

Curso  
“Introducción a los Sistemas Radioenlaces Fijos”  
Unidad 4 de 6

**CePETel** Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones Personaería Gremial N°650

62 años

IPEI

UN global

RADAR

CEEA

**CURSO DE FORMACIÓN PROFESIONAL**  
MODALIDAD VIRTUAL - INCLUYE MATERIAL DE ESTUDIO - ENTREGA DE CERTIFICADOS



**INTRODUCCIÓN A  
LOS SISTEMAS  
RADIOENLACES  
FIJOS**

**DOCENTE  
HUGO REYNOSO**

**OBJETIVOS**

Al finalizar este curso, el alumno será capaz de alcanzar los siguientes objetivos:

- Comprender las modalidades de propagación de señales SHF, modelos de tierra plana/curva y atenuaciones del trayecto radioeléctrico..
- Conocer los distintos componentes y parámetros involucrados en una arquitectura superheterodina.
- Adquirir conocimientos relacionados con los diferentes tipos de antenas utilizados en los sistemas de microondas.
- Realizar el cálculo radioeléctrico de un sistema de radioenlace fijo.

6 CLASES DE 3 HS C/U  
DE 17:30 A 20:30 HS.  
TODOS LOS JUEVES  
A CONTAR DEL  
30 DE SEPTIEMBRE

**INFORMES: ENVIAR CORREO A [TECNICO@CEPETEL.ORG.AR](mailto:TECNICO@CEPETEL.ORG.AR)**

**Nota:** este curso y muchas de sus imágenes y tablas se basan en bibliografía existente que se menciona al final del documento.

## Contenido

Curso “Introducción a los Sistemas Radioenlaces Fijos” Unidad 4 de 6 .....	1
1. Antenas de RE – Conceptos básicos .....	3
2. Tipos de antenas.....	16
3. Antenas Parabólicas .....	19
4. Propiedades de las parábolas.....	22
5. Rendimiento (Performance) a definir en el diseño del link. ....	25
6. Repetidores Pasivos .....	31
Bibliografía utilizada para el dictado de este curso:.....	35

---

## 1. Antenas de RE – Conceptos básicos

### *Introducción de conceptos básicos.*

La antena permite radiar, de forma eficiente, la energía electromagnética.

**Reciprocidad:** Las propiedades de una antena en transmisión son las mismas que las de una antena en recepción.

**Comparación** con una lámpara de iluminación:

- Esta última **transforma** la energía eléctrica en luz, la antena también, sólo que en menor frecuencia de onda.
- La lámpara permite **enfocar** la luz en una determinada dirección, o sea puede ser **direccional**, una antena también puede diseñarse para distribuir la potencia radiada en el espacio según las necesidades de la aplicación.
- La lámpara puede colgar e iluminar toda una pieza, una estación de radiodifusión radia por igual en todas las direcciones horizontales, esto es, **omnidireccional**.

**Patrón de radiación:** para poder **medir** esta propiedad hace falta un patrón o unidad. Este patrón es la **antena isótropa**, aquella que radia igual potencia en todas direcciones. “

Barriendo 360° y comparando con una Antena isotrópica a igual potencia de entrada, podemos definir la “**ganancia directiva**” como la relación, para cada dirección, entre la potencia radiada por la antena y la potencia radiada por la antena isótropa.

Se expresa en dB. Para denotar que es una ganancia respecto a la antena isótropa se le añade una “i”, **dB<sub>i</sub>** (dB respecto a la antena isótropa). A veces la “i” se da por sentado y no se la indica.

Al máximo valor de esta relación se le denomina simplemente “**ganancia**” de la antena, y es quizás su característica más importante, junto con el patrón de radiación.

Si se quiere calcular la máxima potencia radiada en una dirección se debe tomar la potencia entregada a la antena, actualizada por esta ganancia. Este es el concepto de **PIRE** (potencia isótropa radiada equivalente). En inglés, EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power).

Es necesario diseñar el sistema para que los diagramas de radiación tengan sus máximos en la dirección que une ambas antenas, es necesario conocer la **orientación del campo eléctrico o magnético en el iluminador** de la antena. Surge así el concepto de **polarización**.

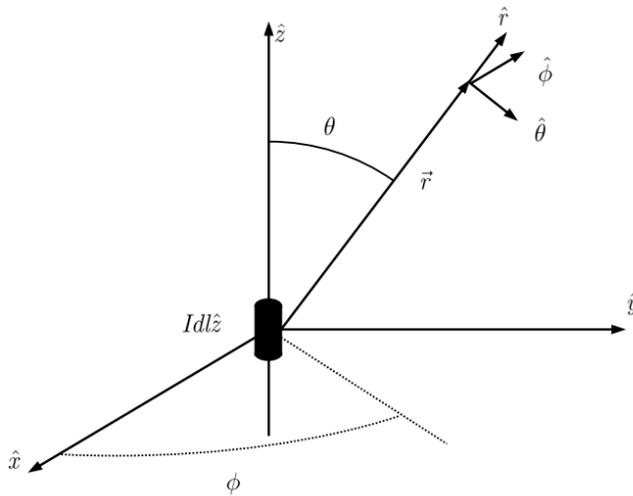
Conociendo estas características es posible **calcular el balance de potencias** estudiando las ganancias y pérdidas en el trayecto: antena transmisora a antena receptora. El resultado es la fórmula de **Friis**.

El **vector de Poynting**, producto del campo eléctrico y magnético radiado, dará la potencia radiada y es ya una medida del diagrama de radiación de la antena. A partir de este vector se calculará la ganancia de la antena, comparándola con el de la antena isótropa.

Tiene que quedar muy claro que cuando hablamos de ganancia de una antena, nos referimos a **ganancia directiva**. La potencia radiada es la misma que la isótropa pero concentrada en una dirección. No se gana en potencia absoluta, pero sí en densidad en cierta dirección.

**Vector de Poynting** (de un elemento de corriente)

Considerando la siguiente convención para un elemento de corriente irradiante:



En donde el **Azimut  $\Phi$**  será el campo H y para el de **Elevación  $\theta$**  será el campo E.

Nota: no confundir la coordenada esférica  $\theta$  que a  $90^\circ$  corresponde  $0^\circ$  de elevación respecto al horizonte.

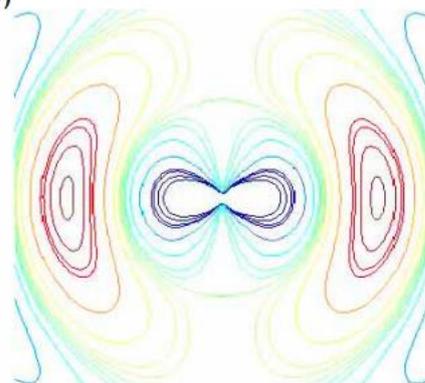
Aunque no se va a desarrollar en este curso las deducciones correspondientes, los siguientes conceptos derivan de:

- Las ecuaciones de Maxwell
- La ecuación potencial vector (donde el rotor de un campo vectorial es otro campo vectorial:  

$$\nabla^2 \vec{A} + k^2 \vec{A} = -\mu \vec{J} \quad \text{donde} \quad \nabla \times \vec{A} = \vec{B}$$
)
- Campo lejano.

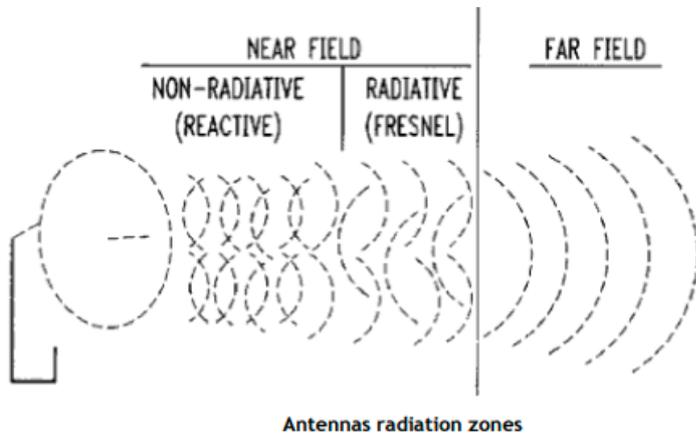
**Campo lejano y campo cercano:**

- En el desarrollo
  - se han despreciado los campos “cercaños”
  - es habitual si queremos estudiar la potencia recibida a gran distancia
- En campos lejanos
  - Conocido el campo eléctrico (o magnético)
    - Se conoce la potencia radiada
- En campos cercanos
  - Hace falta medir ambos campos
    - Para conocer la potencia radiada
  - Importante en medidas de niveles de emisión
- Se toma como límite práctico entre zonas  $d = 3\lambda$



Campos cercanos en un dipolo hertziano

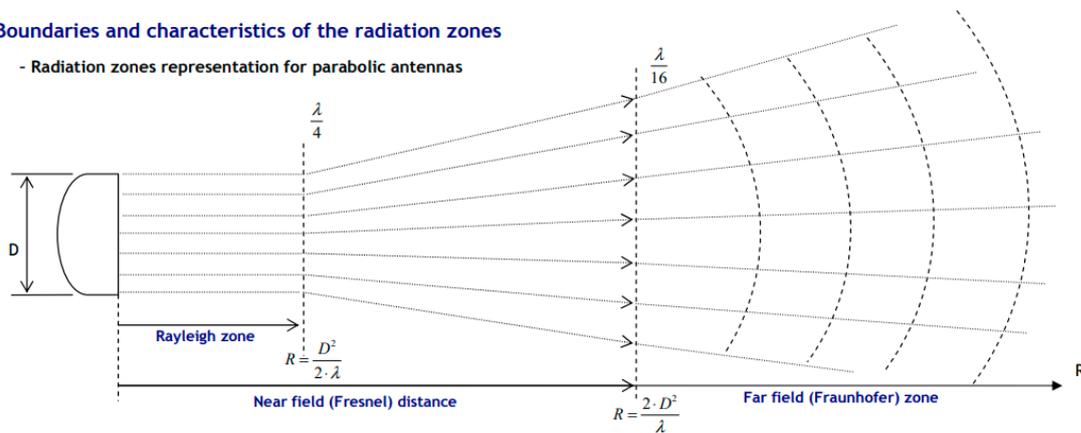
Para el caso de una parábola de gran apertura (Diámetro  $> \lambda$ ) se debe hacer un análisis mas detallado. Intuitivamente, consideramos campo lejano la situación en la que el campo se comporta como si partiera de un punto idea. Como se ve en la siguiente figura:



Los límites de estos campos se muestran en la siguiente figura:

**Boundaries and characteristics of the radiation zones**

- Radiation zones representation for parabolic antennas



El siguiente cuadro muestra algunos valores para algunas antenas.

