



Arquitectura de comunicaciones Móviles

Comunicaciones Satelitales

Ing. Anibal Pose

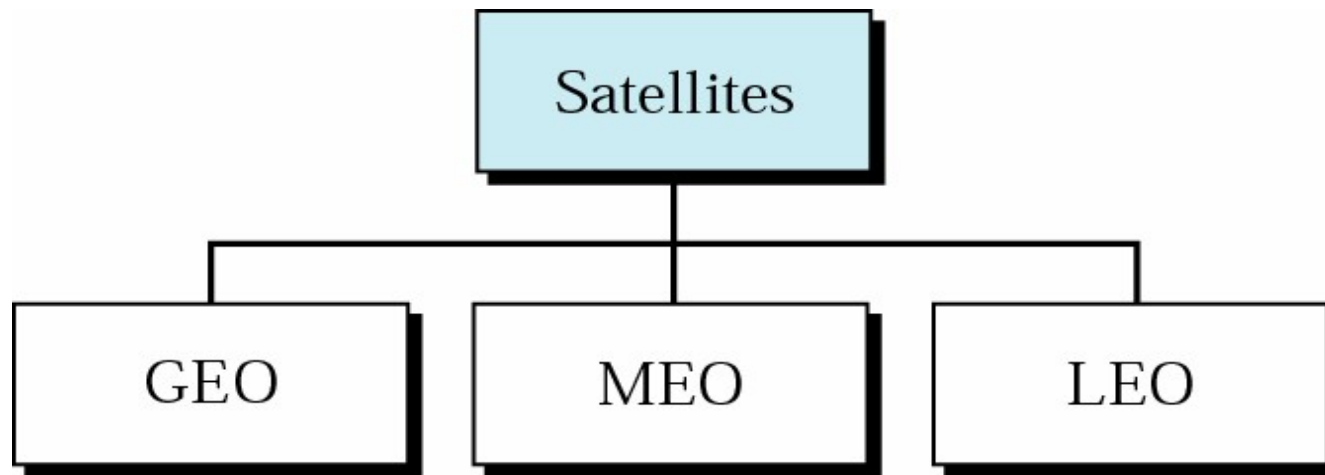
Generalidades de redes de microondas satelitales

- Las comunicaciones por satélite empezaron a desarrollarse comercialmente a partir de la década de los años 60, permitiendo la transmisión confiable de telefonía, televisión y datos, superando accidentes geográficos y grandes distancias entre terminales de interconexión.
- Las redes satelitales de alta capacidad están constituidas por nodos denominados “estaciones terrenas” y satélites que actúan como repetidores.
- Las funciones de repetición de los satélites, las realizan los denominados “transpondedores”, los cuales reciben las señales desde tierra, las amplifican y cambian su frecuencia, y las transmiten hacia otra estación terrena.

Comunicaciones Satelitales - Elementos básicos

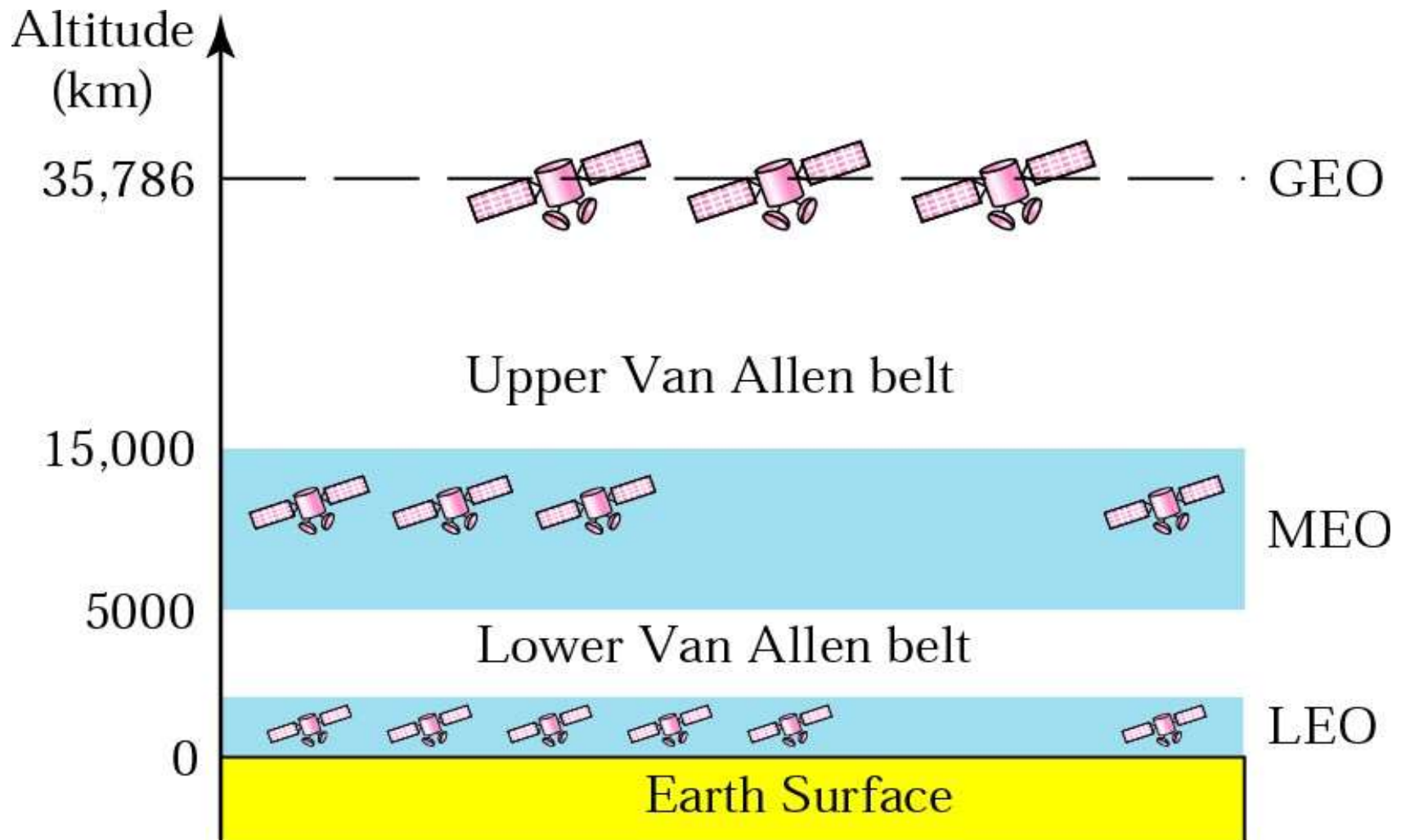
- Segmento Espacial (Transponder)
 - Tipo de Haz de Cobertura y Banda.
- Segmento Terrestre
 - Estaciones Terrenas o Terminales Terrestres.
 - Estación Maestra, Hub o Telepuerto.
- Medio de Propagación

