

Comunicaciones Espaciales

Subsistemas del Satélite y entorno espacial

Fernando D. Quesada Pereira¹

¹Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena

15 de octubre de 2010

- 1 Subsistemas del bus
 - Subsistema de generación de potencia
 - Subsistema de control de órbita y estabilización
 - Subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)
- 2 Carga útil
 - Sistema de RF
 - Antenas de Satélite
- 3 Fiabilidad en los satélites
- 4 Entorno espacial
 - Basura Espacial
 - Meteoritos

Subsistemas del bus del satélite

Dentro del bus del satélite se encuentran los siguientes subsistemas:


Subsistema estructural Debe mantener todos los equipos, siendo robusto y estable respecto a las fuerzas externas.

Subsistema de control térmico Al no existir atmósfera, las zonas que miran al Sol presentan **temperaturas muy elevadas**, mientras que las zonas que dan al espacio profundo **temperaturas muy bajas**.

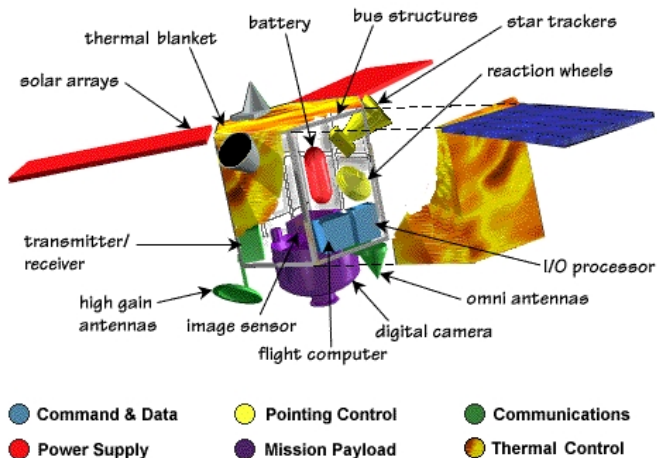
Subsistema de generación de potencia Compuesto por **paneles solares**, ya que los equipos se alimentan de energía solar.

Subsistema de control de órbita y estabilización El **apuntamiento** de las antenas debe mantenerse para poder dar un correcto servicio.

Subsistema de propulsión Estabiliza y **corrige** errores de **trayectoria**.

Posicionamiento, telemetría y comando (TTC) **Comunica** con la **estación de control en Tierra**, proporcionando información importante, para realizar el mantenimiento 

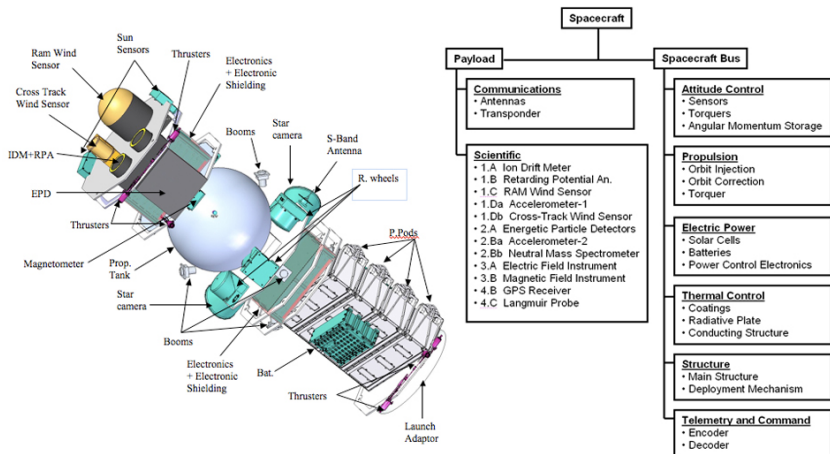
Anotomía de un satélite



Distintos componentes de un satélite

Ejemplos de subsistemas de satélites

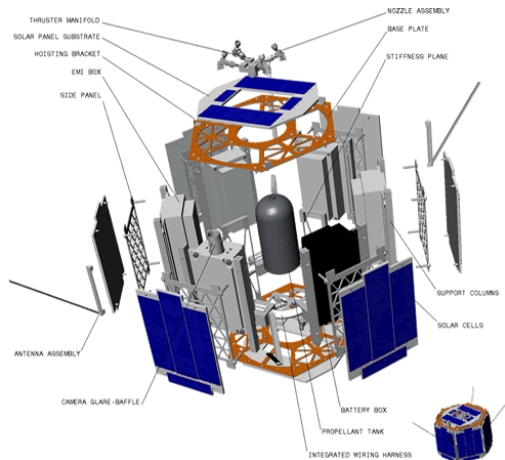
Dédalo



Subsistemas del prototipo de satélite Dedalo de la ESA desarrollado por Grecia (órbita muy baja (100 Km) para estudiar las capas altas de la atmósfera).

Ejemplos de subsistemas de satélites

Artemis



Satélite desarrollado por estudiantes de la universidad de Texas.

1 Subsistemas del bus

- Subsistema de generación de potencia
- Subsistema de control de órbita y estabilización
- Subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)

2 Carga útil

- Sistema de RF
- Antenas de Satélite

3 Fiabilidad en los satélites

4 Entorno espacial

- Basura Espacial
- Meteoritos

Generación de potencia mediante paneles solares

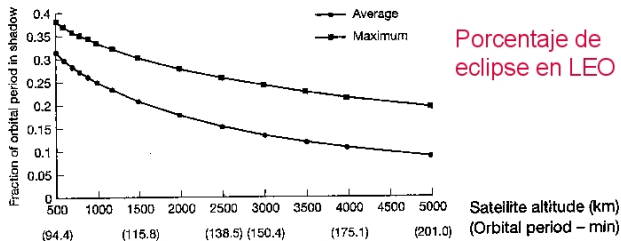
Aunque, algunas misiones científicas de exploración del sistema solar han utilizado generadores termonucleares, para evitar riesgos, casi todos los satélites emplean **paneles solares de Si o AsGa**.

- La densidad de potencia del Sol en órbita geostacionaria es de $1,39 \text{ kW}/\text{m}^2$.
- La **eficiencia** de los paneles solares es del **20 al 25 %**, aunque **decae con el paso del tiempo**, debido en parte al impacto de protones y electrones. Por lo que los paneles se han de sobredimensionar, para dar servicio en toda la vida útil del satélite.
- Los satélites estabilizados con tres ejes consiguen mejores eficiencias que los estabilizados por spin.