Frequency (GHz)	Antenna Diameter (m)	Far field distance (m)		
		$D^2/2\lambda$ (Rayleigh distance)	$D^2/\lambda$	$2D^2/\lambda$
4	1.8	21.6	43.2	86.4
4	2.4	38.4	76.8	153.6
4	3	60	120	240
4	3.6	86.4	172.8	345.6
4	4.5	135	270	540
6.2	1.8	33.48	66.96	133.92
6.2	2.4	59.52	119.04	238.08
6.2	3	93	186	372
6.2	3.6	133.92	267.84	535.68
6.2	4.5	209.25	418.5	837
6.7	1.2	16.08	32.16	64.32
6.7	1.8	36.18	72.36	144.72
6.7	2.4	64.32	128.64	257.28
6.7	3	100.5	201	402
6.7	3.6	144.72	289.44	578.88
6.7	4.5	226.125	452.25	904.5
7.5	0.6	4.5	9	18
7.5	1.2	18	36	72
7.5	1.8	40.5	81	162
7.5	2.4	72	144	288
7.5	3	112.5	225	450
7.5	3.6	162	324	648
7.5	4.5	253.125	506.25	1012.5
8.2	0.6	4.92	9.84	19.68
8.2	1.2	19.68	39.36	78.72
8.2	1.8	44.28	88.56	177.12
8.2	2.4	78.72	157.44	314.88

15	0.3	2.25	4.5	9
15	0.6	9	18	36
15	1.2	36	72	144
15	1.8	81	162	324
15	2.4	144	288	576
18	0.3	2.7	5.4	10.8
18	0.6	10.8	21.6	43.2
18	1.2	43.2	86.4	172.8
18	1.8	97.2	194.4	388.8
23	0.3	3.45	6.9	13.8
23	0.6	13.8	27.6	55.2
23	1.2	55.2	110.4	220.8
23	1.8	124.2	248.4	496.8
26	0.3	3.9	7.8	15.6
26	0.6	15.6	31.2	62.4
26	1.2	62.4	124.8	249.6
38	0.3	5.7	11.4	22.8
38	0.6	22.8	45.6	91.2
56	0.3	8.4	16.8	33.6

Para un análisis conceptual simplificado vamos a tomar una **dipolo elemental** en campo lejano:

- Para campos lejanos

$$1 \gg 1/r \gg 1/r^2$$

- El campo Magnético queda

$$\vec{H} = \frac{Idl}{4\pi} \cdot \frac{\text{sen } \theta}{r} (jk_0 + \frac{1}{r}) e^{-jk_0 r} \hat{\phi}$$

$$\approx j \frac{k_0 Idl}{4\pi r} \cdot \text{sen } \theta e^{-jk_0 r} \hat{\phi} = H_\phi \hat{\phi}$$

- El campo eléctrico

$$\vec{E} = \frac{j\eta_0 Idl}{4\pi k_0 r} e^{-jk_0 r} \left( 2 \cos \theta \left( \frac{jk_0}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \hat{r} - \text{sen } \theta \left( -k_0^2 + \frac{jk_0}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \hat{\theta} \right)$$

$$\approx j\eta \frac{k_0 Idl}{4\pi r} \text{sen } \theta e^{-jk_0 r} \hat{\theta} = E_\theta \hat{\theta} = \eta H_\phi \hat{\theta}$$

- Donde  $\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \approx 377\Omega$

Es la impedancia característica del medio

$\eta_0$  es en el vacío.

**El vector de Poynting** promediado para un periodo es:

- El vector de poynting promedio

$$\langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re} \{ \vec{E} \times \vec{H}^* \}$$

Esta es la densidad de flujo de potencia y estará en W/m<sup>2</sup> !!

- En la práctica  $E$  y  $H$  son ortogonales

$$\langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re} \{ \vec{E} \times \vec{H}^* \} = \frac{1}{2} E \cdot H \cdot \hat{r} = \frac{1}{2\eta} |E|^2 \cdot \hat{r}$$

- *Nótese que aparece 1/2 porque  $E$  y  $H$  son la amplitud de un tono*

- Para el elemento de corriente  $E_\theta = \eta H_\phi = \eta \frac{k_0 Idl}{4\pi r} \text{sen } \theta e^{-jk_0 r}$

- y,  $\langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2\eta_0} |E|^2 \hat{r} = \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{32\pi^2 r^2} \text{sen}^2 \theta \hat{r}$

Hasta aquí se ha utilizado la hipótesis de **campo lejano** que nos da **ortogonalidad** de ambos vectores y su relación con la **impedancia característica**.  $\vec{E} = \eta_0 \vec{H}$

Nótese que este vector de Poynting decae con el **cuadrado de la distancia**, tiene dirección de avance **radial** y es **independiente del azimut**.

Es importante hacer notar que el vector de Poynting representa la **densidad de flujo** de potencia. Esto es, la potencia que se radia en una determinada dirección y a una determinada distancia por unidad de superficie. Por ello se expresa en W/m<sup>2</sup>.

## Potencia radiada

La potencia radiada es la integral de superficie (ángulo sólido) del vector de Poynting.

- La **potencia radiada**
  - Es un paso intermedio para el cálculo de la resistencia de radiación
- Se define como

$$p_t = \oint_S \langle \vec{P} \rangle \cdot d\vec{S} = \left\{ \text{Si } \langle \vec{P} \rangle = \langle P \rangle \hat{r} \right\} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \langle P \rangle \hat{r} \cdot \hat{r} r^2 \sin \theta d\theta d\phi \Rightarrow$$

$$p_t = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \langle P \rangle r^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

- Para el elemento de corriente

$$p_t = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{32\pi^2 r^2} \sin^2 \theta r^2 \sin \theta d\theta d\phi = 2\pi \int_0^\pi \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{32\pi^2} \sin^3 \theta d\theta = \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{12\pi}$$

$$\langle \vec{P} \rangle = \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{32\pi^2 r^2} \sin^2 \theta \hat{r} = \frac{3}{2} \left( \frac{p_t}{4\pi r^2} \right) \sin^2 \theta \hat{r}$$

- Nota: si no hay pérdidas,
  - *la potencia con la que se alimenta la antena es la potencia radiada*

## Resistencia de Radiación

- La resistencia de radiación
  - Se obtiene por símil eléctrico,
  - Igualando la potencia radiada a  $I^2 R / 2$
- La **resistencia de radiación** es aquella que cumple

$$p_t = \frac{1}{2} R_a I^2$$

- En el caso de un elemento de corriente

$$p_t = \frac{1}{2} I^2 R_a = \frac{\eta_0 k_0^2 (Idl)^2}{12\pi} \Rightarrow R_a = \frac{2\eta_0 k_0^2 dl^2}{12\pi} = \frac{2(120\pi)(2\pi/\lambda)^2 dl^2}{12\pi} = 80\pi^2 \left( \frac{dl}{\lambda} \right)^2$$

- Se **suele expresar** en función de las dimensiones de la antena en relación a la longitud de onda !!
- Esta resistencia es ideal y muy pequeña
  - Necesitaríamos una  $I$  muy alta para radiar

### Intensidad de Radiación

Podemos evitar el trabajar con el Vector de Poynting utilizando este parámetro normalizado respecto a la distancia r:

- La definición de **intensidad de radiación** más general es

$$u(\theta, \phi) = \frac{dp_t}{d\Omega} = \frac{\langle \vec{P} \rangle \cdot d\vec{S}}{\text{sen } \theta d\theta d\phi} = \frac{\langle P \rangle \hat{r} \cdot \hat{r} r^2 \text{sen } \theta d\theta d\phi}{\text{sen } \theta d\theta d\phi} = \langle P \rangle \cdot r^2$$

- En el caso de una antena isótropa

$$\langle \vec{P} \rangle_{\text{isótropa}} = \frac{P_t}{4\pi r^2} \hat{r} \Rightarrow u(\theta, \phi) = u_{\text{isótropa}} = \langle P \rangle_{\text{isótropa}} \cdot r^2 = \frac{P_t}{4\pi}$$

- Para un elemento de corriente

$$u(\theta, \phi) = \langle P \rangle \cdot r^2 = \frac{3}{2} \left( \frac{P_t}{4\pi} \right) \text{sen}^2 \theta$$

Es un valor normalizado respecto a la distancia r

Ganancia directiva y directividad

- Se define la **ganancia directiva** (ó función de directividad) como

$$d(\theta, \phi) = \frac{u(\theta, \phi)}{u_{isotropia}} = \frac{u(\theta, \phi)}{(P_t/4\pi)} = \frac{\langle P \rangle \cdot r^2}{(P_t/4\pi)} = \frac{\langle P \rangle}{(P_t/4\pi r^2)} = \frac{\langle P \rangle}{\langle P \rangle_{isotropia}}$$

- Esto permite escribir  $\langle P \rangle = \frac{P_t \cdot d(\theta, \phi)}{4\pi r^2}$

- En el caso de una antena isótropa  $d(\theta, \phi) = d_{isotropia} = 1$

- Para el dipolo elemental  $d(\theta, \phi) = \frac{u(\theta, \phi)}{u_{isotropia}} = \frac{u(\theta, \phi)}{(P_t/4\pi)} = \frac{3}{2} \text{sen}^2 \theta$

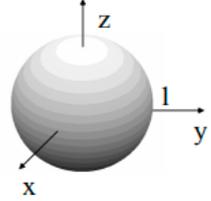
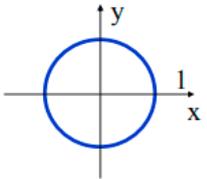
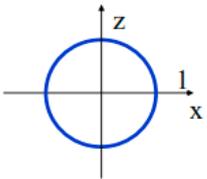
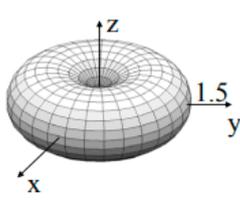
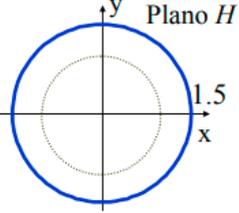
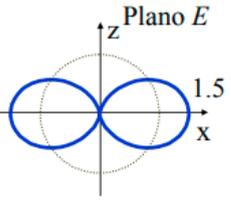
- La directividad es  $d = \max_{\theta, \phi} d(\theta, \phi)$  en dB ó **dB<sub>i</sub>**

- Para la antena isótropa  $d = 1$  ó  $D = 0$  dB

- Para el dipolo elemental  $d = \frac{3}{2}$  ó  $D = 1.76$ dB

Ejemplo para un dipolo elemental:

- El patrón de radiación viene dado por la ganancia directiva
  - Puede representarse de diversas formas

	Patrón 3D	Corte Horizontal	Corte Vertical
Antena Isótropa			
Elemento de Corriente			

Para un dipolo elemental es  $d=3/2$  o  $D(\text{dB})=1,76$  dB.

Para un dipolo  $\lambda/2$ :  $D=2,15$  dB.

**ROE**, Relación de Onda Estacionaria (VSWR, Voltaje Standing Wave Ratio))

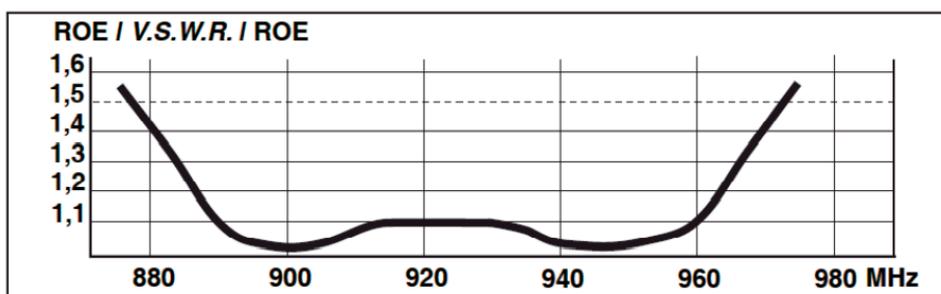
Este parámetro suele reemplazar al parámetro de impedancia de la antena, ya que refleja el comportamiento de adaptación de impedancia en función de la frecuencia.

El coeficiente de reflexión  $\Gamma$  va de 0 a 1 y se relaciona con el ROE como:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

El valor de 1 indica acople perfecto, y fuera de la banda aumenta hasta el infinito.

