

RADIACIÓN Y RADIOCOMUNICACIÓN

4^º INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

TEMA 10. SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR SATÉLITE

15 de mayo de 2008

Juan José Murillo Fuentes
DTSC. ETSI. Univ Sevilla
murillo@esi.us.es



Bibliografía

- Bibliografía básica:
 - Estas transparencias están basadas en el capítulo 6 del libro “Transmisión por radio” del prof. Hernando Rábanos, ed. Ramón Areces 2006.

- Bibliografía adicional:
 - “Radio system design for Telecommunications”, Roger L. Freeman. Wiley scd ed.

© Copyright 2006. Si utiliza este material para generar algún otro cítelos como J.J. Murillo-Fuentes. “Comunicaciones por satélite. Transparencias de la asignatura radiación y radiocomunicación.” Universidad de Sevilla. 2006.

TEMA 10: SISTEMAS DE COMUNICACION POR SATELITE

- 10.1 Introducción
- 10.2 Estructura del sistema: estructura y recursos
- 10.3 Geometría del enlace
- 10.4 Acceso múltiple
- 10.5 Señales de banda base y su tratamiento
- 10.6 Bandas de frecuencia y modulación
- 10.7 Circuitos ficticios de referencia
- 10.8 Calidad y disponibilidad
- 10.9 Descripción del subsistema de comunicaciones
- 10.10 Estaciones terrenas
- 10.11 Calidad en las comunicaciones por satélite
- 10.12 Radiodifusión por satélite
- 10.13 Contorno de coordinación
- 10.14 Estaciones VSAT

10.1 Introducción: Objetivos

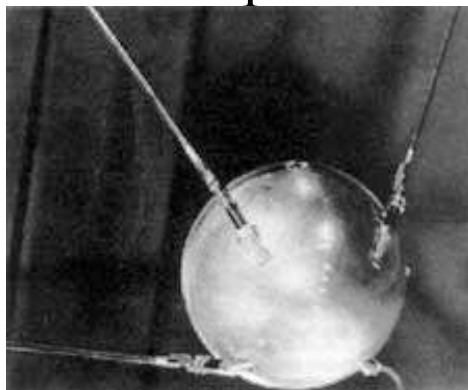
- ¿Cuál es la definición y características generales del servicio?
- ¿Cuáles son los hitos históricos más relevantes?
- ¿Qué operadoras y servicios hay en la actualidad?
- ¿Qué partes tiene un satélite?
- ¿Cuáles son los aspectos económicos más relevantes?
- ¿Qué regulación hay al respecto?



10.1 Introducción: Características Generales

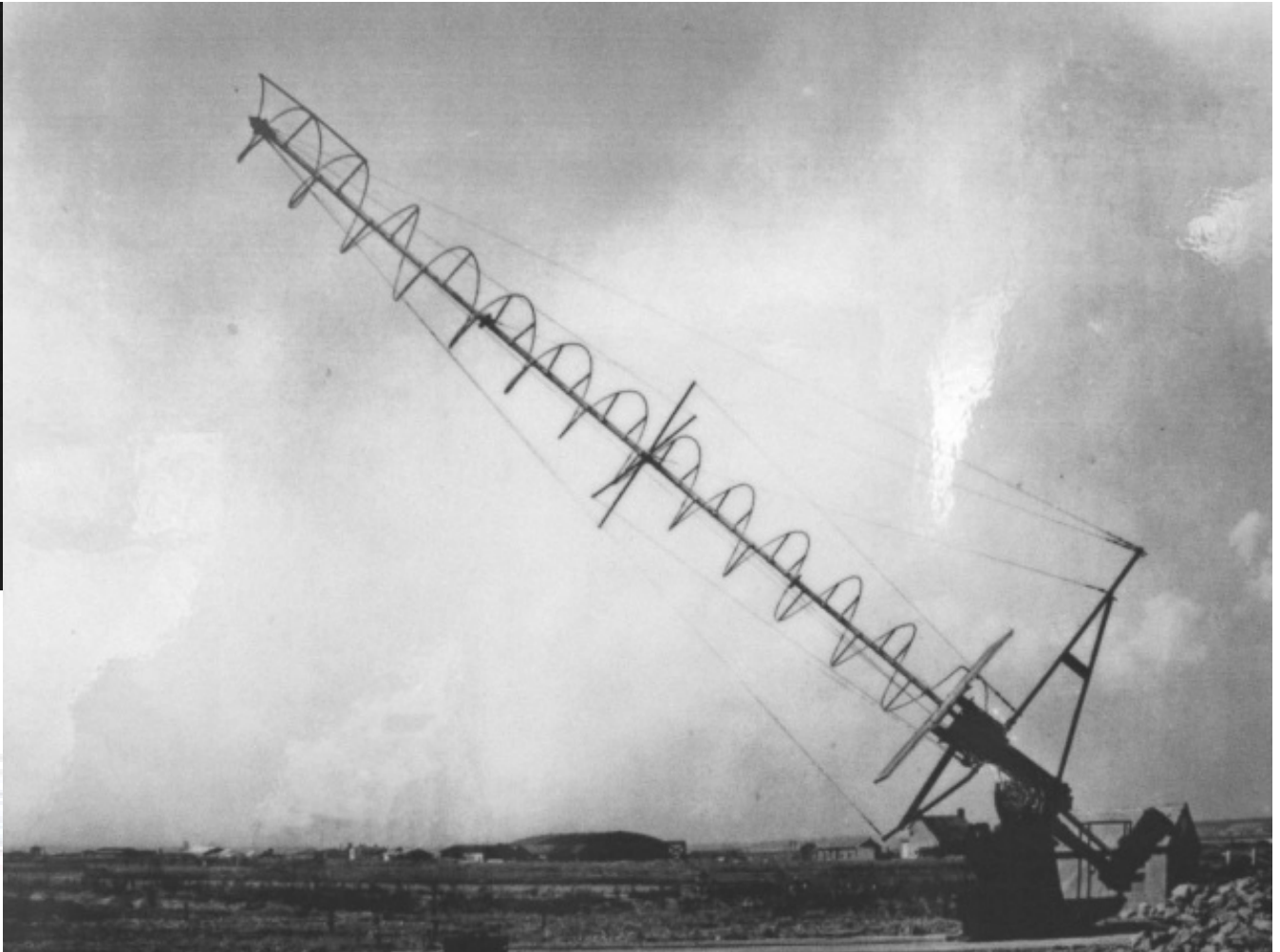
Las radiocomunicaciones por satélite tienen por objeto el establecimiento de radioenlaces entre estaciones fijas ó móviles a través de repetidores activos o pasivos situados en una órbita alrededor de la Tierra

- Pertencen al “Servicio de Telecomunicación por Satélite” definido en el reglamento de Radiocomunicaciones dentro del “Servicio espacial”:
 - Servicio fijo por satélite: Enlaces entre puntos fijos
 - Servicio móvil por satélite: Enlaces entre puntos fijos y puntos móviles
 - Servicio de radiodifusión por satélite: Enlaces entre uno o más puntos fijos y terminales dispersos, en la modalidad de difusión.
- A.C. Clarke: “Comunicaciones espaciales” basadas en satélites repetidores geoestacionarios.
 - Y entonces: 1957 Sputnik



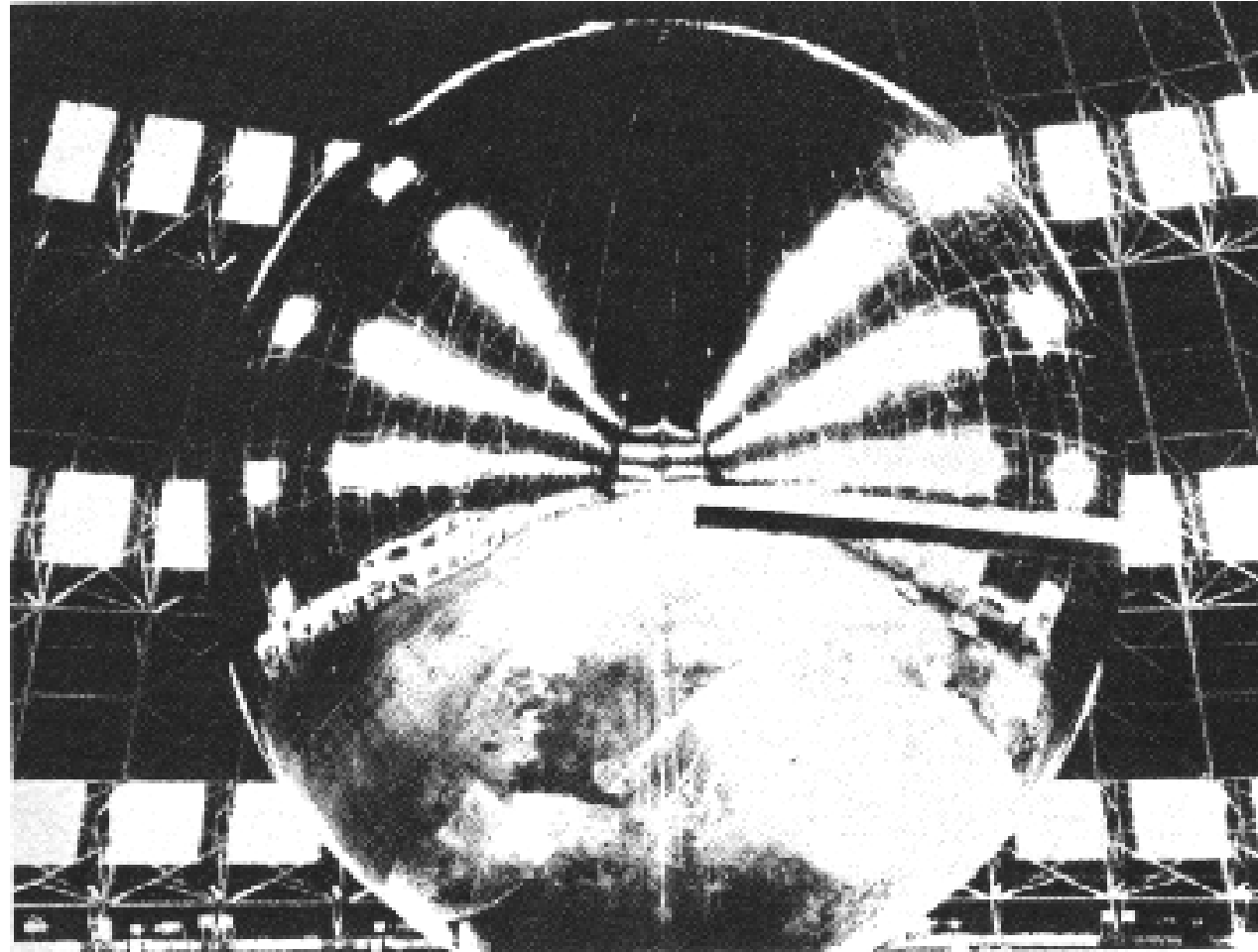
10.1 Introducción: Hitos históricos: Sputnik

- Satélites en comunicaciones:
 - 1957 Sputnik I, satélite que transmitía un “beep”



10.1 Introducción: Hitos históricos: ECHO

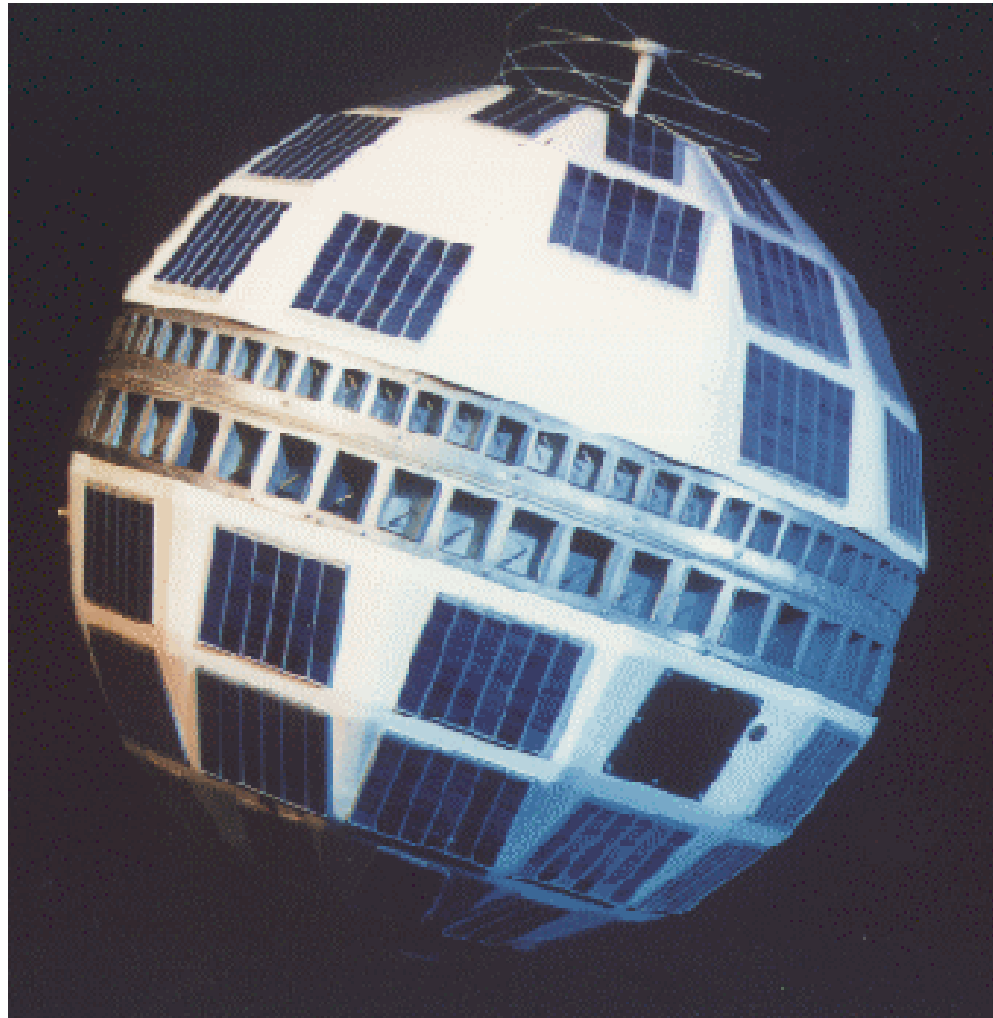
- Satélites en comunicaciones:
 - 1960 ECHO, satélite pasivo



- Photo from NASA

10.1 Introducción: Hitos históricos: TELSTAR

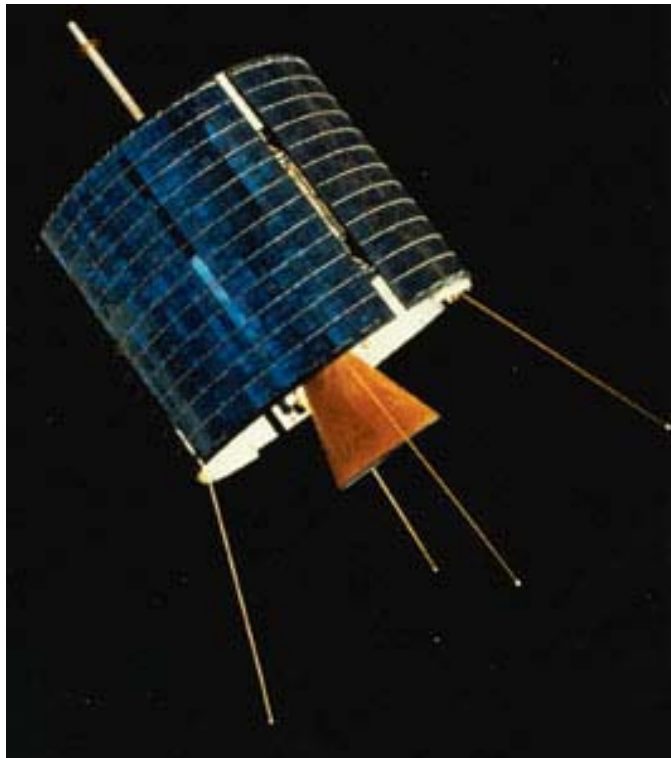
- Satélites en comunicaciones:
 - 1962 TELSTAR: Satélite activo de baja altitud para transmisiones de telefonía y TV. Bandas 4 y 6 GHz



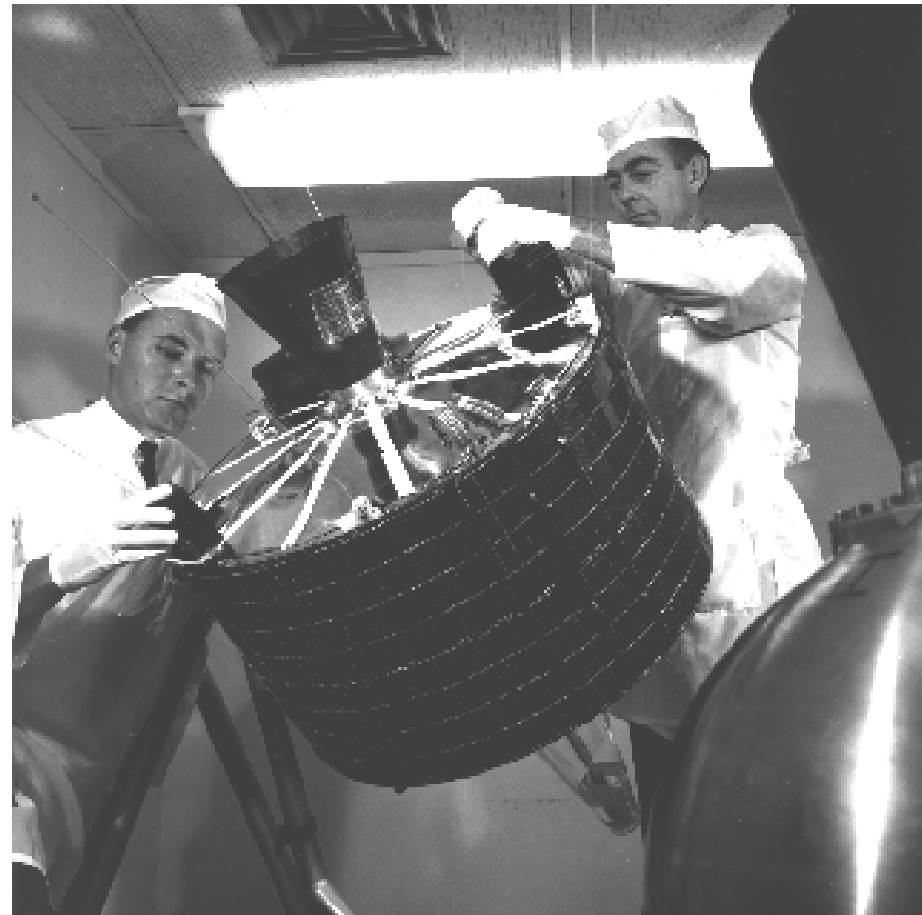
- Photo from NASA

10.1 Introducción: Hitos históricos: SYMCOM

- Satélites en comunicaciones:
 - 1963-64 SYMCOM:
 - Órbita geoestacionaria



Early Bird
▪Photo from COMSAT



SYMCOM,
▪Photo from NASA

- 1965 Intelsat 1 (Early Bird): Primer satélite comercial órbita geoestacionaria
 - 240 canales telefónicos o 1 TV

10.1 Introducción: Sistemas y Servicios: INTELSAT (I)

■ Sistemas de Satélites

- En 1964 nace el Consorcio INTELSAT: sistema comercial mundial de telecomunicaciones por satélite
 - Introducción de banda 11/14 GHz
 - Tecnología digital para acceso y modulación
 - Haces de antenas puntuales y perfilados
 - Pioneros en puesta en marcha de servicios:



- 1969: Retransmisión global evento
- 1974: Servicio voz digital
- 1978: Radiodifusión a 1000 mill
- 1986: Retransmisión con movilidad
- 1987: Teleconferencia en 79 países
- 1990: Acceso a internet
- 1995: red de negocios

INTELSAT 9 (2001)

•Photo from IntelSat

10.1 Introducción: Sistemas y Servicios: SES-GLOBAL e HISPASAT

■ SES-GLOBAL

- Nace en 1973
- Actualmente lidera el sector
- En España se reciben canales de TV de su filial SES-ASTRA
 - A través de su satélite Astra 1E

SES  GLOBAL



ASTRA is the leading satellite system for direct-to-home transmission of TV, radio and multimedia services in Europe.

ASTRA transmits over 1300 television and radio channels across Europe, for both direct to home and cable delivery.

Surf with speeds up to 768 KBPS with a satellite broadband subscription.

Join our rich neighbourhood of broadcasters.

■ HISPASAT

- Nace en 1989 (Eutelsat, telefónica, Auna, Inta, BBVA, EADS-CASA,...)
- Sus satélites Hispasat 1C, Hispasat 1D y Amazonas
 - Transmiten a España y América
 - A 12.5 GHz aprox.



10.1 Introducción: Sistemas y Servicios: EUTELSAT e INMARSAT

- 1977 EUTELSAT: europeo



EUTELSAT, Serie II, HotBirds
• Photo from ESA



- INMARSAT
 - Primer operador de comunicaciones móviles globales por satélite
- IRIDIUM: com. móviles
- GLOBALSTAR: com. móvil



SATELLITE VOICE AND DATA SERVICES



Globalstar
GO FURTHER. DO MORE.

SATELLITE VOICE AND DATA SERVICES




▶ SKIP INTRO

 UNITED STATES

 CANADA

 EUROPE

United Kingdom 


Globalstar is a leading provider of high-quality, low-cost voice and data services to businesses, communities and individuals around the world.

Click on the map above to find your nearest service provider. Or choose y the drop down menu.

Copyright© 2007 Globalstar. All rights reserved.