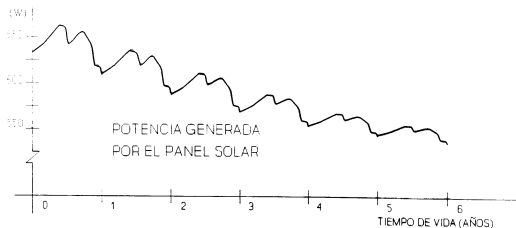
El sistema de generación de potencia debe tener en cuenta la ocurrencia de **eclipses** de la Tierra:

- Se dotan de baterías Ni–Cd (15 % peso total).
- Se **descargan las baterías** en el transcurso de los **eclipses**.
 - LEO aproximadamente 30 % del tiempo (uno por órbita todos los días del año)
 - En GEO son más escasos y dependen de la estación. Sólo existen eclipses alrededor de los equinoccios de primavera y otoño (88 días al año con una duración máxima de 70 min).

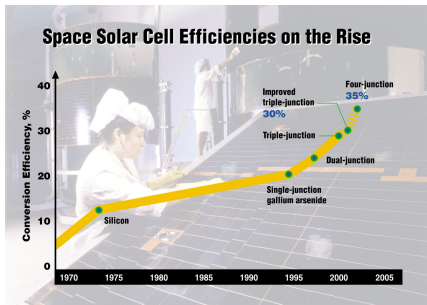
Porcentaje de tiempo de eclipses LEO y potencia de paneles en GEO en función del tiempo



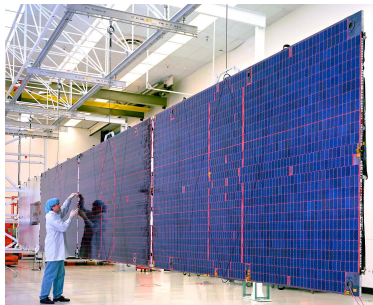
- El porcentaje de eclipses disminuye con la altura.
- La eficiencia de las células solares baja con el tiempo.



Aumento de la eficiencia de las células solares



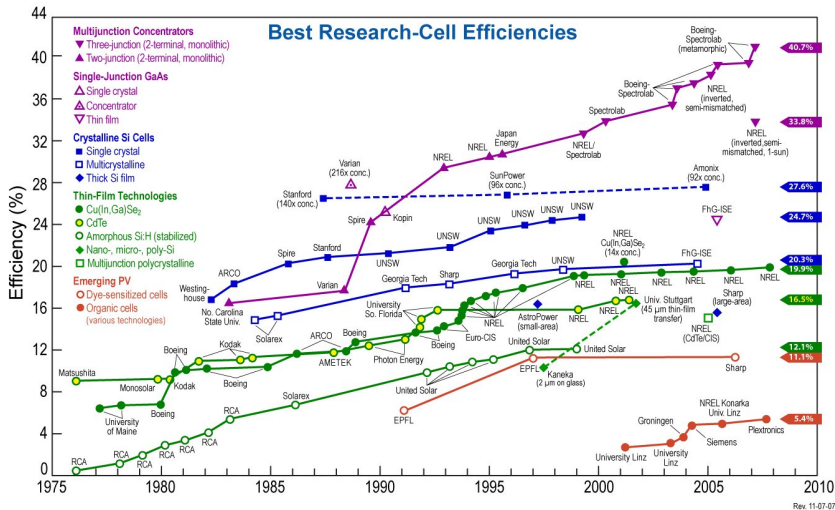
La eficiencia de las células fotovoltaicas ha aumentado con el paso de los años



Tamaño relativo de los paneles solares

Aumento de la eficiencia de las celdas solares para distintas tecnologías

Evolución a lo largo de los años



1 Subsistemas del bus

- Subsistema de generación de potencia
- **Subsistema de control de órbita y estabilización**
- Subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)

2 Carga útil

- Sistema de RF
- Antenas de Satélite

3 Fiabilidad en los satélites

4 Entorno espacial

- Basura Espacial
- Meteoritos

Subsistema de control de órbita y estabilización

El **control de órbita y estabilización** sólo se puede realizar mediante **propulsores**.

La **estabilización** del satélite es importante para **mantener el apuntamiento** de las antenas:

Estabilización en tres ejes El cuerpo se mantiene estabilizado en 3–D y sólo sufre pequeños cambios de estabilización para reorientarse hacia la superficie terrestre.

Estabilización en spin Una parte del satélite gira para aumentar la rigidez del conjunto (sólo se suele emplear en satélites geoestacionarios).

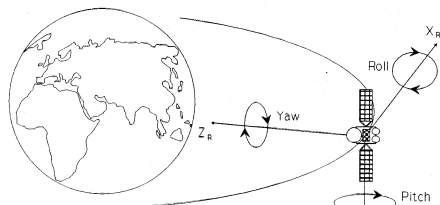
La correcta estabilización se consigue con:

- **Sensores inerciales** (acelerómetro, giróscopo),
- **Sensores** con sistema de **referencia externo** (Sol, estrellas, Tierra)
- **Actuadores** que corrigen las desviaciones (propulsor, actuador magnético, navegación solar, momento angular)

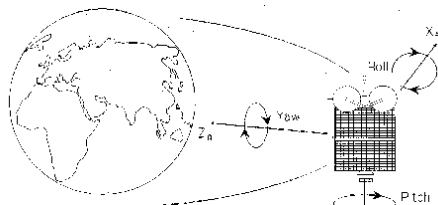
Sistemas de estabilización de 3 ejes y de spin

Se definen **tres ejes de referencia** cartesianos (X_R, Y_R, Z_R) con el satélite centrado en el origen.

- Z_R esta dirigido hacia el centro de la Tierra. El giro sobre este eje se denomina **yaw (Guiñada)**.
- X_R es tangente al plano orbital y se encuentra dentro de dicho plano. El giro se denomina **roll (Alabeo)**.
- Y_R es perpendicular al plano orbital. El giro se denomina **pitch (Cabeceo)**.



