

# 1.- Sistemas Inalámbricos

Preparado por: Jorge Olivares A.  
Enero 2011

# Objetivos

- ✓ **Identificar y describir los fundamentos de la propagación de ondas electromagnéticas, antenas y dispositivos radiantes.**
- ✓ **Realizar cálculos de enlace y factibilidad de radiocomunicaciones utilizando herramientas informáticas.**
- ✓ **Describir las características y especificaciones de los sistemas y servicios inalámbricos más utilizados.**
- ✓ **Realizar pruebas y mediciones de radio para diferentes tecnologías.**

# Contenidos (1)

## DÍA 1: LOS FUNDAMENTOS DE LAS RADIOCOMUNICACIONES

- ✓ Clasificación de redes, servicios y tecnologías inalámbricas
  - Modelos de representación de redes,
- ✓ Fundamentos de Propagación y Antenas
  - Ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo
- ✓ Características de generación y propagación de OEM
  - Campo eléctrico, magnético y propagación de ondas
- ✓ Tipos y características de antenas
  - Antenas de referencia y elementales (radiador isotrópico, dipolo, monopolo)
- ✓ Parámetros y cálculos de radioenlaces con uso de herramientas en web
  - Atenuación de espacio libre, ganancia, potencia, sensibilidad, ruido, tasa de error
- ✓ Técnicas de modulación y multiplexación inalámbricas
  - Modulaciones analógicas y digitales para servicios terrestres y satelitales
  - Modulaciones PSK, QAM, GMSK, OFDM
- ✓ Prácticas de Instrumentación y técnicas de medición
  - Osciloscopio y analizador de espectro
  - Aplicaciones para medir nivel de señal, velocidad y tasa de error de bits

# Contenidos (2)

## DÍA 2: LOS SISTEMAS INALÁMBRICOS

- ✓ Transmisión digital y técnicas de control de errores
- ✓ Codificación y modulación
- ✓ Efectos de desvanecimiento, ruido e interferencias
- ✓ Espectro radioeléctrico para comunicaciones terrestres y satelitales
- ✓ Sistemas de radiocomunicaciones terrestres
  - DECT, Trunked
  - Redes 802.1x (BlueTooth, WIFI, WiMax)
  - Radiodifusión AM, FM, TV analógica y digital
- ✓ Telemetría y telecontrol
  - Scada, Zigbee
- ✓ Sistemas de comunicaciones satelitales
  - GPS, DTH, VSAT
- ✓ Prácticas con sistema satelital
  - Localización de satélites y canales de TV satelital
  - Instalación y orientación antena DTH

# Contenidos (3)

## DÍA 3: DE LOS SISTEMAS AL AULA Y LABORATORIO INALÁMBRICO

- ✓ Sistemas celulares
  - Estándares y evolución GSM, UMTS
  - Tecnologías de equipos terminales
- ✓ Redes inalámbricas WLAN
  - Prácticas con sistema WIFI
- ✓ Mapas conceptuales
  - Del uso del espectro radioeléctrico
  - De las tecnologías de transmisión inalámbrica
  - De las técnicas de transmisión, compresión y cifrado
  - De los equipos terminales
- ✓ Análisis y conclusiones
- ✓ Evaluación

# DÍA 1: LOS FUNDAMENTOS DE LAS RADIOCOMUNICACIONES

Este día revisaremos los principales fundamentos físicos y eléctricos que rigen las comunicaciones que utilizan ondas electromagnéticas, comúnmente denominadas ondas de radio.

Prácticamente todos los descubrimientos y desarrollos en el campo de las radiocomunicaciones se han producido en los últimos 150 años como resultado de investigación y creatividad de hombres y empresas.

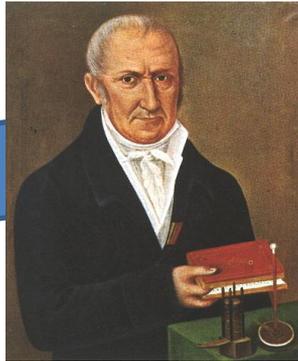
Las comunicaciones inalámbricas o radiocomunicaciones se han desarrollado a la par de las comunicaciones alámbricas, siendo en la actualidad las de mayor penetración en el mundo con cifras que superan los 4.000 millones de equipos terminales celulares (\*) y en constante crecimiento.

Al igual que otras tecnologías de la industria las comunicaciones inalámbricas también sufren transformaciones producto de la globalización, la convergencia, movilidad y personalización.

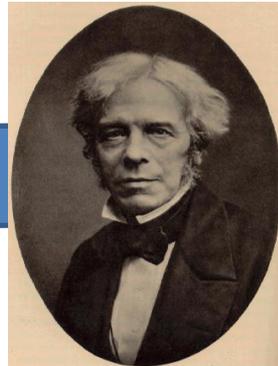
(\*) Fuente ABI Research 2009

# Pioneros de las radiocomunicaciones

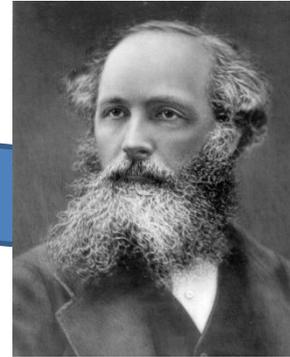
Algunos de los pioneros que hicieron posible las comunicaciones inalámbricas fueron:



Alessandro Volta  
1827  
Pila eléctrica



Michael Faraday  
1850  
Inducción  
electromagnética



James C. Maxwell  
1873  
Bases matemáticas  
de las ondas de radio



Heinrich R. Hertz  
1887  
Produce y detecta  
ondas de radio

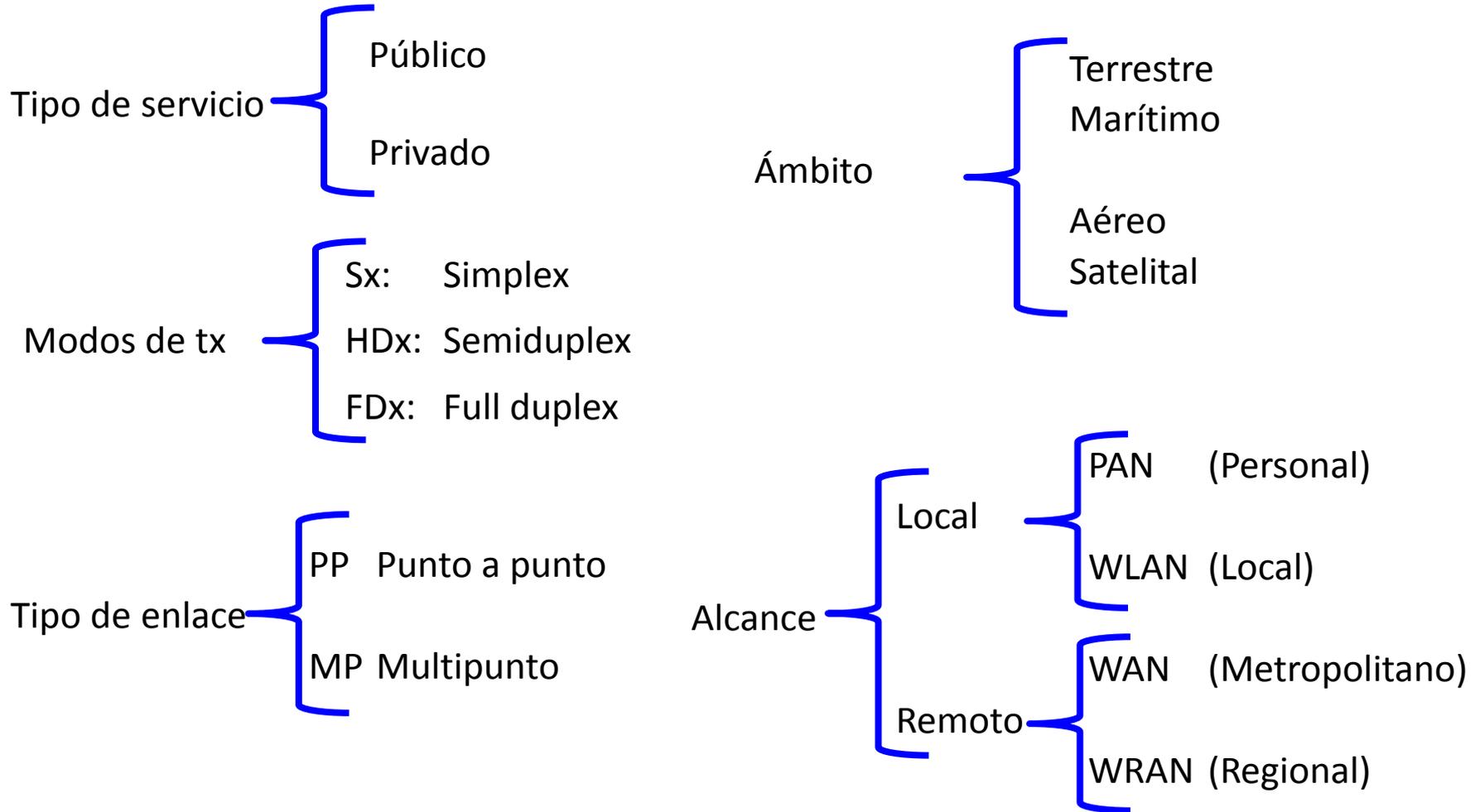


Guglielmo Marconi  
1899  
Realiza primera  
transmisión de radio  
de largo alcance



Alexander S. Popov  
1895  
Construyó y probó  
La primera antena

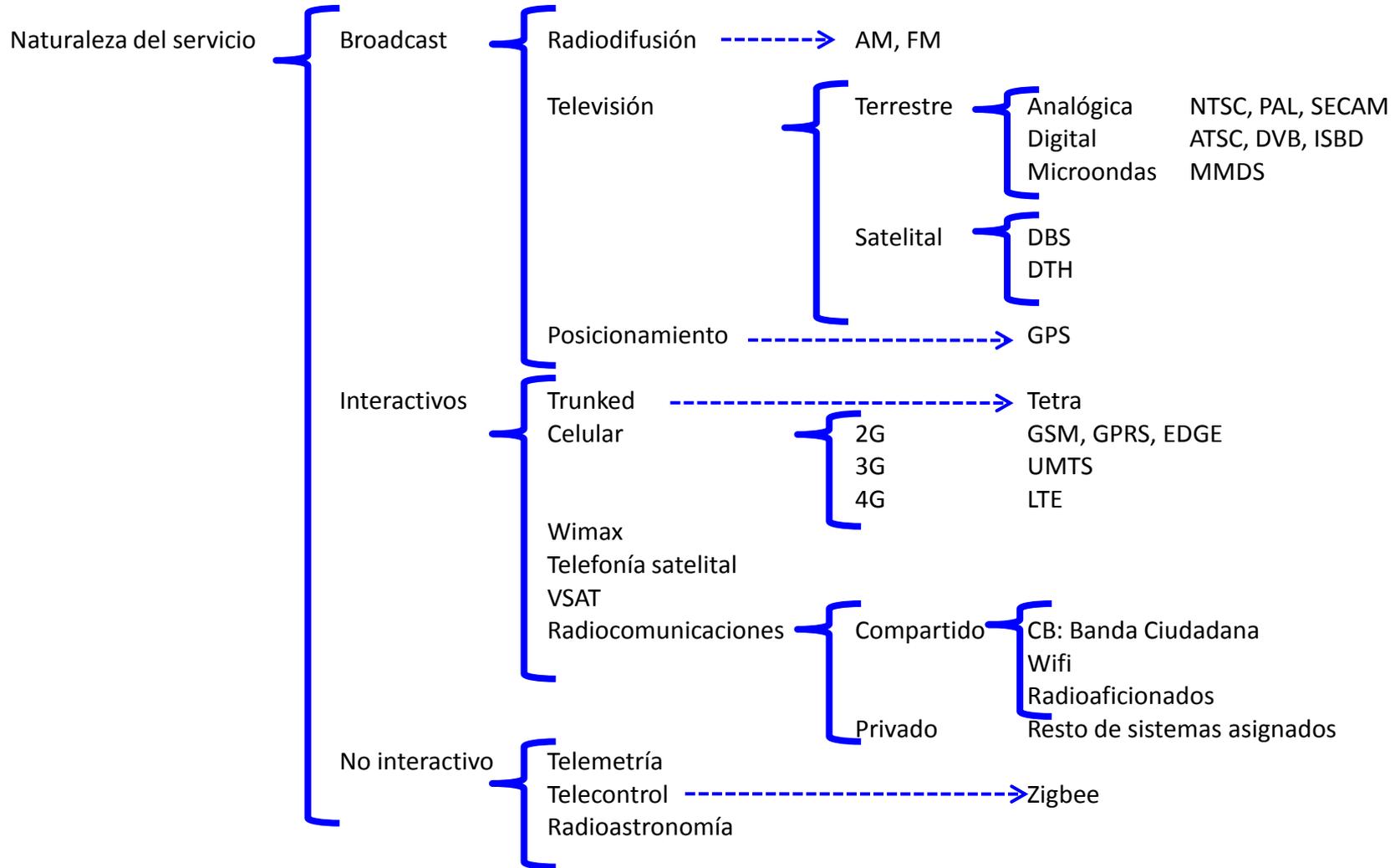
# Clasificación de redes, servicios y tecnologías inalámbricas



# Clasificación de redes, servicios y tecnologías inalámbricas (2)

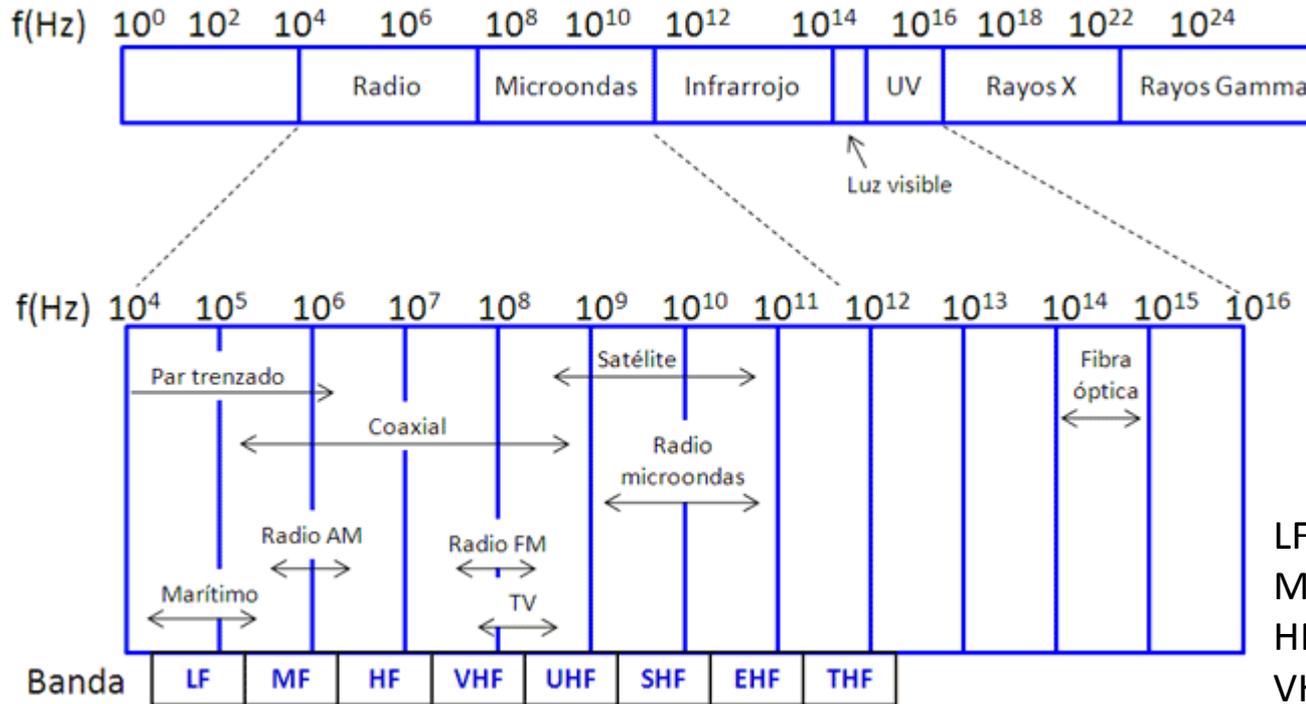
|                                     |   |              |     |                            |
|-------------------------------------|---|--------------|-----|----------------------------|
| Banda de frecuencias<br>(ITU-R)     | } | 3-30Hz       | ELF | Extremely Low Frequencies  |
|                                     |   | 30-300Hz     | SLF | Super Low Frequencies      |
|                                     |   | 300-3000Hz   | ULF | Ultra Low Frequencies      |
|                                     |   | 3-30KHz      | VLF | Very Low Frequencies       |
|                                     |   | 30-300KHz    | LF  | Low Frequencies            |
|                                     |   | 300-3000KHz  | MF  | Medium Frequencies         |
|                                     |   | 3-30MHz      | HF  | High Frequencies           |
|                                     |   | 30-300MHz    | VHF | Very High Frequencies      |
|                                     |   | 300-3000MHz  | UHF | Ultra High Frequencies     |
|                                     |   | 3-30GHz      | SHF | Super High Frequencies     |
|                                     |   | 30-300GHz    | EHF | Extremely High Frequencies |
| Banda de frecuencias<br>(Americano) | } | 1 - 2GHz     | L   |                            |
|                                     |   | 2 - 4GHz     | S   |                            |
|                                     |   | 4 - 8GHz     | C   |                            |
|                                     |   | 8 - 10GHz    | X   |                            |
|                                     |   | 10 - 18GHz   | Ku  |                            |
|                                     |   | 18 - 26,5GHz | K   |                            |
|                                     |   | 26,5 - 40GHz | Ka  |                            |

# Clasificación de redes, servicios y tecnologías inalámbricas (3)



# Fundamentos de Propagación y Antenas

- El espectro radioeléctrico y sus aplicaciones en comunicaciones



- LF :  $3 \times 10^4$  -  $3 \times 10^5$  Hz
- MF :  $3 \times 10^5$  -  $3 \times 10^6$  Hz
- HF :  $3 \times 10^6$  -  $3 \times 10^7$  Hz
- VHF :  $3 \times 10^7$  -  $3 \times 10^8$  Hz
- UHF :  $3 \times 10^8$  -  $3 \times 10^9$  Hz
- SHF :  $3 \times 10^9$  -  $3 \times 10^{10}$  Hz
- EHF :  $3 \times 10^{10}$  -  $3 \times 10^{11}$  Hz
- THF :  $3 \times 10^{11}$  -  $3 \times 10^{12}$  Hz

# Algunas aplicaciones en el espectro de frecuencias

## VHF (Very High Frequencies – Frecuencias muy altas)

Canales de televisión (del 2 al 6), 54 a 88 MHz

Emisoras FM(Frecuencia Modulada), 88 a 108 MHz

Banda de radio aeronáutica, 108 a 137 MHz

Canales de televisión (del 7 al 13), 174 a 220 MHz

## UHF (Ultra High Frequencies – Frecuencias ultra altas)

Canales de televisión del 14 al 83 – 470 a 890 MHz

**GPS** (*Global Positioning System* - Sistema de Posicionamiento Global), 1227 a 1575 MHz

**GSM** (*Global System for Mobile Communication* – Sistema Global para Telefonía Móvil o Celular), 900 a 1900 MHz

**Wi-Fi (802.11b)** (*Wireless Fidelity* – Fidelidad inalámbrica), 2,4 GHz

**Bluetooth**, 2,45 GHz

## SHF (Super High Frequencies – Frecuencias super altas)

**Wimax**, 3,5 GHz

**WLL**, 5,8 GHz

**VSAT**, 8,0 GHz

# Potencia, niveles y relaciones

- En electricidad y electrónica se acostumbra a medir la potencia en Watts y los niveles de señal en Volts.
- En telecomunicaciones la potencia y los niveles de señal se miden haciendo una conversión a funciones logarítmicas.
- La principal razón es que la función logarítmica convierte las operaciones de multiplicación y división en sumas y restas, facilitando los cálculos y permitiendo trabajar con rangos más reducidos de valores.

