

ETSI Telecomunicación

# Comunicaciones Espaciales

Apuntes de Pak

## **Comunicaciones Espaciales**

Apuntes de Pak (Francisco José Rodríguez Fortuño)  
ETSI Telecomunicación. Universidad Politécnica de Valencia.  
Segundo cuatrimestre de 4º curso  
Curso 2006/2007

**Fecha de última actualización:** 26/06/07

**Tema 2. Órbitas y Bus en el entorno espacial**

**Leyes de Kepler para un satélite**

- Salen de la Ley de la Gravedad de Newton
- aprox  $\Rightarrow$ 
  - 2 cuerpos esféricos y homogéneos
  - uno de ellos mucha menor masa
- el movimiento es una curva cónica
  - circunj
  - elipse
  - parábola
  - hipérbola
- corte de un cono

**Integral vis-viva**

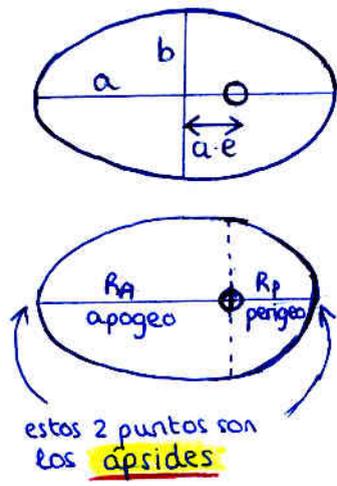
$$\underbrace{\frac{1}{2} v^2}_{\text{potencial cinético}} - \underbrace{\frac{\mu}{r}}_{\text{pot. gravit}} = \text{cte}$$

depende del tipo de cónica

constante de Kepler  $\mu = G \cdot M = 3'986 \times 10^{14} \frac{m^3}{s^2}$

Primera Ley

La órbita del satélite es una elipse con la tierra en uno de sus focos



- a: semieje mayor
  - b: semieje menor
  - e: excentricidad
- $$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$
- = 0  $\rightarrow$  circular
  - $\in ]0, 1[ \rightarrow$  elíptica
  - = 1  $\rightarrow$  parábola
  - > 1  $\rightarrow$  hipérbola

$$R_A = a \cdot (1+e) = R_E + h_A$$

$$R_p = a \cdot (1-e) = R_E + h_p$$

$\uparrow$  radio tierra       $\uparrow$  altura satélite

Segunda Ley

El radio orbital barre áreas iguales en tiempos iguales  
 i.e. satélite va más rápido en perigeo que en apogeo

integral vis-viva para órbita elíptica

$$\frac{1}{2} v^2 + \frac{\mu}{r+h} = -\frac{\mu}{2a}$$

$\uparrow$  radio tierra       $\uparrow$  altura sat      cte

Tercera Ley

Aceleración del cuerpo  $\propto \frac{1}{r^{1.5}}$

Semieje mayor  $a^3 = \frac{\mu}{\omega^2} = \frac{\mu}{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}$

$\uparrow$  vel. angular       $\uparrow$  periodo de órbita

$\downarrow$  despejar T

$$T = \frac{(2\pi) a^{3/2}}{\mu^{1/2}}$$

Válido para cualquier órbita elíptica, pero fácil de demostrar en caso sencillo circular

$$\frac{1}{2} v^2 - \frac{\mu}{r} = -\frac{\mu}{2a}$$

circunj  $\downarrow$   $r=a$

$$\frac{1}{2} v^2 = +\frac{\mu}{2a}$$

$v = \frac{2\pi a}{T}$

$$\left(\frac{2\pi a}{T}\right)^2 = +\frac{\mu}{a}$$

$\downarrow$

$$T = \frac{(2\pi) a^{3/2}}{\mu^{1/2}}$$

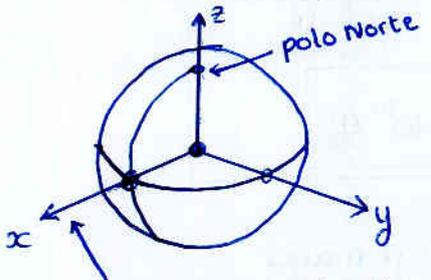
puede ser muy útil recordar esto

# Órbita inclinada

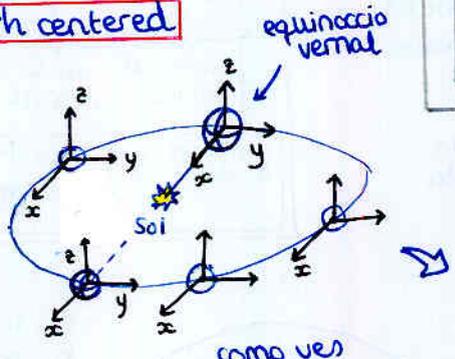
En la pag anterior teníamos el caso general con la tierra como una esfera sin importar la rotación de ésta; pero ahora vamos a usar un sistema de coordenadas

- sistema INERCIAL (no rota con la tierra)
- Fijo respecto a las estrellas

## CCRS : Space fixed- Earth centered



vernal equinox direction  
i.e. línea que une el centro de la tierra y el sol, pasando por el ecuador.  
Ésto sólo ocurre en los dos equinoccios

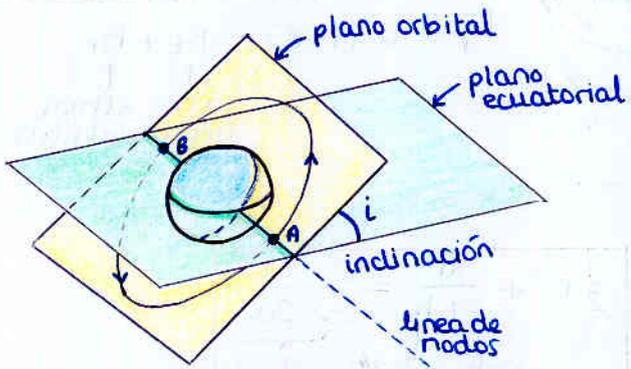
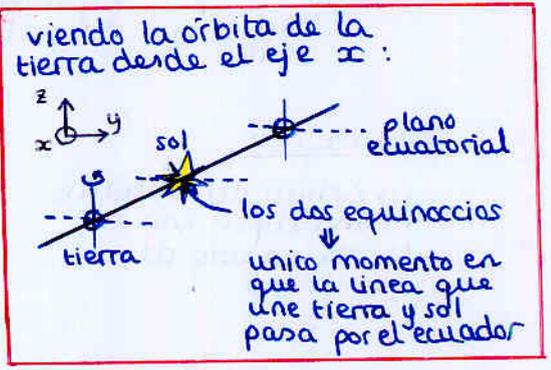


como ves el sistema no rota nunca  
↓  
sistema inercial  
↓  
fácil estudiar satélites

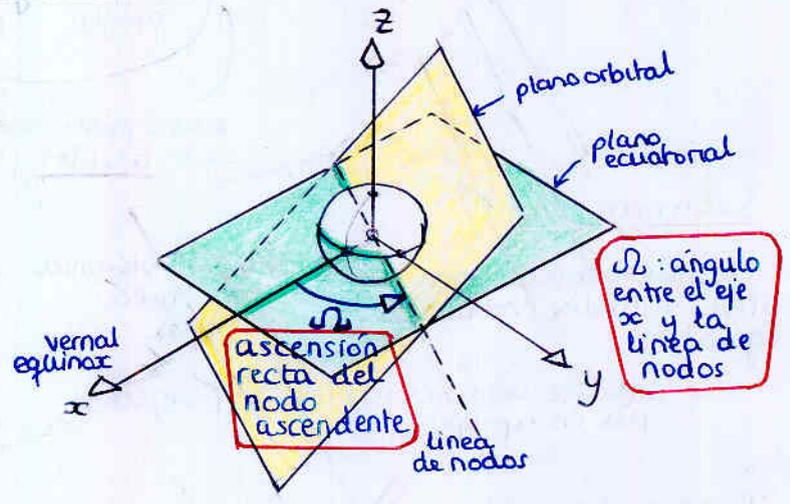
En la tierra se usa sistema EFEC : earth fixed/earth centered



no es muy fácil de usar con satélites



A : nodo ascendente  
B : nodo descendente



$\Omega$  : ángulo entre el eje x y la línea de nodos

Hay 6 grados de libertad  
⇒ 6 parámetros

- a : semieje mayor ← cuidado: se mide desde el centro de la elipse, no desde la tierra (que está en un foco)
- e : excentricidad
- i : inclinación  $\in [0, 180^\circ]$   
0-90° : órbita prógrada (gira en misma dirección que la tierra)  
90-180° : órbita retrógrada
- $\Omega$  : ascensión recta del nodo ascendente
- $\omega$  : argumento del perigeo
- f : anomalía verdadera

y si nos fijamos sólo en el plano orbital mirándolo perpendicularmente



ángulo entre línea de apsid y posición actual del satélite

anomalía verdadera

argumento del perigeo : ángulo entre línea de nodos y perigeo

nota: ha sido casualidad que el semieje menor pase por nodo ascendente

línea de nodos

plano ORBITAL

# Perturbaciones de la órbita

## Elementos perturbadores:

- Fuerzas gravitatorias (luna, sol)
- Fuerzas de radiación solar (viento solar)
- Fricción de la atmósfera en órbitas bajas
- Geometría terrestre
  - se achata en polos
  - no tiene simetría de revolución
  - modelo tridimensional por desarrollo en serie  $J_2$

