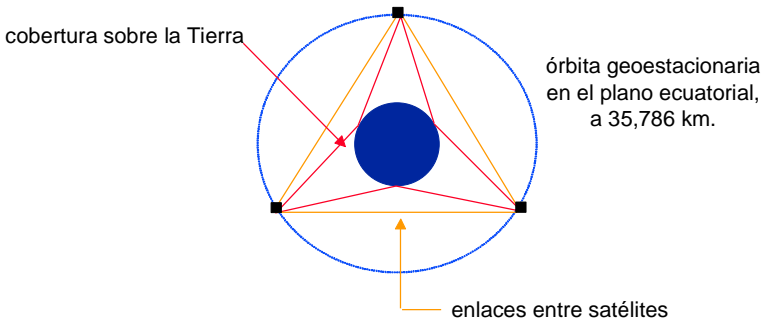


- Propagación de ondas electromagnéticas
- Modulación
- Métodos de corrección de errores
- Aspectos regulatorios en radioenlaces
- Estructura del radio digital
- Diseño de un radioenlace
- Nuevas aplicaciones con radioenlaces
- Funcionamiento y estructura del satélite
- Técnicas de acceso múltiple
- Cálculo de enlace satelital
- Equipo satelital terrestre
- Redes VSAT y Sistema GPS
- Servicios satelitales en México y en el mundo
- Nuevas aplicaciones con satélites

- ✓ Historia de los satélites
- ✓ Funcionamiento básico
- ✓ Tipos de órbitas
- ✓ Ubicación en órbita
- ✓ Segmento espacial y terrestre
- ✓ Subsistemas de un satélite
- ✓ Haces y coberturas
- ✓ Bandas de frecuencias
- ✓ Aplicaciones
- ✓ Ventajas y desventajas
- ✓ Comparaciones con otros medios

- ✓ El desarrollo de las comunicaciones satelitales, al igual que las microondas, se vio favorecido durante la Segunda Guerra Mundial.
- ✓ **Arthur C. Clarke**, escritor de ciencia ficción, mencionó por primera vez en 1945 el concepto de una red de 3 satélites geoestacionarios, para lograr una comunicación global.
- ✓ Las longitudes de los satélites serían: 30° E, 150° E y 90° W.



- ✓ 1957 Primer satélite **Sputnik**, de origen ruso.
- ✓ 1960-1962. La NASA llevó a cabo varios proyectos: **Echo**, **Courier**, **Telstar AT&T** y **Relay**.
- ✓ 1963. Primer satélite geoestacionario de la NASA **Syncom II**.
- ✓ 1965. Primer satélite de comunicaciones ruso **Molnya**.
- ✓ 1965. COMSAT fue la primera compañía privada en lanzar un satélite: **Early Bird**. Sirvió durante 6 años. Fue usado durante las olimpiadas 1968.
- ✓ 1965. Surge **INTELSAT** como la primera organización internacional con el objetivo de establecer y operar una red de satélites para comunicaciones en todo el mundo.
- ✓ Posteriormente, surgen nuevas organizaciones como **INMARSAT**, **EUTELSAT**, **ARABSAT**, **ASIASAT**, **PANAMSAT**, etc.
- ✓ Proyecto **ACTS** de la NASA para aumentar la capacidad, potencia y funcionalidad de los satélites.

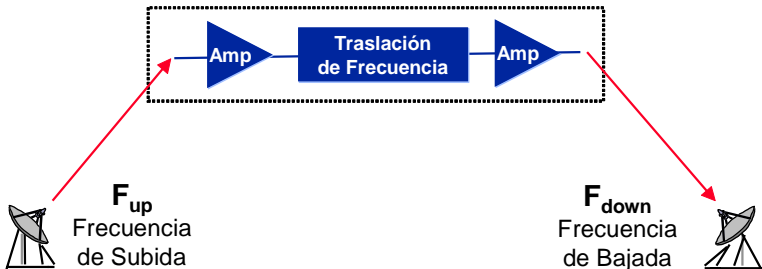
INTELSAT.- International Telecommunications Satellite Organization

ACTS.- Advanced Communication Technology Satellite

Potencia promedio = 500 pW

Satélite

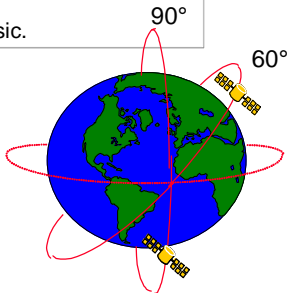
Potencia promedio = 50 W



- ✓ F_{up} y F_{down} son diferentes con el fin de no interferir una señal con otra.
- ✓ Se tienen amplificadores para reconstruir la señal de Rx y para proporcionar la ganancia necesaria a la señal de Tx.

