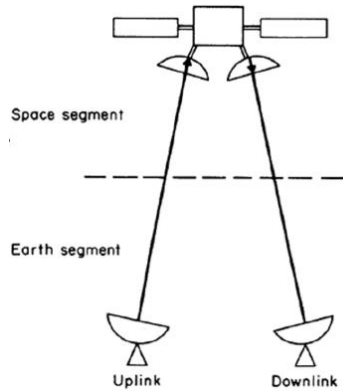


## Capítulo 6: Comunicaciones Satélite

### Introducción:

- **Definición:**
  - Según la ITU-R:
    - Radiocomunicación espacial: cualquier radiocomunicación que involucra el uso de una o más estaciones espaciales o el uso de uno o más satélites reflectantes u otro tipo de objetos (sondas espaciales por ejemplo) en el espacio.
    - El satélite artificial recibe la señal de un punto de la tierra y la retransmite a otro punto o área, así un enlace de comunicaciones puede establecerse entre dos puntos lejanos.
- **Aplicaciones:**
  - Servicio de Satélite Fijo: se trata de un servicio de radiocomunicación entre estaciones terrestres en posiciones dadas, donde se emplean uno o más satélites; la posición dada puede ser un punto fijo específico o cualquier punto dentro de un área específica. En algunos casos, este servicio incluye enlaces satélite-a-satélite. Es decir, servicio entre 2 lugares fijos de la Tierra a través de satélite.
  - Servicio Satélite Móvil: servicio de radiocomunicación entre:
    - Estaciones móviles terrestres por medio de una o más estaciones espaciales. Este servicio puede incluir también enlaces alimentadores para llevar a cabo esta operación.
    - Estaciones móviles terrestres y una o más espaciales o entre estaciones espaciales empleando este servicio.
  - Servicio de Difusión Satélite: un servicio de radiocomunicación en el cual las señales son transmitidas o retransmitidas con la intención de ser recibidas directamente por el público general. En el servicio de Difusión por Satélite, el término “recepción directa” incluiría tanto a la recepción individual como a la recepción colectiva (ej. TV satélite (fútbol)...).
  - Servicios Satélite de Radiodeterminación y Radionavegación: servicios de radiocomunicación para el propósito de radiocomunicación o radionavegación incluyendo el uso de una o más estaciones espaciales. Estos servicios pueden incluir enlaces alimentadores necesarios para la propia operación (ej. GPS).
- **Componentes básicos:**
  - Segmento espacial: incluye los subsistemas de los satélites, componentes usados para lanzar los satélites y el equipamiento terrestre y facilidades para control el satélite (seguimiento, telemetría, comandar la operación, monitorización, TTC&M, el propio subsistema).
  - Segmento terrestre: consiste en un conjunto de equipamientos y facilidades para la Transmisión, recepción y procesamiento de la señal enviada al o recibida desde el subsistema del satélite.

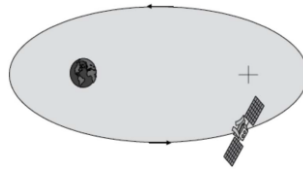
- Enlaces: los trayectos de comunicación establecidos desde un terminal a otro.
  - Enlaces ascendentes: estación terrestre -> estación Satélite.
  - Enlaces descendentes: estación Satélite -> estación terrestre.
- Órbita: el trayecto curvo estable seguido por un satélite artificial en su movimiento alrededor de la Tierra bajo la influencia de la gravitación, sin necesidad de ninguna fuerza externa para seguir dentro de esa trayectoria.



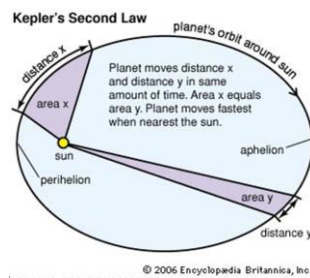
### Órbitas:

- **Fundamentos:**

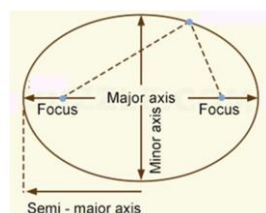
- Las órbitas siguen las Tres Leyes de Kepler:
  - Las órbitas son elípticas. Tierra en uno de los focos, el de la Tierra, a su vez, es el sol. Normalmente se usan órbitas circulares (caso particular de elíptica).



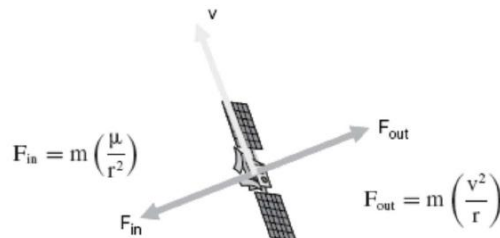
- Para intervalos iguales, el satélite describe áreas iguales en el plano orbital.



- El cuadrado del tiempo de período de la órbita es proporcional al cubo de la distancia media entre la Tierra y el Satélite (cuanto más corta la órbita, menor período, más rápido movimiento) : asigna el período orbital.