Estabilización de 3 ejes

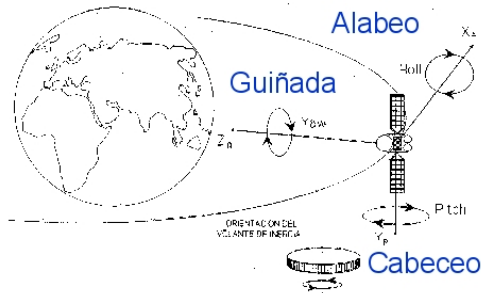
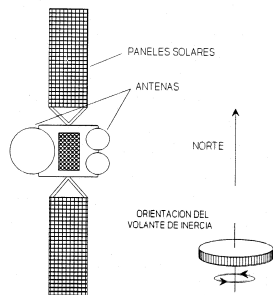


Estabilización de tipo spin o rotatoria

Estabilización de 3 ejes

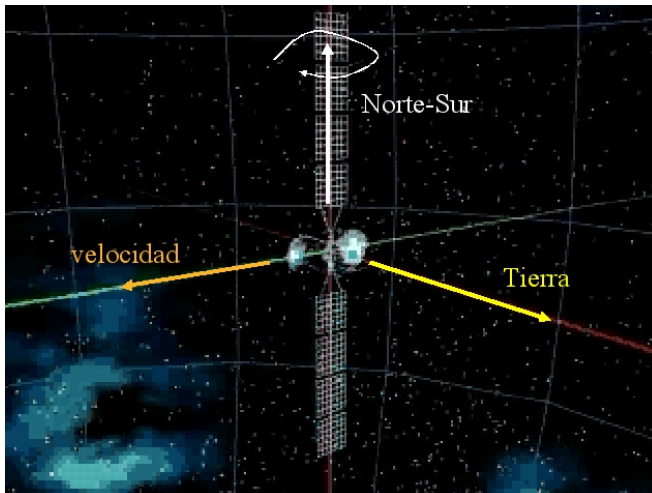
La estabilización de tres ejes se puede realizar mediante los siguientes procedimientos:

- Usando **propulsores** para cada eje.
- Con un **volante de inercia** (y propulsores).
- Con **tres volantes** de inercia.



Estabilización de 3 ejes

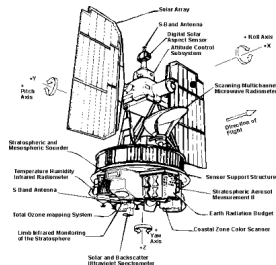
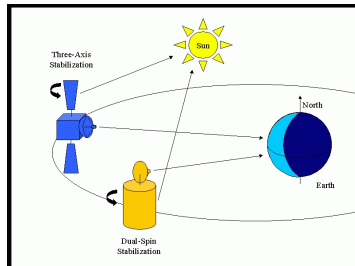
Esquema seguido para la estabilización



Almacenamiento del momento angular

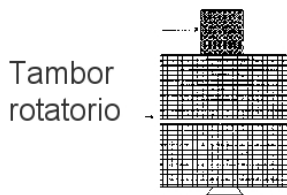
De esta forma se consigue dar estabilidad al satélite

- Rigidez debida al **efecto giroscópico**.
- Introduce vibraciones adversas.
- Se consigue:
 - **Rotando todo el satélite (SPIN)**.
 - **Rotando parte del satélite (SPIN doble o triple)**.
 - Volantes de inercia (satélites estabilizados en 3 ejes).
- **Objetivos** de diseño de estabilización:
 - Estado de **equilibrio**.
 - **Respuesta** a un **par externo**.
 - La **estabilidad** ante los posibles **estados oscilatorios**.

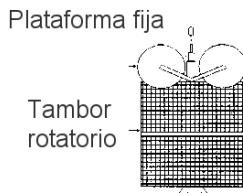


Tipos de Estabilización de Spin

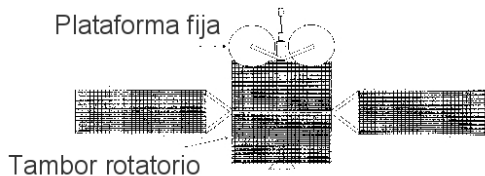
Se realiza de uno a tres ejes



**SIMPLE
SPIN**



**DOBLE
SPIN**



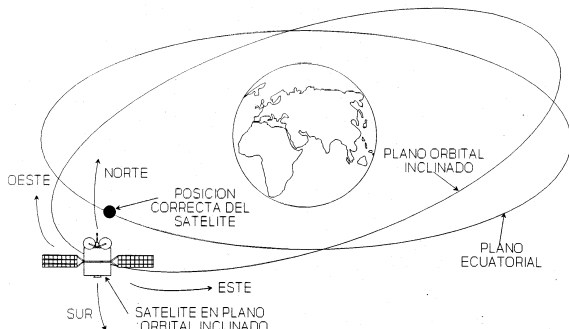
**TRIPLE
SPIN**

Correcciones en órbita

Particularización para satélites GEO

Las correcciones se suelen hacer en dos etapas Norte–Sur, Este–Oeste.

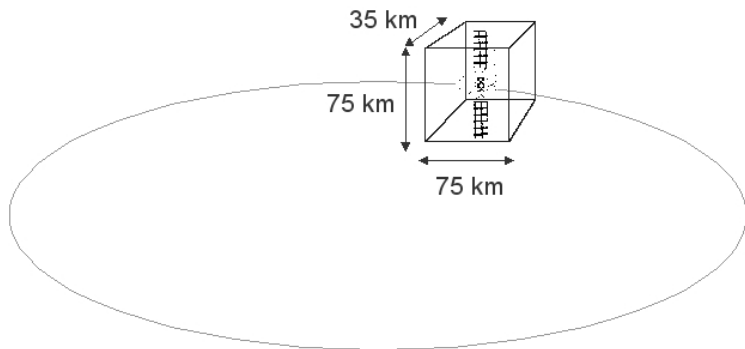
- **Corrección E–O** por la deriva de la órbita GEO (irregularidad del campo gravitatorio).
- **Corrección N–S** por las perturbaciones gravitatorias del Sol y la Luna (la que más combustible usa).
- Perturbaciones de trayectoria.