Tipos de órbitas: Bajas

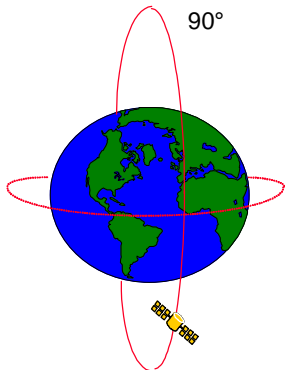
- ✓ Geometría casi circular, con ángulo de inclinación entre 60° y 90° .
- ✓ Tiempo de rotación alrededor de la Tierra: de 90 a 100 minutos.
- ✓ Altura: entre 300 y 800 km AMSL (*sobre el nivel del mar*).
- ✓ Aplicaciones: Observaciones astronómicas y científicas.
- ✓ En la actualidad se emplean para las comunicaciones móviles, usando satélites de alta potencia y reduciendo así el tamaño de las antenas.
- ✓ Proyectos: Iridium, Globalstar, Teledesic.



LEO: Low Earth Orbit

Tipos de órbitas: Polares

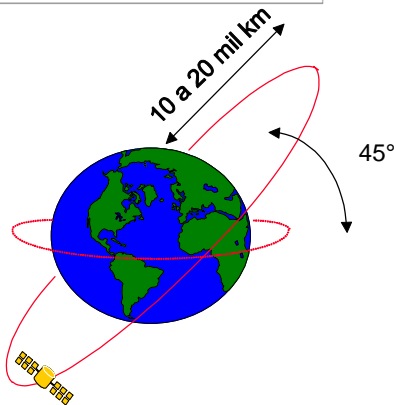
- ✓ Geometría circular, con ángulo de inclinación de 90° .
- ✓ Tiempo de rotación: 100 minutos.
- ✓ Altura: 800 km AMSL.
- ✓ Aplicaciones: Observaciones meteorológicas.



Tipos de órbitas: Intermedias

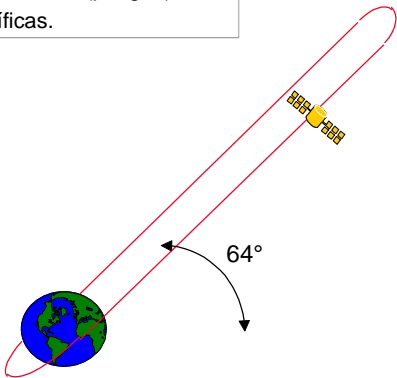
- ✓ Geometría circular, inclinadas respecto del Ecuador.
- ✓ Tiempo de rotación: 120 minutos.
- ✓ Altura: entre 10,000 y 20,000 km AMSL.
- ✓ Aplicaciones: Sistema GPS y comunicaciones móviles.

MEO: Medium Earth Orbit



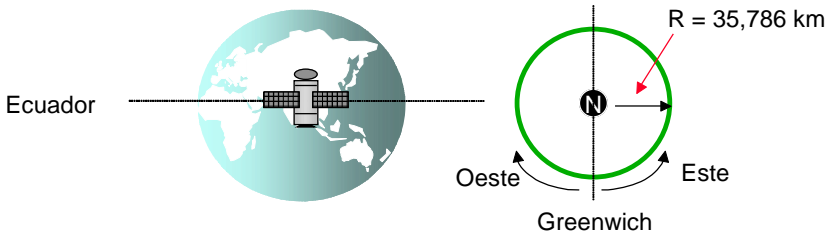
Tipos de órbitas: Elípticas

- ✓ Geometría en forma de elipse.
- ✓ Con ángulo de inclinación de 64° respecto del Ecuador.
- ✓ Tiempo de rotación: 12 horas
- ✓ Altura: entre 600 km (apogeo) y 40,000 km (perigeo).
- ✓ Aplicaciones: Observaciones científicas.