- Miliwatts  $\rightarrow 10 \times \log (\text{miliwatts/referencia mW}) \rightarrow \text{dBm}$
- Watts  $\rightarrow 10 \times \log (\text{watts/referencia W}) \rightarrow \text{dBW}$
- KiloWatts  $\rightarrow 10 \times \log (\text{watts/referencia KW}) \rightarrow \text{dBK}$

| mW          | dBm   | Watts      |
|-------------|-------|------------|
| 0,000000001 | -90,0 | 1E-12      |
| 0,00000001  | -80,0 | 1E-11      |
| 0,0000001   | -70,0 | 1E-10      |
| 0,000001    | -60,0 | 0,00000001 |
| 0,00001     | -50,0 | 0,00000001 |
| 0,0001      | -40,0 | 0,0000001  |
| 0,0005      | -33,0 | 0,0000005  |
| 0,001       | -30,0 | 0,000001   |
| 0,005       | -23,0 | 0,000005   |
| 0,01        | -20,0 | 0,00001    |
| 0,05        | -13,0 | 0,00005    |
| 0,1         | -10,0 | 0,0001     |
| 0,5         | -3,0  | 0,0005     |
| 1           | 0,0   | 0,001      |
| 5           | 7,0   | 0,005      |
| 10          | 10,0  | 0,01       |
| 50          | 17,0  | 0,05       |
| 100         | 20,0  | 0,1        |
| 500         | 27,0  | 0,5        |
| 1.000       | 30,0  | 1          |
| 5.000       | 37,0  | 5          |
| 10.000      | 40,0  | 10         |
| 50.000      | 47,0  | 50         |
| 100.000     | 50,0  | 100        |
| 500.000     | 57,0  | 500        |
| 1.000.000   | 60,0  | 1000       |
| 5.000.000   | 67,0  | 5000       |
| 10.000.000  | 70,0  | 10000      |

## Potencia, niveles y relaciones (2)

- En telecomunicaciones se presentan situaciones donde la señal o potencia sufre caídas (pérdidas) o incrementos (ganancia).
- Estos casos se expresan como relaciones:



- Potencia transmitida 50 Watts
- $10 \times \log(50) = 16,9 \text{ dBW}$

- Potencia recibida 0,0001 Watts
- $10 \times \log(0,0001) = -40 \text{ dBW}$

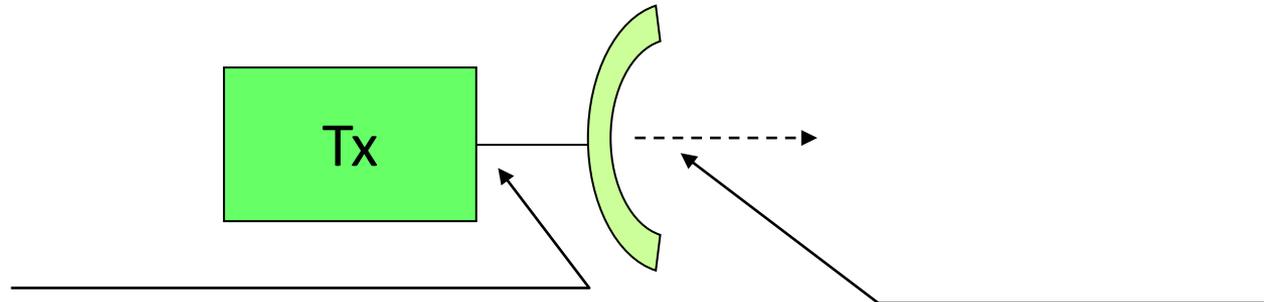
- Pérdida de potencia en watts =  $\text{Pot Rx} / \text{Pot Tx} = 0,0001/50 = 0.000002$  veces
- Pérdida de potencia en decibeles  $10 \times \log(0,0001/50) = -56,9 \text{ dB}$  (Decibeles)

La división de potencias se transformó en una resta:

$$-40 \text{ dBW} - (16,9 \text{ dBW}) = -56,9 \text{ dB}$$

# Potencia, niveles y relaciones (3)

- El incrementos (ganancia) se trata en forma similar que las pérdidas.



- Potencia a la salida del transmisor 15 Watts
- $10 \times \log(15) = 11,7 \text{ dBW}$

Potencia equivalente radiada a la salida de la antena 6000 Watts  
 $10 \times \log(6000) = 37,8 \text{ dBW}$

- Ganancia de potencia en watts = Pot Ant / Pot Tx =  $6000/15 = 400$  veces
- Pérdida de potencia en decibeles  $10 \times \log(6000/15) = 26,0 \text{ dB}$  (Decibeles)

La división de potencias se transformó en una resta:

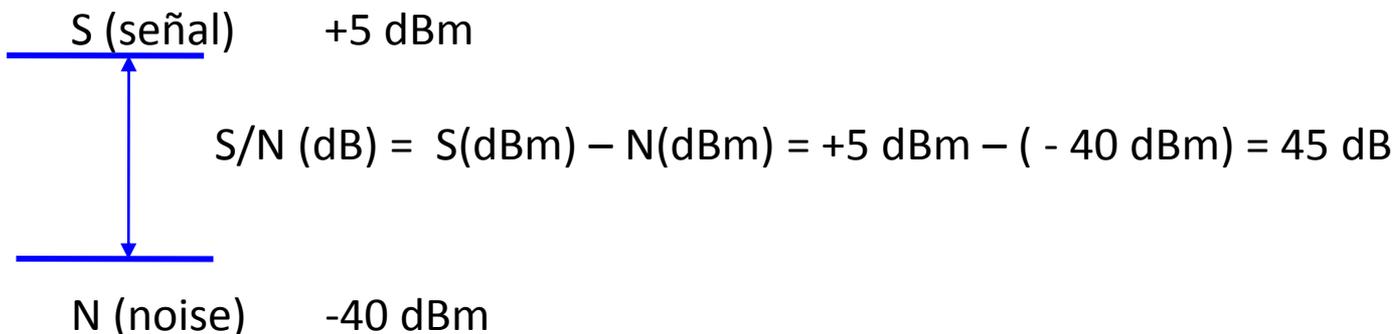
$$37,8 \text{ dBW} - (11,7 \text{ dBW}) = 26,0 \text{ dB}$$

# Potencia, niveles y relaciones (4)

- Los dB (decibeles) se usan como unidad de medida de relaciones entre señales (ganancia, atenuación)
- Los dBm (decibeles referidos al miliwatt) se usan como unidad de medida de nivel o potencia de señal.
- Un nivel de señal expresado en dBm se relaciona con su valor en miliwatt (mW) por:

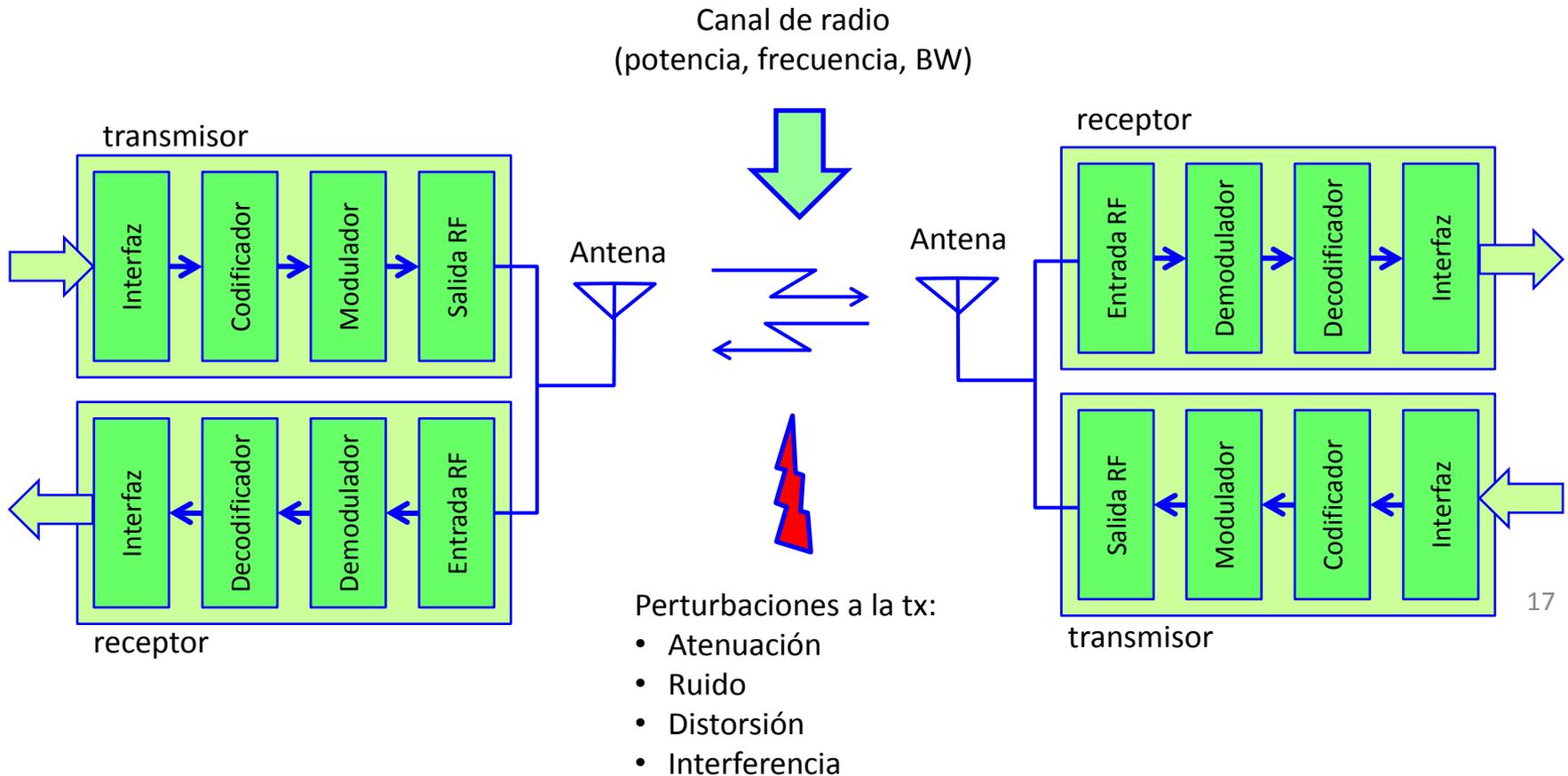
$$P(\text{dBm}) = 10 \times \log(P(\text{mW}) / 1 \text{ mW})$$

- Ejemplo: Relación S/N (señal / ruido)



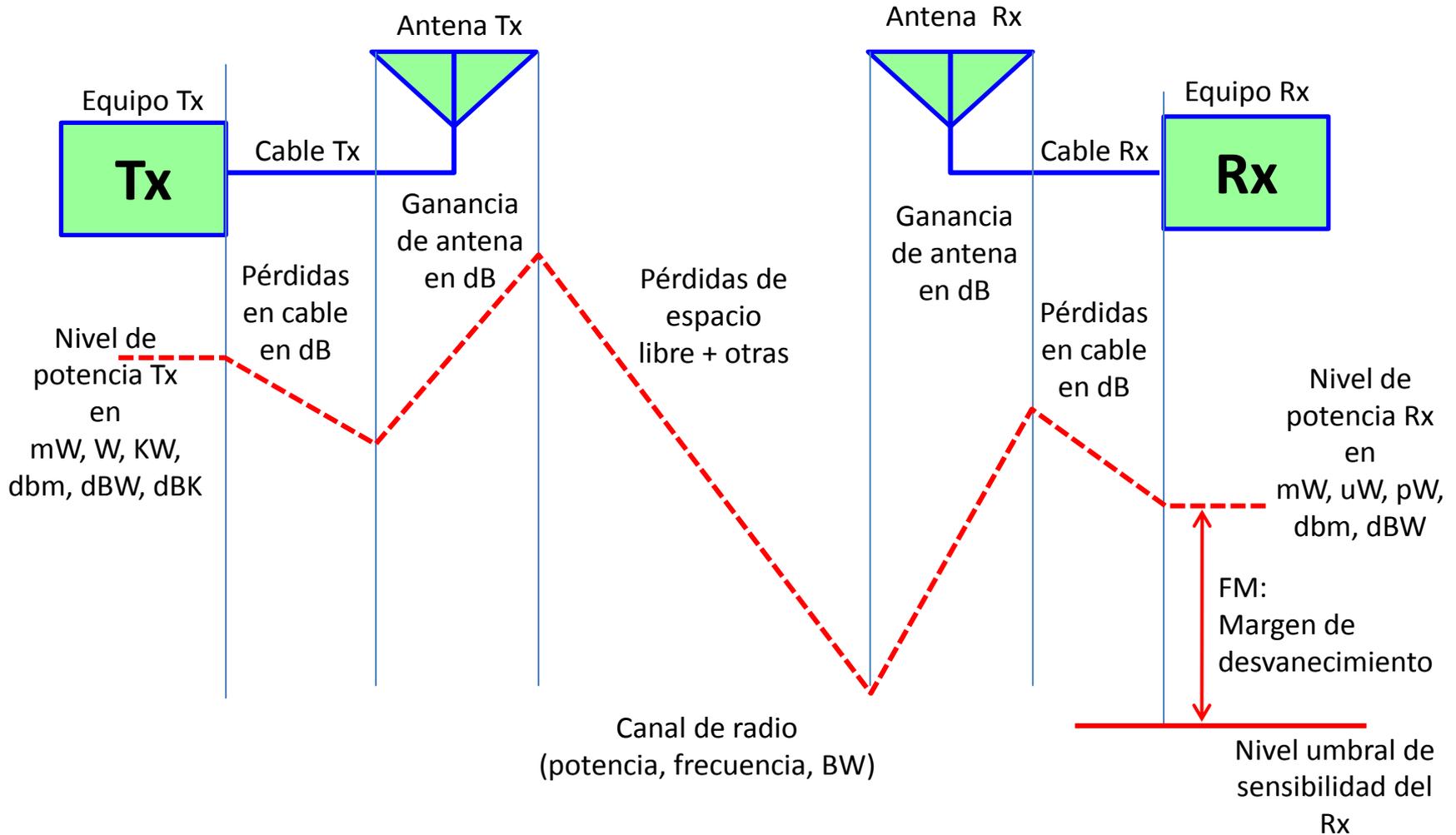
# Modelos de representación

Componentes de equipos en enlace de radio bidireccional:



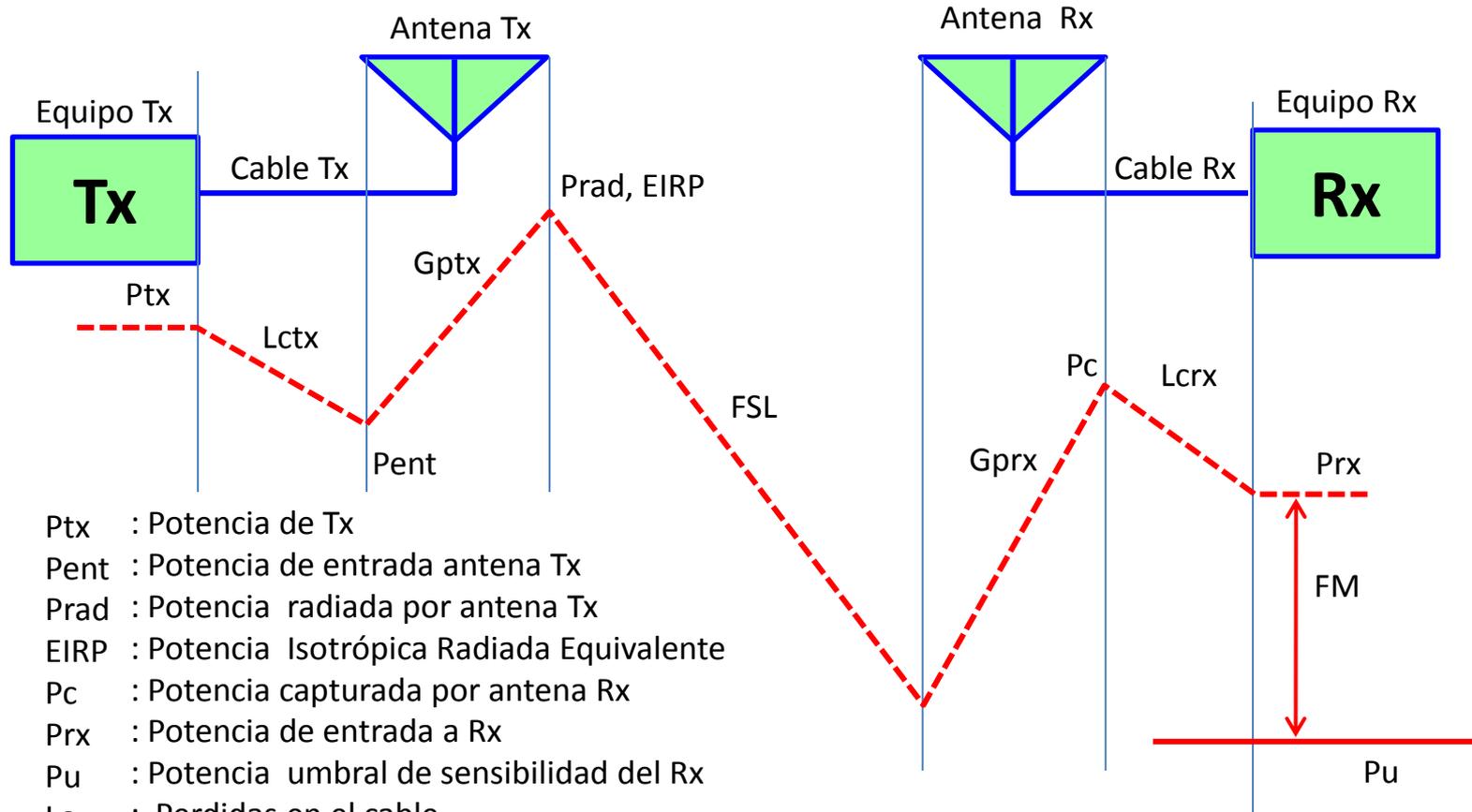
# Modelos de representación (2)

Enlace RF unidireccional, balance de potencias:



# Modelos de representación (3)

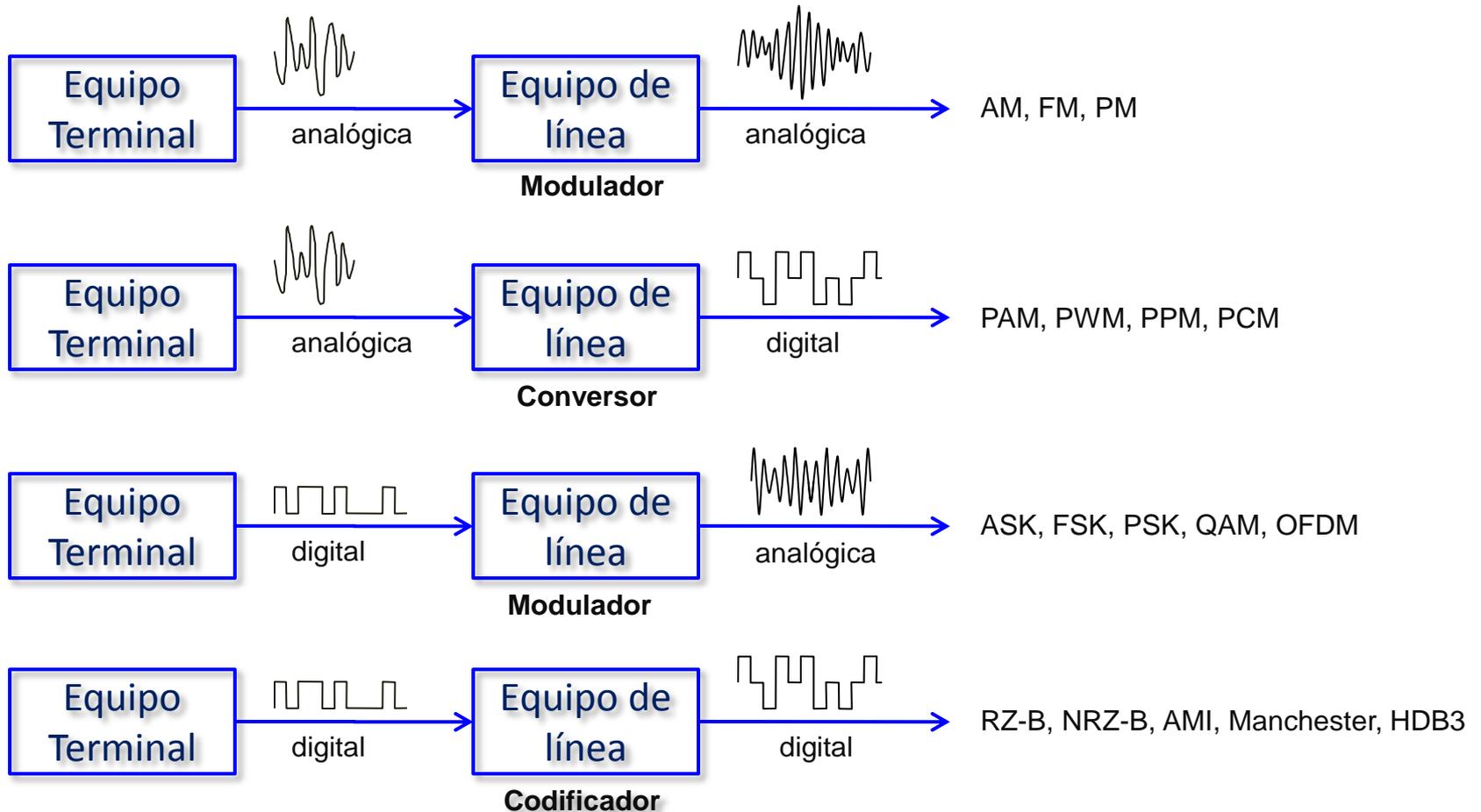
Enlace RF unidireccional, balance de potencias, variables significativas:



- $P_{tx}$  : Potencia de Tx
- $P_{ent}$  : Potencia de entrada antena Tx
- $Prad$  : Potencia radiada por antena Tx
- EIRP** : Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
- $P_c$  : Potencia capturada por antena Rx
- $P_{rx}$  : Potencia de entrada a Rx
- $P_u$  : Potencia umbral de sensibilidad del Rx
- $L_c$  : Perdidas en el cable
- $G_p$  : Ganancia de potencia de antena
- FSL** : Pérdidas de espacio libre
- FM** : Margen de desvanecimiento

# Fundamentos de transmisión

Tanto la fuente de información como la señal de transmisión puede ser analógica o digital



# Ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo

4 ecuaciones rigen todos los fenómenos electromagnéticos:

- |                |   |  |
|----------------|---|--|
| Ley de Ampère  | $\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ | • El campo magnético surge al variar el campo eléctrico o si hay corriente |
| Ley de Faraday | $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$          | • El campo eléctrico surge al variar el campo magnético                    |
| Ley de Gauss   | $\nabla \cdot \vec{D} = \rho$   | • El campo eléctrico se origina en las cargas eléctricas                   |
| Ley de Gauss   | $\nabla \cdot \vec{B} = 0$  | • No existe el monopolo magnético  |

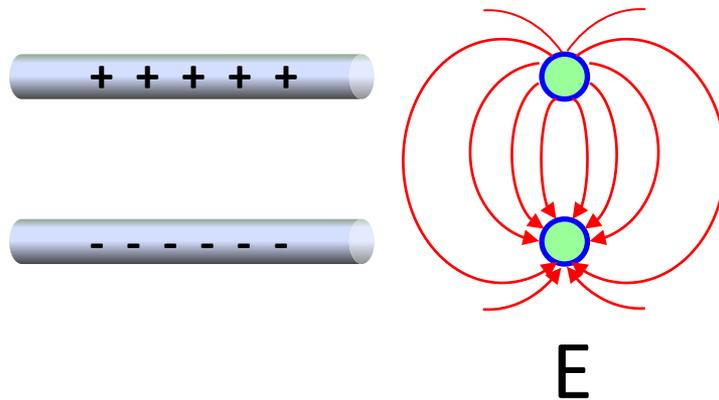
|           |                                    |                             |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------|
| $\vec{E}$ | Campo eléctrico                    | Voltios/m                   |
| $\vec{H}$ | Intensidad del campo magnético     | Amperios/m                  |
| $\vec{D}$ | Desplazamiento del campo eléctrico | Culombios/m <sup>2</sup>    |
| $\vec{B}$ | Flujo del campo magnético          | Weber/m <sup>2</sup> =tesla |
| $\vec{J}$ | Densidad de corriente              | Amperios/m <sup>2</sup>     |
| $\rho$    | Densidad de carga                  | Culombios/m <sup>3</sup>    |

# Características de generación y propagación de OEM

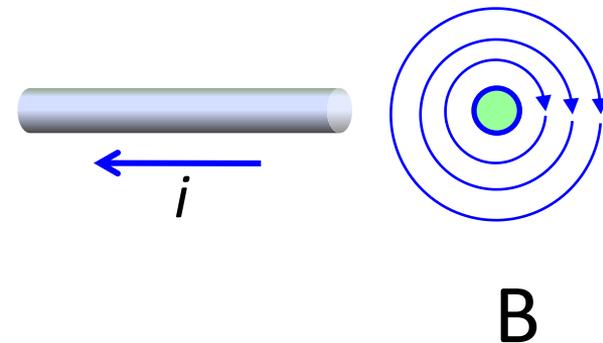
OEM: Onda Electromagnética

Proviene de la combinación de un campo eléctrico y un campo magnético.

Campo Eléctrico:  
Producido por la diferencia de potencial entre dos conductores



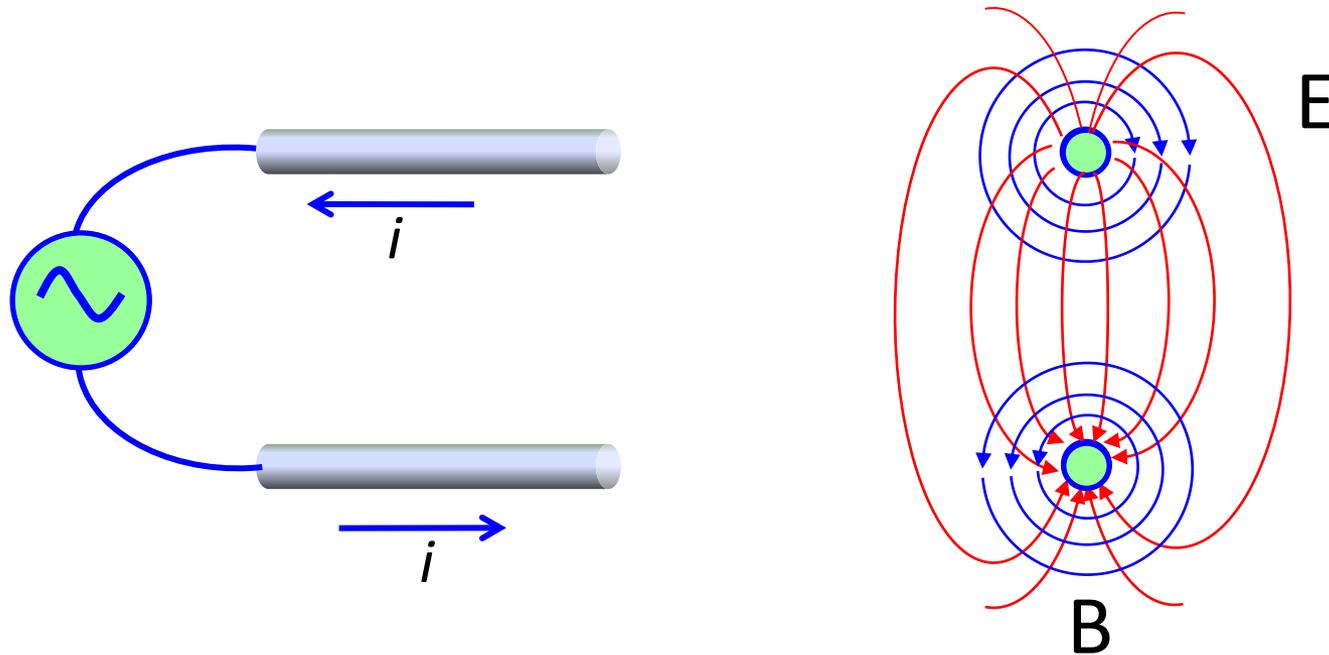
Campo Magnético: Producido por la circulación de una corriente eléctrica en un conductor



# Características de generación y propagación de OEM (2)

OEM: Onda Electromagnética

Proviene de la combinación de un campo eléctrico y un campo magnético cuando se aplica una corriente alterna a dos conductores.



# Campo eléctrico, magnético y propagación de ondas

Campo eléctrico combinado con campo magnético generan una onda que se propaga por medios guiado y no guiados a una velocidad de propagación de:

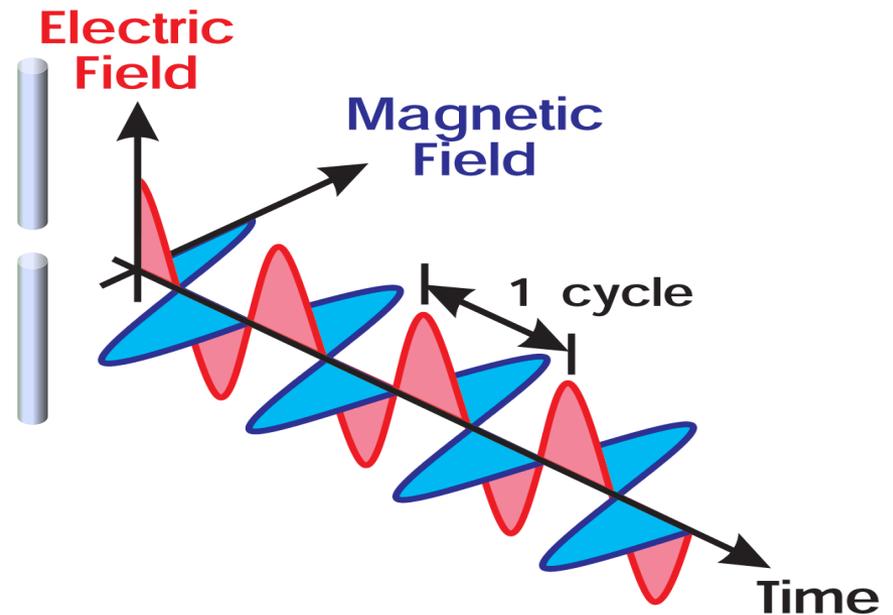
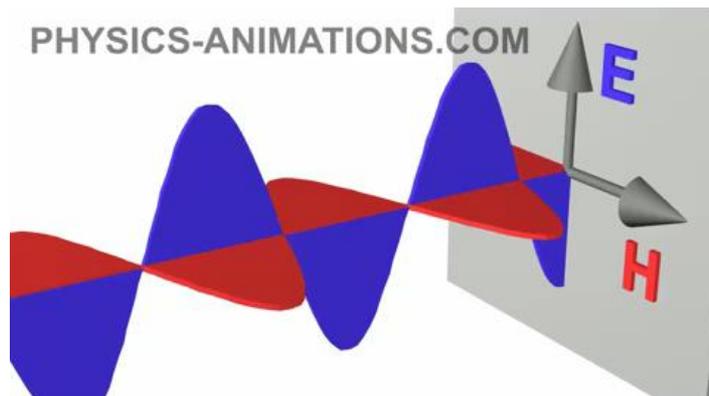
$$v_p = 1 / \sqrt{\mu_0 \times \epsilon_0}$$

Donde:

$\mu_0$  : Constante de permitividad eléctrica del medio (F/m)

$\epsilon_0$  : Constante de permeabilidad magnética del medio (H/m)

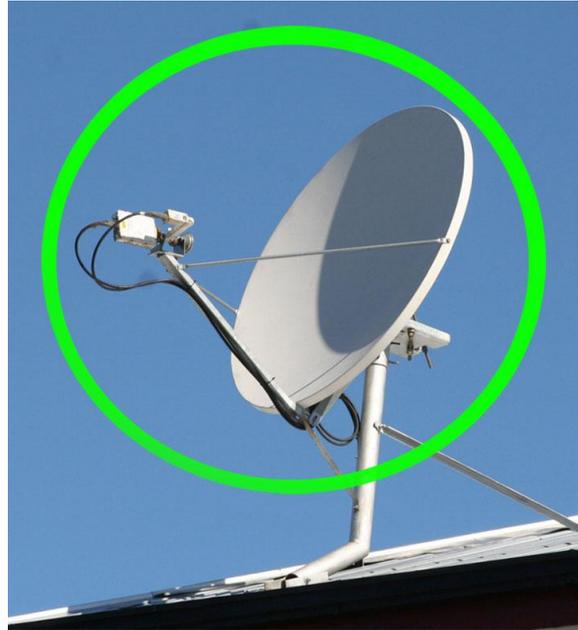
En el vacío  $v_p = c = 3 \times 10^8$  m/seg



# Tipos y características de antenas



Antena de radiodifusión FM



Antena VSAT para tx de datos



Antena de panel sectorial de celular

## Tipos y características de antenas (2)



Antena de panel  
WiMax



Antena yagi UHF  
para telecontrol de  
semáforos



Antena de radar  
marítimo

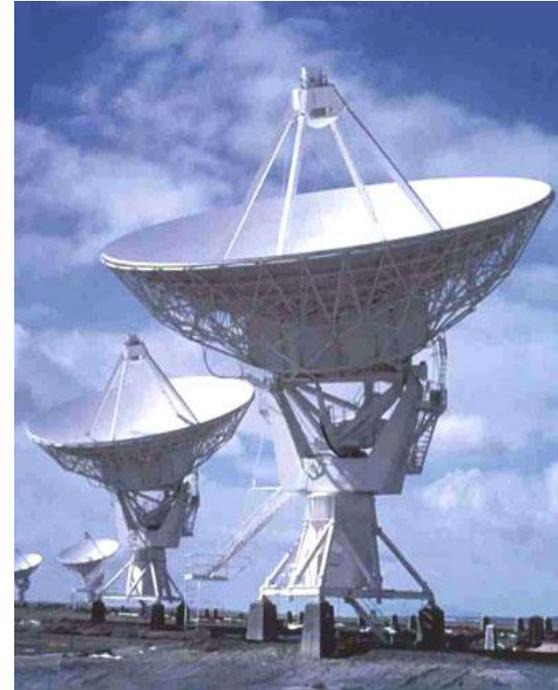
# Tipos y características de antenas (3)



Antena panel sectorial camuflada para celular



Antena banda Ku para TV satelital

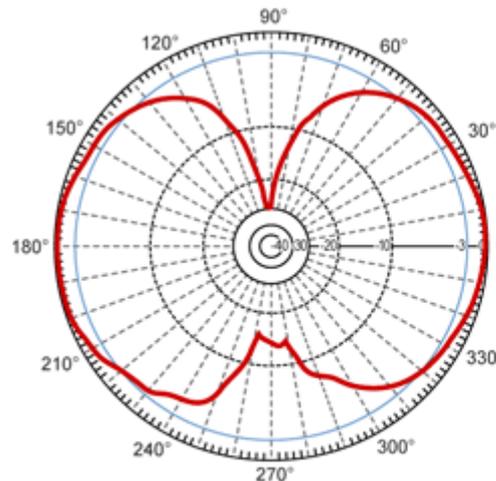


Antena de radiotelescopio

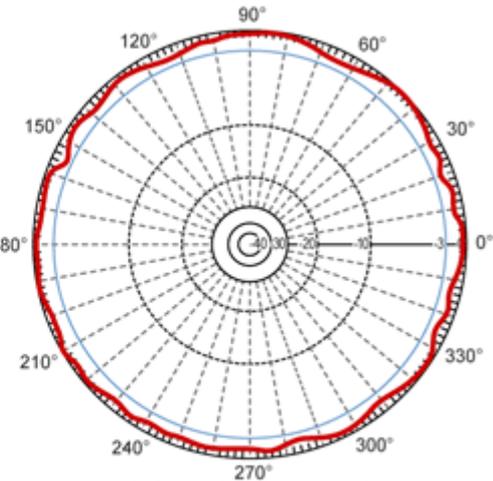
# Tipos y características de antenas (4)

Parámetros de una antena:

- Frecuencia de operación
- Eficiencia
- Ganancia directiva
- Ganancia de potencia
- Impedancia
- Polarización
- Ancho de banda
- Patrón de radiación
- Angulo de abertura (directividad)
- Relación frente/atrás
- Potencia máxima

