gamma_{Rx}|^2)}{|1 - \Gamma_{Patron}\Gamma_{Rx}|^2} \right|$$

- Un atenuador bien adaptado en el extremo del cable del receptor (justo pegado a la antena) simplifica la corrección puesto que $\Gamma_{Rx} \approx 0$.

Medidas de Ganancia: Requerimientos de Polarización de la Antena Fuente

- La ganancia de las antenas circularmente polarizadas se mide utilizando el método de las ganancias parciales, esto es sumando las ganancias para dos polarizaciones lineales (V y H) ortogonales de la antena fuente.

$$G_{ABP}(\text{dB}) = 10 \log(G_{ABPV} + G_{ABPH})$$

- Si la polarización de la antena fuente no es linealmente pura se cometen los siguientes errores de medida:

Errors in the Measured Gain of a Purely Circularly Polarized Antenna Due to a Finite Axial Ratio of the Transmitting Antenna

Transmitting Antenna Axial Ratio (dB)	Measurement Error [dB]	
	Same Sense	Opposite Sense
20	+0.828	-0.915
25	+0.475	-0.503
30	+0.270	-0.279
35	+0.153	-0.156
40	+0.086	-0.109
45	+0.049	-0.049
50	+0.027	-0.028

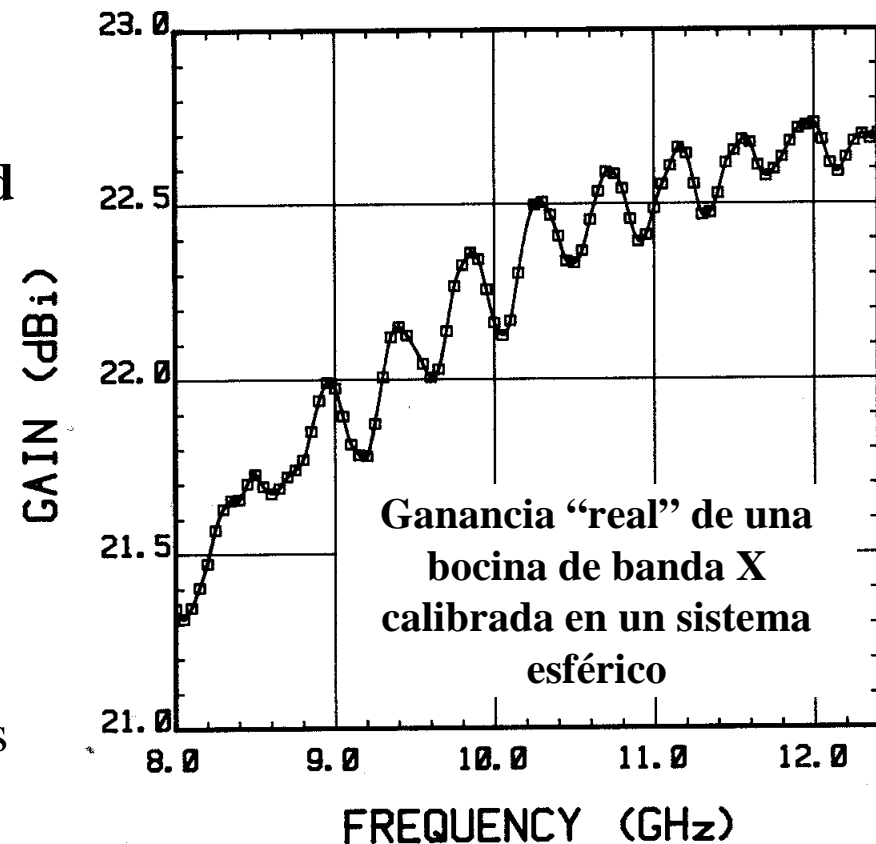
Errors in the Measured Gain of a Linearly Polarized Antenna Due to a Finite Axial Ratio of the Transmitting Antenna*

Transmitting Antenna Axial Ratio (dB)	Measurement Error [dB]	
	Same Sense	Opposite Sense
20	-0.035	+0.063
25	-0.014	+0.041
30	-0.002	+0.003
35	+0.005	+0.022
40	+0.009	+0.019
45	+0.011	+0.016
50	+0.012	+0.015

*The test antenna has an axial ratio of 25 dB. The gain standard is purely linearly polarized.