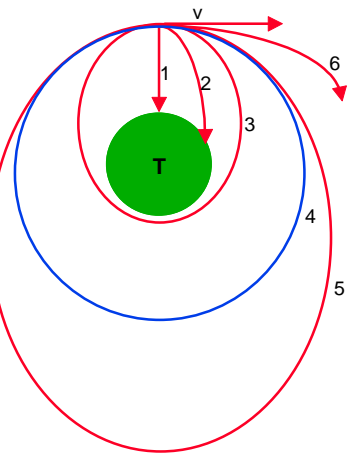
Tipos de órbitas: Geostacionarias

- ✓ Geometría circular
- ✓ En el mismo plano del ecuador
- ✓ Posición fija respecto de la tierra
- ✓ Rotación: 86,160 seg (día sideral)
- ✓ Altura de 35,786 km AMSL
- ✓ Aplicaciones: Meteorología y Comunicaciones



Ubicación de un satélite geoestacionario

¿ Porqué un satélite geoestacionario debe estar a una altura de 35,786 km ?



Dependiendo de la velocidad inicial v con que es lanzado el satélite, la trayectoria de éste tomará las indicadas como 1, 2...6. En 1, $v=0$. Para 6, $v=\infty$.

En el caso 4, el satélite tomará una órbita completamente circular. En tal caso, la fuerza de gravitación igualará a la fuerza debida a la rotación:

$$GMm/r^2 = mv^2/r$$

M masa de la Tierra
 5.974×10^{24} kg

m masa del satélite

G constante de gravitación
 6.672×10^{-11} m³/kg·seg²

r altura del satélite

v velocidad del satélite

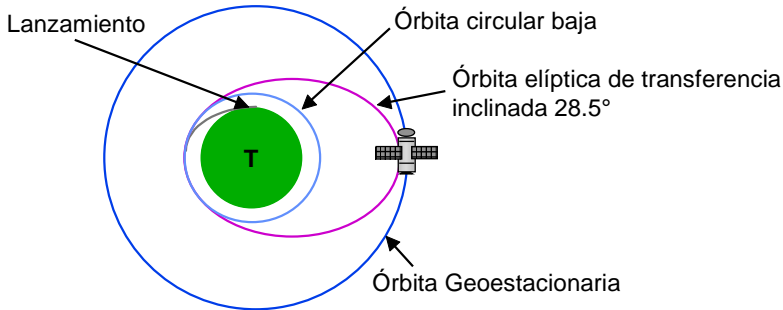
Dada la velocidad de rotación necesaria

$$v = 2\pi r / 86160 \text{ seg}$$

$$r = 42,162 \text{ km}$$

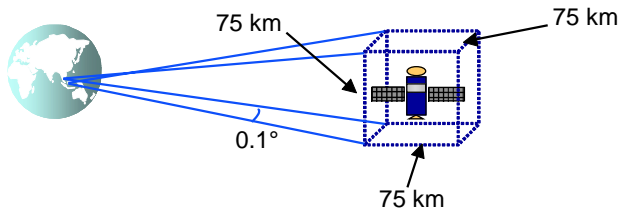
Altura sobre el nivel del mar = **35,786 km**

Puesta en órbita del satélite

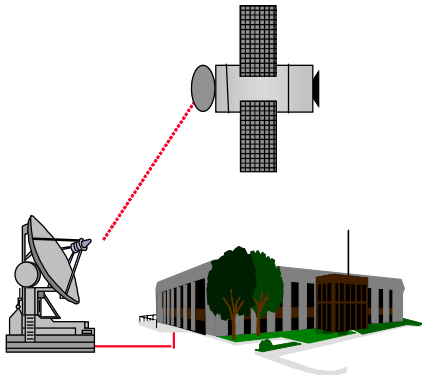


- ✓ El lanzador libera al satélite para que siga una órbita geosíncrona
- ✓ Da varias vueltas para ajustar posición y velocidad
- ✓ En el perigeo se enciende el motor correspondiente y se integra a la órbita geoestacionaria

Posición del satélite en su órbita



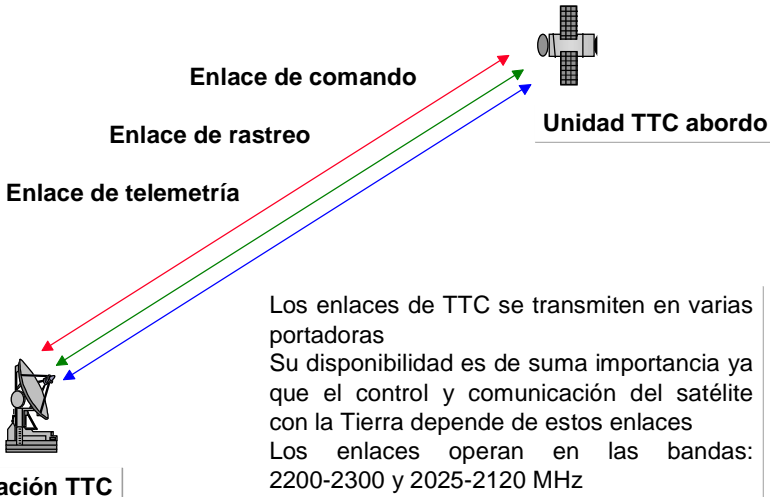
- ✓ El Satélite se desvía de su posición por :
 - Atracciones de la Luna (70%) y el Sol (30%)
 - Asimetría del campo gravitacional de la Tierra
 - Campos magnéticos y colisiones con meteoritos
- ✓ Se corrige mediante propulsores y giroscopios
- ✓ Al agotarse el combustible se acaba la vida útil del satélite



