



Manual de clases

Objetivo

- Describir las principales características y aplicaciones de las redes por satélites, en función de la órbita que siguen alrededor de la Tierra.

Última modificación:
12 de octubre de 2020

Tema 9 de:
COMUNICACIÓN POR RADIO
Edison Coimbra G.

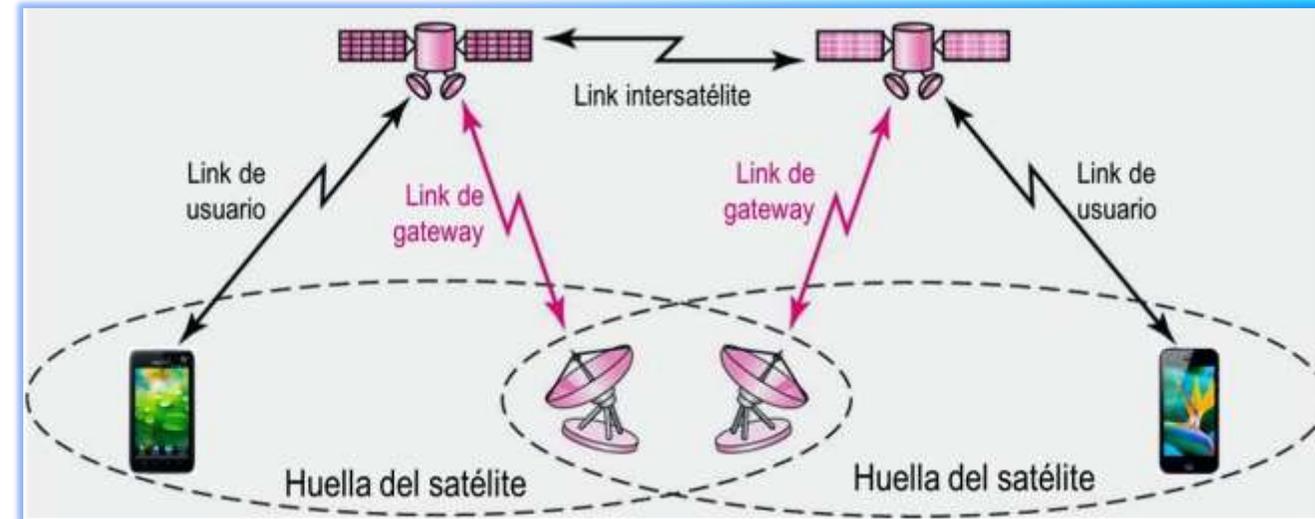
1.- CONCEPTOS DE REDES POR SATÉLITE

REDES POR SATÉLITES

¿Qué es y cómo funciona una red por satélite?

(Forouzan, 2007)

- **Es una combinación de nodos**, algunos de los cuales son **satélites**, que ofrecen comunicación de un punto de la Tierra a otro.
- **Un nodo** en la red puede ser un **satélite**, una estación terrena o un teléfono.
- **Un satélite** es, en realidad, un nodo repetidor. La Luna puede usarse como nodo repetidor, pero se prefieren los satélites artificiales debido a que en ellos se pueden instalar equipos para regenerar la señal que pierde mucha energía durante el viaje, además del retardo por la distancia.
- **► ¿Cómo operan las redes por satélite?** Igual que las redes móviles, en el sentido que dividen el planeta en celdas (huellas), ofreciendo capacidades de transmisión hacia y desde cualquier punto de la Tierra, utilizando radioenlaces por microondas.
- **La propagación** por línea de vista de las microondas la hace apropiada para enlaces punto a punto entre nodos fijos o móviles.
- **Por lo general**, los satélites se utilizan cuando las distancias son grandes, o cablear es caro, o por razones de movilidad. Hacen disponible la comunicación sin requerir la enorme inversión en infraestructura terrestre.

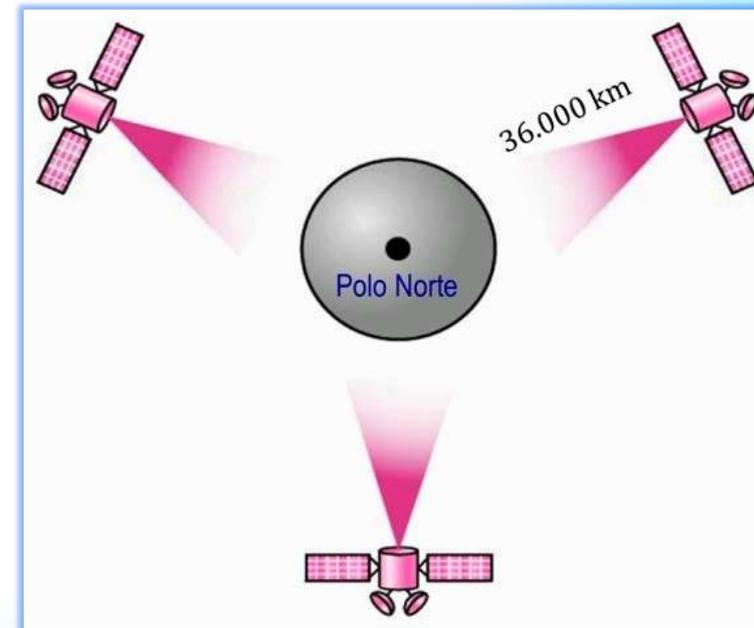
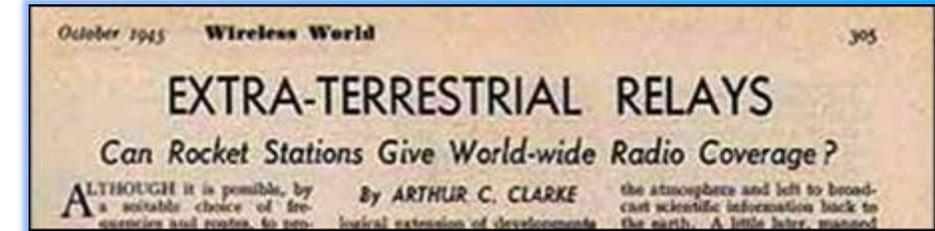


Conceptos de redes por satélite

REDES POR SATÉLITES

Los satélites y la ciencia ficción

- **La idea** se debe a **Arthur C. Clarke**, quien se basó en los trabajos matemáticos de **Newton** y **Kepler** y los unió con aplicaciones y tecnología de la época.
- **En octubre de 1945**, **Clarke** publicó, en la revista británica *Wireless World*, el artículo *Extra-Terrestrial Relays*, que incluía la propuesta de un sistema de comunicación global utilizando estaciones espaciales.
- **La propuesta de Clarke**
 - ▶ 1. Un satélite artificial serviría como repetidor de comunicaciones.
 - ▶ 2. El satélite giraría a 36.000 Km de altura sobre el ecuador, a la misma velocidad de revolución de la Tierra.
 - ▶ 3. Tres satélites separados a 120° entre sí cubrirían toda la Tierra, dando cobertura de señales de microondas a todo el planeta.
 - ▶ 4. El satélite sería una estación espacial tripulada.
- **Salvo el último punto**, la propuesta de Clarke se cumplió.



Conceptos de redes por satélite

REDES POR SATÉLITES

Los primeros satélites

- ► **Sputnik**, el primero – octubre de 1957 (URSS). El sueño comenzó a hacerse realidad con el primer satélite, el **Sputnik** (*compañero de viaje* en ruso). Su órbita elíptica estaba a 214 ~ 938 km de altura. Era una esfera de aluminio de 58 cm de diámetro y 83 kg. Llevaba dos transmisores, de 20 y 40 MHz. Solo emitía un tono intermitente. Funcionó 21 días.
- ► **Courier**, el primer satélite repetidor – octubre de 1960 (USA). Su órbita elíptica estaba a 967 ~ 1.214 km de altura. Pesaba 230 kg. Transmitió voz y telegrafía a una tasa efectiva de 55 kbps. Fue el primero en utilizar celdas solares. Funcionó 70 días.
- ► **Syncom 3**, el primer satélite a 35.786 km de altura – agosto de 1964 (USA). Pesaba 68 kg. Se utilizó para transmitir para Europa los juegos olímpicos de Tokio en 1964 y luego en la guerra de Vietnam. Recibía la señal en 7,36 GHz y la retransmitía en 1,81 GHz. Funcionó 5 años.



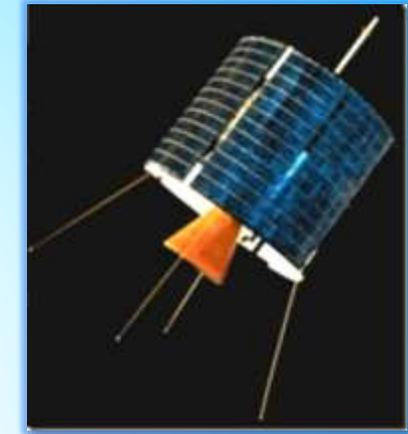
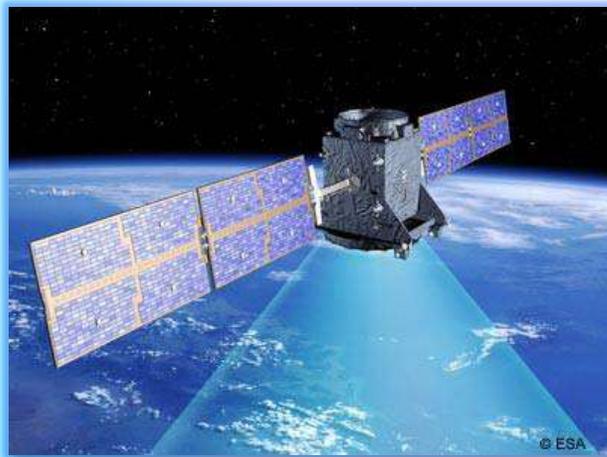
Conceptos de redes por satélite

REDES POR SATÉLITES

Satélites comerciales

- ▶ **Early Bird** (Intelsat), el primer satélite comercial a 35.786 km de altura – abril de 1965 (USA). Tenía forma de tambor de 76 × 61 cm y pesaba 34,5 kg. Funcionó 4 años.
- ▶ **Constelación de Intelsat**, satélites actuales a 35.786 km de altura (USA). Peso en órbita 4.723 kg.

- ▶ **Constelación de ESA**, satélites actuales a 35.786 km de altura de la Agencia Espacial Europea.



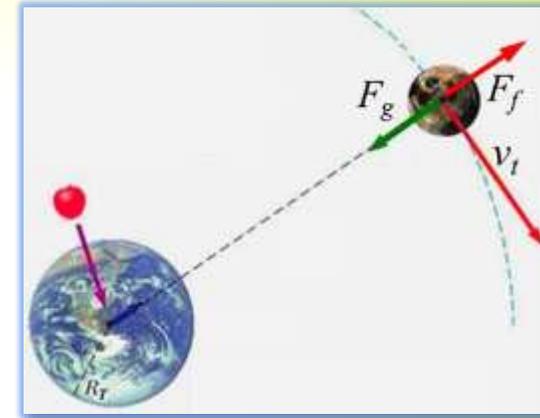
- ▶ **Según el Índice** de Objetos Lanzados al Espacio Exterior, elaborado por la Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA), a diciembre de 2018 hay 4.921 satélites orbitando la Tierra.

2. ÓRBITAS DE SATÉLITES

REDES POR SATÉLITES

¿Qué mantiene un satélite en su órbita?

- **Una órbita** es el camino que el satélite sigue alrededor de la Tierra. El satélite se mantiene en su órbita gracias al equilibrio entre dos fuerzas, las cuales están definidas por las Leyes de la mecánica orbital de Newton (1687).
 - ► **Fuerza centrífuga** (F_f). Producto de la inercia debida al movimiento.
 - ► **Fuerza centrípeta** (F_g). Producto del campo gravitatorio de la Tierra.
- **Las órbitas de los satélites** son elípticas. La 1ra. y 2da. Ley de **Kepler** (1609) establecen que los planetas se desplazan en trayectorias elípticas y que el Sol está en uno de los focos de la elipse. Estas Leyes también se aplican a los satélites. La órbita circular es un caso especial de una elipse.
- **Deducciones de las Leyes de Kepler**
 - ► Si a un satélite en órbita circular se le incrementa la velocidad con un impulso, no podrá moverse más rápido en esa órbita. En vez de eso, la órbita se convierte en elíptica.
 - ► Dos satélites en la misma órbita no pueden tener diferentes velocidades.



Órbitas de satélites

REDES POR SATÉLITES

El periodo orbital

(Forouzan, 2007)

- **Es el tiempo** requerido por un satélite para completar una vuelta alrededor de la Tierra. La 3ra. Ley de Kepler define el periodo orbital en función de la distancia del satélite al centro de la Tierra.