Correcciones en órbita

Caja de permanencia para GEO

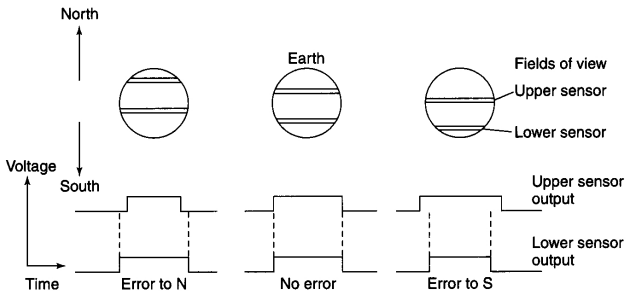
- Los satélites **LEO** llevan **mayor velocidad** y el sistema de **corrección de órbita** es **más crítico**.
- Cada **satélite GEO** tiene asignada una **posición orbital protegida** que define un arco de $0,2^\circ$ (en el arco GEO ocupa 146 km (distancia entre satélites diferentes))
- Como **ejemplo** típico de precisión en órbita para telecomunicaciones, un arco de $0,05^\circ$ en órbita representa $\simeq 75$ Km en GEO.



Correcciones en órbita

Sistema de control Norte–Sur en satélite con estabilización de tipo spin

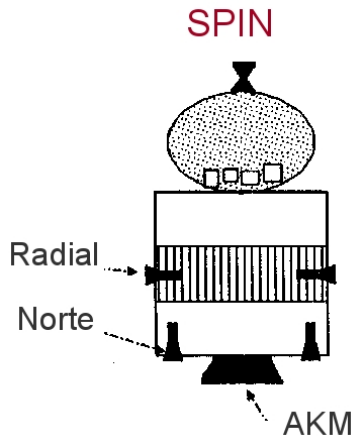
Se utiliza un **sensor de infrarrojos enfocando a la Tierra**, para controlar el apuntamiento del satélite.



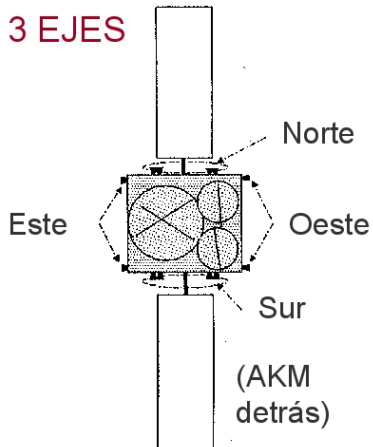
[Ref.-Pratt, 2003]

Si el **apuntamiento no es el correcto** se produce un **desequilibrio en los niveles de voltaje**, de forma que los propulsores actúan para corregirlo.

Motores para correcciones en órbita



Motores para correcciones de **spin**



Motores para correcciones de **3 ejes**

1 Subsistemas del bus

- Subsistema de generación de potencia
- Subsistema de control de órbita y estabilización
- **Subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)**

2 Carga útil

- Sistema de RF
- Antenas de Satélite

3 Fiabilidad en los satélites

4 Entorno espacial

- Basura Espacial
- Meteoritos

Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)

● Telemetría

- Dirección downlink
- Envía información del estado del satélite proporcionada por sensores.

● Telecomando

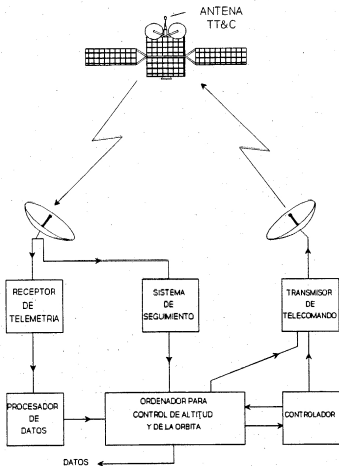
- Dirección uplink
- Envía comandos al satélite de forma segura.

● Seguimiento (Tracking)

- Dirección uplink y downlink
- Se trata de radiobalizas para obtener la posición del satélite desde tierra (tonos puros).

● Sistema común

- Poco ancho de banda (500 – 2000 b/s) con modulación PSK o FSK
- Para funcionamiento nominal se usa una antena global directiva en Banda S y para crítico se usan antenas omnidireccionales.



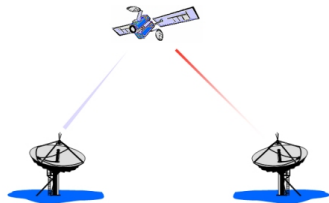
- 1 Subsistemas del bus
 - Subsistema de generación de potencia
 - Subsistema de control de órbita y estabilización
 - Subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)
- 2 Carga útil
 - Sistema de RF
 - Antenas de Satélite
- 3 Fiabilidad en los satélites
- 4 Entorno espacial
 - Basura Espacial
 - Meteoritos

Sistema de RF

Consideraciones generales de enlaces via satélite

Se encargan de **recibir la señal del segmento terrenal**, amplificarla, y **retransmitirla** de nuevo a la Tierra.

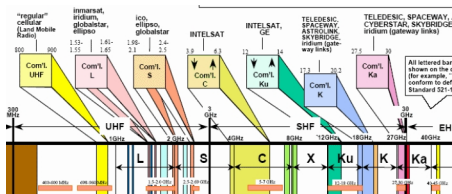
- La **potencia** de la señal recibida es **muy baja**, por debajo de 10^{-10} W, debido a la gran distancia.
- Se debe mantener una relación de señal a ruido entre 5 y 25 (dB).
- Las **ganancias de los amplificadores son muy grandes**. Se ha de tener cuidado con efectos no lineales como la intermodulación.
- La **frecuencia en el enlace de subida** es normalmente **mayor** que en el enlace de **bajada**, para reducir la amplificación necesaria en los transpondedores y no sobrecargarlos.



Sistema de RF

Bandas y planes

- Las **bandas** que se usan normalmente en **satélites GEO** son **6/4 GHz** y la **14/11 GHz** (Televisión). Entrando **actualmente** en servicio la **banda 30/20 GHz** (Servicios de Internet, hay problemas por atenuación por lluvia).
- Existen **normas internacionales** que marcan los planes de frecuencias de satélites.
- Originalmente se asignó un **ancho de banda de 500 MHz** para los enlaces de subida y bajada (6/4 GHz). Se ha **ampliado a 1000 MHz** debido a la saturación del servicio.
- Se utilizan **técnicas de diversidad** para **aumentar** el **ancho de banda** efectivo (repetición espacial de frecuencias o uso de polarizaciones ortogonales).
- En **GEO** los satélites están **separados 2°**.