Categorías de satélites

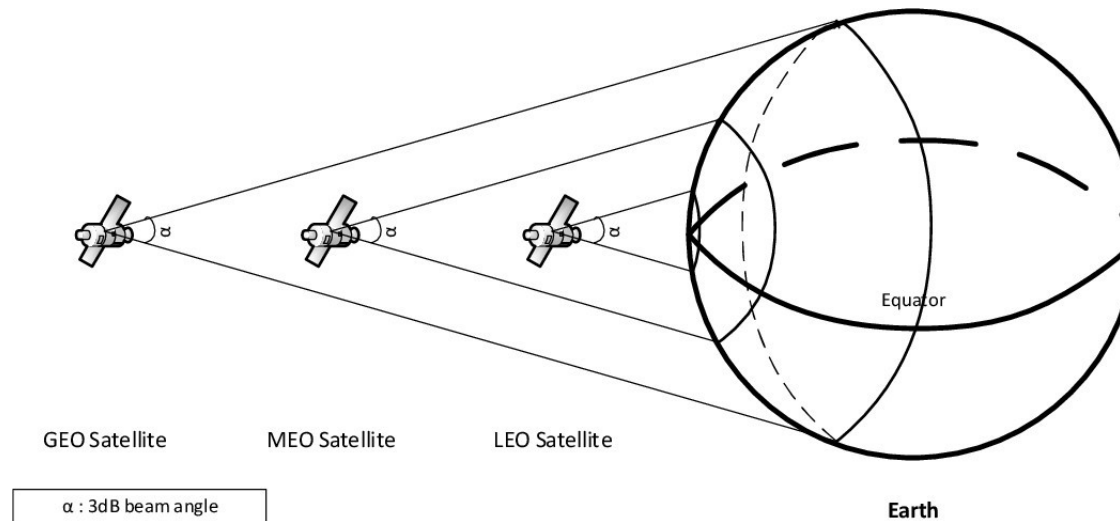
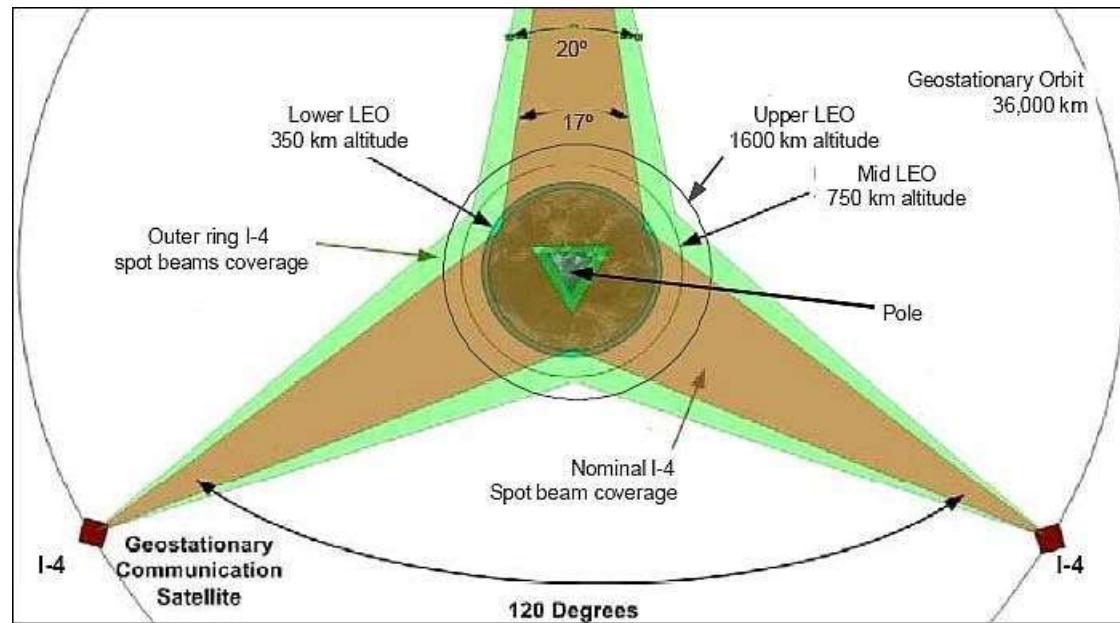


- GEO : Geostationary Earth Orbit
- MEO : Medium Earth Orbit
- LEO : Low Earth Orbit

Alturas de órbitas satelitales



Alturas de órbitas satelitales



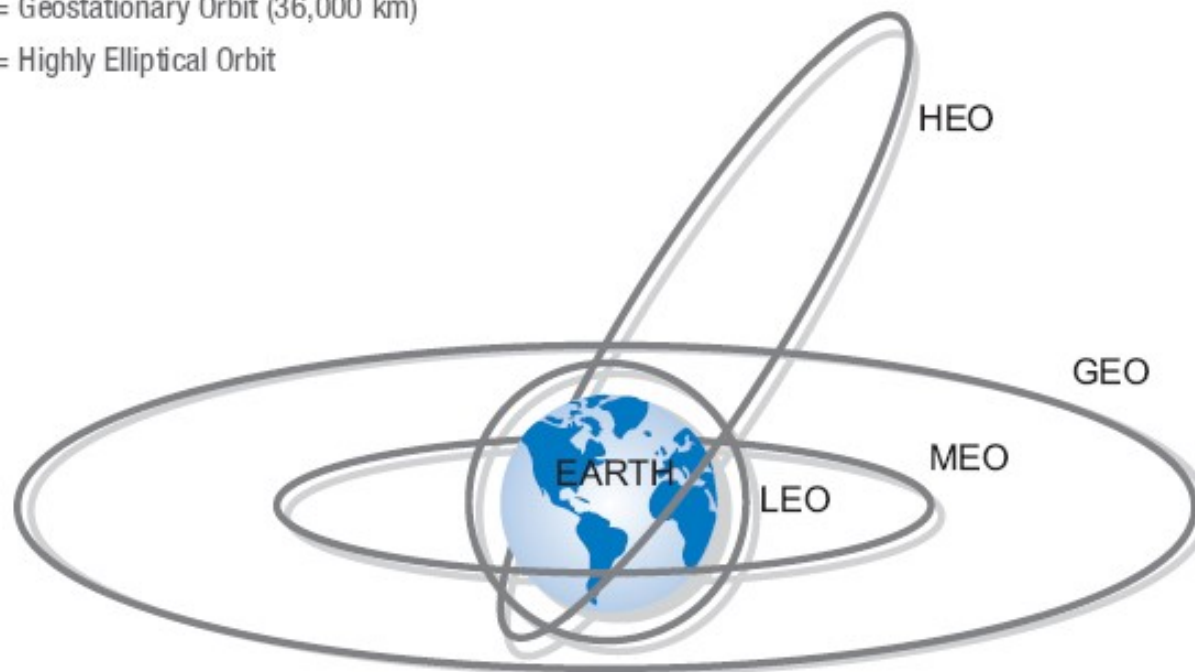
Tipos de órbitas satelitales

LEO = Low Earth Orbit (100-1,500 km)