Ejemplo:



Muchas veces en vez de dar el valor de ROE se da el valor de **Pérdida de Retorno**.

También se puede evaluar esta característica de **adaptación** con el concepto de Pérdida de Retorno o RL (Return Loss).

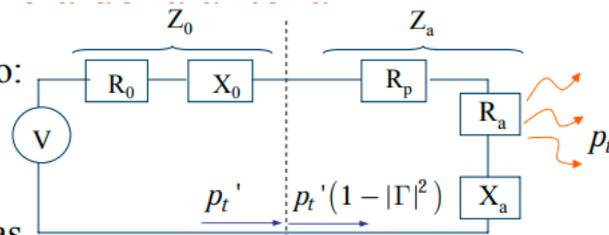
$$PR = -20 \log |\Gamma|,$$

Pero en este caso el concepto de pérdida no es el que suele utilizarse en las pérdidas por inserción. Aquí, cuando mayor pérdida (PR), menor pérdida por reflexión de la energía a transmitir. Por lo que generalmente se busca maximizar este parámetro.

También se puede obtener el coef de reflexión como  $|\Gamma| = (ROE - 1) / (ROE + 1)$

**Ganancia de la antena.**

- En el modelo más completo:



- Hay que considerar pérdidas

- por desadaptación  $\eta_d = 1 - |\Gamma|^2$  donde  $\Gamma = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0}$

- y disipativas  $\eta_p = \frac{R_a}{R_a + R_p}$

- La potencia que se radia  $p_t = \eta_p \eta_d \cdot p_t' = \eta_a \cdot p_t' = 1/l_a \cdot p_t'$

- La ganancia de la antena es

$$g(\theta, \phi) = \frac{u(\theta, \phi)}{(p_t'/4\pi)} = 1/l_a \frac{u(\theta, \phi)}{(p_t/4\pi)} = 1/l_a d(\theta, \phi)$$

- O simplemente su máximo

Donde  $\eta_a$  Rendimiento por acoplamiento:

A su máximo se le denomina Ganancia de antena.

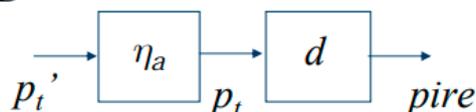
$$g = \max_{\theta, \phi} g(\theta, \phi)$$

## PIRE

- La radiación de una antena viene caracterizada por
  - La potencia que radia
  - Cuánto concentra en el espacio dicha potencia o ganancia
- Por ello se define la **Potencia Isótropa Radiada Equivalente<sup>1</sup>**

$$pire = g \cdot p_t' = (l_a g) \cdot (1/l_a \cdot p_t') = d \cdot p_t$$

- Y  $PIRE(\text{dB}) = P_t' + G = P_t + D$



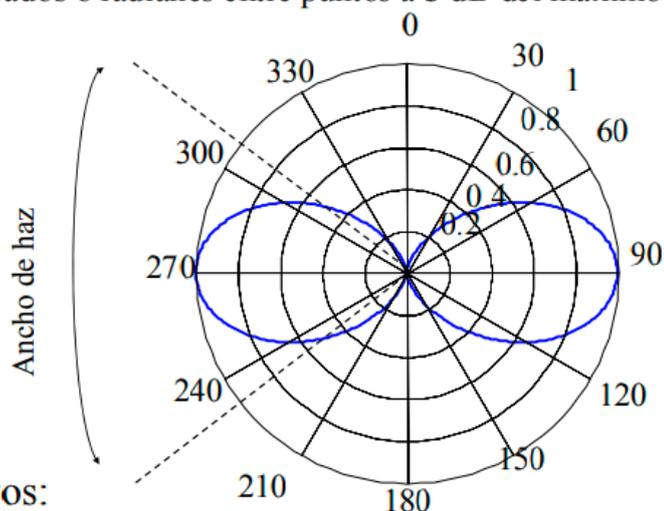
- Para el elemento de corriente, en dB's,

$$PIRE = P_t + 1.76$$

<sup>1</sup> EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power

## Ancho de haz y otros parámetros

- Ancho de Haz de 3dB
  - Distancia en grados o radianes entre puntos a 3 dB del máximo

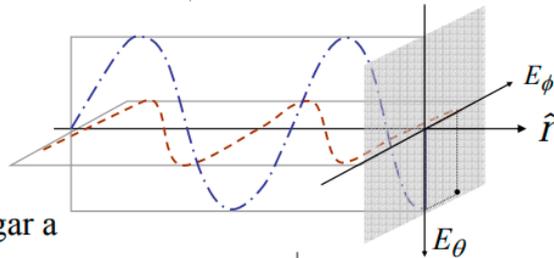


- Otros parámetros:
  - Respuesta en frecuencia, polarización, ganancia delante-atrás, longitud y área efectiva,...
  - peso, dimensiones, tipos de conectores, resistencia al viento,...

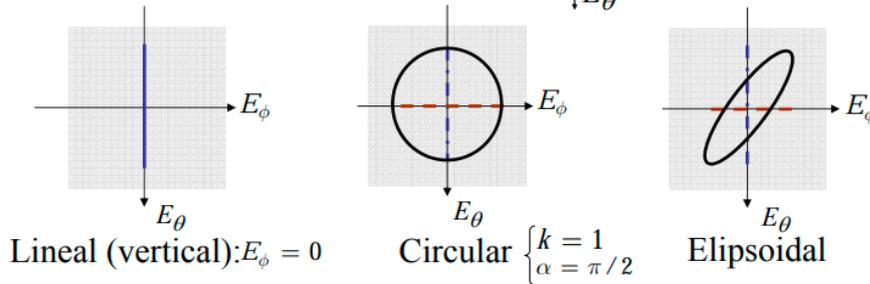
**Polarización**

- El campo (lejano) eléctrico para cualquier antena se puede escribir

$$\vec{E} = E_{\theta}\hat{\theta} + E_{\phi}\hat{\phi} = E_{\theta}\hat{\theta} + kE_{\theta} e^{j\alpha} \hat{\phi}$$

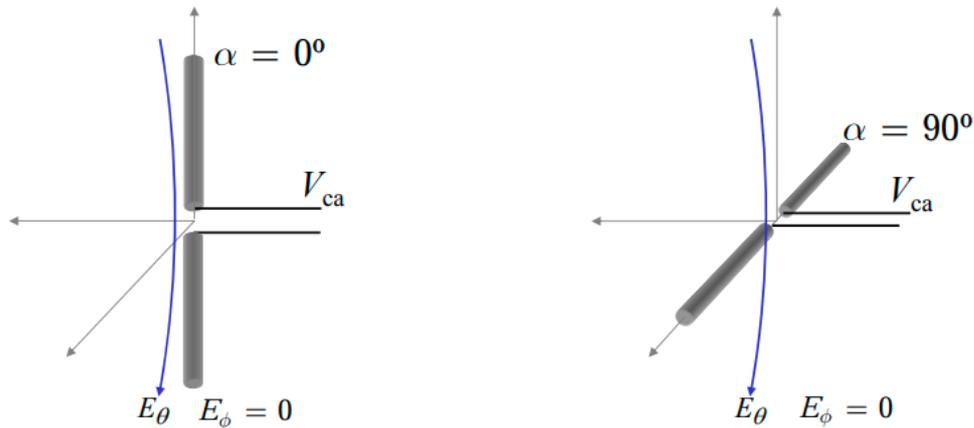


- Dando lugar a



- Friis: Es necesario orientar la antena de forma adecuada!!

- Para que el campo eléctrico recorra el conductor
  - Dando lugar a la máxima tensión
  - ¿Cuánto vale la  $V_{ca}$  atendiendo a la orientación de un dipolo en Rx?



- La potencia recibida depende de la orientación del dipolo

$$\eta_d = 1/l_d = \cos^2 \alpha$$

**Área efectiva**

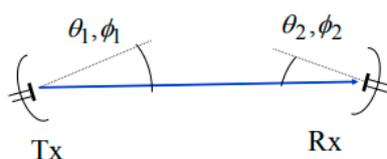
- Si la densidad de potencia transmitida es  $\langle P \rangle = \frac{p_t'}{4\pi r^2} g_1(\theta_1, \phi_1)$ 
  - La idea es escribir la potencia recibida como

$$p_{dr} = \langle P \rangle A_{ef2}(\theta_2, \phi_2)$$

- Para calcular esta área se recurre a un esquema con dos antenas

- Por reciprocidad

$$\frac{p_t'}{4\pi r^2} g_1(\theta_1, \phi_1) A_{ef2}(\theta_2, \phi_2) = \frac{p_t'}{4\pi r^2} g_2(\theta_2, \phi_2) A_{ef1}(\theta_1, \phi_1)$$



$$\frac{g_1(\theta_1, \phi_1)}{A_{ef1}(\theta_1, \phi_1)} = \frac{g_2(\theta_2, \phi_2)}{A_{ef2}(\theta_2, \phi_2)}$$

$$A_{ef2}(\theta, \phi) = \frac{g_2(\theta, \phi)}{g_1} A_{ef1}$$

¿ $g_1, A_{ef1}$  para una antena?

- Para cualquier antena

$$p_r' = \langle P \rangle A_{ef} = \frac{E^2}{\eta} A_{ef} \quad \text{E: Valor efectivo}$$

- Para un elemento de corriente

$$p_r' = \frac{V_{ca}^2}{4R_a} = \frac{E^2 I_{ef}^2}{4R_a} = \frac{E^2 (dl)^2}{4R_a} = \frac{E^2 \lambda^2}{320\pi^2}$$

- Igualando  $A_{ef} = \frac{3}{2} \frac{\lambda^2}{4\pi}$

- El área efectiva para cualquier antena

$$A_{ef}(\theta, \phi) = g_2(\theta, \phi) \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

- Se podía haber definido en función de la directividad

- Además:

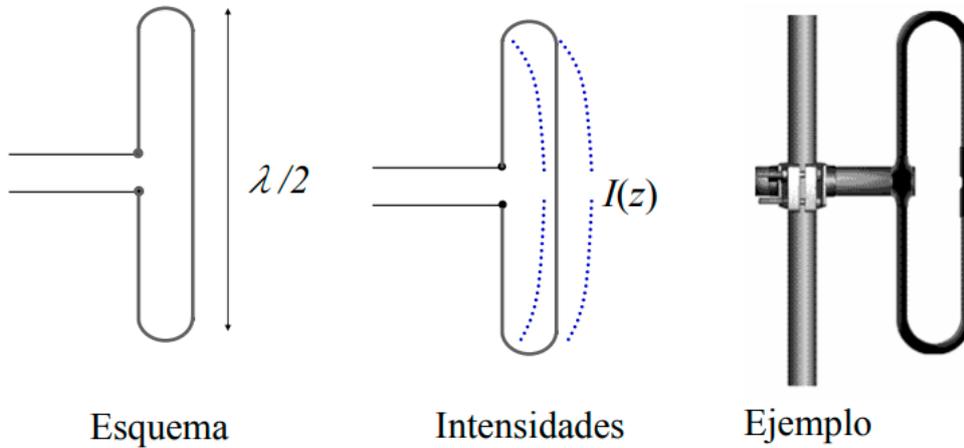
$$p_{dr} = \langle P \rangle A_{ef_r}(\theta_r, \phi_r) = p_t' g_t(\theta_t, \phi_t) \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 g_r(\theta_r, \phi_r)$$

## 2. Tipos de antenas

A continuación, se mencionan algunas antenas de uso práctico:

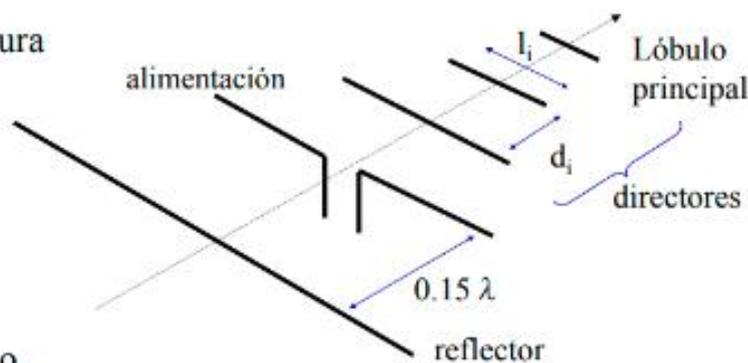
### Dipolar Doble:

- se comporta como un par de dipolos
  - Se dobla campo
  - Se cuatricula la resistencia de radiación  $\approx 300\Omega$

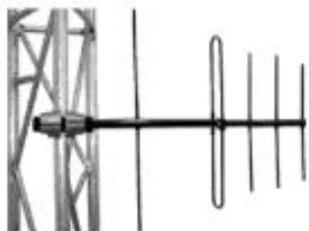


### Antena Yagi – Dipolo con elementos parásitos.

#### ▪ Estructura



#### ▪ Ejemplo



- Elementos directores
  - Número entre 1 y 20
  - Ganancias entre 5 y 20 dB



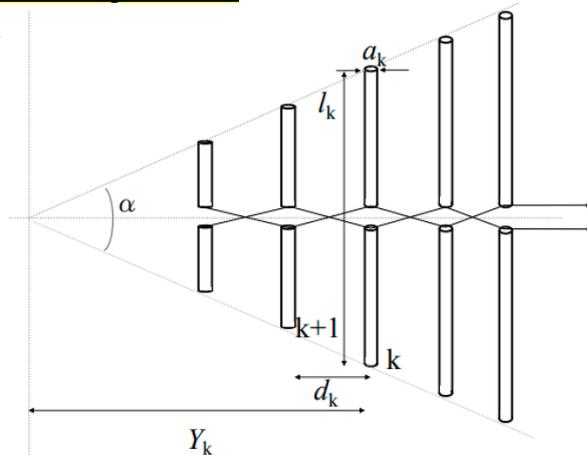
- Uso en FM y TV:

VHF	FM-Radio	88MHz-108MHz	3 elementos
	TV (Baja)	54MHz-88MHz	3 elementos
	TV (High)	174MHz-216MHz	5-6 elementos
UHF	TV	470MHz-890MHz	10-12 elementos

Elementos de la antena Yagi-Uda en bandas de frecuencia VHF y UHF

### Antena Periódica-Logarítmica

- Estructura



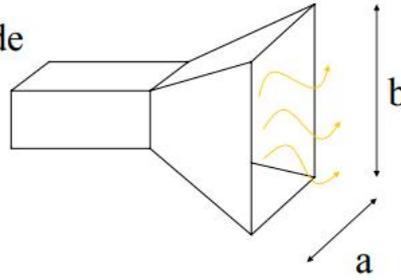
- Se cumple  $\frac{Y_k}{Y_{k-1}} = \frac{l_k}{l_{k-1}} = \frac{d_k}{d_{k-1}} = \frac{a_k}{a_{k-1}} = \tau$
- Se busca: banda ancha

## Antenas de Bocina

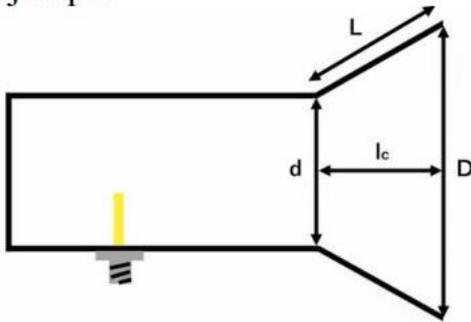
- Se construyen a partir de guías de onda

- Las dimensiones deben asegurar desfases acotados en puntos de la salida

- La directividad es  $d = 6.4 \frac{a \cdot b}{\lambda^2}$



- Ejemplo



### 3. Antenas Parabólicas

Con ellas se consigue mucha directividad y por lo tanto ganancias altas.

- Se alimenta una superficie parabólica
  - A la salida el desfase es el mismo (mismo trayecto)

- El área efectiva es un porcentaje del área física

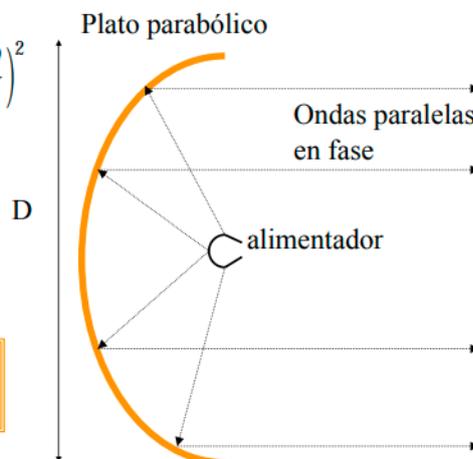
$$A_{ef} = \eta_e A_T = \eta_e \frac{\pi D^2}{4} = g \frac{\lambda^2}{4\pi} \Rightarrow g = \eta_e \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

- Se pueden tener en cuenta otros rendimientos
  - Spill-over: parte de la potencia que no alcanza la parábola
  - Abertura: debido a pérdidas por desfases y polarizaciones

$$g = \eta_e \eta_A \eta_S \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \Rightarrow g = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

- Ancho de haz:

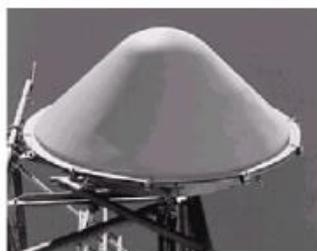
$$\theta^2 = \eta \frac{4\pi}{g} \text{ rad} \quad \text{ó} \quad \theta = 70 \lambda / D \text{ (}^\circ\text{)}$$



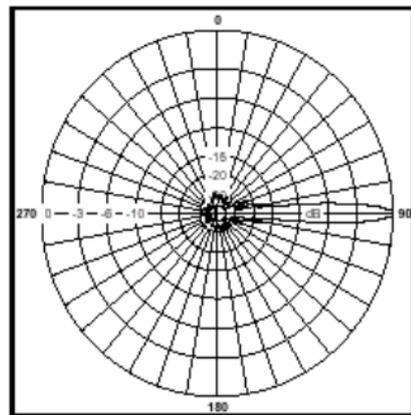
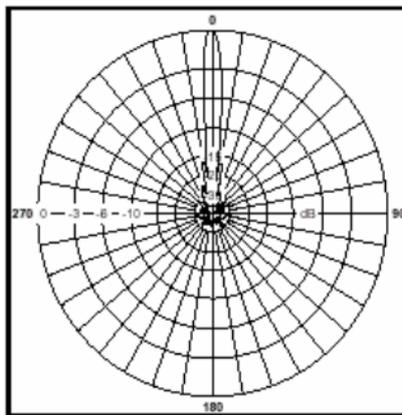
Para la banda de SHF las antenas son **sólidas** ya que las long de ondas van de algunos cm a los mm.

Las antenas **grilladas** suelen ser para bandas de 2 GHz para abajo y que actualmente no se usan en los enlaces punto a punto de microondas debido a su **saturación** del espectro por otros servicios y porque **no permiten anchos de bandas** importantes como los requeridos actualmente.

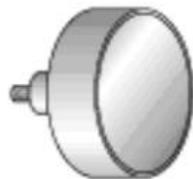
- Ganancias típicas de 15-30 dB
- Muy utilizadas en
  - Radioenlaces del servicio fijo
  - Comunicaciones por satélite
  - Radiodifusión



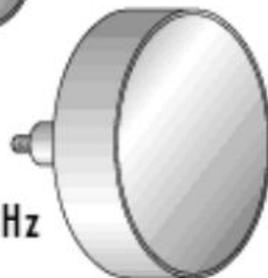
- Diagrama de radiación típico



2 - 18 GHz



1 - 4 GHz



750 MHz - 3 GHz

Antenas Parabólicas a  
Distintas frecuencias:

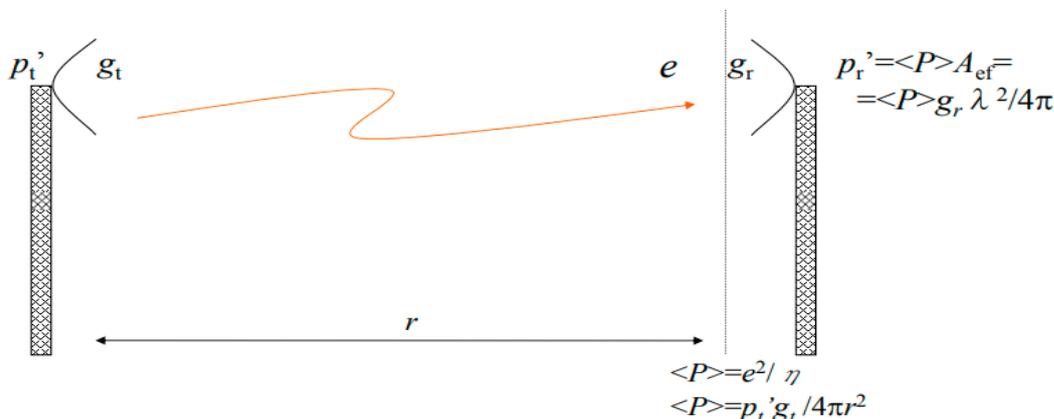
- A igual ganancia
  - ✓ El diámetro se reduce

$$g = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

**Friis**

- Se analiza,
  - La potencia recibida  $p_{dr}(p_{et})$
  - El campo eléctrico recibido  $e(p_{et})$
  - La potencia recibida  $p_{dr}(e)$

*Se asume que las antenas están convenientemente polarizadas*



- La potencia recibida en función de la  $p_{et}$

$$p_r' = \langle P \rangle A_{ef}(\theta, \phi) = \frac{P_{et}}{4\pi r^2} g_t(\theta, \phi) A_{efr}(\theta, \phi)$$

$$= \frac{p_t'}{4\pi r^2} g_t(\theta, \phi) g_r(\theta, \phi) \frac{\lambda^2}{4\pi} = p_t' g_t(\theta, \phi) \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 g_r(\theta, \phi)$$

