

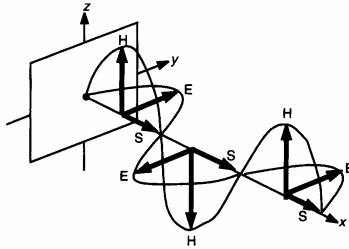


Antenas de Microondas (Microwave Antennas)

Capítulo 6

Ing. Marcial Antonio López Tafur
mlopez@uni.edu.pe

Onda Electromagnética



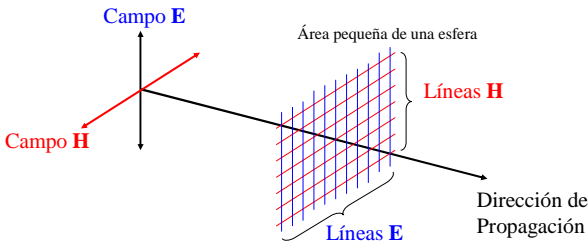
UNI - FIEE 2

Definiendo la Polarización

- La polarización de una onda plana uniforme se refiere a las variaciones en el tiempo del vector Campo Eléctrico (E) en algunos puntos fijos del espacio.
- Una onda plana uniforme viajando en la dirección z tendrá vectores E y H en el plano x-y.
- Sí $E_y = 0$ y E_x esta presente, la onda esta horizontalmente polarizada (y vertical para E_y presente y $E_x = 0$)
- Sí ambas E_y and E_x están presentes, el campo eléctrico resultante tendrá una dirección y magnitud dependiente de la magnitud y fase de E_y y E_x

UNI - FIEE 3

Polarización de la Onda EM



UNI - FIEE 4

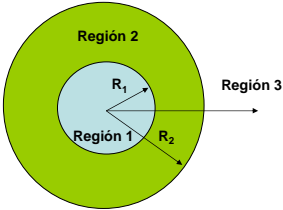
Regiones de las ANTENAS

• REGIONES DE LA ANTENA

$$R_2 = 2D^2/\lambda$$

$$R_1 = (0.6D^3/\lambda)^{1/2}$$

D = La mayor dimensión del radiador



- Región 1 es la región reactiva campo cercano. Región por $0 < R < R_1$.
- Región 2 es la región radiante de campo cercano, o **región de Fresnel**, definido por $R_1 < R < R_2$
- Región 3 es la región radiante de campo lejano, o **región de Fraunhofer**, definido por $R > R_2$.

UNI - FIEE 5

Antenas para usos en Microondas

- Sus características generales incluyen
- Ganancia, Patrón de radiación.
- Rechazo a la interferencia,
- Altura sobre el nivel del suelo,
- Carga en la torre
- Su alimentador asociado
- Los protectores (radomes).

UNI - FIEE 6

Parámetros Físicos de Antena

- Tamaño (Diámetro)
- Peso
- Materiales con los que está construido
- Sobrevivencia / Carga al viento
- Torcedura & Oscilación (Twist & Sway)
- Montaje

UNI - FIEE

7

Parámetros Eléctricos de Antena

- Ganancia (dBi)
- Ancho de Haz (rad o grados)
- Patrón de Radiación
- Discriminación de Polarización Cruzada (XPD - dB)
- Relación Front to Back (F/B)
- Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)
- Pérdida de Retorno (RL - dB)

UNI - FIEE

8

Diagrama
Cartesiano

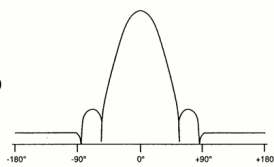
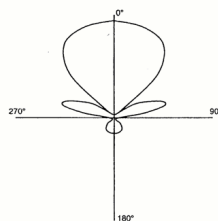