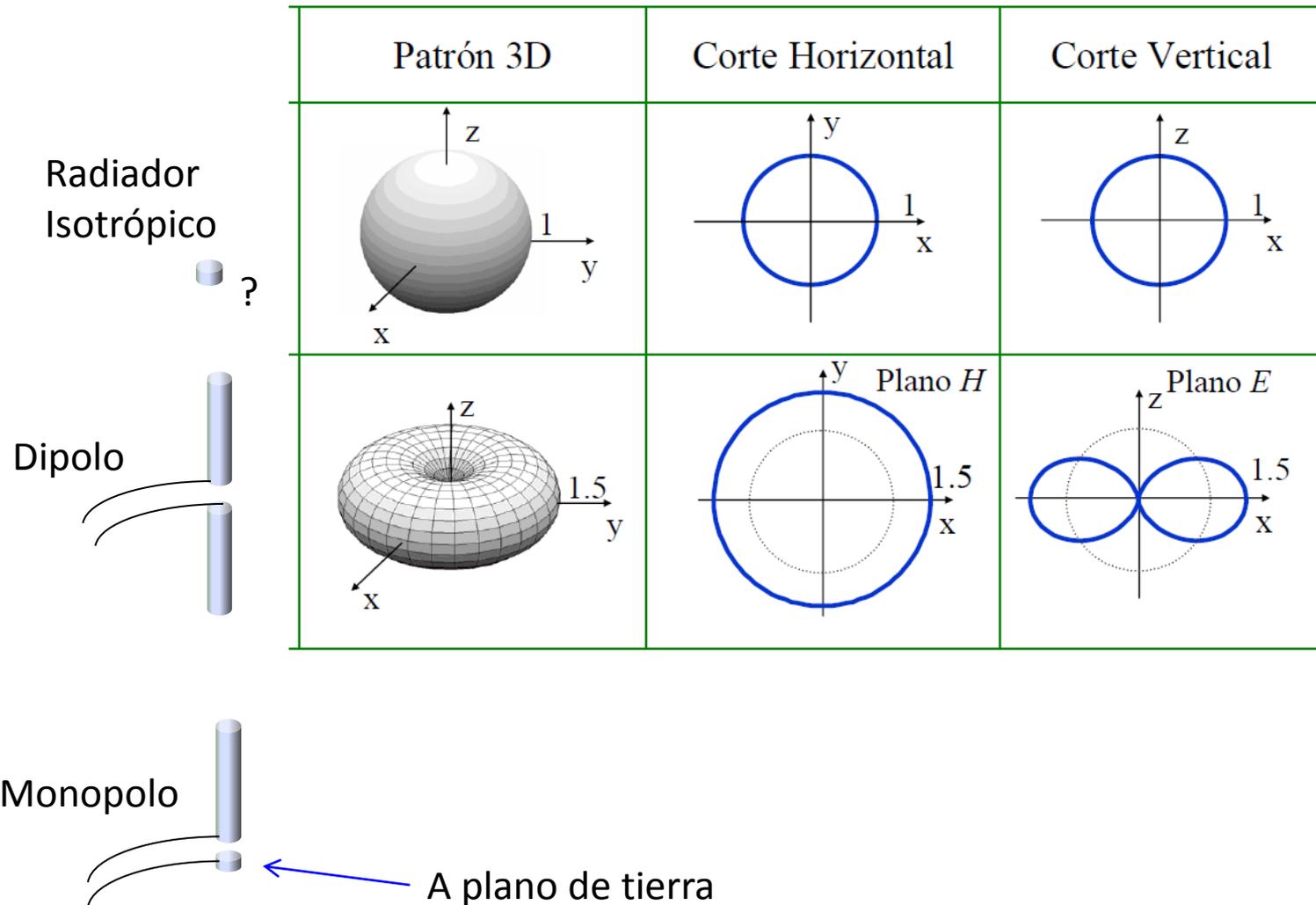


**Vertical**



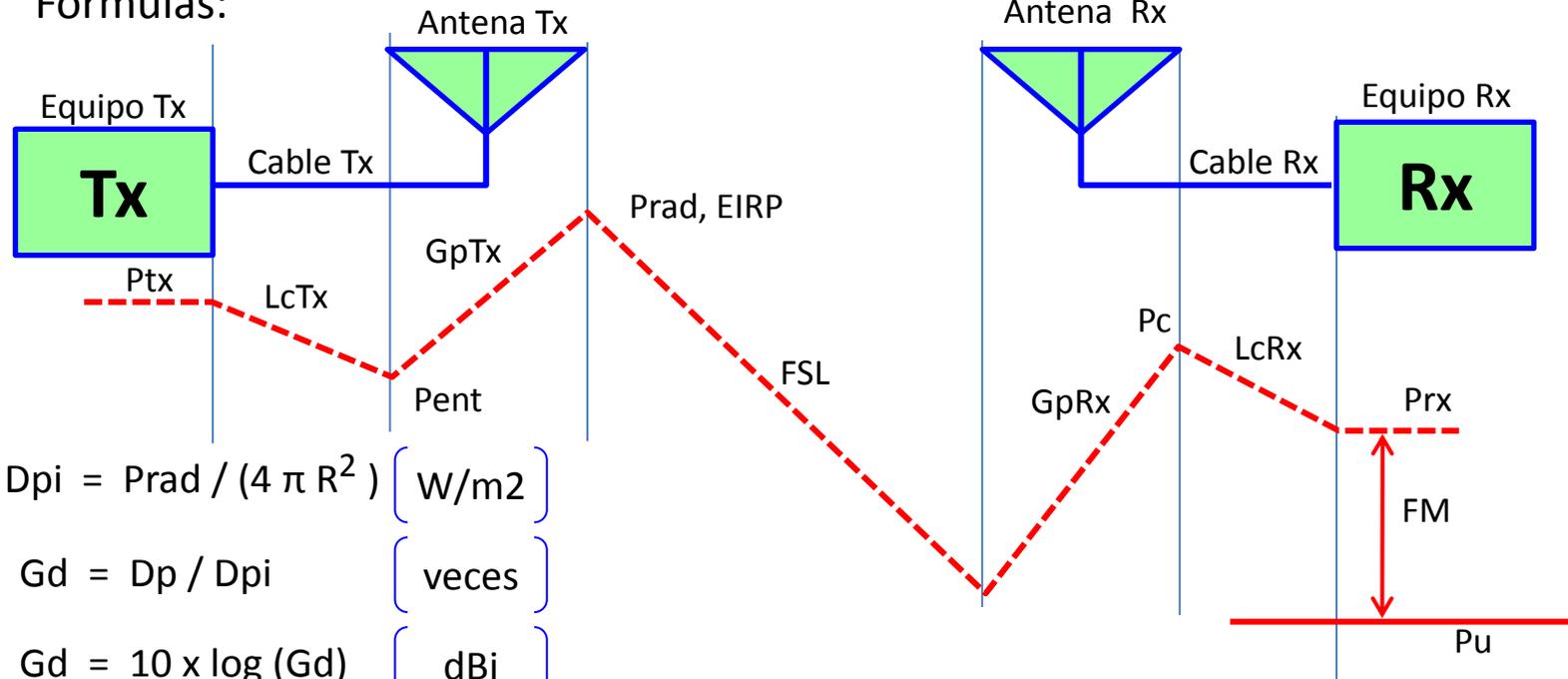
**Horizontal**

# Antenas de referencia y elementales (radiador isotrópico, dipolo, monopolo)



# Parámetros y cálculos de radioenlaces

Fórmulas:



$$D_{pi} = Prad / (4 \pi R^2) \quad \left[ \text{W/m}^2 \right]$$

$$G_d = D_p / D_{pi} \quad \left[ \text{veces} \right]$$

$$G_d = 10 \times \log (G_d) \quad \left[ \text{dBi} \right]$$

$$\eta = Prad / P_{ent} \quad \left[ \text{veces} \right]$$

$$G_p = \eta \times G_d \quad \left[ \text{veces} \right]$$

$$G_p = 10 \times \log (G_p) \quad \left[ \text{dBi} \right]$$

$$EIRP = Prad \times G_d = P_{ent} \times G_p \quad \left[ \text{W} \right]$$

$$EIRP = 10 \times \log EIRP (W) \quad \left[ \text{dBW} \right]$$

$$FSL = 32,44 + 20 \times \log f(\text{MHz}) + 20 \times \log R(\text{Km}) \quad \left[ \text{dB} \right]$$

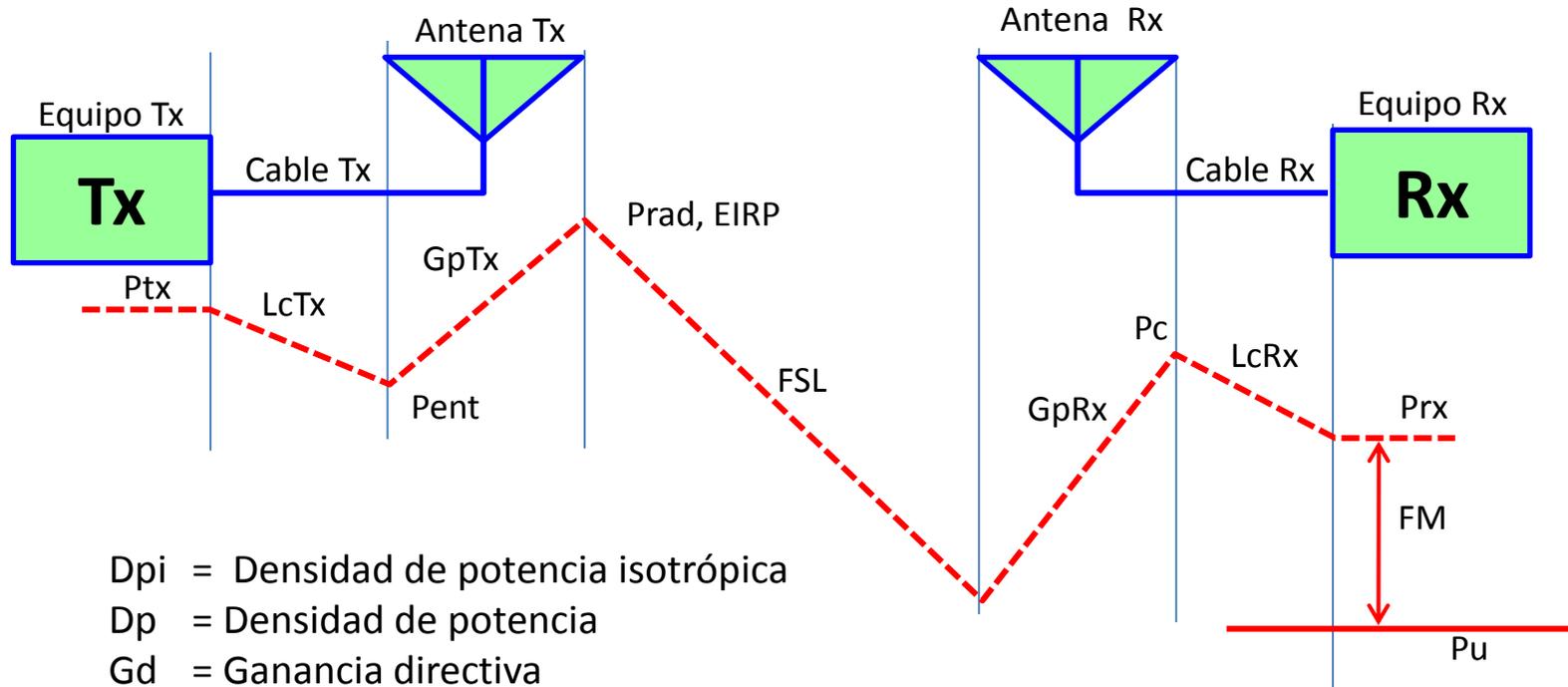
$$A_c = G_p \times \lambda^2 / 4 \pi \quad \left[ \text{m}^2 \right]$$

$$P_c = D_p \times A_c \quad \left[ \text{W} \right]$$

$$P_c = 10 \times \log P_c (\text{mW}) \quad \left[ \text{dBm} \right]$$

$$G_{pp} = 20 \times \log f(\text{MHz}) + 20 \times \log \phi(\text{m}) - 42,2 \quad \left[ \text{dB} \right]$$

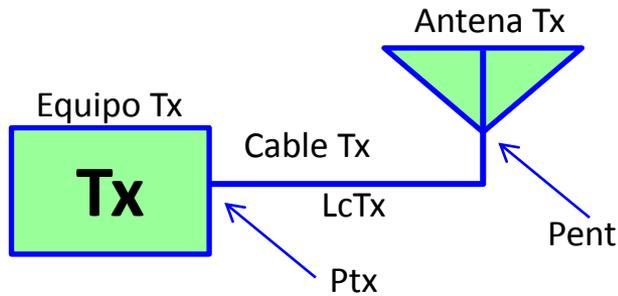
# Parámetros y cálculos de radioenlaces (2)



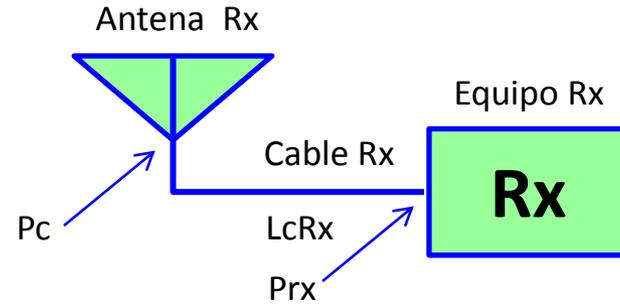
- Dpi = Densidad de potencia isotrópica
- Dp = Densidad de potencia
- Gd = Ganancia directiva
- Gp = Ganancia de potencia
- $\eta$  = Rendimiento de potencia
- EIRP = Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE)
- FSL = Pérdidas de espacio libre
- Ac = Área de captura de antena Rx
- Pc = Potencia capturada
- Gpp = Ganancia de potencia de antena parabólica

# Parámetros y cálculos de radioenlaces (3)

Medios de conexión de equipos Tx o Rx con las antenas Tx o Rx



Cable coaxial



Guía de onda



# Especificaciones de cables coaxiales

Ejemplo Andrew, serie Heliax

**HELIAX®**

## Coaxial Cable



### PRODUCT SPECIFICATION

## LDF1-50

Standard coaxial cable, 1/4", 50 ohm foam HELIAX (Wideband from 0.5-15800 MHz)

### CHARACTERISTICS

#### Mechanical Specifications

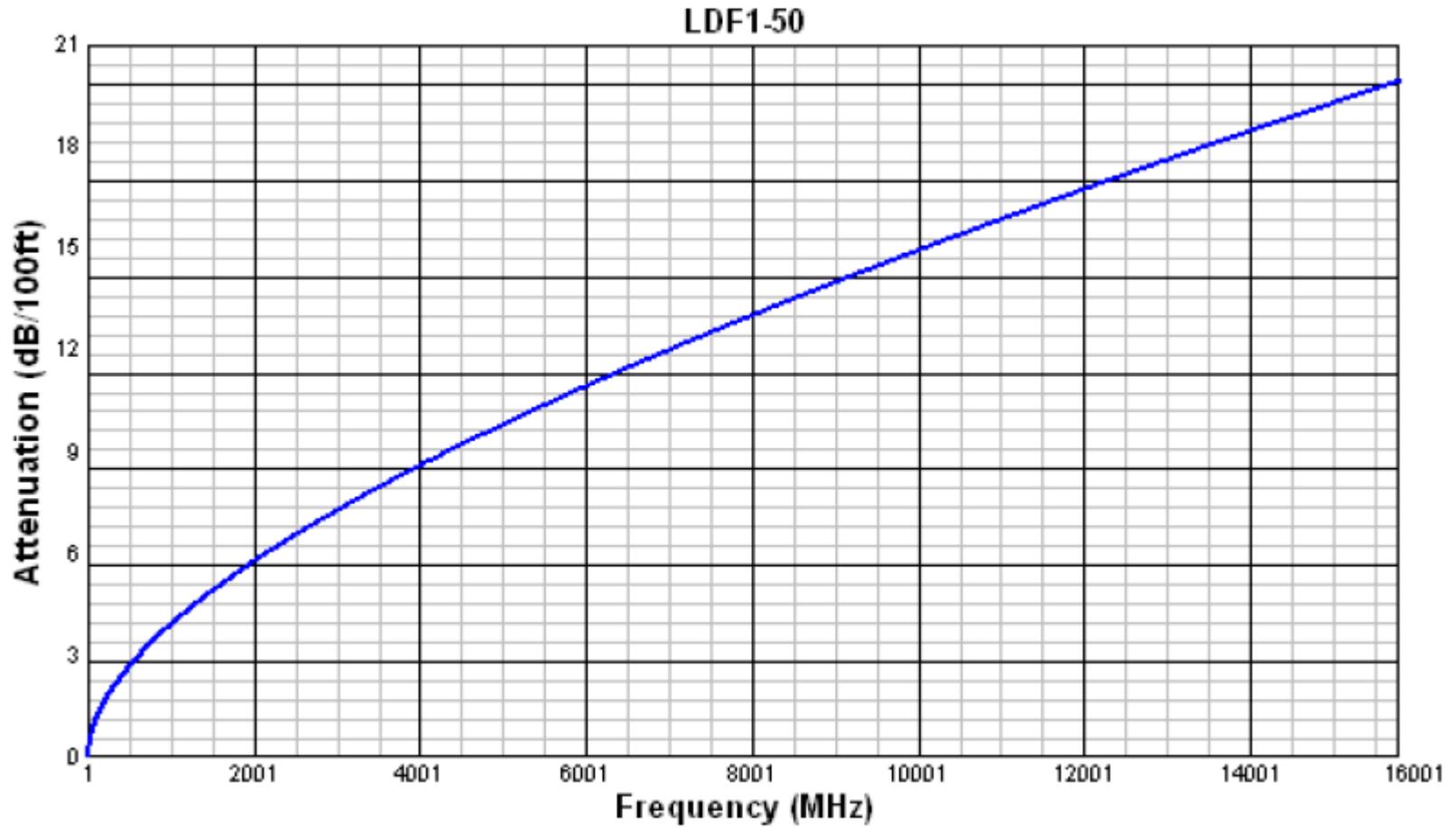
|  |                |
|--|----------------|
| Pressurizable                          | No             |
| Weight lb/ft (kg/m)                    | 0.06 (0.09)    |
| Tensile Strength lb (kg)               | 200.00 (91.00) |
| Flat PlateCrush Strength lb/in (kg/mm) | 80.00 (1.40)   |
| Minimum Bending Radius in (mm)         | 3.00 (76.00)   |
| Bending Moment lb-ft (N-m)             | 0.98 (1.30)    |
| Number of Bends minimum (typical)      | 15.00 (30.00)  |

#### Electrical Specifications

|  |               |
|--|---------------|
| Cable Impedance (ohms)                       | 50.00         |
| Maximum Frequency (GHz)                      | 15.80         |
| Velocity percentage                          | 86.00         |
| Peak Power Rating (kW)                       | 12.10         |
| DC Resistance Inner ohms/1000ft (ohms/1000m) | 1.57 (5.15)   |
| DC Resistance Outer ohms/1000ft (ohms/1000m) | 1.22 (4.00)   |
| Cable Test Voltage (VDC)                     | 2200.00       |
| Jacket Spark volts (RMS)                     | 5000.00       |
| Capacitance pF/ft (pF/m)                     | 23.40 (76.80) |
| Inductance microH/ft (microH/m)              | 0.06 (0.20)   |
| Insulation Resistance (Meg-Ohms)             | 100000.00     |

| Frequency (MHz) | Attenuation (dB/100 m) | Average Power (kW) |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0.5             | 0.278                  | 12.1               |
| 1               | 0.394                  | 12.1               |
| 1.5             | 0.483                  | 12.1               |
| 2               | 0.558                  | 12.1               |
| 10              | 1.25                   | 5.79               |
| 20              | 1.78                   | 4.08               |
| 30              | 2.19                   | 3.32               |
| 50              | 2.84                   | 2.56               |
| 88              | 3.79                   | 1.92               |
| 100             | 4.05                   | 1.79               |
| 108             | 4.21                   | 1.72               |
| 150             | 4.99                   | 1.45               |
| 174             | 5.39                   | 1.35               |
| 200             | 5.8                    | 1.25               |
| 300             | 7.17                   | 1.01               |
| 400             | 8.34                   | 0.871              |
| 450             | 8.88                   | 0.818              |
| 500             | 9.39                   | 0.773              |
| 512             | 9.51                   | 0.764              |
| 600             | 10.4                   | 0.702              |
| 700             | 11.2                   | 0.646              |
| 800             | 12.1                   | 0.601              |
| 824             | 12.3                   | 0.592              |
| 894             | 12.8                   | 0.566              |
| 960             | 13.3                   | 0.545              |
| 1000            | 13.6                   | 0.533              |
| 1250            | 15.4                   | 0.471              |
| 1500            | 17                     | 0.426              |
| 1700            | 18.3                   | 0.398              |
| 1800            | 18.9                   | 0.385              |

# Especificaciones de cables coaxiales (2)



# Especificaciones de cables coaxiales (3)

**HELIAX®**

## Coaxial Cable



### PRODUCT SPECIFICATION

#### LDF6-50

Standard coaxial cable, 1-1/4", 50 ohm foam HELIAX (Wideband 0.5-3300 MHz)

#### CHARACTERISTICS

##### Mechanical Specifications

|  |                  |
|--|------------------|
| Pressurizable                          | Yes              |
| Volume feet (liters)                   | 1.70 (158.00)    |
| Weight lb/ft (kg/m)                    | 0.63 (0.94)      |
| Tensile Strength lb (kg)               | 1300.00 (590.00) |
| Flat PlateCrush Strength lb/in (kg/mm) | 125.00 (2.20)    |
| Minimum Bending Radius in (mm)         | 15.00 (380.00)   |
| Bending Moment lb-ft (N-m)             | 36.00 (48.80)    |
| Number of Bends minimum (typical)      | 15.00 (40.00)    |