## Perturbaciones debido al achatamiento

modelo:  $J_2$

### • Regresión nodal

$$\frac{\Delta \Omega}{\text{rad/órbita}}$$



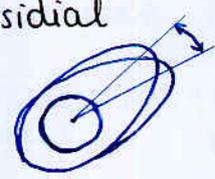
cambio en el plano de órbita  
 $k = J_2 \cdot R_E^2$

$$\Delta \Omega = -\frac{3\pi k}{a^2(1-e^2)^2} \cos i$$

podemos usarlo a nuestro favor (ej: heliosincronía)

### • Rotación apsidial

$$\frac{\Delta \omega}{\text{rad/órbita}}$$



cambio en el apogeo

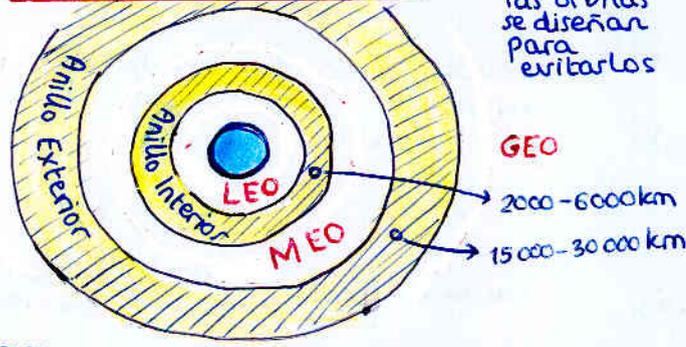
$$\Delta \omega = \frac{3\pi k}{a^2(1-e^2)^2} (2 - 2.5 \sin^2 i)$$

Lo hace la órbita Molniya

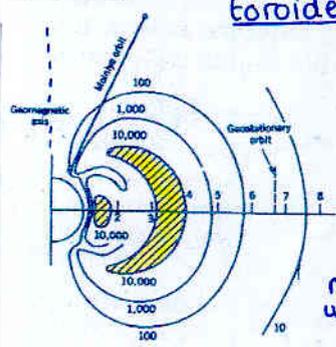
← puedo anular  $\Delta \omega$  escogiendo  $i$  sabiamente

$$i = \begin{cases} 63'4'' \leftarrow \text{prograda} \\ 116'6'' \end{cases}$$

## Anillos de Van Allen



### eje MAGNÉTICO



toroides de partículas de alta energía debidas al campo magnético de la tierra

- perjudican los equipos por la radiación
- protegen las órbitas bajas

Molniae los evita gracias a una gran inclinación

## Sincronía

$T_N$ : periodo del satélite

$T_E$ : periodo de rotación de la tierra (día sideral: 23h 56min 4'1s)

$T_Y$ : periodo de giro alrededor del sol

### • Geosincronas

$$T_N = \frac{m}{n} \cdot T_E$$

↳ Molniya y GPS  $T_N = \frac{1}{2} T_E$

↳ Geostacionario  $T_N = T_E$

### • Heliosincronas

Conservan la hora solar local (siempre pasa por cada punto a la misma hora)

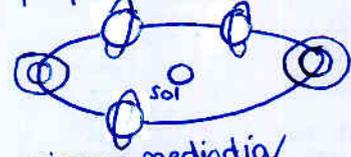
se logra ajustando la regresión nodal

$$\Delta \Omega = 2\pi \cdot \frac{T_N}{T_Y}$$

$$\Delta \Omega > 0 \Rightarrow i > 90^\circ$$

órbitas retrogradas

ejemplo:



siempre mediodía/medianoche

ventajas:

- Conserva hora solar local (ej: satélites de teledetección)
- Esquema de carga/descarga constante

# clasificación y descripción de órbitas más habituales

## Clasificación

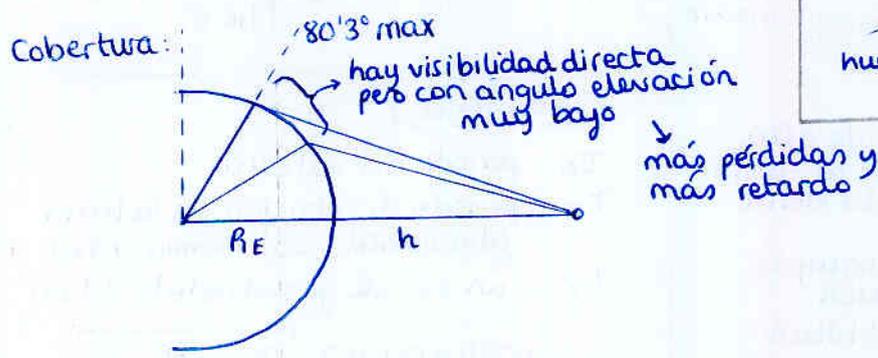
- ↳ Por excentricidad:
  - circulares
  - elípticas
  - altamente elípticas (HEO)
- ↳ Por altura:
  - baja: LEO
  - intermedia: MEO
  - (circular): ICO
  - geostac: GEO
- ↳ Por sincronismo:
  - no síncrona
  - heliosíncrona
  - geosíncrona

## Órbitas típicas

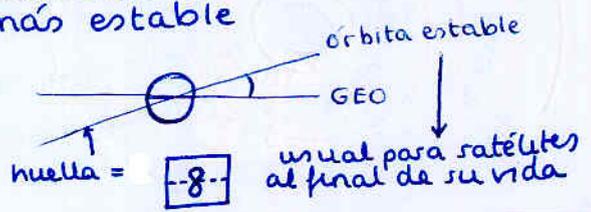
- HEO: ej: Molniya [perigeo 1006 km, apogeo 39362 km]
- LEO: 500-1500 km [polar: cobertura global, no polar: cobertura no global]
- MEO o ICO: 6000-20000 km
- GEO: Cobertura a toda la tierra requiere de 8 a 12 satélites

### • Órbita geostacionaria (GEO)

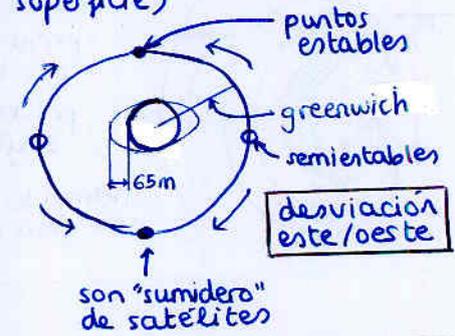
- $T_n = T_E \Rightarrow h = 35786 \text{ km}$
- inclinación  $i \approx 0^\circ$  (rotación prograda)
- excentricidad  $e \approx 0$  (circular)



Achatamiento polar tiende a aumentar  $i$  hasta una órbita más estable

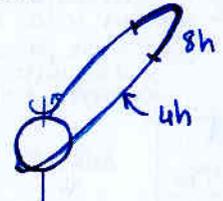


Falta de simetría de revolución de la tierra (afecta sólo a la GEO por mantener posición sobre la superficie)



### • Órbita Molniya

- Para cobertura de rusia → latitudes norte extremas
- Altamente excéntrica (HEO)



$i = 63'40''$  para lograr  $\Delta \omega = 0$   
 $h_p = 548 \text{ km}$   
 $h_a = 39900 \text{ km}$

¿cuántos satélites hacen falta para dar cobertura 24h a un punto de rusia?