Transpondedores

- Las señales recibidas pasan generalmente por dos amplificadores de bajo ruido y se recombinan a la salida (existe **redundancia** para evitar fallos catastróficos que inutilicen el sistema).
- Dentro de la banda asignada (por ejemplo 500 MHz para 6/4 GHz) existe una subdivisión en diferentes canales (en este caso de 36 MHz normalmente). Cada uno de esos canales es tratado por un **transpondedor** diferente. Las bandas son pequeñas para evitar intermodulación.

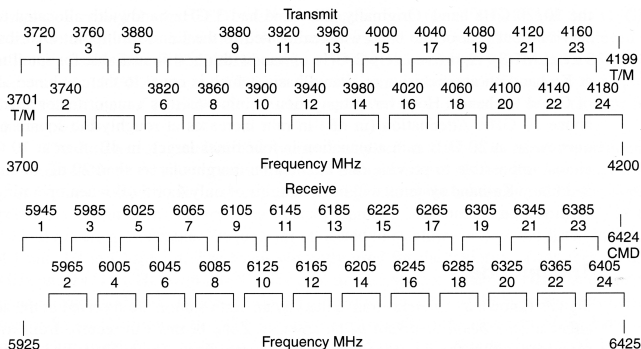
Transpondedor

Esta formado por un **filtro paso banda** que selecciona el canal, un **convertor que baja la frecuencia** de entrada a otra de salida (por ejemplo de 6 GHz a 4 GHz) y un **amplificador** de salida.

- Los **satélites de comunicaciones** generalmente están formados por **muchos transpondedores** (de 12 a 44). Reciben señales de muchas antenas y posteriormente mediante una **matriz de conmutación** dirigen sus salidas a otras antenas.

Transpondedores

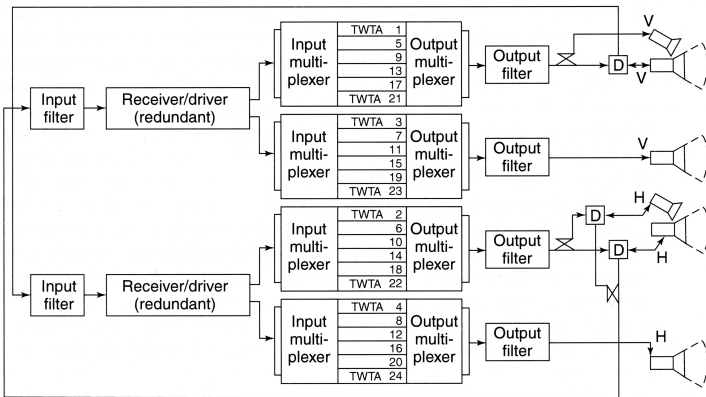
Plan de frecuencias



[Ref.-Pratt, 2003] Plan de frecuencias en la banda 6/4 GHz, cada canal corresponde a un transpondedor. Se deja una **banda de guarda** entre canales.

Transpondedores

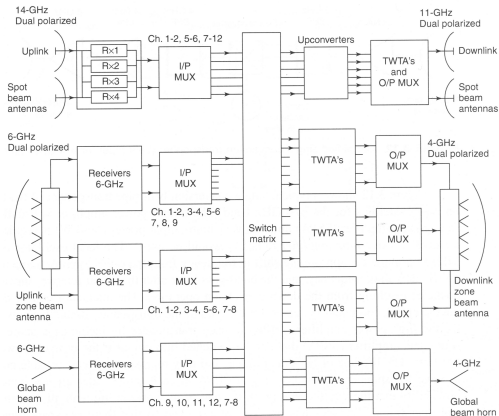
Sistema de transpondedores



[Ref.-Pratt, 2003] Sistema de Transpondedores del satélite RCA's SATCOM, cuyo plan de frecuencias se incluye en la transparencia anterior (Se usa **diversidad de polarización** en las antenas).

Transpondedores

Matrices de interconexión

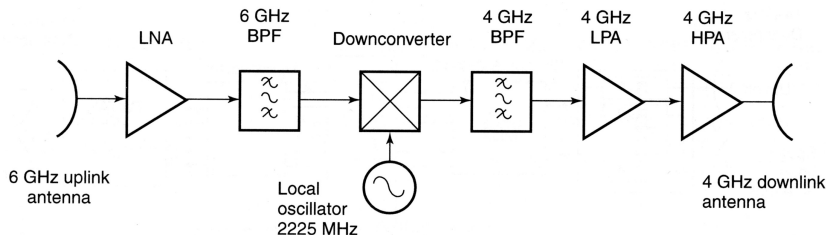


[Ref.-Pratt, 2003] Diagrama de bloques del sistema de comunicaciones de INTELSAT

V. La matrices de interconexión permiten un gran flexibilidad entre enlaces ascendentes y descendentes (incluso entre 6/4 GHz y 14/11 GHz).

Transpondedores

Si en un **transpondedor** hay **varias** señales o **portadoras** (esquema FDMA) se ha de **reducir la potencia máxima** de salida para **evitar la intermodulación** (**output backoff**). Con TDMA no existe ese problema, aunque se usan sistemas híbridos FDMA–TDMA.

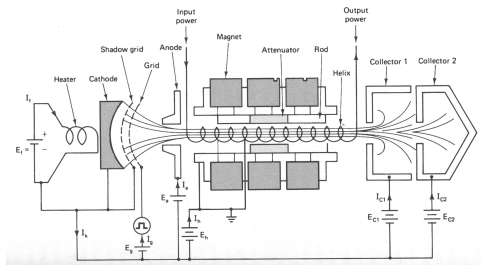


[Ref.-Pratt, 2003] Sistema simplificado de un transpondedor con **una única conversión de frecuencia** del tipo (**bent pipe**), típico en la banda 6/4 GHz. El LPA controla la ganancia.

Transpondedores

Tipos de amplificadores de alta potencia

Generalmente se utilizan amplificadores de **estado sólido** (SSPA) para la etapa (HPA). Si la potencia necesaria es muy grande $P > 50$ W, se emplean amplificadores de **tubo de onda progresiva** (traveling wave tube amplifier, TWTA). Se emplea **redundancia** en esta etapa, o incluso redundancia en el número de transpondedores.