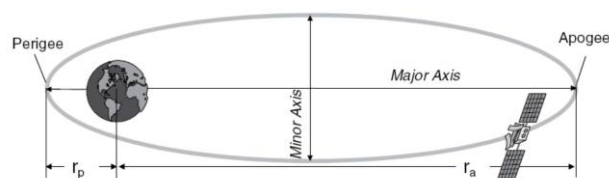
- Fuerzas más importantes que intervienen:
  - m: masa del satélite.
  - $\mu$ : parámetro de gravitación estándar = GM.
  - M: masa de la Tierra,  $M=5.9736 \cdot 10^{24}$  kg.
  - G: G es la constante de gravitación universal ( $G=6.67 \cdot 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ )
  - r: distancia entre el centro de la Tierra y el satélite
  - v: velocidad



- En una distancia dada r, la velocidad de escape es la velocidad a la cual la energía cinética más la energía potencial gravitacional es cero. Esta es la velocidad necesaria para liberarse de la atracción gravitacional de un cuerpo con masa, sin propulsión extra.
- Para un cuerpo esféricamente simétrico, la velocidad de escape a una distancia dada se calcula por la fórmula:

$$V_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}};$$

- Cuando la propulsión cesa en el lanzamiento del satélite (el satélite se dispara): si  $v < v_e$  la trayectoria del satélite (órbita) sigue una sección cónica elíptica con el foco en el centro de la Tierra (solución de la ecuación del movimiento de Newton).
- Parámetros de las órbitas elípticas:



- Excentricidad (relación entre los ejes de la elipse, definiendo lo ovalada que es):
  - ❖ Elíptica:  $0 < e < 1$
  - ❖ Circular:  $e = 0$
- Inclinación:
  - ❖ Órbitas ecuatoriales.
  - ❖ Inclinadas: una órbita cuya inclinación, en referencia al plano ecuatorial, no es cero.
  - ❖ Polar: una órbita que pasa sobre, o cerca, de ambos polos del planeta en cada revolución. Por tanto, con inclinación de, o cercana a,  $90^\circ$ .
- Parámetros de las órbitas circulares:

- Si  $v = \sqrt{\frac{\mu}{r}}$ , entonces, la órbita es circular.

➤ Período =  $2\pi \frac{\mu}{v_c^3}$

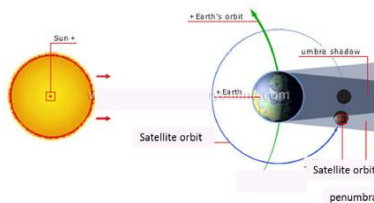
H (km)	r (km)	Velocity (km/s)	Period (s)	Period	
				(hr)	(min)
500	6.878	7,613	5.677	1	35
800	7.178	7,452	6.052	1	41
1.400	7.778	7,159	6.827	1	54
5.000	11.378	5,919	12.079	3	21
10.400	16.778	4,874	21.628	6	00
15.000	21.378	4,318	31.107	8	38
35.786 <small>sobre nivel del mar</small>	42.164 <small>sumamos la de antes el radio de la Tierra</small>	3,075 <small>velocidad de rotación de la Tierra</small>	86.164,1	23	56 minutes 4 seconds

Esto define la órbita geosíncrona (geoestacionaria).

- Tipos de Órbitas. Clasificaciones en función de la altura:
  - Órbitas LEO (Low Earth Orbit): órbitas geocéntricas circulares con altitud en el rango entre 160 y 2500 km.
    - Ventajas:
      - ❖ Distancias pequeñas: pequeñas pérdidas (ya que son proporcionales al cuadrado de la distancia) y retardos.
      - ❖ No necesitan ser órbitas ecuatoriales: cobertura polar.
      - ❖ Requieren menor potencia y antenas menores: satélites más pequeños y más baratos tanto para construirlos como para lanzarlos.
    - Desventajas:
      - ❖ No tienen una localización fija.
      - ❖ Un terminal terrestre ve a un satélite en esta órbita durante 8 o 10 minutos.
      - ❖ Requiere seguimiento terrestre de las antenas o antenas omnidireccionales.
      - ❖ Para una cobertura mundial se necesitan varios satélites: 12-66 (Iridio 77, 66 activos, 11 pasivos).
    - Principalmente usadas para comunicaciones móviles.
  - Órbitas MEO (Medium Earth Orbit): órbitas circulares con altitud desde 10000 hasta 20000 km. Los Cinturones de Radiación Van Allen delimitan los bordes de las órbitas MEO y LEO.
    - En varios aspectos es muy similar a las LEO.
    - Una o dos horas de observación.
    - Usadas para Posicionamiento y Navegación (GPS y Galileo), medidas meteorológicas y sensores remotos.
    - GPS: 24 satélites, órbitas circulares de 12 horas, altitud de 20160 km.
    - Galileo: 27 satélites, órbitas circulares de 12 horas, altitud de 23222 km.
  - Órbitas GEO (Geosynchronous Orbit, Geostationary Orbits): órbitas geocéntricas circulares con una altitud de 35786 km. El período de la

órbita es igual al de un día sideral, coincidiendo con el período de rotación de la Tierra. La velocidad es, aproximadamente, 3000 m/s.