La tierra rota; no sirve una única órbita



en 8h → punto rota  $\frac{8h \cdot 360^\circ}{24h} = 120^\circ$

⇒ Sincronizando bien los satélites bastan 3 órbitas con 1 satélite en cada una

¿y para dar cobertura a toda la zona Norte los 24h?

que cuando un satélite salga de sus 8 horas útiles entre otro ⇒  $\frac{T_N}{8h} = \frac{12h}{8h} = 1.5$   
 ⇒ 2 satélites por órbita

nota: mucha gente se rallo y hizo  $\frac{24h}{8h}$

**LEO**

- $h_0 < 750$  km
- $T \sim 1'65$  horas
- pocas pérdidas
- requiere muchos satélites por baja visibilidad

**MEO**

- $h_0 < 10000$  km
- $T \sim 5'8$  horas
- órbita de compromiso

**LEO polar:**

- Puede dar cobertura global
- Muy solapada en los polos



**LEO no polar**

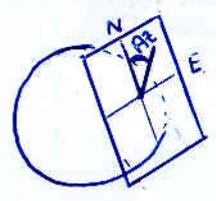
- No puede dar cobertura polar
- ej: Globalstar 48 sat se centra en zonas pobladas



**Altura Satelital y Elevación de la antena**

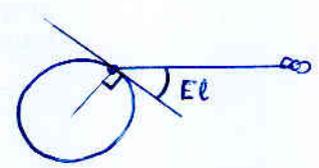
**Acimut**

Angulo desde el Norte en el plano tangente al suelo



ej: en hemisferio norte acimut de un GEO es  $Az \in [90, 270]$

**Elevación**

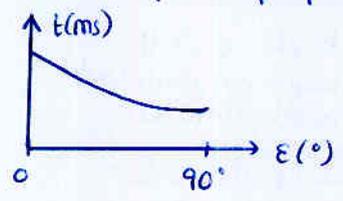


Hay una elevación mínima

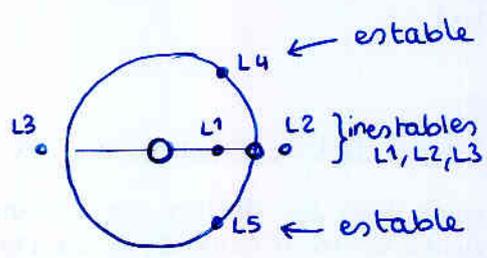
$\phi$ : long. terrestre (E/O)  
 $\psi$ : latitud terr (N/S)

Cuanto mayor sea el ángulo de elevación:

- menos pérdidas por atenuación atmosférica
- menos pérdidas de propag en espacio libre
- menos tiempo de propagación



Tres cuerpos en equilibrio: puntos de Lagrange



**Subsistemas del Bus**

**Generación de potencia**

- Paneles solares Si o AsGa y baterías Ni-Cd 15% peso total
- Eclipses debido a la tierra

LEO -> comun

% tiempo eclipse

GEO -> casi nunca sólo en equinoccios

predecible se trabaja con satélites vecinos

Pot

Opuesto a eclipse: ruido por sol en antena terrestre



**Subsistema TT&C**

- Telemetría:**
  - sensores del satélite
  - downlink
- Telecomando:**
  - comandar al satélite
  - uplink
- Tracking (seguimiento)**
  - radiobalizas (tonos puros) para obtener posición (efecto doppler)

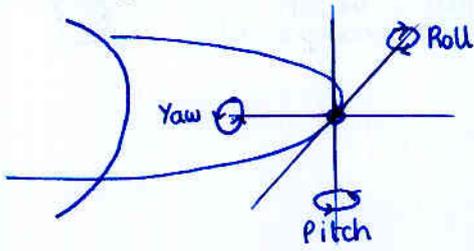
Funcionamiento sistema:

- poco ancho banda
- PSK, FSK
- Dos modos de funcionamiento
  - > Nominal antena global directiva banda C
  - > Crítico antenas omnidireccionales bandas

# Control de órbita y estabilización

## → Estabilización

3 ejes



2 Tipos:

- Estabilizado 3 ejes con propulsores, volantes o combinación



conseguir estabilización:

- sensores {
- inerciales (acelerómetro, giroscopo)
  - sistema de ref externo (sol, estrellas)

- actuadores {
- propulsor → 2 propulsores por eje  
↳ gasta combustible
  - volante de inercia → conservación del momento angular

rotor eléctrico:  
si ejerce  $\Delta\omega$ , la caja hará  $-\Delta\omega$



- introduce vibraciones adversas y estados oscilatorios sobre todo si el satélite no es simétrico

- Rotatorio o SPIN
  - mayor estabilidad
  - hacerlo simétrico
  - se malgasta area de célula solar
  - necesita antena omnidireccional en el plano ecuatorial



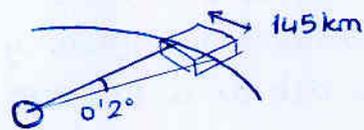
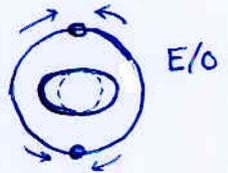
rotando

- todo el satélite
- parte del satélite (SPIN doble o triple)

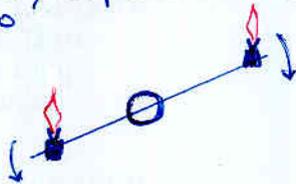
## → Control de órbita

- LEO: mucha velocidad; control de órbita crítico
- GEO:
  - corrección E/O por deriva GEO hacia pts equilibrio debido a la no simetría de revolución
  - corrección N/S por el achatamiento de los polos (recuerda: órbita más estable ligeramente inclinada)
- cada GEO tiene asignada una posición orbital protegida de  $0'2'' \Rightarrow 145 \text{ km}$  en arco GEO

la que más combustible gasta  
↓  
limita la vida útil



- Basta con un motor para corregir la inclinación, esperando al momento adecuado



## Entorno espacial

- atmósfera
- ionosfera
- vacío
- influencia solar / radiación ← crítico
- rayos cósmicos

- condiciones lanzamiento  
↳ vibración, acústica, ...
- microgravedad (caída libre)
- Basura espacial

# Tema 3. Lanzaderas espaciales

## Motores de Propulsión

Tipos de motores :

empuje [N]  
 impulso específico [s]  
 ↗ eficiencia

- químicos: expulsan moléculas a gran velocidad
  - monopelentes = combustible + catalizador
  - bipelentes = combustible + oxidante
  - líquidos o sólidos
- iónicos: expulsan iones acelerados por un campo eléctrico
  - muy eficientes pero poco impulso
  - son más para corrección que para lanzamiento
- otros experimentales: nucleares, electrotérmicos, solares

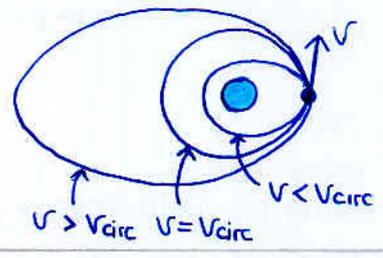


Motores de combustible sólido

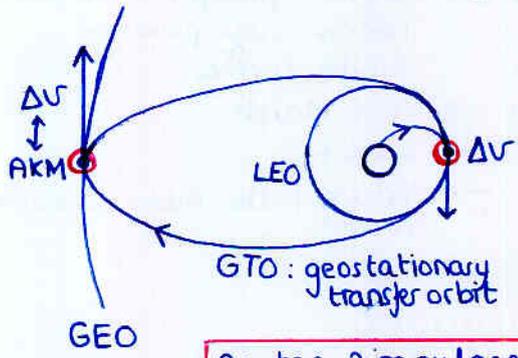
- mecanismo pirotécnico: una sola ignición
- mucho empuje, poco impulso (eficiencia)
- ej: el AKM (Apogee kick motor)

## Lanzamiento a la órbita GEO

Previo: dada una posición en órbita, si me dices la velocidad te dibujo la órbita

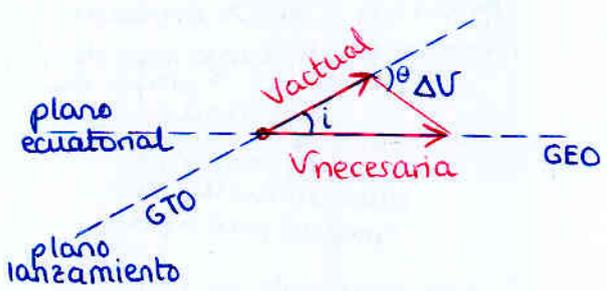


Por tanto lo que se hace es:  
 - Mecanismo de Hohmann



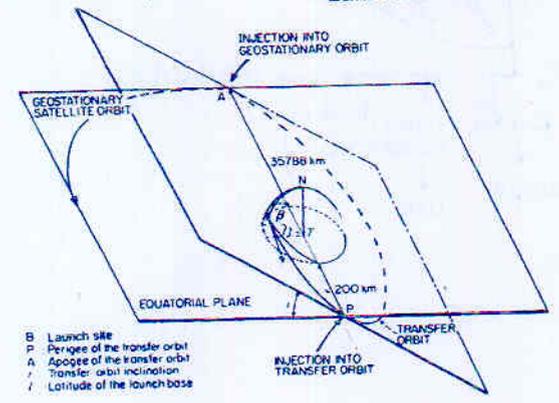
## Corrección de la inclinación:

si el lanzamiento no se realiza en el ecuador, la órbita GTO no está en el plano ecuatorial (sí lo está la GEO), por tanto el Δv debe tener en cuenta un cambio en inclinación



## Bastan 2 impulsos

el impulso a GEO puede hacerse en varios impulsos menores (órbitas intermedias)



conviene hacer la corrección allá donde  $V_A$  sea menor ( $\theta$  menor)