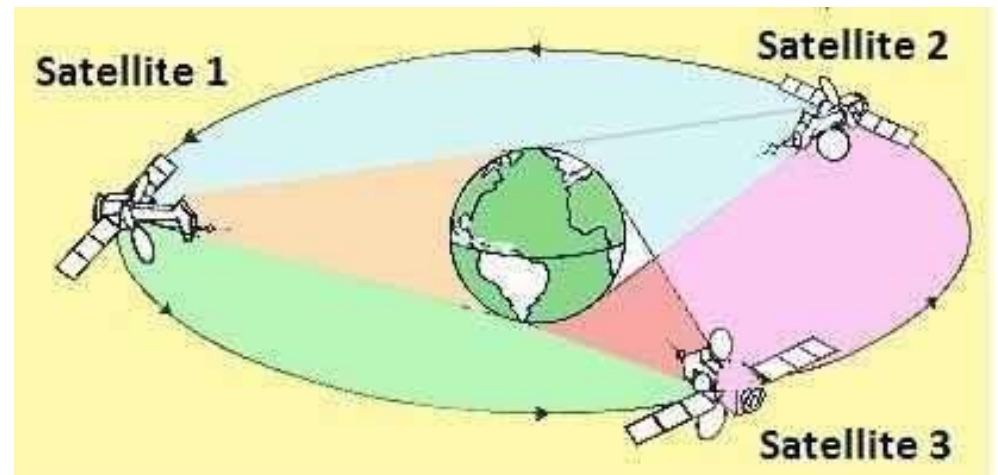
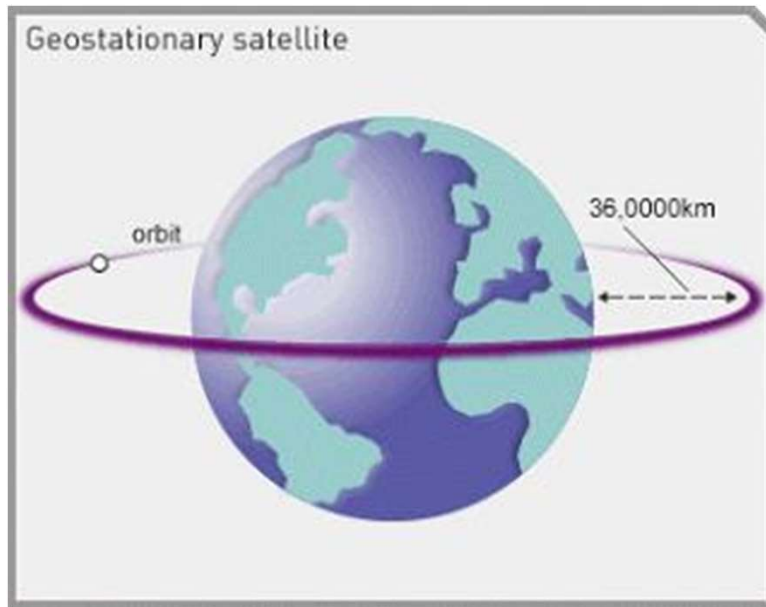
MEO = Medium Earth Orbit (5,000-10,000 km)

GEO = Geostationary Orbit (36,000 km)

HEO = Highly Elliptical Orbit



Satélites geoestacionarios



- Los satélites geoestacionarios se disponen a una altura de 36000 km sobre la superficie terrestre de modo que la línea de vista desde el satélite es tangente a la Tierra en puntos de 81° de latitud, aproximadamente, por lo cual no alcanzan a cubrir las zonas polares.
- Los satélites geoestacionarios, con el fin de proveer cubrimiento intercontinental están ubicados en posiciones distribuidas sobre las tres regiones oceánicas (Atlántico, Pacífico e Indico).

Satélites geoestacionarios

- Generalmente, la distancia total del enlace Tierra-satélite-Tierra es de alrededor de 75000 km, lo que produce un retardo de propagación de 250 ms
 - este retardo puede ser perceptible en comunicaciones telefónicas interactivas y, además, obliga a utilizar equipos canceladores de eco.
- El satélite debe llevar combustible para mantener la posición geoestacionaria ante perturbaciones
 - además, en ciertos períodos del año, el satélite cae en la zona de sombra de la tierra un cierto tiempo al día por lo cual es necesario cargar baterías previamente desde las celas solares.
- Alrededor de los equinoccios (21 de Marzo, 21 de Septiembre) tanto el sol como el satélite estacionario están dentro del haz de radiación de la estación terrena, lo cual origina severos deterioros de la razón señal /ruido debido al ruido radioeléctrico emitido por el sol, pudiendo producir el corte del enlace durante algunos minutos por día.

Cuadro comparativo

Features	GEO	MEO	LEO
Height (km's)	36,000	6,000-12,000	200-3 000
Time per Orbit (hrs)	24	5-12	1.5
Speed (kms/ hr)	11,000	19,000	27,000
Time delay (ms)	250	80	10
Time in site of Gateway	Always	2-4 hrs	< 15 min
Satellites for Global Coverage	3	10-12	50-70

Sistemas en órbita baja y media

<u>Constellation Name</u>	<u>Country</u>	<u>num. Satellites</u>	<u>Altitude [km]</u>	<u>Bands</u>	<u>Service Start</u>
Starlink, SpaceX	USA	42000	340 (~30k), 550 (~12k)	Ku, Ka, V	2020-2021
OneWeb	UK / IND	7000	1200	Ku	2022
Iridium	USA	75	780	L	2018
Telesat	CAN	512	~1000	Ka	2021-2025
Kuiper, Amazon	USA	3236	590, 610, 630	?	2022-2025
Samsung	KOR	4700	1400	?	2022-2030
Ubiquity – Lynk	USA	10+5000	500, 550	Ka, S	2022-2025
Kepler Comm.	USA	140	575	X, Ku	2021
Athena, Facebook	USA	>>10000	500, 550	?	2021-2030
LeoSAT	USA	108	1400	Ka	2022
Roscosmos	RU	640	870	L, X	2022-2026
StartRocket	RU	1400	450	optical	2022-2024
CASIC Hongyun	CHI	864	~1000	L, Ka	2022-2024
CASIC Xingyun	CHI				
CASC Hongyan	CHI	320	1100	L, Ka	?
Galaxy Space	CHI	144	~600	Ka, V	?
GW	CHI	12992	500/600 (~6k), 1145 (~6,9k)	V	?
Gelly	CHI	> 500 sat/year	<1000	L, Ku	2022-2024
Huawei	CHI	10000	<1000	<1THz (6G)	2022-2030
LuckyStar	CHI	156	1000	S	?
Commsat	CHI	800	600	optical	?
Xinwei	CHI	32	600	C, Ka, Ku	?
Sky & Space Global (3U Cube)	UK	200	From 500 to 800	L, S	2018
Astro Tech	IND	600	1400	C	?
Boeing	USA	3116	1200	V, C, Ka	withdrawn
Cube/NanoSATs	several	3100 + 1.5k/yr	from 200 to 2000 Most <600	various	>2005 Low orbit decayed
ALL	TOTAL	>100k Satellites	<1400	[1; 1000]GHz	within 2030
Authorization from NDRC Chinese National Development and Reform Commission			Authorization from FCC US Federal Communication Commission		