Estación de Telemetría y Control
Telemetry, Tracking & Command

Segmento Espacial

Este segmento contiene al satélite y a la central terrestre de monitoreo de todas las funciones del satélite



- ✓ Recibir las señales de control de la Tierra para iniciar el modo de operación del equipo
- ✓ Transmitir resultados de mediciones, información concerniente a la operación del satélite y verificación de la ejecución de los comandos
- ✓ Monitorear la distancia entre la Tierra y el satélite, así como su velocidad

Control del Sistema de Satélites Mexicanos



CONTEL (Conjunto de Telecomunicaciones)
Iztapalapa, Cd. de México

Funciones

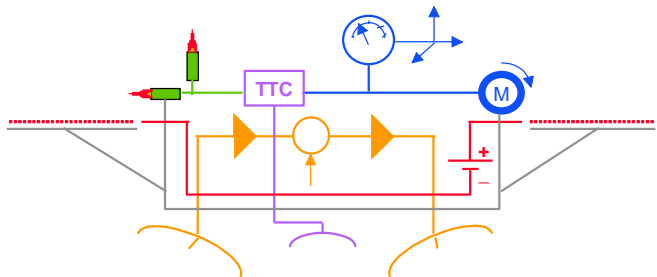
Procesar datos de telemetría, determinar posición y estado del satélite, calcular parámetros orbitales, activar actuadores de orientación y supervisar servicios y usuarios de telecomunicaciones

Infraestructura

Antena de 11 metros para Solidaridad 1 y 2, y Satmex 5
Antena de 12 metros versátil para soporte
Centro de control, telemetría, rastreo y comando



Subsistemas de un satélite (1)



Control de orientación



Estructura física



Equipo de telemetría



Suministro de energía



Equipo de propulsión



Sistema básico



Estructura física

Provee protección mecánica al satélite en sí. Se desea que la estructura sea lo más grande posible para soportar las antenas, contener los equipos electrónicos y almacenar suficiente energía y baterías solares, ya que esto último influye en el tiempo de vida útil del satélite

Las dimensiones de la estructura están limitadas por la capacidad de los lanzadores para transportarlos y colocarlos en su órbita



Control de orientación

Estabiliza al satélite para evitar que se salga de dirección, también mantiene las antenas en su orientación correcta. Existen 2 métodos estabilizadores:

Giro estabilizado

el satélite se mantiene girando en su eje a 100 RPM

Estabilización triaxial

acelerómetros detectan cambios en las 3 posiciones y corrigen por medio de estabilizadores giroscópicos (rueda de momento)



Suministro de energía

El satélite es alimentado por baterías solares y por baterías de níquel-cadmio durante los eclipses



Equipo de telemetría TTC

Constantemente verifica la órbita del satélite sin desviaciones respecto de la Tierra; también supervisa la calidad de la señal de recepción para ajustar la ganancia. Esta información se envía constantemente a la Tierra (segmento espacial)



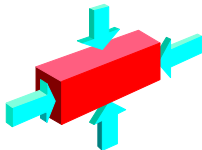
Equipo de propulsión

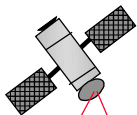
Sistema de pequeños cohetes propulsores que corrigen cualquier desvío del satélite de su órbita original. Requiere de almacenamiento de combustible, lo cual determina la vida útil del satélite



Sistema básico

Realiza la función principal del satélite: recibir la señal, amplificarla, trasladarla en frecuencia, darle potencia y retransmitirla a la Tierra





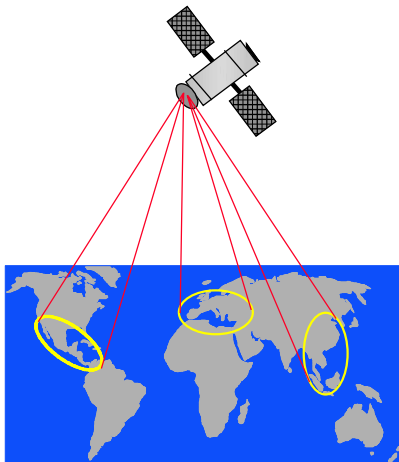
Es posible tener más ganancia reduciendo la cobertura.