Se hace la corrección en el APOGEO de la GTO

## ¿Dónde me deja la lanzadera?

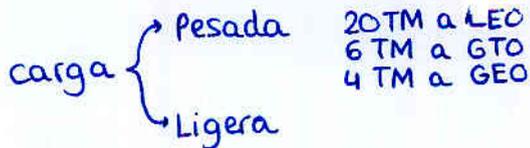
- 3 estrategias
- la típica: GTO: el satélite debe hacer un único impulso con AKM
  - LEO ej: shuttle
  - GEO directamente!: Protón o Titan III

# Lanzaderas

# Clasificación de lanzaderas

## Exigencias / Requisitos de la lanzadera para el satélite

- satélite se debe adaptar en masa y volumen a las cojías
- suelen lanzarse varios satélites en misma cojía



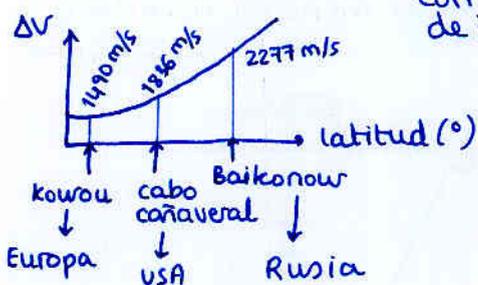
- (STS) Reutilizables: ej: Shuttle aterrizaje suave • dejan la carga en LEO
- (ELV) Deshechables (ELV) (Expendable Launch Vehicle)
  - aterrizaje duro de cápsula tripulada
  - peores condiciones de aceleración, vibración, ...
  - dejan la carga en GTO

## Lanzaderas existentes:

- STS:
  - rusia → Buran; superior a shuttle la suspendieron
  - europa → Hermes; se canceló
  - USA → Shuttle: han perdido 2 → Challenger, Columbia; les quedan 3 → Atlantis, Discovery, Endeavour
- ELV:
  - europa → familia Ariane → Ariane 4 gran éxito - baja tasa de fracasos
  - rusia → Soyuz filosofía "Introducir cambios poco a poco" → Arianespace → Ariane 5 gran cambio carga pesada
  - china → Long March
  - japon → serie N
  - USA → Titán, Delta, Atlas Centauro (pesada)

## Puertos espaciales

Interesa que estén cercanos al ecuador para reducir  $\Delta V$  en corrección de inclinación



Zenith: lanzamiento en ecuador desde plataforma en el mar

Pegasus: ligera, lanzamiento desde un avión !!

## Ariane

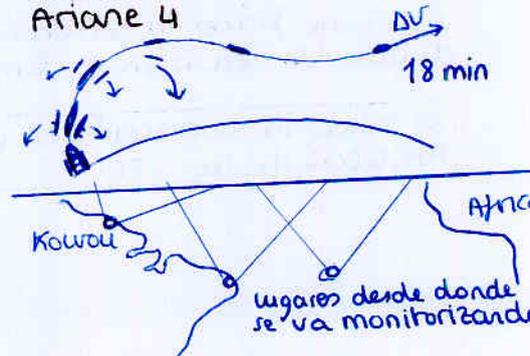
- responsable ESA explotadas por Arianespace
- Puerto espacial: Kourou → uno de los factores del éxito comercial

## Kourou

- Posición privilegiada
- No es necesaria etapa de vuelo balístico para llegar a GTO
- Ariane 4: >60% mercado
- Ariane 5: fracasos importantes en la 1ª etapa de desarrollo

Por no seguir la filosofía de los rusos "mejorar poco a poco"

Lanzamiento a GTO con Ariane 4



# Tema 4. Intelsat

## Origen y descripción

- Inicio: Internacional, gubernamental y sin ánimo de lucro
- servicio básico: voz, conectar continentes
- Primer GEO (Early Bird)
- Difusión de llegada a la luna
- Actualmente: compañía privada

Fundada por 11 Países (España) llegó a 143

**Estado actual** compañía privada opera en 4 regiones:



## Series de satélites

- Intelsat I** - primer GEO comercial (Early Bird)
  - une Europa-USA
  - antena omnidireccional global
- Intelsat II** - más potencia
- Intelsat III** - antena direccional global (toda la tierra)
  - sólo 2 transpondedores, se vió el problema de la intermodulación

## Intelsat IV

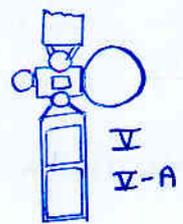


versión atlántico

- Se subdividió el espectro: 12 transpondedores 36 MHz en banda C
- Reutilización espacial de frecuencias: 2 haces hemisf

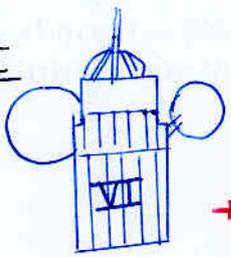
lo que ocupaba canal TV analógico en FM [en sat. todo en FM]

## Intelsat V



- Nuevo diseño: estabiliz 3 ejes (nuevo contratista: Ford)
- Reutilización de frec por diversidad espacial Y por polarización (div x 4)
- Primer satélite híbrido (Banda C y banda Ku)

## Intelsat VI

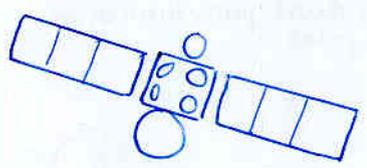


de nuevo Hughes: de nuevo por SPIN → enorme por el panel solar → se vió la inviabilidad de seguir usando SPIN

- Banda C: polarización A - dos haces hemisf, polarización B - cuatro haces zone
- Banda Ku: spots

conmutación a bordo con matrices "estáticas" y SS-TDMA switched satellite

## Intelsat VII



- más ligero que el anterior
- gran flexibilidad (reconfiguración en tiempo real)
- lo estudiamos en detalle

## Intelsat VIII

- complementa a serie VII
- mejor cobertura y mayor potencia

## Intelsat IX

- mejores prestaciones hasta el momento
- gran potencia
- terminales más sencillas
- hasta 96 transpondedores de 36 MHz

servicios digitales: internet, banda ancha, difusión video

# Estaciones terrestres

## De control

- Labores de TTC
- China, USA, Italia, Hawaii, Australia, Alemania

SCC: satellite control center  
 MCC: mission control center  
 Washington DC

## De usuario

Los usuarios de Intelsat no son las antenas que tenemos en casa, sino empresas de telecomunicación (Antenas)

- Tiene varios estándares de estación remota (A...F)
- con distintos tamaños de antena (4'5 ~ 18m)
- distintos servicios: voz, datos, TV, IBS, IDR, vista
- distintas frecuencias up/down

6/4  
 14/11  
 14/12  
 down siempre menor frec por ser más crítica

Intelsat Business Service

Intermediate Data Rate

enclaves remotos

# Intelsat VII: descripción en detalle

4'5 x 8 x 21m  
 3873W panel solar  
 Peso: 1450kg seco  
 3610kg lanzamiento

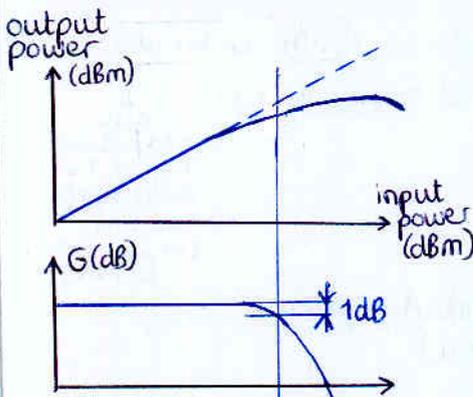
## Antenas:

- Banda C:
- paraboloide grande TX 4 GHz (2 hemi + 4 zone)
  - paraboloide grande RX 6 GHz (2 hemi + 4 zone)
  - paraboloide pequeño spot
  - bocinas cobertura global

- Banda Ku:
- 3 paraboloides pequeños spot (uno circular y dos elípticos)

- TT & C:
- Pares de bocinas
  - modo crítico: (omnidireccional)
  - modo normal

## Linealidad amplificador



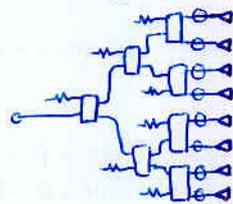
punto de compresión a 1dB

la pot que perdemos aparece como productos de intermodulación

## Conformación de haz

### Técnicas:

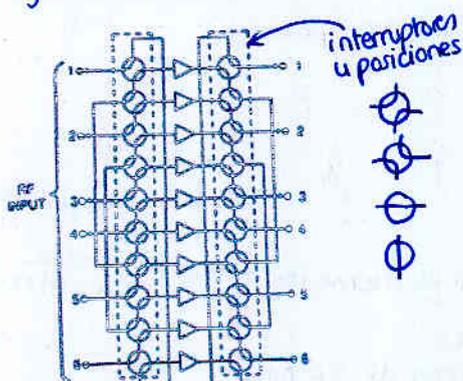
- superficie reflectora conformada (ej: hispasat)
- arrays de bocinas