##### Electrical Specifications

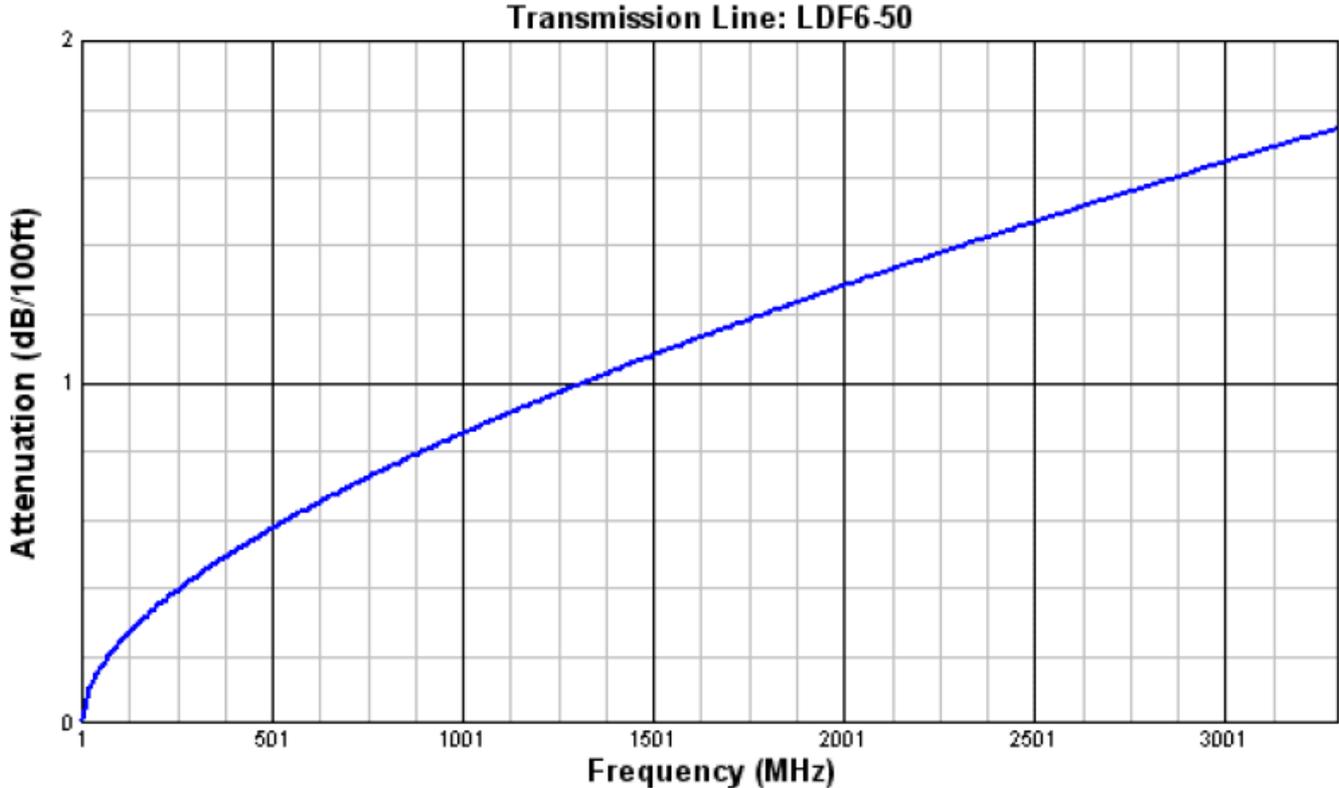
|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Cable Impedance (ohms)  | 50.00  |
| Maximum Frequency (GHz) | 3.30   |
| Velocity percentage     | 89.00  |
| Peak Power Rating (kW)  | 205.00 |



### Performance

| Frequency (MHz) | Attenuation (dB/100 m) | Average Power (kW) |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0.5             | 0.053                  | 180.6              |
| 1               | 0.075                  | 127.5              |
| 1.5             | 0.092                  | 103.9              |
| 2               | 0.107                  | 89.9               |
| 10              | 0.241                  | 39.8               |
| 20              | 0.344                  | 27.9               |
| 30              | 0.423                  | 22.7               |
| 50              | 0.552                  | 17.4               |
| 88              | 0.741                  | 13                 |
| 100             | 0.793                  | 12.1               |
| 108             | 0.826                  | 11.6               |
| 150             | 0.983                  | 9.77               |
| 174             | 1.06                   | 9.03               |
| 200             | 1.15                   | 8.38               |
| 300             | 1.43                   | 6.73               |
| 400             | 1.67                   | 5.74               |
| 450             | 1.79                   | 5.38               |
| 500             | 1.89                   | 5.08               |
| 512             | 1.92                   | 5.01               |
| 600             | 2.1                    | 4.58               |
| 700             | 2.29                   | 4.2                |
| 800             | 2.47                   | 3.89               |
| 824             | 2.51                   | 3.83               |
| 894             | 2.63                   | 3.65               |
| 960             | 2.74                   | 3.51               |
| 1000            | 2.8                    | 3.43               |
| 1250            | 3.19                   | 3.01               |
| 1500            | 3.55                   | 2.7                |
| 1700            | 3.83                   | 2.51               |
| 2000            | 4.22                   | 2.28               |
| 2300            | 4.59                   | 2.09               |
| 3000            | 5.41                   | 1.78               |
| 3300            | 5.74                   | 1.67               |

# Especificaciones de cables coaxiales (4)



**Standard Conditions:**

For Attenuation. VSWR 1.0, ambient temperature 20°C (68°F).  
 For Average Power. VSWR 1.0, ambient temperature 40°C (104°F), inner conductor temperature 100°C (212°F); no solar loading.

# Especificaciones de equipos

## Especificaciones de equipos de enlace microondas (Minilink Ericsson CN 500)

### ERICSSON'S COST EFFICIENT COMPACT NODE FOR HOPS AND END SITES

**MINI-LINK CN 500 is a high performance radio link with best in class radio output power resulting in longer hops with smaller antennas. MINI-LINK CN 500 and MINI-LINK TN are complementary products and hop compatible.**

### MINI-LINK CN 500 AND MINI-LINK TN ARE HOP COMPATIBLE

**MINI-LINK CN 500 is LTE ready and offers full support for all IP RAN over Ethernet Backhaul. MINI-LINK CN 500 is also perfect for TDM to packet migration.**

**MINI-LINK CN 500 is a Hybrid Node, perfect for both TDM to packet migration and for all IP.** The Hybrid Radio Link can transport Native Ethernet and Native PDH simultaneously over the hop. MINI-LINK CN 500 provides a complete packet and TDM solution with PDH and Ethernet in the same node with the necessary quality of service. This simplifies both the network handling and the network evolution to all IP.

#### Hybrid Radio Link

Native Ethernet and Native PDH are supported over the microwave radio link. The maximum air interface rate over one radio is 345 Mbit/s; the maximum line interface rate over one radio is 347-426 Mbit/s depending on compression and frame size.

#### Adaptive modulation

The Radio Link supports hitless adaptive modulation for 4-256 QAM over 7-28 MHz channels.



# Especificaciones de equipos (2)

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### ANTENNAS

- 0.2/0.3/0.6/0.9/1.2/1.8 m single polarized antennas for integrated and separate installation
- 2.4/3.0/3.7 m single polarized antennas for separate installation
- 0.3/0.6 m dual polarized antennas for integrated and separate installation
- 1.2/1.8/2.4/3.0/3.7 m dual polarized antennas for separate installation

### INTEGRATED POWER SPLITTERS

Available in symmetrical and asymmetrical versions

### PROTECTION

1+1 Radio equipment and propagation protection (Radio Link protection)

### POWER SUPPLY

-48 V DC and +24 V DC, with redundant power supply

### POWER CONSUMPTION

Radio Terminal: 30-110 W (depending on configuration)

Indoor Unit: 29W<sup>1</sup> / 29W<sup>2</sup> / 26W<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 1+0 configuration    <sup>2</sup> 1+1, active configuration

<sup>3</sup> 1+1, stand-by configuration

### WEIGHTS AND DIMENSIONS (HXWXD)

Radio unit

8/7/8/10/11/13/15/18/23/26/28/32/38 GHz

4 kg, 321x260x97 mm

Indoor Unit: 3 kg, 215 x 445 x 44 mm

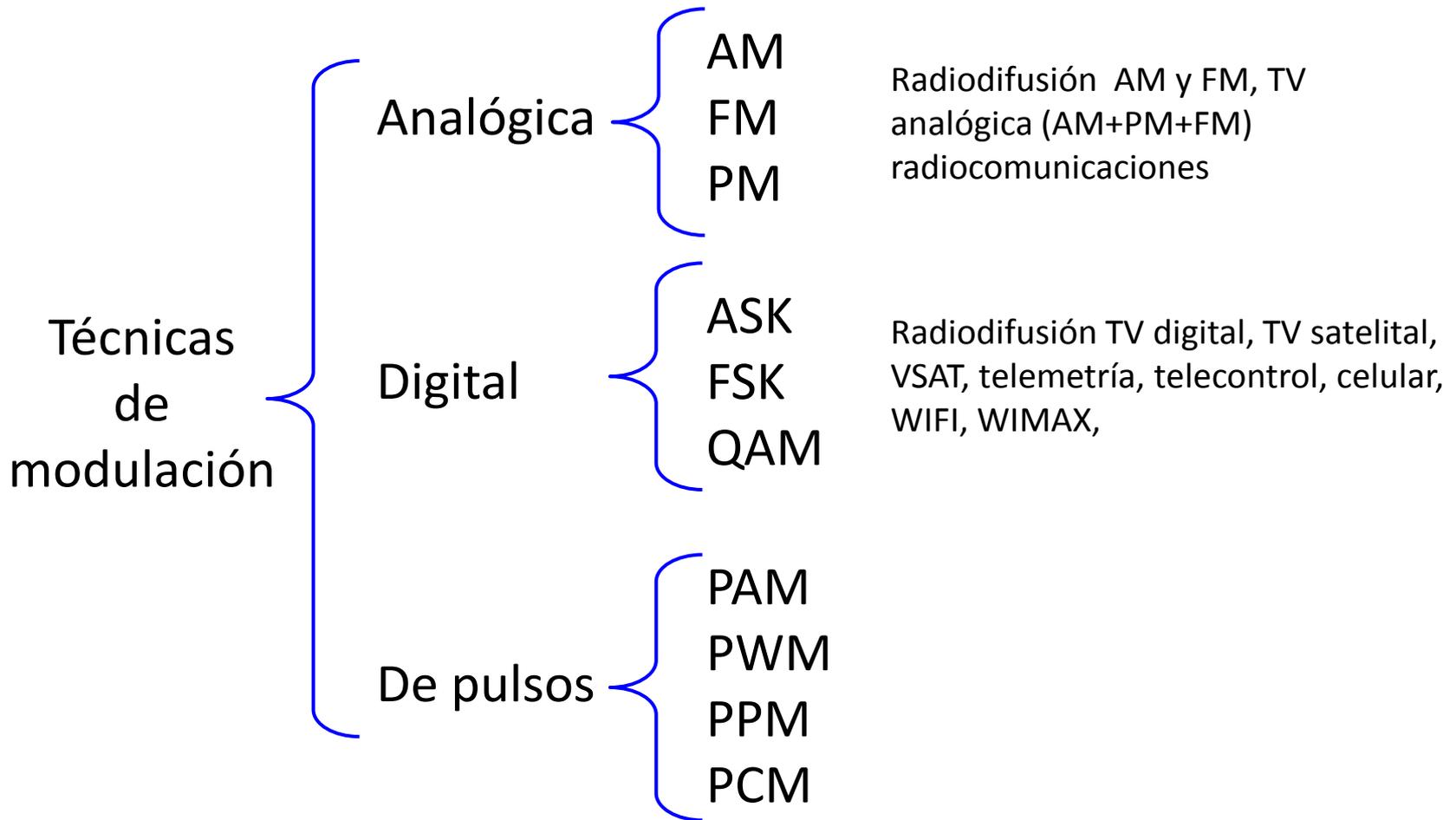
### TRAFFIC INTERFACES

PDH 16x E1 via Sofix connectors with 75 and 120 Ohm support,

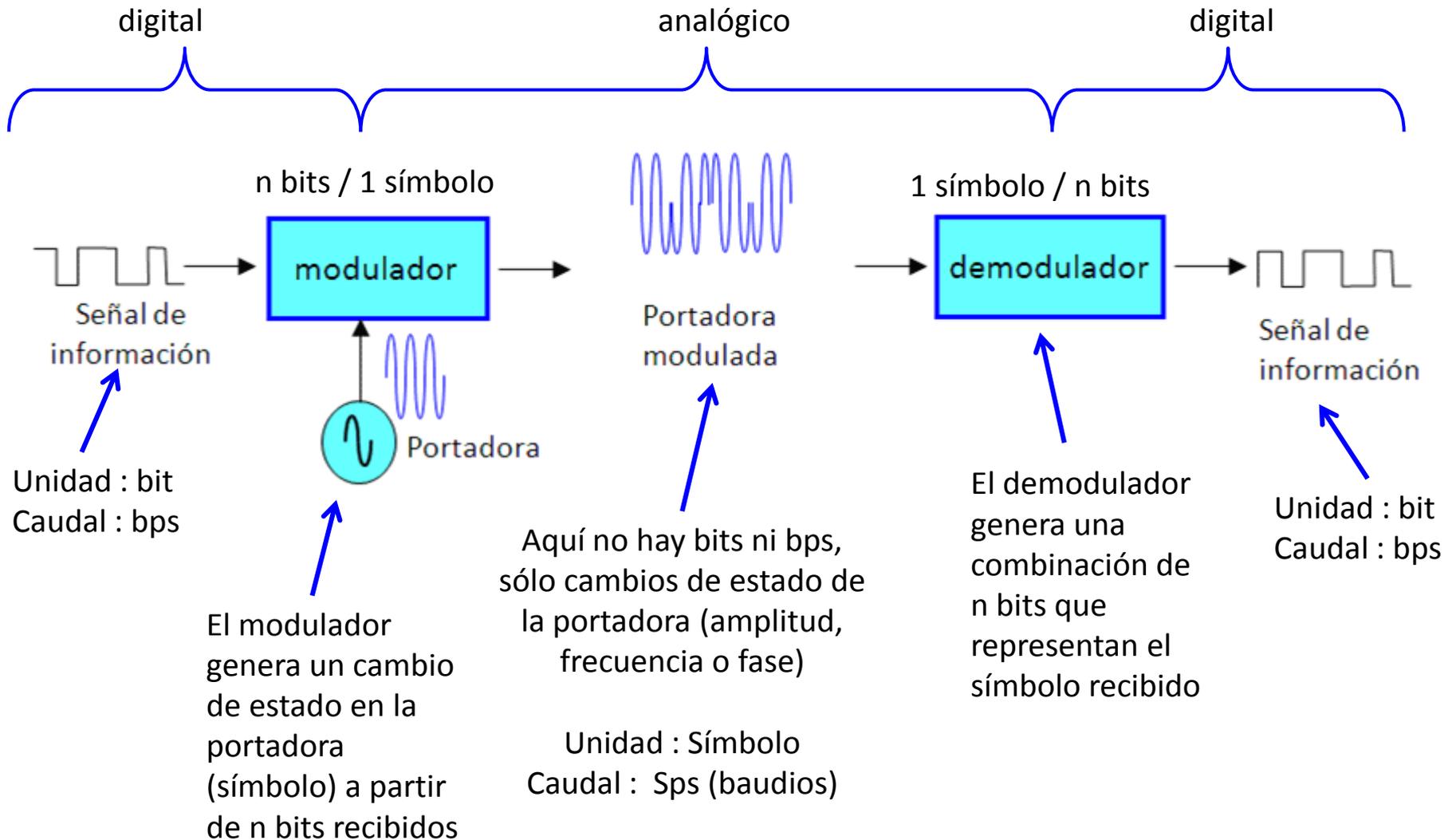
Ethernet: 1 port supporting 10/100/1000 BASE-T (HW prepared for T1/J1/DS1)

| Frequency (GHz)                                     | 6L   | 7             | 10  | 11  | 13   | 18   | 23   | 26  | 28  | 32  |     |
|---|------|---------------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
|   | 6U   | 8             |     |     | 15   |      |      |     |     |     |     |
| <b>Max. RF output power (dBm)</b>                   |      |               |     |     |      |      |      |     |     |     |     |
| 256 QAM   | +23  | +25           | +24 | +24 | +20  | +17  | +17  | +19 | +18 | +17 |     |
|   |      |               |     |     | +24* | +22* | +21* |     |     |     |     |
| 128 QAM   | +24  | +26           | +25 | +25 | +21  | +18  | +18  | +20 | +19 | +18 |     |
|   |      |               |     |     | +25* | +23* | +22* |     |     |     |     |
| 64 QAM  | +26  | +26           | +25 | +25 | +21  | +18  | +18  | +20 | +19 | +18 |     |
|   |      |               |     |     | +25* | +23* | +22* |     |     |     |     |
| 16 QAM  | +27  | +27           | +26 | +26 | +22  | +19  | +19  | +21 | +20 | +19 |     |
|   |      |               |     |     | +26* | +24* | +23* |     |     |     |     |
| 4 QAM   | +29  | +29           | +28 | +28 | +24  | +21  | +21  | +23 | +22 | +21 |     |
|   |      |               |     |     | +28* | +26* | +25* |     |     |     |     |
| C-QPSK  | +30  | +30           | +29 | +29 | +25  | +24  | +24  | +23 | +23 | +22 |     |
|   |      |               |     |     | +29* | +27* | +26* |     |     |     |     |
| <i>*RAUX HP</i>                                     |      |               |     |     |      |      |      |     |     |     |     |
| <b>Min. RF output power (dBm)</b>                   |      |               |     |     |      |      |      |     |     |     |     |
| All modulation schemes                              | -5   | -5            | -10 | -10 | -10  | -10  | -10  | -10 | -10 | -10 |     |
| <b>Receiver threshold BER 10<sup>-6</sup> (dBm)</b> |      |               |     |     |      |      |      |     |     |     |     |
| Frequency (GHz)                                     | 6L   | 7             | 10  | 11  | 13   | 18   | 23   | 26  | 28  | 32  |     |
|   | 6U   | 8             |     |     | 15   |      |      |     |     |     |     |
| <b>Net Throughput</b>                               |      |               |     |     |      |      |      |     |     |     |     |
| Ethernet [Mbps]    TDM                              |      |               |     |     |      |      |      |     |     |     |     |
| Air (Line Interface**)                              |      |               |     |     |      |      |      |     |     |     |     |
| 9 (9-11)  | 4E14 | QAM/7 MHz     | -91 | -91 | -91  | -91  | -90  | -90 | -90 | -89 | -88 |
| 21 (21-25)  | 10E1 | 16QAM/7 MHz   | -84 | -84 | -84  | -84  | -83  | -83 | -83 | -82 | -81 |
| 30 (30-37)  | 14E1 | 64QAM/7 MHz   | -77 | -77 | -77  | -77  | -76  | -76 | -76 | -75 | -74 |
| 35 (35-43)  | 17E1 | 128QAM/7 MHz  | -73 | -73 | -73  | -73  | -72  | -72 | -72 | -71 | -70 |
| 16 (16-20)  | 8E1  | C-QPSK/14 MHz | -85 | -85 | -85  | -85  | -84  | -84 | -84 | -83 | -82 |
| 21 (21-26)  | 10E  | 14QAM/14 MHz  | -88 | -88 | -88  | -88  | -87  | -87 | -87 | -86 | -85 |
| 42 (42-52)  | 16E  | 116QAM/14 MHz | -81 | -81 | -81  | -81  | -80  | -80 | -80 | -79 | -78 |
| 63 (63-78)  | 16E  | 164QAM/14 MHz | -75 | -75 | -75  | -75  | -74  | -74 | -74 | -73 | -72 |
| 72 (72-88)  | 16E1 | 128QAM/14 MHz | -72 | -72 | -72  | -72  | -71  | -71 | -71 | -70 | -69 |
| 81 (81-100)   | 16E1 | 256QAM/14MHz  | -67 | -67 | -67  | -67  | -66  | -66 | -66 | -65 | -63 |