Diagrama
Polar

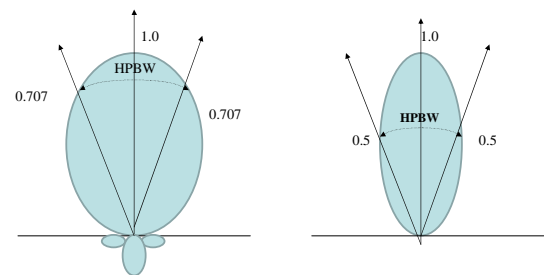


UNI - FIEE

9

Patrón de radiación Polar

- HALF-POWER BEAM WIDTH (HPBW): Ancho de Haz de Media Potencia



UNI - FIEE

10

Patrón de Campo de una Antena

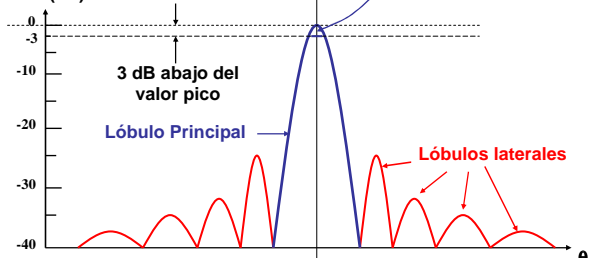
Patrón de Potencia de Antena

- Note que para el patrón de "campo" de la antena, el ancho de haz de media potencia es el ángulo de radiación que cubre de $0.707E_{max}$ a $1.0 E_{max}$, mientras que el patrón de potencia, el HPBW sólo cubre $0.5 U_{max}$ a $1.0 U_{max}$.
- Los patrones de radiación de las antenas son usualmente medidos en el campo lejano, tal que el HPBW y las otras características de los patrones no varíen con la distancia al radiador.

UNI - FIEE

11

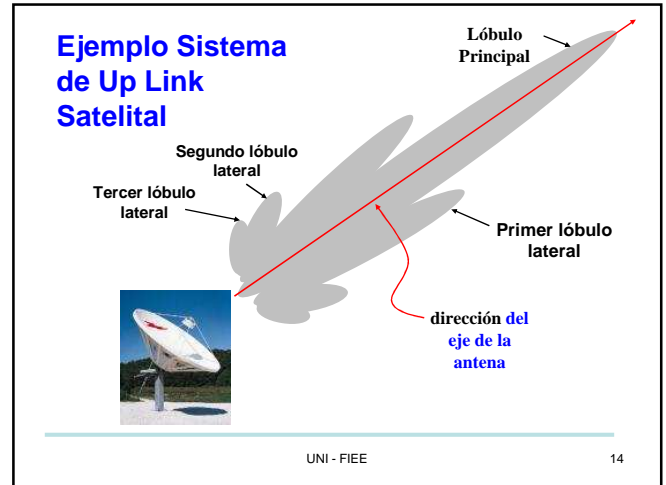
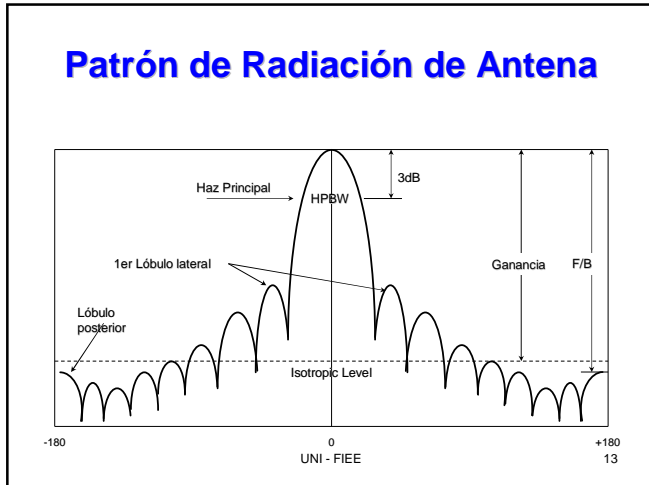
Ganancia
en (dB)



Ploteo rectangular (o cartesiano) del ángulo fuera del eje de la antena

UNI - FIEE

12



Expresiones de Ganancia de Antena

dB_i Ganancia de antena con referencia a una antena isotrópica (ganancia unitaria) – Ingenieros de Microondas

dB_d Ganancia de antena con referencia a un dipolo (2.2 dB_i) - Ingenieros de Móviles (Celulares o Wireless)

Como un ejemplo, una antena parabólica de 0.6 m (plato) operando a 18 GHz tiene una ganancia nominal de 38 dB_i . Doblando el diámetro (1.2) añade 6 dB (p.e. 44 dB_i)

Una antena parabólica de 3.0 m (plato) operando a 1.8 GHz tiene una ganancia nominal de 32 dB_i

UNI - FIEE 15

Relación entre dB_i y dB_d

$$dB_i = dB_d + 2.14 \text{ dB}$$

UNI - FIEE 16

- Las antenas Parabólicas son la forma más común de antenas directivas en comunicaciones por microondas
- La **directividad** de una antena parabólica está dada por:

$$directividad = D = 4\pi A/\lambda^2 = (\pi D/\lambda)^2$$

$A = \text{Área de Apertura} = \pi(\text{radio})^2 = \pi(\text{diámetro}/2)^2$
 Luego, $4\pi A/\lambda^2 = 4\pi(\pi(\text{diámetro}/2)^2)/\lambda^2 = 4\pi^2 D^2/4\lambda^2 = (\pi D/\lambda)^2$