- En dB's

$$l_{bf} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^2$$

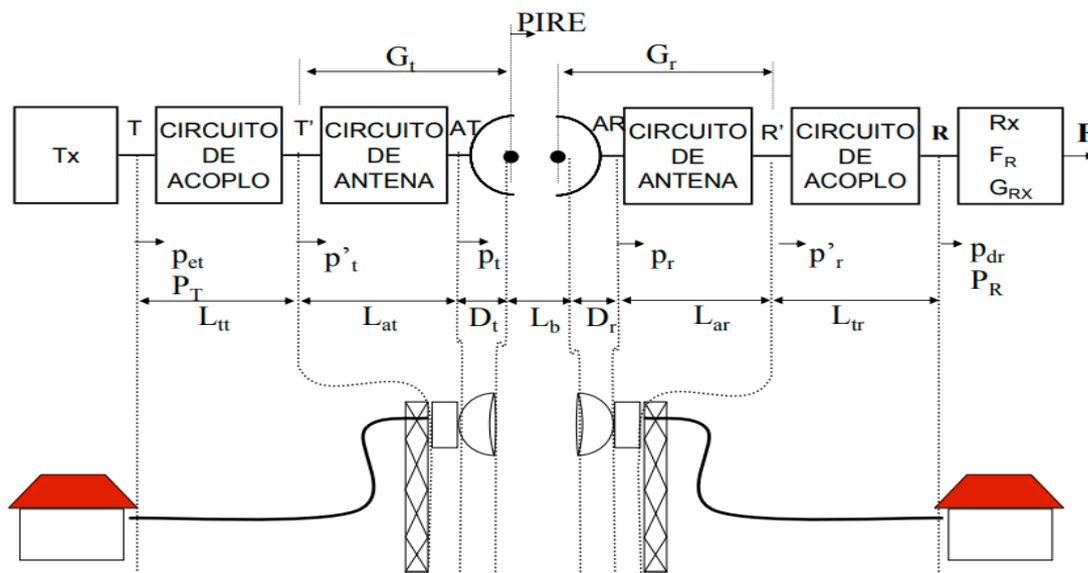
$$L_{bf} = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)$$

$$L_{bf} = 32.45 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log r(\text{Km})$$

$$L_{bf} = 92.45 + 20 \log f(\text{GHz}) + 20 \log r(\text{Km})$$

$$P_r' = P_t' + G_t - L_{bf} + G_r$$

$$P_{dr} = P_{et} - L_{tt} + G_t - L_b - L_{tr} + G_r$$



### Antenas con instalación de guía de ondas.

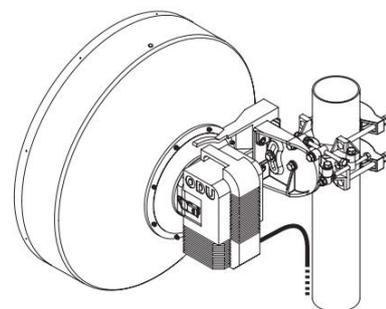
No siempre es posible integrar la antena y equipos de radio debido a **restricciones estructurales** en el sitio de instalación.

En este caso, como con antenas más grandes, Se utiliza una guía de ondas flexible. Conexiones largas conducen a un aumento de las pérdidas. Estas pérdidas solo pueden ser compensar en los cálculos de enlace general mediante el uso de mayor antenas o etapas de amplificación adicionales en el equipo de transmisión.

### Radio integrada con antena

Una instalación muy común es la de montar la unidad de radio directamente en la parte posterior de la antena. Este es un tipo de instalación muy común que proporciona una solución rápida y rentable.

Todas las interfaces cumplen con los requisitos eléctricos más altos. así como especificaciones mecánicas para asegurar una estable operación en el campo

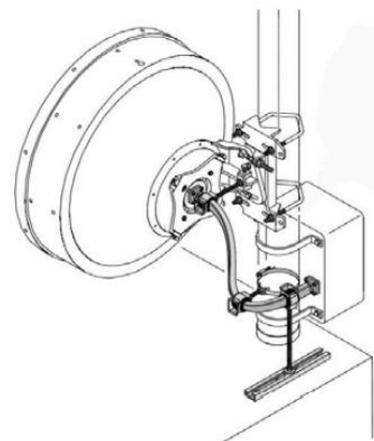


Antenna integrated with ODU

### Radio cerca de la antena

En los casos en los que la radio no se puede conectar directamente a la antena, una sección adicional de un Twistflex. La guía de ondas proporciona la conexión a la radio. Los La radio está instalada en la tubería o torre cerca de la antena.

Las guías de onda Twistflex también se utilizan para conectar antenas para recorridos de guías de ondas que proporcionan la flexibilidad durante la instalación.



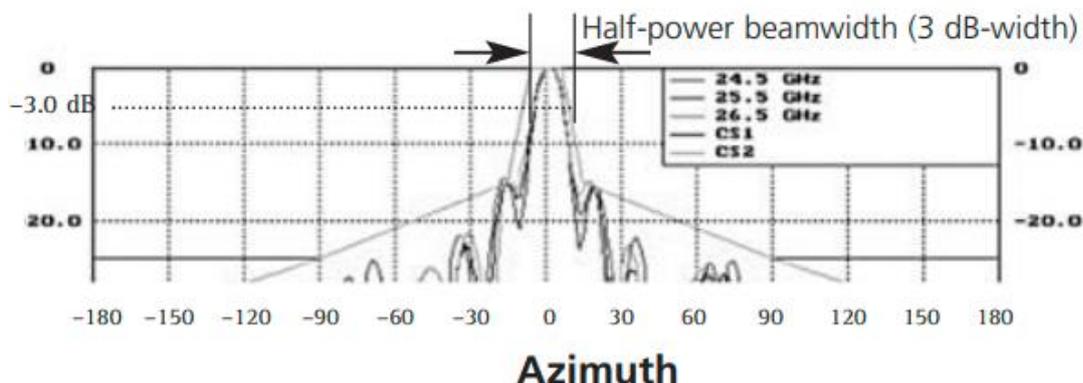
Antenna with Twistflex installation

## 4. Propiedades de las parábolas

### Ancho de haz de media potencia (HPBW)

El ángulo, relativo al eje principal, entre las dos direcciones en las que el patrón copolar es 3 dB por debajo del valor del eje principal.

Los valores son nominales y se establecen como el mínimo para la banda de frecuencia.



## Ganancia

Es la relación de la intensidad de la radiación, en el haz del eje principal, a la intensidad de radiación que se obtendría si la potencia aceptada por la antena fuera irradiada isotrópicamente. Valor medido en dBi.

Los valores se suelen indicar para el valor central, parte inferior y superior de la banda de frecuencia de aplicación.

La tolerancia para la ganancia de la antena suele ser de  $\pm 0,2$  dB.

## Relación de adelante hacia atrás (F / B)

Denota el nivel más alto de radiación en relación con el haz principal en una zona angular de  $180^\circ \pm 40^\circ$  para todas las antenas.

## Discriminación contrapolar (XPD)

La diferencia en dB entre la ganancia del haz principal copolarizado y la señal con polarización cruzada medida dentro de una zona angular en acimut del doble del ancho máximo del haz de media potencia de la banda de frecuencia.

Este valor suele ser de 30 dB

## Aislamiento entre puertos de antena (IPI)

Denota la relación en dB entre el nivel de potencia aplicado a un puerto de una antena de polarización dual y el nivel de potencia recibido en el otro puerto de entrada de la misma antena.

El valor es de 35 dB como mínimo para todas las antenas.

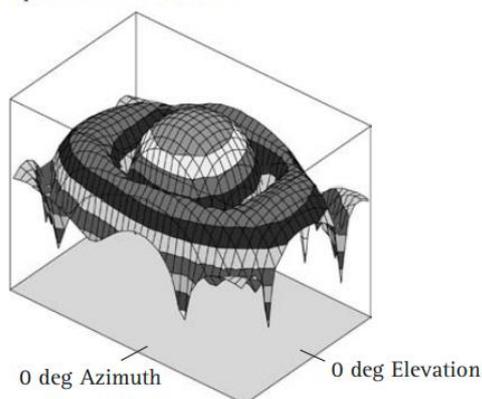
## Pérdida de retorno / relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR)

Los valores de los mismos se suelen indicar como garantizados en toda la banda de frecuencia de funcionamiento.

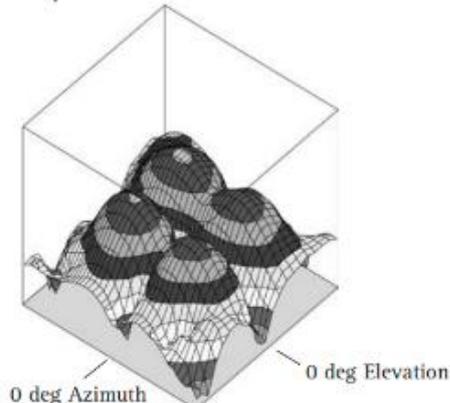
## Patrón de radiación

Un diagrama que relaciona la densidad de flujo de potencia a una distancia constante desde una antena con la dirección relativa al eje del haz principal de la antena.

a.) Copolar Pattern and RPE

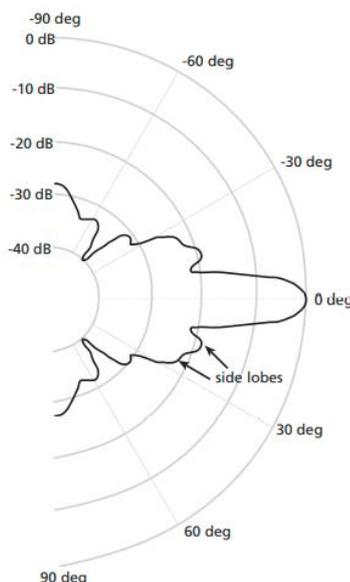


b.) Cross polar Pattern and RPE



Es muy importante la minimización de la **interferencia** mediante el diseño de la antena. La potencia irradiada de una antena de microondas, mas allá del eje principal de directividad a 0 grados, es significativa hasta 90 grados.

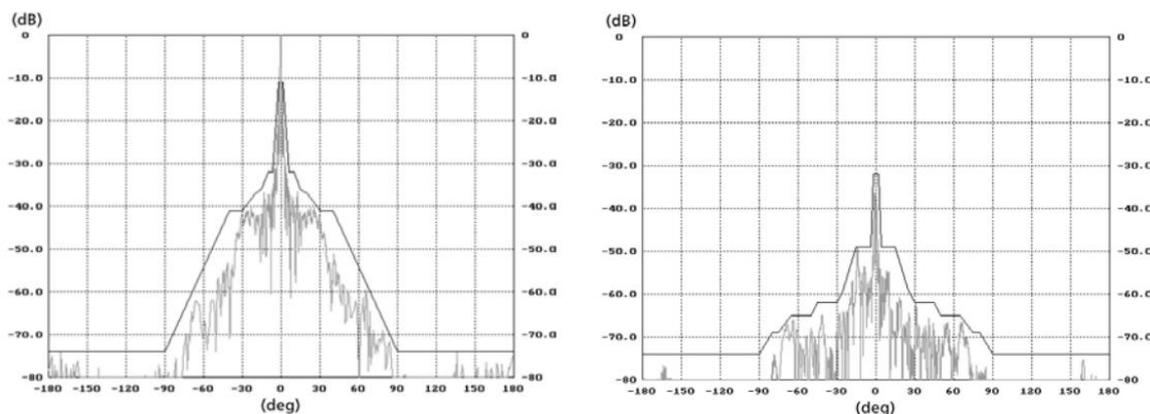
Son estos **lóbulos laterales** los que pueden causar interferencia con enlaces punto a punto adyacentes, y son estos lóbulos laterales que deben minimizarse mediante diseño e instalación cuidadosos de la antena.



### Envolturas de patrón de radiación (RPE)

La envoltura representa los peores valores de las mediciones tomadas en el rango de prueba de patrón en las tres frecuencias media banda, parte inferior y superior de la banda, tanto en condición copolar como polar cruzada, polarizada horizontal y verticalmente, sobre los 360 ° completos de acimut.

Dado que la envoltura se dibuja sobre los picos más altos de todas las mediciones, la radiación de interferencia real en un sistema operativo será generalmente menor que la calculada a partir del RPE. La tolerancia en los valores suelen ser de 3 dB en una región angular de  $\pm 100^\circ$  y 2 dB de  $100^\circ$  a  $180^\circ$ .