- Período igual al de rotación de la Tierra y en la misma dirección.
- Órbita Ecuatorial.
- El Satélite parece estar fijo en el cielo.
- Radio de la órbita: 42164 km.
- Altura sobre la Tierra:  $42164 - 6378 = 35786$  km, 36000 km aprox.
- El número de satélites en órbita es limitado: 2-5.
- Ventajas:
  - ❖ Posición fija.
  - ❖ Gran cobertura.
- Desventajas:
  - ❖ Eclipse del Satélite: Se da un cambio brusco de temperatura que afecta al satélite. Cuando el satélite pasa a posición de eclipse, se pueden llegar a los  $-160^{\circ}$  o  $-170^{\circ}$ . En los momentos sin radiación solar primaria se activan las baterías. Por lo que hay que dimensionarlas, además de elementos que cuidan la temperatura: refrigeradores (temperatura normal) y calefacciones (momentos de penumbra).



- ❖ Retardo: 260 ms por cada sección.
- ❖ Atenuación: pérdidas, que aumentan con el cuadrado de la distancia. Pérdidas por trayecto. Por ejemplo:

Example of free space loss:  
14 GHz satellite link:

$$L_{FS} = 92.4 + 20 \log f + 20 \log r$$

$$= 92.4 + 20 \log 14 + 20 \log 40 \cdot 10^3 = 211.4 \text{ dB}$$

- Serious problem in the space vehicle equipment
- Problem of interference with other services

- ❖ Saturación orbital: todos o la mayoría de los países con su satélite, las órbitas se saturan con tantos.
- ❖ Cobertura de los polos: gráficamente:

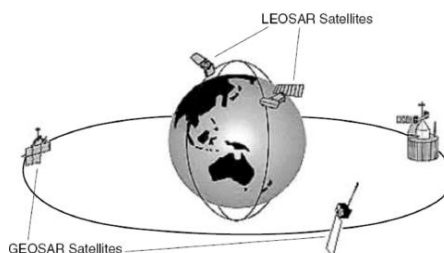
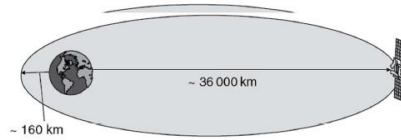


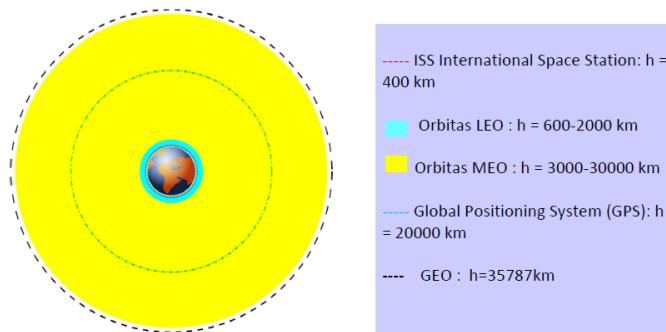
Figure 1.7 Geostationary Orbit Search and Rescue (GEOSAR) and Low Earth Orbit Search and Rescue (LEOSAR) satellites. (Courtesy Cospas-Sarsat Secretariat.)

- Órbitas HEO (High Earth Orbit, Highly Elliptical Orbit): órbitas geocéntricas sobre la altitud de las órbitas GEO.
  - Órbitas con gran elipticidad:  $e$  (0.77).
  - Molniya, la más conocida:
    - ❖ Cobertura a altas latitudes:  $>70^\circ$
    - ❖ 12 horas de órbita.



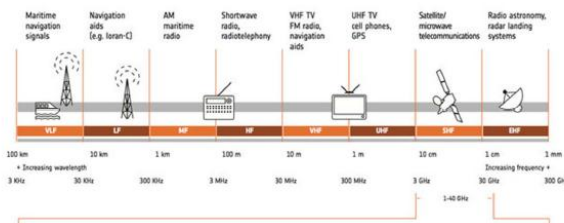
- popular for high latitude or polar coverage
- often referred to as the 'MOLNIYA' orbit
- 8 to 10 hours of 12 hour HEO orbit available for communications from earth terminal, with 'GSO like' operations

○ Resumen:



Bandas de Frecuencia Satélite:

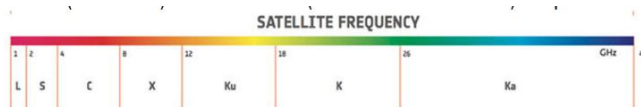
- La Tecnología Satélite se está desarrollando rápido, y las aplicaciones para esta tecnología están aumentando al mismo tiempo.
- Las bandas de frecuencia más altas dan acceso típicamente a los anchos de banda mayores, pero son también susceptibles de sufrir degradación en la señal debido al fenómeno de la lluvia (absorción de radio-señales por lluvia, nieve o granizo).
- Por haber aumentado el uso, número y tamaño de los satélites, la congestión se ha convertido en un serio problema en las bandas más bajas de frecuencia. Las nuevas tecnologías están investigando para que las bandas más altas puedan ser usadas (ej. Semana del 7-13 abril de 2014, un satélite en los 80 GHz).