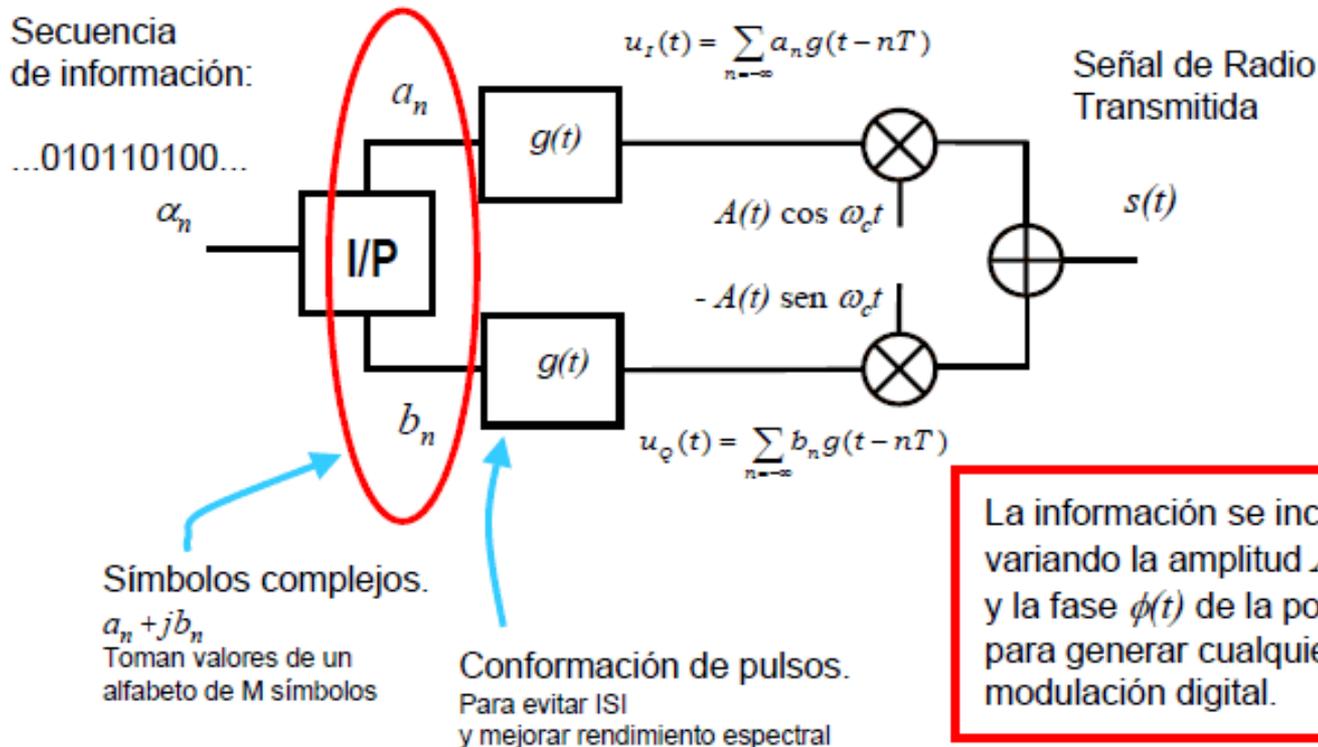
# Modulaciones analógicas y digitales para servicios terrestres y satelitales



# Modulación digital

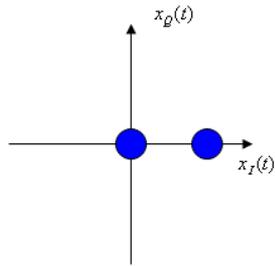


# Modulador digital

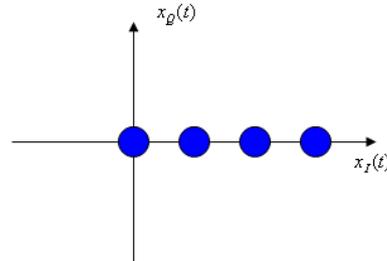


Ref.: C Crespo

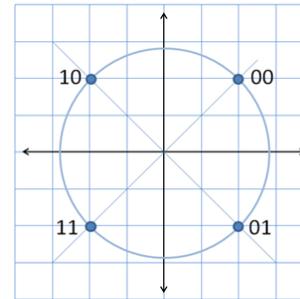
# Modulación digital PSK y QAM



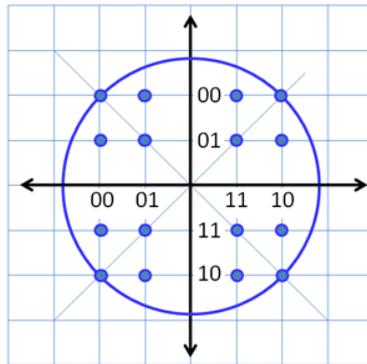
ASK-2



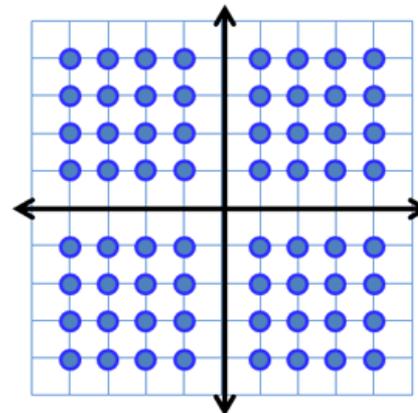
ASK-4



4PSK (QPSK)



16QAM

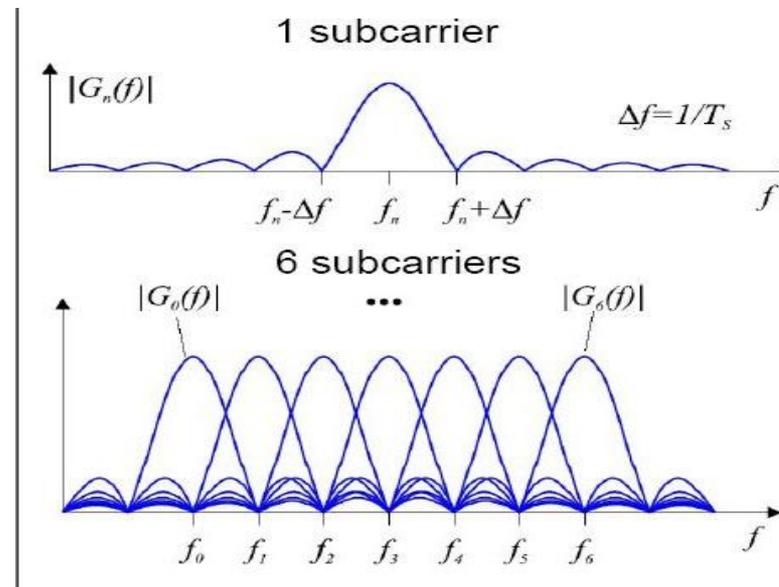


64QAM

| Modulación | bits/símbolo |
|------------|--------------|
| ASK-2      | 1            |
| ASK-4      | 2            |
| QPSK       | 2            |
| 16QAM      | 4            |
| 64QAM      | 6            |
| 256QAM     | 8            |
| 1024QAM    | 10           |

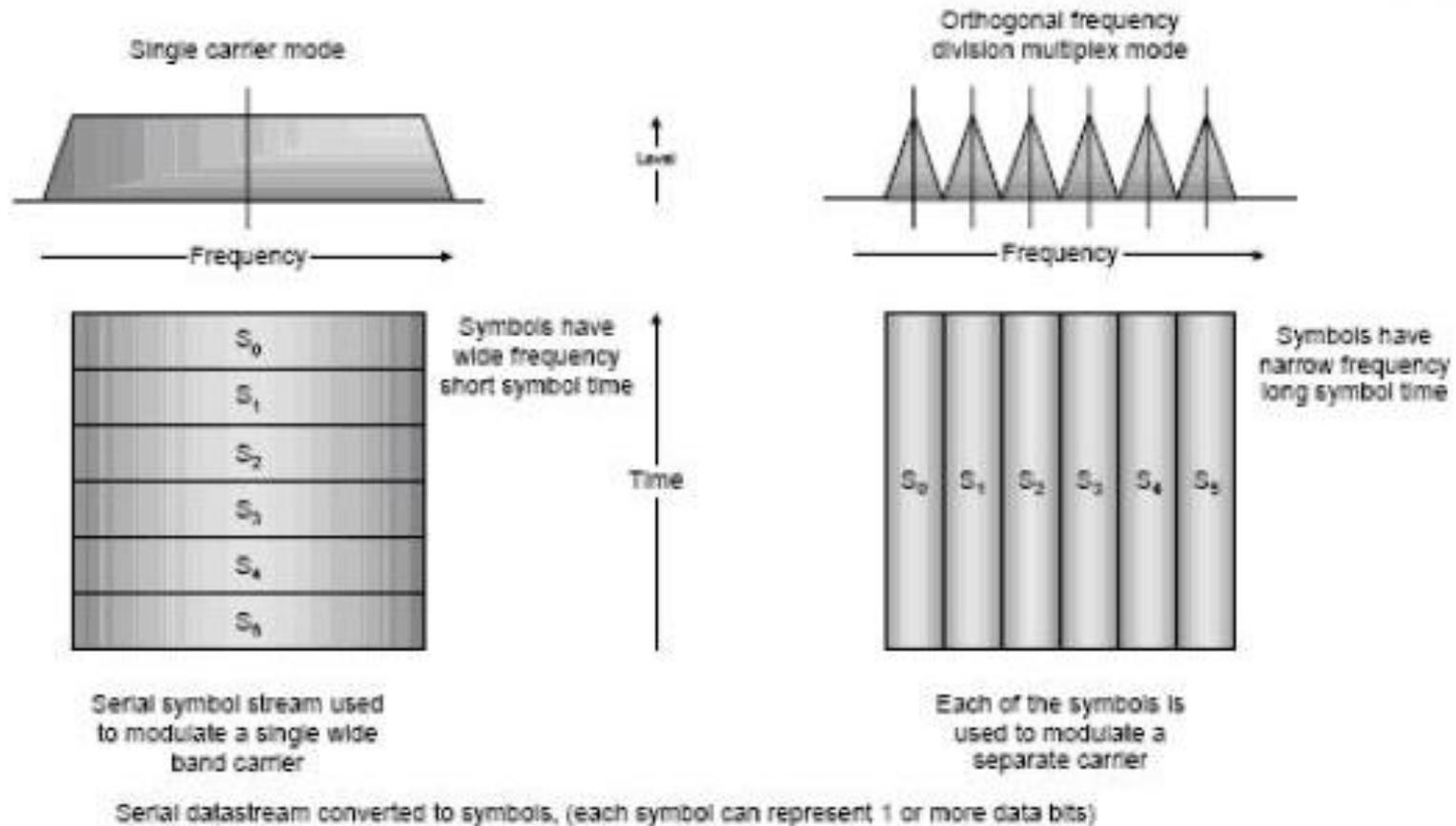
# Modulación OFDM

- OFDM: Del acrónimo en inglés (**O**rtogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing). División de frecuencia por multiplexación ortogonal
- Es una técnica de modulación FDM que permite transmitir grandes cantidades de datos digitales sobre una onda de radio.
- OFDM divide la señal de radio en muchas sub-señales que son transmitidas simultáneamente hacia el receptor en diferentes frecuencias.
- OFDM reduce la diafonía (efecto de cruce de líneas) durante la transmisión de la señal, OFDM se utiliza en 802.11a WLAN, 802.16 y WiMAX



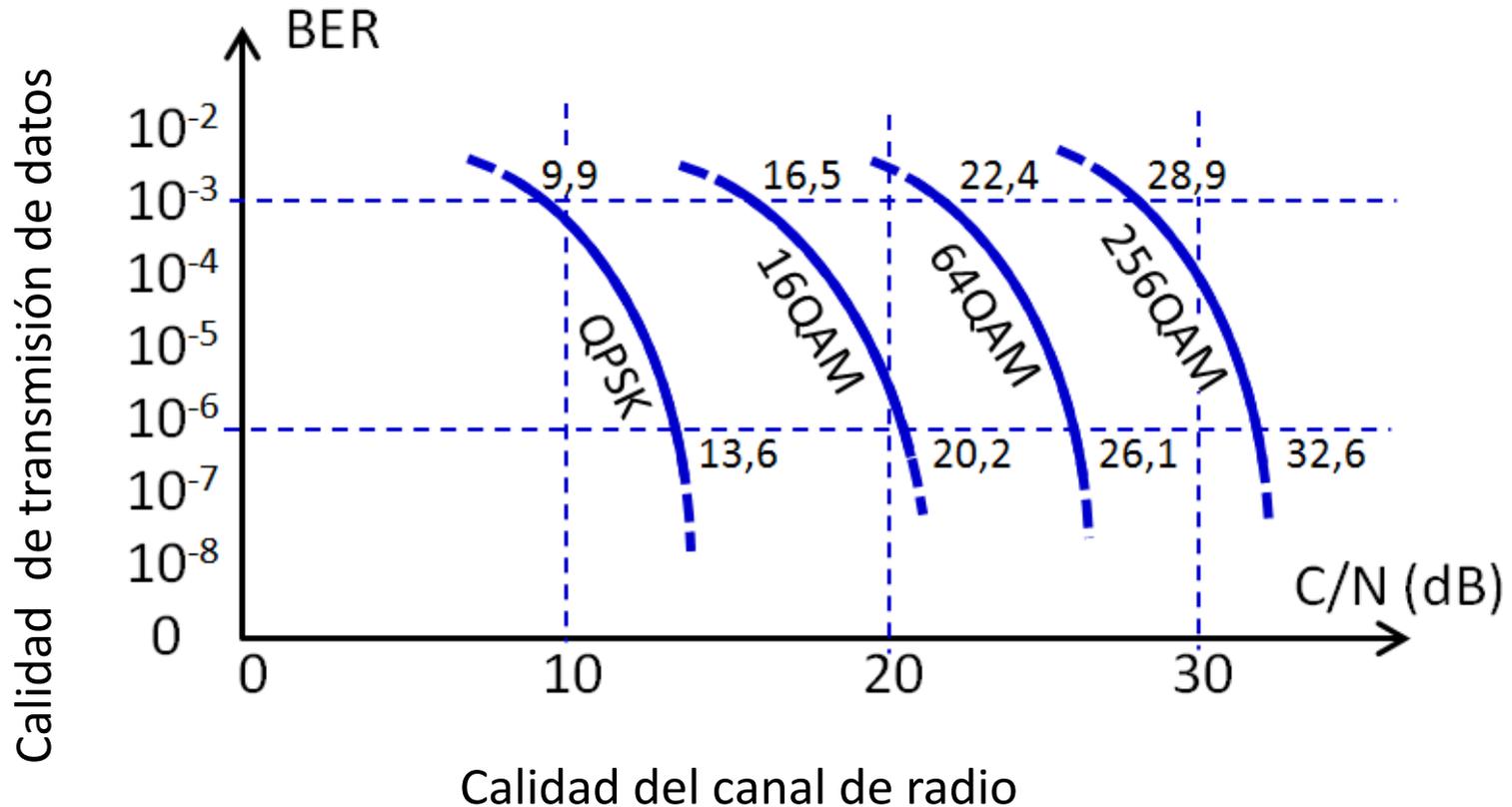
# Modulación OFDM (2)

OFDM versus TDM:



# Modulación digital PSK y QAM (2)

Efectos del ruido en la transmisión digital:



C/N : Carrier to Noise (Relación portadora a ruido)

BER : Tasa de error de bits

# Parámetros de la comunicación digital inalámbrica

Básicamente son tres:

## **Tasa de error de bit:**

(BER: bit error rate): relación entre bits recibidos erróneamente y el total de bits transmitidos. También se relaciona la Tasa de símbolos errados (SER: symbol error rate)

## **Eficiencia de potencia:**

Habilidad de preservar la fidelidad del mensaje cuando se utilizan potencias bajas. En general habrá una relación de energía de bit a potencia de ruido mínima que asegure una determinada BER en el Rx. Este parámetro se asocia a la sensibilidad

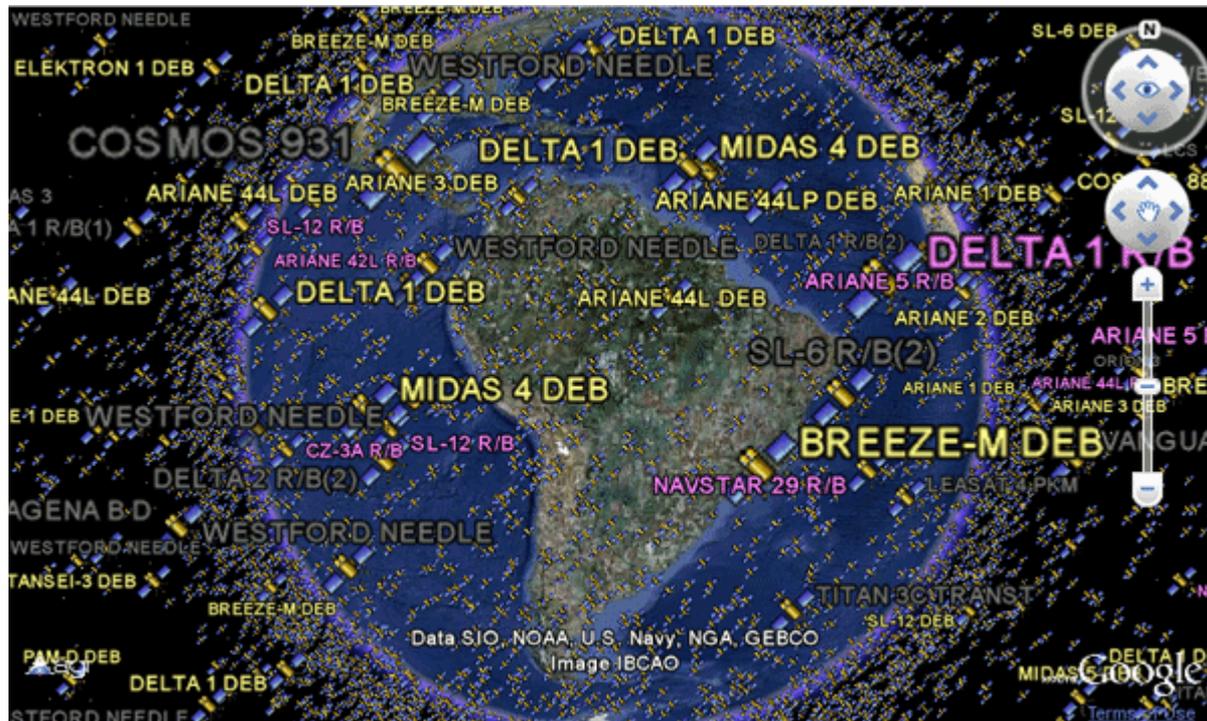
## **Eficiencia espectral:**

Habilidad para acomodar una tasa de bit en un ancho de banda  $EE = R_b \text{ (bps)} / BW \text{ (Hz)}$

# Comunicaciones satelitales

A la fecha más de 13.000 objetos se encuentran orbitando la Tierra a diferentes alturas y siguiendo diferentes trayectorias.

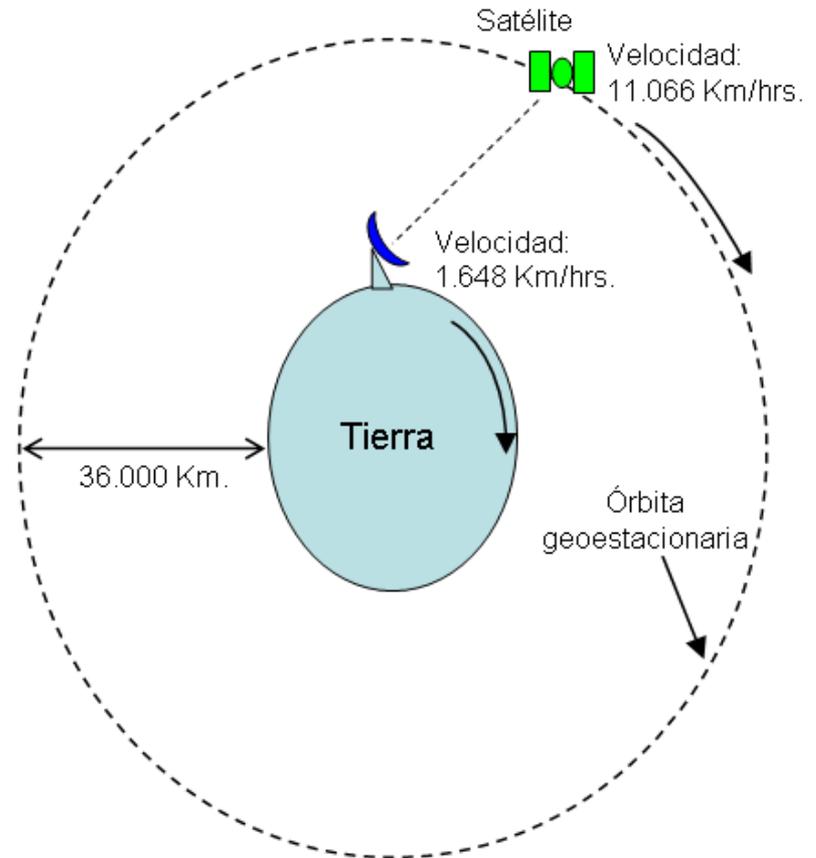
Entre las aplicaciones de comunicaciones satelitales más populares, se encuentran la TV satelital (DTH), la transmisión de datos (VSAT), la telefonía satelital, GPS, aplicaciones de apoyo a la meteorología, prospección terrestre y marina, estación orbital, uso militar entre otros.