Bandas de frecuencias de enlaces satelitales

Band	Downlink, GHz	Uplink, GHz	Bandwidth, MHz
L	1.5	1.6	15
S	1.9	2.2	70
C	4	6	500
Ku	11	14	500
Ka	20	30	3500

Ventajas de enlaces satelitales (1)

- Los enlaces mediante satélites geoestacionarios tienen varias ventajas.
 - La característica de radiodifusión, hace que los satélites sean muy atractivos para la transmisión de televisión, pudiendo cubrirse un continente completo con un solo satélite.
 - El costo de las comunicaciones satelitales es independiente de la distancia entre la fuente y el destino. Sin embargo, los sistemas satelitales punto a punto son económicamente competitivos con los sistemas de microondas terrestres y de fibra óptica, siempre que la distancia entre los extremos del enlace sea grande (p.ej., mayor que 500 km) y el tráfico no sea demasiado alto.
 - Un sistema satelital puede ser especialmente adecuado en caso que se requiera comunicar entre sí a un gran número de pequeñas islas o a una gran cantidad de pequeños poblados en distintos valles de una región montañosa.
 - Las estaciones terrenas pueden ser instaladas rápidamente y el servicio satelital puede ser contratado a corto plazo o en forma ocasional, lo que hace que los satélites sean adecuados para proveer comunicaciones sin mayor aviso previo o para períodos limitados de tiempo (p.ej., en caso de eventos especiales o luego de desastres).

Ventajas de enlaces satelitales (2)

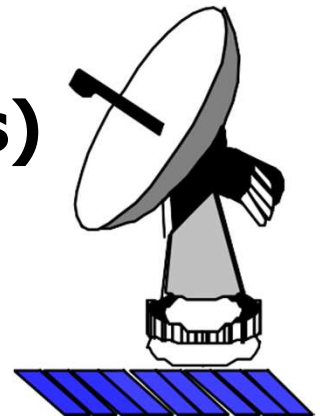
- El más fuerte competidor de los enlaces satelitales es el cable submarino de fibras ópticas.
 - Frente a esta última tecnología, los sistemas satelitales están desventaja en lo referente a tiempo de propagación, capacidad, y calidad de transmisión.
- Los sistemas satelitales presentan ventajas indiscutibles debido a su capacidad multiacceso, flexibilidad frente a cambios de tráfico, conectividad multipunto y extensa cobertura especialmente apta para la radiodifusión (audio y TV); adicionalmente, permiten soportar tráfico con puntos móviles y establecer rutas de pequeño, mediano y alto tráfico, a diferencia del cable submarino que se justifica exclusivamente en rutas de alto tráfico.

Optimización de recursos: potencia y ancho de banda

- En los sistemas satelitales, el recurso escaso es la **potencia** y el **ancho de banda**
 - para optimizar el uso de estos parámetros, se dispone de una variada gama de transpondedores de acuerdo a las diferentes aplicaciones, tendiéndose a una cada vez mayor flexibilidad en su administración por parte del usuario.
- Debido a las limitaciones de potencia de transmisión de los satélites y peor desempeño de sus antenas, el enlace descendente (satélite–estación terrena) generalmente es mas crítico que el enlace ascendente (p.ej., la potencia de transmisión de un satélite puede ser del orden de un centésimo de la potencia de transmisión de una estación terrena).

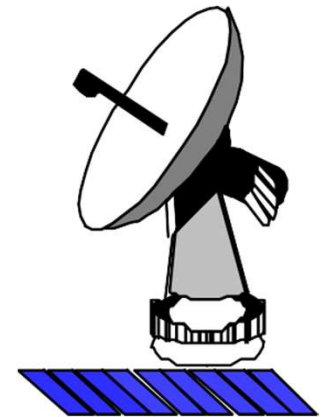
Tecnologías principales

- **SCPC (Single Channel Per Carrier)**
- **DAMA (Demand Assignment Multiple Access)**
- **VSAT (Very Small Aperture Terminal)**



Técnicas de acceso múltiple

- **FDMA (Frequency Division Multiple Access)**
- **TDMA (Time Division Multiple Access)**
- **CDMA (Code Division Multiple Access)**
- **DAMA (Demand Assigned Multiple Access)**



Técnicas de acceso múltiple con asignación fija

- Las técnicas de acceso múltiple con asignación fija se clasifican de acuerdo a la forma de compartición del transpondedor:
 - **Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).** Esta técnica asigna frecuencias distintas a cada estación terrena que requiera acceder a un transpondedor común. Su desventaja es el ruido de intermodulación generado en el paso simultáneo de muchas portadoras a través del transpondedor cuya característica no es perfectamente lineal.
 - **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).** En esta técnica de acceso, la transmisión del tráfico se realiza mediante el uso compartido por los usuarios de todo el ancho de banda del transpondedor, de manera secuencial en el tiempo. La técnica TDMA es ventajosa frente a FDMA ya que el acceso al transpondedor del satélite mediante una frecuencia única aumenta su capacidad para cursar tráfico (la potencia y el ancho de banda del transpondedor se aprovechan al máximo en cada transmisión).
 - **Acceso múltiple por división de código (CDMA).** En esta técnica de acceso todas las estaciones terrenas pueden transmitir al mismo tiempo y utilizar todo el ancho de banda asignado al canal del sistema de comunicación. Las transmisiones de cada estación terrena se codifican con una palabra binaria única llamada código de chip (para este efecto, el tiempo de bit o tiempo de símbolo se divide en un cierto número entero de tiempos de chip). Cada estación tiene un código de chip único.

Comunicaciones Satelitales

Elementos básicos

- ♦ Segmento Espacial (Transponder)
 - Tipo de Haz de Cobertura y Banda.
- ♦ Segmento Terrestre
 - Estaciones Terrenas o Terminales Terrestres.
 - Estación Maestra, Hub o Telepuerto.
- ♦ Medio de Propagación

Segmento espacial

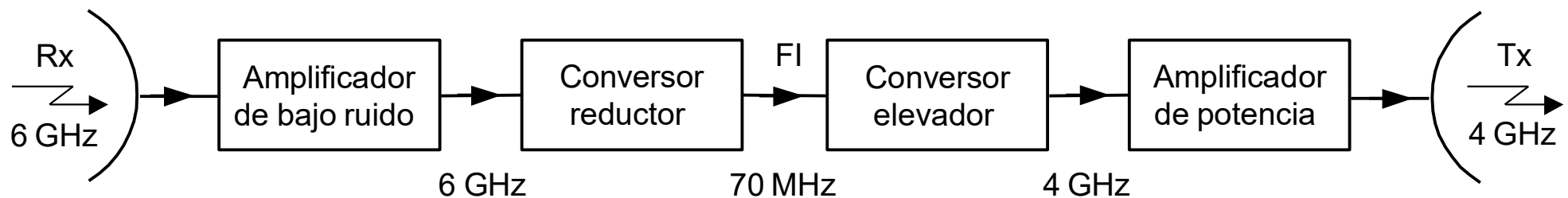
- El segmento espacial de un sistema de comunicación satelital consiste en los satélites propiamente tales y las instalaciones en tierra que efectúan las funciones de apoyo logístico y seguimiento de los satélites.
 - Los satélites son los encargados de re-emitir las señales radioeléctricas provenientes de las estaciones terrenas.
- En las redes de comunicaciones internacionales, el segmento espacial comprende varios satélites activos en explotación, que generalmente describen órbitas geoestacionarias.