- ↳ tecnología microstrip
- ↳ tecnología guiada

## Anillos de redundancia

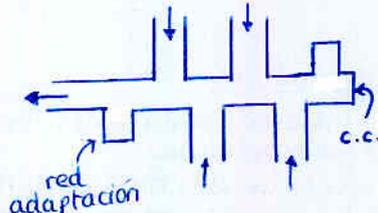
que haya amplif. de sobra por si falla uno  
 ej: redundancia 10/6



## Multiplexor entrada

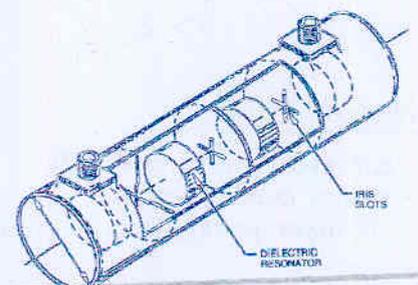
- 2 tecnologías:
- circuladores + filtros
  - manifold
- problemas:
- PIM (prod. intern)
  - multipactor

## Multiplexor salida



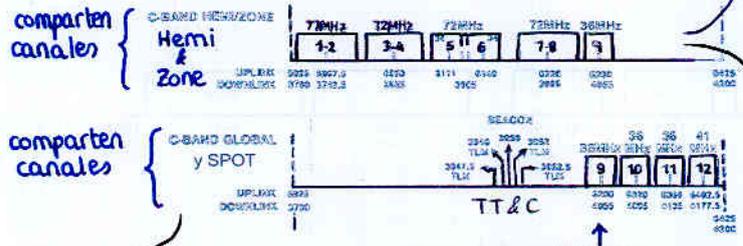
## Filtro típico modo dual

- poco volumen y peso con buena respuesta
- dieléctrico para reducir dimensiones
  - modo dual para aumentar nº de polos



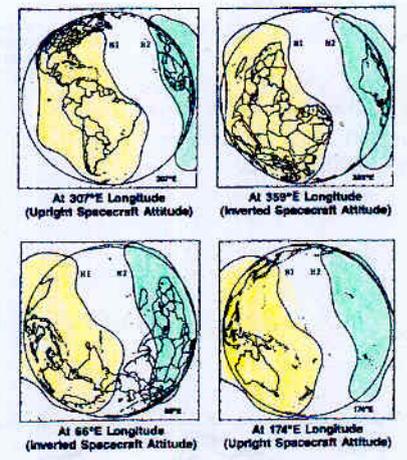
# Carga útil del Intelsat VII

## En banda C



## 2 Haces Hemi

- Polarización A
- 2 Haces adaptados: mismo satélite se puede mover y rotar para cubrir distintas zonas



### Global

- Global A y Global B (según polarización)
- abarcan la esfera terrestre

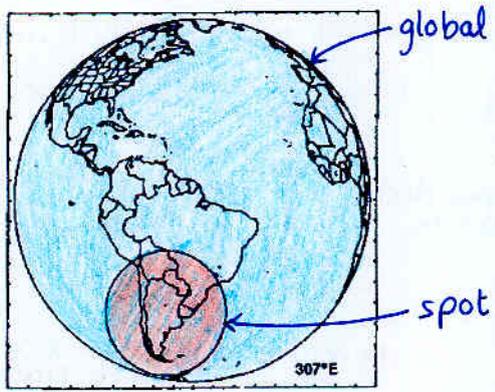
### Spot

- Spot A y Spot B (según polarización) mejora 7 dB
- spot circular direccionable

### Combinaciones de global y spot

- Para cada canal independientemente
- Para polariz A elijo entre global o spot
  - Para polariz B elijo entre global o spot

es lógico, ya que no podría tener global y spot en una misma polarización porque hay solapamiento espacial



## 4 Haces ZONE

- Polarización B (ortogonal a Hemi)

Haces:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  y  $\gamma$   
 PERO sólo 2 transpondedores!!

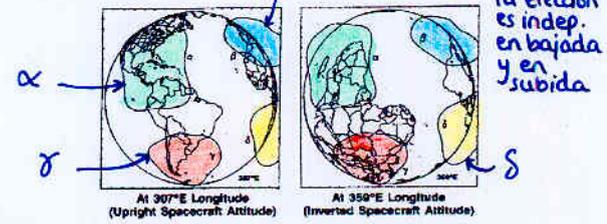


Hay que elegir entre extremos de la diagonal

o la suma de ambos en cada caso (en subida)

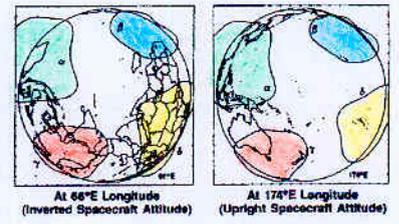


lo mismo para la bajada



la elección es indep. en bajada y en subida

Palian las situaciones de desequilibrio de tráfico



Global y Spot Ay B

2 transpond. No pueden usarse global y spot con misma polariz

entre ellos no se estorban nunca ya que usan distintos canales

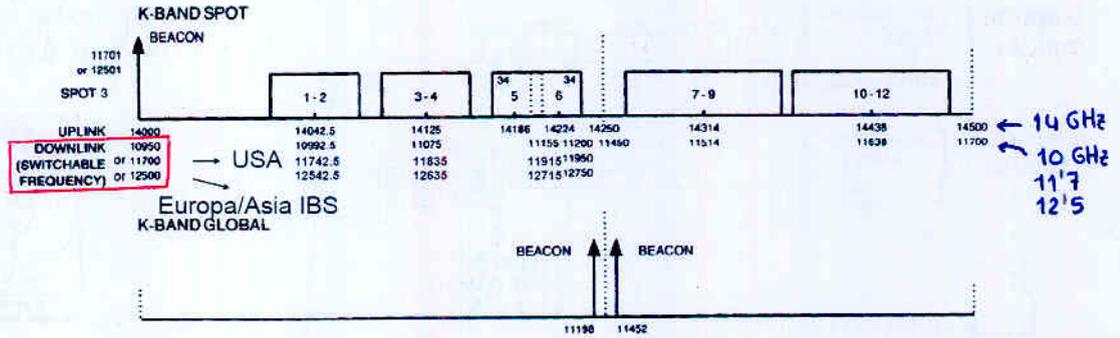
2 Hemi y 4 zonas

entre ellos no se estorban nunca porque usan polarizaciones ortogonales

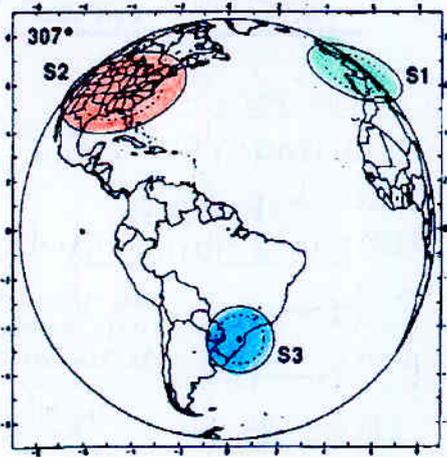
# En banda Ku

Hay que elegir frec de bajada.

La ITU definió frecs distintas a zonas distintas del mundo



## 3 Spots Direccionables



2 elípticos (S1, S2)  
1 circular (S3)

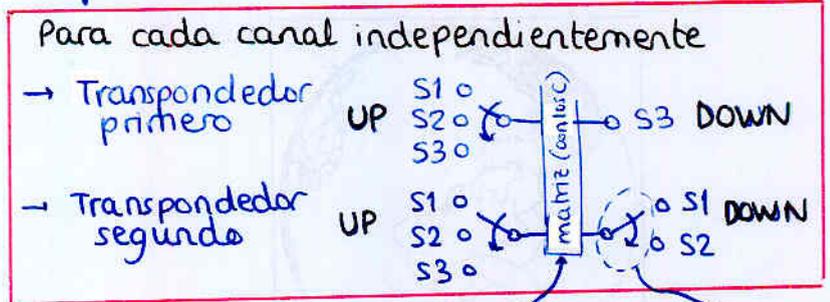
Tienen 2 transpondedores; por tanto:

para cada canal independientemente puedo hacer 2 "circuitos" (2 bent pipes) para cada "circuito" de esos 2 elijo el spot de subida y el spot de bajada

Pero hay una limitación

- el 1º circuito siempre baja por S3
- el 2º circuito baja por S1 o por S2

Graficamente:



Para banda Ku se usa como frecuencia intermedia los 4 GHz de la banda C

la matriz de conmutación se comparte con los haces de banda C

!! se puede conmutar entre haces spot ku y haces banda C !! sólo si la numeración del canal es la misma

Importante  
Éste conmutador final se comparte para TODOS los canales i.e. no elegimos independiem. para cada canal