- Banda L (1-2 GHz): portadoras GPS y también los satélites para telefonía móvil, tanto como Iridio; Inmarsat, que provee comunicaciones en mar, tierra y aire; WorldSpace radio-satélite.
- Banda S (2-4 GHz): radar meteorológico, radar de barcos en la superficie, y algunas comunicaciones satélite, especialmente las usadas por la NASA para comunicaciones con ISS y Space Shuttle. En Mayo de 2009, Inmarsat y Móvil-Solaris (una empresa

conjunta entre Eutelsat y Astra) fueron premiadas con cada porción de 2x15 MHz de la banda S por la Comisión Europea.

- **Banda C (4-8 GHz):** principalmente usada para comunicaciones satélite, para redes de TV-satélite a tiempo completo o alimentadores satélite puros. Comúnmente usada en áreas que están sujetas a tormentas tropicales, ya que está es menos susceptible a al fenómeno de la lluvia que la banda Ku (el satélite original Telstar tenía un transpondedor operando en esa banda, usado para transmitir la primera señal transatlántica de Tv en 1962).
- **Banda X (8-12 GHz):** principalmente usada para servicios militares. Empleada en aplicaciones radar, incluyendo onda continua, pulsada, con polarización única, doble, radar de apertura sintética y arrays en fase. Las sub-bandas de la banda X se usan en instituciones civiles, gubernamentales y militares para monitorización meteorológica, control del tráfico aéreo, control del tráfico marítimo (navíos), seguimiento de defensa y detección de la velocidad de los vehículos para reforzar la ley.
- **Banda Ku (12-18 GHz):** usada para comunicaciones satélite. En Europa, el enlace descendente de la banda Ku se emplea desde los 10.7 GHz hasta los 12.75 para servicios satélite de difusión directa, así como Astra.
- **Banda Ka (26-40 GHz):** comunicaciones satélite, enlace ascendente las bandas de 27.5 GHz o 31 GHz, gran resolución, rango cerrado de radares para seleccionar un objetivo en aviones militares.
- **Banda V (40-75 GHz):** nuevos satélites (servicios multimedia de banda ancha) son planificados para esta banda.



### Subsistemas Satélite:

- **Los satélites tienen dos subsistemas principales: La plataforma y La Carga Útil:**
  - **Plataforma:** se trata de la estructura básica y de las componentes que permiten que un satélite funcione en el espacio, independientemente de la misión del satélite. La plataforma tiene los siguientes componentes:
    - Estructura del satélite: contiene todos los componentes juntos como una unidad íntegra y proporciona el interfaz con el vehículo de lanzamiento. Debe ser lo suficientemente fuerte para aguantar la rigurosidad del lanzamiento y no excesivamente restrictivo con los pesos de la carga útil (robustos y flexibles, hechos de titanio).
    - Batería: normalmente paneles solares, aunque hay tres tipos de fuentes energéticas: solar, química o nuclear. Alimentación formada por la fuente y estructuras de masa. Esta masa es, precisamente, todo el recubrimiento exterior (conductores externos), con vista especular (aluminio), funcionando como una "Jaula de Faraday" para evitar problemas internos. Duración programada.
    - Propulsor: usado para alcanzar la órbita inicial y hacer grandes cambios de posición. Se lanzan con los paneles recogidos, y en la posición final se abren, para ahorro energético. Se emplean cohetes lanzaderas o

vehículos tripulados, realizándose los lanzamientos cerca del Ecuador, lejos de la población, debido a los restos que caen.

- Control de comportamiento y estabilidad: control térmico, control de temperatura y control del ambiente.
- Telemetría, seguimiento y comando.

▪ Carga Útil:

- La función y capacidades de la carga útil son las razones por las que un satélite es puesto en órbita. La carga útil proporciona capacidades basadas en el espacio a los usuarios. La carga útil distingue un tipo de satélite de otro.
- Satélite de comunicaciones: equipamiento de comunicaciones que proporciona el enlace de transmisión entre los enlaces ascendente y descendente desde la Tierra.
- Carga útil de Comunicaciones:

- Antenas:

- ❖ Transmisión.

- ✓ Para las antenas transmisoras, aún con bajos BW (3 dB), significa grandes áreas de cobertura.

- ❖ Recepción.

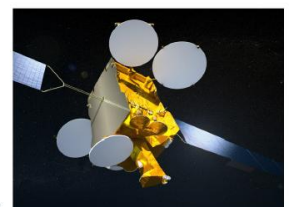
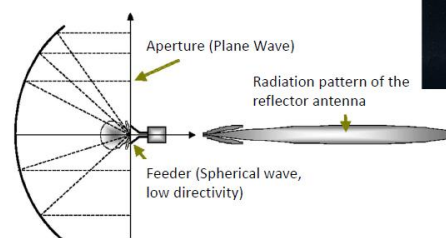
- ❖ En órbitas GEO se emplean antenas con alta directividad para compensar las altas FSL.

- ❖ Antenas usadas:

- ✓ Dipolos lineales: omnidireccionales. VHF y UHF. Útiles para TTM&C y para la fase de lanzamiento.
- ✓ De apertura: alta ganancia.
- ✓ Bocinas.
- ✓ Parabólicas.
- ✓ Arrays: alta ganancia.