Segmento espacial

Las partes fundamentales de un satélite son las antenas y los transpondedores. Los satélites pueden tener decenas de transpondedores que reciben las señales transmitidas desde Tierra, las amplifican y mediante un conversor-reductor (“down-converter”) cambian la frecuencia de estas señales a una frecuencia intermedia FI (p.ej. 70 MHz, 140 MHz o 1 GHz) o a la banda base (BB); luego un conversor elevador (“up-converter”) convierte la de FI a la frecuencia de transmisión y las señales se transmiten de vuelta a la Tierra con un adecuado nivel de potencia.



Diagrama simplificado de un Transpondedor operando en Banda C



Características de antenas de satélites

- Las antenas de los satélites están diseñadas para iluminar aquellas áreas de la Tierra donde se debe proveer el servicio.
 - Algunos servicios como el móvil marítimo o aeronáutico, pueden requerir iluminación de todo el hemisferio de la Tierra visible desde el satélite.
 - Otros servicios requieren de sólo una pequeña área.
- De acuerdo al área cubierta, los haces de las antenas satelitales se clasifican en: **global**, **hemisférico**, **zonal**, y **pincel** (spot).
 - La ventaja de iluminar un área reducida es que la señal recibida en tierra es más potente, pudiendo ser captada satisfactoriamente por una antena de menor tamaño.

Segmento terrestre

- El segmento terrestre de un sistema satelital comprende las estaciones terrenas transmisoras y receptoras.
 - Para servicios internacionales, normalmente las estaciones terrenas están conectadas a redes terrestres de transporte de fibra óptica y microondas.
- En la estación terrena, la señal de banda base modula a una portadora de frecuencia intermedia (FI), la que luego es elevada a una frecuencia de microondas, amplificada y transmitida desde una antena. En recepción se efectúa el proceso inverso.

Ángulos de vista

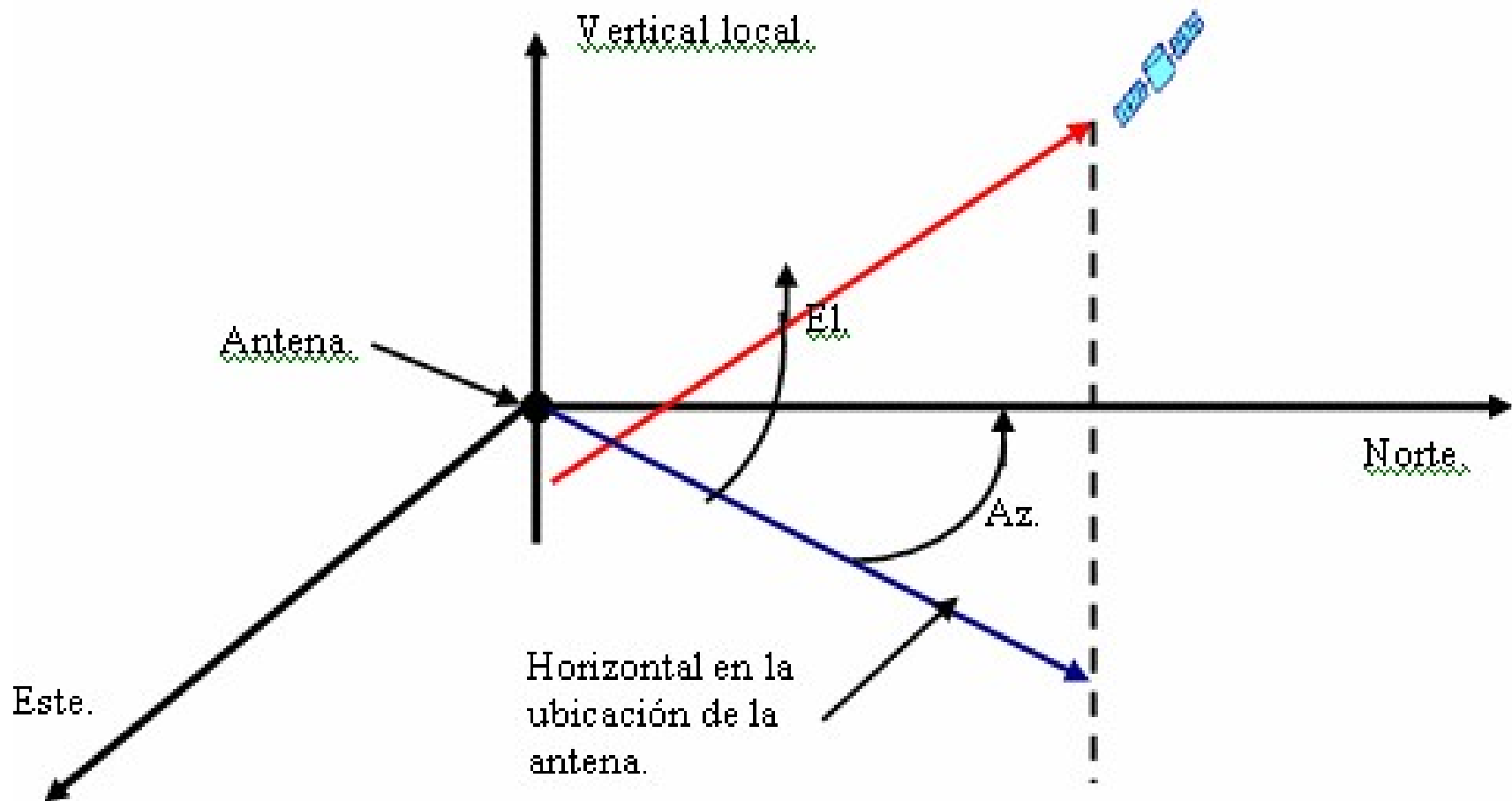
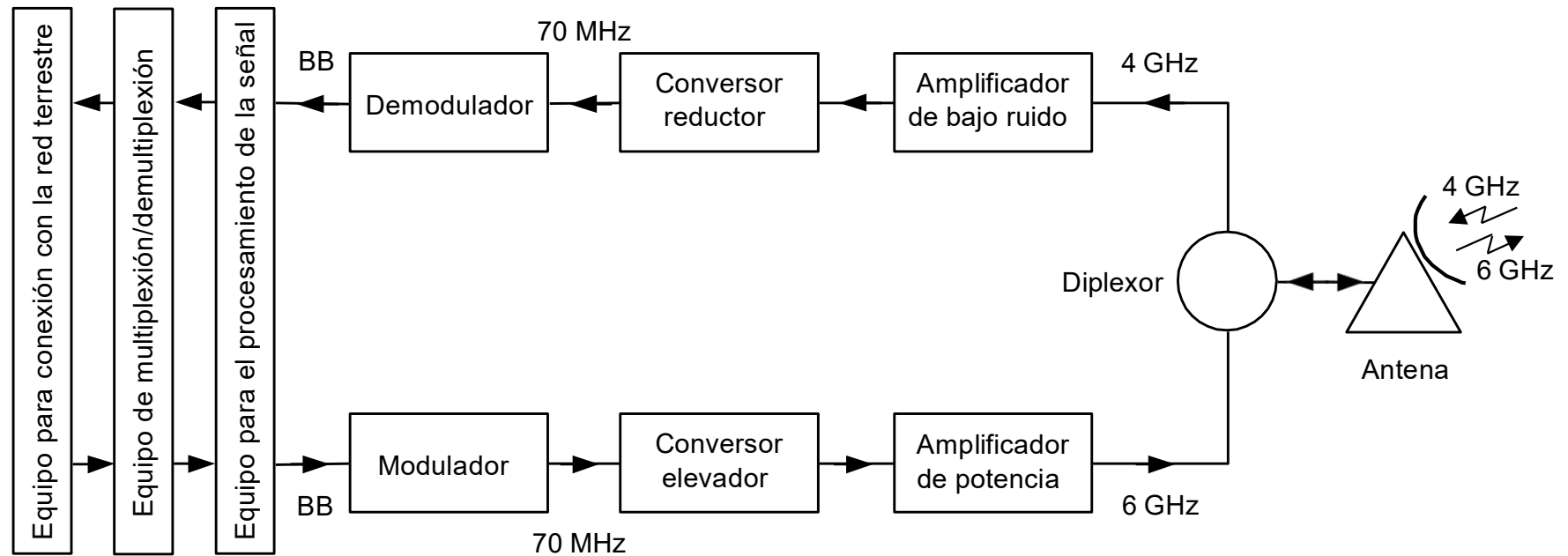