**Repetidor banda C**

Multiplexores de entrada. Dividen en canales

so'lo conmuta cada canal entre los distintos haces

Los canales 5 y 6 se conmutan por separado pero antes del amplif se unen

Para los zone elijo de nuevo entre zonas de cada diagonal. En bajada no se puede seleccionar la suma

la eleccion es independiente en subida y en bajada

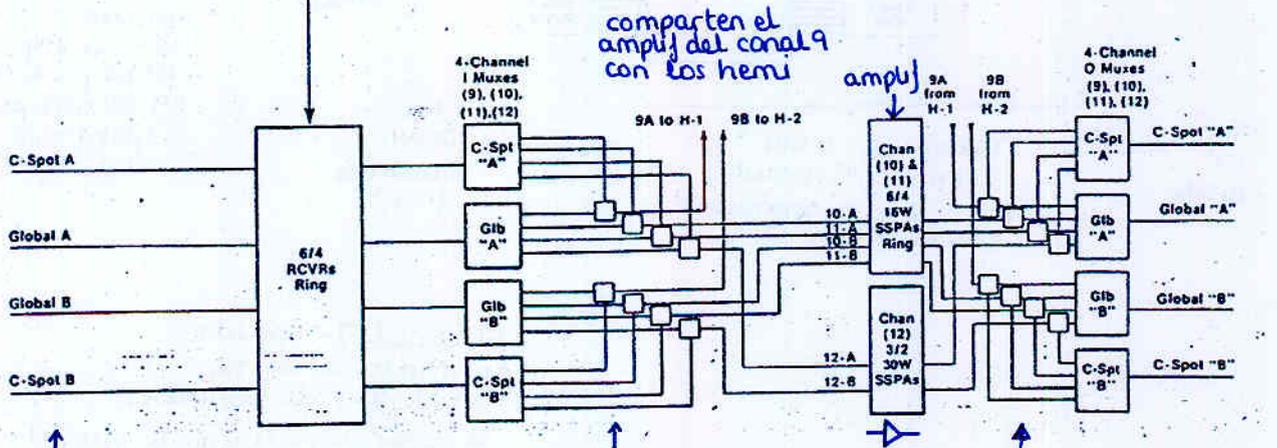
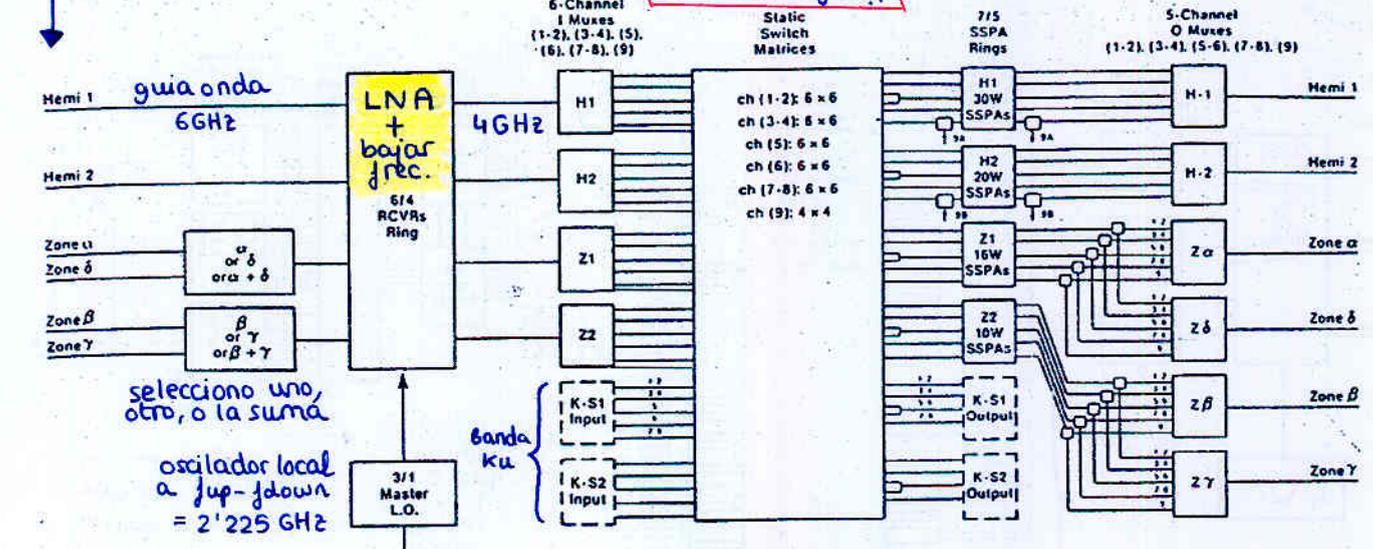
6/4 indica la redundancia -6 disponibles -4 utiles

seis matrices una matriz para cada canal

¡¡ Lógicamente no puede llevar el 1-2 al 3-4 porque no convierte frec!!

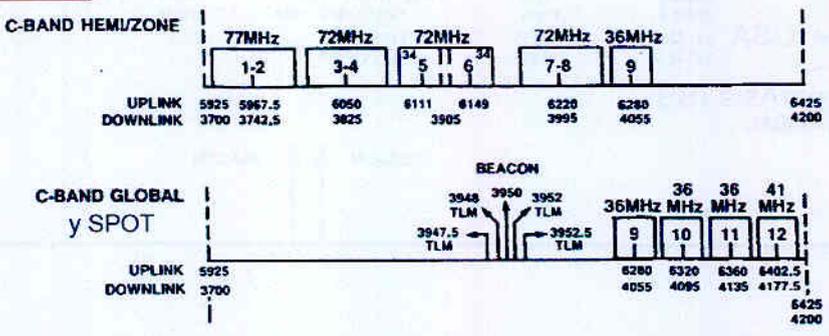
amplif de potencia

Paraboloide grande en RX con 6 haces



**Detalle IMPORTANTE:** los global y spot en banda C no participan en la conmutación con Hemi-zone C y spots Ku

i ya que usan canales distintos! (lógico!)



independientemente para cada canal, elijo, para una misma polarización, entre global o spot

comparten el amplif del canal 9 con los hemi

selecciono uno, otro, o la suma

oscilador local a fup-fdown = 2.225 GHz

Banda Ku

selecciono uno, otro, o la suma

guia onda 6GHz

Hemi 1

Hemi 2

Zone alpha

Zone delta

Zone beta

Zone gamma

H1

H2

Z1

Z2

Hemi 1

Hemi 2

Zone alpha

Zone delta

Zone beta

Zone gamma

C-Spot 'A'

Global 'A'

Global 'B'

C-Spot 'B'

Chan 101 & 111 16W

Chan 12 30W

C-Spt 'A'

Global 'A'

Global 'B'

C-Spt 'B'