**UNLIMITED
SATELLITE SERVICE!**

Phone, Email & Internet


ONLY
€34.99/ per month 

**PROTECT YOUR BOAT
FROM THEFT!**

NEW SIMPLEX TRACKING ALARM 

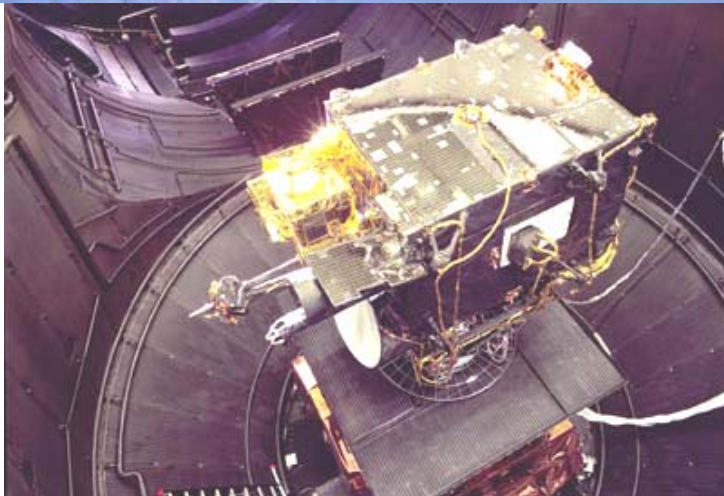
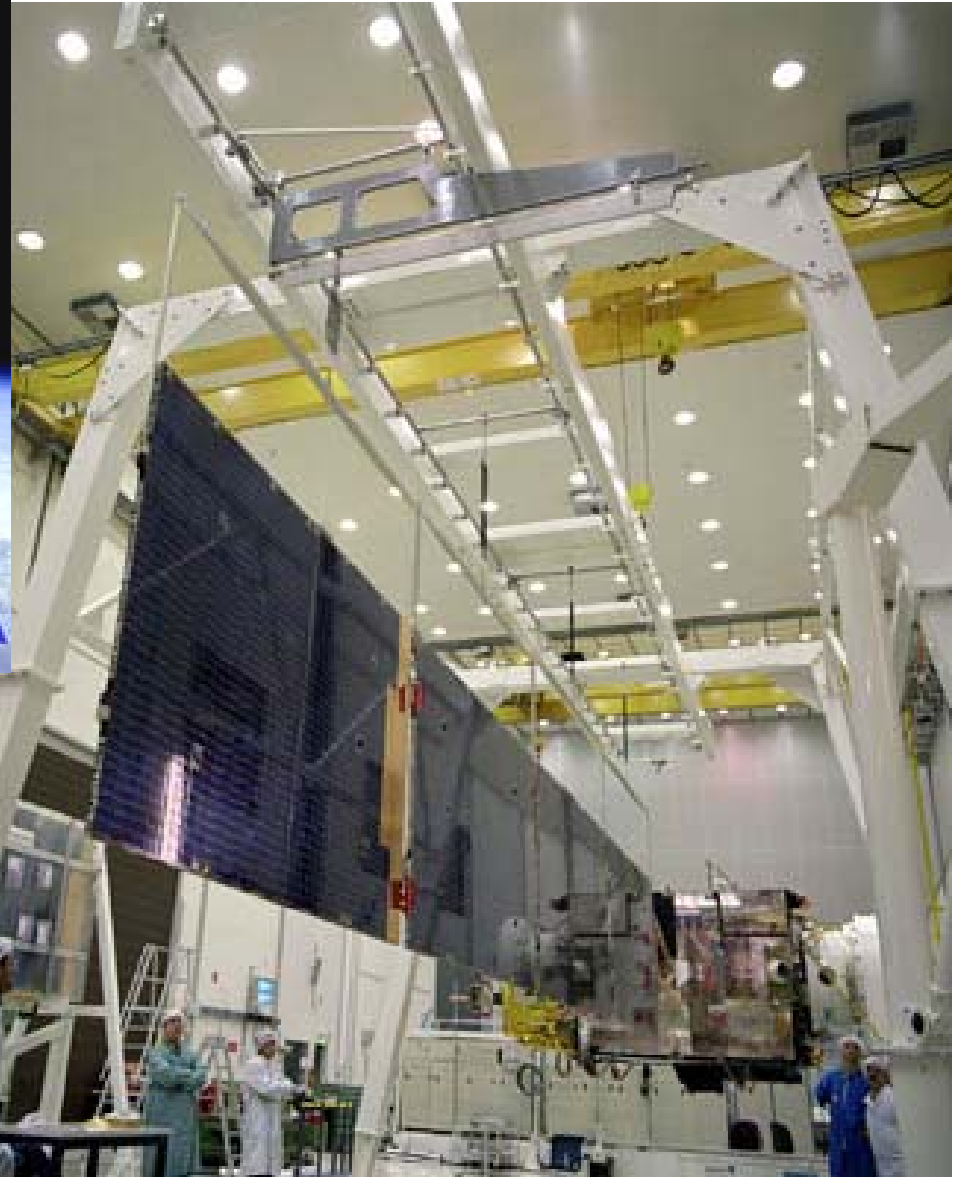
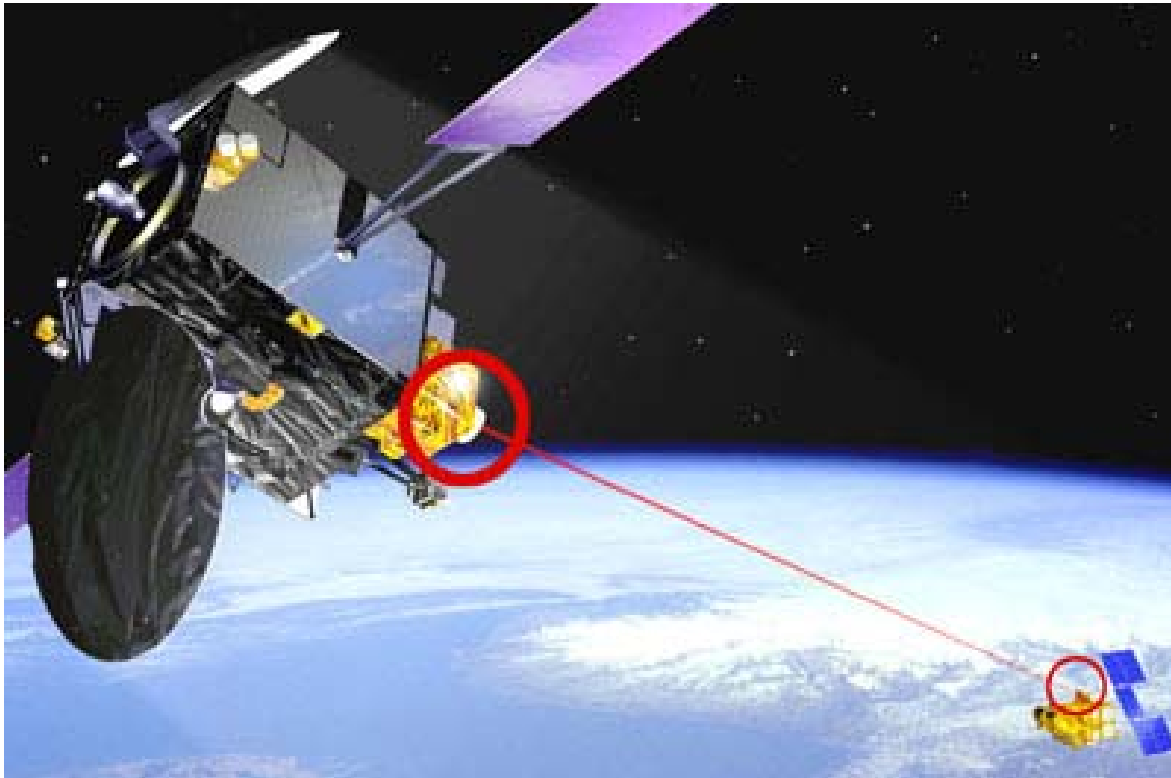
SMALLEST. LIGHTEST. GLOBALSTAR PHONE.



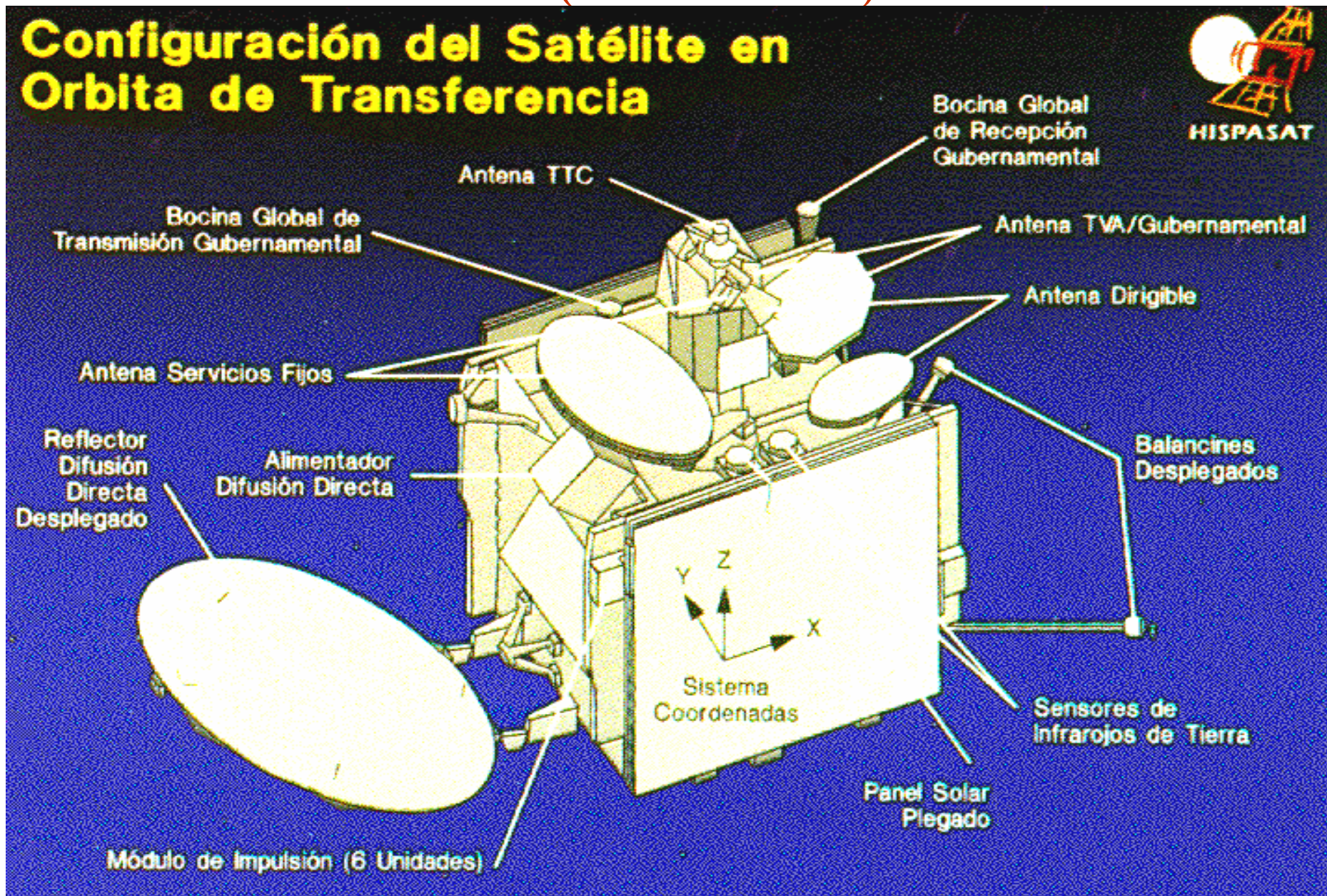
NEW GSP 1700 SATELLITE PHONE 

10.1 Introducción: Partes de un satélite: ESA, Artemis

- Photos from ESA



10.1 Introducción: Partes de un satélite (HISPASAT)



10.1 Hispasat, satélite Amazonas



- 35 metros, + 4.5 Ton
- Vida útil: 15 años
- Haces globales, puntuales y perfilados
- 51 transpondedores
 - 19 Banda C (4-8GHz)
 - 31 Banda Ku (12-18GHz)

10.1 Introducción: Aspectos económicos

- Competidores:
 - Datos: cables submarinos
 - Móviles: PLMN
- Ventajas sistemas de com. Vía satélite:
 - Muy viables cuando el problema a resolver es de **difusión**.
 - Una gran ventaja de los sistemas basados en satélites es que es posible ofrecer una **conexión global** (cobertura mundial) con 3 satélites
 - La solución es muy flexible en cuanto a cobertura.
- Inconvenientes:
 - **Vida útil** limitada: combustible, tecnología, difícil reparación, radiaciones
 - Posibilidad de fallo en lanzamiento
- En muchos casos no se presenta como sustituto de sistemas terrenales, sino **como un complemento**: seguridad.

10.1 Introducción: Aspectos económicos

■ Intelsat:

- *When a major undersea cable linking China to the U.S. was suddenly severed, Intelsat was called upon to restore internet service to millions of Chinese users. Within 48 hours, we connected China Telecom's Beijing earth station with Verestar's access point in Washington state, providing a full duplex 155 Mbps satellite link.*

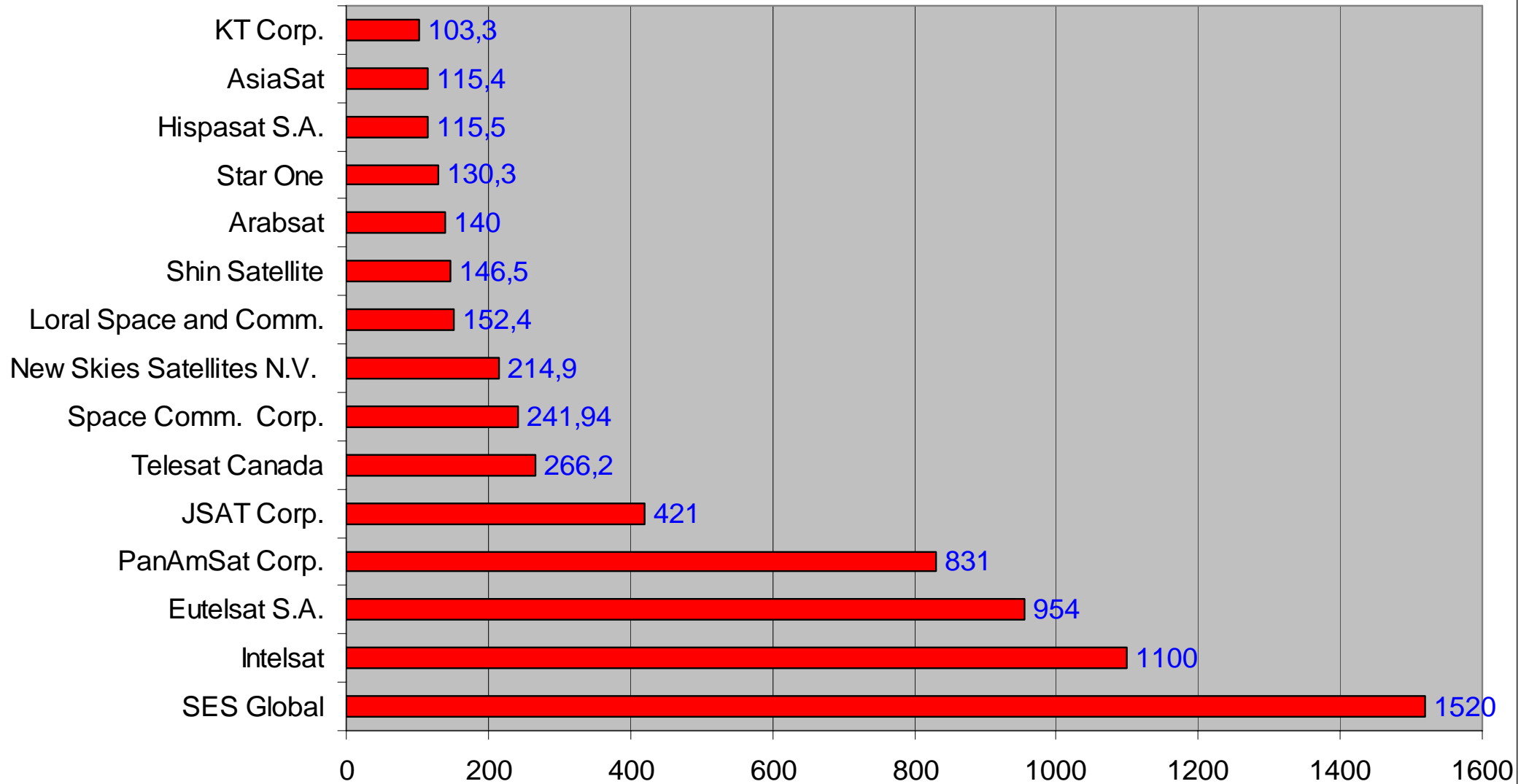
■ **Intelsat Satellites Restore Operators Following Asian Earthquake Fiber Cuts. 11**

January 2007. <http://www.intelsat.com/press/news-releases/2007/20070111.asp>

- *When the Taiwan earthquake severed six major undersea fiber optic cables, disrupting telecommunications throughout the Asia-Pacific region, Intelsat was able to restore services for many voice, video and data providers, some within hours of the event.*
- *Intelsat restored traffic to customers in Asia and the Middle East through its flexible satellite network and its GlobalConnex Managed Network Services infrastructure. Traffic delivery to the area has primarily used Intelsat's teleports and its six satellites serving the Asia-Pacific region. Specifically, Intelsat reestablished international and intra-regional links for more than 20 telecommunications operators, broadcasters and network service providers.*
- *Intelsat has played a key role in providing capacity and critical network restoration services following many of the recent natural disasters including the 2004 tsunami, the 2005 Central Asian earthquake which severed the SEA-ME-WE3 fiber communications in Pakistan, and the Hurricanes Katrina and Rita that devastated the U.S. Gulf Coast.*

10.1 Introducción: 15 Operadoras líder

Ingresos \$ Millones



10.1 Introducción: Aspectos de Regulación

- **THE OUTER SPACE TREATY (Naciones Unidas)**
 - El Tratado del Espacio Exterior se abrió en el año 1967 y ha sido ratificado por 90 países.
 - Establece que el espacio es “provincia de la humanidad”
- Regulación de satélites GEO's
 - <http://www.space.edu/projects/book/chapter30.html>
 - Hay pocos conflictos actualmente. (ver www.eluniversal.com.mx/finanzas/57952.html)
 - En un principio la ITU impuso una separación de 5° para evitar interferencias
 - Los satélites actuales son más robustos
 - ✓ Se reducen las diferencias a 2°, 1°, 1/2°
- La ITU-R regula los aspectos radioeléctricos



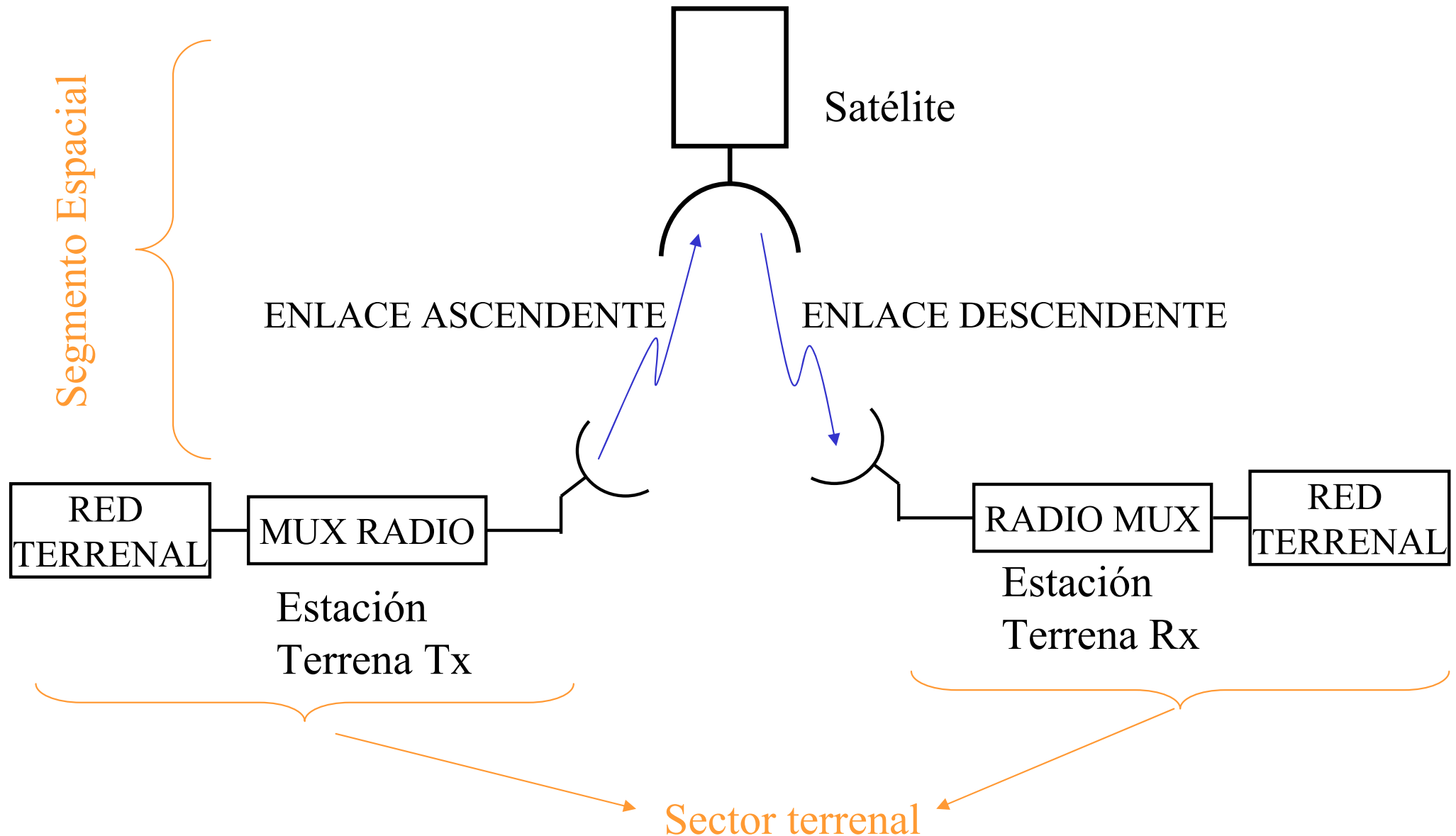
10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Objetivos

- ¿Qué partes tiene un sistema de comunicación por satélite?
 - ¿Qué nomenclatura se utiliza?
 - ¿Qué aspecto tienen los elementos del sistema?
 - ¿Cómo es la propagación? ¿Y el retardo?
 - ¿Qué es un transpondedor?
 - ¿Qué es el seguimiento de un satélite?

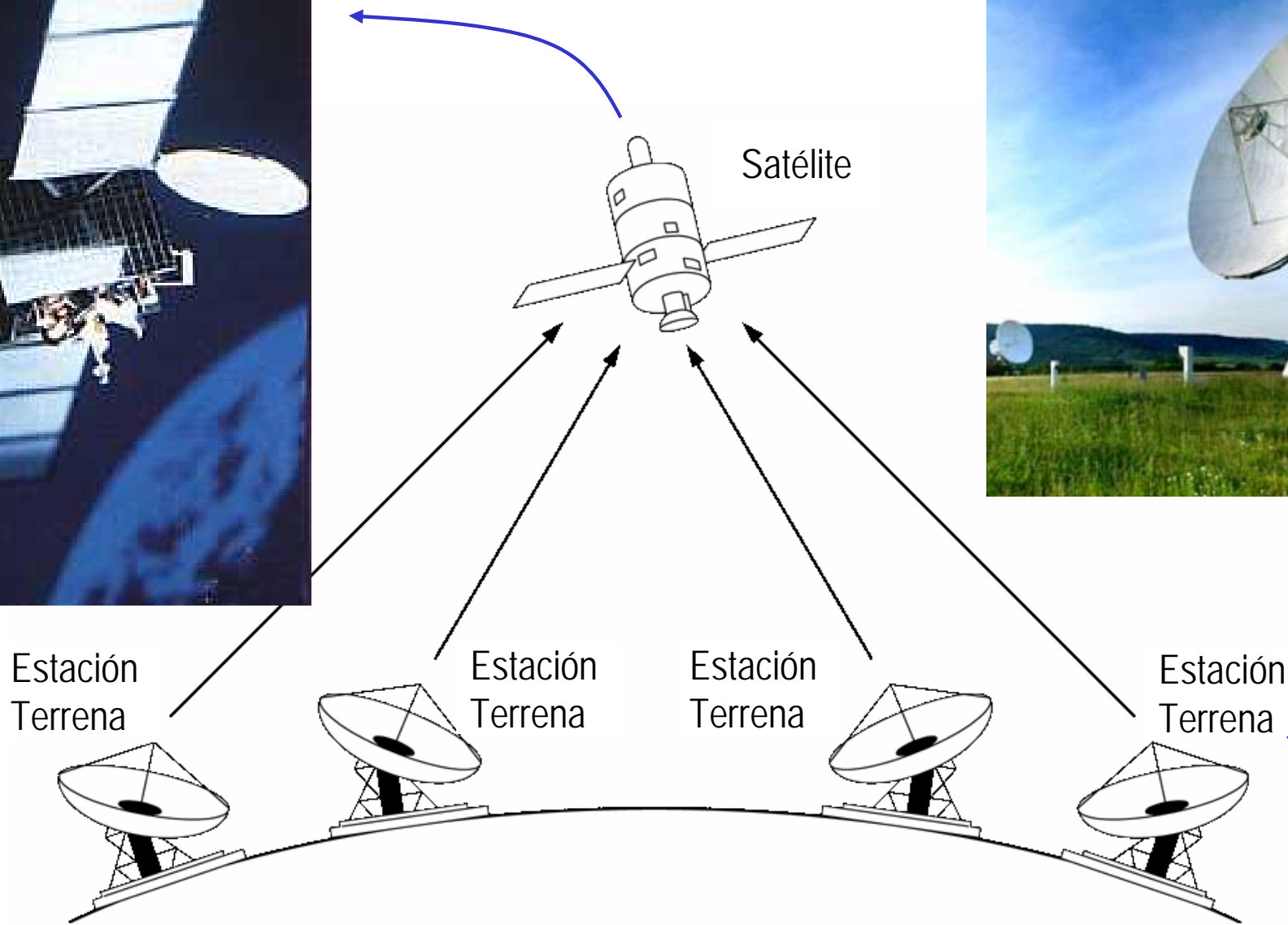
- ¿De que recursos disponemos?
 - ¿Qué órbitas?
 - ¿Qué cobertura proporcionan?
 - ¿Qué tipo de conectividad?
 - ¿Habrá acceso múltiple? ¿Qué tipo?
 - ¿Qué bandas?