# Comunicaciones satelitales (2)

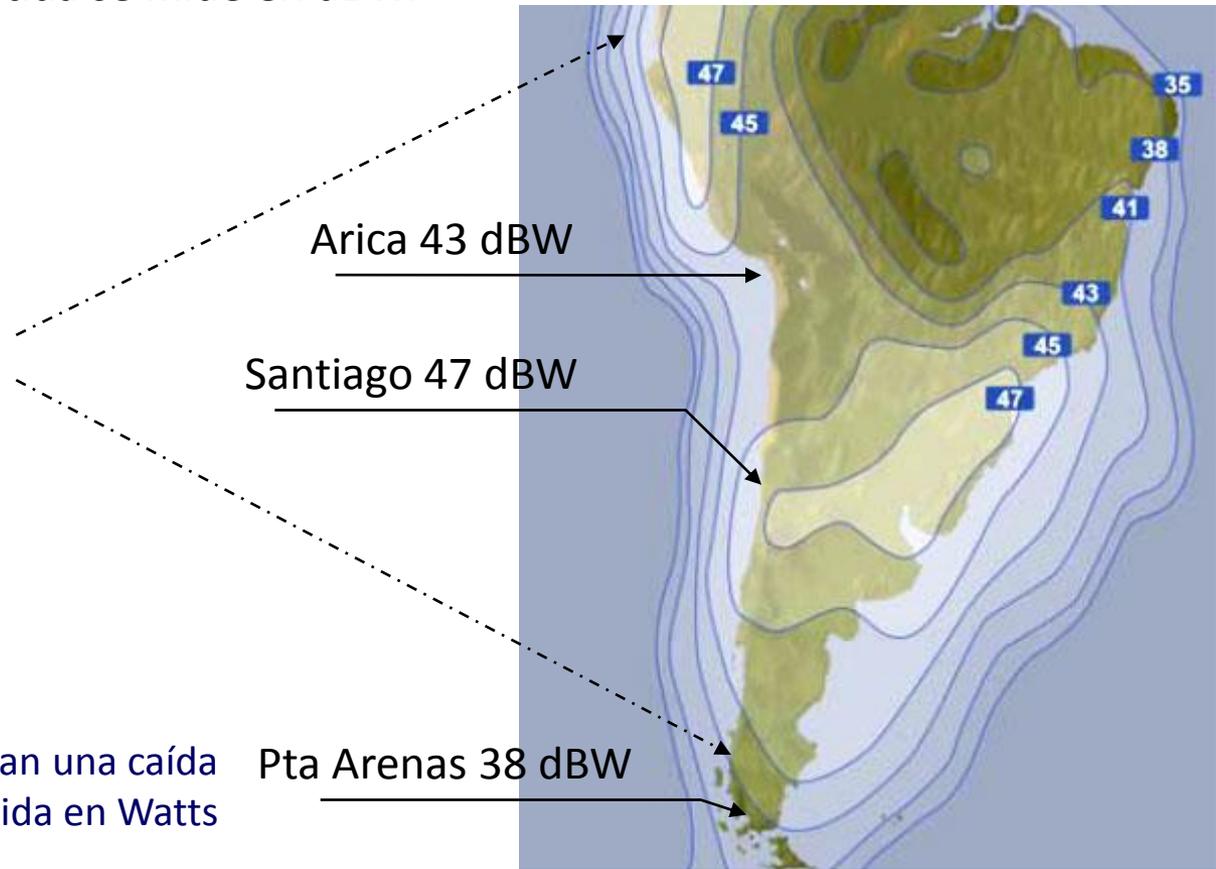
## Satélite geoestacionario

- Un satélite que gira en la órbita ecuatorial alrededor de la Tierra, en el mismo sentido y dando una vuelta completa en 24 horas se verá en el cielo como un objeto fijo (geoestacionario).
- Esta especial órbita se encuentra a 36.000 Km de altura y en ella el satélite permanece girando en forma indefinida sin necesidad de motores para mantenerlo.
- Si el satélite es dotado de equipos repetidores (transpondedores) se podrá establecer comunicación radial en forma permanente si la antena se orienta directamente y se fija en sus soportes
- Esta es la base de las comunicaciones satelitales.



# Comunicaciones satelitales (3)

- El satélite por su gran altura (36.000 Km) tiene una vista privilegiada, ya que puede con una sola antena cubrir continentes completos.
- Se llama “pisada” a las áreas que las antena pueden cubrir y se define su contorno por la potencia máxima transmitida hacia la Tierra.
- La potencia transmitida se mide en dBW.



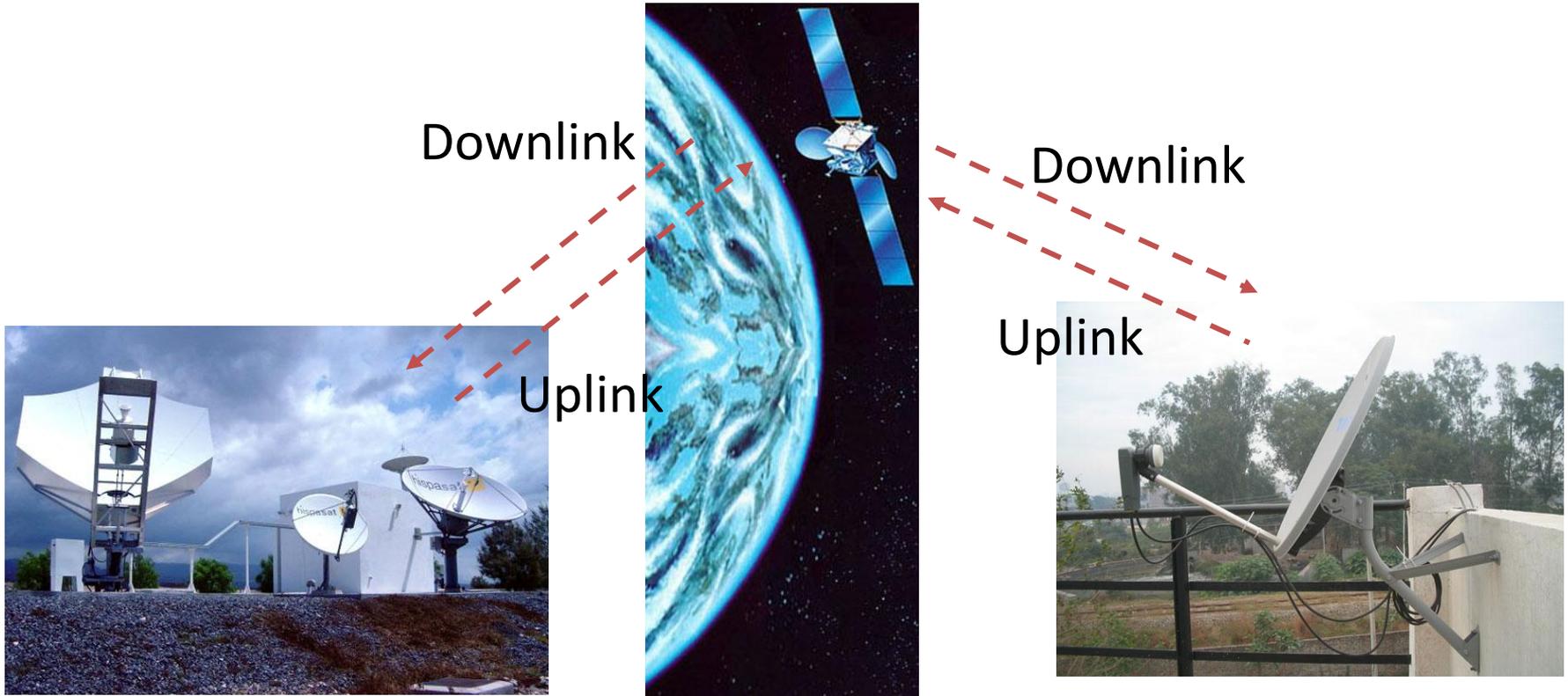
Recordar que -3 dB representan una caída a la mitad de la potencia medida en Watts

# Comunicaciones satelitales VSAT

- **VSAT** son las siglas de Terminal de Apertura Muy Pequeña (*Very Small Aperture Terminal*).
- Designa un tipo de antena para comunicación de datos vía satélite y por extensión a las redes que se sirven de ellas, normalmente para intercambio de información punto-punto, punto-multipunto (broadcasting) o interactiva.
- Las antenas VSAT no sobrepasan los 2 o 3 metros de diámetro. A diferencia de otros de mayor tamaño la señal de estos terminales no puede alcanzar a otros VSAT (salvo que se encuentren cerca y en línea recta) por lo que deben recurrir al satélite para comunicarse entre sí.
- La comunicación se produce por lo tanto de forma indirecta a través de satélites de órbita geoestacionaria.
- Al ser una alternativa al cableado y tratarse de equipos relativamente económicos se suelen considerar como la solución a los problemas de comunicación entre zonas aisladas (donde extender las redes de cable no sería rentable).

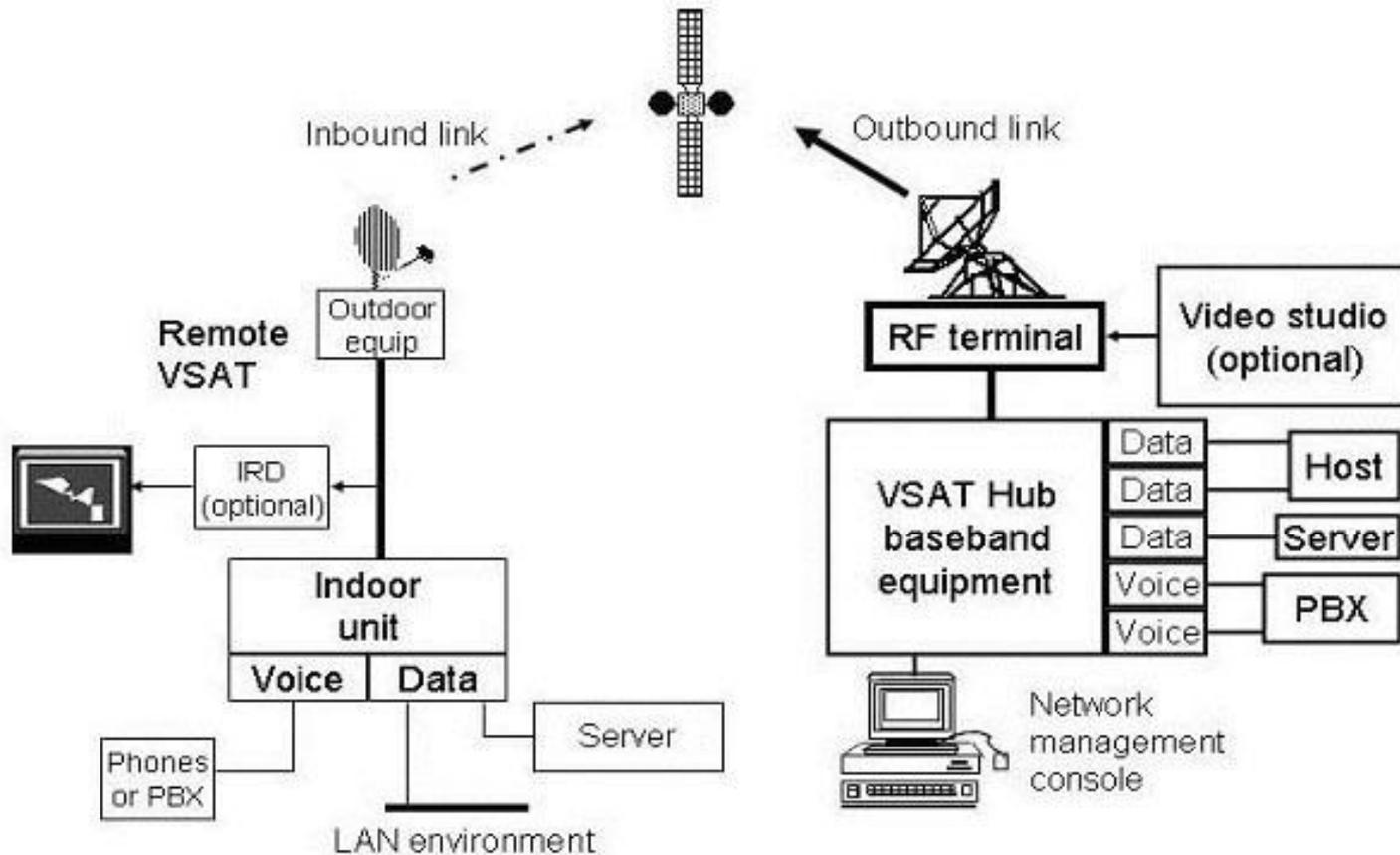


# Comunicaciones satelitales VSAT



# Comunicaciones satelitales VSAT (2)

- Configuración típica de estación VSAT empresarial



# Comunicaciones satelitales VSAT (3)

- Ejemplo de instalación VSAT. Antena parabólica de pequeño diámetro y montados tras el feedhorn o alimentador el transductor ortogonal (para separar Rx y Tx), el receptor LNB (low noise block) y el transmisor BUC (block up-converter).



- En su topología más extendida (estrella) la red puede tener gran densidad (hasta 1.000 estaciones) y está controlada por una estación central llamada HUB que organiza el tráfico entre terminales y optimiza el acceso a la capacidad del satélite
- Pueden funcionar en bandas C, Ku o Ka siendo más sensibles a las condiciones meteorológicas cuanto más alta es la frecuencia de la portadora.

# Televisión Satelital

Formas de recibir Televisión

## TV libre recepción



## TV Cable



## TV Satelital



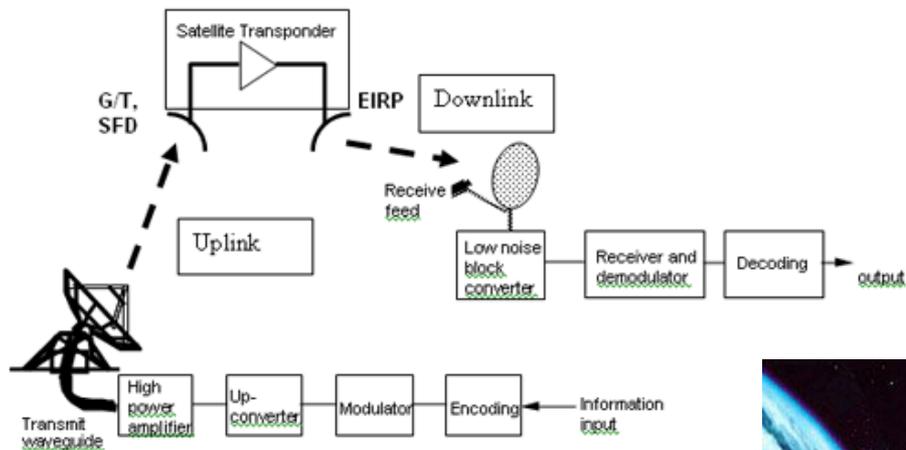
Cable coaxial



- Receptor (Televisor, LCD, Plasma, Proyector)
- Sistema de audio
- Decodificador

# Televisión Satelital DTH

DTH : Direct To Home



Uplink



Downlink



Fuentes de programación de canales de TV (Telepuerto)

# Televisión Satelital DTH



Antena Cassegrain 24m Telepuerto  
Astra para Uplink banda Ku sobre  
Europa



Construcción de satélite  
Astra 2-C



Lanzamiento de  
satélite Astra 2-C

# Ventajas de la Televisión Satelital DTH

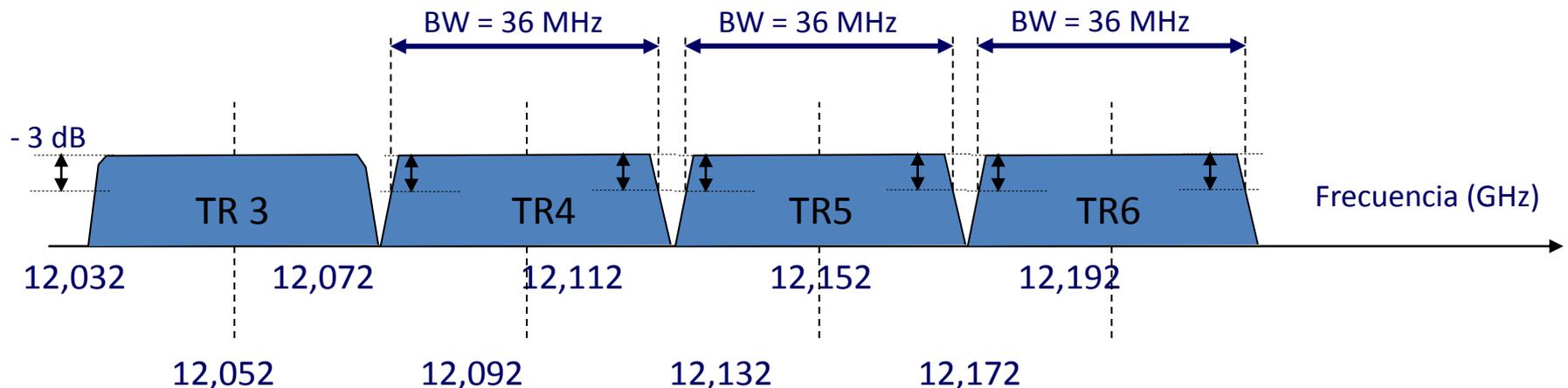
- Gran cobertura sobre países y continentes.
- Amplia visibilidad desde cualquier lugar.
- Las antenas deben “apuntar” al cielo, sin obstáculos
- Permite a lugares aislados o donde no existen redes alámbricas
- Sencilla implementación (instalar antena, cable y decodificador)
- Costo de la comunicación es independiente de las distancias
- Instalación fija porque el satélite “no se mueve” (geoestacionario)

# Parámetros de la transmisión satelital DTH

- Frecuencia, unidades y banda
- Ancho de banda
- Potencia transmitida
- Polarización de antena
- Posicionamiento de antena (acimut, elevación)
- Nivel de señal recibida
- Nivel de ruido
- Relación portadora a ruido
- Tipo de modulación
- Tasa de transferencia de bit (bit rate)
- Tasa de transferencia de símbolos (SR)
- Tasa de error (BER)