Diagrama simplificado de una Estación Terrestre operando en Banda C



Equipos y subsistemas de una estación terrena

- Subsistema de antena.
- Amplificador de bajo ruido LNA (Low Noise Amplifier).
- Amplificador de potencia HPA (High Power Amplifier).
- Equipos conversores de frecuencia, moduladores y demoduladores.
- Equipo para el proceso de señales (sincronización, codificación/decodificación, corrección de errores).
- Equipo de multiplexión/desmultiplexión.
- Equipo de conexión con red terrestre.
- Equipo auxiliar (supervisión, telecomando, medición).
- Subsistema de alimentación de energía.
- Infraestructura general (locales, edificios, obras civiles).

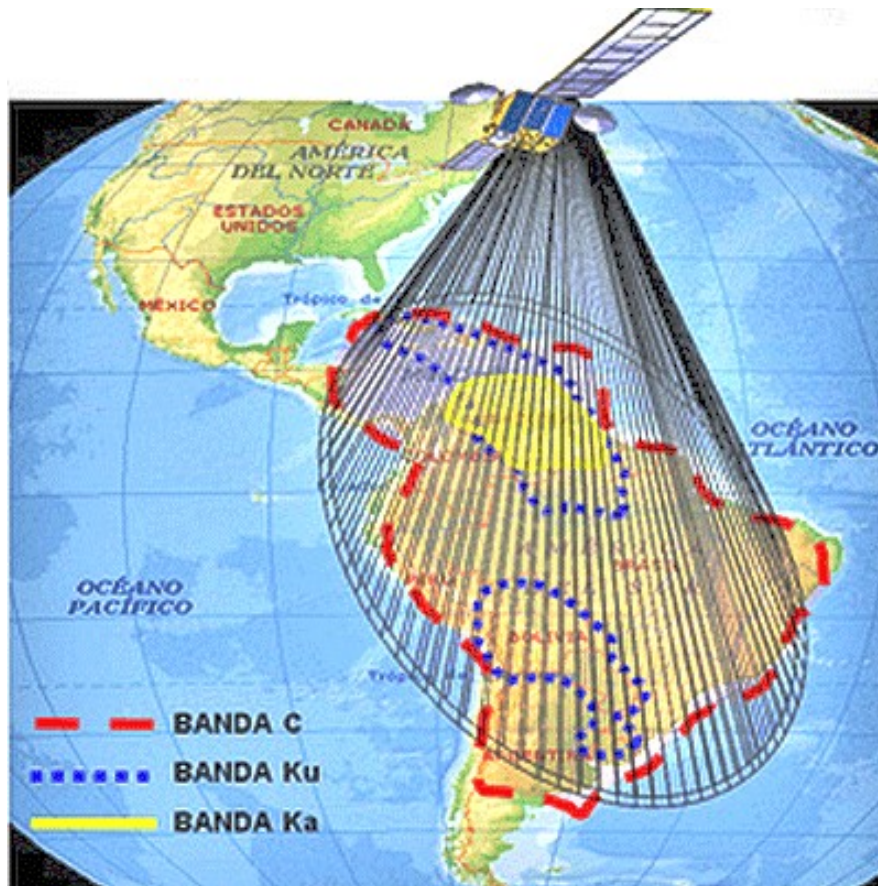
Subsistema de antena de una estación terrena

- El diseño de la antena de la estación terrena es muy importante ya que además de maximizar la directividad para un tamaño dado, debe asegurar que la radiación lateral sea suficientemente baja como para no producir interferencias en satélites vecinos.
- El subsistema de antena incluye el **reflector parabólico** y su **alimentador**, el **diplexor** (dispositivo encargado de separar las señales de transmisión de las de recepción) y todos los **mecanismos de control** para determinar y mantener la orientación de la antena hacia el satélite (considerando que en la práctica, la posición orbital del satélite sufre pequeñas perturbaciones).