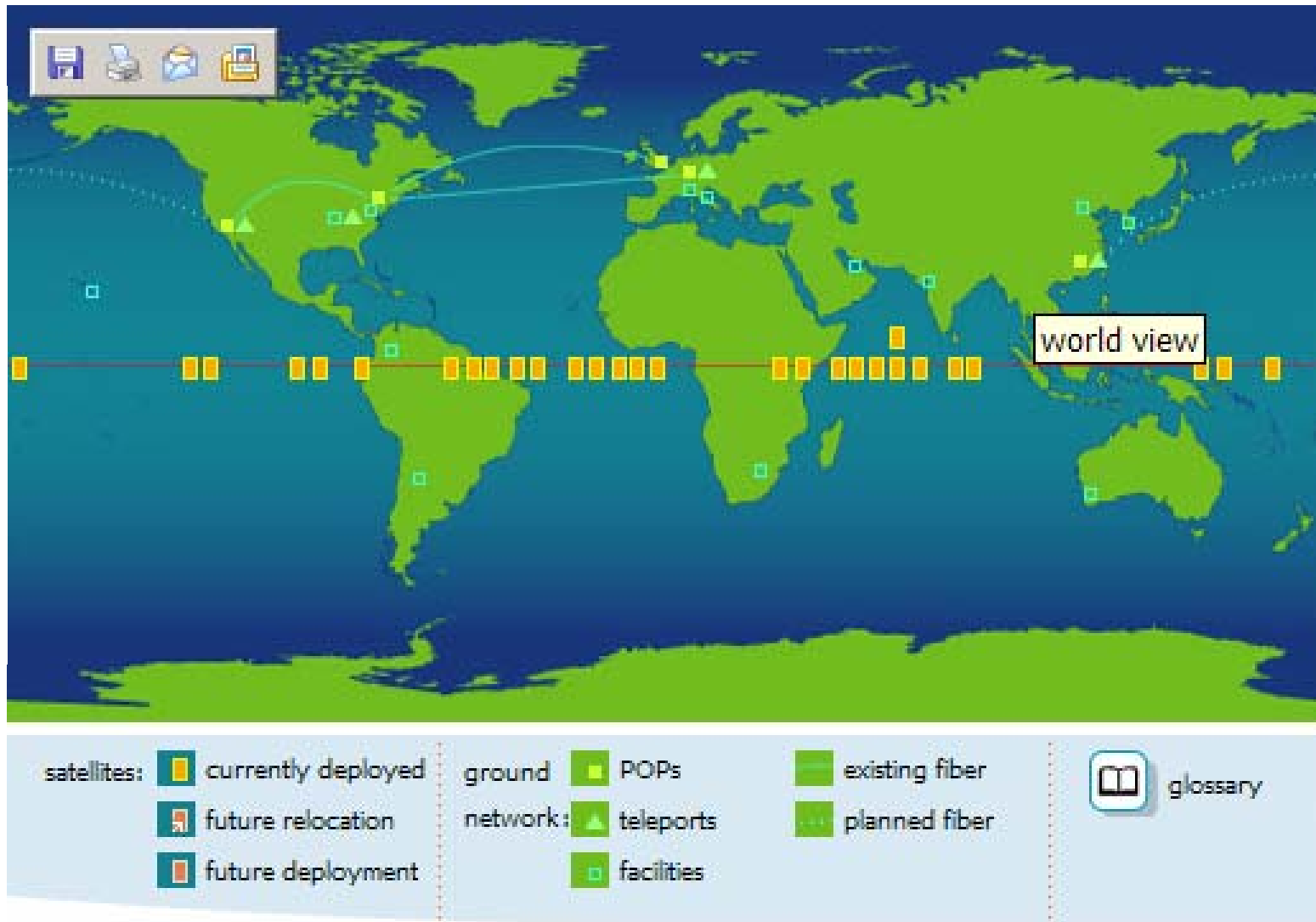
10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite (I)



10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite (II)



10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite (III)



- Satélites
- Estaciones terrenas (telepuertos)

10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Telepuerto



10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Elementos (I)

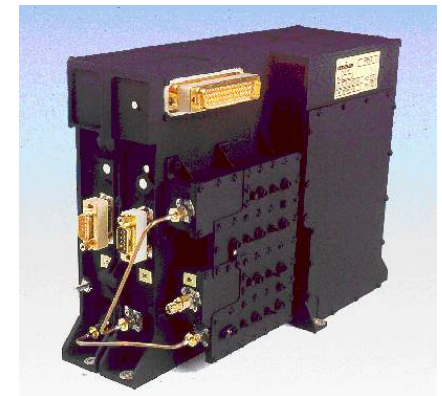
- 1.- Estación terrena Tx:
 - Se manda/recibe una **señal dúplex** (MDF ó MDT) o **símplex** (difusión)
 - Potencias elevadas: antenas de **gran directividad** ($\approx 1\text{m}-15\text{m}$ diámetro)
 - Portadora continuamente **activa o por petición**
 - **Seguimiento** (del satélite, para apuntar la antena)

- 2.- Segmento espacial: Enlaces ascendente (tierra-espacio) y descendente (espacio-tierra)
 - Propagación en condiciones de espacio libre:
 - **Atenuación** proporcional al cuadrado de la distancia y frecuencia
 - ✓ Satélite limitado en potencia
 - Atenuación adicional por **lluvia y gases atmosféricos**
 - **Interferencias**
 - **Márgenes de desvanecimiento** reducidos: no hay multitrayecto
 - Notable valor de **retardo** en la propagación: Ecos

10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Elementos (II)

- 3.- Satélite:
 - Estación repetidora que amplifica, cambia de banda y retransmite
 - 4 secciones
 - Recepción: Antena y amplificador de bajo ruido
 - Conversión: Cambio de frecuencias del enlace asc. al desc.
 - Transmisión: La conversión va seguida de una amplificación
 - Conmutación: Establece el encaminamiento de la señal y asignación de transpondedores
- 4.- Estación terrena Rx
 - Antena **muy directiva** (la misma que para Tx)
 - Sistema receptor de muy bajo factor de ruido
 - Amplificación
 - Conversión FI
 - Demodulación
 - Tratamiento múltiplex
 - **Seguimiento**

TRANSPONDEDOR



Alcatel: banda S y TTC

10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Recursos: Órbitas

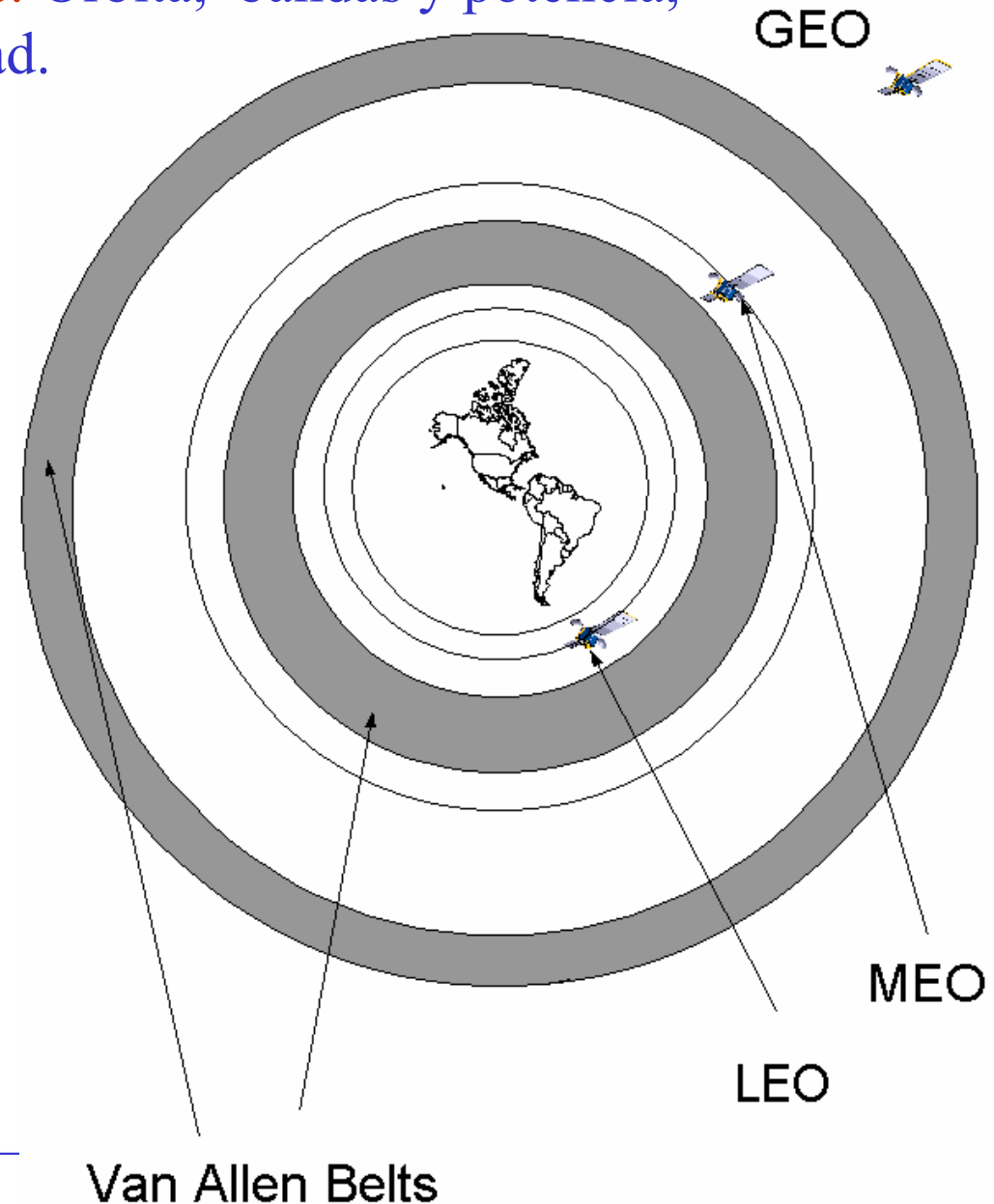
- Recursos geométricos y radioeléctricos: Órbita, bandas y potencia, acceso múltiple, cobertura, conectividad.

- Órbita:

- GEO: geostationary earth orbit
- MEO: Medium Earth Orbit
- LEO: Low Earth Orbit

- Cobertura:

- Muy variadas: Globales a puntuales



10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Recursos: bandas y potencia

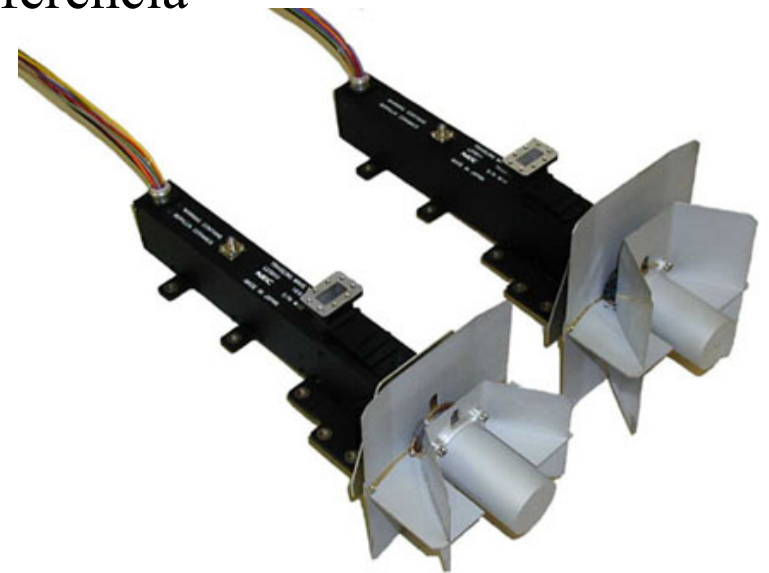
- Bandas:
 - Se utilizan las bandas Ku 12-18 GHz (Ej, 14/11, 17/12) y C 4-8 (Ej, 6/4)
 - Se comienza a utilizar la banda Ka 26.5-40GHz
 - En comunicaciones móviles se trabaja en la banda L 1-2 GHz y S 2-4 GHz
 - Para comunicaciones entre satélites y TTC se utiliza la banda S 2-4 GHz
 - Mayor eficiencia posible
 - Reutilización de frecuencias: aislar haces que comparten frecuencias y utilizar polarizaciones opuestas
 - ✓ INTELSAT V, de 1GHz a 2.17GHz útiles.
 - Mejor aprovechamiento del ancho de banda:
 - ✓ Modulaciones eficaces
 - ✓ Tratamiento de señal

TTC (Tracking, Telemetry & Command - Seguimiento, Telemedidas y Control)

10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Recursos: potencia

- Potencia:
 - En términos de PIRE
 - Paneles solares+TWT permiten potencia suficiente
 - La limitación viene impuesta por la interferencia

- Ejemplo
 - Transpondedores de Hispasat Amazonas
 - ✓ Amplificadores TWT
 - ✓ PIRE 50 dBW
 - ✓ Ancho de banda: 36 MHz y 54 MHz
 - ✓ Hasta 94 Mbit/s
 - ✓ 32 en Banda Ku y 19 en C

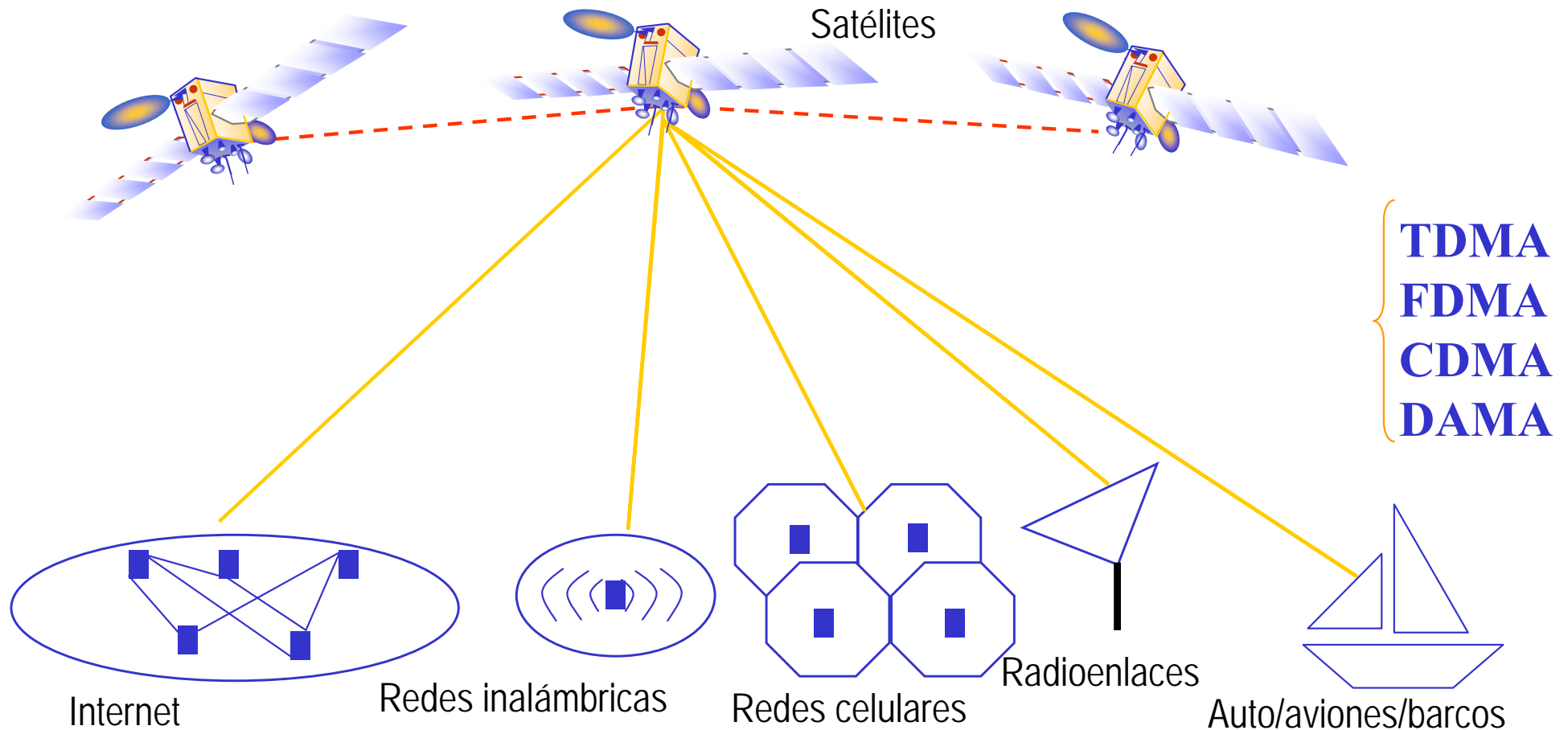


LD7850 TWT amplifiers, 90-125W,
Banda Ku, NEC corporation

10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Recursos: Acceso múltiple

- Técnicas de Acceso Múltiple utilizadas
 - FDMA
 - TDMA
 - DAMA: Demand Assignment Multiple Access
 - Se asignan canales disponibles bajo petición y mientras dura la comunicación
 - Gete. SCPC
- Otras Técnicas de Acceso Múltiple
 - CDMA:
 - Investigación y fines militares
 - Comunicaciones móviles: Globalstar

10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Recursos: conectividad



10.2 Estructura de un sistema de comunicación por satélite: Recursos: conectividad

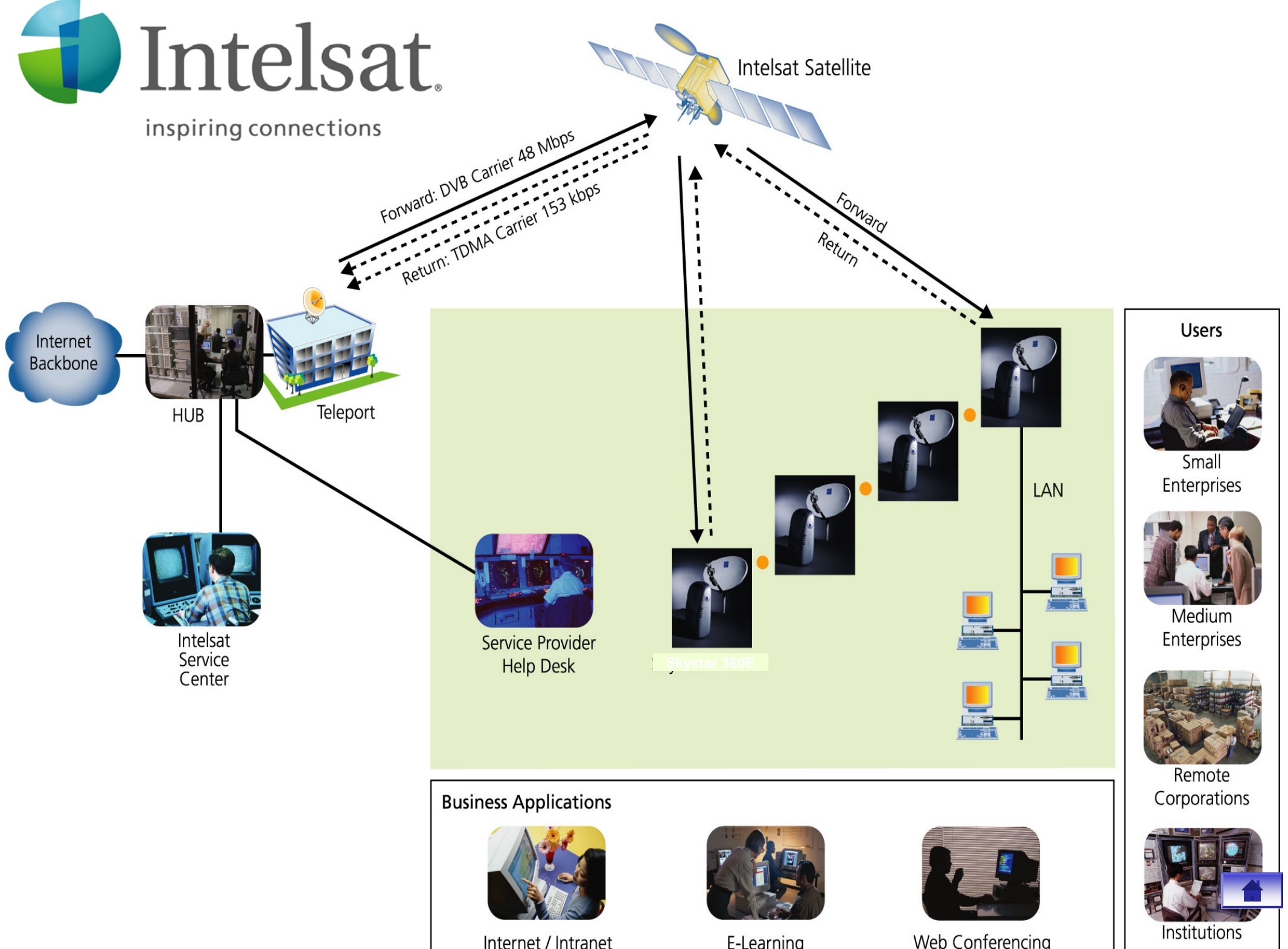
- **Difusión de TV y radio**
- **Datos**
 - **Redes Corporativas**
 - **VSAT (Very Small Aperture Terminal)**
 - **Internet Direct To Home (DTH)**
- **Movilidad**
 - **Comunicaciones móviles**
 - **Servicios marítimos**
 - **Retransmisión de eventos especiales**
- **Telefonía**
 - **Telefonía rural**





Intelsat

inspiring connections



Internet Backbone

HUB

Teleport

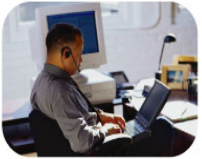
Intelsat Service Center

Service Provider Help Desk

Skystar 360E

LAN

Users



Small Enterprises



Medium Enterprises



Remote Corporations



Institutions

Business Applications



Internet / Intranet



E-Learning



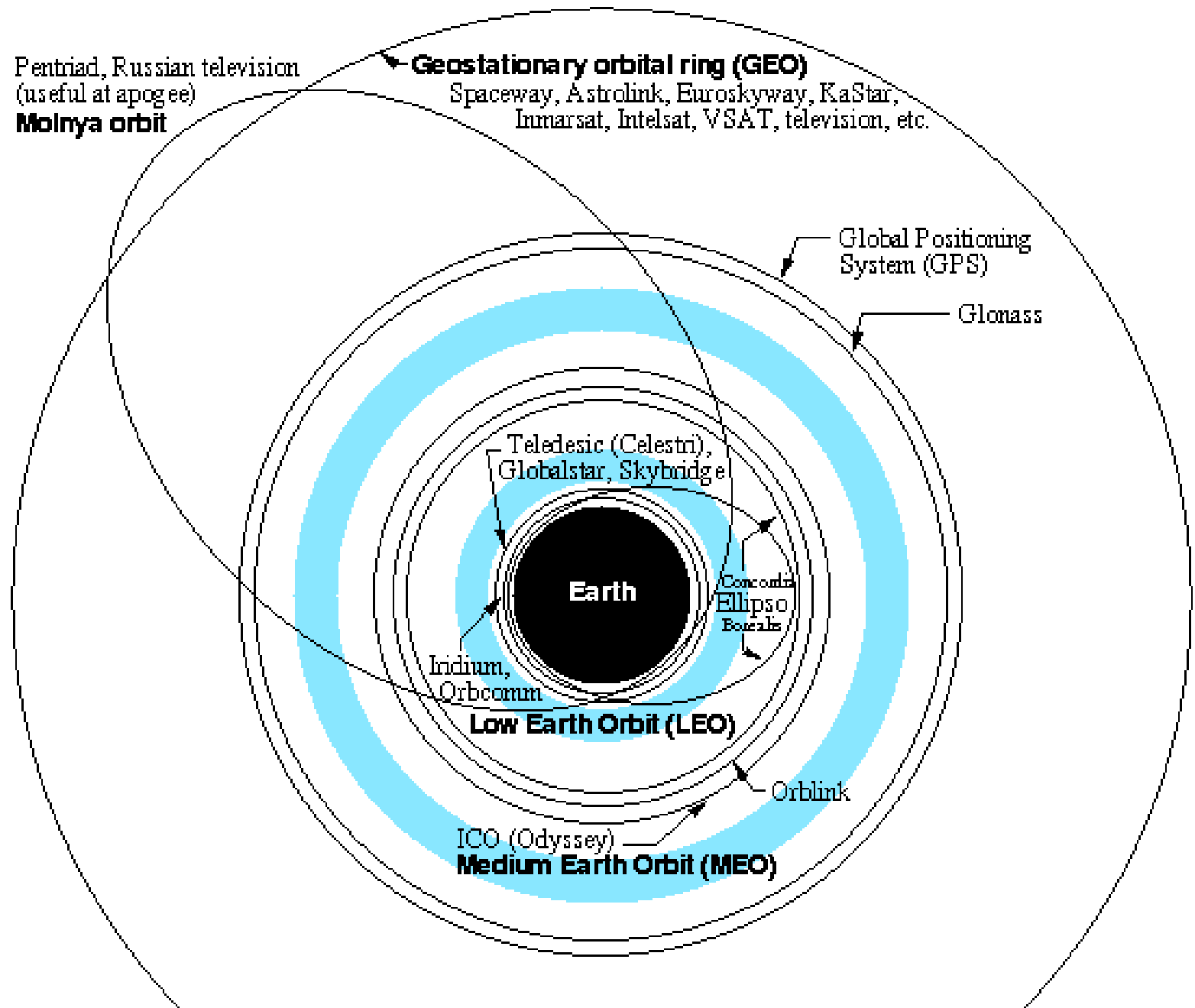
Web Conferencing

10.3 Geometría del enlace por satélite: Objetivos

- ¿Cuáles son las características más relevantes de cada órbita?
- ¿Qué ventajas e inconvenientes tienen cada una de ellas?
- ¿Qué tipos de cobertura hay?
- ¿Qué es cobertura geométrica y radioeléctrica?
- ¿Cómo podemos apuntar una antena a un satélite?
- ¿Está un satélite operativo durante todo el año y el día?