Ejemplo

→

UNI - FIEE 17

- Una antena parabólica tiene una apertura (diámetro), $D = 2\text{m}$. Operará a 12 GHz. ¿Cuanto es su **directividad** en veces y en dB?
- Respuesta: **Hallamos primero la λ**
 Velocidad de la onda de radio = frecuencia \times longitud de onda,

$$c = f\lambda$$

$$3 \times 10^8 = 12 \times 10^9 \times \lambda,$$

$$\lambda = 3 \times 10^8 / 12 \times 10^9 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.025 \text{ m}$$

UNI - FIEE 18

- Ahora encontremos la **directividad**

$$D = 4\pi A/\lambda^2 = (\pi D/\lambda)^2$$

$$D = (\pi \times 2 / 0.025)^2 = 63,165.46817 = 63,165$$

$$\text{o, en dB, } D = 10 \log (63,165.46817) = 48 \text{ dB}$$

Esta es la respuesta teórica!

- Las antenas nunca son perfectas
- La ganancia real que se obtiene es menor que la **directividad** teórica calculada
- La diferencia puede ser interpretada como la **eficiencia** de la antena, η
- Ganancia real = **directividad** $\times \eta$
- El valor de η es:

$$0 \leq \eta \leq 1$$

Ejemplo

- Otro Ejemplo:

La **directividad** calculada de una antena es 50 dB. La eficiencia de la antena es 75%. ¿Cuál es la ganancia real de la antena?

- Respuesta:

Primero: cambiar 50 dB a números \Rightarrow 100,000
Segundo: Multiplicarlo por 0.75 \Rightarrow G de 75,000
Tercero: convertir de vuelta a dB \Rightarrow 48.8 dB

La ganancia real de la antena es 48.8 dB

- Algunas veces la ganancia real es calculada, conociendo su **apertura efectiva**
- La **apertura efectiva** de una antena es su apertura física $\times \eta$, esto es:

$$A_e = A \times \eta$$

- Esta η es la misma "eficiencia" usada anteriormente

Ejemplo

- Una antena de 2m de diámetro tiene una eficiencia de 75%. ¿Cuáles son los valores de las aperturas reales y efectivas?

$$\text{Apertura Real, } A = \pi (\text{radio})^2 = \pi (1)^2 = \pi = 3.14 \text{ m}^2$$

$$\text{Apertura Efectiva} = A_e = \eta A = \eta \times 3.14 = 0.75 \times 3.14 = 2.36 \text{ m}^2$$

Relación de Onda Estacionaria de Voltaje

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)



$$VSWR = \frac{1 + \text{Coeficiente de Reflexión}}{1 - \text{Coeficiente de Reflexión}}$$

- | | |
|---------------|---|
| • VSWR : 1.30 | Coeficiente de Reflexión : 13% (0.13) |
| • VSWR : 1.20 | Coeficiente de Reflexión : 9.1% (0.091) |
| • VSWR : 1.10 | Coeficiente de Reflexión : 4.7% (0.047) |
| • VSWR : 1.08 | Coeficiente de Reflexión : 3.8% (0.038) |
| • VSWR : 1.06 | Coeficiente de Reflexión : 2.9% (0.029) |

Pérdida de Retorno (Return Loss)

La cantidad de energía perdida debido a la Señal Reflejada (Que retorna)

$$RL = -20 \times \log(\text{Coeficiente de Reflexión})$$

- RL : 17.8dB Reflexión : 13% (0.13) VSWR : 1.30
- RL : 20.8dB Reflexión : 9.1% (0.091) VSWR : 1.20
- RL : 26.7dB Reflexión : 4.7% (0.047) VSWR : 1.10
- RL : 28.4dB Reflexión : 3.8% (0.038) VSWR : 1.08
- RL : 30.7dB Reflexión : 2.9% (0.029) VSWR : 1.06

Pérdida de Retorno (Return Loss)

Relaciona el grado de adaptación de la fuente a la carga

$$\text{Coeficiente de Reflexión: } \rho = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

Pérdida de Retorno en dB:

$$RL_{dB} = 20 \log(1/\rho)$$

Ejemplo:

Para VSWR = 1.1 (buen valor)