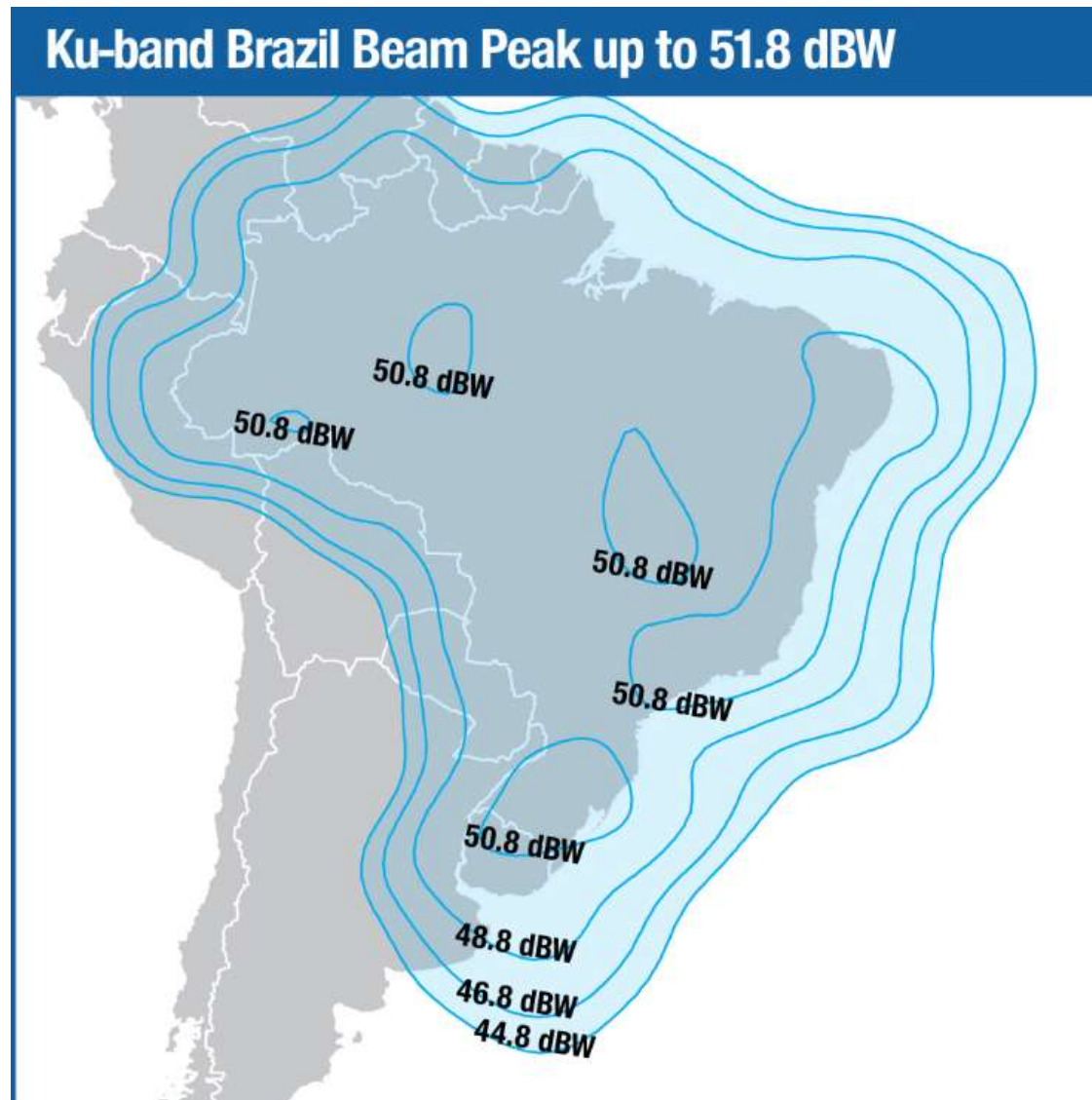
Amplificador de bajo ruido (LNA) de una estación terrena

- El receptor de bajo ruido es un aspecto crítico ya que su desempeño es un factor esencial para facilitar el establecimiento del enlace descendente satélite-estación terrena, normalmente sujeto a más dificultades que el enlace ascendente.
- En las estaciones terrenas de mayor costo, es común que el amplificador de bajo ruido a la entrada del receptor sea enfriado a muy bajas temperaturas para disminuir el ruido térmico.
 - En algunos diseños, este amplificador se instala cerca de la bocina alimentadora de la antena para reducir pérdidas y ruido adicional.

Satellite Footprint



Satellite Footprint - Intelsat 21 at 302° E



Satellite Network Configurations

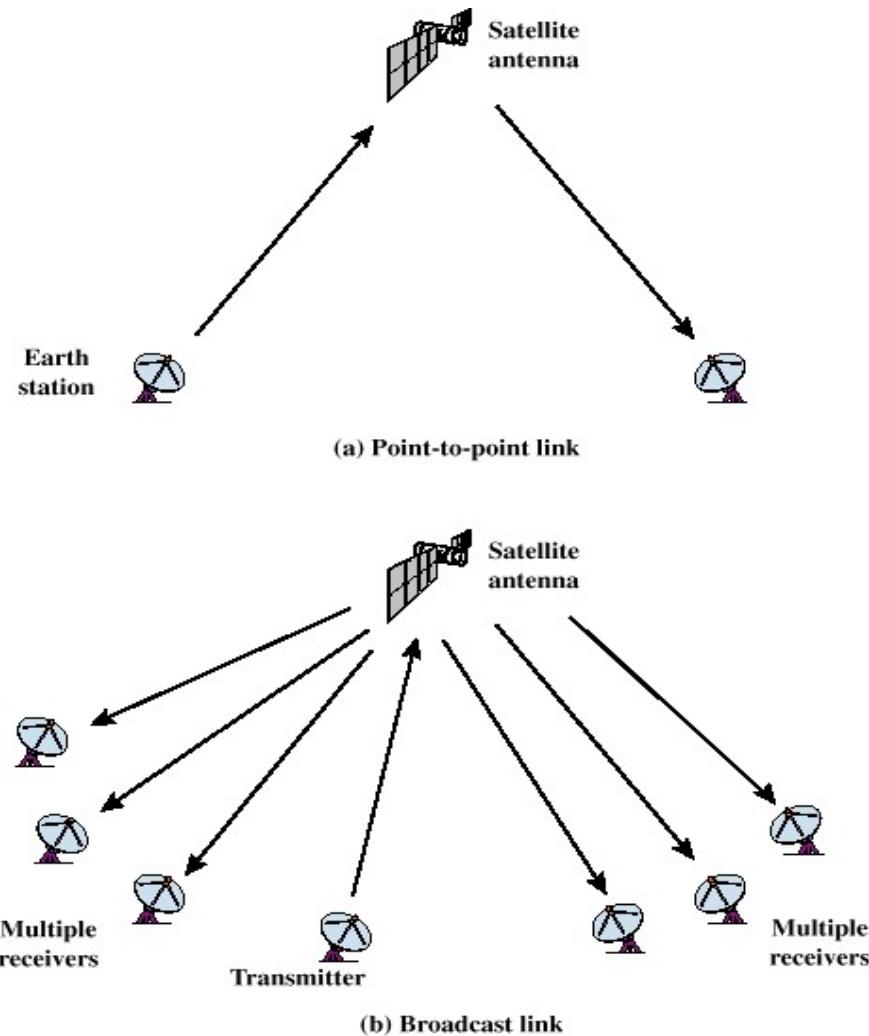
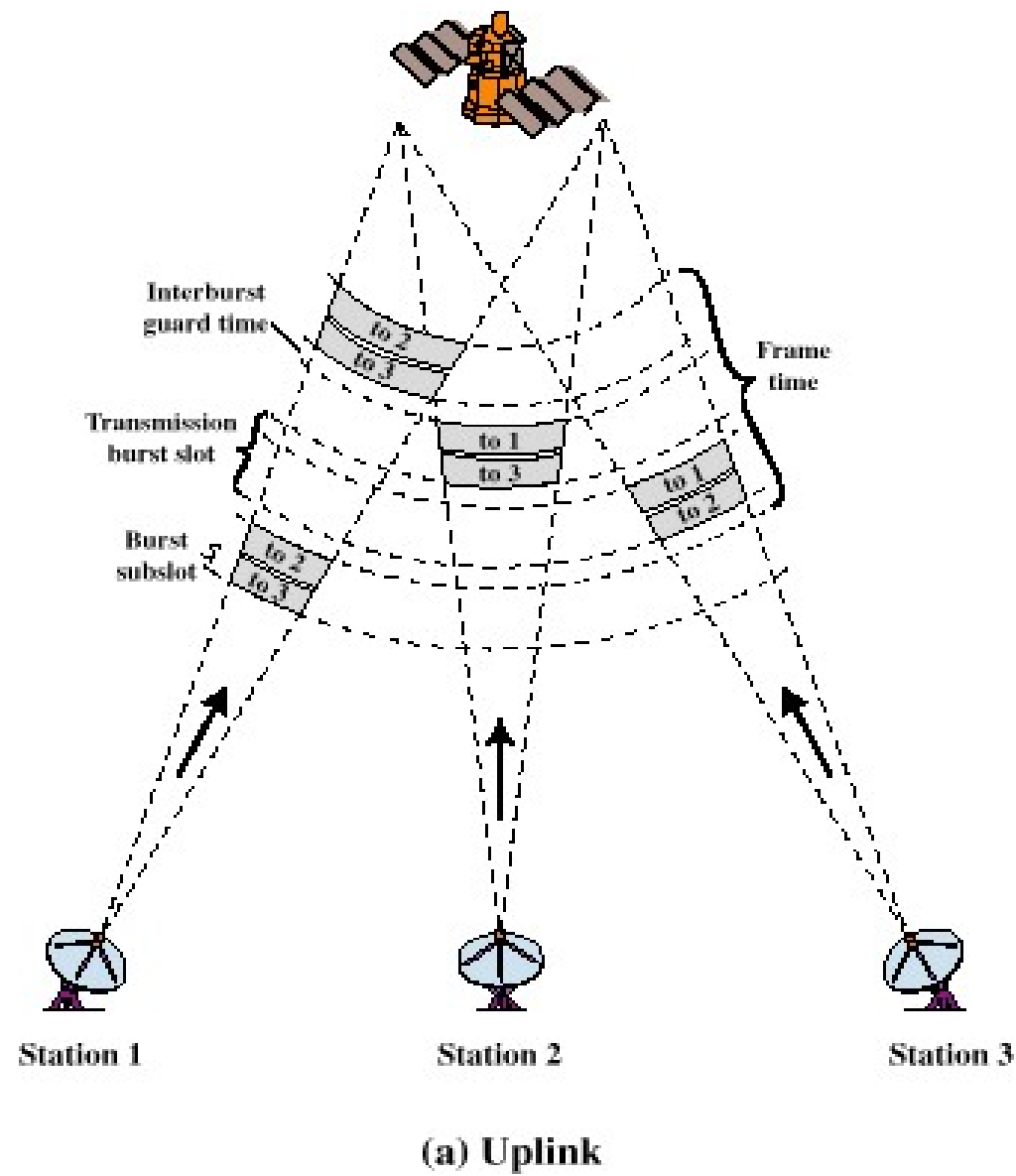