### Velocidad del viento de supervivencia

El subsistema de antena sobrevivirá a la velocidad del viento de supervivencia especificada sin ninguna deformación permanente o cambios de forma.

---

Se suelen informar 250 km / h (70 m / seg) para las antenas de 1 pie y 2 pies y 200 km / h (56 m / seg) para todas las demás antenas.

Se tiene en cuenta una carga adicional de una capa de hielo de 30 mm de hielo radial. Se puede agregar **kits de carga de viento especiales** para mejorar la velocidad del viento de supervivencia de todas las antenas hasta 250 km / h.

#### **Velocidad del viento operativa**

La desviación del eje de la antena es menos de un tercio del ancho del haz de media potencia a la frecuencia más alta que se produce. La caída de la señal es solo de aproximadamente 1 dB; por tanto, el enlace de radio seguirá funcionando.

Un valor común es 190 km / h (53 m / seg) para todas las antenas.

Las antenas con kit de carga de viento ofrecen una velocidad operativa del viento de 200 km / h en todos los tipos.

## **5. Rendimiento (Performance) a definir en el diseño del link.**

En el mercado se ofrece diferentes rendimientos de antenas según la necesidad.

Las antenas están disponibles en bandas de frecuencia que van desde 3GHz a 60GHz. Están disponibles en diámetros desde 1 pie (0,3 m) hasta 15 pies (4,60 m).

Suelen cumplir diferentes standards como EN 300631, EN 300833 y FCC según la rango de frecuencia.

Es muy importante no subestimar la elección de la antena respecto al **diseño mecánico** y considerando las opciones de velocidades del viento de supervivencia en áreas en donde las condiciones extremas del clima son frecuentes.

A continuación, se enumerarán diferentes performance y sus características particulares, con ejemplos de antenas del proveedor RFS.

**STANDARD PERFORMANCE**



**PAD**  
 Single polarized,  
 standard, (FCC part  
 101, category "A"  
 compliant)



**PADX**  
 Dual polarized,  
 standard, (FCC part  
 101, category "A"  
 compliant)



**PA, SP**  
 Single polarized  
**PAL**  
 Single polarized,  
 low VSWR



**PAX, SPX**  
 Dual polarized



**PSF, SPF**  
 Single polarized,  
 non-pressurized,  
 Spread Spectrum

**HIGH PERFORMANCE**



**DA, SD, SDF**  
 Single polarized



**DAX, SDX**  
 Dual polarized

**ULTRA HIGH PERFORMANCE**



**UA, SU**  
 Single polarized



**UDA, SUX**  
 Dual polarized



**UXA**  
 Dual polarized,  
 high XPD



**SB**  
 CompactLine,  
 single polarized



**SBX**  
 CompactLine,  
 dual polarized



**LA**  
 Lens,  
 single polarized

**Antenas de rendimiento estándar**

Suelen ser las mas económicas y se usan en lugares en donde la supresión de lóbulos laterales es de menor importancia.

Constan de un reflector, alimentación y montaje en torre.

Se suelen ofrecer versiones de VSWR bajo tener baja distorsión por reflexión.

**Antenas de rendimiento mejorado**

Las antenas de rendimiento mejorado, al igual que las estándar tampoco tienen radomo pero ofrecen una solución económica para sistemas que requieren un buen rendimiento de radiación, especialmente en la región trasera. La relación F / B mejorada se logra mediante el uso de un diseño de alimentación eficiente junto con un reflector de plato profundo. Estas características dan como resultado una relación de adelante hacia atrás mejorada y fueron especialmente diseñadas para cumplir con los estándares de la categoría A de la FCC.

Es la serie PAD en las ilustraciones de RFS.

**Antenas de alto rendimiento**

Las antenas de alto rendimiento son similares a las antenas de ultra alto rendimiento en su construcción. Son ideales para sistemas donde se requiere un buen nivel de supresión de lóbulos laterales.

Son la serie DA en RFS.

### Antenas de ultra alto rendimiento

Las antenas de rendimiento ultra alto son la opción óptima para sistemas donde se requiere un alto nivel de rendimiento de patrón debido a la alta congestión de radio local. Las antenas se suministran con baja alimentación VSWR, radomo plano, montaje en torre y cubierta con absorbedor de RF.

Son la serie UA en RFS

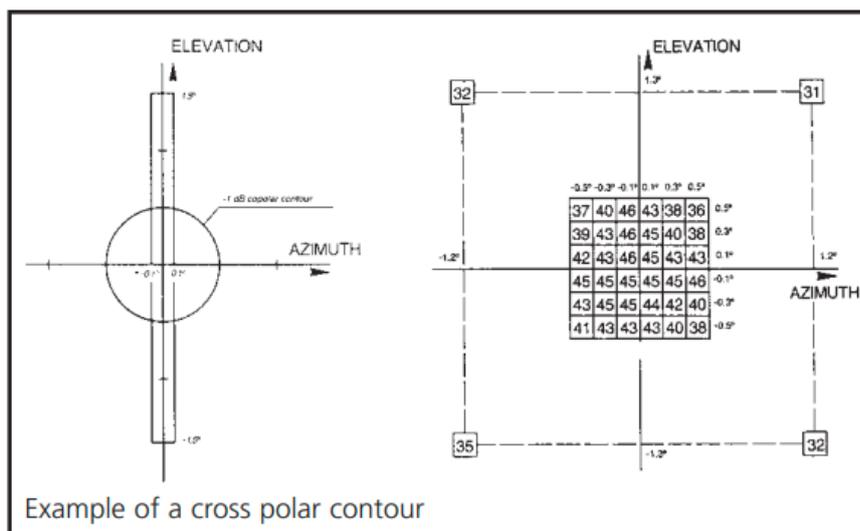
### Antenas de alta discriminación polar cruzada

Son antenas de rendimiento ultra alto. Estas antenas ofrecen supresión de lóbulos laterales altos. Además, ofrecen una discriminación contrapolar extremadamente alta. Por lo tanto, son ideales para sistemas de muy alta capacidad que utilizan una gran reutilización de frecuencias en entornos muy congestionados. Este rendimiento sobresaliente se logra mediante el uso de un iluminador corrugado especial, una estructura trasera de caja de torsión rígida que garantiza que el reflector mantenga su forma en el campo y un estricto control de calidad durante la fabricación.

Las características de polarización cruzada para ángulos de radiación cercanos a la vista del orificio cumplen con los requisitos más altos de XPD de acuerdo con EN 300 833 y FCC.

Hay disponibles antenas de alta discriminación contrapolar para frecuencias de 4 GHz a 23 GHz.

Son la serie UX en RFS



### Antenas compactas.

Hoy en día los operadores móviles y los usuarios privados de microondas tienen requisitos de soluciones rentables para sus sistemas de antenas de microondas. Estas necesidades incluyen productos que son fáciles y rápidos de instalar mientras mantienen un buen rendimiento eléctrico.

Como ejemplo RFS responde a esta exigencia con las series de antenas SlimLine y CompactLine.

La serie de antenas **SlimLine** utiliza un sistema de alimentación convencional y está disponible en versiones de rendimiento estándar, alto y ultra alto.

---

Diámetros de 1 pie (0,3 m) a 6 pies (1,8 m).

Son la serie SP, SD y SU.

La serie de antenas **CompactLine** utiliza un sistema de alimentación especial que da como resultado una longitud de cubierta reducida y, en consecuencia, una antena de perfil más bajo.

Son más livianas que las antenas estándar para reducir la carga en la torre y costos de envío.

Hasta 2 pies (0,6 m) de diámetro son muy resistentes, con una clasificación de carga de viento de 250 km / h (155 mph).

Diámetros de 1 pie (0,3 m), 2 pies (0,6 m), 3 pies (0,9 m) y 4 pies (1,2 m).

Son la serie SB

### **Antenas de lentes**

Una solución económica para enlaces de radio de **corta distancia**.

Las antenas se basan en un diseño de antena de bocina convencional. Se utiliza una lente dieléctrica para corregir la diferencia de fase en la apertura, que se produce debido a la gran relación entre la longitud de onda y el diámetro de apertura.

Las antenas de lentes no tienen partes metálicas que bloqueen la apertura de radiación. Esto da como resultado una **eficiencia** de antena muy alta de casi el 70%.

Una ventaja adicional es la **impresión visual**. Hasta cierto punto, una antena de lente parece una lámpara. Esta solución es muy adecuada para instalaciones donde las restricciones ambientales limitan la elección del tipo de antena, como en la proximidad de edificios o monumentos catalogados.

Las antenas de lente están disponibles con un diámetro de 0,5 pies (0,15 m) que ofrecen un rendimiento de radiación ultra alto.

Serie LA en RFS.

### **Antenas Integradas**

Las antenas compactas vistas anteriormente se pueden diseñar a pedido del cliente y proporcionar una adaptación diseñada a medida para la unidad exterior del equipo de radio.

Esto permite que la unidad exterior de la radio se monte directamente en la antena, eliminando la necesidad de una conexión adicional de guía de ondas twistflex o elíptica entre la radio y la antena.

La antena normalmente se monta en un poste vertical.

La caja del equipo se puede reemplazar sin necesidad de realinear el sistema de antena.

## Ejemplos de antena integradas:

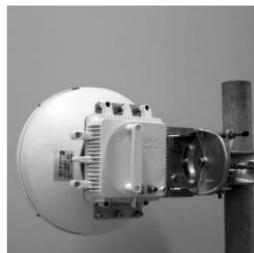
### Integrated Antennas with Multi purpose mount



2ft Ceragon



2ft Alcatel



1ft NEC



2ft Siemens

## Radomos

Para mejorar la resistencia al viento y evitar esfuerzos y así bajar el costo de refuerzos de estructuras, las antenas sólidas suelen venir con radomo incluido u opcionales.

Hay radomos moldeados opcionales disponibles para antenas de rendimiento estándar de 2 a 12 pies.

Los radomos están hechos de **resina de poliéster** reforzada con fibra de vidrio cubierta con una capa de gel. El radomo de 2 pies está fabricado con **material ABS**.

La forma **minimiza la influencia del radomo** sobre la ganancia de la antena, la pérdida de retorno y las características de radiación.

Los radomos con **una forma plana especial** están disponibles para todas las antenas de 4 y 6 pies por encima de 5,6 GHz. Estos radomos proporcionan un **volumen de embalaje** reducido y, por lo tanto, son ideales para el transporte.

Los radomos moldeados protegen contra la **acumulación de nieve**, hielo y suciedad y reducen la carga del viento. La superficie está protegida contra la degradación ultravioleta.