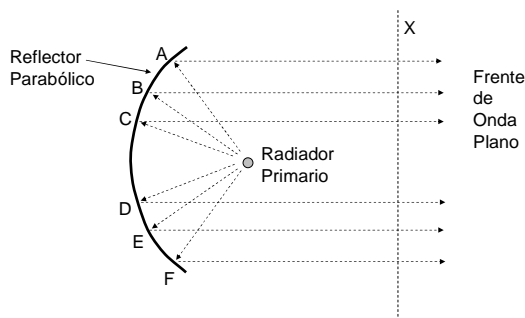
$$\rho = \frac{1.1 - 1}{1.1 + 1} = 0.0476$$

$$RL_{dB} = 20 \log\left(\frac{1}{0.0476}\right) = 26.4 \text{ dB}$$

Antenas para Microondas Terrestres, para Comunicaciones Punto-a-Punto

- Las antenas para enlaces de microondas terrestres generan un haz de señal de RF para comunicarse entre dos ubicaciones.
- Las comunicaciones punto a punto dependen de que exista línea de vista entre las antenas de microondas.
- Obstrucciones, tales como edificios, árboles o terrenos interfieren con las señal.
- Dependiendo de la localización, frecuencia y uso, diferentes tipos pueden utilizarse.

Antena Parabólica



Rendimiento Eléctrico Parámetros



Ganancia de la Antena Parabólica

$$G_a \text{ (dBi)} = 10 \log_{10} \eta [4 \pi A_a / \lambda^2]$$



donde:

- G_a = Ganancia de la antena (de las especificaciones del Catalogo)
- η = Eficiencia de Apertura (50-55%)
- A_a = Área de la Apertura de la Antena
- λ = Longitud de onda (c / f)

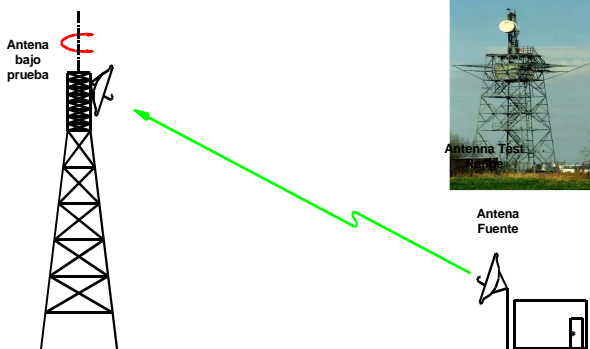


Ganancias típicas de antenas parabólicas en dBi

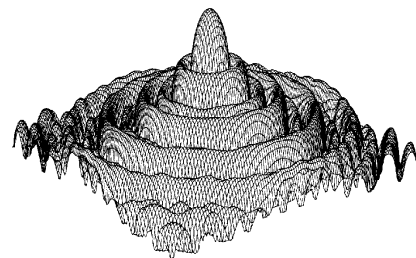
Diámetro de la Antena

	2 ft (0.6m)	4 ft (1.2m)	6 ft (1.8m)	8 ft (2.4m)	10 ft (3.0m)	12 ft (3.7m)	15 ft (4.5m)
2 GHz	19.5	25.5	29.1	31.6	33.5	35.1	37
4 GHz	25.5	31.6	35.1	37.6	39.5	41.1	43.1
6 GHz	29.1	35.1	38.6	41.1	43.1	44.6	46.6
8 GHz	31.6	37.6	41.1	43.6	45.5	47.1	49.1
11 GHz	34.3	40.4	43.9	46.4	48.3	49.9	51.8
15 GHz	37	43.1	46.6	49.1	51	52.6	NA
18 GHz	38.6	44.6	48.2	50.7	NA	NA	NA
22 GHz	40.4	46.4	49.9	NA	NA	NA	NA
38 GHz	45.1	51.1	NA	NA	NA	NA	NA

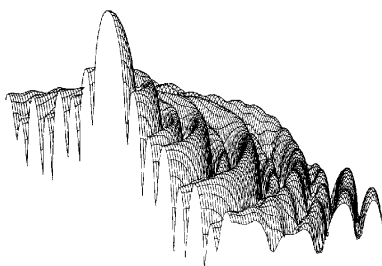
Medida del Patrón de Radiación



Patrón de Radiación acerca del eje de máxima radiación



Corte a través del eje de máxima radiación



Relación Front to Back

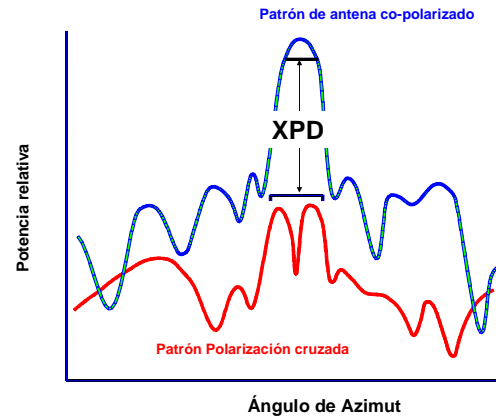
- Relación entre el nivel de la señal del pico del haz delantero con la señal detrás de la antena
- Considerado en sistemas para el cálculo con interferencia intra-system (saltos rebasados)
- Expresado en dB