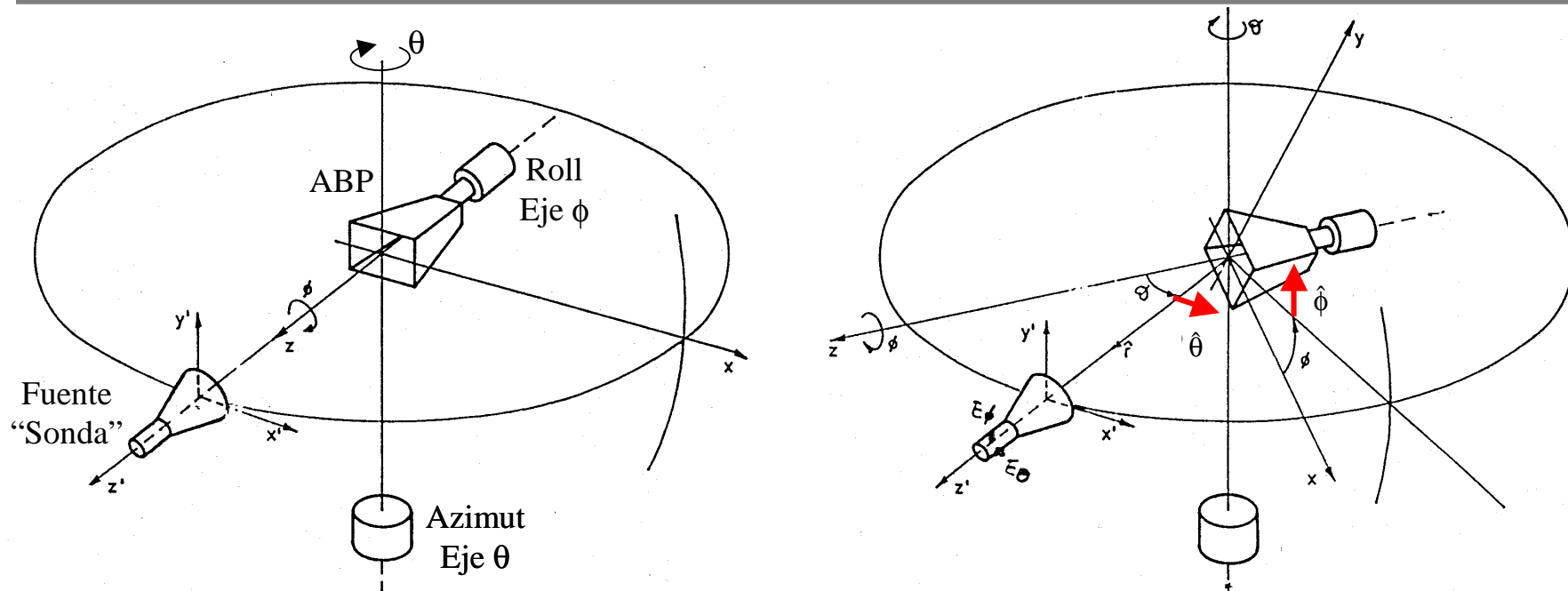
Patrones de Ganancia

- En las bandas de Microondas se utilizan como patrones bocinas piramidales.
- Como valor de ganancia se utiliza normalmente el valor de la directividad teórica que da el fabricante en una tabla.
 - El error de este valor respecto de la ganancia real no suele superarlos 0,3 dB.
- Si se requiere mejor precisión hay que calibrar la bocina patrón, empleando:
 - Método de Friis con 2 antenas iguales
 - Integrando el diagrama medido en un sistema esférico