- **Ejemplo 1. Periodo de la Luna.** Calcule el periodo orbital aproximado de la Luna que se encuentra a una distancia media de 384.000 Km de la Tierra en una órbita elíptica. El radio de la Tierra es 6.378 Km.

$$T \approx 2.439.090 \text{ s} \approx 28 \text{ días}$$

- **Ejemplo 2. Periodo de un satélite.** Calcule el periodo orbital de un satélite que se encuentra en órbita a 35.786 km de la Tierra. El radio de la Tierra es 6.378 Km.

$$T = 86.579 \text{ s} \approx 24 \text{ horas}$$

- **Significado.** Significa que un satélite que orbita a 35.786 km, tiene un periodo orbital de **24 horas**; el mismo periodo de rotación de la Tierra. Un satélite como este se dice estacionario a la Tierra. La órbita se denomina **geoestacionaria GEO**.
- **El periodo orbital** de un satélite es mayor mientras más distante esté de la Tierra.

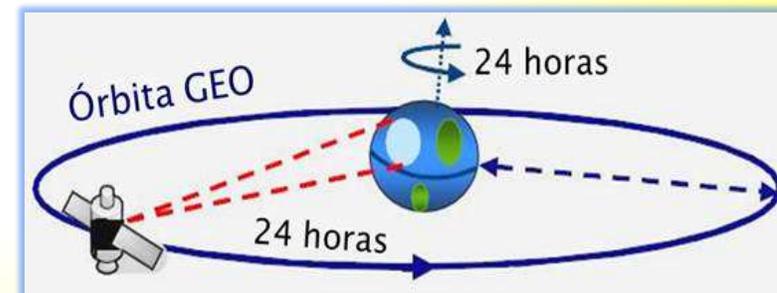
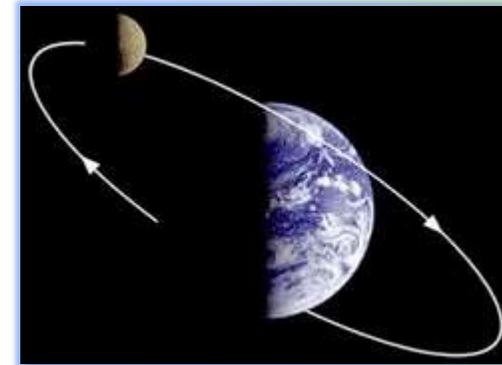
Tercera Ley de Kepler

$$T^2 = \frac{R^3}{10.000}$$

T = periodo orbital. En **s**.

R = eje mayor de la órbita. En **km**.

El cuadrado del periodo orbital es proporcional al cubo de su eje mayor.



Órbitas de satélites

REDES POR SATÉLITES

Velocidad orbital

(Forouzan, 2017)

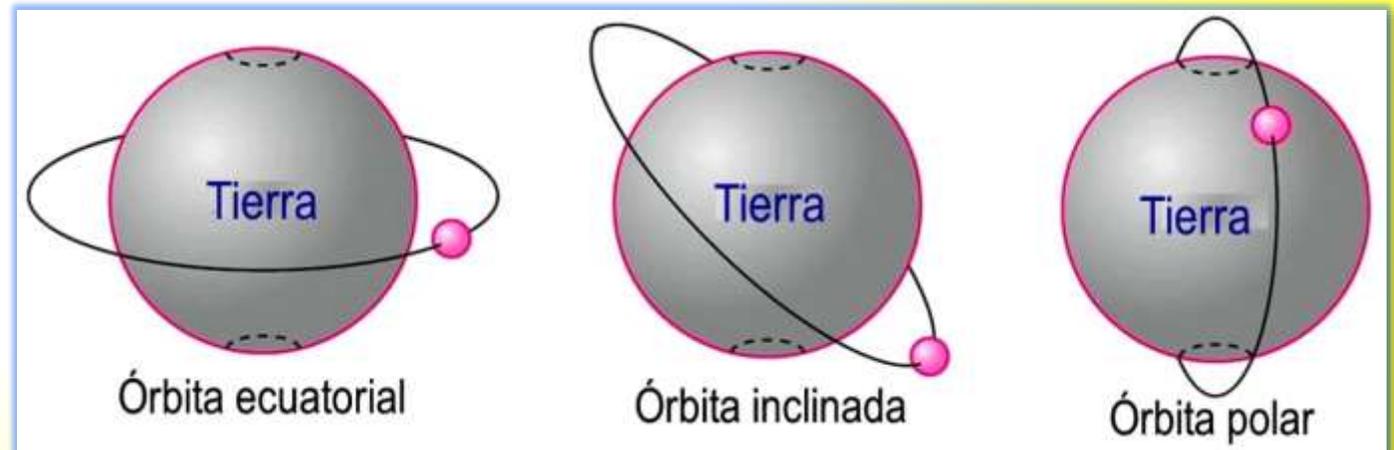
- **Es la velocidad** a la cual se desplaza el satélite en su correspondiente órbita. Cualquier satélite que orbite la Tierra debe satisfacer la variante de la 3ra. Ley de Kepler que define la velocidad orbital en función inversa de la distancia del satélite al centro de la Tierra.

- **Ejemplo 3. Velocidad orbital de un satélite GEO.** Calcule la velocidad orbital (tangencial) de un satélite GEO que se encuentra en órbita a 35.786 km de la Tierra. El radio de la Tierra es 6.378 Km.

$$v \approx 3 \text{ km/s} \approx 11.000 \text{ km/h}$$

- **La velocidad orbital** de un satélite es menor mientras más distante esté de la Tierra.
- **Ángulo de inclinación de las órbitas.** Es otro dato que caracteriza a las órbitas que siguen los satélites. Se define como el ángulo entre el plano ecuatorial y el plano de la órbita del satélite. Existen tres variantes.
- **Los satélites GEO** siguen una órbita ecuatorial.

Tercera Ley de Kepler
$v = \sqrt{\frac{400.000}{R}}$
v = velocidad orbital. En km/s. R = eje mayor de la órbita. En km.
La velocidad orbital es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su eje mayor.

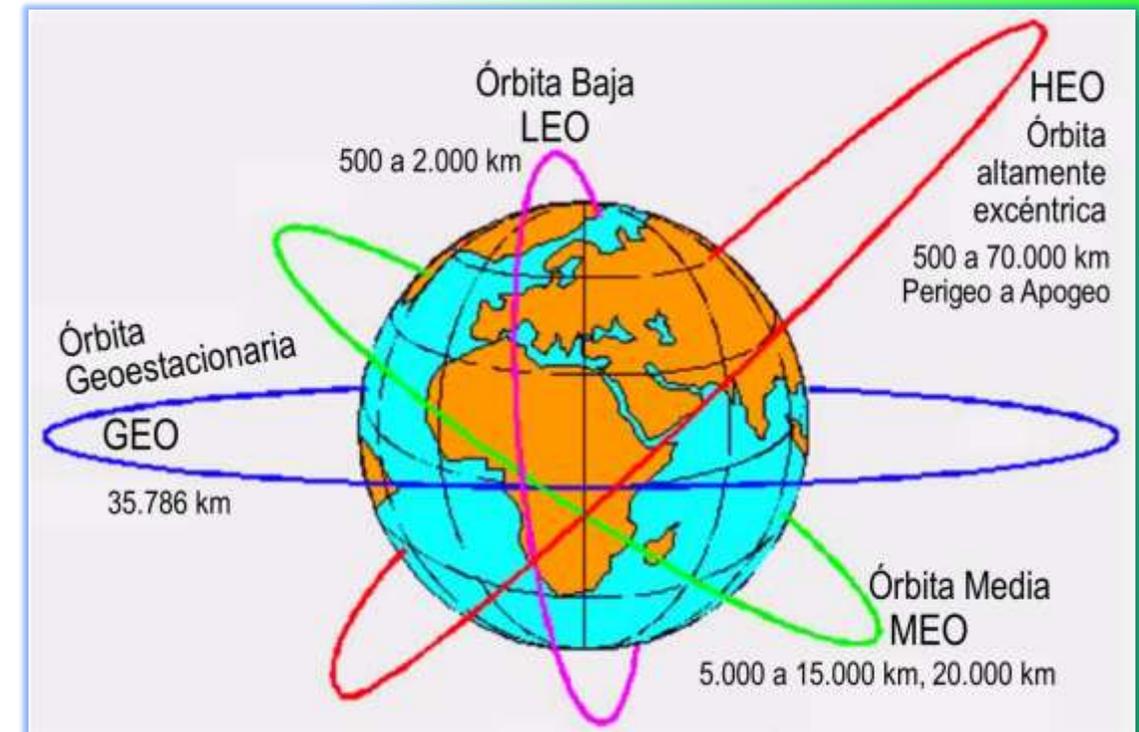


3. CATEGORÍA DE SATÉLITES

REDES POR SATÉLITES

Según la posición de la órbita se dividen en cuatro categorías

- ▶ **1. Geostacionarios GEO.**
 - Altura: 35.786 km sobre el ecuador. Órbita ecuatorial.
 - Periodo orbital: 24 horas.
 - Constelación: Intelsat, Eutelsat, Hispasat, Embratel, etc.
- ▶ **2. De órbita media MEO.**
 - Altura: 5.000~15.000 km, y cerca de 20.000 km. Órbita inclinada.
 - Periodo orbital: 11~12 horas.
 - Constelación: GPS, Glonass, Galileo.
- ▶ **3. De órbita baja LEO.**
 - Altura: 500~2.000 km. Órbita polar.
 - Periodo orbital: 90~120 minutos.
 - Constelación: Iridium, Globalstar, Teledesic, Starlink.
- ▶ **4. Altamente excéntrica HEO.**
 - Altura: 500 (perigeo) a 70.000 km (apogeo). Órbita elíptica.
 - Periodo orbital: 12~24 horas.
 - Constelación: Molniya, Sirius.



Categoría de satélites

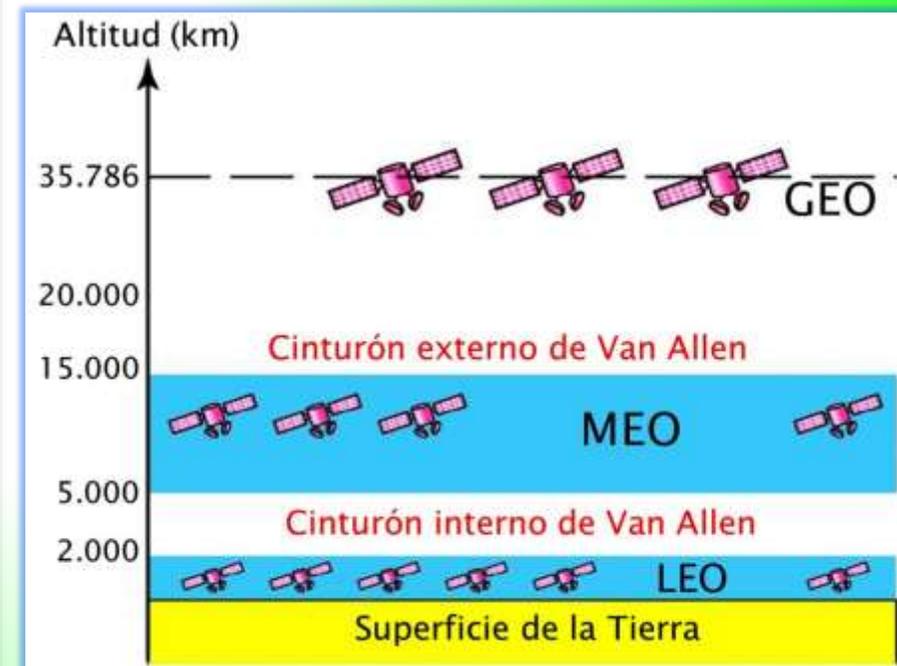
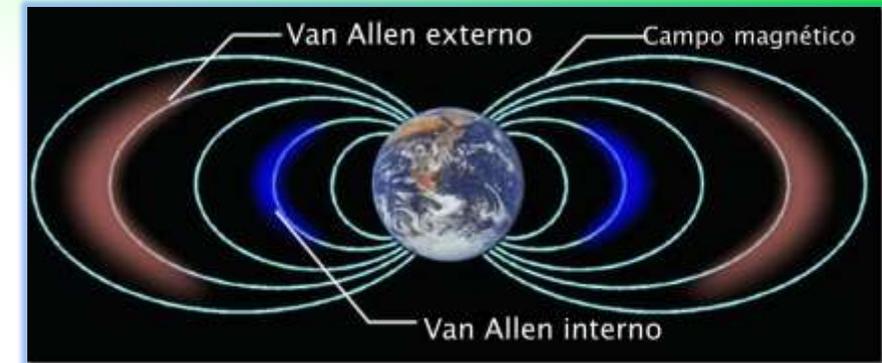
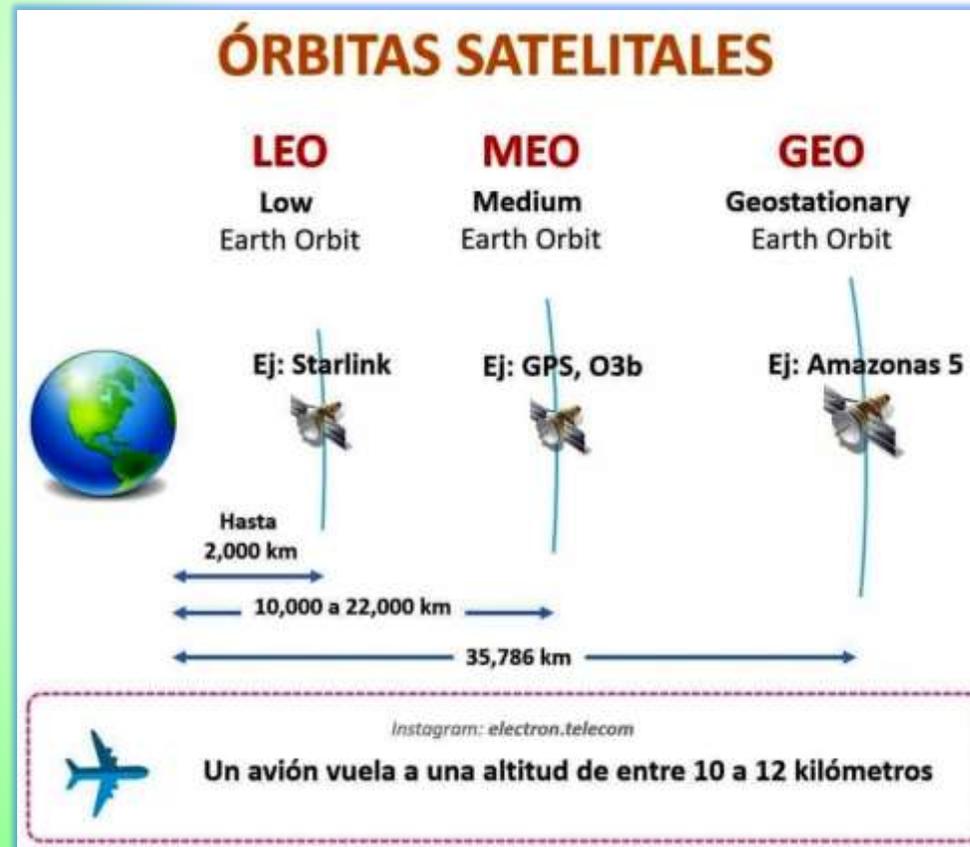
REDES POR SATÉLITES