Opciones características:

- ✓ Interconexión de muchas estaciones (cobertura extensa).
- ✓ Disposición de presupuesto de potencia favorable (cobertura reducida).

Satélites “Multi Beam”



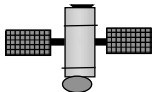
Cobertura total igual a la suma de las coberturas individuales

- ✓ Con un sistema satelital “multi beam” se mejora el desempeño de la red; se extiende la cobertura total guardando una aceptable calidad de recepción.
- ✓ Lo anterior es posible gracias a la conjunción de varios haces con ángulos reducidos, pero con ganancias en las antenas incrementadas.
- ✓ Con este sistema es posible dar forma especial al contorno como se verá en “tipos de haces”.

Técnicas de interconexión entre regiones

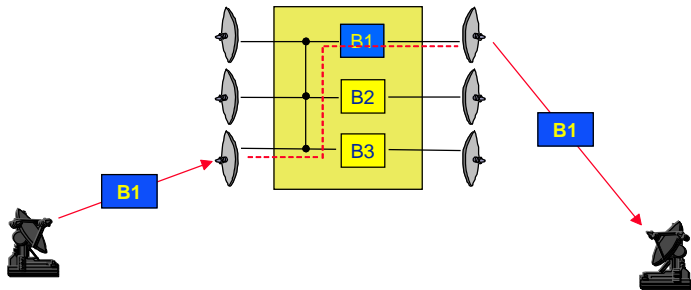
Para la interconexión de coberturas en un satélite multi beam, se empleará alguna de las siguientes técnicas

- ✓ Transponder Hopping
- ✓ Beam Scanning
- ✓ On-Board Switching

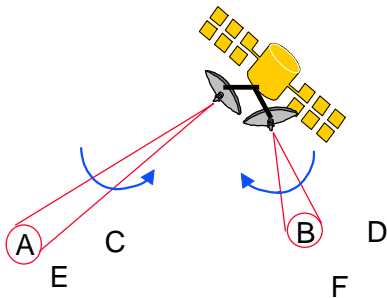


Transponder Hopping

- ✓ El ancho de banda asignado al sistema se divide en sub-bandas, tantas como el número de haces en el sistema.
- ✓ Se transmite a una frecuencia portadora correspondiente al haz de bajada; por medio de filtros, se retransmitirá sólo por la antena asignada a la región destino. Esta técnica se emplea cuando el número de haces es pequeño.

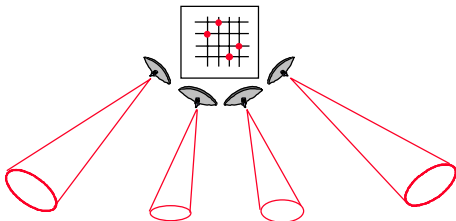


- ✓ En este método, se cubren varias regiones con el mismo haz, "iluminando" primero una región y luego otra. Este movimiento de la antena, es realizado por un subsistema de orientación, tanto para el enlace de subida como para el de bajada.
- ✓ La conexión del punto A con el punto B, su duración y las siguientes conexiones entre puntos o regiones, se determinan en el segmento terrestre.



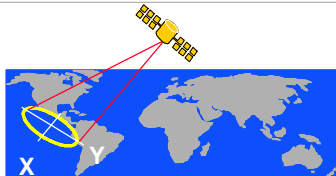
- ✓ Se basa en el principio de una matriz de conmutación.
- ✓ Cada estación terrena tiene un tiempo de conmutación asignado para transmitir, y recibe las señales de las estaciones restantes en tiempos específicos. La Unidad de Distribución establece la conexión entre un elemento de un haz y otro.
- ✓ Es un método digital y emplea sistemas de almacenamiento de datos previos a la retransmisión. Con él es posible establecer configuraciones punto-punto, punto-multipunto y viceversa.