Medidas de Polarización

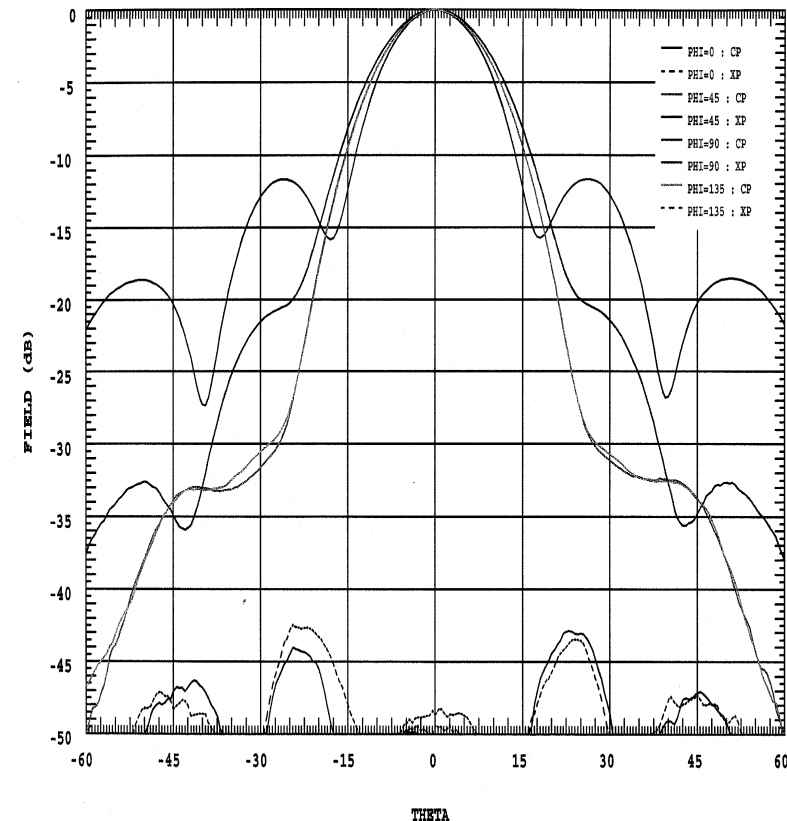
Asignación de Ejes para Roll sobre Azimut



- Con sonda doble se adquieren componentes E_θ y E_ϕ simultáneamente pero hay que calibrar los canales de recepción utilizando una bocina patrón de alta pureza de polarización.
- Con sonda simple se adquiere cada componente en un barrido girándola 90° .
- Las componentes CP-XP, CPC-XPC se obtienen usando fórmulas de T-20.
- Mejor Ajuste del Plano de Polarización mediante “Giro de Polarización”.

Medidas directas de diagramas CP-XP

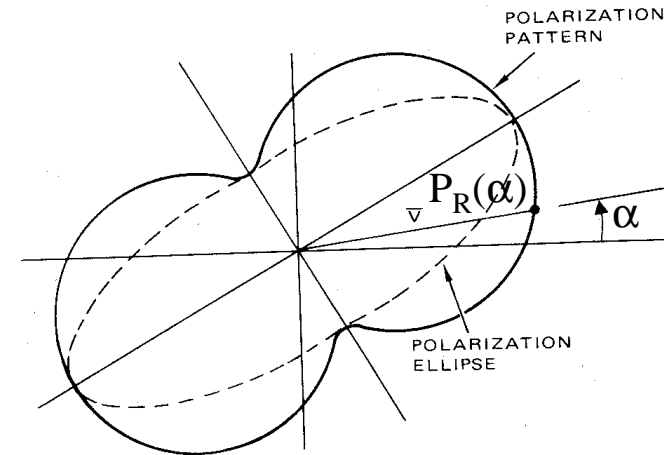
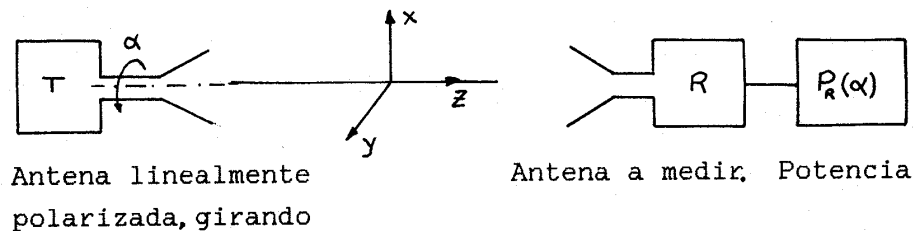
- Es una medida típica de bocinas
- Con la ABP apuntando con el eje Z hacia la antenna fuente, se sitúa el plano $\phi=45^\circ$ horizontal para poder adquirir este corte con un barrido en acimut.
- Girando el plano de polarización de la antenna fuente (patrón de polarización) se busca la mínima señal y se registra el diagrama XP de 45° rotando el eje de acimut.
- Se gira la antenna fuente 90° y se adquiere la componente CP de 45° .
- A continuación se miden los planos CP de los cortes 0 y 90°