10.3 Geometría del enlace por satélite: órbitas

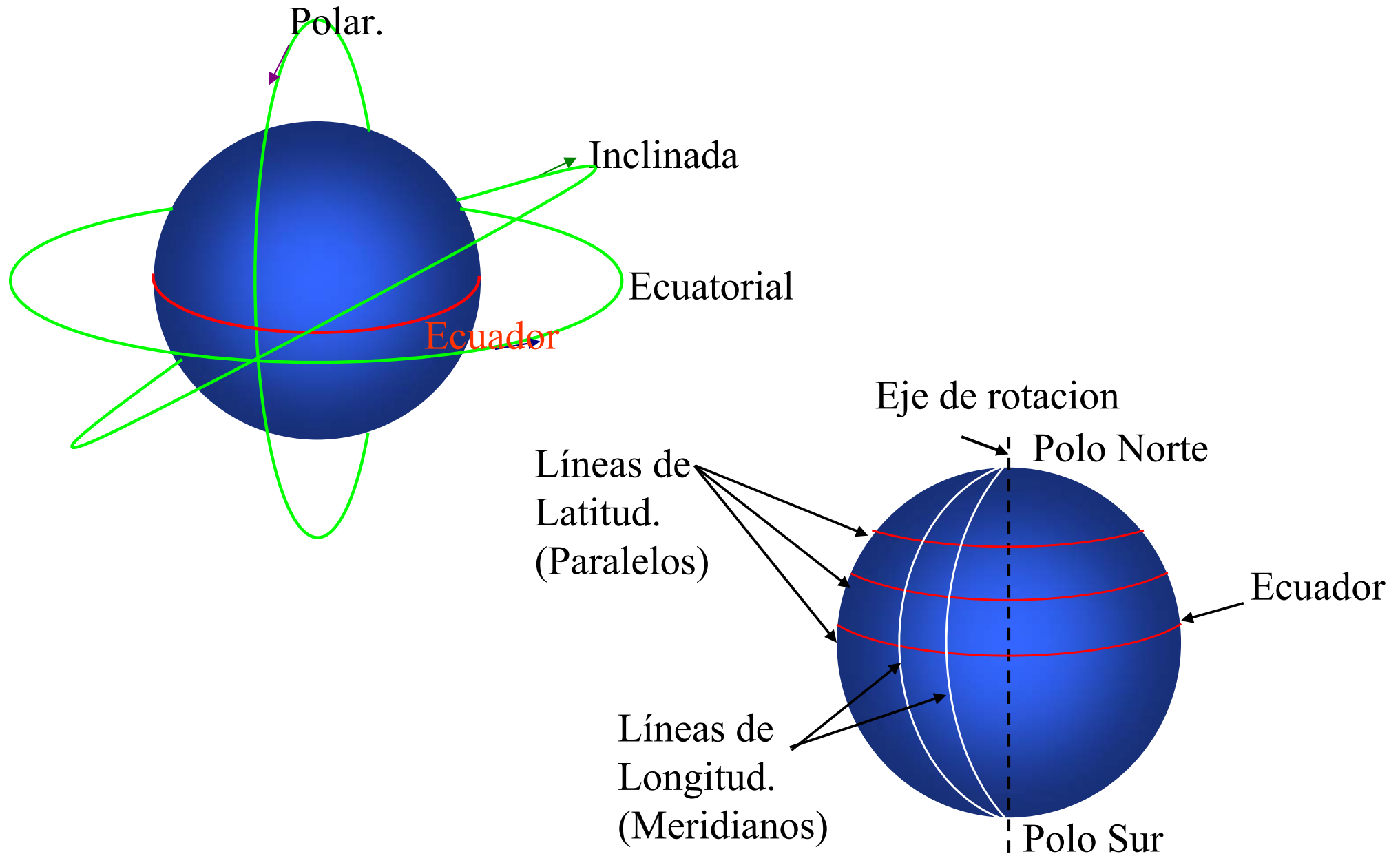


Orbital altitudes for satellite constellations

■ peak radiation bands of the Van Allen belts (high-energy protons)
 orbits are not shown at actual inclination; this is a guide to altitude only

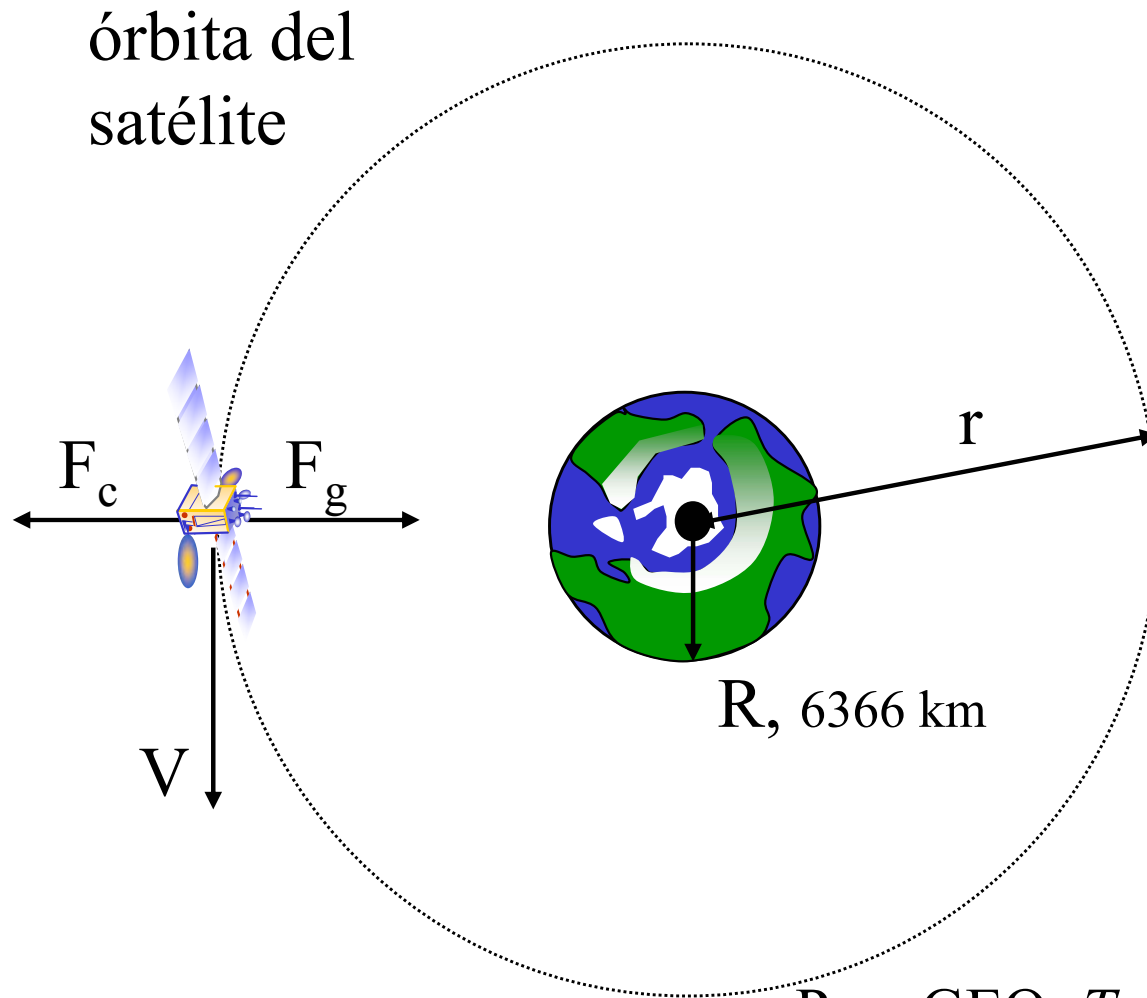
from Lloyd's satellite constellations <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/VL.Wood/constellations/>

Geometría del enlace por satélite: órbitas: conceptos básicos



10.3 Geometría del enlace por satélite: órbitas: radio y velocidad en órbita geoestacionaria

- Igualamos la fuerza centrífuga a la fuerza de la gravedad



$$F_c = \frac{mV^2}{r} = F_g = g \cdot \frac{mM}{r^2}$$



$$V = \sqrt{\frac{gM}{r}}$$



$$T = \frac{2\pi \cdot r}{V}$$

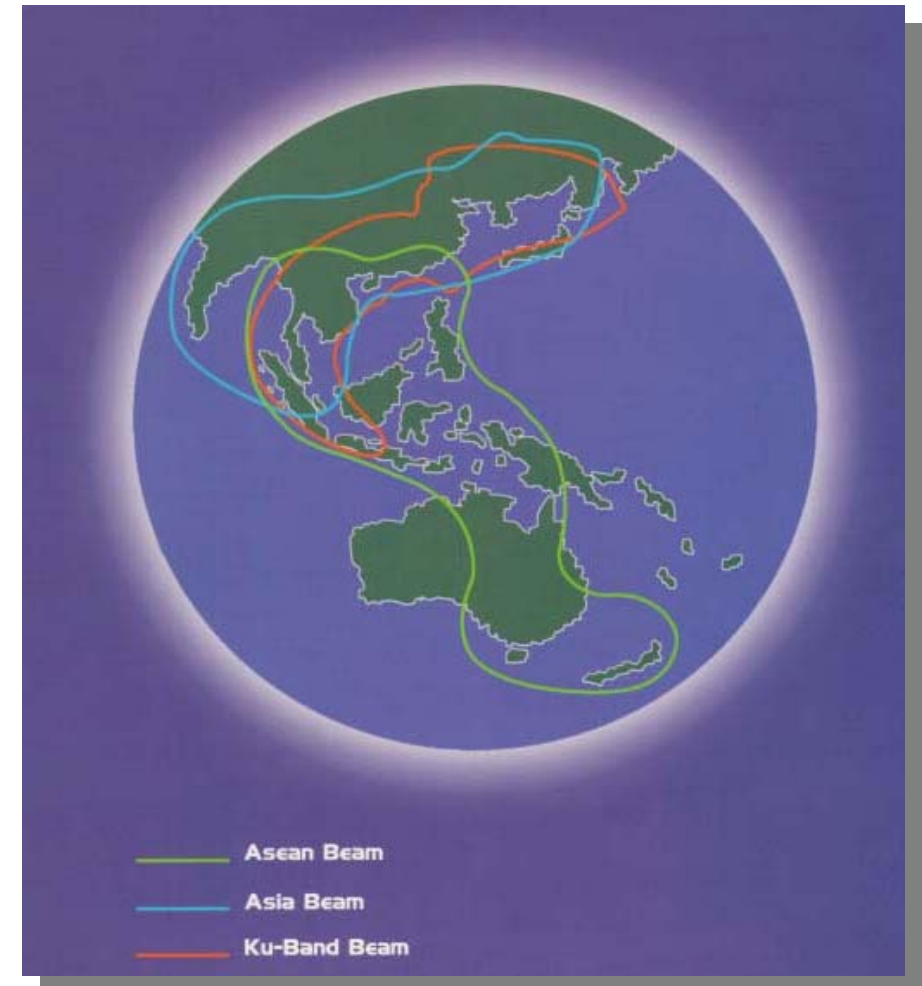
$$r = \sqrt[3]{gM \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2}$$

Para GEO: $T=23\text{h } 56\text{min } 4,1\text{seg} \rightarrow r = 42172\text{km}$
 $V = 3,075 \text{ km/s}$

10.3 Geometría del enlace por satélite: órbitas:

GEO - geostationary earth orbit

- La idea es que el satélite no se mueva respecto a la tierra:
 - Tiene que girar con ella
 - En el ecuador
- Caracterizada por:
 - Cobertura aprox. global con 3 satélites
 - retraso (eco) ~250ms return
 - Alta potencia
 - 5-15 años de vida
 - Distancia a tierra: 35.806 Km
 - Haces globales y puntuales
 - Bandas C y Ku (6-4Ghz y 14-11Ghz)
 - Compañías: SES, Intelsat, Eutelsat, Hispasat,...

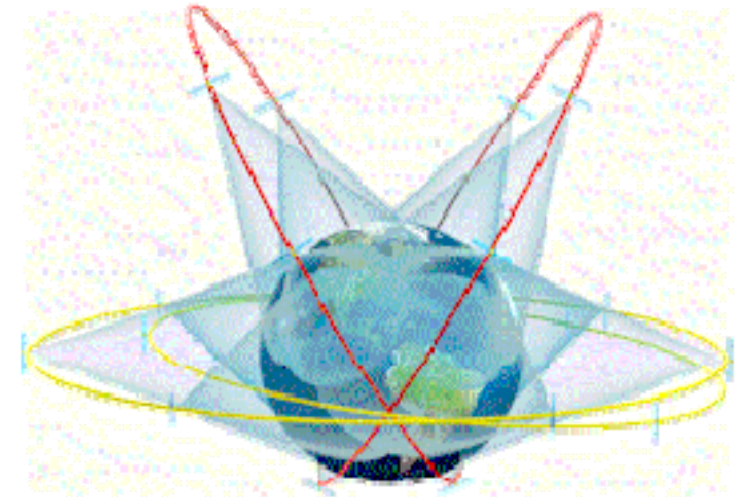


10.3 Geometría del enlace por satélite: órbitas:

MEO - medium earth orbit y LEO – low earth orbit

■ MEO

- Distancias a tierra
 - 6.000 – 12.000km
- Cobertura global con 10-12 satélites
- Voz y comunicaciones móviles
- Compañías: ICO, Ellipso



Ellipso



Iridium: 66 satélites, 6 de reserva

■ LEO

- Distancias:
 - 200-3.000 km
- Velocidades de órbita altas
- Cobertura global con más de 50 satélites
- Servicios Móviles
- Compañías: Iridium, Globalstar, Orbcomm, Skybridge, Teledesic, ...

10.3 Geometría del enlace por satélite: Órbitas: Comparación

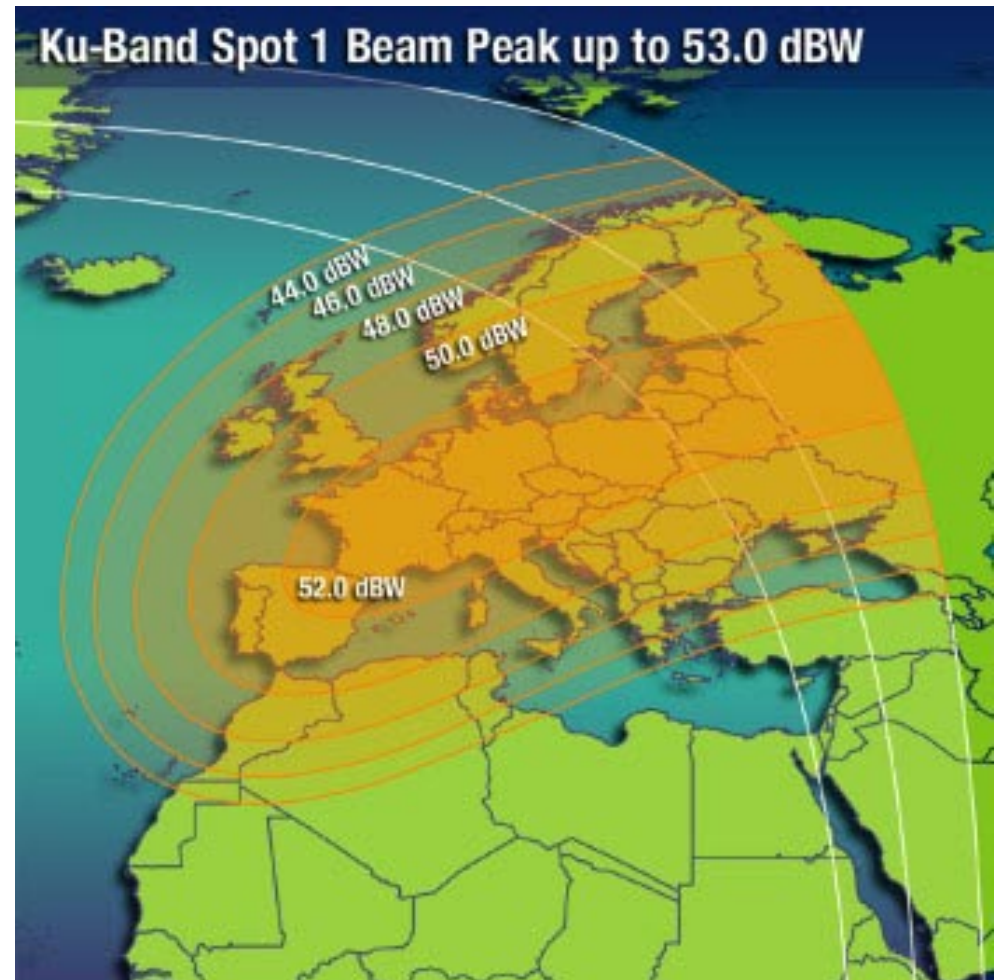
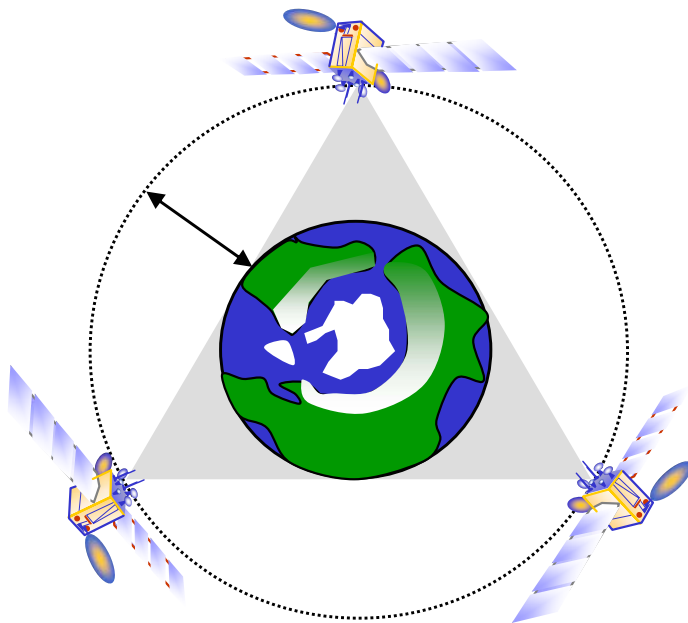
	GEO	MEO	LEO
Altura (km)	36000	6000-12000	200-3000
Periodo Orbital (hr)	24	5-12	1.5
Velocidad (Km/hr)	11000	19000	27000
Retraso (ida y vuelta) (ms)	250	80	10
Periodo de visibilidad	Siempre	2-4 hr	< 15 min
Satélites necesarios para cobertura global	3	10-12	50-70

10.3 Geometría del enlace por satélite: Órbitas: ventajas e inconvenientes de órbitas

- MEO y LEO:
 - Ventajas:
 - Menores **costes** de lanzamiento
 - Menores **potencias** de Tx-Rx: posibilitan terminales móviles
 - Menores **retrasos**
 - Inconvenientes
 - Necesario **seguimiento** de satélites
 - **Menor cobertura**
- GEO:
 - Ventajas:
 - Satélites para cobertura global
 - Virtualmente fijos: posición relativa a la tierra no cambia
 - ✓ Seguimiento se reduce a pequeñas correcciones
 - Inconvenientes
 - No dan cobertura a polos

10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): Cobertura

- Cobertura (geoestacionarios)
 - Haz Global
 - Un tercio de la superficie terrestre
 - Haces perfilados (Hemi-Zone)
 - $\approx 1/6$ superficie terrestre
 - Haz Puntual o restringido (Spot):
 - Hasta $1^\circ \approx 800\text{Km}^2$