Unidad de Distribución



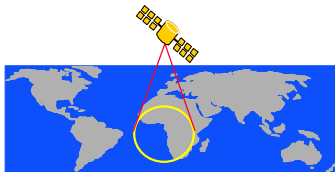
Elípticos:

Pequeñas variaciones en frecuencia, resultan en cambios en los parámetros X y Y.



Circular:

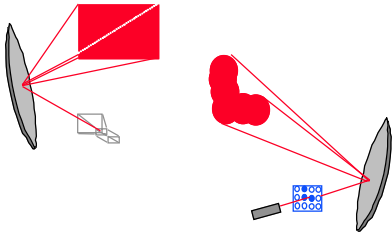
El ángulo de apertura puede variar, logrando coberturas reducidas o globales.



De perfil específico:

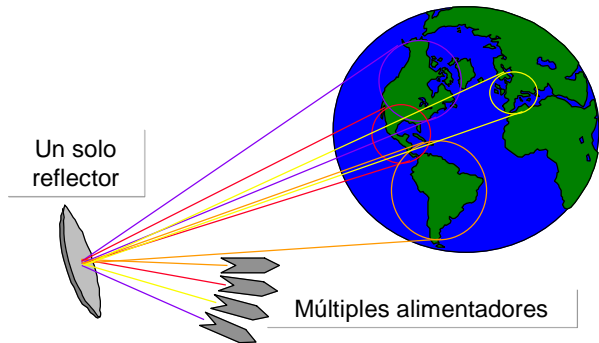
Dando la forma deseada al elemento radiador, el haz toma la misma forma dejándola como huella.

Dando la forma deseada con varios elementos radiadores.



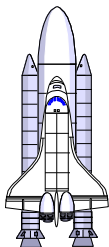
Multihaz

- ✓ Dirigiendo adecuadamente varios haces se logra una cobertura geométrica deseada; ésta puede ser de secciones aisladas o continuas.
- ✓ Recordar que en multihaz se pueden emplear mismas frecuencias y diferentes polarizaciones.

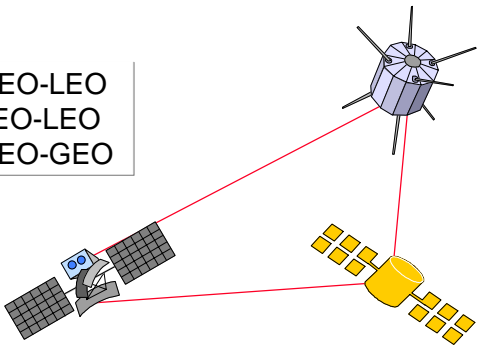


Enlaces intersatelitales ISL

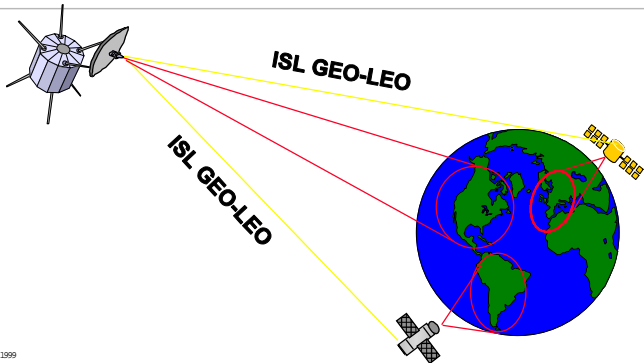
- ✓ Los enlaces intersatelitales pueden considerarse como un haz particular de un satélite multi beam; evidentemente para comunicaciones bidireccionales se tendrán dos haces de enlace intersatelital.
- ✓ Por la naturaleza de las órbitas de los satélites a intercomunicar, los enlaces se clasifican en:



- ✓ ISL GEO-LEO
- ✓ ISL LEO-LEO
- ✓ ISL GEO-GEO



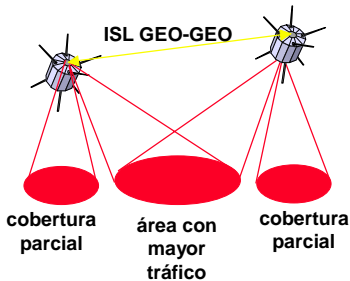
- ✓ Sirven para establecer un contacto permanente, vía un satélite geostacionario, entre varias estaciones y un grupo de satélites de órbita baja (500 a 1000 km).
- ✓ Usando un GEO no se requieren tantos LEOs para cubrir áreas mayores; el GEO constantemente será visible para las estaciones terrenas y para los LEOs.