Figure 9.8 Satellite Communication Configurations

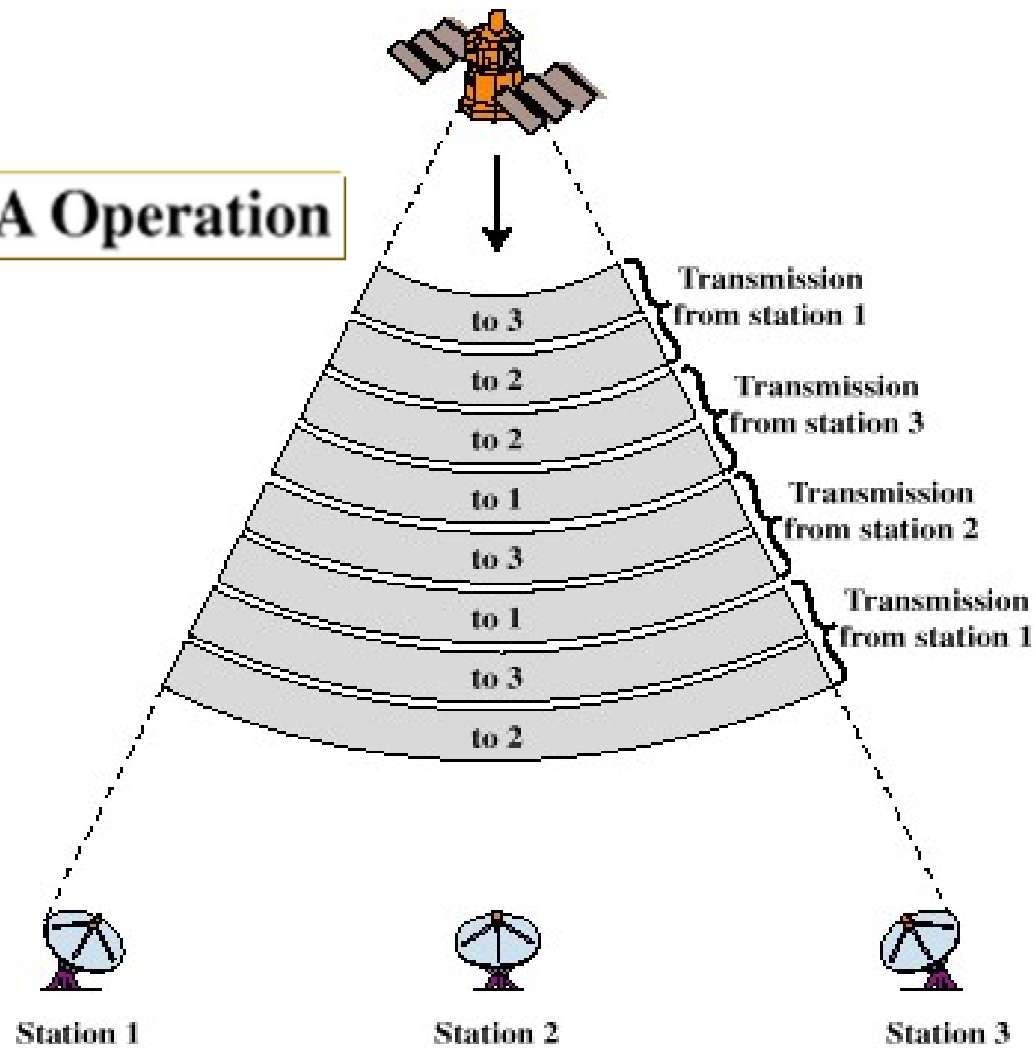
FAMA-TDMA Uplink



FAMA-TDMA Downlink



FAMA-TDMA Operation



(b) Downlink

Tipos de satélite



Constelaciones satelitales de órbita baja