905 at 335.5°E

footprint

back to world view



footprint



spot 1



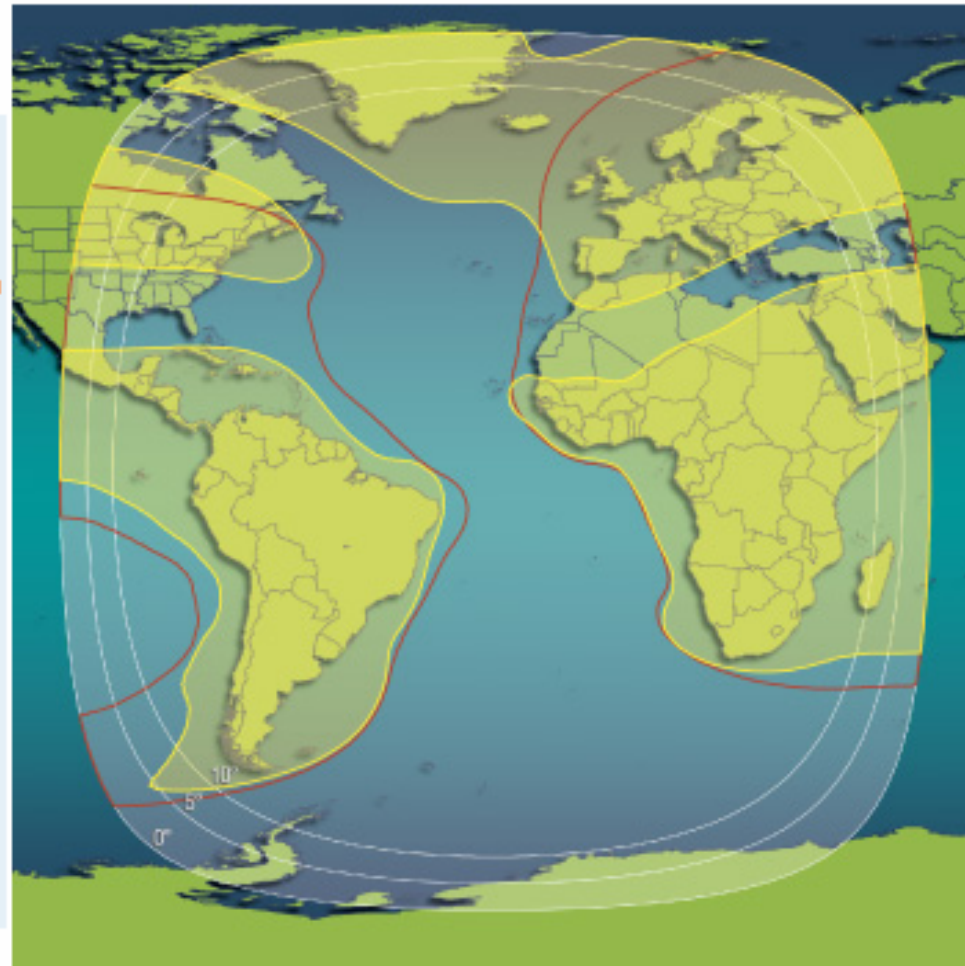
spot 2



satellite detail



glossary



key:  global  hemi  zone

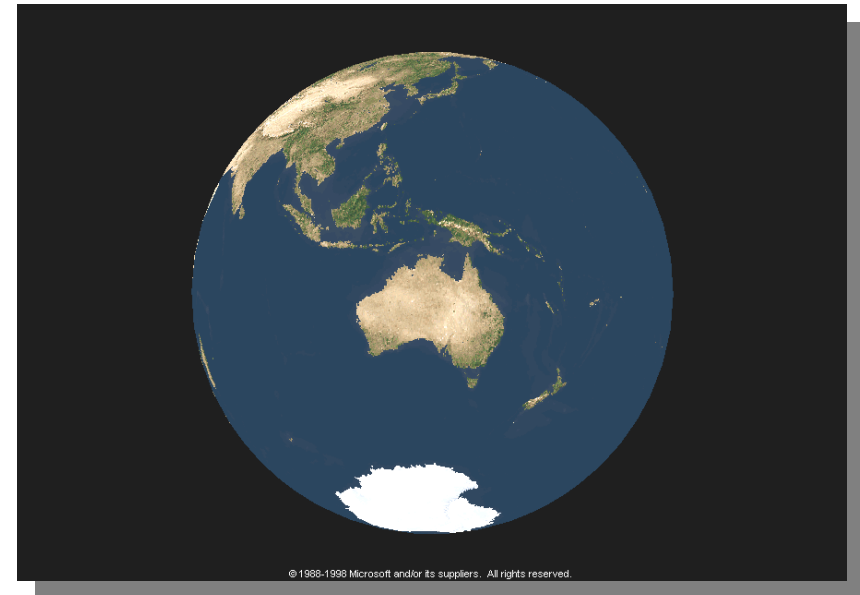
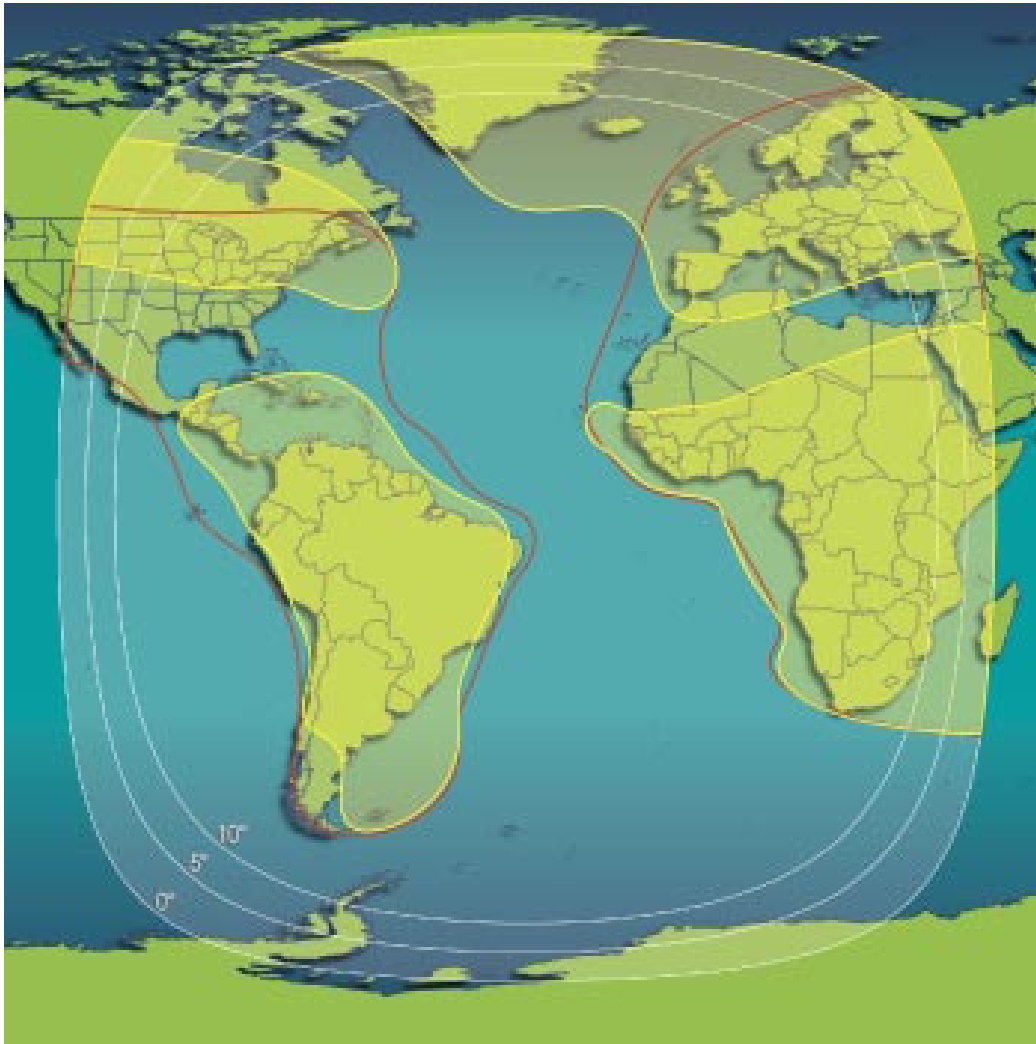
View another coverage map

← select by region

← select by satellite

10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): cobertura geométrica

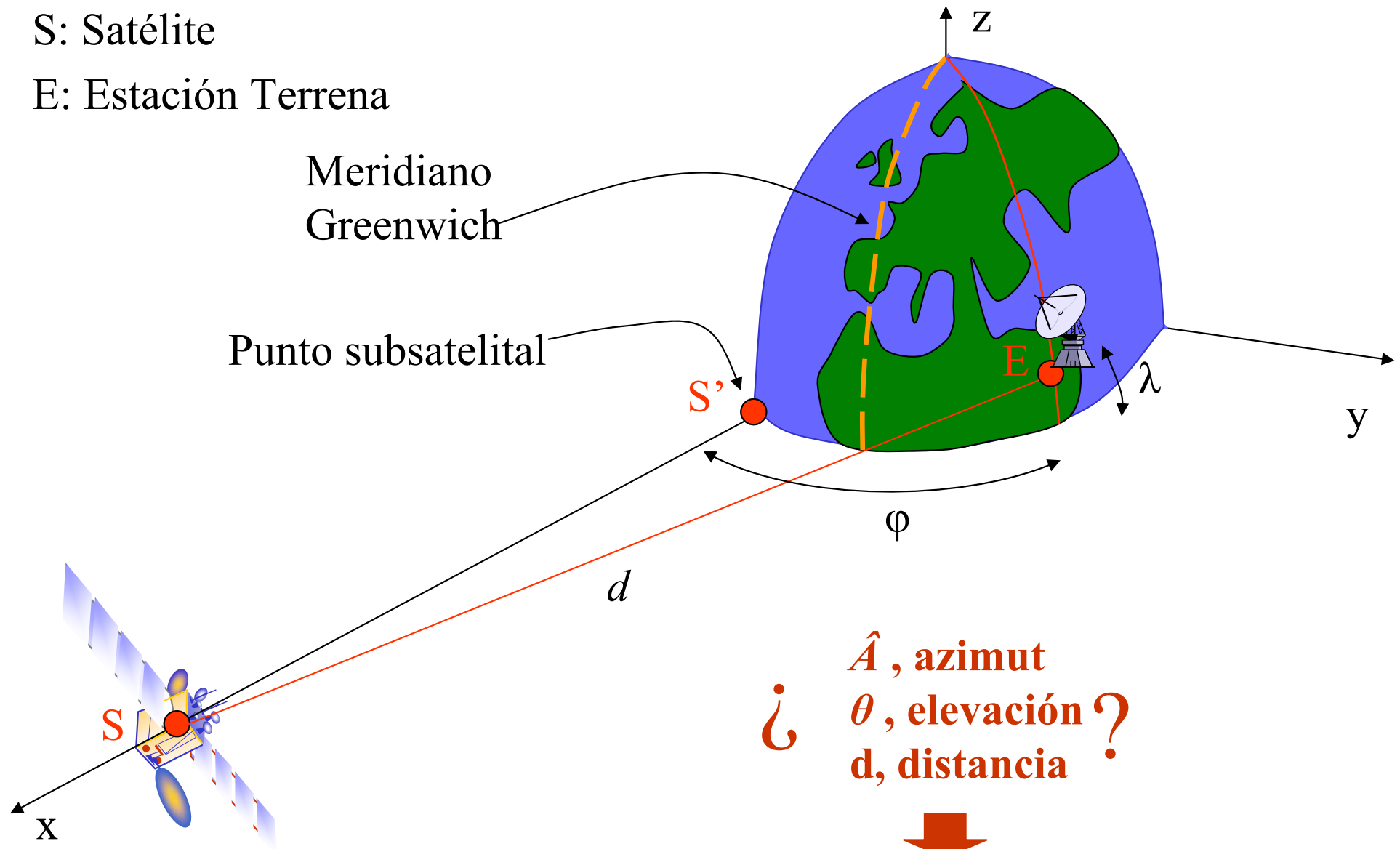
- Cobertura geométrica: parte de la superficie terrestre que se ve desde el satélite
- Cobertura radioeléctrica: la geométrica reducida en los bordes unos 5° para evitar obstáculos y ruido terrestre.



La vista desde 36000 km

10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): cobertura geométrica: distancias y orientación

- S: Satélite
- E: Estación Terrena



¿ \hat{A} , azimut
 θ , elevación ?
d, distancia ?

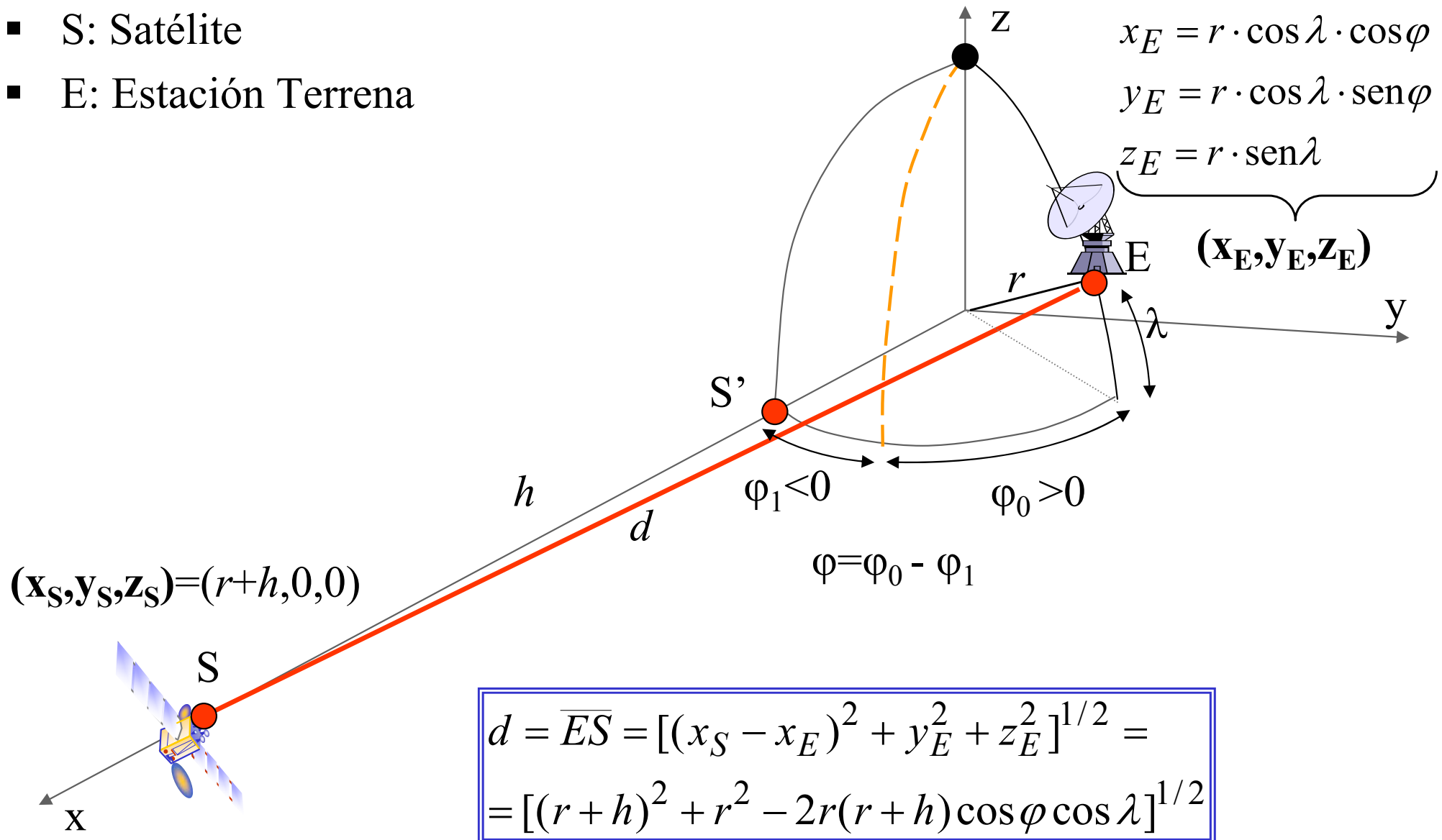
↓
Objetivo: apuntar la antena

10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): cobertura geométrica: distancias y orientación

- El objetivo de este apartado es calcular, para un satélite geoestacionario,
 - d : La distancia entre la estación terrena, E , y el satélite S . Da las pérdidas.
 - \hat{A} : El azimut definido como el giro sobre sí misma, en sentido horario, que experimenta una antena que originalmente apunta al norte, para apuntar al satélite.
 - θ : La elevación que tiene el eje de la antena respecto al plano tangente a la superficie terrestre en el emplazamiento de la antena, i.e., el suelo.
- Para ello se utilizan parámetros auxiliares:
 - S' : El punto subsatelital, definido como la intersección de la recta que une el centro de la tierra con el satélite y la superficie terrestre (ecuador)
 - φ_o : Distancia en grados entre el meridiano que pasa por E y el meridiano de Greenwich. Tiene sentido positivo si está al este del mismo.
 - φ_I : Distancia en grados entre el meridiano que pasa por S' y el meridiano de Greenwich. Tiene sentido positivo si está al este del mismo.
 - λ : Latitud de la estación terrena E .
 - a : Angulo entre las rectas que unen el centro de la tierra (O) con el punto subsatelital (S') y la estación terrena E .

10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): cobertura geométrica: distancia

- S: Satélite
- E: Estación Terrena



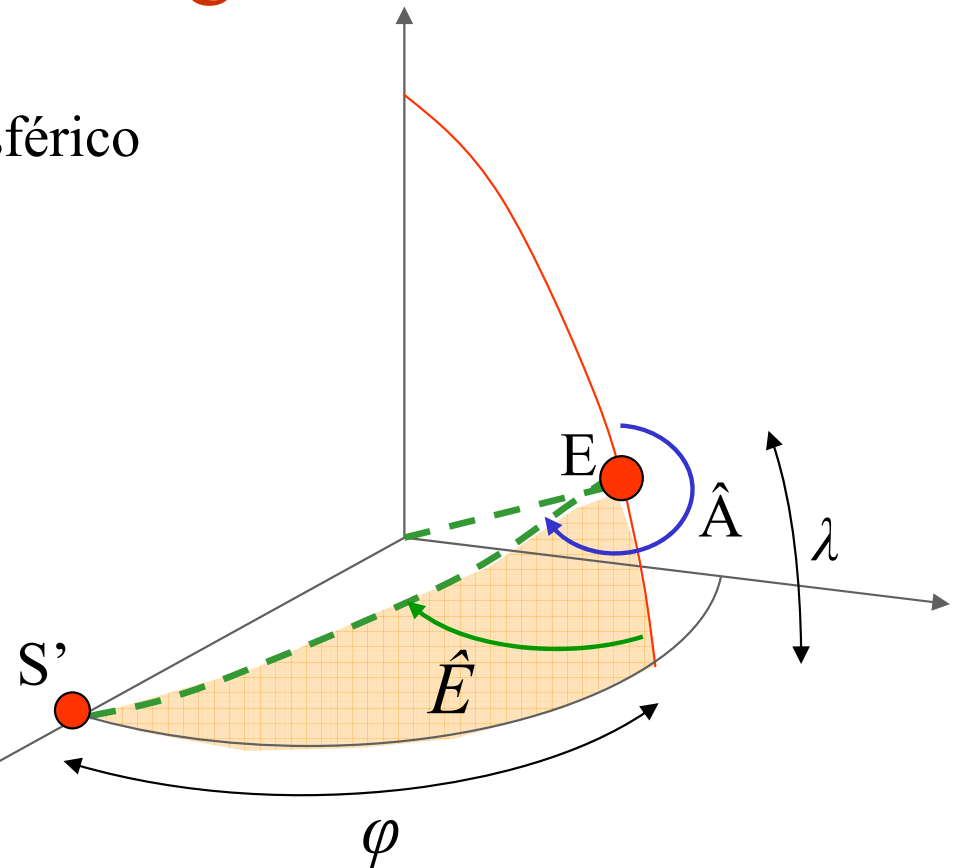
10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): cobertura geométrica: ángulo acimutal

- Angulo Azimutal \hat{A} ,
 - Se calcula el ángulo del triángulo esférico

$$\hat{E} = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\text{tg}|\varphi|}{\text{sen}|\lambda|} \right)$$

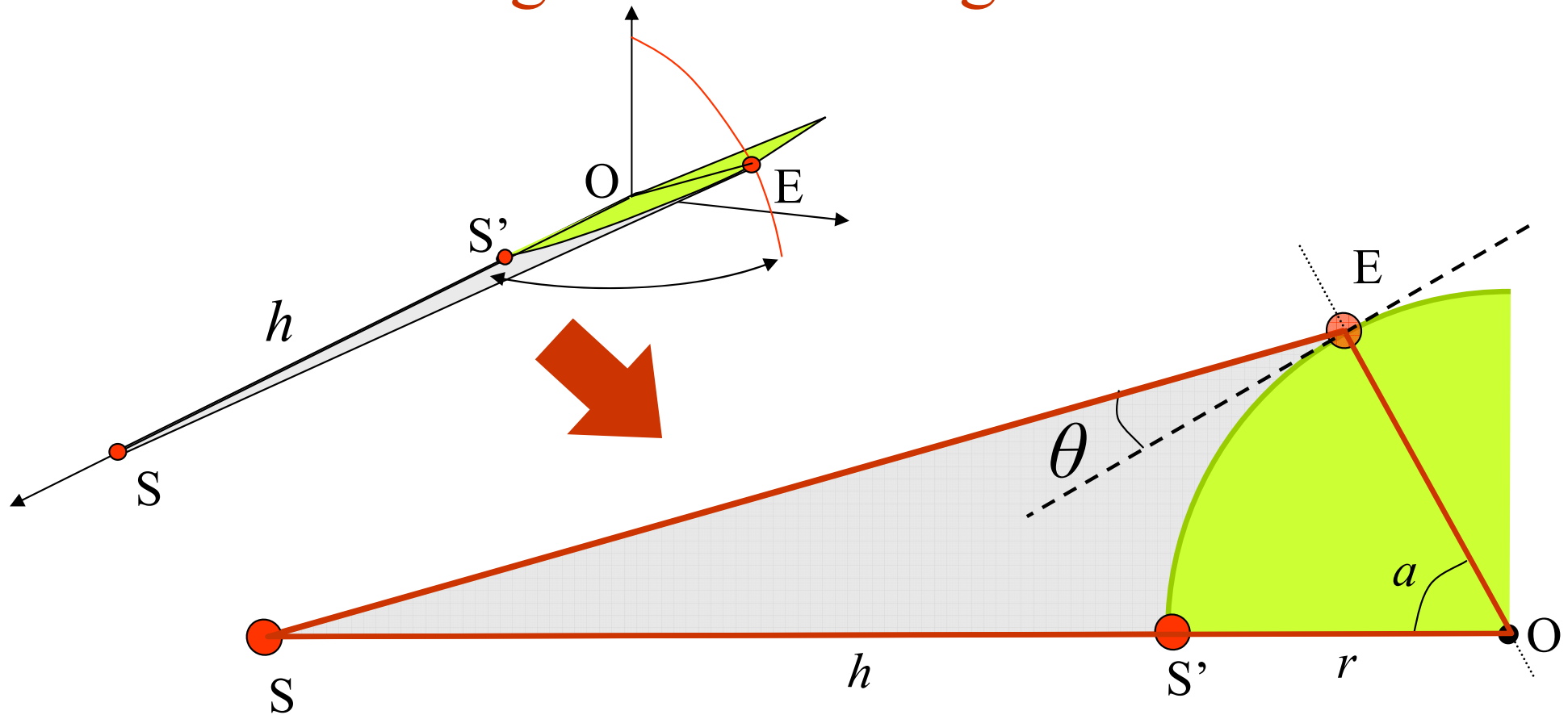
- Y luego

Cuadrante	Ángulo Acimutal \hat{A}
NW	$180 - \hat{E}$
NE	$180 + \hat{E}$
SW	\hat{E}
SE	$360 - \hat{E}$



Nota: la referencia para delimitar las regiones NW, NE, SW, SE son el ecuador y el meridiano que pasa por S'

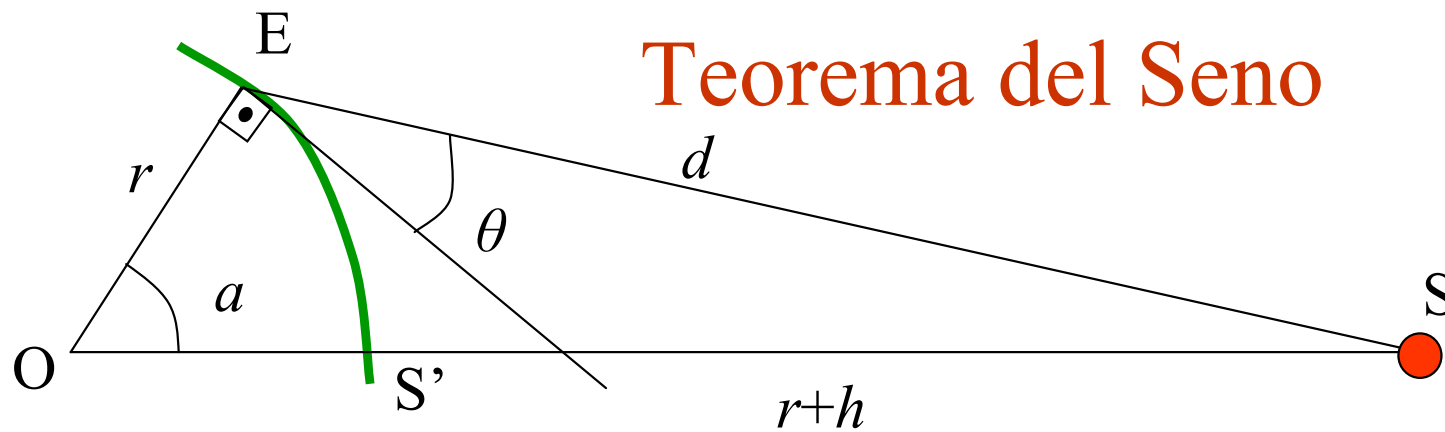
10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): cobertura geométrica: ángulo elevación



- Angulo elevación θ (*Tma Seno*),
$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\cos(a) - \frac{r}{r+h}}{\sin(a)} = \frac{\cos(a) - 0.15127}{\sin(a)}$$

donde $\boxed{\cos a = \cos \varphi \cdot \cos \lambda}$ (*triang. Esférico*)

Teorema del Seno



$$\frac{\sin a}{d} = \frac{\sin(90 + \theta)}{r+h} = \frac{\sin(180 - (90 + \theta + a))}{r} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\sin a}{d} = \frac{\cos(\theta)}{r+h} = \frac{\cos(\theta + a)}{r}}$$

De la primera igualdad: $\frac{\sin a}{d} = \frac{\cos(\theta)}{r+h} \Rightarrow \theta = \arccos\left(\frac{r+h}{d} \cdot \sin(a)\right)$

De la segunda: $\frac{\cos(\theta)}{r+h} = \frac{\cos(\theta + a)}{r} \Rightarrow \frac{r}{r+h} = \frac{\cos(\theta + a)}{\cos(\theta)} = \frac{\cos(\theta)\cos(a) - \sin(\theta)\sin(a)}{\cos(\theta)}$

y: $\cos(a) - \sin(a)\tan(\theta) = \frac{r}{r+h} \Rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{\cos(a) - \frac{r}{r+h}}{\sin(a)}\right)$ Que no depende de d

ó: $\cos(\theta + a) = \cos \theta \frac{r}{r+h} \Rightarrow a = \arccos\left(\cos(\theta) \frac{r}{r+h}\right) - \theta$

10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): cobertura geométrica: Ejemplo

- Calcule
 - los parámetros necesarios para apuntar una antena parabólica al satélite geoestacionario
 - Hispasat 1 C situado en 30° W
 - Desde Sevilla
 - Longitud -5.99 Latitud 37.38 ($5^{\circ} 59' 24''$ W, $37^{\circ} 22' 48''$ N)
- Y compare los resultados con los proporcionados por Hispasat:

Hispasat - Clientes e instaladores - Orientación y apuntamiento - Europa y Norte de África...

http://www.hispasat.com/Apuntamiento.aspx?zone=1§ionsId=57&lang=es

hispasat

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

Inicio > Clientes e instaladores > Orientación y apuntamiento > Europa y Norte de África