Co-Polarizada y Polarización Cruzada

- **Co-Polarizada**
 - Cuando las antenas Transmisora & Receptora tienen la misma Polarización
 - Bien Horizontal o Vertical (HH or VV)
 - En su Sistema, La señal deseada
- **Polarización cruzada (Cross-Polarization)**
 - Cuando las antenas Transmisora & Receptora tienen diferentes Polarizaciones
 - Puede ser HV o VH.
 - En su Sistema, La señal no deseada

UNI - FIEE

37

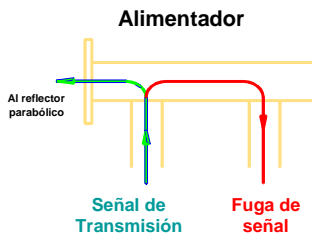


UNI - FIEE

38

Aislamiento entre puertos

Inter-port Isolation (IPI)



- Fuga de señal entre puertos de la antena
- Ruido Interno
- Expresado en dB

UNI - FIEE

39



UNI - FIEE

40

Tipos de Antenas



Antena de rejilla



Antena Parabólica Estándar



Antena de Plano Focal

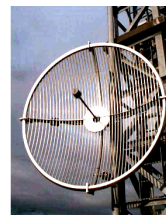


Antena Blindada

UNI - FIEE

41

Antena tipo rejilla o rejilla



- Reflector grillado
- Baja resistencia al viento
- Polarización simple
- Abajo de 2.7GHz
- Fácil de empacar para facilitar traslado

UNI - FIEE

42

Antena de grilla



UNI - FIEE

43

Antena Parabólica Estándar



- Antena Básica
- Compuesta de:
 - Reflector
 - Alimentador
 - Montaje

UNI - FIEE

44

Antena de Plano Focal

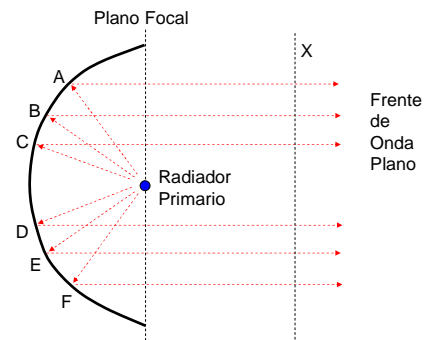


- Reflector Profundo
- Geometría de bordes
- Mejora en la relación F/B
- Ligero decremento de la ganancia

UNI - FIEE

45

Antena de Plano Focal



UNI - FIEE

46

Antena blindada



- Absorber-Lined Shield
- Improved Feed System
- Cobertor plano
- Improved RPE

UNI - FIEE

47

Eficiencia de Antena

Antenas Bien-diseñadas tienen eficiencias de 45 - 65%

El Factor de Eficiencia es afectado por:

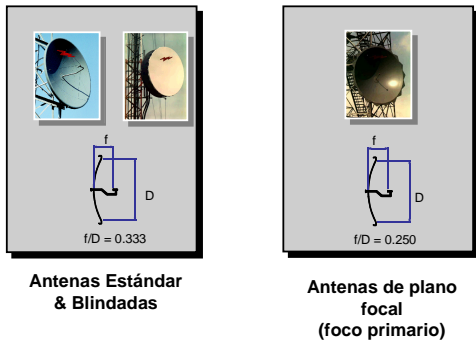
- Iluminación del alimentador
- Bloqueo de la Apertura
- Tolerancia de la superficie del Reflector
- La eficiencia nunca puede ser del 100%