- ❖ Antena Parabólica reflectora:

- ✓ Se lanzan replegadas, no pueden ser enormes.
- ✓ Lóbulos estrechos en el diagrama de radiación, con lo cual ganancia elevada en esa dirección.



- ✓ Frecuencia > 8 GHz.



- ✓ Ganancias de 25 dB y mayores, anchura del haz (o del rayo) de 1º o menos.
- ✓ Apertura Efectiva (y D) proporcionales al área física. A mayor tamaño de antena, mayor D:

$$A_{\text{eff}} = S \cdot e = \pi \cdot r^2 \cdot e$$

$$D = \frac{4\pi \cdot A_{\text{eff}}}{\lambda^2} = 4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot r}{\lambda} \right)^2 \cdot e$$

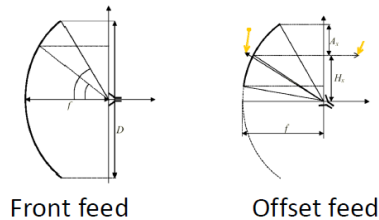
$e, \eta_A$ : Efficiency, (0.5-0.9)  
normal value 0.65

Attention: Here, r is antenna radius, not distance from Tx to Rx

$$G(\text{dB}) \approx D(\text{dB}) = 26.4 + 10 \cdot \log(e) + 20 \cdot \log r(\text{m}) + 20 \cdot \log f(\text{GHz})$$

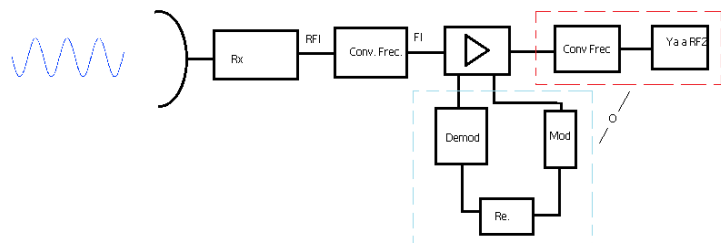
**Example:** f = 6 GHz, Radius r = 2 m, efficiency e = 0,55 **G = 39,4dB**

- ✓ Bloques alimentadores de las ondas: pérdida de eficiencia.
- ✓ El Reflector compensa y soluciona este problema.



#### ○ Transponedor:

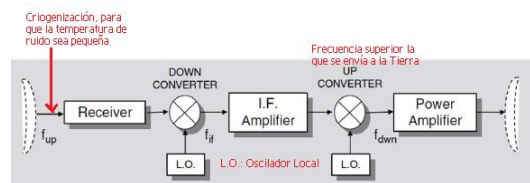
- ❖ Recepción.
- ❖ Amplificación.
- ❖ Conversión de Frecuencia.
- ❖ Transmisión.
- ❖ Son la carga útil de un satélite de comunicaciones.
- ❖ Recibe la señal desde la antena de recepción, la amplifica, convierte la frecuencia y la transmite a la antena transmisora.
- ❖ Se dan varios transponedores en un satélite. La banda de frecuencia se divide en "slots" o ranuras.
- ❖ Por ejemplo, la banda C (500 MHz), tiene 12 transponedores, de 36 MHz de ancho de banda y 4 MHz de bandas de guarda (17 bandas de guarda).
- ❖ Las bandas de frecuencia pueden ser reutilizadas por la multiplexación de la polarización:
  - ✓ Lineal: vertical / horizontal.
  - ✓ Circular: mano izquierda o derecha.
- ❖ También pueden reutilizarse por separación espacial.
- ❖ Satélite moderno normal: 24-48 transponedores, banda C, banda Ku o banda Ka.



❖ Dos tipos de Transponedores:

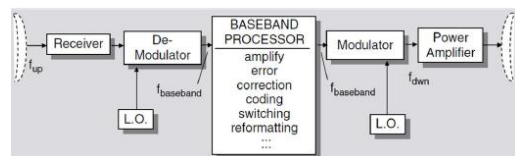
✓ De Traslación en Frecuencia (repetidor no regenerativo).

- ✚ La señal recibida es amplificada y retransmitida a diferente frecuencia.
- ✚ La degradación de la señal es acumulativa.
- ✚ Alternativa única para los sistemas analógicos.
- ✚ Un transponedor puede ser usado para diferentes servicios.



✓ De Procesamiento A Bordo (repetidor regenerativo, transponedor demod/remod) o pequeño satélite).

- ✚ La señal recibida es demodulada, se corrigen los errores, se modula de nuevo y se transmite a frecuencia diferente (normalmente).
- ✚ La calidad del enlace descendente y del ascendente de la señal son independientes.
- ✚ La modulación en el enlace descendente y en el ascendente podría no ser la misma.
- ✚ Los transponedores se adaptan al servicio.
- ✚ Diseño más complicado.
- ✚ Mejor comportamiento.



○ Ampliadores de potencia:

- ❖ Alta potencia de RF implica alto consumo de potencia.
- ❖ Es importante una alta eficiencia.
- ❖ Si se requiere una buena linealidad, la potencia de salida tiene que ser menor que el valor máximo (Output back-off, OBO, grado de retroceso), pérdida de eficiencia.