RECURSOS

¿Por qué existen diferentes órbitas?

(Forouzan, 2007)

- **Una razón** es la existencia de dos cinturones de Van Allen. Son campos energéticos en forma de toroide que rodean a la Tierra y que contienen partículas cargadas.
- **Un satélite** que orbitara en uno de estos 2 cinturones sería totalmente destruido por las partículas cargadas energéticamente.
- **El cinturón interno** es el más destructivo. En la figura se observa la altura a la que se encuentran.



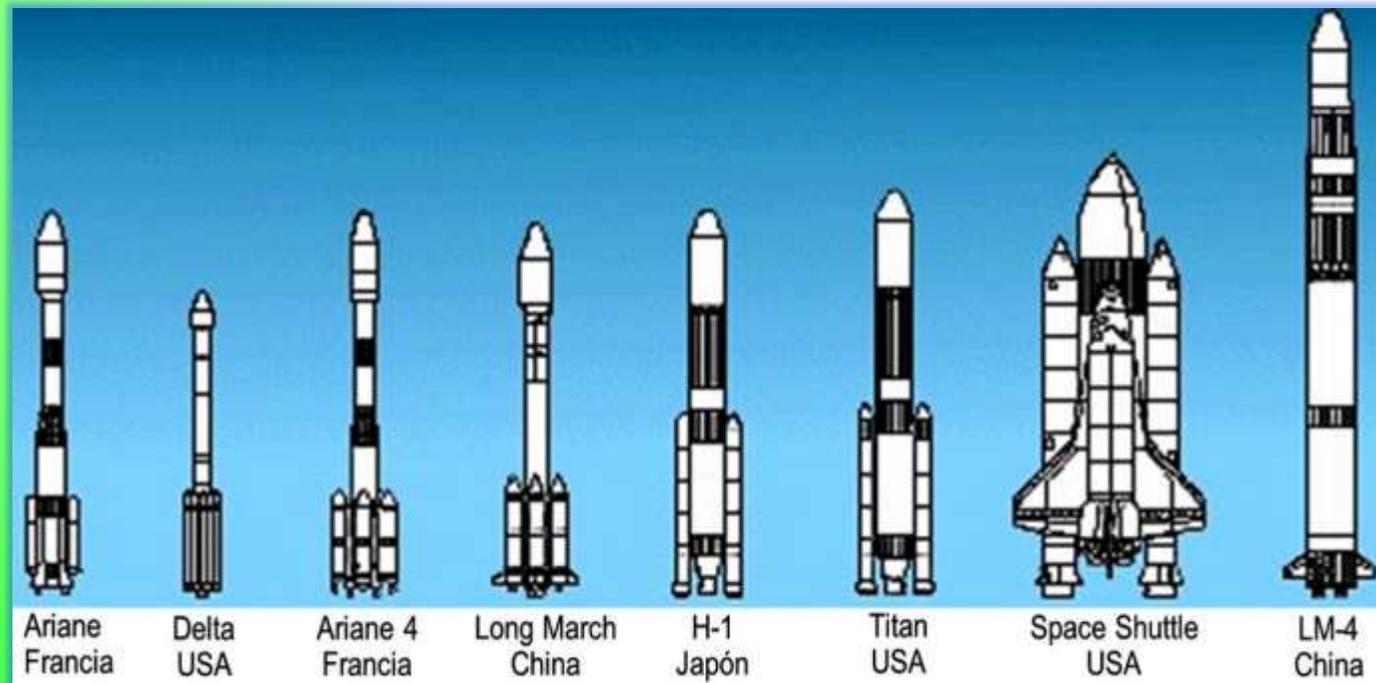
Categoría de satélites

REDES POR SATÉLITES

Lanzamiento de satélites

(Neri, 2003)

- **Para lanzar un satélite** se necesita un vehículo de lanzamiento o cohete que tenga:
 - **Un motor** a reacción, que proporcione el empuje necesario para elevar al cohete verticalmente. El cohete aprovecha el principio físico de acción y reacción.
 - **Depósito** para propulsores.
 - **Compartimiento** (cofia) para alojar el satélite.
- **Entre los vehículos** de lanzamiento más importantes, se utilizan desde cohetes clásicos que alojan el satélite en su cofia y lanzadores tipo shuttle que lo alojan en su bodega.

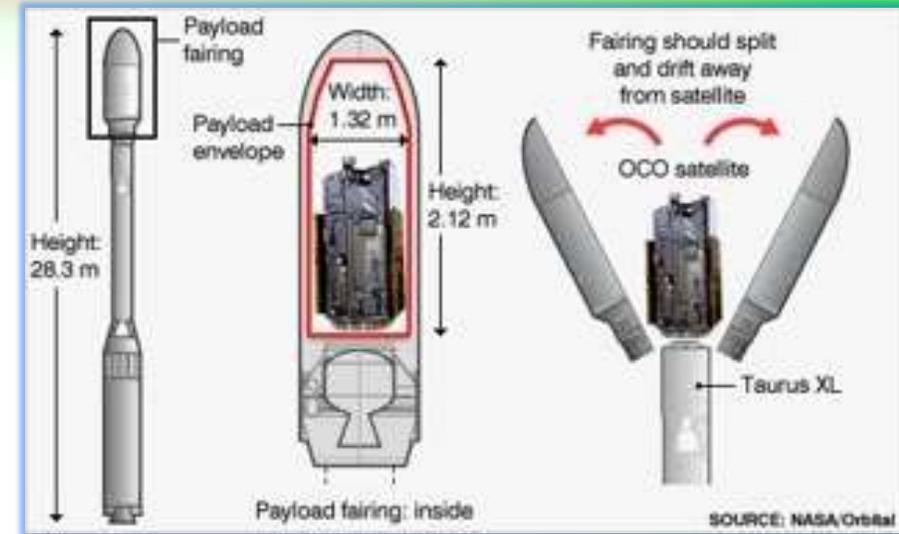


Categoría de satélites

REDES POR SATÉLITES

Colocación de satélites en órbita (Neri, 2003)

- **Se utiliza la técnica** de varias etapas, es decir varios cohetes colocados uno sobre otro, de manera que agotado el empuje del primero, se enciende el segundo y así sucesivamente.
- **Los vuelos espaciales** requieren altas velocidades que no se alcanzan con un solo cohete, aunque sea grande y potente.
- **¿Cómo alcanzar la órbita?** Para alcanzar la órbita requerida se utilizan cohetes de varias etapas.
 - ▶ **1. La carga** con el satélite se coloca primero en una órbita circular baja.
 - ▶ **2. Se enciende** otro motor para acelerar la carga y pasarla a una órbita elíptica de transferencia.
 - ▶ **3. Después** de pasar por varias órbitas elípticas de transferencia, alcanza la órbita requerida (por ejemplo GEO) y coloca el satélite en esa órbita.



4.- SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR SATÉLITE

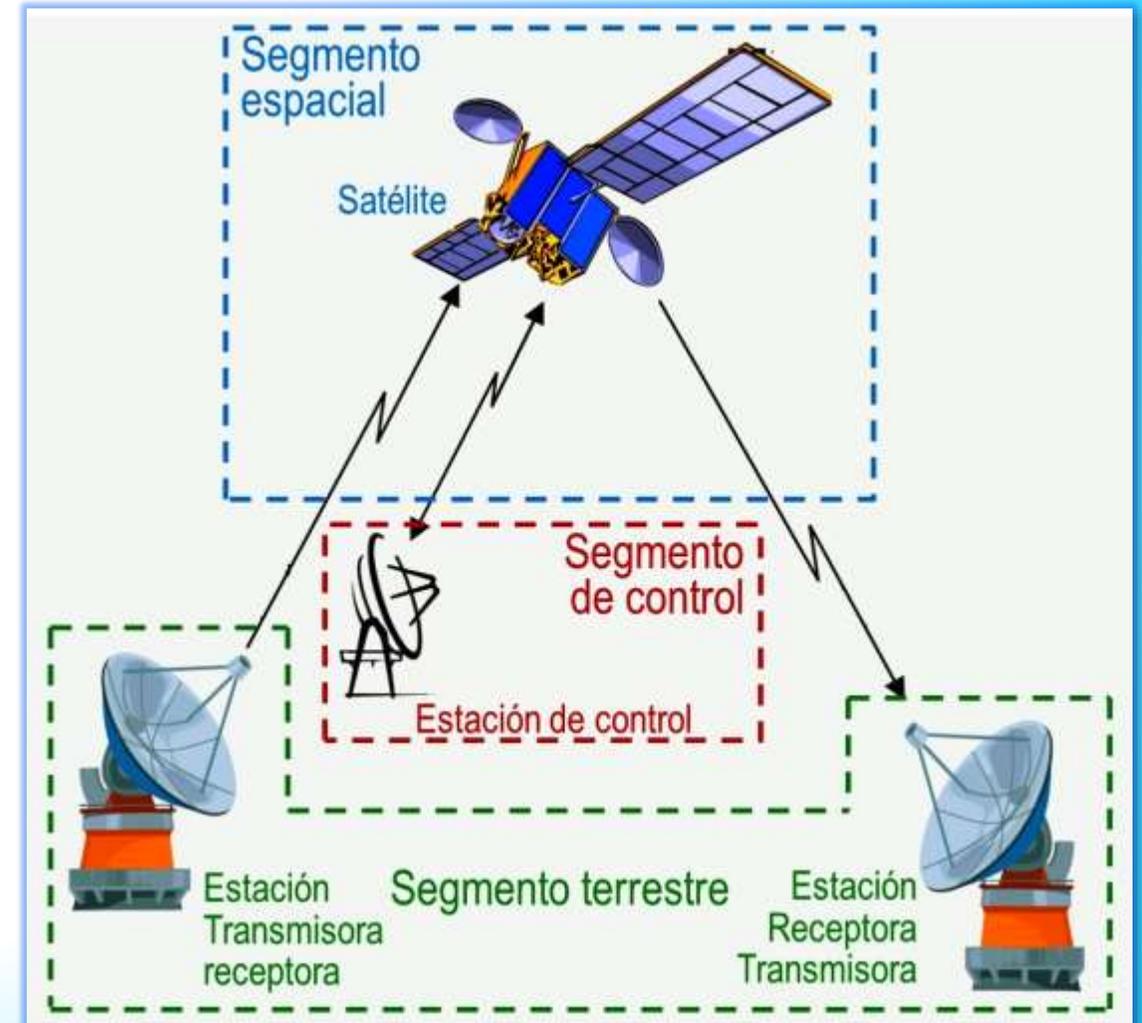
REDES POR SATÉLITES

Su estructura tiene tres segmentos

- ▶ **1. Segmento espacial.** Lo constituye el satélite que actúa como nodo repetidor.
- ▶ **2. Segmento de control.** Es la estación de control desde donde se controla al satélite. Los operadores de satélites cuentan con más de una estación de control.