UNI - FIEE

48

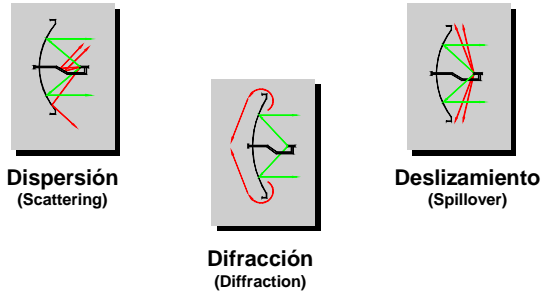
Relación f/D en una Antena



UNI - FIEE

49

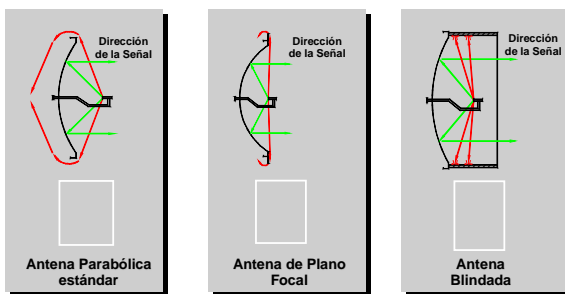
Señales no deseadas



UNI - FIEE

50

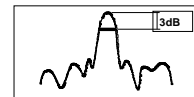
Relación frente/espalda F/B



UNI - FIEE

51

Ancho de Haz - Reflector Parabólico



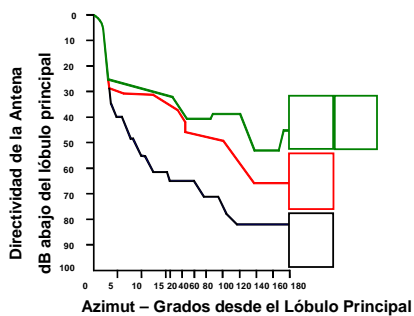
	0.3 m	0.6 m	1.2 m	1.8 m	2.4 m	3 m	3.7 m	4.5 m
2 GHz	35	17.5	8.75	5.83	4.38	3.5	2.84	2.33
6 GHz	11.67	5.83	2.92	1.94	1.46	1.17	0.95	0.78
8 GHz	8.75	4.38	2.19	1.46	1	0.88	0.71	0.58
11 GHz	6.36	3.18	1.59	1	0.8	0.64	0.52	0.42
14 GHz	5	2.5	1.25	0.83	0.63	0.5	0.41	0.33
18 GHz	3.89	1.94	0.97	0.65	0.49	0.39	0.32	0.26
23 GHz	3	1.52	0.76	0.51	0.38	0.3	0.25	0.2
38 GHz	1.84	0.92	0.46	0.31	0.23	0.18	0.15	0.12

Ancho de Haz en grados

UNI - FIEE

52

Envolvente del Patrón de Radiación



UNI - FIEE

53

Cobertores (Radomes)



- Reduce resistencia al viento
- Protección contra Hielo, Nieve y Polvo

UNI - FIEE

54

Campo Cercano y Lejano

- Los patrones de la antena son completamente establecidos a una determinada distancia desde la antena (Campo lejano)
- La ganancia de la antena y pérdida de espacio libre son definidos en el campo lejano.

$$\text{Far field: distancia} = \frac{2D^2}{\lambda}$$

D es el diámetro de la antena en metros y λ es la longitud de onda en metros

UNI - FIEE

55

- El efecto sobre la ganancia de antena cuando las antenas están en el campo cercano es mostrado en la figura siguiente.
- En el primer 40% del campo cercano tiene un efecto que no es tan drástico, pero una vez esta distancia es excedida la respuesta es oscilatoria; por lo tanto, ello es extremadamente difícil predecir cual es la ganancia de la antena.
- Esta curva es especialmente útil para sistemas de antenas Back-to-Back

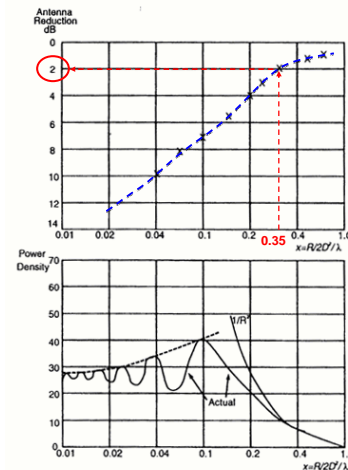
UNI - FIEE

56



UNI - FIEE

57



58

- Como un ejemplo, asuma las antenas están separadas por 60cm, la ganancia a 8 GHz, y $D = 1.8\text{m}$ de plato, es 40.8 dBi en el campo lejano.
- La ganancia de un plato de 3m en el campo lejano es de 45.2 dBi.
- Con 60 cm las antenas están en el campo cercano.
- El factor normalizado del campo cercano X es:

$$X = R / 2D^2 / \lambda$$

UNI - FIEE

59

- Donde R es la distancia entre las 2 antenas en metros. D es el diámetro de la antena, y λ es la longitud de onda de la señal.
- Usando X nosotros podemos calcular que para antenas de 1.8m operando a 8 GHz y separadas por 60 cm, $x = 0.35$ usando la figura, podemos ver que la reducción de la ganancia de la antena es aproximadamente 2dB.

UNI - FIEE

60

- La ganancia efectiva de un plato de 3m es así 39.2 dBi. Ello puede ser visto, por tanto, que debido al efecto del campo cercano, la ganancia efectiva de la antena no se incrementa cuando el tamaño de la antena es incrementado.
- Las antenas muy próximas están acopladas, entonces cuando la ganancia de la antena se incrementa el factor de acoplo se incrementa también.