[Ref.-Roddy, 2001] Amplificador de **tubo de onda progresiva** para aplicaciones de **muy alta potencia**.

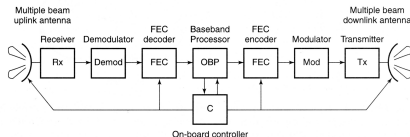
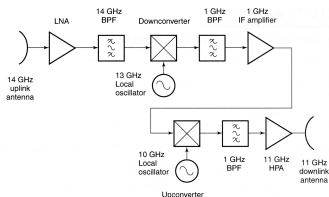
Transpondedores

Bent pipe frente a transpondedores regenerativos

Existen dos tipos de transpondedores:

Bent pipe Simplemente pasan la señal del enlace ascendente al descende realizando un cambio de frecuencias.

Regenerativos Demodulan la señal y la **procesan** antes de retransmitirla (típico en sistemas digitales).



[Ref.-Pratt, 2003] Transpondedor **bent pipe** con doble conversión de frecuencia (típico en la banda 14/11 GHz)

[Ref.-Pratt, 2003] Transpondedor **regenerativo** con procesado a bordo.

- 1 Subsistemas del bus
 - Subsistema de generación de potencia
 - Subsistema de control de órbita y estabilización
 - Subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)
- 2 **Carga útil**
 - Sistema de RF
 - **Antenas de Satélite**
- 3 Fiabilidad en los satélites
- 4 Entorno espacial
 - Basura Espacial
 - Meteoritos

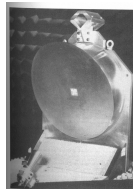
Tipos de antenas usadas en satélites

Se usan principalmente cuatro tipos de antenas:

- **Antenas de hilo** como monopolos y dipolos (diagrama omnidireccional). En la banda de VHF o UHF para las comunicaciones del subsistema TTC.
- **Antenas de bocina**. Proporcionan ganancias no muy elevadas (no más de 23 dB). Se utilizan para dar cobertura global o como alimentadores de parábolas.
- **Antenas de tipo reflector** (generalmente parabólico). Proporcionan ganancias más elevadas que las bocinas.
- **Arrays de antenas**. Permiten generar haces con formas que se adapten a las regiones donde se pretende dar cobertura.

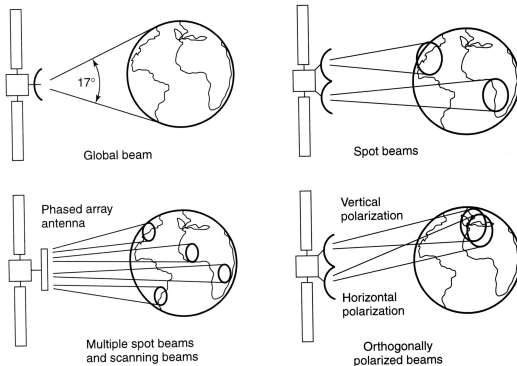


[Ref.-Roddy, 2001] Tipos de antena de bocina.



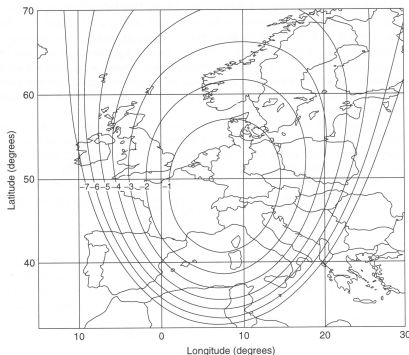
[Ref.-Roddy, 2001] Reflector con offset.

Diagramas de antenas y tipo de cobertura



[Ref.-Pratt, 2003] Tipos diagrama de antena y zonas de cobertura. Para **cobertura global** se usan **antenas de bocina**, mientras que para haces con una determinada forma o móviles se suelen usar **arrays de antenas**.

Mapas de cobertura



[Ref.-Pratt, 2003] Muestran **distribución de potencias geográficamente**, y son proporcionados por los proveedores del servicio de comunicaciones por satélite nos **permiten dimensionar** el tamaño de las **antenas receptoras** para conseguir una determinada calidad de servicio.

Relaciones básicas de antenas de Apertura

Repaso de la asignatura de antenas

- La **ganancia de una antena de apertura**, como pueda ser un reflector parabólico, se puede determinar mediante la relación:

$$G = \eta_A \frac{4\pi A}{\lambda^2}$$

donde A es el **área de la apertura de la antena**, λ es la **longitud de onda** de trabajo, η_A es la **eficiencia** de la antena (55 a 68 % para reflectores, 65 a 80 % para bocinas).

- Si la **apertura es circular** (por ejemplo, un paraboloide), la ganancia se puede expresar como:

$$G = \eta_A \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

donde D es el **diámetro de la apertura**.

- El **ancho de haz a $\theta_{3\text{ dB}}$** se puede aproximar por:

$$\theta_{3\text{ dB}} \simeq 75 \frac{\lambda}{D} \quad \text{en grados}$$

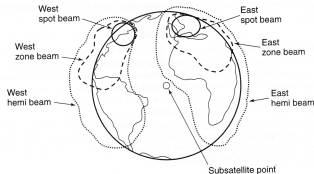
- Para una eficiencia $\eta_A \simeq 60\%$, la ganancia en lineal se aproxima por:

$$g \simeq \frac{33000}{(\theta_{3\text{ dB}})^2}$$

Satélites con diferentes antenas y zonas de cobertura

Los satélites presentan diferentes tipos de antenas que operan en bandas de frecuencia distintas. Por ejemplo, en los satélites Intelsat existen:

- **Grandes reflectores** para dar cobertura en zonas pequeñas (con aspecto de cacahuete en la figura) en la banda 6/4 GHz.
- **Antenas más pequeñas** para dar cobertura hemisférica, o para generar los pequeños haces en la banda 14/11 GHz.
- **Antenas de bocina** que dan cobertura global.