- ▶ **3. Segmento terrestre.** Lo constituyen las estaciones terrenas transmisoras y receptoras.



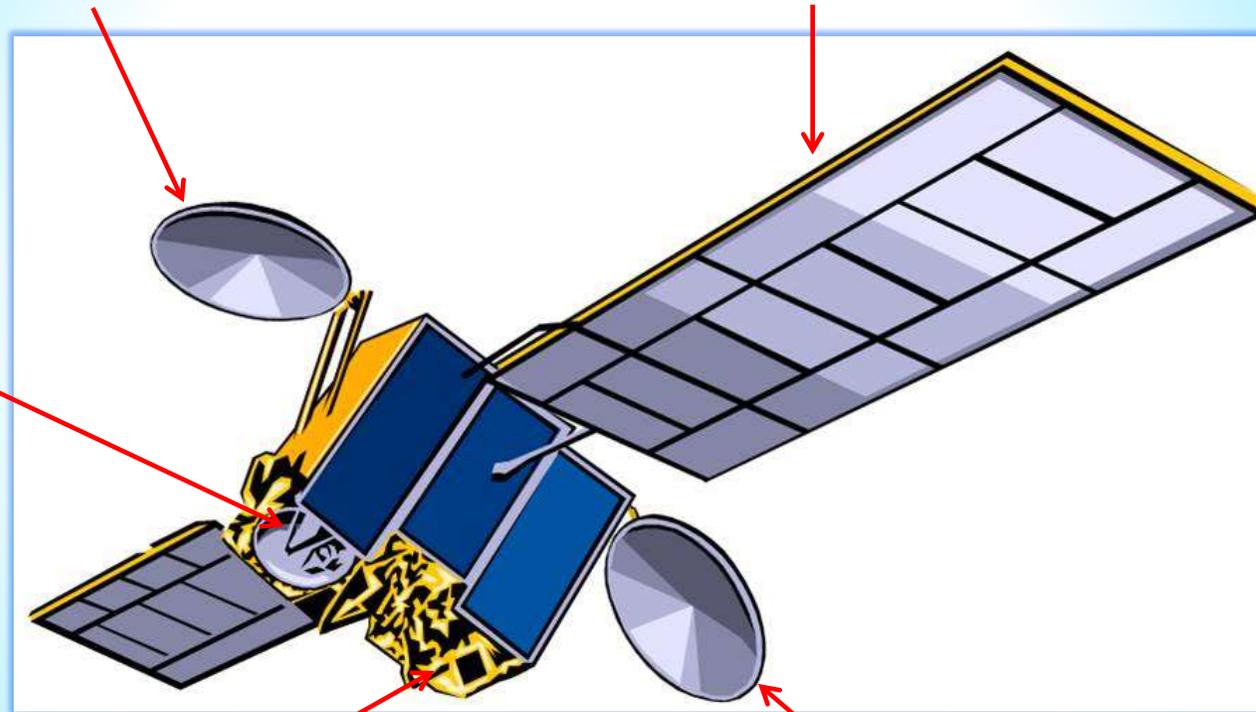
Sistemas de comunicación por satélite

REDES POR SATÉLITES

Estructura del satélite

- ► **Antena receptora.** Recibe señales desde las zonas de cobertura deseadas.

- ► **Paneles solares.** Convierten la energía solar en eléctrica para suministrar toda la potencia eléctrica que necesita el satélite.



- ► **Propulsor.** Proporciona incrementos de velocidad o frenos para corregir desviaciones en posición y orientación. Utiliza combustible químico.

- **Nota.** En el satélite, la misma antena se utiliza para recibir y transmitir. Para claridad en la explicación, se muestra como si fueran dos.

- ► **Transpondedor.** Amplifica la señal recibida, traslada su frecuencia y la entrega para su retransmisión a Tierra. Los satélites no originan la información que transmiten, solo la repiten.

- ► **Antena transmisora.** Transmite señales hacia las zonas de cobertura deseadas.

Sistemas de comunicación por satélite

REDES POR SATÉLITES

Operación básica del satélite

- ▶ **1. El receptor** del satélite capta la señal transmitida, por ejemplo a 6 GHz, y la amplifica. La transmisión Tierra - satélite se denomina **enlace de subida**.
- ▶ **2. El transpondedor** traslada la frecuencia, por ejemplo de 6 GHz a 4 GHz.
- ▶ **3. El transmisor** del satélite amplifica y retransmite la señal, por ejemplo a 4GHz. La transmisión satélite - Tierra se denomina **enlace de bajada**.
- **¿Por qué se traslada la frecuencia?** Porque el transpondedor no puede recibir y transmitir en la misma frecuencia. La potencia de la señal transmitida bloquearía a la débil señal que llega desde Tierra. Se necesita un espacio amplio entre las frecuencias de ambos enlaces.
- **Los satélites** tienen un espectro de frecuencias asignado.



- **Nota.** En el satélite, la misma antena se utiliza para recibir y transmitir. Para claridad en la explicación, se muestra como si fueran dos.

Sistemas de comunicación por satélite

REDES POR SATÉLITES

Asignación de frecuencias para satélites (Neri, 2003)

- **Los satélites** operan en el espectro de microondas (GHz), el cual se divide en bandas de frecuencias que se designan por una letra del alfabeto.
- **Cada satélite** recibe y envía utilizando dos bandas diferentes:
 - La transmisión Tierra a satélite se denomina **enlace de subida (Uplink)**.
 - La transmisión satélite a Tierra se denomina **enlace de bajada (Downlink)**.
 - La comunicación entre satélites se denomina **enlace intersatélite**.
- **El transpondedor** realiza el traslado de frecuencia de Up a Down.
- **La banda C** ya está congestionada, por lo que los nuevos satélites operan en la banda Ku.



Bandas de frecuencias para los satélites

Banda	Uplink (GHz)	Downlink (GHz)	Ancho de banda (MHz)	Uso típico
L	1,6	1,5	15	Servicio móvil
S	2,2	1,9	70	Servicio móvil
C	6,0	4,0	500	Servicio fijo y radiodifusión
X	8,0	7,0	500	Militar
Ku baja	14,0	11,0	500	Servicio fijo
Ku alta	17,0	12,0	500	Servicio de radiodifusión
Ka	30,0	20,0	3500	Servicio fijo intersatélite
Q/V	50,0	40,0	3000	Futuro. Servicio fijo
Q/V	75,0	40,0	3500	Servicio fijo intersatélite

- **Los satélites Starlink** de SpaceX están situando en una órbita de 550 km de altura. Tienen un tamaño de una caja de zapatos y funcionarán en una **red mesh** que operará en el espectro de los 40GHz a los 75GHz para comunicarse entre ellos, a la vez que utilizarán las frecuencias de las bandas Ka/Ku para enviar la señal a receptores terrestres.

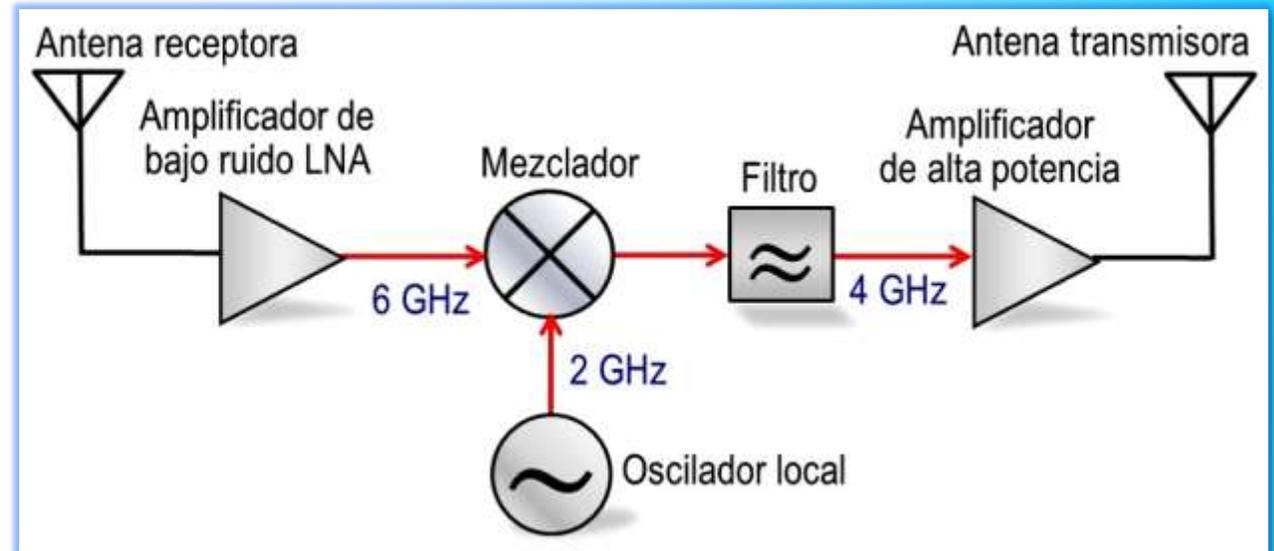
Sistemas de comunicación por satélite

REDES POR SATÉLITES

El transpondedor del satélite

(Frenzel, 2003)

- **Es un dispositivo** electrónico que mezcla dos señales de entrada, a frecuencias diferentes, produciendo a su salida :
 - La **suma** de las frecuencias de entrada.
 - La **diferencia** entre las frecuencias de entrada.
 - Usa un filtro para eliminar la señal de frecuencia más alta. Vea el ejemplo de la figura.



- **Ejemplo 4. Traslado de frecuencia.** El transpondedor de un satélite opera en la banda Ku alta, cuyo enlace de subida es 17 GHz. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador local?, ¿qué frecuencias produce y cuál es la que se elimina para que el enlace de bajada sea 12 GHz?

Oscilador: 5 GHz.
Produce 22 y 12 GHz.
Se elimina la de 22 GHz.

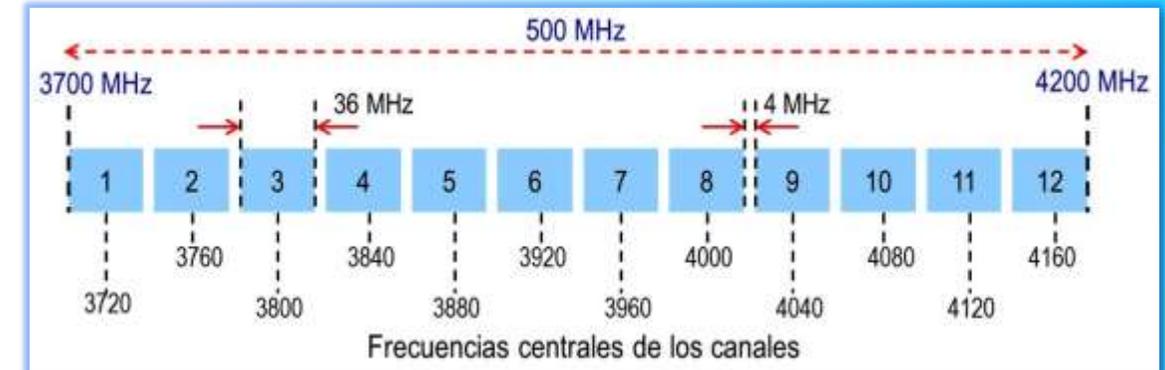
- **Nota.** En el satélite, la misma antena se utiliza para recibir y transmitir. Para claridad en la explicación, se muestra como si fueran dos.