Factor / Figura de Ruido



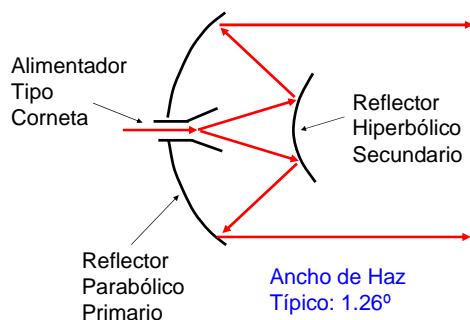
$$\text{Factor de Ruido (f)} = (S/N)_i / (S/N)_o$$

$$\text{Figura de Ruido (NF)} = 10 \log (f)$$

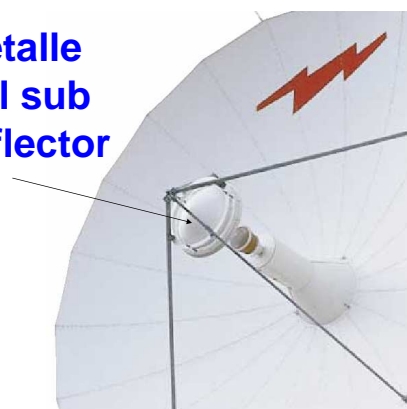
Nota: Señales y Ruido están en unidades de potencia



Alimentador Cassegrain



Detalle del sub reflector



3.7-Meter Pipe Mount – E-2 Type Approved, Eutelsat and Asiasat

4.9-Meter – Pedestal Mount

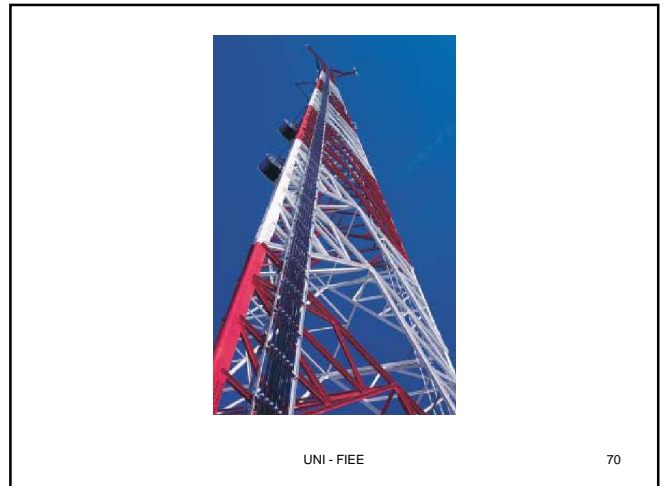
7.3-Meter – F-3 Type Approved

UNI - FIEE 67

	Reflector Cassegrain		Reflector Gregoriano
Sime-tricos			
No Sime-tricos			
	<p>← Reflector Dual Toroidal</p> <p>T+E</p>		

UNI - FIEE 68

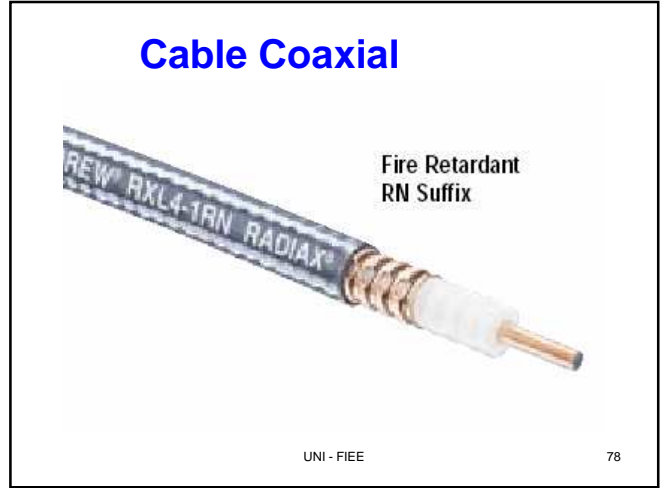
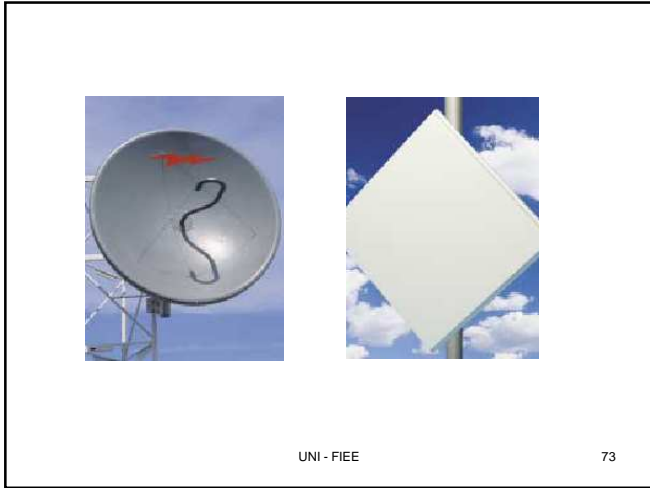
UNI - FIEE 69