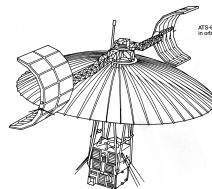
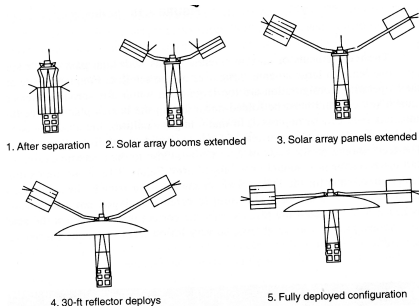
[Ref.-Pratt, 2003] Zonas típicas de cobertura de los satélites Intelsat sobre el océano atlántico.

[Ref.-Pratt, 2003] Múltiples antenas de

Despliegue de antenas

Plegadas en la fase de lanzamiento (cofia cohete)

Para poder disponer de antenas de **alta ganancia** (aperturas muy grandes) en satélites, éstas se encuentran plegadas durante la fase de lanzamiento, para posteriormente **desplegarse** una vez que el satélite se encuentra en la órbita de trabajo.



[Ref.-Pratt, 2003] Fases de despliegue de antenas en un satélite.

[Ref.-Pratt, 2003]
Antenas finalmente desplegadas (ATS-6)

Pruebas en los componentes que forman los satélites

Necesarias antes del lanzamiento

- Las **condiciones en el espacio son extremas** con grandes **variaciones de temperatura**, entre las zonas que reciben directamente la luz del Sol y las que están en sombra. Por lo que los equipos electrónicos se deben mantener en un rango de temperaturas entre 0° y 75° C mediante un **sistema de control térmico**.
- Todos los **componentes de un satélite** se han de someter a una **serie de pruebas** para asegurar que funcionarán correctamente en el espacio. Se fabrican **prototipos** para hacer pruebas:

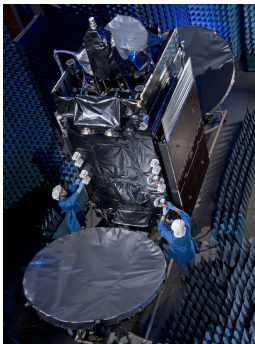
Modelos

- **Modelo Mecánico**, parte estructural del satélite que se somete a fuertes vibraciones y aceleraciones.
- **Modelo Térmico**, partes del satélite que deben mantenerse en un rango de temperaturas.
- **Modelo Eléctrico**, partes eléctricas del satélite que se prueban en condiciones de vacío.
- Se construye un **modelo de vuelo** que se somete a las mismas pruebas que el prototipo, pero menos exigentes.

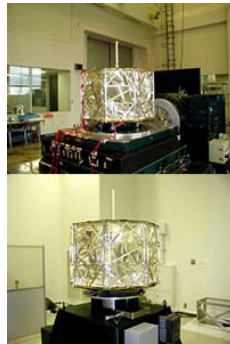
Pruebas en satélites



Pruebas térmicas en vacío.



Pruebas de antenas.



Pruebas mecánicas.

Pruebas realizadas en los distintos modelos de un satélite.

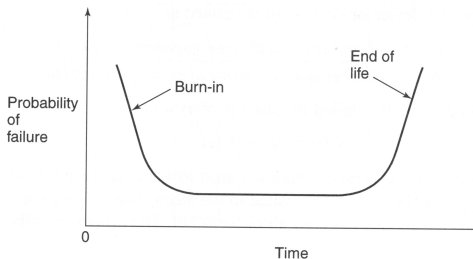
Fiabilidad

Curva de probabilidad de fallos

La **teoría matemática de la fiabilidad** intenta predecir el tiempo de vida del satélite. Los fabricantes de satélites deben proporcionar a los clientes predicciones de fiabilidad.

En la curva de probabilidad de fallos existen tres etapas:

- **Burn in**, al comienzo hay una mayor probabilidad de fallo.
- **Periodo medio**, la probabilidad de fallo se mantiene constante.
- **Final de la vida**, aumenta de nuevo la probabilidad de fallo.



[Ref.-Pratt, 2003] Curva en forma de **bañera** de probabilidad de fallo en componentes.

Los componentes del satélite se prueban lo suficiente para pasar la fase de **burn in**.

Fiabilidad

Definición matemática

- Se define la **fiabilidad** $R(t)$ de un dispositivo o de un subsistema como la relación entre el número de componentes $N_s(t)$ que sobreviven en un tiempo t por el número de componentes al comienzo del periodo de prueba (N_0):

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0}$$

- El número de componentes $N_f(t)$ que han fallado en un tiempo t es:

$$N_f(t) = N_0 - N_s(t)$$

- El tiempo medio entre fallos (*MTBF*) se calcula como:

$$MTBF = m = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i$$

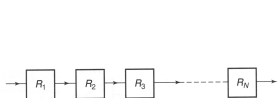
siendo t_i el tiempo en el que falla un determinado dispositivo.

- La **tasa media de fallos** λ se define como el número de fallos en un tiempo dado dividido por el número de componentes supervivientes:

$$\lambda = \frac{1}{N_s} \frac{\Delta N_f}{\Delta t} = \frac{1}{N_s} \frac{dN_f}{dt} = \frac{1}{MTBF} \quad ; \quad R = e^{-\lambda t}$$

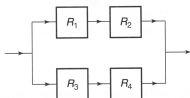
Sistemas Redundantes en Satélites

En los satélites existen **sistemas redundantes** para que pueda seguir funcionando en caso de que se produzcan fallos en los componentes.



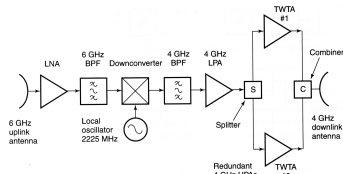
[Ref.-Pratt, 2003]

Conexión en serie



[Ref.-Pratt, 2003]

Conexión serie/paralelo



[Ref.-Pratt, 2003] Sistema

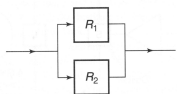
redundante de TWTA

(amplificadores de tipo de onda

progresiva) para un

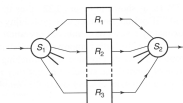
transpondedor bent pipe en el

rango 6/4 GHz



[Ref.-Pratt, 2003]

Conexión en paralelo



[Ref.-Pratt, 2003]