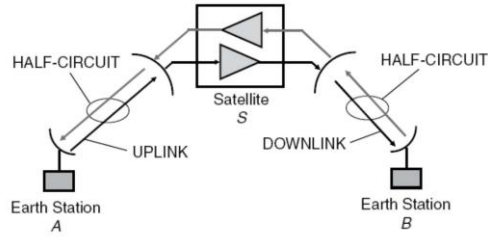
- ❖ Se prefieren modulaciones con portadora única (OFDM raramente).
  - ❖ Es emplean amplificadores de Tubo de Onda Progresiva y Amplificadores De Estado Sólido.
- Adicional:
    - Cabe destacar que el último servicio de un satélite, es salir de su órbita e ir a la “órbita cementerio”. Esto se convierte en basura espacial.
    - Un tipo de ingeniería se encarga de ello.
    - Se da el problema de que existe un motor dentro del satélite que contiene combustible, del cual se derivan partículas.
    - Estas partículas tienen grandes probabilidades de colisión dentro de esa órbita, pudiendo generar problemas.
    - La vida útil de un satélite es de unos 15 años, programando el combustible para esa duración.
    - Los satélites no programados, vagan por el espacio.

### Enlaces Satélite:

- **Parámetros de calidad de Diseño del Enlace:**
  - Los parámetros de diseño del enlace son parámetros que combinan el balance de energía y el ruido del sistema, para definir el diseño del enlace completo:
    - C/N (relación portadora a ruido).
    - C/N<sub>0</sub> (relación portadora a densidad de ruido):
      - Se trata del mismo concepto que C/N, pero dependiendo de la Densidad de Potencia del ruido en vez de la potencia de ruido.  

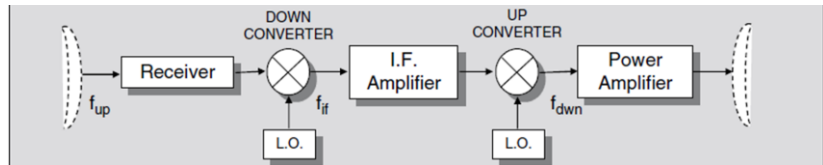
$$\left(\frac{c}{n}\right) = \left(\frac{c}{n_0}\right) \frac{1}{b_N}$$
 En escala logarítmica:  $\left(\frac{c}{N}\right) = \left(\frac{c}{N_0}\right) - B_N(dB)$  o dBHz si despejamos la C/N<sub>0</sub> en lugar de la C/N.
    - E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> (relación de Energía por bit a densidad de ruido).
      - En comunicaciones digitales, es más útil describir la calidad del enlace usando la Energía por bit que la potencia de la portadora:  
 $E_b = c \cdot T_b$  ; donde c es la potencia de la portadora y T<sub>b</sub> la duración de un bit (segundos).
      - Calidad del enlace:  

$$\left(\frac{e_b}{n_0}\right) = T_b \left(\frac{c}{n_0}\right) = \frac{1}{R_b} \left(\frac{c}{n_0}\right) ; \left(\frac{e_b}{n_0}\right) = \frac{b_N}{R_b} \left(\frac{c}{n}\right)$$
 Donde, R<sub>b</sub> es el “bit rate” en bps.
      - El valor más alto de esto significará mayor calidad del enlace.
      - Ventaja: permite comparar la calidad para diferentes tasas de transmisión.
- **Balance de composición del enlace:**
  - Esquema general:
    - Cálculos en tres pasos: ascendente, descendente y total (no necesariamente en este orden):



○ Tipos de Transponedores:

- Satélite de Traslación en Frecuencia (FT): amplifica y cambia la frecuencia.



$$\left(\frac{c}{n}\right)_C^{-1} \Big|_{FT} \cong \left(\frac{c}{n}\right)_U^{-1} + \left(\frac{c}{n}\right)_D^{-1}$$

$$\left(\frac{c}{n_0}\right)_C^{-1} \Big|_{FT} \cong \left(\frac{c}{n_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{c}{n_0}\right)_D^{-1}$$

$$\left(\frac{e_b}{n_0}\right)_C^{-1} \Big|_{FT} \cong \left(\frac{e_b}{n_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{e_b}{n_0}\right)_D^{-1}$$



- ❖ Balance del enlace descendente:

$$C/N_0 = \text{EIRP}_{\text{SATELLITE}} - L_{FS} - L_{\text{Total}} + G/T_{\text{Earth}} - 10 \log k$$



- ❖ Balance del enlace ascendente:

$$C/N_0 = \text{EIRP} - L_{FS} - L_{\text{Total}} + G/T_{\text{satellite}} - 10 \log k$$

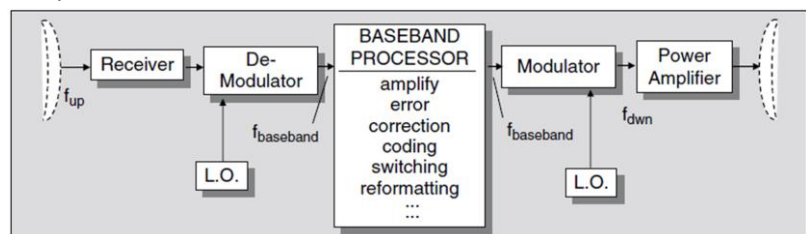
Donde,

$$l_{\beta} = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda}\right)^2$$

$$g = k \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot S_g}{\lambda^2} = \frac{4 \cdot \pi}{\lambda^2} \cdot S_e$$

— G/T: Figure of merit of receiver

- Satélite de procesamiento a bordo (OBP): también incluye regeneración de la señal. Los enlaces se convierten en independientes.