# Ancho de banda DTH

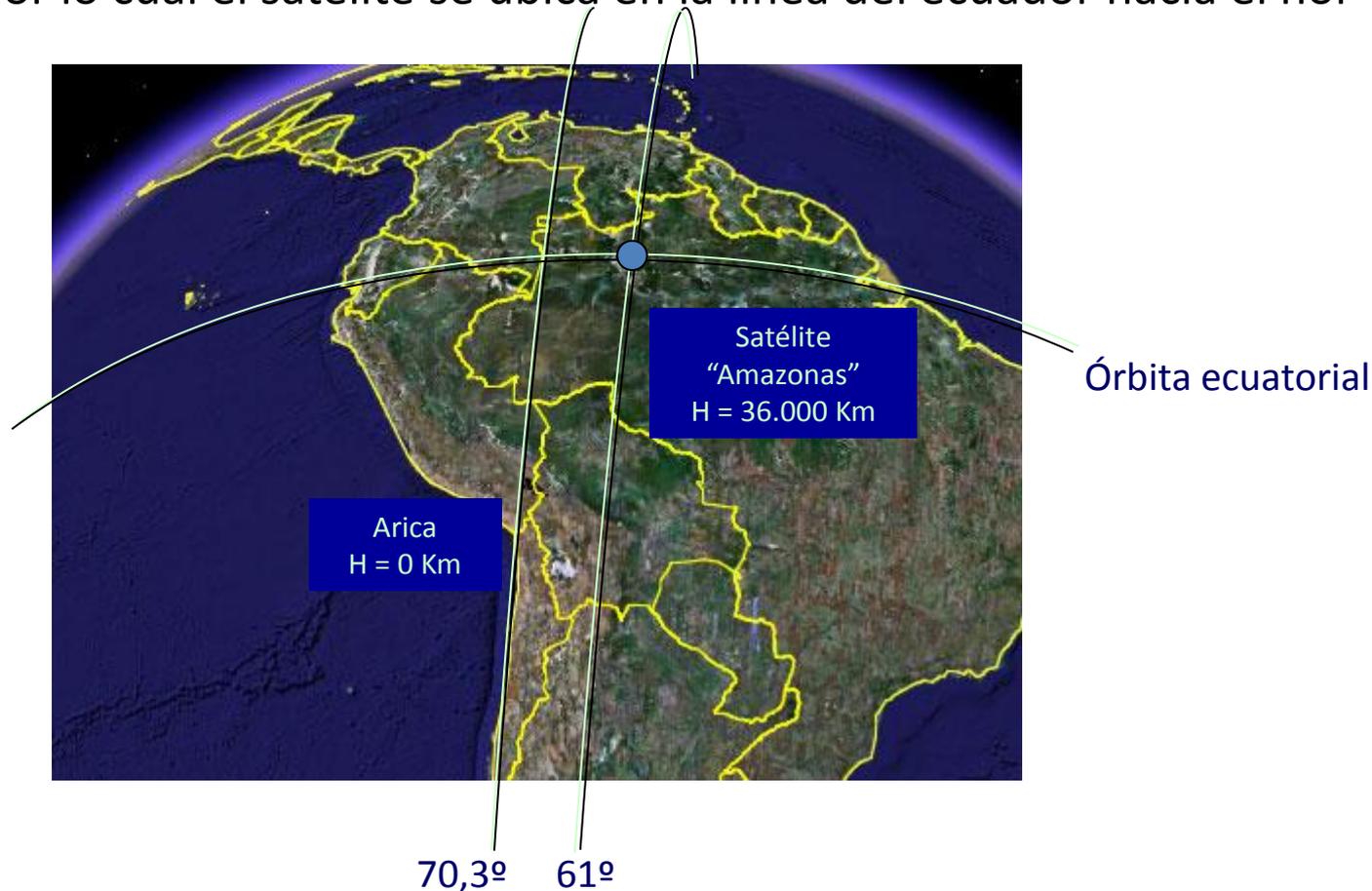
- Los equipos y medios de transmisión tienen capacidades limitadas de permitir el paso de diferentes frecuencias.
- El rango de frecuencia en el cuál se permite el paso de señales (o el rechazo) se denomina Ancho de Banda (BW : Band Width) y corresponde a la caída a la mitad de la potencia máxima (- 3 dB)



Nota: El diagrama muestra la distribución de frecuencias de los transpondedores (TR) de TV del satélite Amazonas

# Satélite “Amazonas”

- El satélite “Amazonas” pertenece al consorcio Hispasat, opera en órbita geoestacionaria, en la posición de 61º Oeste.
- Por ejemplo Arica se encuentra en la posición 70,3º de longitud oeste, por lo cuál el satélite se ubica en la línea del ecuador hacia el nor-este.



# Satélite Amazonas (2)

- 5,8 m de altura
- 2,4 m de longitud
- 2,9 m de profundidad
- 35 m con paneles solares
- 4.545 Kgrs de peso
- 9,5 KW de potencia consumida



# Satélite Amazonas (3)

www.hispasat.com



The screenshot shows the Hispasat website interface. At the top right is the Hispasat logo. Below it is a red navigation bar with the following menu items: **Acerca de Hispasat**, **Productos y soluciones**, **Clientes e instaladores**, **Flota de satélites**, **Innovación**, **Prensa**, and **Buscador**. On the left side, there is a vertical navigation menu with the following items: **Acerca de Hispasat**, **Productos y soluciones**, **Clientes e instaladores**, **Flota de satélites**, *Información general*, *Hispasat 1C*, *Hispasat 1D*, **Amazonas 1**, *Plan de Frecuencias*, *Coberturas*, *Características técnicas*, *Descargas*, *Presentación*, *Xtar-Eur*, *Spainsat*, *Centros de control*, *Futuros proyectos*, **Innovación**, **Prensa**, and **Buscador**. At the bottom left, there is a dark grey area with a list of links: **Glosario**, **Preguntas**, **Empleo**, **Contacto**, and **Mapa Web**. The main content area has a breadcrumb trail: **Inicio** > *Flota de satélites* > **Amazonas 1**. There is a printer icon and language selection options for **Português** and **English**. The main heading is **Amazonas 1, el mejor satélite para América**. The text describes the satellite's capabilities and its role in HISPASAT's expansion. A photograph of the satellite launch is shown on the right. At the bottom, there is a large orange button with the text **Amazonas**.

**hispasat**

**Acerca de Hispasat** **Productos y soluciones** **Clientes e instaladores** **Flota de satélites** **Innovación** **Prensa** **Buscador**

**Acerca de Hispasat**  
**Productos y soluciones**  
**Clientes e instaladores**  
**Flota de satélites**  
*Información general*  
*Hispasat 1C*  
*Hispasat 1D*  
**Amazonas 1**  
*Plan de Frecuencias*  
*Coberturas*  
*Características técnicas*  
*Descargas*  
*Presentación*  
*Xtar-Eur*  
*Spainsat*  
*Centros de control*  
*Futuros proyectos*  
**Innovación**  
**Prensa**  
**Buscador**

**Inicio** > *Flota de satélites* > **Amazonas 1**

**Amazonas 1, el mejor satélite para América**

**HISPASAT** cuenta entre su flota de satélites con el mejor satélite de comunicaciones para América. A través de su filial brasileña HISPAMAR, puso en órbita en agosto de 2004 el satélite iberoamericano Amazonas 1, en la posición 61° Oeste.

Da cobertura, con capacidades transatlántica y panamericana, a todo el continente americano, Europa y Norte de África. Asimismo, permite complementar la cobertura del sistema **HISPASAT** en el Oeste de Estados Unidos, incluyendo California.

Amazonas 1 se presenta como la piedra angular de **HISPASAT** en su expansión geográfica hacia los mercados de Iberoamérica.

El satélite Amazonas 1 tiene una capacidad de 63 transpondedores equivalentes de 36 MHz que operan en frecuencias en banda Ku y en banda C.

**Para más información visita:**

**Amazonas**

**Glosario**  
**Preguntas**  
**Empleo**  
**Contacto**  
**Mapa Web**

Português  
English

# Satélite Amazonas (4)

<http://www.hispasat.com/Detail.aspx?SectionsId=96&lang=es>

| Plataforma                             | Amazonas   |
|--|--|
| Tipo                                   | Eurostar 3.000s  |
| Fabricante                             | Astrium  |
| Dimensiones de la estructura principal | Altura: 5,88 m.<br>Longitud: 2,4 m.<br>Anchura: 2,9 m. |
| Potencia de los amplificadores         | 50 W (banda C)<br>100 W (banda KU)                     |
| Longitud                               | 36,10 m.   |
| Masa                                   | 4.605 kg.  |
| Potencia eléctrica                     | 7.000 W CC   |

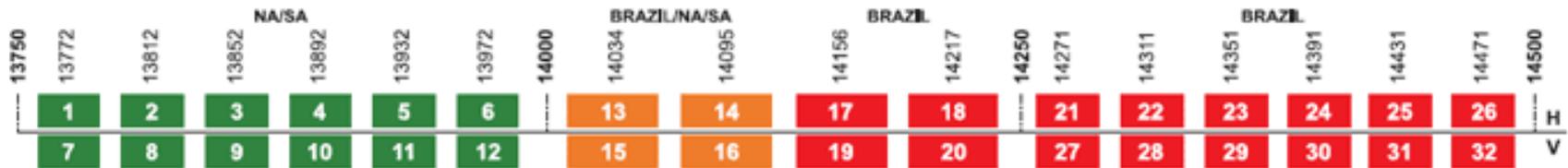
| Carga útil            |   |
|-----------------------|---|
| Nº de transpondedores | - físicos: 51<br>(32 banda Ku y 19 banda C)<br><br>- equivalentes de 36 MHz:<br>(36 banda Ku, 27 banda C) |
| Polarización          | Horizontal y Vertical   |
| Frecuencias           | banda C y banda Ku  |
| Máxima PIRE           | 52 dBW (Brasil)   |
| Procesado a bordo     | Sistema Amerhis   |
| Nº antenas            | 5   |

# Satélite Amazonas (5)

- Contiene 51 transpondedores
- 32 en banda Ku
- 19 en banda C

PLAN DE FRECUENCIAS EN BANDA KU (MHz) / FREQUENCY PLAN IN KU BAND (MHz)  
 Bandwidth: 36 MHz - 54 MHz

## Uplink América



## Downlink América



# Posicionamiento de la antena

- Dependiendo de la ubicación del lugar (latitud – longitud) se puede determinar la posición que debe tener la antena (acimut – elevación)
- <http://www.hispasat.com/Apuntamiento.aspx?zone=2&sectionsId=58&lang=es>
- También se puede utilizar [www.dishpointer.com](http://www.dishpointer.com)



hispasat

Cientes e instaladores Flota de satélites Innovación Prensa Buscador

instaladores > Orientación y apuntamiento > América

Português English

País : CHILE

Ciudad: ARICA

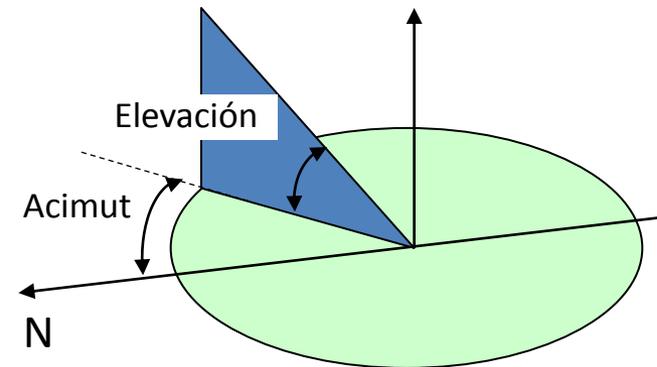
Satelite/Cobertura: Amazonas

Longitud: -70,33

Latitud: -18,5

calcular borrar

Acimut: 27,37 Elevación: 65,8



# Polarización

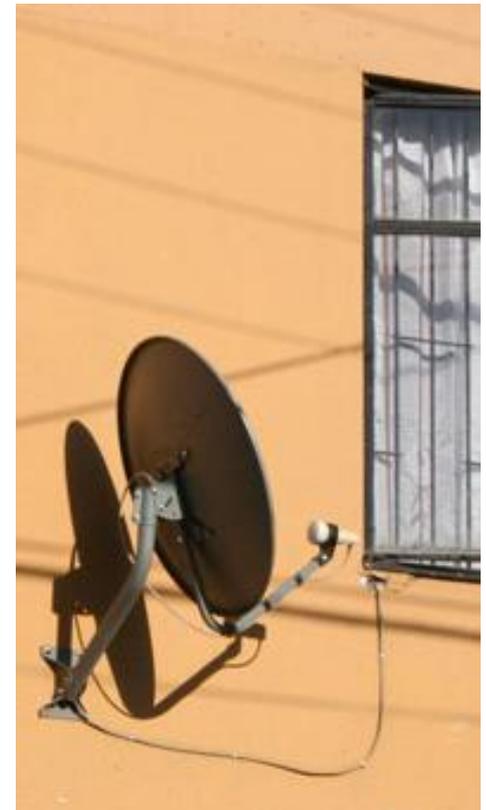
- Polarizar, es la técnica usada para separar una señal de otra con el fin de minimizar interferencias entre señales.
- Las señales son polarizadas de dos formas:
  - Polarización Lineal (Horizontal y Vertical)
  - Polarización Circular (Izquierda y Derecha).
- **Telmex TV utiliza Polarización Vertical y Movistar utiliza Polarización Horizontal y se ajusta en el LNB en forma física y/o eléctrica (mediante voltaje)**
- **Esta polarización permite separar por ejemplo las señales de los transpondedores 1, 4, 5 y 6 de los 7, 10, 11 y 12 que utilizan las mismas frecuencias**



LNB

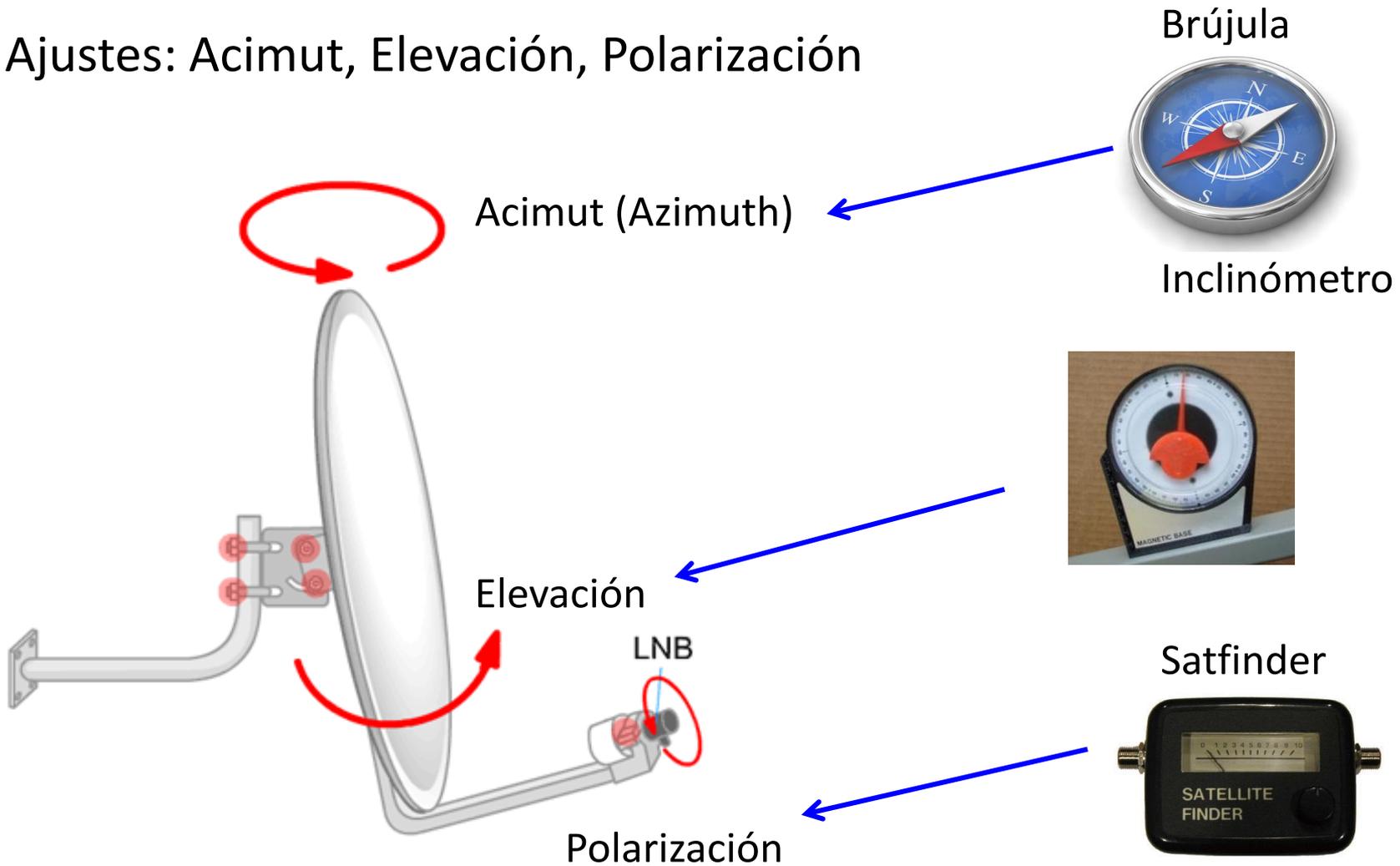
# Antena

- Kit de antena incluye plato reflector, LNB, soportes de fijación y ajuste de posición



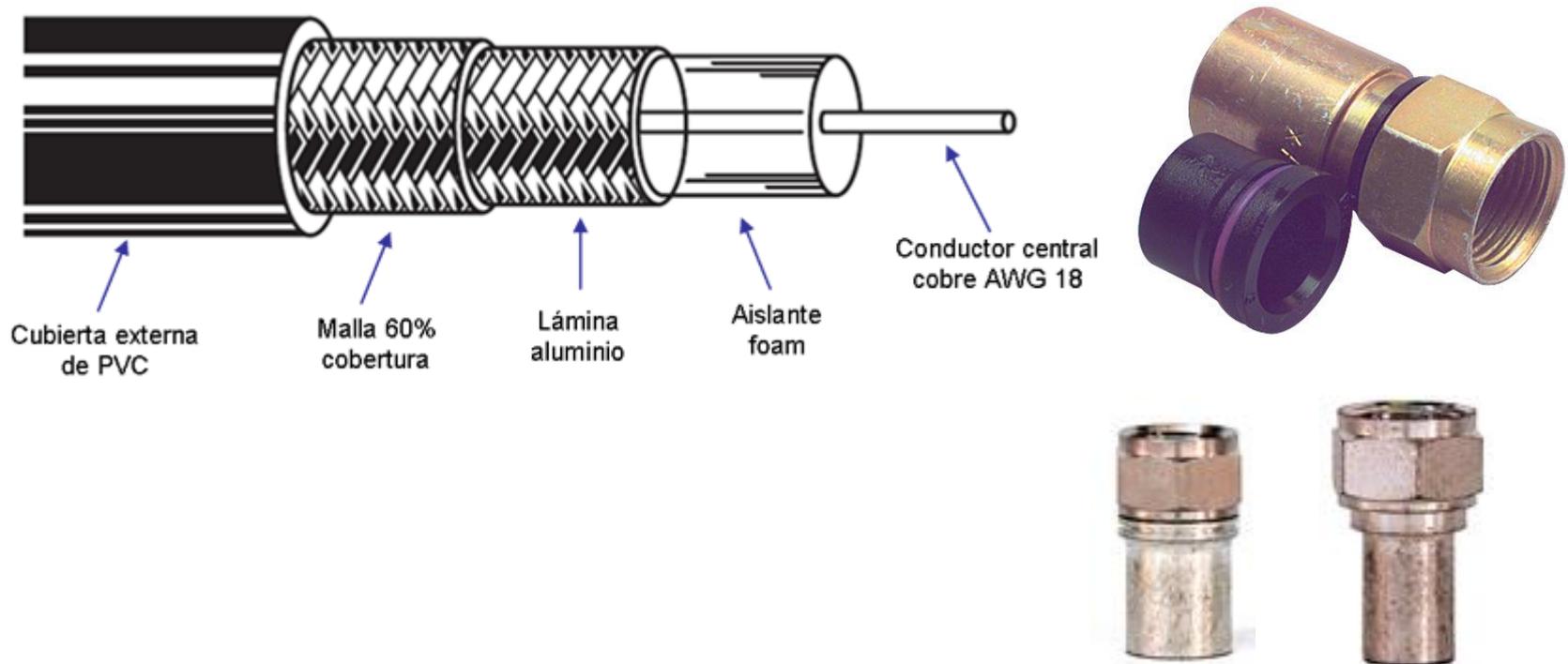
# Orientación e instrumentos de ajuste de antenas DTH

Ajustes: Acimut, Elevación, Polarización



# Cable coaxial

- En la bajada de antena se utiliza cable coaxial RG-6 de 75 Ohms de impedancia.
- Las uniones se realizan mediante conectores tipo F



# Decodificador

- Equipo electrónico que recibe la señal proveniente del LNB y que permite decodificar la señal digital comprimida y encriptada para entregarla en formato estándar de video para el receptor.