Sistemas de comunicación por satélite

REDES POR SATÉLITES

El ancho de banda del enlace (Frenzel, 2003)

- **Decir** que 6 GHz es el enlace de subida en la banda C, significa que 6 GHz es la **frecuencia central** del intervalo 5,925~6,425 GHz; intervalo con un ancho de banda de **500 MHz**. La capacidad de tráfico del satélite depende del ancho de banda.
- **Igualmente** para el de bajada, 4 GHz es la **frecuencia central** del intervalo 3,7~4,2 GHz (3700 MHz~4200 MHz) también con un ancho de banda de **500 MHz**.
 - **Ejemplo 5. Canalización.** El **ancho de banda** de 500 MHz se divide en 12 canales de 36 MHz de ancho de banda cada uno y 4 MHz de banda de guarda entre canales. Con el enlace de subida se efectúa una canalización similar.
 - **Ejemplo 6. Traslado de canal.** El transpondedor de un satélite opera en la banda C, cuyo enlace de subida es 6 GHz. Suponga una frecuencia del oscilador local de 2 GHz. ¿Cuál es la frecuencia central del enlace de subida al receptor del satélite si el transmisor del enlace de bajada está en el canal 4 de la figura?
- **¿Cuántos transpondedores hay en un satélite?** Hay 12 transpondedores, cada uno asignado a uno de los 12 canales en que se divide el ancho de banda. Cada transpondedor representa un canal de comunicación individual.
- **La técnica reuso de frecuencias** duplica el ancho de banda de un satélite. Se habilitan dos juegos idénticos de 12 transpondedores (haciendo un total de 24) que manejan el mismo espectro de frecuencias. El uso especial de técnicas de antenas evita las interferencias entre canales de la misma frecuencia.



5840 MHz o 5,84 GHz.

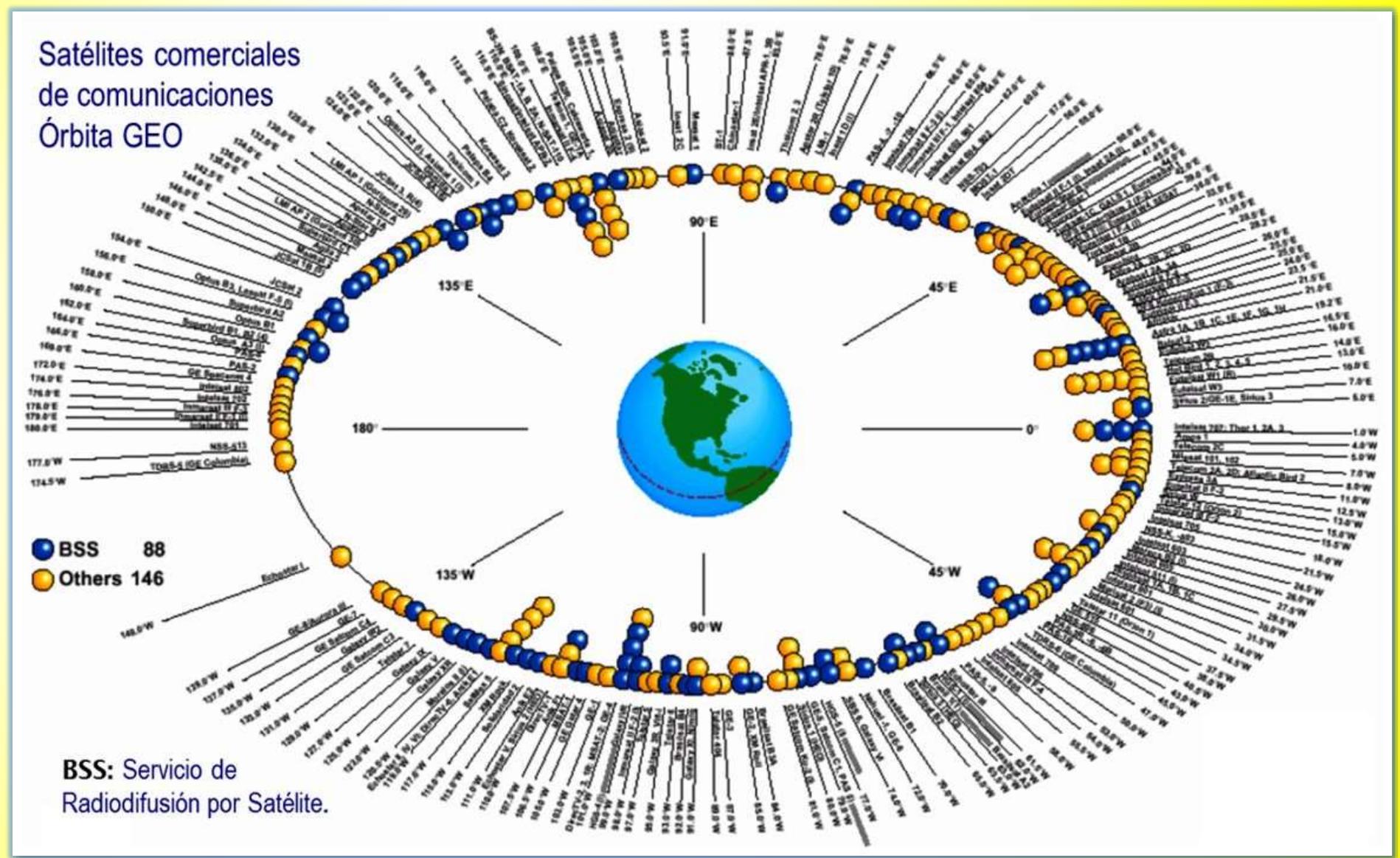


5.- SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

REDES POR SATÉLITES

El cinturón GEO

- **Se sitúa** en el plano ecuatorial de la Tierra. Es una órbita situada a 35.786 km de altura.
- **A esta altura**, el satélite gira en sincronía con la Tierra, por lo que parece estacionario, apto para comunicaciones.
- **Con tres** satélites GEO se logra la cobertura total del planeta.



Constelaciones de satélites

- **¿Quiénes son los operadores de satélites?** La tabla contiene una lista de operadores de sistemas de satélites GEO destacados en la región, con datos de satélites destinados para uso civil y en operación actualizados al 2019.
- **Los operadores** ofrecen servicios globales o solo regionales.

Sistemas de satélites GEO destacados				
Operador	País	Flota	Nombre	Servicios
Intelsat	Internacional	52	Intelsat	DTH, voz, datos, radio
Inmarsat	Internacional	12	Inmarsat	Voz, datos
NASA	Estados Unidos	7	TDRS	Voz, datos
Satmex	Mexico	9	Satmex	Voz, datos
Embratel	Brasil	5	Brasilsat	Voz, datos
Eutelsat	Europa	39	Eutelsat	DTH, voz, datos
SES	Luxemburgo	22	Astra	DTH, datos
Hispasat	España	8	Hispasat	DTH, datos
Intersputnik	Rusia	12	Gorizont	DTH, voz, datos

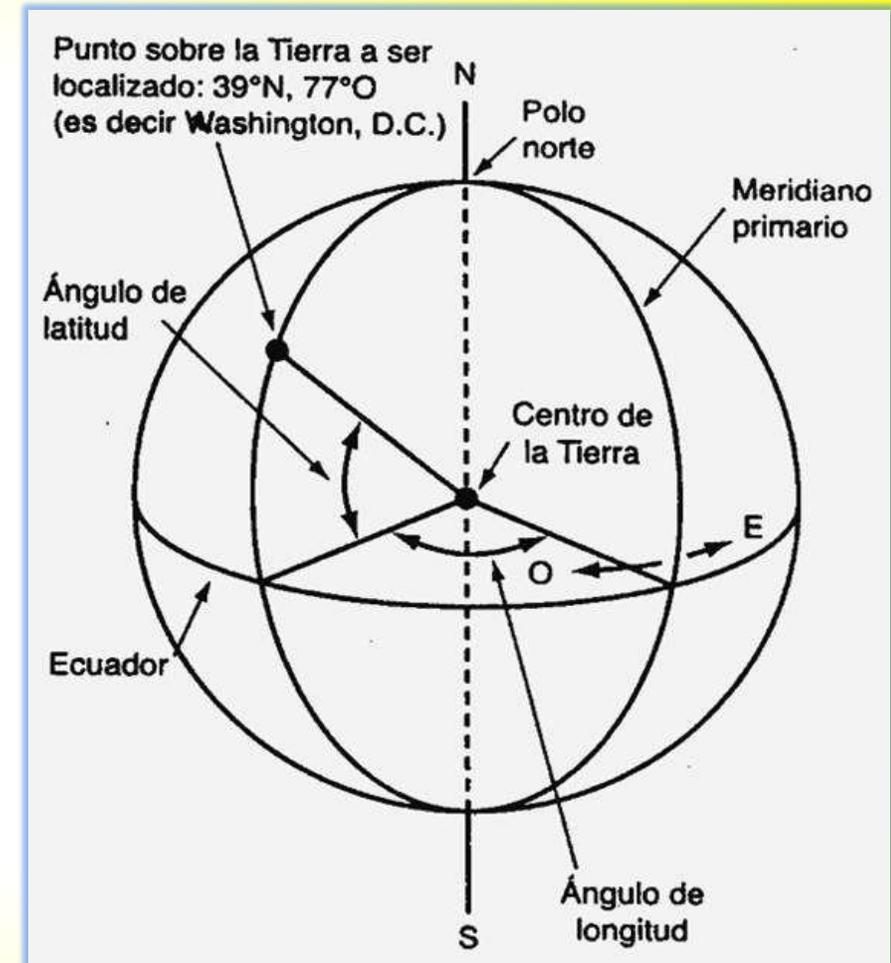
Satélites geoestacionarios

REDES POR SATÉLITES

Coordenadas de posición de satélites GEO

(Frenzel, 2003)

- **La ubicación de un satélite** se especifica en términos de latitud y longitud, al igual que se describe un punto sobre la Tierra. Este punto se llama **punto del subsatélite SSP**.
- **Como los satélites GEO** giran alrededor del ecuador, su SSP se encuentra allí. Por eso, todos ellos tienen una latitud de 0° y no se la menciona. Por tanto, para ubicar a un satélite GEO es suficiente conocer su longitud geográfica.
- **Ejemplo 7. Puntos del subsatélite.** Un operador satelital ofrece servicios de comunicación global utilizando para ello 5 satélites GEO.



Satélites geoestacionarios

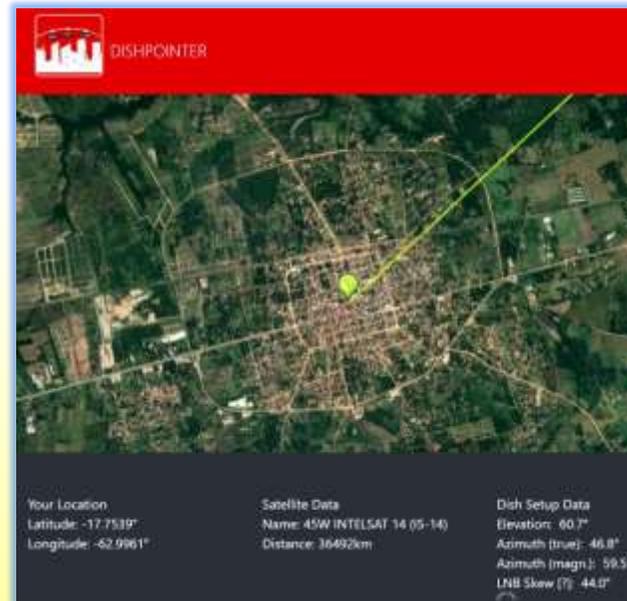
REDES POR SATÉLITES

Orientación de antena de estación terrena

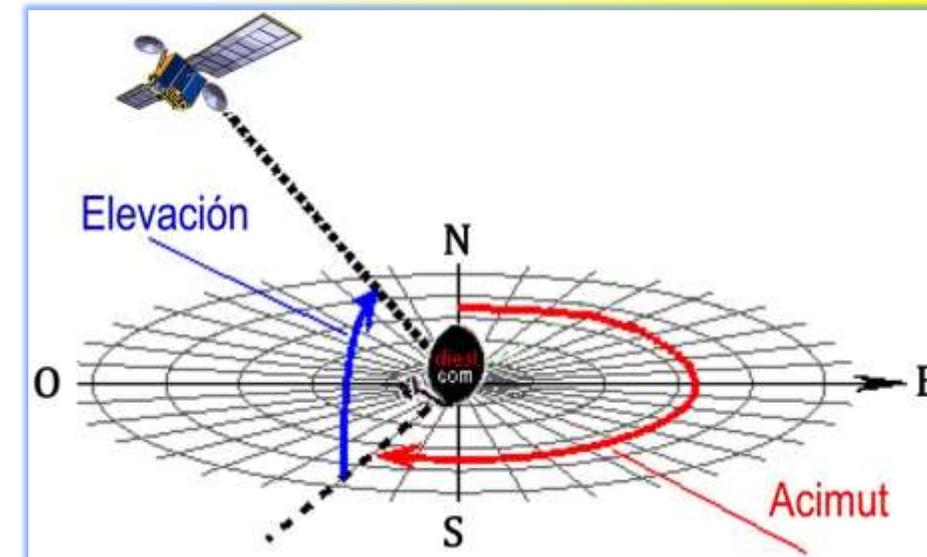
(Frenzel, 2003)

- **Las antenas de microondas** de las estaciones de Tierra (antenas parabólicas) son bastante direccionales y deben apuntarse con precisión para “darle” al satélite. Se deben conocer los datos de acimut y elevación con los que se orientará la antena para interceptar al satélite.
- ► **Acimut.** Es el ángulo medido en el plano horizontal, desde el Norte hacia el Este hasta el punto del subsatélite.
- ► **Elevación.** Es el ángulo medido desde el plano horizontal hasta la posición del satélite.
- **Por tanto,** el acimut y elevación en grados dicen dónde debe apuntar la antena.