Europa y Norte de África

País : SPAIN

Ciudad : SEVILLA

Satelite/Cobertura : Hispasat 1C

Longitud : -5.99

Latitud : 37.38

calcular borrar

Acimut : 216.27 Elevación : 39.87

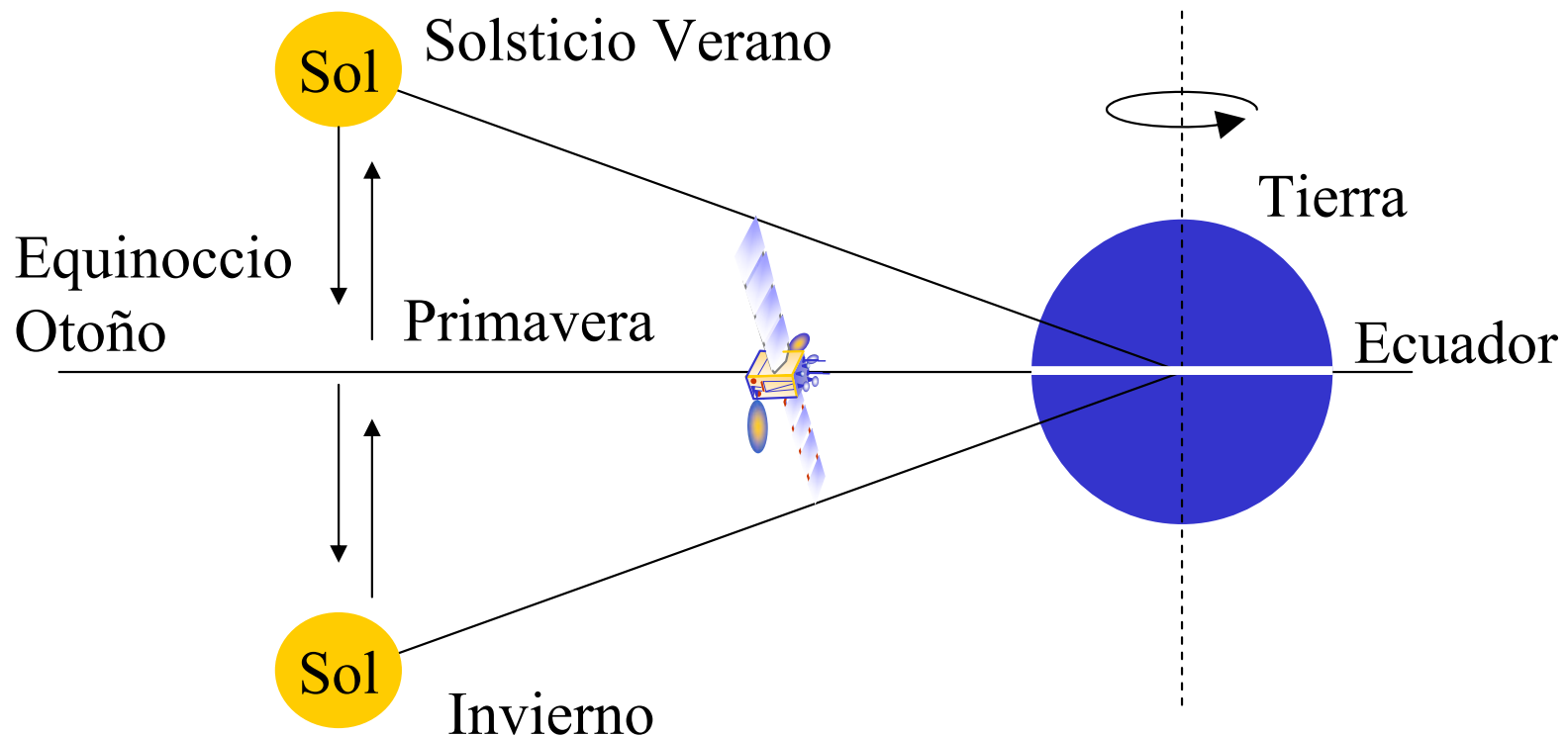
Português

English

Acerca de Hispasat
Productos y soluciones
Clientes e instaladores
Reserva de capacidad
Zona de Instaladores
Documentación útil
Interferencias solares
Orientación y apuntamiento
Europa y Norte de África
América
Tamaño de antena para recibir TV
Programas y recepción
Verificación de estaciones terrenas
Enlaces de interés
Flota de satélites
Innovación
Prensa
Buscador

10.3 Geometría del enlace por satélite (GEO): cobertura geométrica: eclipse

- En la transición del verano al invierno y viceversa, la tierra cambia su inclinación y el ecuador se alinea con el sol: eclipse desde la tierra o conjunción desde el satélite.
- Duración máxima de 77 min durante algunos días
 - Para antenas de 1° , 8 minutos máximo
- La temperatura de ruido aumenta bruscamente, inutilizando el sistema



Otros recursos

- 10.4 Acceso múltiple
 - ¿Qué tipo de Acceso Múltiple se utiliza?
 - ¿Qué parámetros tienen?
 - ¿Qué diferencia hay entre Acceso Múltiple y Multiplexación?
 - ¿Qué rendimiento tienen?
 - ¿Cómo se controla el acceso?

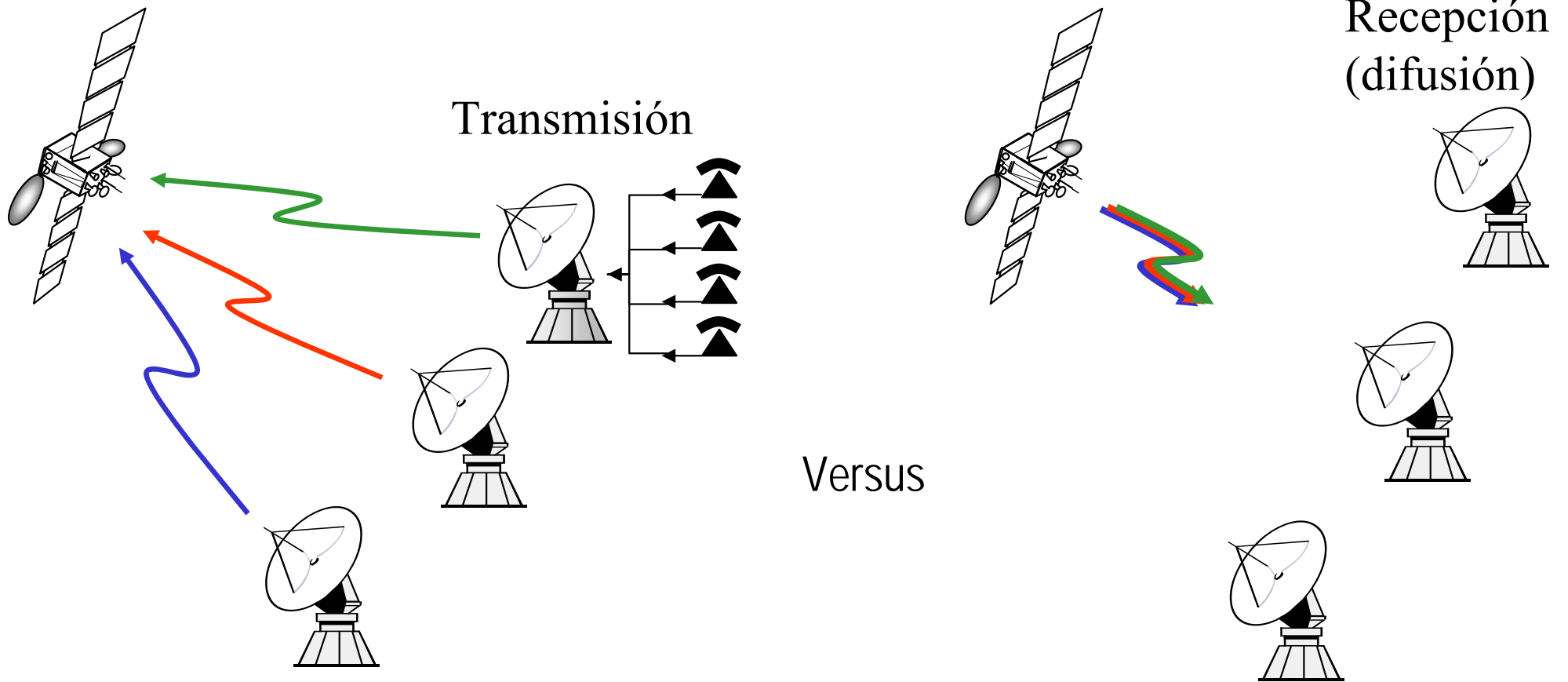
- 10.5 Señales de Banda Base y su tratamiento
 - ¿Cómo se transmite la voz?

- 10.6 Bandas de frecuencia y modulación
 - ¿Qué bandas se utilizan?

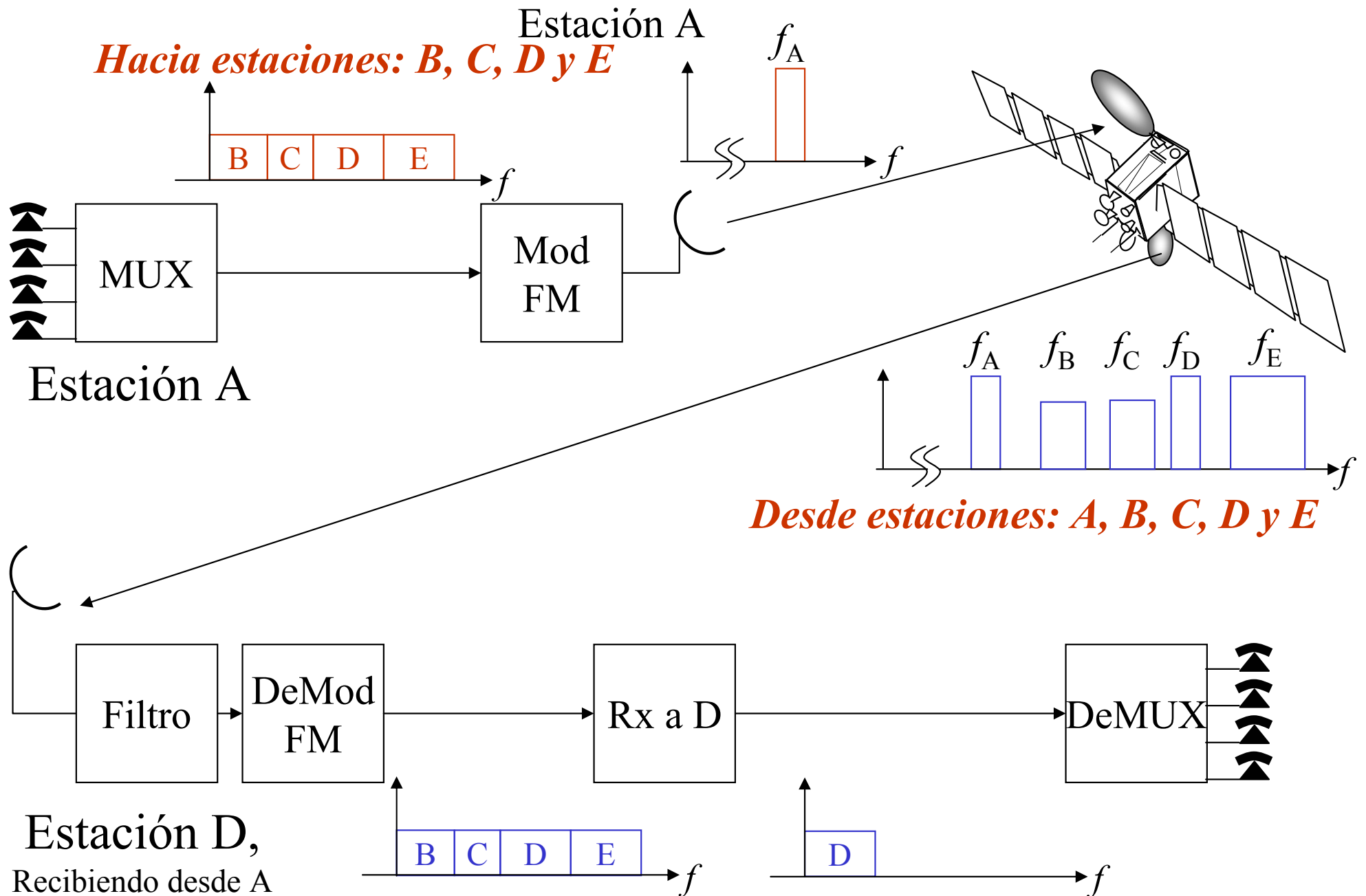


10.4 Acceso múltiple

- Diferencia entre el enlace ascendente y el descendente
 - Dos modalidades: FDMA y TDMA ó FDM y TDM



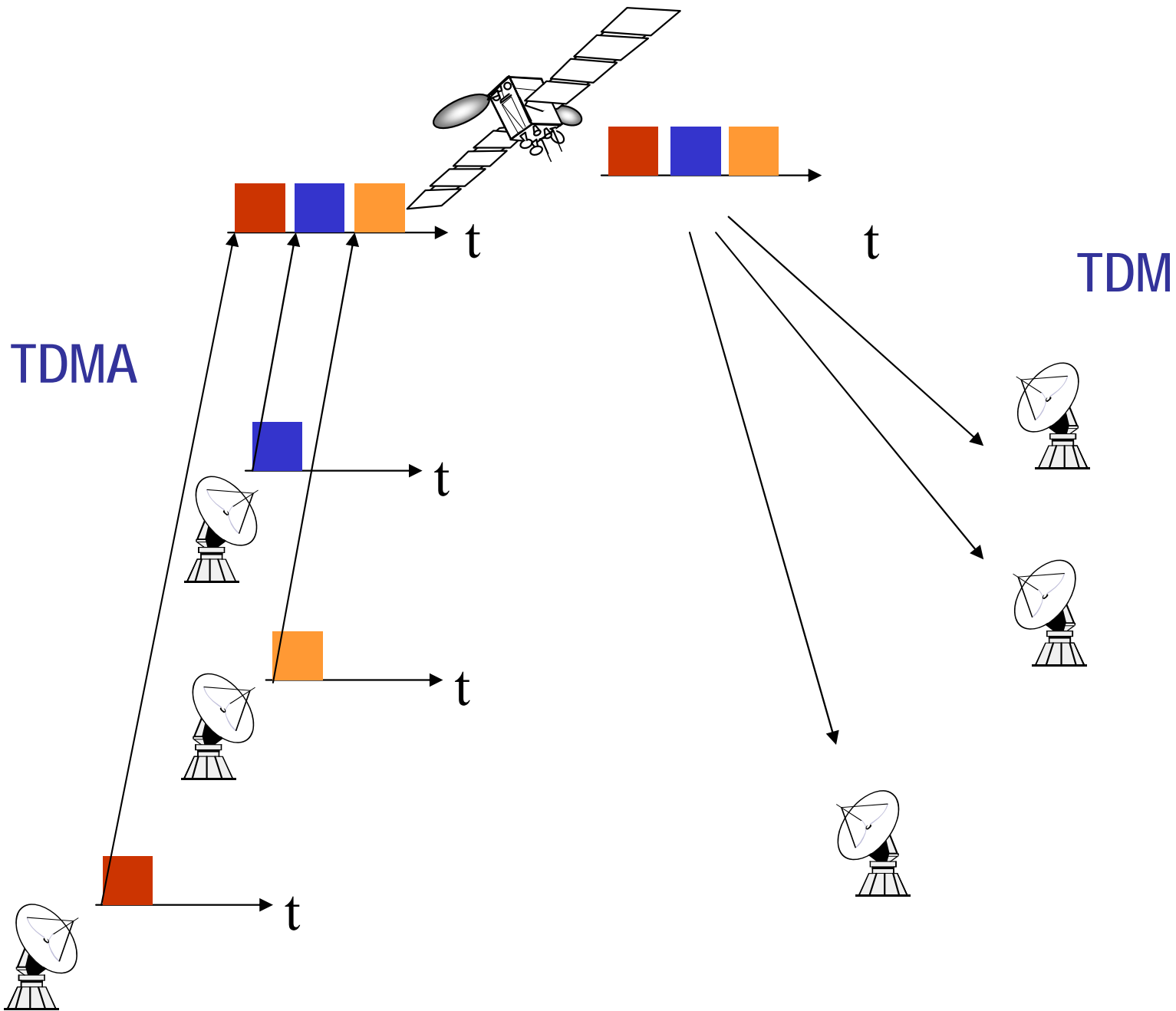
10.4 Acceso múltiple: FDM/FM/FDMA: esquema



10.4 Acceso múltiple: FDM/FDMA: características

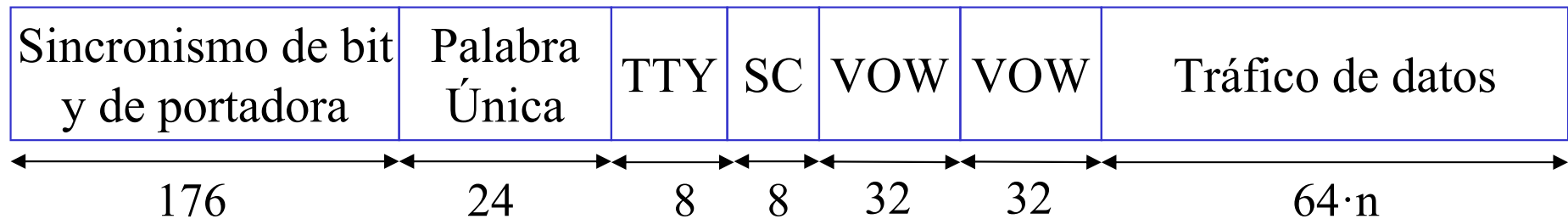
- Se distribuye la banda disponible: 500MHz
- Cada estación transmite una o más portadoras “multidestino” FDM
- Los 500 MHz se divide en **segmentos = transpondedores** :
 - Traslación de frecuencia + amplificación de cada segmento
 - Mayor número de portadoras por transpondedor: **ruido intermodulación**
- Desde el satélite se difunde toda la banda
 - El Rx puede ser de banda estrecha o ancha
 - El de banda ancha recibe toda la banda y sintoniza los canales de interés
- La **asignación de canales/frecuencias** a las estaciones es de tipo modular:
 - Si hay poco tráfico se infrutilizan estos canales
 - Solución: **Sistemas SCPC en vez de MCPC**
 - Sistemas SCPC: asignación de portadoras-canal bajo demanda, **DAMA**
 - Ej: INTELSAT/SPADE

10.4 Acceso múltiple: TDMA

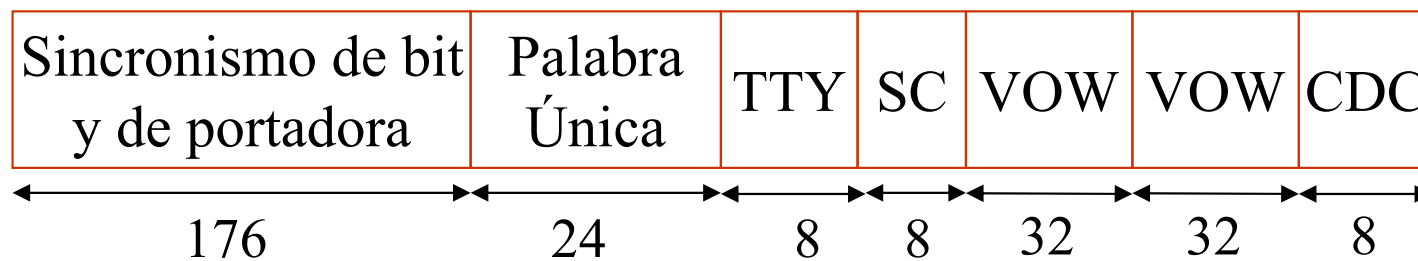


10.4 Acceso múltiple: TDM/TDMA: ráfagas

- INTELSAT/EUTELSAT
 - Ráfaga de tráfico (TB). Las longitudes se dan en símbolos



- Ráfaga de Referencia (RF).



10.4 Acceso múltiple: TDM/TDMA: campos

- Preámbulo, muy protegido contra errores, generalmente contiene
 - Periodo de guarda GP
 - Periodo de recuperación de portadora CR: Carrier Recovery
 - Periodo de recuperación de reloj BTR: Bit Timing Recovery
 - Palabra clave UW: Unique Word
 - Referencia temporal
 - Identificación de estación (SIC, Station identification Code)
- La trama INTELSAT tiene además:
 - Datos a baja velocidad TTY: Teletype
 - Canal de servicio, SC
 - Canales vocales de órdenes, VOW
 - Para tramas
 - Referencia: Canal de Control y Retrasos, CDC
 - Tráfico: datos de tráfico: voz digitalizada, sonido digital, vídeo digital, datos, facsímil

10.4 Acceso múltiple: TDM/TDMA: rendimiento (I)

- Para una **Tara (overhead)** dada, interesa mayor longitud de trama posible \Rightarrow aumenta rendimiento
- Si aumento la longitud de trama (en símbolos) y mantengo la duración
 - Almaceno mayor información a la hora de formar la trama
 - Aumento la velocidad
- Sistemas actuales
 - Intervalos por tramas: 3 a 100
 - Duración de trama: $125\mu\text{s}$ a 10ms
- El **rendimiento de trama** no es más que la relación entre información útil enviada y la información total.
 - También se puede expresar en duración de la transmisión de información / duración total
 - Se puede dar también el rendimiento de intervalo
 - No se tiene en cuenta la tara inicial RF1 y RF2 de sincronismo del sistema

10.4 Acceso múltiple: TDM/TDMA: rendimiento (II)

- Dada la duración de 1 símbolo T_s , y sean
 - S_s el número equivalente de símbolos de RF1 y RF2 y sus periodos de guarda
 - Para cada ráfaga i
 - G_i el número de símbolos de guarda
 - P_i el número de símbolos del preámbulo
 - Q_i el número de símbolos del epílogo (INTELSAT $Q_i=0$)
 - I_i el número de símbolos de información

El número de símbolos de Tara por trama para N intervalos es

$$S_t = S_s + \sum_{i=1}^N (G_i + P_i + Q_i)$$

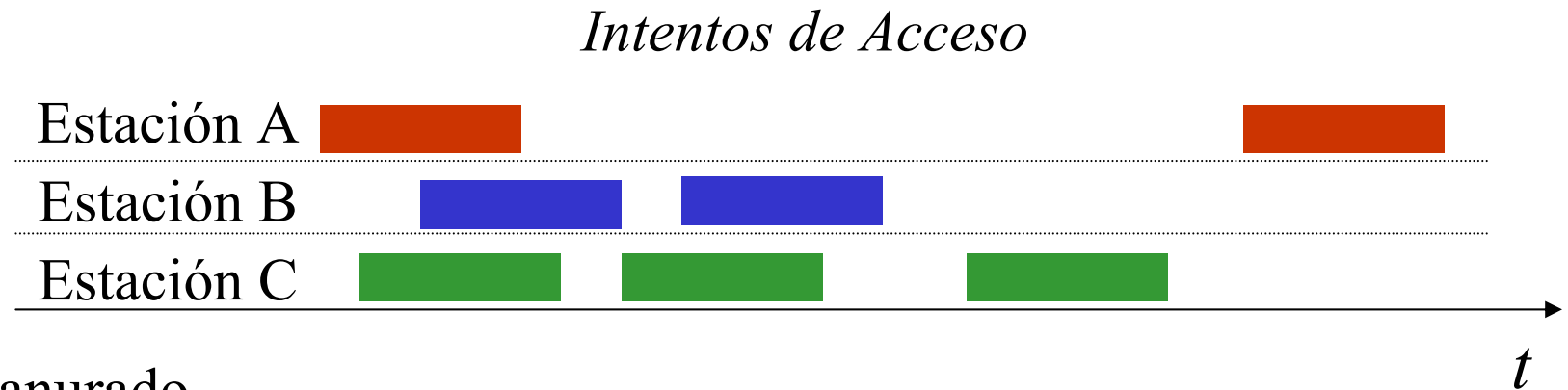
- Y el periodo útil de información $T_u = T_t - S_t \cdot T_s$
- El rendimiento de trama $\eta_t = T_u / T_t = 1 - S_t \cdot T_s / T_t$