B. PYRAMIDAL de niquel (Sonda Corrugada)
F=13.00 GHz

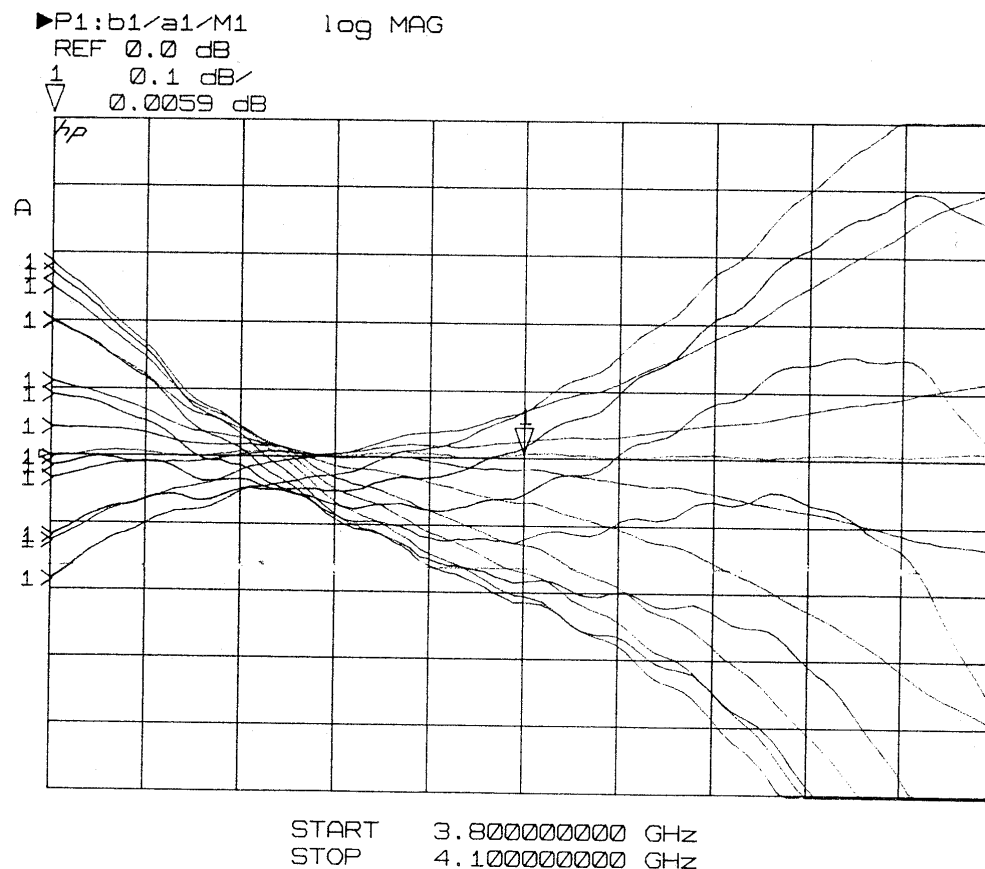
Medida de Polarización

Método de la Fuente Lineal Rotante



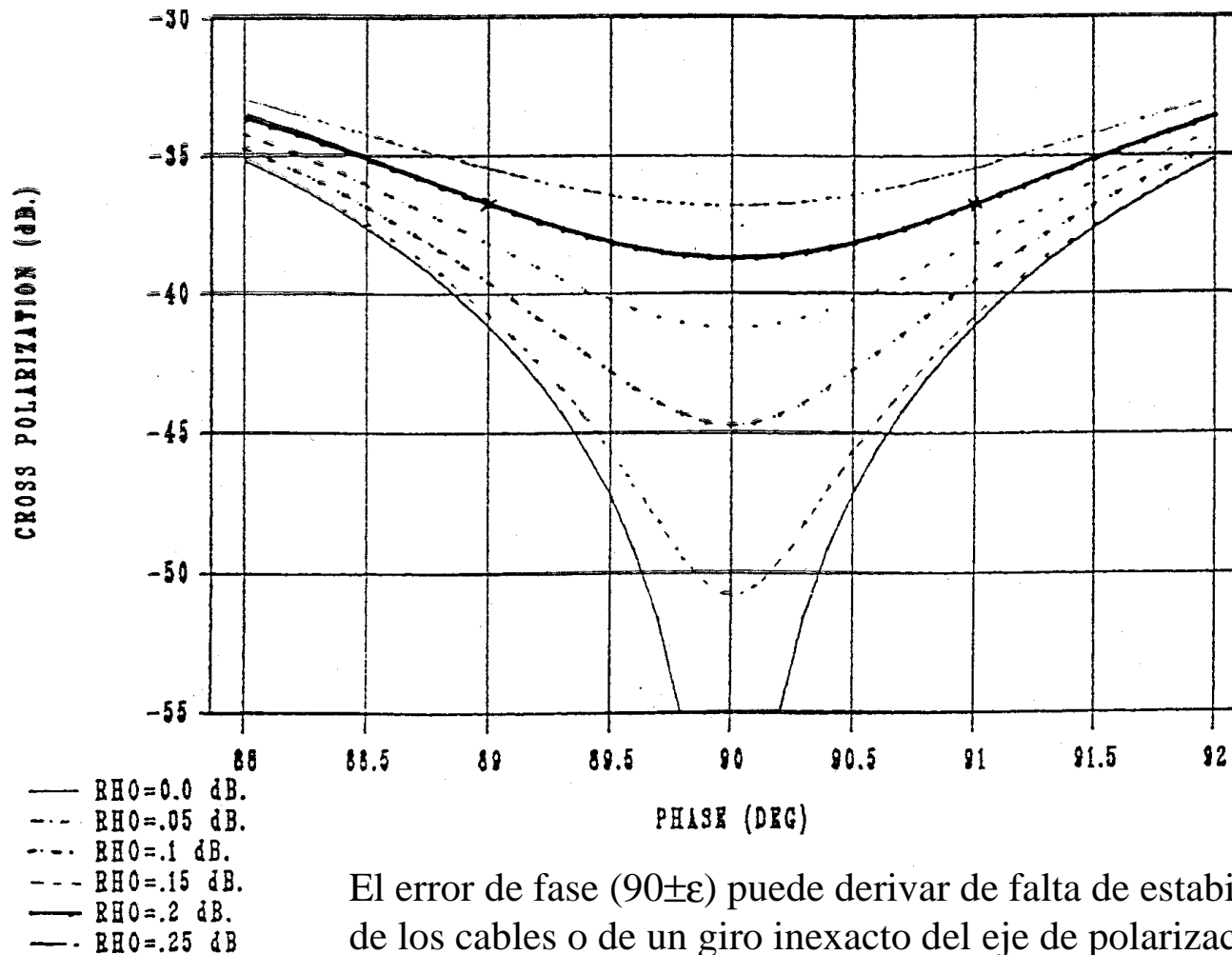
- Este procedimiento da la Relación Axial de polarización como diferencia entre el valor máximo y mínimo registrados en función de α , y el ángulo del eje mayor de la elipse.
- No da el sentido de giro, lo que suele ser intrascendente para polarizaciones lineales.
- Con polarizaciones circulares se suele conocer el sentido de giro a priori o se mide con dos hélices arrolladas a derechas e izquierdas para averiguar el sentido de giro (sentido de arrollamiento de la que reciba mas potencia).