Sistema de Montaje

UNI - FIEE 71





- La pérdida de un cable coaxial es función del área de corte seccional; por lo tanto el grosor del cobre disminuye la pérdida.
- Obviamente la desventaja del grosor de los cables es la reducción de flexibilidad e incrementar el costo.
- La pérdida del cable está en dB por 100m.
- Cables con dieléctrico de aire ofrecen una solución de baja pérdida, pero tienen que introducir aire a presión para evitar el ingreso de la humedad exterior

UNI - FIEE

79

- Cuando la frecuencia de operación aumenta, la resistencia del conductor se incrementa, resultado en pérdida de potencia debido a la temperatura.
- Cualquier corriente alterna no presenta una densidad de corriente uniforme.
- La densidad de corriente tiende a ser mayor en la superficie del conductor, el cual es un fenómeno conocido como el efecto pelicular (Skin).
- A frecuencias de Giga Hertz, este cambio en resistencia puede ser grande.

UNI - FIEE

80

- La pérdida del conductor por cada 100m se incrementa con el aumento de la frecuencia.
- Por el incremento de la frecuencia, la pérdida de radiación de un conductor se incrementa a la potencia de 4 (10^4),
- La energía RF viaja dentro del conductor como una onda EM por los conductores interno y externo acoplado los campos y de esta manera propagan la señal.

UNI - FIEE

81

- Como la frecuencia se incrementa, nuevos modos de acoplo son introducidos que interfieren con la señal.
- Este efecto de acoplo inserta pérdidas que limitan el uso de un cables coaxial a frecuencias por debajo de 3 GHz.
- Las longitud de los cables de interconexión de RF deben ser muy cortos.
- El estándar usual usado es de 50Ω para aplicaciones RF y 75Ω para aplicaciones IF.

UNI - FIEE

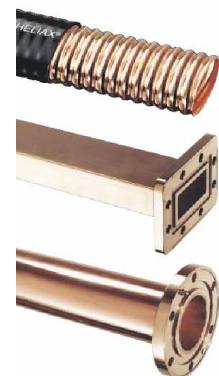
82

- Cables coaxiales con impedancia característica de 75Ω tiene una baja atenuación respecto al cable coaxial de 50Ω , la impedancia de salida del equipo de radio de microondas,
- El conector asimismo no tiene una impedancia característica a menos que tenga insertada una sección dieléctrica dentro del conector cilíndrico.

UNI - FIEE

83

Guías de Onda



UNI - FIEE

84

Guías de Onda rectangulares



UNI - FIEE

85

Conectores para Guías de Onda



UNI - FIEE

86

Telepuerto



UNI - FIEE

87



UNI - FIEE

88



UNI - FIEE

89



UNI - FIEE

90



UNI - FIEE

91

Presurizador

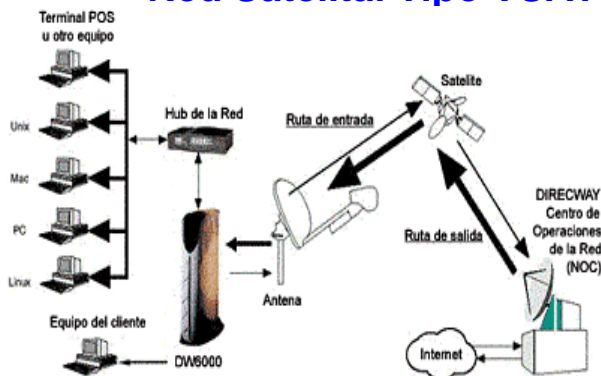
System volumes up to 10 ft³ (283 liters)



UNI - FIEE

92

Red Satelital Tipo VSAT



UNI - FIEE

93

Antena VSAT



UNI - FIEE

94

Partes del sistema VSAT (Exteriores)

LNB: Low Noise Block Downconverter (Amplificador conversor descendente)

Alimentador: Dispositivo el cual envía / recibe la señal del Plato parabólico.

Antena (Plato) Parabólica: Es donde la señal se concentra hacia el satélite vía el alimentador o viceversa.

Amplificador: Dispositivo a través del cual amplifica la señal únicamente para transmisión.

UNI - FIEE

95



Muchas gracias por su atención



UNI FIEE
Lima Perú

UNI - FIEE

96