- **Ejemplo 8. Orientación de antena.** Obtenga los datos de acimut y elevación para orientar una antena parabólica que se instalará en un sitio específico de la ciudad de Cotoca (a 16 km de Santa Cruz de la Sierra. (Latitud: 17.7539° S. Longitud: 62.9961° O). El satélite al que se apuntará es el 45W Intelsat 14. Utilice el sitio <https://www.dishpointer.com>.



Acimut $46,8^{\circ}$
Elevación: $60,7^{\circ}$

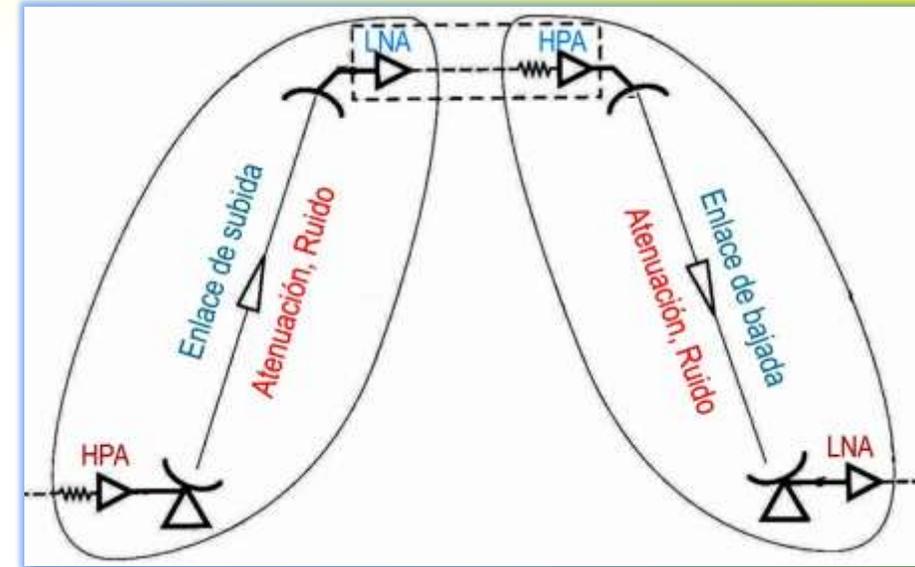


Propagación en los enlaces satelitales

(Neri, 2003)

Eventos en el trayecto de subida

- ▶ **1. Enlace de subida.** Sube la señal, luego de ser amplificada en Tierra por el amplificador de potencia **HPA** y la ganancia de la antena (G_T). La señal adquiere un nivel de potencia PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva), del orden de 30~60 dBW. El PIRE es el producto expresado en dBW de la potencia entregada (P_T) a la antena por la ganancia de ésta (G_T).
- ▶ **2. Durante el trayecto de subida.** La señal se **atenúa** porque se dispersa en el espacio libre (L_{fs}). Los valores de atenuación ascienden a 195~214 dB. La absorción de la atmosfera y la lluvia también la atenúan.
- ▶ **3. La presencia de ruido en el trayecto.** Afecta a la señal que llega muy debilitada al satélite (algunos nW~pW). Las fuentes de ruido son el ruido térmico de los circuitos, radiaciones que provienen del espacio exterior, etc.
- ▶ **4. Llegada al satélite.** Al llegar al satélite, la ganancia de la antena (G_R) compensa en algo la pérdida. Las antenas son dispositivos pasivos que crean el efecto de amplificación debido a su forma física. Ganancia de la antena del satélite del orden de 39~57 dBi.
- ▶ **5. Ya en el satélite.** La señal es amplificada por el amplificador de bajo ruido **LNA**, cuyo principal parámetro es el **Factor de Ruido**, el cual debe tener un valor mínimo de 0.6~3dB para que el enlace funcione aceptablemente, es decir que el ruido no afecte a la señal.



- **Nota.** En el satélite, la misma antena se utiliza para recibir y transmitir. Para claridad en la explicación, se muestra como si fueran dos.

Eventos en el trayecto de bajada

- ▶ En el trayecto de bajada sucede lo mismo que en el trayecto de subida, solo que a la inversa.

Cálculo del enlace satelital

- Es un **proceso** mediante el cual se **evalúa** si los enlaces son viables, y para ello se deben calcular las pérdidas en el trayecto y conocer las características del equipamiento y de las antenas. Los cálculos se realizan con la **Ecuación de Transmisión de Friis**, la cual es común expresarla en términos de pérdidas en el espacio libre L_{fs} y decibeles.

- Ejemplo 9. Potencia recibida.** Suponga que la portadora de una estación terrena que tiene un PIRE de 55 dBW llega a un satélite situado a 36,000 km de altura, que tiene una antena receptora con ganancia de 40 dBi en la dirección desde donde proviene la señal. Si la frecuencia de transmisión es de 14 GHz, calcule la potencia P_R de dicha portadora después de pasar por la antena receptora.

$$L_{fso} = 206,49 \text{ dB}$$
$$P_R = -111,49 \text{ dBW} = 7,079 \text{ pW}$$

- Con el **cálculo de enlace** se determina el diámetro de la antena.

$$L_{fs} = \frac{P_R}{P_T}$$

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{G_T G_R \lambda^2}{16\pi^2 r^2}$$

P_R = potencia recibida, en **W**.
 P_T = potencia transmitida, en **W**.
 G_T = ganancia de la antena transmisora.
 G_R = ganancia de la antena receptora.
 λ = longitud de onda de la onda, en **m**.
 r = distancia radial entre antenas, en **m**.

$$L_{fs}(\text{dB}) = 92,44 + 20 \log r(\text{km}) + 20 \log f(\text{GHz}) - G_T(\text{dBi}) - G_R(\text{dBi})$$

$$\text{PIRE} = P_T G_T$$

$$\text{PIRE}(\text{dBW}) = 10 \log P_T(\text{W}) + G_T(\text{dBi})$$

$$P_R(\text{dBW}) = \text{PIRE}(\text{dBW}) + G_R(\text{dBi}) - 92,44 - 20 \log r(\text{km}) - 20 \log f(\text{GHz})$$

$$P_R(\text{dBW}) = \text{PIRE}(\text{dBW}) + G_R(\text{dBi}) - L_{fso}(\text{dB})$$

Se suele utilizar C en lugar de P_R en alusión a la portadora.

Satélites geoestacionarios

REDES POR SATÉLITES

Huella de potencia de satélites GEO

(Neri, 2003)

- **La huella del satélite** indica la potencia con que el satélite emite hacia una zona concreta, que es su área de cobertura. Los límites de igual recepción se representan por líneas de **contornos PIRE**.
- **El PIRE máximo** se encuentra en el punto central, y alrededor de él hay contornos PIRE constantes; el valor disminuye conforme abarca mayor área. Los satélites más poderosos radian un PIRE del orden de 60 dBW. Una radiación de 20 dBW mayor, equivale a una radiación con una intensidad de potencia 100 veces mayor.

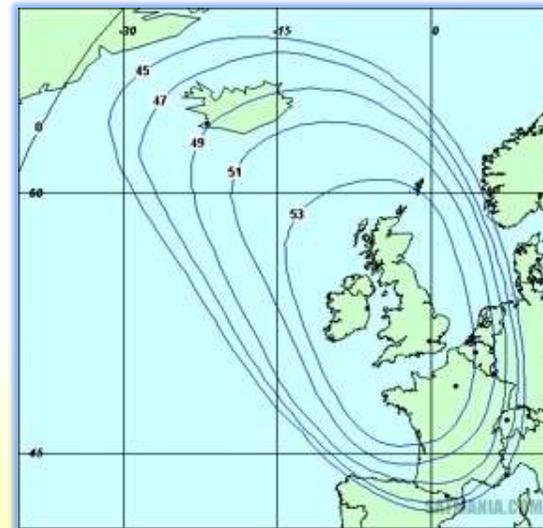
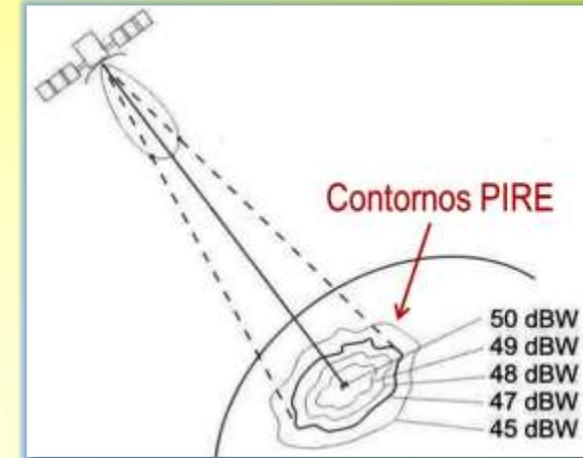
- **Ejemplo 10. Contornos PIRE.** A partir de los contornos PIRE, obtenga el valor que debe usarse para calcular un enlace de bajada en la banda Ku desde el satélite Intelsat 14, hacia estaciones terrenas que estén en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

$$\text{PIRE} = 49,1 \text{ dBW}$$

- **Ejemplo 11. Potencia transmitida.** Calcule el valor de la potencia radiada por el satélite cuya huella se muestra sobre Gran Bretaña. Suponga que la antena utilizada por el satélite es de 36 dBi.

$$\text{PIRE(dBW)} = 10 \log P_T(\text{W}) + G_T(\text{dBi})$$

$$P_T \approx 50 \text{ W}$$



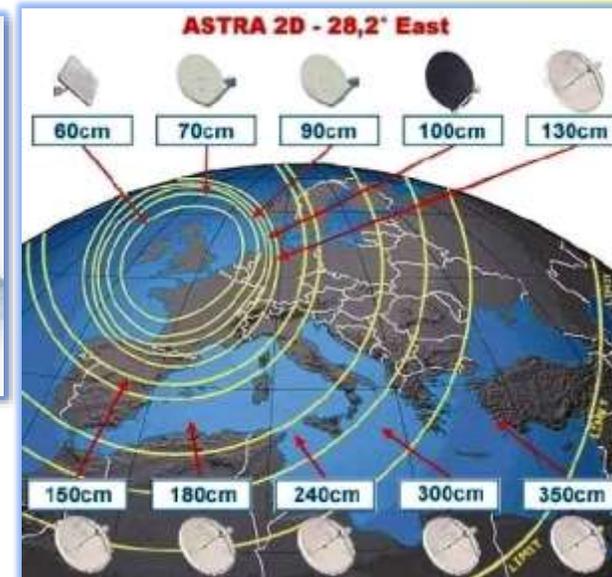
Satélites geoestacionarios

REDES POR SATÉLITES

Diámetro de la antena de la estación terrena

(Neri, 2003)

- **Se puede estimar** en función del PIRE del satélite y del Factor de Ruido del amplificador LNA (o bloque LNB).
- **Hay tablas** referidas a valores de PIRE (EIRP) y Factor de Ruido del LNA a utilizar, ejemplo: ▶ 0.6/0.7 dB, ▶ 0.8/1.0 dB, ▶ 1.1/1.3 dB.



- **Ejemplo 12. Diámetro de la antena parabólica.** Calcule el diámetro que debe tener una antena parabólica a instalarse en Sevilla, España. El satélite a usar es el Astra 2D cuyo PIRE sobre Sevilla es 39 dBW. En la estación terrena se utilizará un amplificador de bajo ruido LNA con un Factor de Ruido de 1,2 dB.