Tabla de RFS (ejemplo) para comparar las distintas características en banda 2,4 GHz; 7,1 a 8,5 GHz y 23 GHz

## Parabolic Point to Point Antennas

## 2.3 - 2.5 GHz

### Antenna Input<sup>1</sup> – N Male

Model Number	Diameter ft (m)	3 dB-BW (deg)	Gain (dBi)			F/B Ratio (dB)	XPD (dB)	IPI (dB)	VSWR/ R L (dB)	Fine Adjustment		Windspeed km/h (mph)	Weight kg (lb)	FCC Standard	ETSI Standard
			Low	Mid	High					Az (deg)	Elev (deg)				
<b>SlimLine Standard Performance, Non-Pressurized, Single Polarized</b>															
SPF2-23A	2 (0.6)	13.8	20.1	20.5	20.9	30	25	1.50/13.98	± 5	± 15	200 (125)	10 (22)	-	-	-
SPF3-23A	3 (0.9)	9.2	23.8	24.2	24.5	33	25	1.50/13.98	± 5	± 15	200 (125)	16 (35.2)	-	-	-
SPF4-23A	4 (1.2)	6.9	26.7	27.1	27.4	36	25	1.50/13.98	± 5	± 10	200 (125)	24 (52.8)	-	-	-
SPF6-23B	6 (1.8)	4.6	30.2	30.6	31.0	39	25	1.50/13.98	± 5	± 5	200 (125)	50 (110)	-	-	-

**Banda 7,125 a 8,5 GHz**

Model Number	Diameter ft (m)	3 dB-BW (deg)	Gain (dBi) Low Mid High	F/B Ratio (dB)	XPD (dB)	IPI (dB)	VSWR/ R L (dB)	Fine Adjustment Az (deg)	Elev (deg)	Windspeed km/h (mph)	Weight kg (lb)	FCC Standard	ETSI Standard
<b>Standard Performance, Low VSWR, Single Polarized</b>													
PAL8-W71A	8 (2.4)	1.1	42.6 43.3 44.0	50	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	120 (264)		Range 1, class 1
PAL10-W71A	10 (3.0)	0.9	44.6 45.3 46.0	52	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	215 (473)		Range 1, class 1
PAL12-W71A	12 (3.7)	0.7	46.2 47.0 47.7	54	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	310 (682)		Range 1, class 1
PAL15-W71A	15 (4.6)	0.6	47.9 48.7 49.4	56	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	570 (1254)		Range 1, class 1
<b>Standard Performance, Dual Polarized</b>													
PAX8-W71A	8 (2.4)	1.1	42.4 43.1 43.9	50	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	120 (264)		Range 1, class 1
PAX10-W71A	10 (3.0)	0.9	44.4 45.1 45.9	52	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	215 (473)		Range 1, class 1
PAX12-W71A	12 (3.7)	0.7	46 46.7 47.5	54	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	310 (682)		Range 1, class 1
PAX15-W71A	15 (4.6)	0.6	47.7 48.6 49.4	56	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	570 (1254)		Range 1, class 1
<b>High Performance, Single Polarized</b>													
DA2-W71B	2 (0.6)	4.3	30.8 31.3 31.7	52	30		1.19 / 21.2	± 30	± 30	250 (156)	15 (33)		Range 1, class 2
DA4-W71A	4 (1.2)	2.2	36.6 37.3 38.1	62	30		1.10 / 26.4	± 5	± 10	200 (125)	45 (99)		Range 1, class 2
DA6-W71B	6 (1.8)	1.5	40.1 40.8 41.6	66	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	95 (209)		Range 1, class 2
DA8-W71A	8 (2.4)	1.1	42.6 43.3 44.1	68	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	180 (396)		Range 1, class 2
DA10-W71A	10 (3.0)	0.9	44.6 45.3 46.1	70	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	290 (638)		Range 1, class 2
DA12-W71A	12 (3.7)	0.7	46.2 47.0 47.7	71	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	420 (924)		Range 1, class 2
DA15-W71A	15 (4.6)	0.6	47.9 48.7 49.4	72	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	750 (1650)		Range 1, class 2
<b>High Performance, Dual Polarized</b>													
DAX4-W71A	4 (1.2)	2.2	36.2 36.9 37.7	61	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	45 (99)		Range 1, class 2
DAX6-W71B	6 (1.8)	1.5	39.9 40.6 41.4	65	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	95 (209)		Range 1, class 2
DAX8-W71A	8 (2.4)	1.1	42.4 43.1 43.9	68	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	180 (396)		Range 1, class 2
DAX10-W71A	10 (3.0)	0.9	44.4 45.1 45.9	70	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	290 (638)		Range 1, class 2
DAX12-W71A	12 (3.7)	0.7	46 46.7 47.5	71	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	420 (924)		Range 1, class 2
DAX15-W71A	15 (4.6)	0.6	47.7 48.6 49.4	72	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	750 (1650)		Range 1, class 2
<b>Ultra High Performance, Single Polarized</b>													
UA8-W71A	8 (2.4)	1.1	42.6 43.3 44.1	71	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	180 (396)		Range 1, class 3
UA10-W71A	10 (3.0)	0.9	44.6 45.3 46.1	73	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	290 (638)		Range 1, class 3
UA12-W71A	12 (3.7)	0.7	46.2 47.0 47.7	74	30		1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	420 (924)		Range 1, class 3
<b>Ultra High Performance, Dual Polarized</b>													
UDA8-W71A	8 (2.4)	1.1	42.4 43.1 43.9	71	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	180 (396)		Range 1, class 3
UDA10-W71A	10 (3.0)	0.9	44.4 45.1 45.9	73	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	290 (638)		Range 1, class 3
UDA12-W71A	12 (3.7)	0.7	46 46.7 47.5	74	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	420 (924)		Range 1, class 3
UDA15-W71A	15 (4.6)	0.6	47.7 48.6 49.4	76	30	35	1.10 / 26.4	± 5	± 5	200 (125)	750 (1650)		Range 1, class 3
<b>SlimLine Standard Performance, Single Polarized</b>													
SP2-W71B	2 (0.6)	4.3	30.8 31.3 31.9	40	30		1.20 / 20.8	± 30	± 30	250 (156)	10 (22)		Range 1, class 1
SP4-W71A	4 (1.2)	2.2	36.6 37.3 38	45	30		1.15 / 23.1	± 5	± 10	200 (125)	30 (66)		Range 1, class 1
SP6-W71B	6 (1.8)	1.5	40.1 40.8 41.6	48	30		1.15 / 23.1	± 5	± 5	200 (125)	50 (110)		Range 1, class 1
<b>SlimLine Standard Performance, Dual Polarized</b>													
SPX4-W71A	4 (1.2)	2.2	36.2 36.9 37.6	45	30	35	1.19 / 21.2	± 5	± 5	200 (125)	30 (66)		Range 1, class 1
SPX6-W71B	6 (1.8)	1.5	39.9 40.6 41.4	48	30	35	1.19 / 21.2	± 5	± 5	200 (125)	50 (110)		Range 1, class 1
<b>SlimLine Ultra High Performance, Single Polarized</b>													
SU2-W71B	2 (0.6)	4.3	30.8 31.3 31.9	55	30		1.20 / 20.8	± 30	± 30	250 (156)	15 (33)		Range 1, class 2
SU3-W71A	3 (0.9)	2.6	33.7 34.4 35.3	58	30		1.20 / 20.8	± 5	± 15	200 (125)	23 (50.5)		Range 1, class 3
SU4-W71A	4 (1.2)	2.2	36.2 36.9 37.6	63	30		1.15 / 23.1	± 5	± 10	200 (125)	45 (99)		Range 1, class 3
SU6-W71B	6 (1.8)	1.5	40 40.8 41.6	67	30		1.15 / 23.1	± 5	± 5	200 (125)	95 (209)		Range 1, class 3
<b>SlimLine Ultra High Performance, Dual Polarized</b>													
SUX4-W71A	4 (1.2)	2.2	36.1 36.8 37.5	63	30	35	1.19 / 21.2	± 5	± 5	200 (125)	45 (99)		Range 1, class 3
SUX6-W71B	6 (1.8)	1.5	39.8 40.6 41.4	67	30	35	1.19 / 21.2	± 5	± 5	200 (125)	95 (209)		Range 1, class 3
<b>CompactLine, Single Polarized</b>													
SB4-W71B	4 (1.2)	2.3	36.2 36.9 37.6	63	30		1.30 / 17.7	± 5	± 10	200 (125)	39 (86)		Range 1, class 3

## Parabolic Point to Point Antennas

21.2 - 23.6 GHz

### Antenna Input<sup>1</sup> – 154 IEC-PBR 220, 154 IEC-UBR220 (only Lens Antenna), UG-596/U

Model Number	Diameter ft (m)	3 dB-BW (deg)	Gain (dBi)			F/B Ratio (dB)	XPD (dB)	IPI (dB)	VSWR/ R L (dB)	Fine Adjustment		Windspeed km/h (mph)	Weight kg (lb)	FCC Standard	ETSI Standard
			Low	Mid	High					Az (deg)	Elev (deg)				
<b>Ultra High Performance, High Crosspolar Discrimination, Dual Polarized</b>															
UXA2-220B	2 (0.6)	1.6	39.5	40	40.5	66	36	40	1.15 / 23.1	± 30	± 30	250 (156)	15 (33)		Range 3, class 2, XPD
UXA4-220A	4 (1.2)	0.8	45.5	46	46.4	72	36	40	1.13 / 24.3	± 5	± 10	200 (125)	40 (88)		Range 3, class 3, XPD
UXA6-220B	6 (1.8)	0.5	49	49.5	49.9	76	36	40	1.13 / 24.3	± 5	± 5	200 (125)	95 (209)		Range 3, class 2, XPD
<b>SlimLine Standard Performance, Single Polarized</b>															
SP2-220B	2 (0.6)	1.6	39.7	40.2	40.7	52	32		1.20 / 20.8	± 30	± 30	250 (156)	10 (22)		Range 3, class 1
SP3-220A	3 (0.9)	1.1	43.1	43.6	44.1	53	32		1.20 / 20.8	± 5	± 15	200 (125)	16 (35.2)	B	
SP4-220A	4 (1.2)	0.8	45.8	46.3	46.8	58	32		1.20 / 20.8	± 5	± 10	200 (125)	24 (53)	B	
SP6-220B	6 (1.8)	0.5	49.2	49.7	50.2	61	32		1.20 / 20.8	± 5	± 5	200 (125)	50 (110)	B	Range 3, class 1
<b>SlimLine Standard Performance, Dual Polarized</b>															
SPX2-220B	2 (0.6)	1.6	39.5	40	40.5	52	32	35	1.25 / 19.1	± 30	± 30	250 (156)	10 (22)	B	Range 3, class 1
SPX3-220A	3 (0.9)	1.1	43	43.5	44	53	32	35	1.25 / 19.1	± 5	± 15	200 (125)	16 (35.2)	B	
SPX4-220A	4 (1.2)	0.8	45.5	46	46.5	58	32	35	1.25 / 19.1	± 5	± 10	200 (125)	24 (53)	B	Range 3, class 1
SPX6-220B	6 (1.8)	0.5	48.9	49.4	49.9	61	32	35	1.25 / 19.1	± 5	± 5	200 (125)	50 (110)	A	Range 3, class 1
<b>SlimLine Ultra High Performance, Single Polarized</b>															
SU3-220A	3 (0.9)	1.1	43.1	43.6	44.1	70	32		1.20 / 20.8	± 5	± 15	200 (125)	23 (50.5)	A	Range 3, class 2
SU4-220A	4 (1.2)	0.8	45.6	46.1	46.6	72	32		1.20 / 20.8	± 5	± 10	200 (125)	35 (77)	A	Range 3, class 3
SU6-220B	6 (1.8)	0.5	49	49.5	50	75	32		1.20 / 20.8	± 5	± 5	200 (125)	95 (209)	A	Range 3, class 2
<b>SlimLine Ultra High Performance, Dual Polarized</b>															
SUX1-220A	1 (0.3)	2.8	34.1	34.6	35.1	61	30	35	1.25 / 19.1	± 5	± 25	250 (156)	7.5 (16.5)		Range 3, class 2
SUX2-220B	2 (0.6)	1.6	39.5	40	40.5	66	32	35	1.25 / 19.1	± 30	± 30	250 (156)	15 (33)	B	Range 3, class 2
SUX3-220A	3 (0.9)	1.1	43	43.5	44	68	32	35	1.25 / 19.1	± 5	± 15	200 (125)	23 (50.5)	A	Range 3, class 3
SUX4-220A	4 (1.2)	0.8	45.5	46	46.5	72	32	35	1.25 / 19.1	± 5	± 10	200 (125)	35 (77)	A	Range 3, class 3
SUX6-220B	6 (1.8)	0.5	48.9	49.4	49.9	75	32	35	1.25 / 19.1	± 5	± 5	200 (125)	95 (209)	A	Range 3, class 2
<b>CompactLine, Single Polarized</b>															
SB1-220B	1 (0.3)	2.7	35.3	35.6	35.9	61	30		1.30 / 17.7	± 5	± 25	250 (156)	4 (8.8)	B	Range 3, class 3
SB2-220C	2 (0.6)	1.5	40.5	41	41.5	66	30		1.30 / 17.7	± 30	± 30	250 (156)	12 (26.5)	A	Range 3, class 3
SB3-220A	3 (0.9)	1.1	43.1	43.6	44.1	70	30		1.30 / 17.7	± 5	± 15	200 (125)	23 (50.5)	A	Range 3, class 3
SB4-220A	4 (1.2)	0.8	45.5	46.1	46.6	74	30		1.30 / 17.7	± 5	± 10	200 (125)	33 (73)	A	Range 3, class 3
<b>CompactLine, Dual Polarized</b>															
SBX1-220B	1 (0.3)	2.7	35.1	35.4	35.7	61	30	35	1.28 / 18.2	± 5	± 25	250 (156)	6.5 (14.3)		Range 3, class 3
SBX2-220C	2 (0.6)	1.6	40.3	40.8	41.3	66	30	35	1.28 / 18.2	± 30	± 30	250 (156)	12 (26.5)	A	Range 3, class 3