10.4 Acceso múltiple: comparación FDMA/TDMA

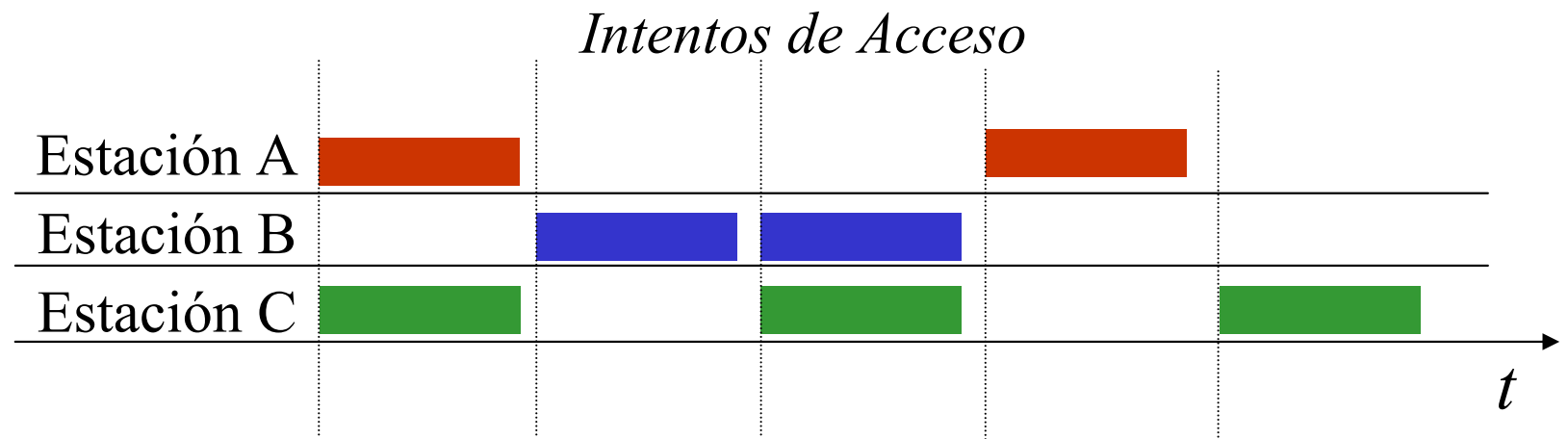
- FDMA:
 - Fácil realización
 - No necesaria temporización
 - Ruido de **intermodulación**: merma eficacia amplificadores
 - **Extracción de tráfico** en ES: gran volumen equipamiento en BB
- TDMA
 - Toda potencia disponible
 - Flexible a la variabilidad de tráfico: ajuste de tiempos
 - Formato **digital**: codificación, control de errores
 - Requiere conversiones A/D y D/A
 - **Temporización** estricta
 - **Retardo** asociado a montar la trama
 - Necesita notable capacidad de almacenamiento y procesado de señal

10.4 Acceso múltiple aleatorio: ALOHA

- ALOHA Puro
 - “TDMA no coordinado”
 - Ventaja: Simplicidad



- ALOHA Ranurado
 - Muy utilizado en las VSAT para telecontrol



10.5 Señales de Banda Base y su tratamiento

- **Compresión-Expansión:** mejora la SNR
- **Accionamiento por la voz:**
 - Se usa el canal únicamente en presencia de la palabra
 - Se consigue con un conmutador accionado por voz
 - Utilizado en SCPC (Ej, SPADE) e interpolación de la palabra
- **Interpolación de la palabra:** Speech Interpolation: SI ó Digital-SI
 - Se aprovecha que
 - dos personas en comunicación no hablan al mismo tiempo
 - Pausas entre sílabas, palabras y frases
 - Reducción al 35-40%
- **Modulación por impulsos codificados MIC**
 - Son usuales sistemas de 8bits/muestra y 8000 muestras/sg (8KHz):64Kbps
 - Sistemas de un solo canal por portadora de INTELSAT
 - 7bits/muestra + 1 de sincronización a 8000muestras/sg

10.6 Bandas de frecuencia y modulación

- Son muy utilizadas las bandas C (6 y 4 GHz) y Ku (14 y 11GHz)
- La anchura de banda en 4/6 GHz es de 500 MHz
 - La conversión es de 2225 MHz
- Muchas bandas están compartidas por servicios terrenales
 - EJ: Teledesic en Europa.
 - Interferencias mutuas: limitación en potencia
- Enlace descendente en frecuencia baja
 - La atenuación es menor en esta frecuencia
 - El satélite tiene potencia limitada
- Tabla 6.7.1.



Calidad

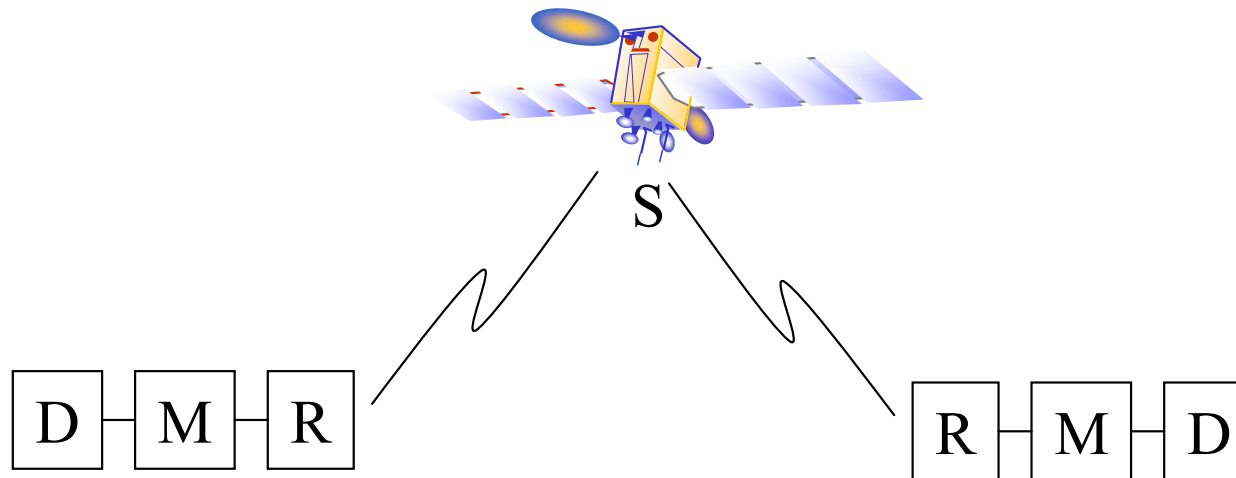
- 10.7 Trayecto Digital Ficticio de Referencia
 - ¿Cómo se define el trayecto digital ficticio de referencia para un satélite?

- 10.8 Objetivos de Calidad y Disponibilidad
 - ¿Qué objetivos se imponen?



10.7 Trayecto Digital Ficticio de Referencia

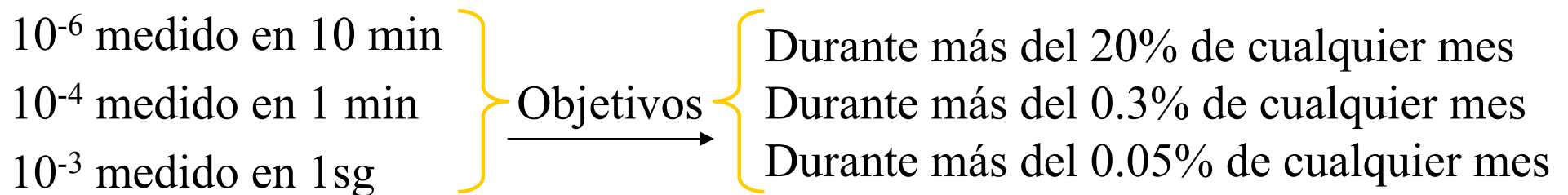
- Consta de un solo enlace Tierra-Satélite-Tierra
 - Puede haber varios enlaces satélite-satélite
- La arquitectura del HDRP (Hypothetical Digital Reference Path)



- Donde
 - S: Satélite
 - D: Equipo de interfaz digital directa
 - M: Equipo Módem (Incluye el equipo TDMA si procede)
 - R: Equipo FI/RF

10.8 Objetivos de Calidad y Disponibilidad

- Indisponibilidad, Recomendación ITU-R S.579 ($f < 15\text{GHz}$) , para el HDRP
 - Criterios, enlaces digitales: más de 10 segundos en los que
 - Los equipos no funcionan
 - Hay una tasa de errores mayor de 10^{-3}
 - Objetivos Indisponibilidad
 - Indisponibilidad de equipos (incluye eclipse solar): 0.2% anual
 - Indisponibilidad por propagación: 0.2% de cualquier mes
 - Objetivos Calidad, Rec ITU-R 522 para telefonía MIC
 - Criterios: **valor medio** de la Tasa de Error de Bit no rebase



- Incluyen interferencias, lluvia y absorción atmosférica.



10.9 Subsistema de comunicaciones de un satélite

10.10 Estaciones terrenas

10.11 Calidad (=sensibilidad)

- 10.9 Subsistema de comunicaciones de un satélite:
 - ¿Qué estructura tiene el sistema de comunicaciones del satélite?
 - ¿Qué es un transpondedor?
 - ¿Se reutilizan las frecuencias?
 - ¿Cuáles son sus parámetros en términos de potencia?

- 10.10 Estaciones terrenas
 - ¿Qué es la norma? ¿Qué significa G/T?
 - ¿Qué normas hay?
 - ¿Cómo calcular su temperatura efectiva de ruido?
 - ¿Qué características tienen las antenas?

- 10.11 Calidad
 - ¿Qué potencias mínimas se necesitan?



10.9 Subsistema de comunicaciones de un satélite

- 3 módulos:
 - Conjunto de recepción
 - Antenas
 - Amplificador común de bajo ruido
 - Mezclador que transforma toda la banda ascendente en descendente
 - Conjunto de amplificación
 - Los circuladores encaminan la señal hacia los distintos transpondedores.
 - Cada transpondedor es un amplificador selectivo con
 - ✓ Igualadores de amplitud y retardo
 - ✓ 1+1 tubo de ondas progresivas (TWT)
 - Redes combinadoras unen amplificadores y antenas

10.9 Subsistema de comunicaciones de un satélite: transpondedores

- No linealidad en la amplificación
 - En FDMA un transpondedor puede tener asignadas varias portadoras:
 - Hay Distorsión
 - Se evita trabajando a una distancia de la saturación: BO, Back-Off
 - En TDMA o para amplificación de señales de TV, se trabaja en saturación.
- Si al ancho de banda de 500 MHz = 480 + 20
 - Los 20 MHz se dedican a telediagnóstico y telemando
 - Los 480 se reparten entre los distintos transpondedores. Ej: 12x40MHz
 - En satélites polivalentes, HISPASAT, existen transpondedores para
 - Difusión de radio y TV (DBS, Direct Broadcast Satellite): 27 MHz
 - Servicio fijo (FSS): 36, 46, 54 y 72 MHz
- En TDMA, los transpondedores pueden ser
 - **Transparentes**: se retransmite lo que llega
 - **Regenerativos**: se baja a banda base la señal y se regenera.
 - “Satélites con procesamiento a bordo”, Fig 6.12

10.9 Subsistema de comunicaciones de un satélite: varios

- Reutilización de frecuencia:
 - Una parte del ancho de banda se utiliza de forma global para toda la cobertura
 - La otra se divide en cuatro, dividiendo en cuatro cuadrantes NE,SE,NO,SO,
 - Ej, Se puede recibir una portadora por el este y la coportadora por el oeste. Igual para la Tx.

- Parámetros:

- Rx: Relación ganancia antena/temperatura de ruido

$$S - N = (PIRE - L_b + G_r) - (10 \log kT_s + 10 \log B) = \{G_r / T_s = 10 \log_{10}(g_r / T_s)\} = \\ = PIRE - L_b + G_r / T_s - 10 \log k - 10 \log B > SNR_{\min}$$

- Además: Temperatura de ruido, Frecuencia
- Tx: PIRE
 - Además: Potencia del transpondedor, Ganancia de antena
- Ejemplo: HISPASAT para DBS y SFS

10.10 Estaciones terrenas

- Estaciones terrenas: en superficie de la Tierra
- Planificación y anteproyecto:
 - Localización:
 - Aspectos radioeléctricos: interferencias
 - Aspectos logísticos: comunicaciones viarias, energía,...
 - Requisitos tráfico:
 - Determinará la capacidad de la estación
 - Enlace descendente
 - El más crítico por la limitación de la PIRE del satélite, debe:
 - ✓ Detectar señales muy débiles: alta ganancia
 - ✓ En ambiente ruidoso: T alta
 - Norma de la estación
 - Los tipos de estaciones están clasificadas según capacidad de tráfico y bandas de frecuencias.
 - Cada norma lleva asociadas características técnicas y requisitos de calidad

} Factor de calidad
G/T (dB/K°)

10.10 Estaciones terrenas: Norma A INTELSAT

- Norma A:
 - Sistemas de **gran capacidad**, más exigente,..
 - Banda 6/4 GHz
 - Telefonía multicanal y señales TV
 - Relación G/T exigida es igual a 40.7dB/°K a 4 GHz
 - Se reciben los **500MHz**
 - Valores típicos: $G=57\text{dB} \rightarrow T=42.6^\circ\text{K}$
 - Se puede utilizar un amplificador muy bueno (MASER) y antenas de ganancia menor ó
 - Un amplificador peor (paramétrico) y mejor ganancia: 60dB = diámetro de 30 metros a 4 GHz y anchura del orden de 0.1° (seguimiento),
 $60-10\log T=40.7 \rightarrow T=85.1^\circ\text{K}$
 - Si se da cierto margen 40.7 \rightarrow 41.5
 $60-10\log T=41.5 \rightarrow T=70.8^\circ\text{K}$
 - En estaciones del servicio fijo: $T=2600^\circ$!!
 - Potencias, para Tx telefónica multicanal: PIRE = 100dBW, $P_t= 10\text{kW}$

10.10 Estaciones terrenas: Normas B y C

INTELSAT

■ Norma B:

- Pensado para usuarios con poco tráfico
- Relación G/T exigida es igual a 31.7dB/°K, cielo despejado
- Antena: 10 m de diámetro
- Tráfico: voz = SCPC/PCM/QPSK, datos= SCPC/QPSK
- Asignación por demanda (DAMA)
- Posibles FDM/FM para portadoras para TV

■ Norma C

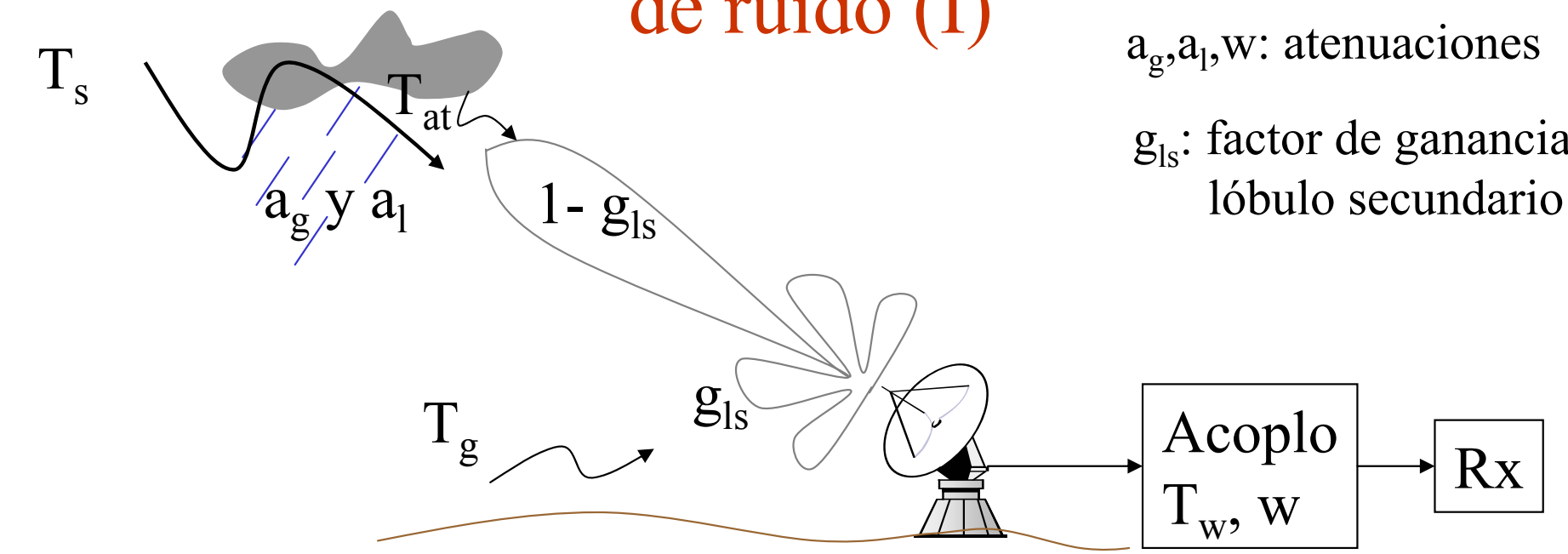
- Desarrollado para banda 14/11 GHz
- Se tiene en cuenta lluvia
- $G/T = 39 + 20 \log(f/11.2) - L$
 - Durante el $(100-P)\%$ del tiempo,
 - siendo L la atenuación prevista respecto a cielo despejado, rebasada durante no más del $P\%$ del tiempo.

10.10 Estaciones terrenas: Normas D y E

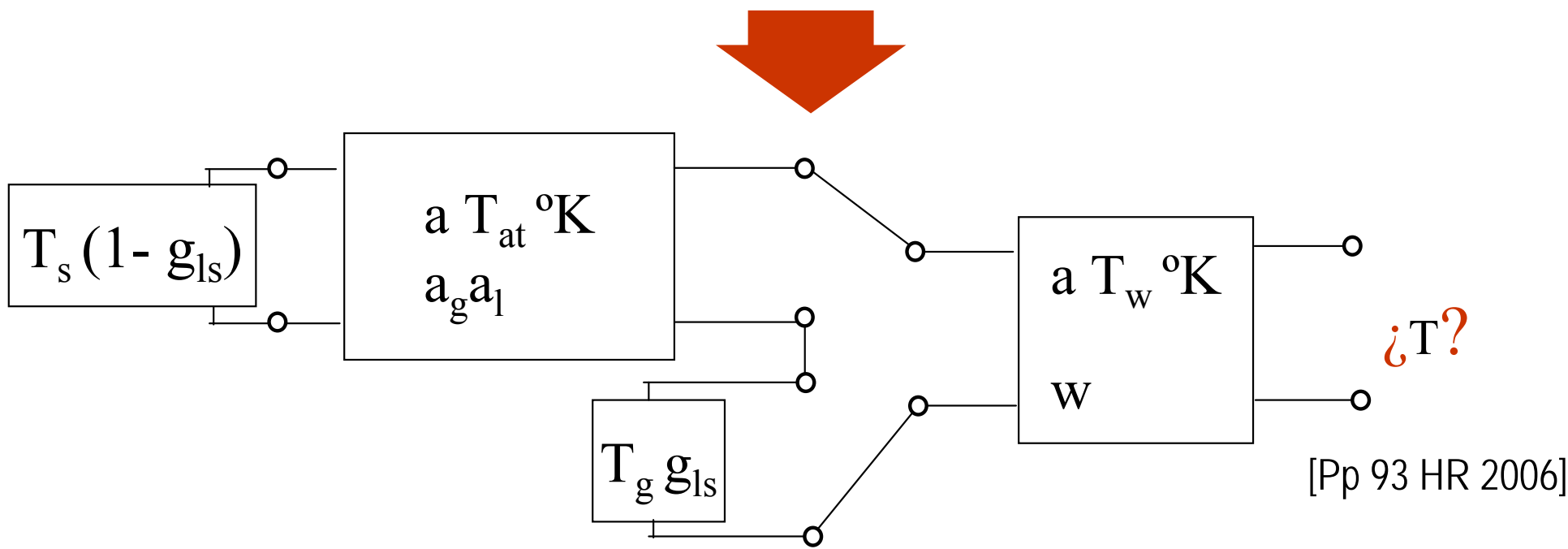
INTELSAT // Radiodifusión

- Norma D
 - Previstas para sistemas LDTS (Low density Telephone Service) de baja capacidad en la banda 6/4 GHz
 - Acceso del tipo SCPC/FDMA utilizándose FM con expansión-compresión y frecuencias preasignadas
 - $G/T \geq 22.7 + 20 \log(f/4)$ dB/°K
 - Antenas de unos 4 m de diámetro
 - Norma E
 - Desarrollado para banda 14/11 GHz
 - $G/T = 29 + 20 \log(f/11)$
 - Modulación QPSK y diferentes configuraciones de acceso múltiple
-
- **Radiodifusión:** CAMR-RS-77 (Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, en Ingles WARC, Auspiciada por la ITU)
 - Rx individual $G/T = 6$ dB/°K
 - Rx comunal: $G/T = 14$ dB/°K

10.10 Estaciones terrenas: Temperatura equivalente de ruido (I)

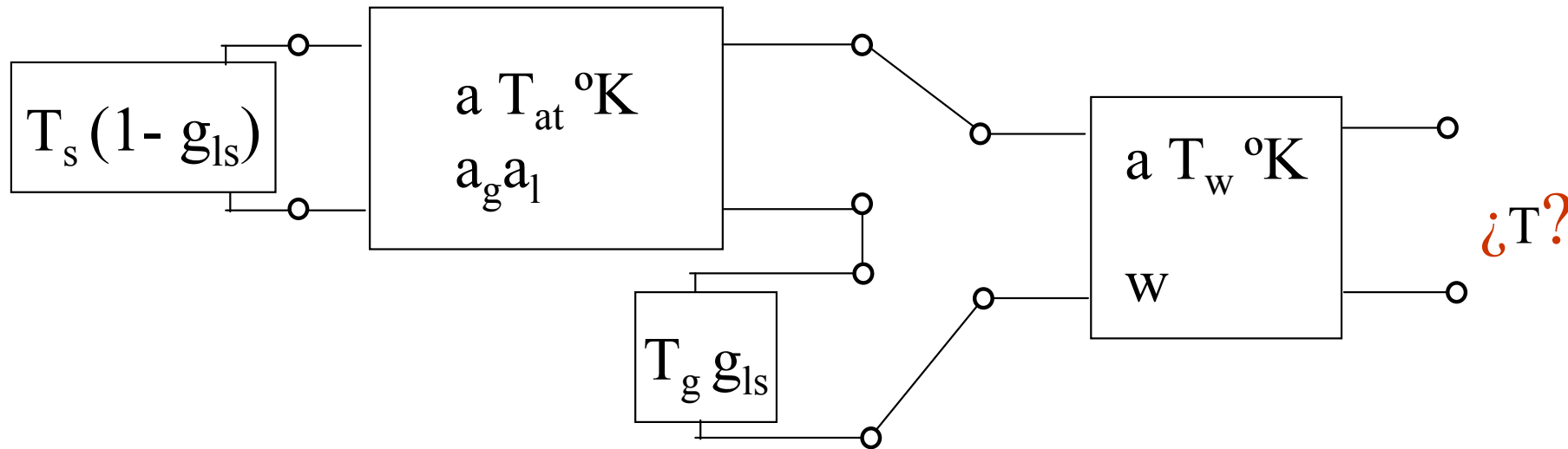


a_g, a_1, w : atenuaciones
 g_{ls} : factor de ganancia lóbulo secundario



[Pp 93 HR 2006]

10.10 Estaciones terrenas: Temperatura equivalente de ruido (II)



- Caso de lluvia

$$T = \frac{T_g g_{ls}}{w} + [T_s + T_{at} (a_g a_l - 1)] \cdot \frac{(1 - g_{ls})}{a_g a_l w} + T_w (w - 1) \frac{1}{w}$$

- En ausencia de lluvia

$$T = \frac{T_g g_{ls}}{w} + [T_s + T_{at} (a_g - 1)] \cdot \frac{(1 - g_{ls})}{a_g w} + T_w (w - 1) \frac{1}{w}$$

Temperatura de ruido equivalente de un cuadripolo pasivo de ganancia (pérdidas) G (L) a temperatura T

- La potencia de ruido a la salida debida a la temperatura de entrada T

$$kTBg$$

- Potencia de ruido a la salida debida al cuadripolo

$$\Delta N = KT_{eq}Bg$$

- Ruido total

$$kTBg + kT_{eq}Bg = k(T + T_{eq})Bg$$

- Si todo está adaptado, el ruido a la salida debe ser igual al de la entrada

$$kTB$$

- Igualando

$$kTB = k(T + T_{eq})Bg \Rightarrow T = (T + T_{eq})g \Rightarrow T_{eq} = T(1 - g) / g$$

- En términos de atenuación: $T_{eq} = T(l - 1)$

- La Tra de ruido **a la salida** debido al cuadripolo $T_{eq} = T(l - 1) / l$

10.10 Estaciones terrenas: Características de las antenas, amplificadores de salida

- Antenas
 - Límites a lóbulos laterales, UIT-R
 - $G=32-25\log\varphi$ dB: $1^\circ\leq\varphi\leq48^\circ$
 - $G= -10$ dB $\varphi >48^\circ$
 - Discriminación por polarización
 - Seguimiento