Diámetro = 180 cm

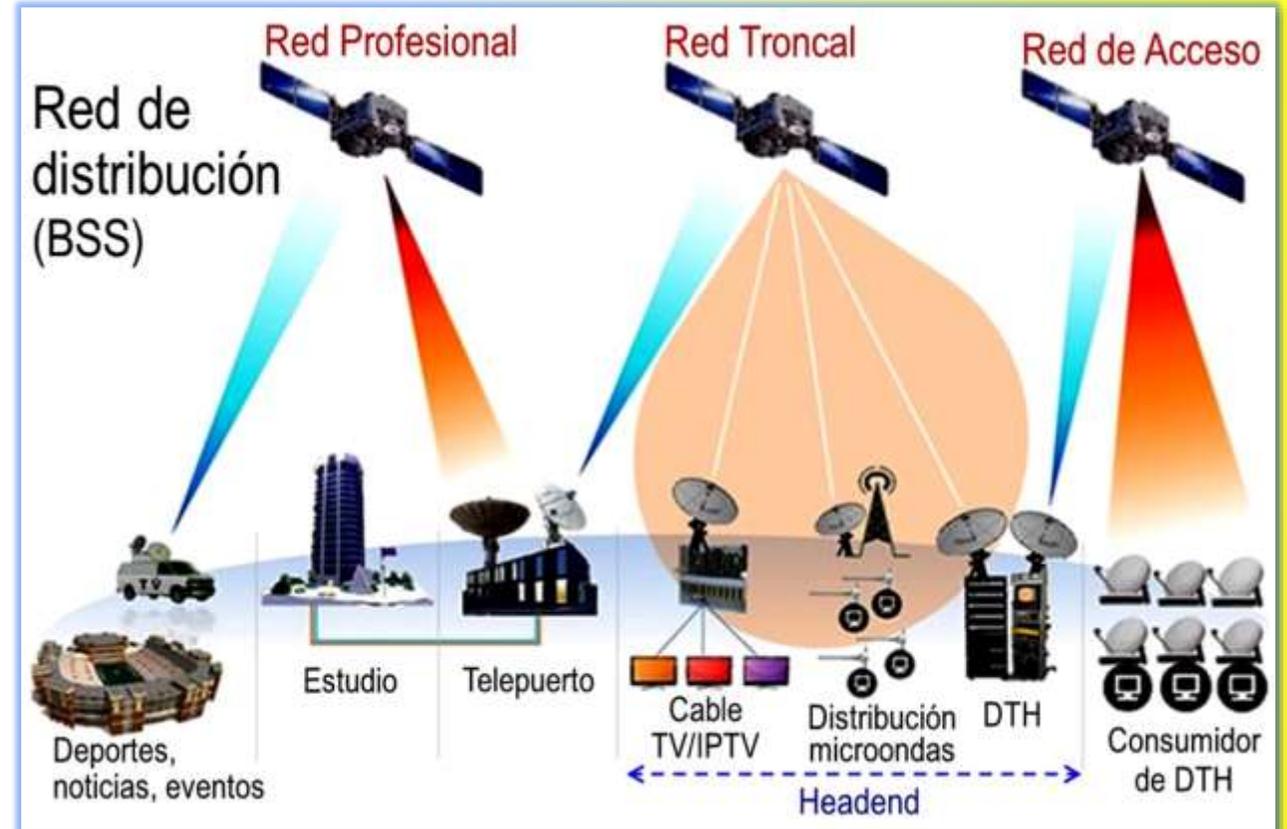
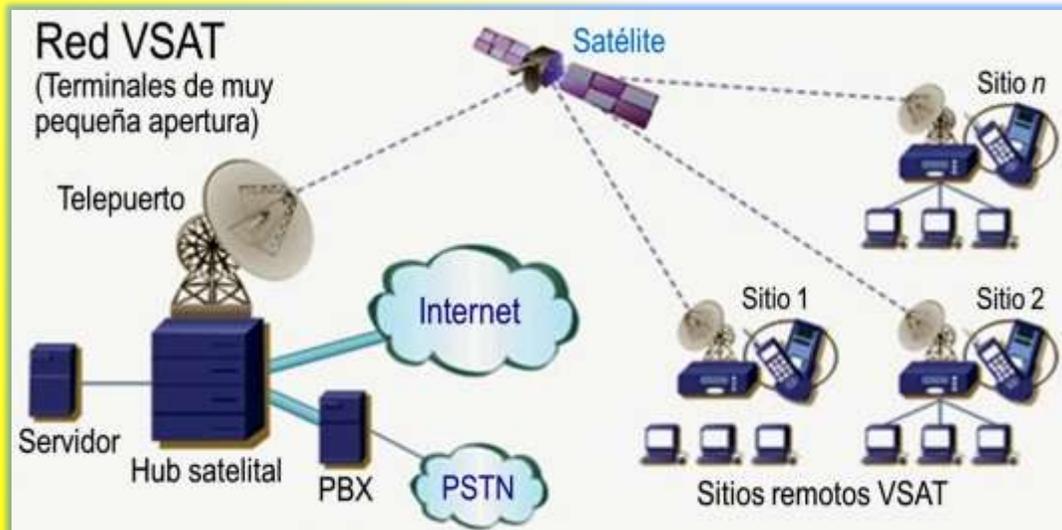
- **A mayor diámetro** de la antena, mayor ganancia.

Ku Band			
EIRP (dBW)	0.6 - 0.7	0.8 - 1.0	1.1 - 1.3
64 dBW	22 cm	23 cm	25 cm
63 dBW	24 cm	26 cm	28 cm
62 dBW	26 cm	28 cm	30 cm
61 dBW	28 cm	30 cm	32 cm
60 dBW	30 cm	32 cm	34 cm
59 dBW	32 cm	34 cm	36 cm
58 dBW	34 cm	36 cm	38 cm
57 dBW	36 cm	38 cm	41 cm
56 dBW	38 cm	40 cm	44 cm
55 dBW	40 cm	45 cm	50 cm
54 dBW	45 cm	50 cm	55 cm
53 dBW	50 cm	50 cm	55 cm
52 dBW	50 cm	55 cm	55 cm
51 dBW	55 cm	60 cm	60 cm
50 dBW	60 cm	60 cm	65 cm
49 dBW	60 cm	60 cm	65 cm
48 dBW	60 cm	75 cm	75 cm
47 dBW	75 cm	90 cm	90 cm
46 dBW	80 cm	90 cm	100 cm
45 dBW	90 cm	100 cm	105 cm
44 dBW	90 cm	100 cm	120 cm
43 dBW	100 cm	110 cm	120 cm
42 dBW	110 cm	120 cm	135 cm
41 dBW	120 cm	120 cm	150 cm
40 dBW	120 cm	135 cm	150 cm
39 dBW	135 cm	150 cm	180 cm
38 dBW	150 cm	180 cm	240 cm
37 dBW	180 cm	240 cm	300 cm
36 dBW	240 cm	300 cm	360 cm
35 dBW	300 cm	360 cm	480 cm

Satélites geoestacionarios

REDES POR SATÉLITES

Redes por satélites GEO



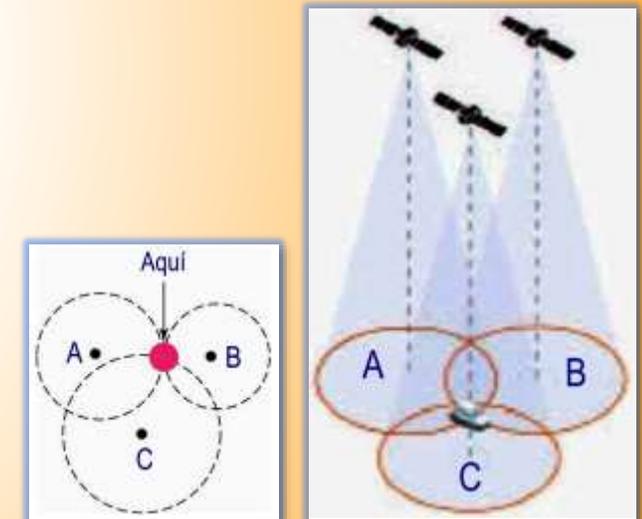
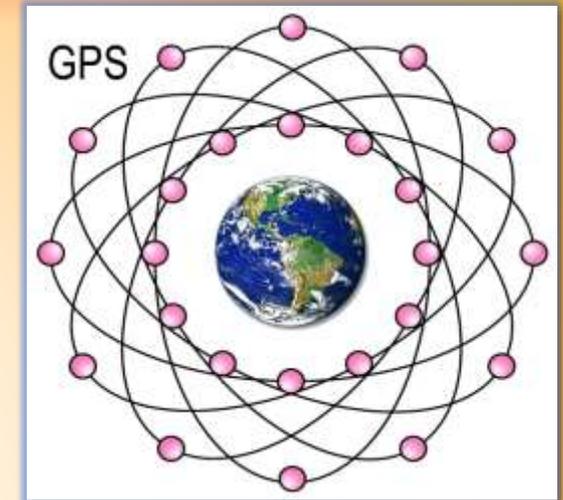
6.- SATÉLITES DE ÓRBITA MEDIA MEO

REDES POR SATÉLITES

Sistema de geoposicionamiento global GPS

(Forouzan, 2007)

- **Los satélites GPS** son un ejemplo de satélites MEO. Orbitan a 20.200 km de la Tierra. Son 24 satélites activos en 6 órbitas inclinadas. Su periodo orbital es de 12 horas.
- **GPS está diseñado** para que, en cualquier instante, sean visibles 4 satélites desde cualquier punto de la Tierra. Un receptor GPS tiene un almanaque que indica la posición actual de cada satélite.
- **¿Cómo se determina la posición de un punto?** La idea básica para determinar una posición se basa en la triangulación de satélites (son suficientes 3). Cada satélite transmite a Tierra su posición y el tiempo exacto cada 1.000 veces por segundo .
- **Aplicaciones de GPS.** ► Geoposicionamiento y navegación. ► Sincronización de relojes. Por ejemplo, sincroniza las redes ópticas síncronas SONET/SDH a nivel mundial.
- **GLONASS.** Es el sistema de navegación global por satélite creado por Rusia, se trata de una alternativa al sistema GPS de Estados Unidos. Sus satélites orbitan a 19.100 km de la Tierra. Son 24 satélites activos en 6 órbitas inclinadas. Su periodo orbital es de 11 horas y 15 minutos.
- **GALILEO.** Es un sistema de navegación global por satélite desarrollado por la Unión Europea (UE), con el objeto de evitar la dependencia de los sistemas GPS y GLONASS. Al contrario de estos dos, será de uso civil. Entre las aplicaciones se encuentran el Internet de las cosas, servicios basados en localización (encontrar restaurantes, farmacias, parqueos cercanos), servicios de salvamento, aplicaciones científicas, transporte, ingeniería civil o agricultura y otras aplicaciones similares a los de GPS y GLONASS. Sus satélites orbitan a 23.222 km de la Tierra. Son 24 satélites activos en 6 órbitas inclinadas. Su periodo orbital es de 14 horas.



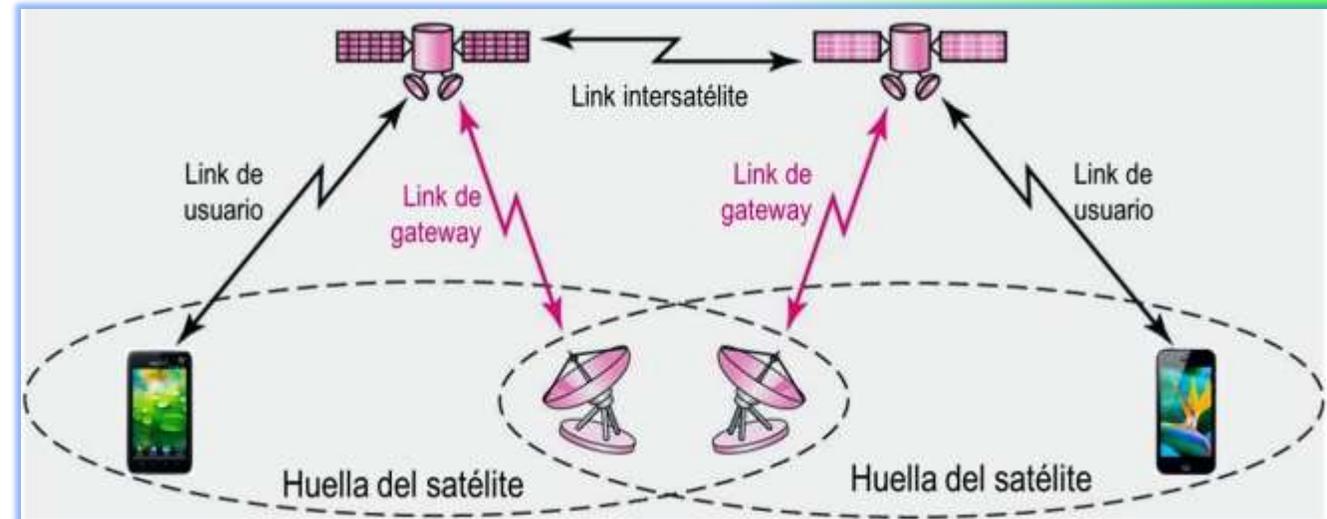
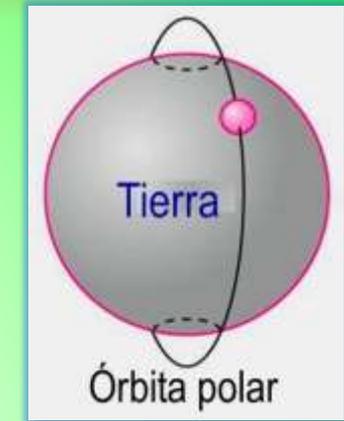
7.- SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA LEO

REDES POR SATÉLITES

¿Cómo trabajan los satélites LEO?