## 6. Repetidores Pasivos

Normalmente el propósito de estas repetidoras es sortear un obstáculo, a costa de tener grandes pérdidas de sistema.

Hay dos modalidades de repetidores pasivo: 1) Parábolas back to back y 2) paneles reflectores.

En general, cuando el ángulo de reflexión es rasante hay que usar **doble reflector** o antena back to back.

El mas elemental es utilizar dos parábolas en configuración **back to back**.



En este caso se calcula la pérdida sumando la doble pérdida de espacio libre desde la Est.A al Rep (d1), y del Rep a la Est.B (d2). Mas las ganancias de ambas antenas menos las pérdidas por acoplamiento.

Normalmente se busca si es posible que d1 y d2 sean lo mas diferentes posibles. Una de las distancias lo mas pequeña posible.

Ejemplo: si tenemos un enlace de 20 km y lo dividimos a la mitad tendremos

Sabemos que la pérdida de espacio libre es  $l_b = (4\pi r/\lambda)^2$

En dB es:  $32,45 + 20 \log(f \text{ en MHz}) + 20 \log(d \text{ en Km})$ .

Para 20 Km y  $f=7500$  MHz es 136 dB

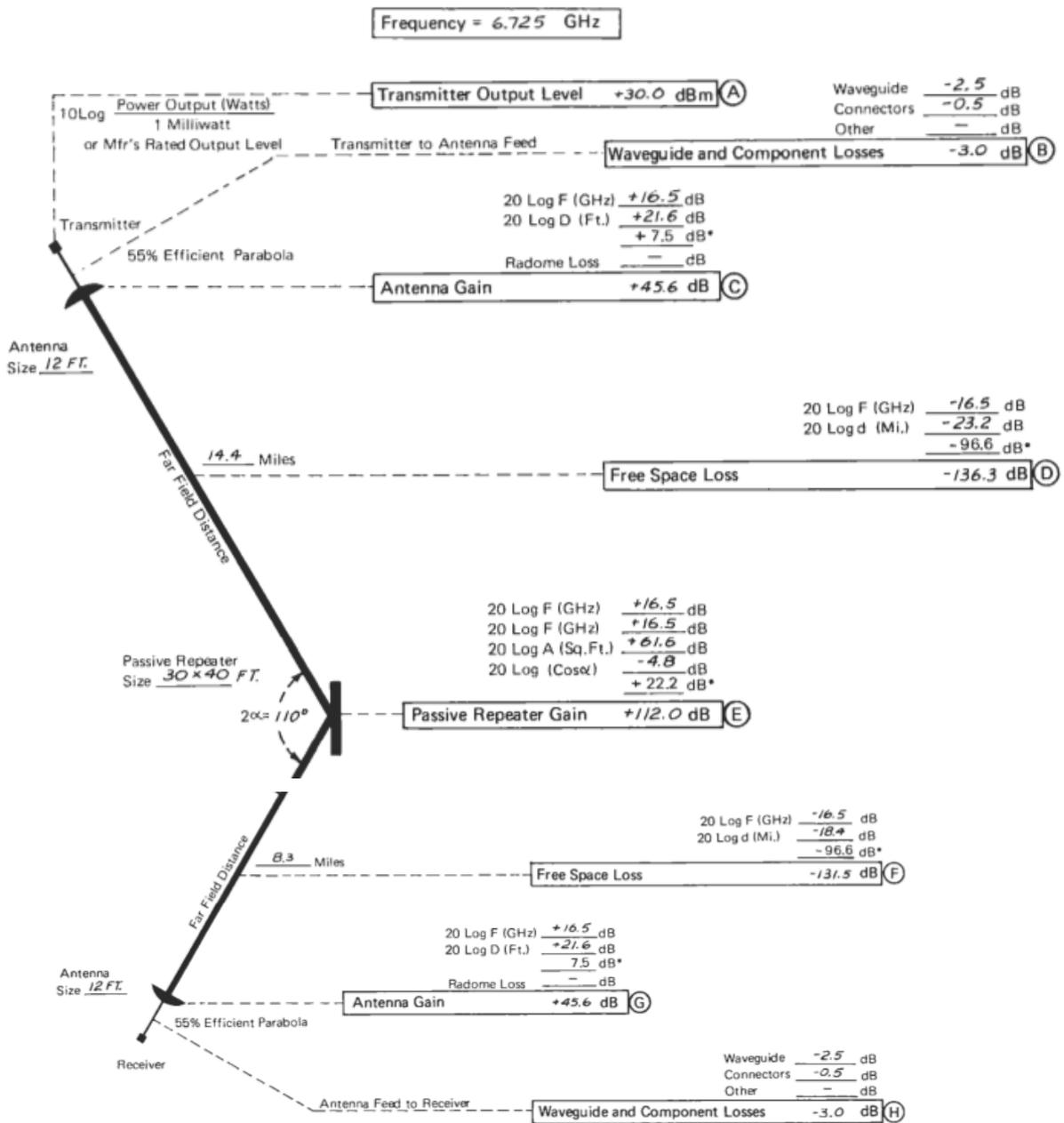
Para 2x 10 km es  $2 \times 130 = 260$  dB → la pérdida es muy grande.

Para 1 km + 19 km es  $= 110 + 135,5 = 245,5$  dB → es 14,4 dB menos si tenemos una importante asimetría en la posición del repetidor.

Para el caso de un **panel reflector** el cálculo de pérdida requiere de gráficos para calcular campo cercano, ya que tanto por la asimetría que hablamos como por el uso de doble repetidor, tenemos que considerar este efecto.



EL que sigue es un cálculo sencillo en donde sólo hay campo lejano:



\* These values are constant from conversion of the formulas for gains and losses to logarithmic form.

COMPUTATIONAL RESULTS:

ANTENNA SYSTEM LOSS = Algebraic sum of (C)(D)(E)(F)(G) = **-64.6 dB**  
 RECEIVED SIGNAL LEVEL = Algebraic sum of (A)(B)(C)(D)(E)(F)(G)(H) = **-40.6 dBm**  
 FADE MARGIN = Practical receiver threshold ( $-77.0 \text{ dBm}$ ) - Received signal level = **36.4 dB**

Ejemplo con campo cercano:

**SINGLE PASSIVE REPEATER, NEAR FIELD OF ONE ANTENNA**

Example of path calculation is shown in red.

Transmitter Antenna Size 10 FT.

Antenna Size 10 FT.

Antenna Gain +48.4 dB

Miles 15.8 Miles

Free Space Loss -141.6 dB

Passive Size 24x30

Miles 0.7 Miles

Near Field Loss or Gain,  $\alpha n = (-)$  OR  $(+)$  +2.5 dB

Antenna Size 6 FT.

Antenna Gain +44.0 dB

Algebraic sum of above values

Antenna System Loss -46.7 dB

Waveguide 3.0 dB

Connectors 1.0 dB

Other \* - dB

Component Losses -4.0 dB

Waveguide 6.0 dB

Connectors 1.0 dB

Other \* - dB

Component Losses -7.0 dB

Transmitter Output Level +25.0 dBm

Antenna System Loss -46.7 dB

Algebraic sum of above values

Received Signal Level -32.7 dBm

Threshold\*\* -75.0 dBm

Received Signal Level -32.7 dBm

Fade Margin 42.3 dB

Frequency GHz 11.2 GHz

Antenna Gain dB +48.4 dB

Free Space Loss dB -141.6 dB

Passive Size 24x30

Near Field Loss or Gain,  $\alpha n = (-)$  OR  $(+)$  dB +2.5 dB

Antenna Gain dB +44.0 dB

Algebraic sum of above values

Antenna System Loss dB -46.7 dB

Waveguide dB 3.0 dB

Connectors dB 1.0 dB

Other \* dB - dB

Component Losses dB -4.0 dB

Waveguide dB 6.0 dB

Connectors dB 1.0 dB

Other \* dB - dB

Component Losses dB -7.0 dB

Transmitter Output Level dBm +25.0 dBm

Antenna System Loss dB -46.7 dB

Algebraic sum of above values

Received Signal Level dBm -32.7 dBm

Threshold\*\* dBm -75.0 dBm

Received Signal Level dBm -32.7 dBm

Fade Margin dB 42.3 dB

*Handwritten calculations:*

$$\frac{1}{K} = \frac{(\pi)(0.9836/11.2)(0.7)(5280)}{(4)(24)(30)(\cos 88/2)}$$

$$L = 6 \sqrt{\frac{\pi}{(4)(24)(30)(\cos 88/2)}}$$

*Graph labels:*  $\alpha n$ ,  $L=0.23$ ,  $1/K$ ,  $0.48$ ,  $+2.5$

See page 40

10 Log Power Output (Watts) or Manufacturer's Rated Output Level

Transmitter to Antenna Feed

Antenna to Receiver

Far Field Distance

Near Field Distance

2  $\alpha =$

2  $\alpha = 88^\circ$

Transmitter

Receiver

Passive

\* COMPONENT LOSSES  
 Component losses between the antenna feed and transmitter or receiver OTHER THAN WAVEGUIDE AND CONNECTORS, may be caused by circulators, hybrids, filters, switches, combiners or any other components that may be inserted between the transmitter or receiver terminals and the antenna feed.

\*\* THRESHOLD  
 A practical threshold for the receiver system is usually evaluated. This is often regarded as the FM Improvement Threshold or the point where baseband signal to noise is 30dB. It is the median threshold level provided by the system in the absence of fading.

*Bibliografía utilizada para el dictado de este curso:*

“Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación” de Juan José Murillo Fuentes

“Transmisión por radio”, de José María Hernando Rábanos.

“Radio system design for Telecommunications”, de Roger L. Freeman.

Catálogo de antena RFS.