Conexión con
interruptores

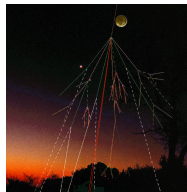
Entorno espacial

Condiciones ambientales y meteorología espacial

- Microgravedad
- Micrometeoritos y basura espacial
- Condiciones del lanzamiento (vibración, acústica)
- Atmósfera
- Ionosfera
- Efectos de la magnetosfera
- Vacío
- Influencia solar, en forma de presión de la radiación solar (viento solar)
- Rayos galácticos y cósmicos



Aurora boreal



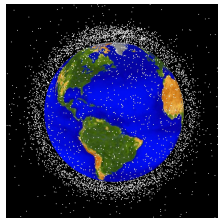
Rayos Cósmicos

- 1 Subsistemas del bus
 - Subsistema de generación de potencia
 - Subsistema de control de órbita y estabilización
 - Subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)
- 2 Carga útil
 - Sistema de RF
 - Antenas de Satélite
- 3 Fiabilidad en los satélites
- 4 Entorno espacial
 - Basura Espacial
 - Meteoritos

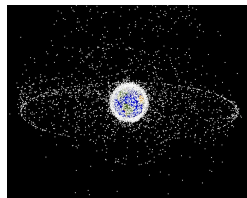
Basura Espacial

Qué es la basura espacial?

- Desde la puesta en órbita del Sputnik I hace **50 años** no han parado de lanzarse **vuelos espaciales** (unos 4200).
- Aunque se han hecho esfuerzos para minimizar los restos de materiales dejados en órbita por esos vuelos, la **cantidad** de éstos **no para de aumentar**.
- Estados Unidos tiene **catalogados más de 10000 objetos**, de los cuales se hace un seguimiento minucioso mediante RADAR. Se estima que hay 600000 mayores de un 1 cm.
- La **distribución de cuerpos en órbita** es:
 - Naves operativas (7 %)
 - Naves obsoletas (22 %)
 - Restos de cohetes (17 %)
 - Objetos relacionados con las misiones (13 %)
 - Otros fragmentos (41 %)



Basura espacial en órbita LEO

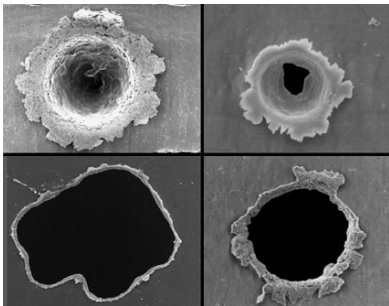


Basura espacial en órbita GEO

Peligros de la basura espacial

Impactos producidos por basura espacial

La **basura espacial** supone un **riesgo para las misiones espaciales tripuladas** y no tripuladas, ya que un impacto puede perforar la estructura de la nave o satélite.



Efecto de impactos producidos por la
basura espacial



Radars biestáticos capaces de **detectar restos de basura** a partir de 2 mm a una altura menor de 1000 Km

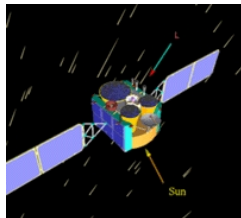
- 1 Subsistemas del bus
 - Subsistema de generación de potencia
 - Subsistema de control de órbita y estabilización
 - Subsistema de Telemetría, Seguimiento y Comando (TTC)
- 2 Carga útil
 - Sistema de RF
 - Antenas de Satélite
- 3 Fiabilidad en los satélites
- 4 Entorno espacial
 - Basura Espacial
 - Meteoritos

Meteoros

- Los meteoros son pequeños **fragmentos de materia** (entre $10\mu m$ y 10 m) en su mayoría provenientes de la formación del propio sistema solar.
- La **mayoría** de estos meteoros se **desintegra al entrar en contacto con la atmósfera**.
- Suponen un **peligro** para las misiones tripuladas y los satélites en órbita (alcanzan velocidades entre 11 y 70Km/s).
- Existen ciertas **épocas del año** en las cuales la **densidad de meteoros aumenta** (por ejemplo en agosto con las Leónidas o lágrimas de San Lorenzo).



Lluvia de meteoritos (Leonidas)



Algunos satélites reorientan los paneles solares durante las **Leónidas** para minimizar el impacto de los meteoros.

La mayor tormenta de meteoritos en 30 años amenaza a los 600 satélites en órbita

La televisión, la telefonía móvil y la navegación por GPS pueden verse dañadas

MÓNICA SALOMONE. Madrid
La mayor tormenta de meteoritos de los últimos 30 años, prevista para hoy, no se podrá apreciar desde España en todo su esplendor, pero esta vez puede que la esté-

tica no sea lo más importante: los satélites artificiales, que no gozan de la protección de la atmósfera terrestre, corren el riesgo de sufrir desperfectos aún más graves que el padecido en mayo, cuando la avería de

un solo satélite dejó sin servicio a millones de *buscas* en Estados Unidos. Esta vez los expertos temen que sean más de 600 los satélites afectados, entre ellos los de televisión y los de navegación por GPS.

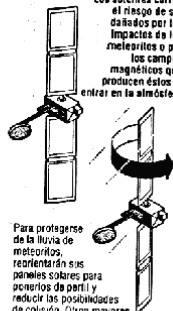
► COMO UNA BALA

Unos 140.000 meteoritos, la mayoría del tamaño de un guisante, caerán cada hora sobre nuestro planeta. El roce con la atmósfera los quemará. La fuerza que desarrollan es similar a la de una bala a 70 kilómetros por segundo



6.5 milímetros

Los satélites corren el riesgo de ser dañados por los impactos de los meteoritos o por los campos magnéticos que producen éstos al entrar en la atmósfera



Para protegirse de la lluvia de meteoritos, reorientarán sus paneles solares para evitarlos de parte y reducir las posibilidades de colisión. Otros mayores, como el *Hubale*, girarán dando la *espalda* y expandirán sus partes menos vitales



Referencias de las figuras

-  M. Richharia.
Satellite Communication Systems, Second Edition.
McGraw-Hill Telecommunications, 1999.
-  D. Roddy.
Satellite Communication, Third Edition.
McGraw-Hill Telecommunications, 2001.
-  G. Maral y M. Bousquet.
Satellite Communication Systems, Fourth Edition.
Wiley, 2002.
-  T. Pratt, C. Bostian y J. Allmutt.
Satellite Communication, Second Edition.
John Wiley & Sons, 2003.