(Forouzan, 2007)

- **Un sistema LEO** tiene cobertura mundial para telefonía celular. Están en órbitas polares a 500~2.000 km de altura. Su periodo orbital es de 90~120 minutos y su velocidad tangencial de 20.000~25.000 km/h.
- **Los satélites LEO** al estar cerca de la Tierra, la latencia o el retardo de la señal (ida y vuelta) es de 0.02 s, aceptable para telefonía. Este retardo en los MEO es 0,1 s y en los GEO 0,5 s.
- **Trabajan** como una red. Cada satélite actúa como un switch y cubre una celda de la Tierra (huella) de hasta 666 km de diámetro.
- **Se comunican** entre satélites cercanos y con terminales móviles (usuario) y con estaciones terrenas fijas (gateway).
- **Principales constelaciones LEO**
 - ► Iridium
 - ► Globalstar
 - ► Teledesic
 - ► Starlink



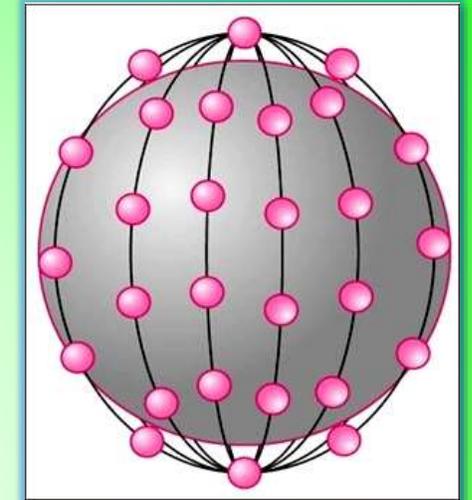
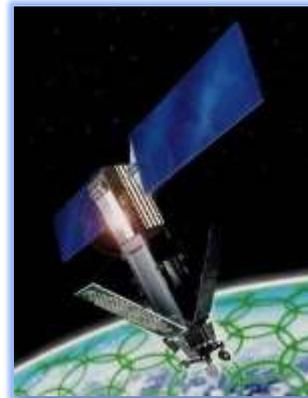
Satélites de órbita baja LEO

REDES POR SATÉLITES

Constelación Iridium

(Forouzan, 2007)

- **El proyecto** fue iniciado por Motorola en 1990. Inicialmente contemplaba 77 satélites, pero finalmente, en 1998, se lanzó con 66 satélites.
- **El nombre de Iridium** proviene del elemento químico 77; un nombre más apropiado sería ahora Dysprosium (el elemento 66).
- **Cada satélite** Iridium actúa como un switch.
- **Datos técnicos de la constelación Iridium**
 - Altura de la órbita: 780 km.
 - Periodo orbital: 100 minutos.
 - Cobertura: 66 satélites en 6 órbitas.
 - Celdas terrestres: 2.000
 - Link de usuario: banda L (1,6 GHz)
 - Link de gateway: banda Ka (30/20 GHz)
 - Link intersatélite: banda Ka (23 GHz)



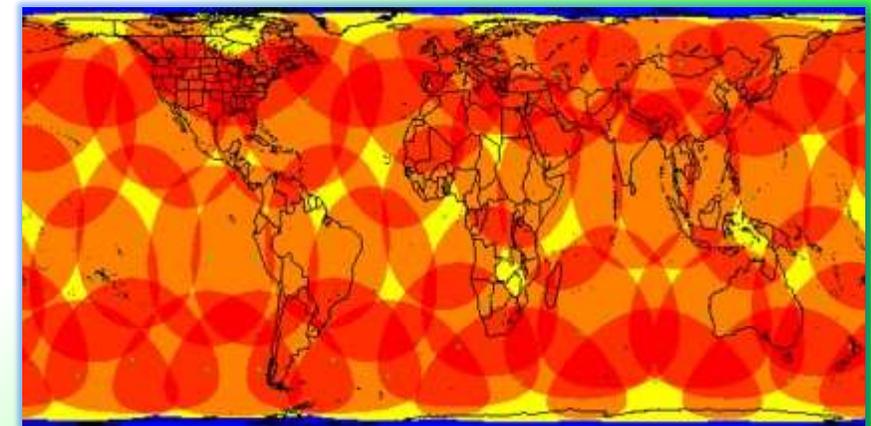
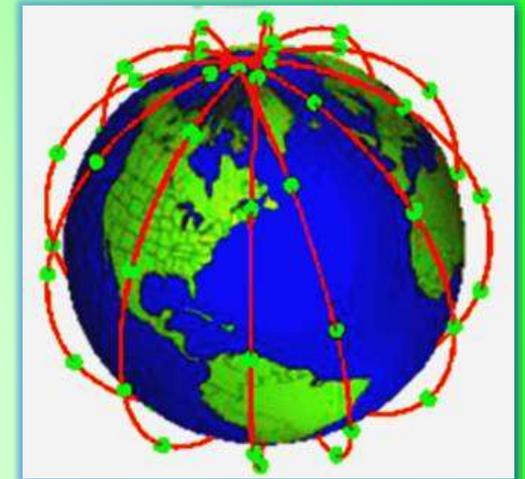
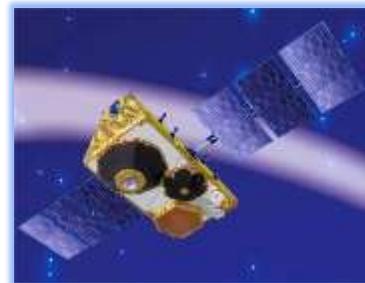
Satélites de órbita baja LEO

REDES POR SATÉLITES

Constelación Globalstar

(Forouzan, 2007)

- **La implementación** del servicio Globalstar en cada país requiere la instalación de una Estación Terrena de Satélites LEO, denominada Gateway, cuyo fin es el de administrar las comunicaciones que se cursen empleando los satélites que pasen por su territorio.
- **Cada Gateway** Globalstar, ejerce su acción dentro de un área de 3000 km. de diámetro. Globalstar empezó a lanzar sus satélites el 2007.
- **Los satélites Globalstar** son meros repetidores.
- **► Datos técnicos de la constelación Globalstar**
 - Altura de la órbita: 1.452 km.
 - Periodo orbital: 113 minutos.
 - Cobertura: 48 satélites en 6 órbitas.
 - Celdas terrestres: 768
 - Link de usuario: banda L (2,5/1,6 GHz)
 - Link de gateway: banda X (5/7 GHz)
 - Link intersatélite: Sin enlace)



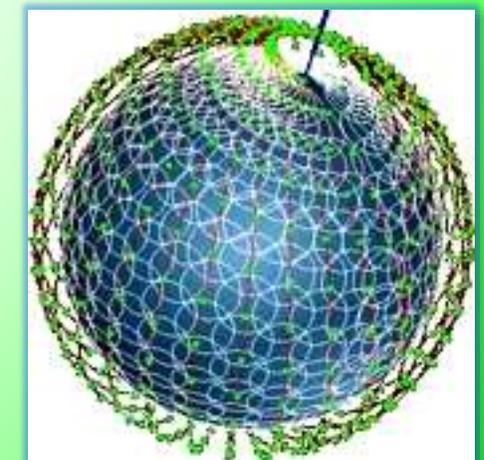
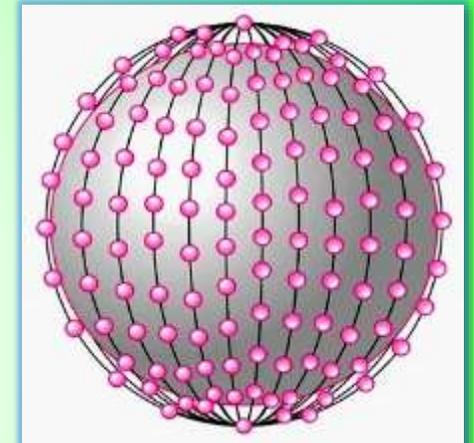
Satélites de órbita baja LEO

REDES POR SATÉLITES

Constelación Teledesic

(Forouzan, 2007)

- **El proyecto está financiado** por Microsoft y Boeing, nació en la década de 1990. El diseño original de 840 satélites en 21 orbitas fue modificado por Boeing a 288 satélites en 12 orbitas.
- **Teledesic** proporciona comunicación similar a la fibra óptica. Su principal objetivo es proporcionar acceso a Internet por banda ancha para usuarios en cualquier parte del mundo. Se denomina también “**Internet en el cielo**”.
- **Cada satélite Teledesic** actúa como un switch.
- **Datos técnicos de la constelación Teledesic**
 - **Altura de la órbita:** 700~1.350 km.
 - **Periodo orbital:** 90~110 minutos.
 - **Cobertura:** 288 satélites en 12 órbitas.
 - **Celdas terrestres:** 20.000 superceldas.
 - **Link de usuario:** banda Ka (30/20 GHz).
 - **Link de gateway:** banda C (28/18 GHz).
 - **Link intersatélite:** 40~50 GHz.
 - **Tasa de datos:** 155Mbps(Up)/1,2Gbps (Down)

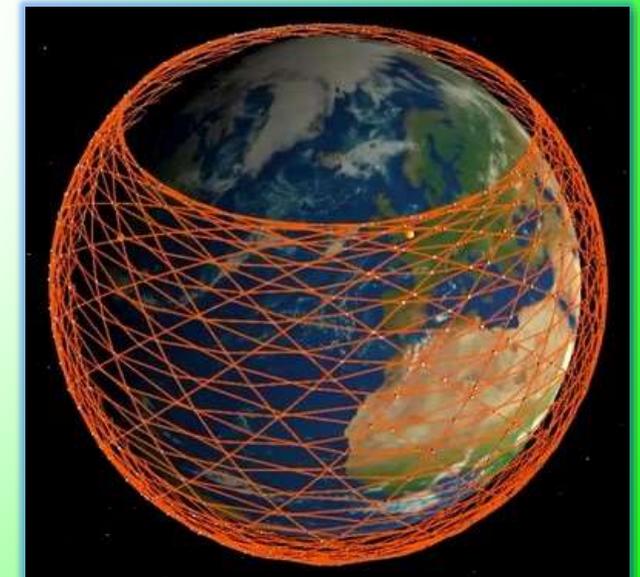


Satélites de órbita baja LEO

REDES POR SATÉLITES

Constelación Starlink

- **Starlink** es una empresa que nació como proyecto de SpaceX para la creación de una constelación de satélites de Internet, con el objetivo de brindar un servicio de Internet de banda ancha, baja latencia y cobertura mundial a bajo costo.
- **Starlink** pretende poner en órbita 12.000 satélites en una primera fase y 30.000 mas en una segunda. En mayo de 2019 comenzaron a desplegarse los satélites con ayuda de un cohete Falcon 9. A noviembre de 2020 se han confirmado más de 800 satélites en órbita.
- **Cada satélite Starlink** tiene el tamaño de una caja de zapatos y funcionará en una red mesh.
- ► **Datos técnicos de la constelación Starlink**
 - **Altura de la órbita:** 550 km.
 - **Periodo orbital:** menos de 90 minutos.
 - **Cobertura:** 12.000 satélites (final).
 - **Celdas terrestres:** red mesh.
 - **Link de usuario:** banda Ka (30/20 GHz) y Ku (17/12 GHz)
 - **Link de gateway:**
 - **Link intersatélite:** 40~75 GHz.
 - **Tasa de datos:** Descarga experimenta de 100 Mbps



Referencias bibliográficas

REDES POR SATÉLITES

Referencias bibliográficas

- APC, Asociación para el progreso de las comunicaciones (2007). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*. Mountain View, CA. USA: Limehouse Book Sprint Team.
- Blake, Roy (2004). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. México: Thomson.
- Forouzan, B. A. (2020). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- Frenzel (2003). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. Madrid: Alfaomega.
- Kraus, J., & Fleisch, D. (2000). *Electromagnetismo con Aplicaciones*. México: McGraw-Hill.
- Neri, N. R. (2003). *Comunicaciones por Satélite*. Mexico: Thomson

FIN

Tema 9 de:
COMUNICACIÓN POR RADIO

Edison Coimbra G.