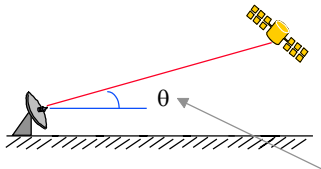
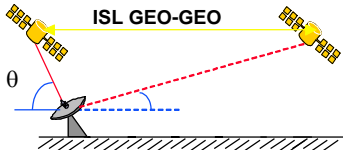
- ✓ El creciente congestionamiento de satélites geostacionarios y las ventajas de los satélites de órbitas bajas, han llevado a pensar en enlaces entre LEOs.
- ✓ Una característica de los satélites de órbita baja, es su limitada duración del tiempo de comunicación, así como su pequeña cobertura. Lo anterior puede solucionarse con una red a base de enlaces entre satélites LEO, tal es el caso del proyecto IRIDIUM para PCS.

La interconexión de GEOs se debe a las siguientes razones:

Incrementar la capacidad de un sistema y ampliar su cobertura total

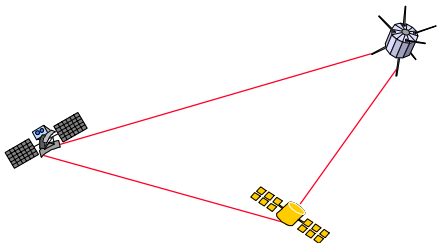


Mejorar la recepción ampliando el ángulo mínimo de elevación



inclinación susceptible a interferencias terrestres

Bandas de frecuencias para ISL



22.55-23.55

32 - 33

54.25 -58.2

59 - 64

116 - 134

170 - 182

185 - 190

Frecuencia (GHz) **f**

Valores acordes a las Regulaciones en Comunicaciones de 1986

Bandas de frecuencias

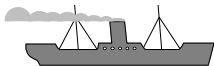
Banda	Subida (GHz)	Bajada (GHz)	Usos
L	1.600	1.400	Comunicaciones Móviles
C	5.925-6.425	3.700 - 4.200	Punto a punto Punto a multipunto
	5.850 - 7.075	3.400 - 4.200 4.500 - 4.800	
X	7.925-8.425	7.250 - 7.750	Militar (EU)
Ku	14.000-14.500	10.950-11.200 11.450-11.700	Punto a multipunto <i>Broadcast</i>
	12.750-13.250	10.700-11.700	
	14.000-14.500	11.700-12.200	
	17.300-17.800	12.250-12.750	
Ka	27.500-31.000	17.700-21.200	Experimental

Banda L

1.4 / 1.6

Esta banda se usa para las comunicaciones móviles y las antenas necesarias pueden ser de tipo Yagui o helicoidal, de dimensiones relativamente pequeñas.

Una particularidad de esta banda es que se distribuye en menos canales con potencias mayores, lo que permite una recepción suficiente en la antena de barcos y aviones.



La banda C fue la primera banda en utilizarse para comunicaciones satelitales comerciales.

En un ancho de 1 GHz, los ruidos naturales son mínimos, además la absorción debida a la atmósfera no es crítica.

Existen interferencias producidas por servicios terrestres que también utilizan esta frecuencia.

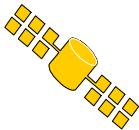


Banda C

6 / 4

Banda X

8 / 7.5



La banda X, al igual que la banda S, centrada en un ancho de 2 GHz, ha sido empleada en aplicaciones militares con satélites geoestacionarios, en comunicaciones gubernamentales y en experimentos.

Ku tiene sub-bandas que no son compartidas con radioenlaces terrestres. Por lo general se usa para servicios directos con antenas de radio pequeño. Las frecuencias de subida y de bajada varían según la región del mundo, pero son fijadas por acuerdos internacionales.

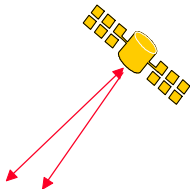
Los servicios pueden ser uni o bidireccionales, entre 2 o más puntos de la Tierra, o bien para difusión.