9A from H-1

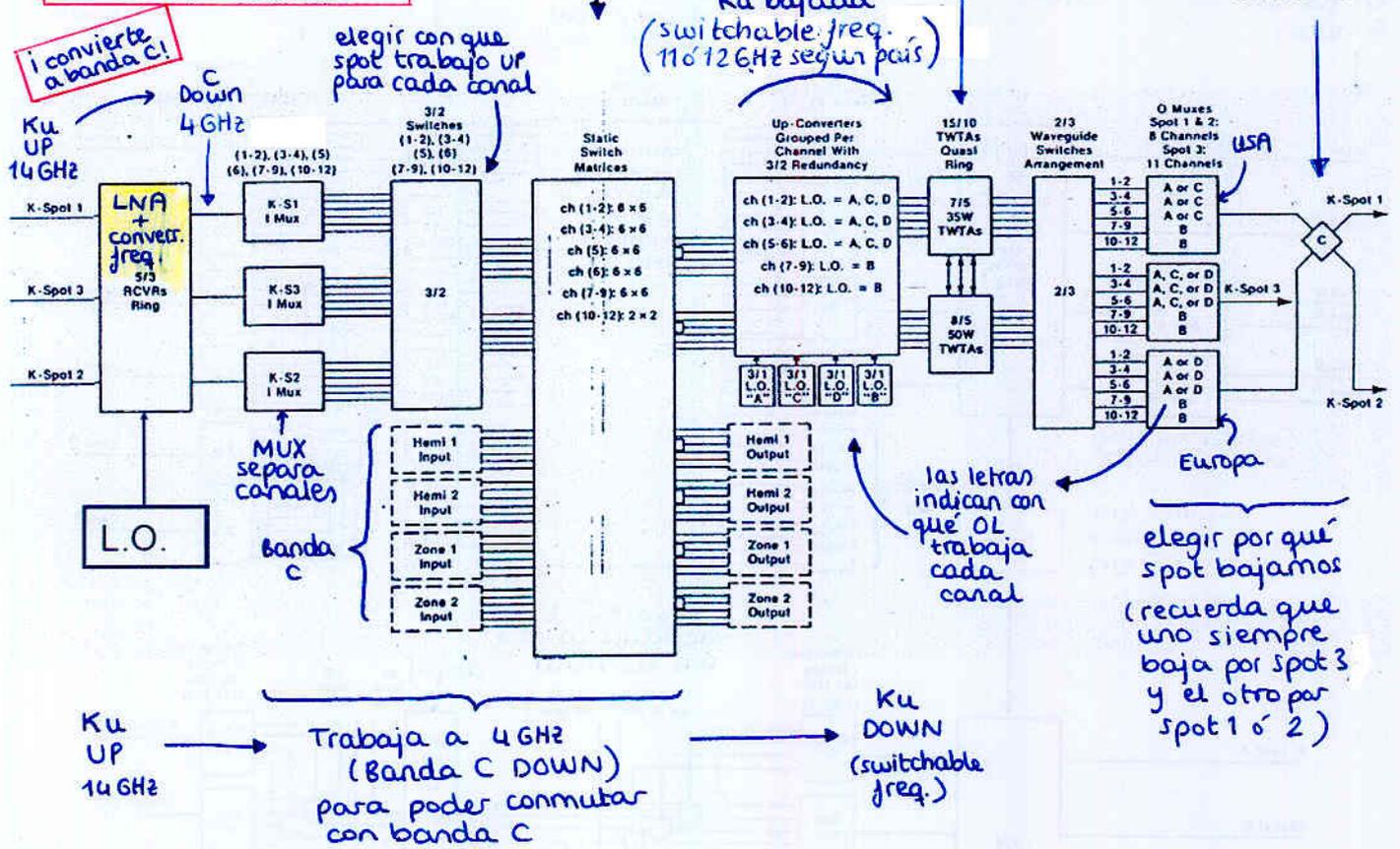
9B from H-2

# Repetidor banda Ku

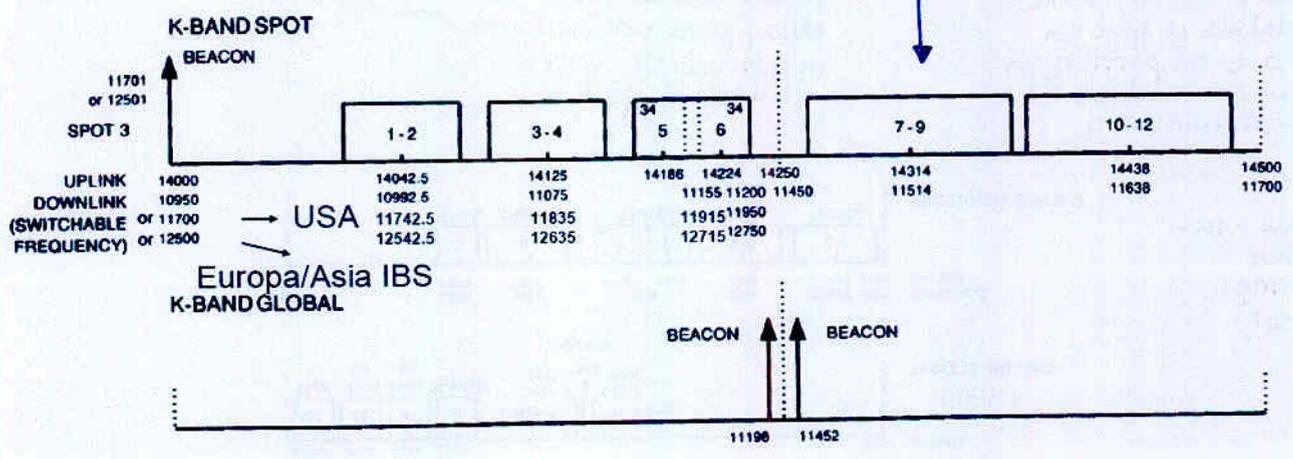
Amplificadores de potencia en banda Ku

- tecnología TWT + linealizadores
- aún no existía tecnología STA a tan altas frecuencias

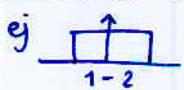
Permite conmutar haces de banda Ku con haces de banda C (compartiendo matriz de conmutación) para canales con misma numeración en ambas bandas



El canal 7-9 puede conmutarse con el canal 7-8 de banda C (a pesar de no llamarse igual) (a costa de perder el canal 9)



# Tema 5. Técnicas de Acceso Múltiple

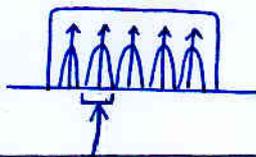
Técnica de acceso múltiple (MA): capacidad de acceder de manera conjunta desde varias estaciones terrestres a un transpondedor de satélite. ej 

## Clasificación

- Por diversidad
  - en frecuencia (FDMA)
  - en tiempo (TDMA)
  - en código (CDMA)
  - híbridas
- Por asignación
  - preasignada (PAMA)
  - bajo demanda (DAMA)
  - acceso aleatorio (RMA) ej: ALOHA

## FDMA

La más sencilla técnicamente



- No requiere sincronización pero la potencia debe ser similar
- Comparten transpondedor → PIM productos intermod.

además cada estación terrestre puede multiplexar en su portadora varios canales

- ↳ FDM / FM / FDMA
- ↳ TDM / PSK / FDMA
- ↳ SCPC / cualquier mod. / FDMA

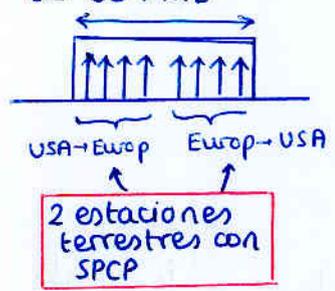
técnica de multiplexado      modulación      técnica de acceso múltiple

→ **MCPC** multiple channel per carrier  
 → **SCPC** single channel per carrier = no multiplexar

ejemplos: INTELSAT

### Intelsat I

- Unía USA y Europa
- Único transpondedor de 50 MHz



### Intelsat III

- varias estaciones
- MCPC
- asignación fija
- sólo 2 transpondedores de 225 MHz
  - ↳ ↑ portadoras
  - ↳ ↑ productos IM
  - ↳ ↑ potencia por amp.
  - ↳ ↓ linealidad

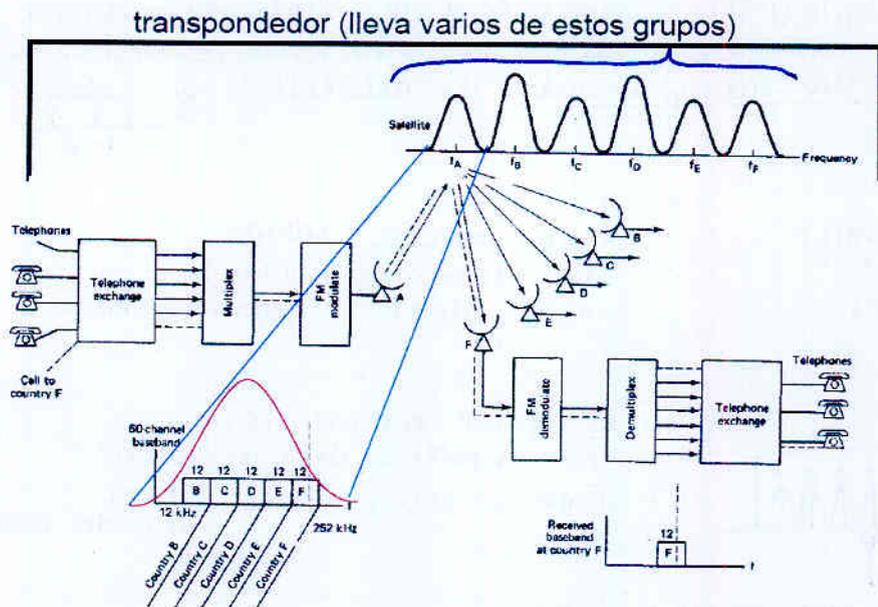
### Intelsat IV

- varias estaciones
- MCPC
- asignación fija

se pensó en el transpondedor estándar 36 MHz (señal TV analógica en FM [sat. siempre usa FM])  
↳ Malgasta AB por las bandas de guarda