- ❖ La señal es amplificada, corregida y regenerada.
- ❖ Los enlaces son independientes (ruido no acumulativo).
- ❖ La calidad se evalúa empleando la probabilidad de error de bit:



- Atenuación por los gases atmosféricos.
- Atenuación por lluvia, otras precipitaciones y nieblas (nubes).
- Concentración (focusing) y “defocusing”.
- Centelleo y efectos del multitrayecto.
- Atenuación por las tormentas de arena y polvo.
- Cada una de estas contribuciones tiene sus propias características: una función de frecuencia, localización geográfica y ángulo de elevación.
- Como regla general, a ángulos de elevación sobre 10°, sólo son significantes la atenuación por los gases, la lluvia y niebla y, posiblemente, por centelleo, dependiendo de las condiciones de propagación.
- Como en los enlaces fijos terrestres, es necesario incluir un margen de desvanecimiento en los cálculos del balance de potencia del enlace para dejar margen a las componentes simultáneas de las pérdidas de propagación.
- Aproximación diferente basada en la frecuencia para las pérdidas adicionales totales:
  - $F < 3$  GHz: variaciones que no afectan al valor medio: criterios fundamentales de diseño.
  - $F > 3$  GHz: varía considerablemente por la lluvia y los gases.

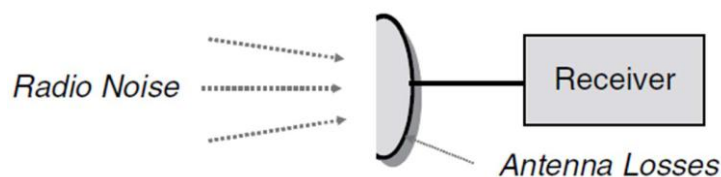
- **Ruido del Sistema:**

- El ruido está presente en todos los equipamientos y sistemas de comunicación, incluyendo los sistemas de radiocomunicaciones.
- Para un buen diseño del sistema de Recepción, el valor más importante del ruido es el que se recibe en las primeras etapas de recepción, debido a la baja potencia recibida en esta etapa (pW).

- Ruido Térmico:

- Causa: el movimiento aleatorio de los electrones de los elementos conductores, semiconductores y dieléctricos. Presente en dispositivos activos y pasivos.
- Constante con la frecuencia: ruido blanco.
- Amplitud Gaussiana: ruido Gaussiano (valor medio cero, y varianza  $s^2$ ).
- Es cuantificado por la Temperatura Equivalente de Ruido:
  - Temperatura de la resistencia que produce la misma densidad de potencia de ruido (potencia por unidad de ancho de banda).
- Otros parámetros: figura de ruido, factor de ruido...

- Ruido en la antena:



- Dos componentes:
  - Ruido debido a la antena (pérdidas de la antena):

- ❖ Pérdidas debidas a la absorción de los reflectores.
  - ❖ Especificada por la Temperatura Equivalente de Ruido de la antena (50-75° K normalmente).
  - ❖ Figura de ruido (0.5 – 1 dB).
  - ❖ Incluidas en la eficiencia de la antena y no necesita incluirse en el balance de potencia del enlace.
- Ruido de radio o ruido del Cielo:
- ❖ Es el límite en los sistemas con muy bajo nivel de ruido interno.
  - ❖ Fuentes de ruido de radio:
    - ✓ Terrestre:
      - ✚ La absorción de energía de la señal se acopla a la emisión de ruido de radio: emisiones de los gases atmosféricos (oxígeno y agua) e hidrometeoros (nubes y lluvias).
      - ✚ Truenos y relámpagos.
      - ✚ Cuerpo negro de radiación causado por la Tierra.
    - ✓ Extra-terrestre:
      - ✚ Radiación de fondo (ambiental cósmica).
      - ✚ Radiación solar y lunar.
    - ✓ Radiación estelar, ruido galáctico:
      - ✚ Ruido causado por el hombre (objetos hechos por el hombre).
      - ✚ Líneas de potencia.
      - ✚ Motores de combustión, motores eléctricos...
      - ✚ Emisiones de los sistemas de comunicación.

▪ Ejemplos:

1.- Basic Link Budget

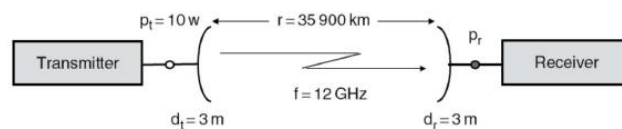


Figure 4.7 Ku-band link parameters

The transmit power is 10 watts, and both the transmit and receive parabolic antennas have a diameter of 3 m. The antenna efficiency is 55 % for both antennas. The satellite is in a GSO location, with a range of 35 900 km. The frequency of operation is 12 GHz. These are typical parameters for a moderate rate private network VSAT uplink terminal. Determine the received power,  $p_r$ , and the power flux density,  $(\text{pfd})_r$ , for the link.