Medidas de Relación Axial vs Frecuencia



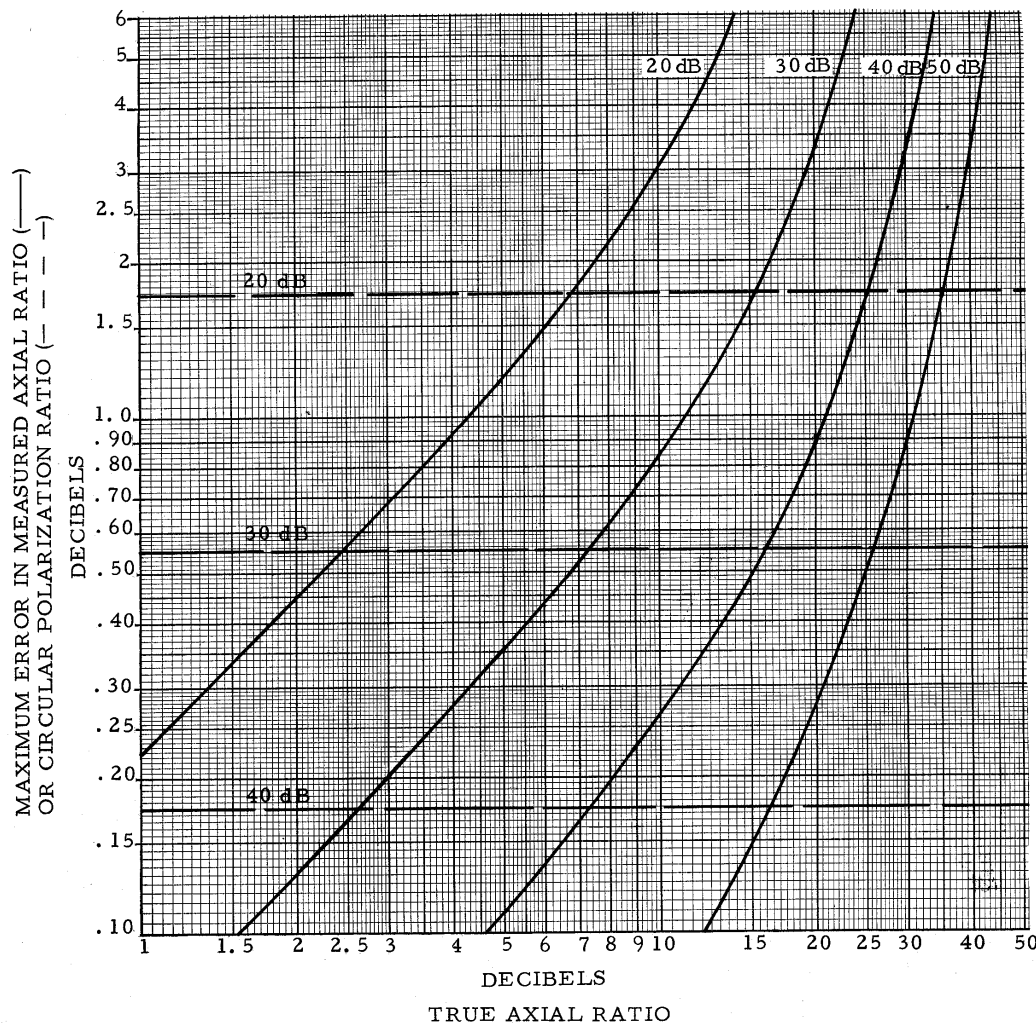
- Si se quiere obtener información de la variación de la relación axial con la frecuencia basta con aplicar el procedimiento de la fuente lineal rotante registrando en función de la frecuencia varios valores discretos de α ($\Delta\alpha < 15^\circ$)
- La relación axial es la diferencia entre los valores límite de máximo y mínimo.
- Para RA muy bajas conviene verificar la junta rotatoria para acotar el error.

Error en la Medida en Polarización Circular en función de Errores de Polarizaciones Lineales



El error de fase ($90 \pm \epsilon$) puede derivar de falta de estabilidad de los cables o de un giro inexacto del eje de polarización

Requerimientos de Pureza de Polarización de la Antena Fuente



- La figura presenta en trazos continuos el error cometido en la medida de la Relación Axial de la ABP en función de la Relación Axial de la Antena Fuente.
- En trazo discontinuo presenta el error cometido en la medida de la relación de polarizaciones circulares de la ABP en función de la relación axial de la antena fuente.

Patrones de Polarización

- Como patrones de polarización se suele emplear bocinas piramidales electroformadas (con gran precisión y perpendicularidad entre caras) que dan en el eje $RA > 50$ dB.
- Un procedimiento muy sencillo para acotar la RA mínima de un patron consiste en:
 - Realizar tres medidas enfrentando en parejas de dos 3 patrones.
 - Si las relaciones axiales aparentes medidas son: RA_1 , RA_2 , y RA_3 , el patrón peor posee una relación axial verdadera acotada entre:

$$\frac{1}{RA_{\text{verdadera}}^{\pm}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{RA_1} + \frac{1}{RA_2} \pm \frac{1}{RA_3} \right) \quad \text{si } RA_3 > RA_1 \text{ y } RA_2$$

- Se puede comprobar que $RA_{\text{vminima}} (\text{dB}) \geq RA_{\text{aparente peor}} (\text{dB}) - 3,5 \text{ dB}$