Banda Ku

14 / 11

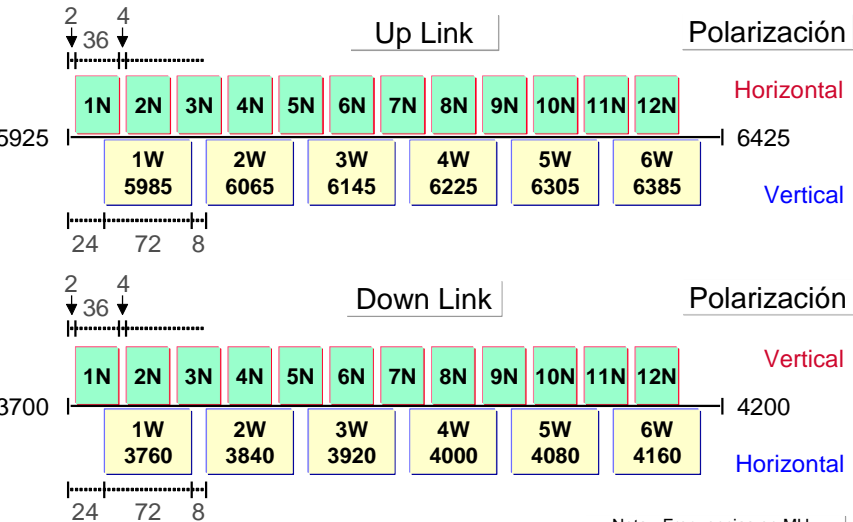
Banda Ka

29 / 19

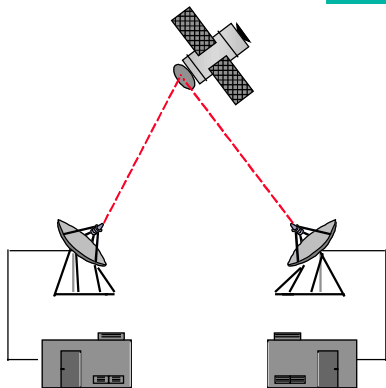


Ka se emplea en casos muy especiales. Es posible transmitir haces muy delgados y dirigidos, pero a estas frecuencias, las condiciones ambientales afectan de sobremanera. Actualmente se están llevando a cabo desarrollos para la transmisión de señales de banda ancha como la multimedia.

Transpondedores en la banda C



Nota.- Frecuencias en MHz



Estación
Terrena (Tx)

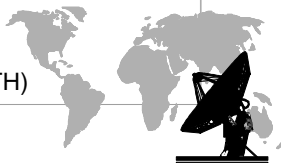
Estación
Terrena (Rx)

Segmento Terrestre

Este segmento está compuesto por las estaciones terrenas; es decir, antenas y sistemas de procesamiento de señales

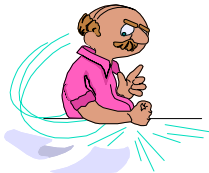
Principales aplicaciones en comunicaciones

- ✓ Enlaces troncales para telefonía de larga distancia internacional
- ✓ Enlaces transcontinentales de radio y televisión
- ✓ Comunicaciones para barcos y aviones
- ✓ Sistemas de ubicación (GPS)
- ✓ Telefonía rural
- ✓ Comunicación a puntos de difícil acceso
- ✓ Cobertura de eventos especiales
- ✓ Recolección de información de puntos diversos
- ✓ Redes privadas de comunicación (VSAT)
- ✓ Comunicación en caso de desastres naturales
- ✓ Redes de comunicaciones móviles
- ✓ Difusión directa de TV comercial restringida (DTH)



Ventajas y desventajas de los satélites

- ✓ Rapidez de instalación
- ✓ Facilidad de expansión
- ✓ Cambio de configuración
- ✓ Cobertura amplia
- ✓ Introducción de nuevos servicios
- ✓ Un solo repetidor, muy vigilado
- ✓ Disponibilidad del 99.99%
- ✓ Servicio de un solo proveedor



- ⑨ Tiempo de vida limitado,
- ⑨ aproximadamente 10 años
- ⑨ Retardo considerable
- ⑨ Alto costo de instalación
- ⑨ Servicio de alto precio
- ⑨ Sensible a efectos climáticos

Comparación con otros medios

	Satélite	Radio difusión	Coaxial Cobre	Microondas	Fibra óptica
Distancia repetidores	Solo uno (el satélite)	Repetidores locales	Corta 2 - 10 km	Media 25 a 50 km	Larga Hasta 90 km
Punto a punto Punto a multipunto	Ambos	Punto a multipunto	Punto a punto	Punto a punto	Punto a punto
Costo instalación	Alto	Moderado	Alto	Alto	Alto
Vida útil	Limitada	Larga	Larga	Larga	Larga
Capacidad	Media	Baja	Media	Media alta	Alta Muy alta
Operación	Alto	Moderada	Alto	Moderada	Sencilla
Movilidad	Muy amplia	Posible	Nula	Nula	Nula
Efectos Climáticos	Si	Moderado	Moderado Humedad	Si Lluvias	Nulos