## 1.- Basic Link Budget

### 1. Antenna Gain

Attention: Here, D is antenna diameter, not directivity

$$G(\text{dB}) = 20.4 + 10 \cdot \log \eta_A + 20 \cdot \log D(\text{m}) + 20 \cdot \log f(\text{GHz})$$

$$G = 10 \log(109.66 f^2 d^2 \eta_A)$$

$$G_t = G_r = 10 \log(109.66 \times (12)^2 \times (3)^2 \times 0.55) = 48.93 \text{ dBi}$$

### 2. EIRP

$$\text{EIRP} = P_t + G_t$$

$$= 10 \log(10) + 48.93$$

$$= 10 + 48.93 = 58.93 \text{ dBw}$$

### 3. Free Space Path Loss

$$L_{\text{FS}} = 20 \log(f) + 20 \log(r) + 32.44$$

$$= 20 \log(12) + 20 \log(3.59 \times 10^7) + 32.44$$

$$= 21.58 + 151.08 + 32.44 = 205.1 \text{ dB}$$

### 4. Power Flux Density (PFD)

$$(\text{PFD})_r = \text{EIRP} - 20 \log(r) - 10.99$$

$$= 58.93 - 20 \log(3.59 \times 10^7) - 10.99$$

$$= 58.93 - 151.08 - 10.99$$

$$= -103.14 \text{ dB(w/m}^2\text{)}$$

### 5. Received Power

$$P_r(\text{dB}) = \text{EIRP} + G_r - L_{\text{FS}}$$

$$= 58.93 + 48.93 - 205.1$$

$$= -97.24 \text{ dBw}$$

## 2.- Uplink Link Budget: satellite link 11/14GHz

### Uplink

1. Transmitter output power at saturation, 2 KW	33	dBW
2. Backoff and combining losses	7	dB
3. Transmit antenna gain (15 m, 14 GHz)	64	dB
4. EIRP	90	dBW
5. Free space loss (14 GHz)		207.5 dB
6. Atmospheric loss (14 GHz, clear weather)	0.6	dB
7. Satellite G/T	-5.3	dBK <sup>-1</sup>
8. C/T at repeater input	-123.4	dBWK <sup>-1</sup>
9. Boltzmann's constant	-228.6	dBWK <sup>-1</sup> Hz <sup>-1</sup>
10. Bit rate, 120 Mb/s	80.8	dBHz
11. E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> at repeater input	24.4	dB

## 3.- Downlink Link Budget: satellite link 11/14GHz

### Downlink

1. EIRP at beam edge (unmodulated carrier, saturation)	40.8	dBW
2. Modulation backoff and bandlimiting losses	0.6	dB
3. Free space loss (11.7 GHz)	205.6	dB
4. Atmospheric loss (11.7 GHz, clear weather)	0.4	dB
5. Power at receive antenna	-165.8	dBW
6. Receive antenna gain (15 m, 11.7 GHz)	62	dB
7. Receive system noise temperature (clear weather) 270 K	24.3	dBK
8. Earth station G/T	37.7	dBK <sup>-1</sup>
9. C/T at receiver input	-128.1	dBWK <sup>-1</sup>
10. Boltzmann's constant	-228.6	dBWK <sup>-1</sup> Hz <sup>-1</sup>
11. Bit rate 120 Mb/s	80.8	dBHz
12. E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> at receiver input	18.4	dB



## 4.- Composite link budget

**Example 12.19** A multiple carrier satellite circuit operates in the 6/4-GHz band with the following characteristics. *Uplink:* Saturation flux density  $-67.5$  dBW/m<sup>2</sup>; input backoff 11 dB; satellite  $G/T$   $-11.6$  dBK<sup>-1</sup>. *Downlink:* Satellite saturation EIRP 26.6 dBW; output backoff 6 dB; free-space loss 196.7 dB; earth station  $G/T$  40.7 dBK<sup>-1</sup>. For this example, the other losses may be ignored. Calculate the carrier-to-noise density ratios for both links and the combined value.

**solution** As in the previous examples, the data are best presented in tabular form, and values are shown in decibels. The minus signs in Eqs. (12.50) and (12.55) are attached to the tabulated numbers:

Downlink	
Satellite [EIRP]	26.6
Output backoff	-6
Free-space loss	-196.7
Earth station $[G/T]$	40.7
$-[k]$	228.6
$[C/N_o]$ from Eq. (12.55)	93.2

Uplink	
Saturation flux density	-67.5
$[A_0]$ at 6 GHz	-37
Input backoff	-11
Satellite saturation $[G/T]$	-11.6
$-[k]$	228.6
$[C/N_o]$ from Eq. (12.50)	101.5

$$\frac{N_o}{C} = 10^{-10.15} + 10^{-9.32} = 5.49 \times 10^{-10}$$

$$\left[ \frac{C}{N_o} \right] = -10 \log (5.49 \times 10^{-10}) = 92.6 \text{ dBHz}$$