- Amplificador de salida
 - Back-off
 - Intermodulación

10.11 Calidad en las comunicaciones por satélite: introducción

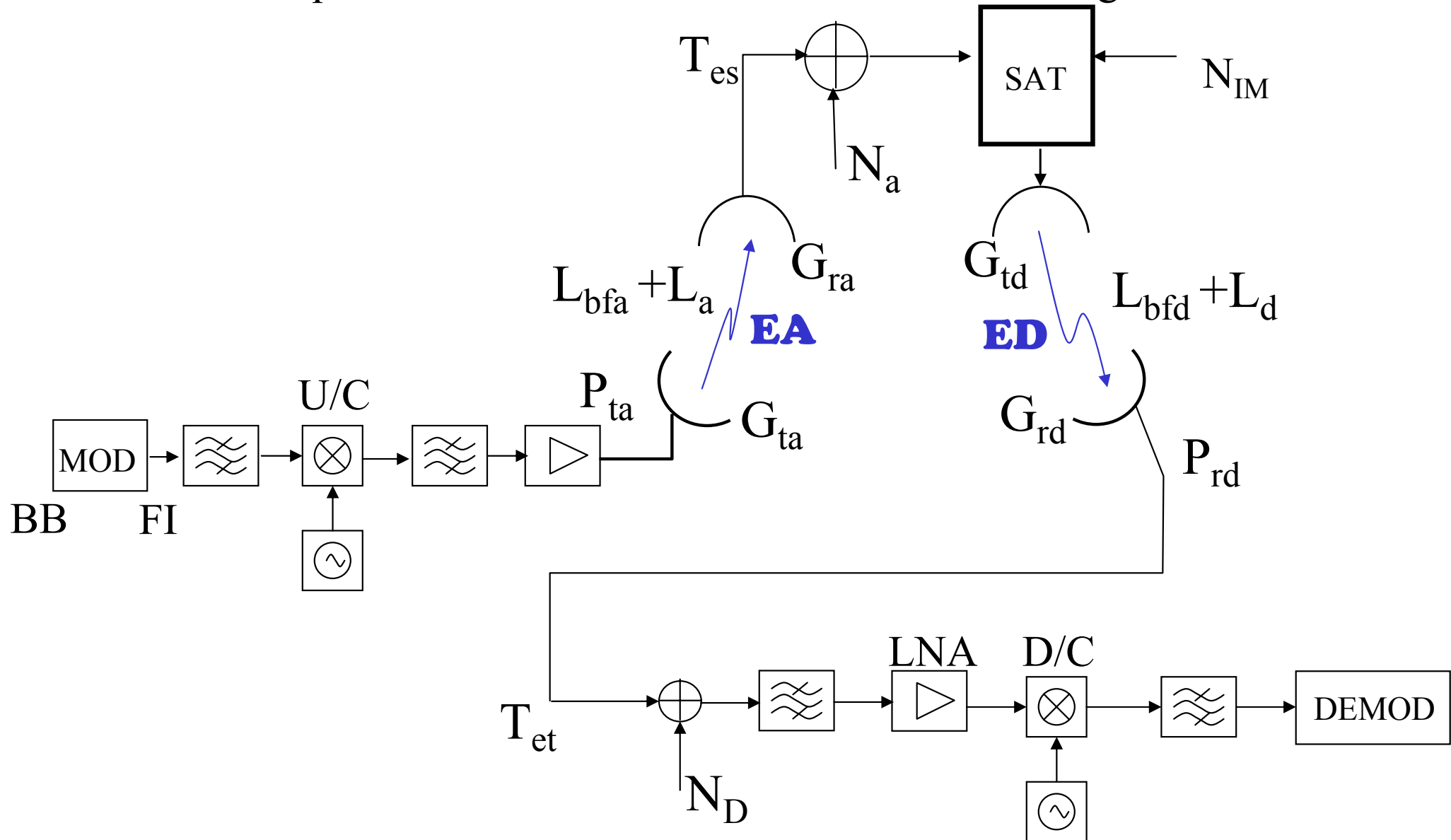
- Los objetivos de calidad se traducen en
 - una relación S/N en recepción para sistemas analógicos
 - una BER para comunicaciones digitales
 - Obtenidas a partir de C/N , C/N_o ó E_b/N_o

$$\frac{c}{n_0} = \frac{c}{n_0} \cdot \frac{T_b}{T_b} = \frac{e_b}{n_0} \cdot v_b$$

- Necesitamos por tanto calcular el ruido en recepción debido a
 - Enlace ascendente
 - Repetidor en Satélite
 - Enlace descendente
- Ante un ruido permitido máximo total, se asigna al enlace descendente la mayor parte del mismo
 - *Ya que es más económico diseñar un buen receptor en tierra.*

10.11 Calidad en las comunicaciones por satélite: Modelo del sistema (I)

- El sistema que se utiliza en los cálculos del ruido es el siguiente



10.11 Calidad en las comunicaciones por satélite:

Balance de los enlaces

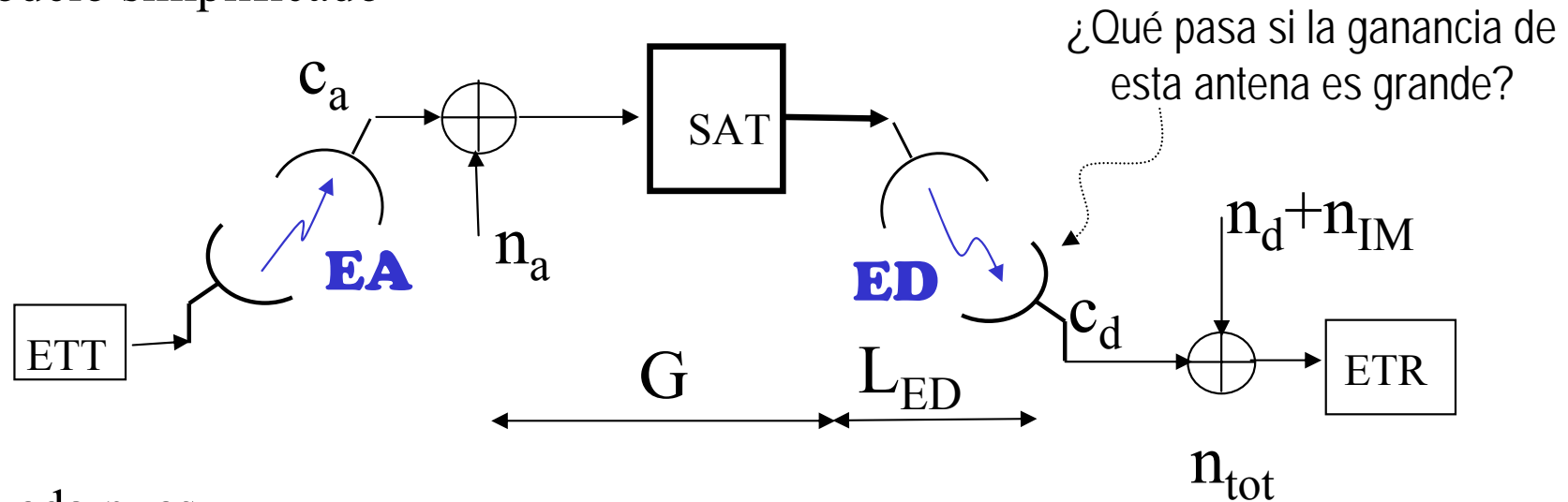
- Enlace ascendente
$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = PIRE_a + IB - L_{bfa} - L_a + \frac{G_{ra}}{T_{es}} - 10\log K(\text{dB})$$
 - Donde
 - $PIRE_a = P_{ta}(\text{dBW}) + G_{ta}(\text{dB})$ es la PIRE de la estación terrena transmisora que satura al Tx
 - IB es el “back-off” de la estación terrena (< 0)
 - G_{ra}/T_{es} es la relación G/T del satélite
- Enlace descendente
$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = PIRE_d + OB - L_{bfd} - L_d + \frac{G_{rd}}{T_{et}} - 10\log K(\text{dB})$$
 - Donde
 - $PIRE_d = P_{td}(\text{dBW}) + G_{td}(\text{dB})$ es la PIRE del satélite
 - OB es el “back-off” del satélite
 - G_{rd}/T_{es} es la relación G/T de la estación terrena
- Las pérdidas adicionales L_a y L_d pueden desglosarse en

$$L = L_{at} + L_{punt} + L_{pol} + L_{llu}$$

- Atenuación atmosférica con cielo despejado + Atenuación por error de puntería de la antena + Pérdidas por despolarización + Atenuación por lluvia

10.11 Calidad en las comunicaciones por satélite: Balance de los enlaces: C/N total

- Para el cálculo de la C/N del enlace total Tierra-Satélite-Tierra utilizamos un modelo simplificado



- Queda pues,

$$\left(\frac{n}{c}\right)_t = \frac{n_a \cdot g / l_{ed} + n_{IM} + n_d}{c_d} = \frac{n_a \cdot g / l_{ed}}{c_a \cdot g / l_{ed}} + \frac{n_{IM}}{c_d} + \frac{n_d}{c_d}$$

$$\left(\frac{n}{c}\right)_t = \frac{n_a}{c_a} + \frac{n_{IM}}{c_d} + \frac{n_d}{c_d}$$

Si hay una sola portadora $n_{IM}=0$
Ej: TDMA (digital)

- También puede relacionarse con C/T , T la temperatura total de ruido del enlace

$$\left(\frac{C}{N}\right)_t = \left(\frac{C}{T}\right)_t - 10 \log K - 10 \log B$$

Ver Ej pp 467

Nota : $n = KTB = KTB_T$

10.11 Calidad en las comunicaciones por satélite: calidad para sistemas analógicos

- Se estudia aquí TV analógica por satélite (DBS-SAT, Direct Broadcast Satellite)
- La calidad, en términos de relación señal a ruido

• Donde

$$\left(\frac{s}{n}\right)_t = \left(\frac{c}{n}\right)_t \cdot I \cdot p \cdot w$$

- I es el factor de mejora de la modulación de frecuencia, que para la transmisión de TV es

$$I = \frac{3}{2} \left(\frac{\Delta f_{pp}}{f_v} \right)^2 \frac{b_T}{f_v}, \quad b_T \approx (\Delta f_{pp} + 2f_v)$$

- Los términos p y w representan, respectivamente, las ganancias debidas a la preacentuación y a la ponderación sofométrica.

✓ Para la norma G-PAL su valor conjunto, en dB ($P+W$) es 16.3 dB

10.11 Calidad en las comunicaciones por satélite: calidad para sistemas digitales

- Del balance total analógico es inmediato derivar el resultado para digital:

$$\left(\frac{n}{c}\right)_t = \frac{n_a}{c_a} + \frac{n_d}{c_d} \Rightarrow \left(\frac{n_0}{e_b}\right)_t = \left(\frac{n_0}{e_b}\right)_a + \left(\frac{n_0}{e_b}\right)_d$$

- A partir de las curvas o expresiones de la BER se obtiene la E_b/N_0 necesaria.
- En función de la temperatura de ruido,

$$\frac{e_b}{n_0} = \frac{c}{n_0} \cdot \frac{1}{v_b} = \frac{c}{T} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{v_b}$$

Ver Ej pp 469



10.12 Radiodifusión por satélite

10.13 Contorno de coordinación

10.12 Sistemas VSAT

- 10.12 Radiodifusión por satélite
 - Aspectos más relevantes

- 10.13 Contorno de coordinación
 - ¿Se comparten frecuencias?
 - ¿Existe interferencia con otros sistemas?
 - ¿Cómo se evita?

- 10.12 Sistemas VSAT
 - ¿Qué son?
 - ¿Qué arquitectura tienen?



10.12 Radiodifusión por satélite

- Desde un satélite puede “iluminarse” todo un territorio:
 - Se logra una cobertura inmediata con
 - Un solo repetidor
 - De elevada fiabilidad
 - Una sola frecuencia
- Si los satélites del servicio fijo se utilizan para transmitir, e.g., programas de televisión: prestan un “servicio de distribución”
- Los satélites seleccionados para prestar dichos servicios en las bandas reservadas para ellos se denominan “satélites de difusión directa”
 - **Enlace de conexión** es el ascendente, **Enlace de difusión directa** el descendente
- En la CAMR-RS-77 se planificó el servicio de radiodifusión:
 - Se elige la órbita geoestacionaria: se simplifican antenas en recepción
 - 40 canales (20MHz) en 800 MHz (11.7-12.5 GHz)
 - Diferentes parámetros de recepción:
 - individual y
 - comunal (más exigente)

10.12 Radiodifusión por satélite: CAMR-RS-77

Radiofrecuencia		Valor	
		Individual	Comunal
	Magnitud		
ϕ	Densidad de flujo de potencia en el borde del haz para el 99% del peor mes (dBW/m ²)	-103	-111
BW	Anchura de haz de antena receptora (°)	2	1
G/T	Factor de Calidad de la antena receptora (dB/°K)	6	14
C/N	Relación portadora a ruido (dB)	14	14
$R_{p,coc}$	Relación de protección cocanal	30	30
$R_{p,cad}$	Relación de protección de canal adyacente	15	15
PIRE	PIRE en el eje	Variable ≈ 60 dBW	
G_a	Ganancia de la antena	Variable ≈ 40 dB _i	

■ Banda Base:

- S/N video $S/N \geq 33$ dB, sin ponderar, para 5 MHz en el peor caso
 - Durante el 99% del mes más desfavorable, en el borde de la zona de servicio y al final de la vida útil del satélite.
- S/N audio: ≥ 50 dB (TV) y ≥ 60 dB (Radio)

10.12 Radiodifusión por satélite: Calidad y balances

- Radiodifusión de video

$$\left(\frac{s}{n}\right)_t = \left(\frac{c}{n}\right)_t \cdot I \cdot p \cdot w \Rightarrow (S/N)_t = (C/N)_t + I + P + W$$

- Una vez conocida la C/N

- Se analiza en el enlace ascendente y descendente

$$\left(\frac{n}{c}\right)_t = \frac{n_a}{c_a} + \frac{n_d}{c_d} \Rightarrow \frac{1}{10^{((C/N)_t)/10}} = \frac{1}{10^{((C/N)_a)/10}} + \frac{1}{10^{((C/N)_d)/10}}$$

- Se puede tener en cuenta la variación de potencia en el transpondedor

$$\frac{1}{10^{((C/N)_t)/10}} = \frac{10^{(f(A)/10)}}{10^{((C/N)_a)/10}} + \frac{1}{10^{((C/N)_d)/10}}$$

- ✓ Donde $f(A)$ tiene en cuenta la función de transferencia del transpondedor, si hay atenuación por lluvia en el enlace de conexión,...

10.12 Radiodifusión por satélite: Calidad y balances

- Se puede escribir también

$$(C / N)_t = (C / N)_d + L$$

- ✓ Donde L es la degradación debida al enlace ascendente

- Finalmente se tiene en cuenta el balance de enlace

$$(C / N)_d = PIRE - L_{bfd} - L_{exceso} + G / T - 10 \log k + 10 \log B$$

10.13 Contorno de coordinación

- Las bandas de 4 y 6 GHz se comparten con otros servicios terrenales:
 - Contorno de coordinación:
 - frontera de una zona alrededor de una estación terrena, fuera de la cual se considera despreciable la interferencia mutua con los sistemas terrenales
 - Distancia de coordinación:
 - la distancia desde la estación terrena al contorno, para un azimut determinado
- La interferencia debe ser considerada (**terrena \neq terrenal**)
 - Estación terrena (sist. satélite) a otras estaciones terrenales, i.e., en transmisión
 - Estaciones terrenales (otros sistemas) a estación terrena, i.e., en recepción

10.13 Contorno de coordinación

- Calidad de protección del $Q\%$ del tiempo: no habrá interferencia en el $Q\%$ del tiempo
 - Habrá interferencia en el $p=100\%-Q$
- Se elige un valor de nivel admisible de interferencia para ese $p\%$: $P_r(p)$
- La pérdida básica de propagación

$$L_b(p) = P_{t'} + G_{t'} + G_r - P_r(p)$$

- *Las pérdidas desde interferente a interferido deberían ser mayores de este valor* donde $P_{t'}$ y $G_{t'}$ son la potencia entregada y ganancia de la antena del interferente
- Si la estación interferente es una estación terrena, $G_{t'}$ es la ganancia de la antena en la dirección del horizonte físico para el acimut del radial considerado.
- Si se trata de una estación terrenal, $G_{t'}$ es la ganancia máxima de la antena.
- Lo mismo se aplica a G_r
- Una expresión para el nivel admisible de interferencia

$$P_r(p)(\text{dBw}) = 10 \log(KT_e B) + J + M(p) - W$$

- Donde J , $M(p)$ y W dependen del sistema y de p

10.14 Sistemas VSAT

- Los sistemas VSAT, very small aperture Terminal, son sistemas terminales muy sencillos con diámetros de antenas muy reducidos (en central grandes)
- Se aplican a conexiones de baja capacidad: telemando, teledata, control, etc.
 - Las aplicaciones de sistemas de control se agrupan bajo el nombre de SCADA (Supervisor Control and Data Acquisition)
 - cuyos elementos son
 - ✓ Posición de mando central CD
 - ✓ Terminales remotos RTU
 - Y presentan como ventajas
 - ✓ Accesibilidad
 - ✓ Gran calidad y disponibilidad
 - ✓ Facilidad de instalación
 - ✓ Facilidad de crecimiento de la red
 - ✓ Gran adaptación al tipo de tráfico
 - ✓ Menores costes de realización y explotación de la red

10.1 Introducción: Sistemas y Servicios: VSAT

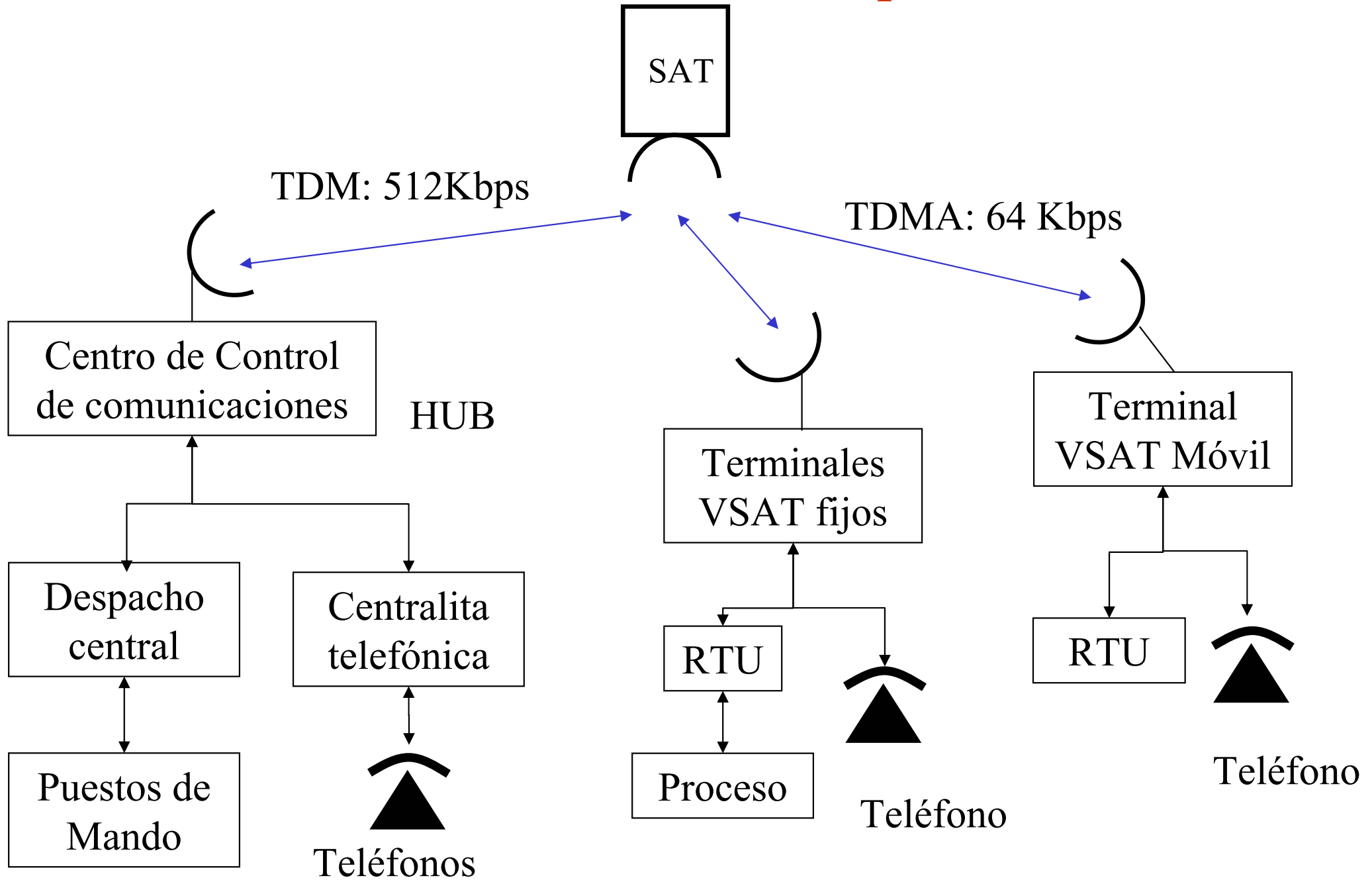
- VSAT Very Small Aperture Terminal : Terminales pequeños y fiables, de muy reducida infraestructura

small dish

PC card



10.14 Sistemas VSAT, arquitectura



10.14 Sistemas VSAT, arquitectura

- La salida del HUB es mediante TDM
- La salida de los RTU es TDMA:
 - FA/TDMA, asignación fija
 - RA/TDMA, acceso aleatorio: la RTU transmite cuando quiere mediante ALOHA ranurado.
 - DA/TDMA, asignación bajo demanda: la RTU pide un intervalo para Tx.
 - RM/TDMA, modo reserva: se reserva mediante ALOHA ranurado sin transmisión inicial del mensaje
 - AA/TDMA, asignación adaptable: igual que el anterior pero con transmisión inicial de parte del mensaje



Apéndice 1: Datos de 15 Operadoras líder

Rank ¹	Satellite Operator ²	2003 Revenue ³	2002 Revenue ⁴	Country	Satellites in Orbit on order
1	<u>SES Global</u>	\$1.52 billion	\$1.41 billion	Luxembourg	30+5
2	<u>Intelsat</u>	\$1.1 billion	\$992 million	Bermuda, U.S.	26+1
3	<u>Eutelsat S.A.</u>	\$954 million	\$690 million	France	24+2
4	<u>PanAmSat Corp.</u>	\$831 million	\$812 million	U.S.	21+2
5	<u>JSAT Corp.</u>	\$421 million	\$381 million	Japan	9+2
6	<u>Telesat Canada</u>	\$266.2 million	\$207.4 million	Canada	6+3
7	<u>Space Comm. Corp.</u>	\$241.94 million	\$199.8 million	Japan	5+0
8	<u>New Skies Satellites N.V.</u>	\$214.9 million	\$200.5 million	Netherlands	5+1
9	<u>Loral Space and Comm.</u>	\$152.4 million	\$195 million	U.S.	4+1
10	<u>Shin Satellite</u>	\$146.5 million	\$115.5 million	Thailand	3+1
11	<u>Arabsat</u>	\$140 million	\$147 million	Saudi Arabia	4+1
12	<u>Star One</u>	\$130.3 million	\$98.1 million	Brazil	5+1
13	<u>Hispasat S.A.</u>	\$115.5 million	\$120.7 million	Spain	3+1
14	<u>AsiaSat</u>	\$115.4 million	\$122 million	Hong Kong	4+0
15	<u>KT Corp.</u>	\$103.5 million	\$104 million	South Korea	3+1

Source: www.space.com August 2004 (from Company reports and Space News research)

Apéndice 2: Iridium

- IRIDIUM
- Artículo: The Return Of Iridium. Arik Hesseldahl, 11.30.01
 - <http://www.forbes.com/2001/11/30/1130tentech.html>
 -But the more infamous satellite phone flame-out was that of Iridium, the **Motorola** After it collapsed into bankruptcy in 1999, skywatchers hoped to see the lights of the flame-out--literally--[as the satellites were to leave orbit and burn up in the atmosphere.](#) ...
 -But at the last minute, [a group of investors saved the constellation of satellites](#), buying the system at a fire-sale price. The system that cost Motorola more than \$5 billion to build ultimately sold for \$25 million, or about half a penny for every dollar it originally cost.