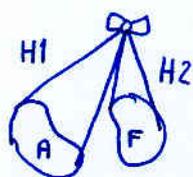
Intelsat III IOR	Intelsat IV POR
3700-3715 Pakistan	3700-3715 USA Norway
3715-3730 United Kingdom	3715-3730 USA Norway
3730-3745 East Pakistan	3730-3745 Japan
3745-3760 Pakistan	3745-3760 Japan
3760-3775 Lebanon	3760-3775 USA & Australia
3775-3790 United Kingdom	3790-3805 USA Mainland
3790-3805 Japan	3805-3820 Alaska
3805-3820 India	3820-3835 Japan
3820-3835 Zambia	3835-3850 Japan
3835-3850 Malaysia	3850-3865 Japan
3850-3865 Australia	3865-3880 USA Mainland
3865-3880 United Kingdom	3880-3895 Australia
3880-3895 Japan	3895-3910 New Zealand
3895-3910 India	3910-3925
3910-3925	3925-3940
3925-3940	3940-3955
3940-3955	3955-3970
3955-3970	3970-3985
3970-3985	3985-4000
3985-4000	4000-4015
4000-4015	4015-4030
4015-4030	4030-4045
4030-4045	4045-4060
4045-4060	4060-4075
4060-4075	4075-4090
4075-4090	4090-4105
4090-4105	4105-4120
4105-4120	4120-4135
4120-4135	4135-4150
4135-4150	4150-4165
4150-4165	4165-4180
4165-4180	4180-4195
4180-4195	4195-4210
4195-4210	4210-4225

ejemplo: FDM / FM / FDMA

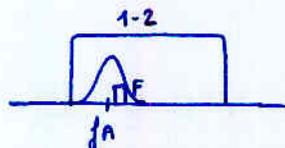


nuestro país empaqueta en su zona A la info dirigida a capa país, multiplexando con FDM su portadora FDMA

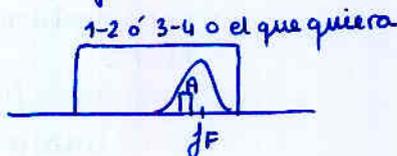
ejemplo: FDM / FM / FDMA que no requiere misma huella pero requiere 2 transpondedores



transpondedor  
 $\uparrow H_1 \rightarrow \downarrow H_2$

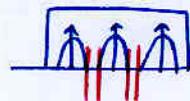


transpondedor  
 $\uparrow H_2 \rightarrow \downarrow H_1$



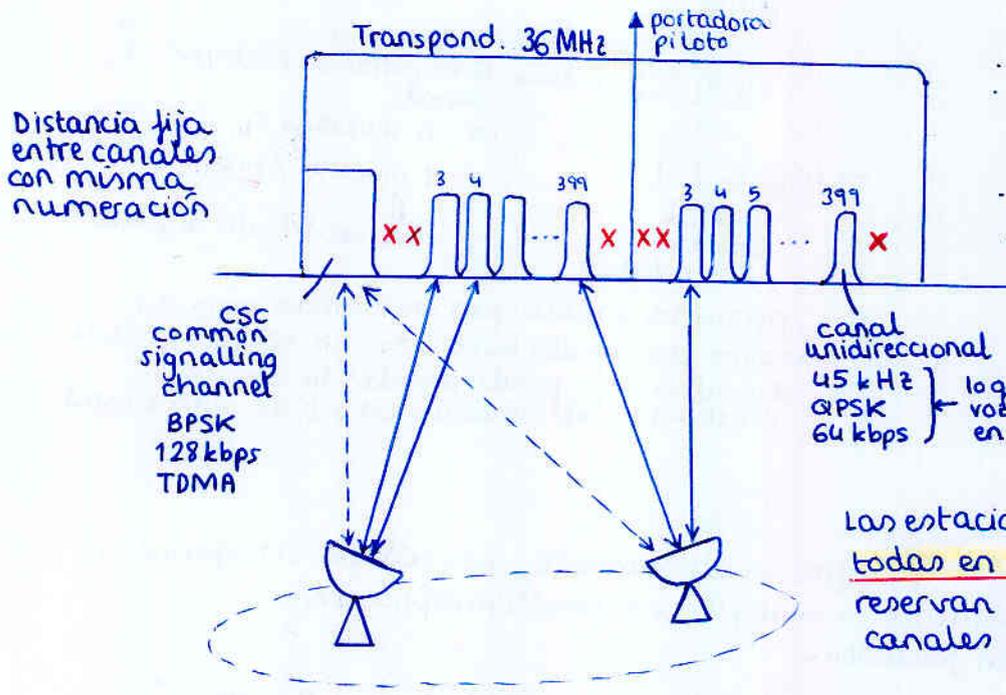
Relación compleja:

número de portadoras por transpondedor  $\uparrow \Rightarrow \begin{cases} \uparrow \text{PIM} \rightarrow \downarrow \%I \\ \uparrow \text{AB malgastado en guarda} \end{cases}$



número de canales por portadora  $\uparrow \Rightarrow \text{dev. en frec de mod. FM} \downarrow \rightarrow \text{ruido} \uparrow$   
 (para que quepan)

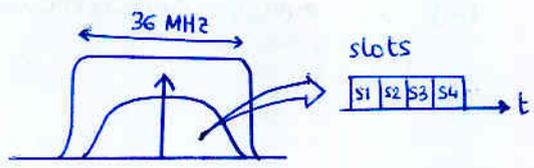
- **SPADE** single channel per carrier, digital PCM, multiple Access Demand assigned Equipment
  - FDMA por demanda
  - SCPC (i.e. cada portadora sin mux, sólo un canal)
  - canal señalización (CSC: common signalling channel)



- 800 canales unidireccionales se eliminan algunos para proteger la portadora piloto
- quedan 794 unidireccionales
- ⇒ **397 canales bidireccionales**

Las estaciones, que deben estar todas en la misma huella, reservan bajo demanda los canales que necesiten

• **TDMA**



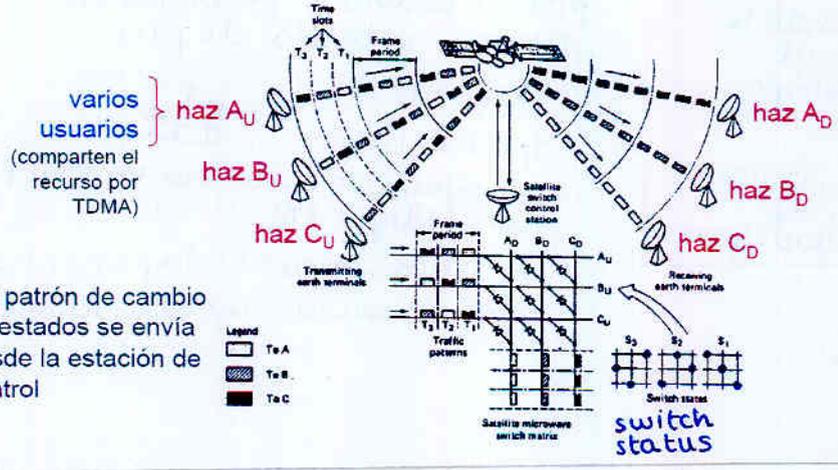
- Naturalmente orientada al transporte de información digital
  - indistintamente voz y datos
  - fácilmente reconfigurable para el encaminamiento

- Cada emisor tx en su slot asignación fija PA-TDMA asignación bajo demanda DA-TDMA
- Sólo una portadora - PIM ↓
- Resiste ruido e interferencia de otras fuentes

→ Necesidad de sincronización (Problema complejo)  
↳ no vemos las técnicas

→ **SS-TDMA**: TDMA con conmutación de cobertura! se introduce en intelsat VI

- La matriz cambia cíclicamente de estado para conmutar coberturas
  - en cada cobertura varios usuarios comparten el haz por TDMA

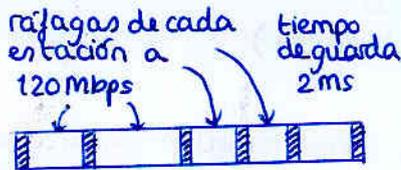


■ El patrón de cambio de estados se envía desde la estación de control

• el satélite amplifica de manera transparente

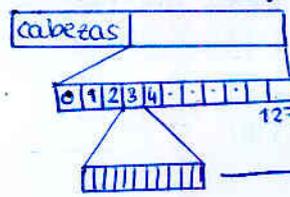
## • Ráfagas en TDMA

→ trama de 2 ms



## • Intelsat TDMA: técnicas más actuales

→ ráfaga DNI 2ms



• tráfico preasignado

• 128 canales de voz unidireccionales

16 muestras de 8 bits por canal

i.e. 16 muestras / 2 ms

1 muestra / 125 μs

↕ voz muestreada a 8 kHz

→ ráfaga DSI  
Digital  
Speech  
Interpolated

- Aprovecha pausas para enviar más canales
- Logra 240 canales terrestres con 127 de satélite
- En saturación puede añadir 16 canales adicionales el mirando un bit de cada canal

## • CDMA

- División en código (tiempo y frec <sup>mismo</sup> simultáneamente; usa códigos ortogonales)
- ↳ DS-CDMA: Direct Sequence → multiplicación por código rápido PN
- ↳ FH-CDMA: salto en frecuencia

- (+) más privacidad
- (+) se reparte el desvanecimiento del canal
- (+) Resiste a la interferencia
- (+) Mayor flexibilidad
- (+) No requiere sincronización

- (-) ortogonalidad de los códigos
- (-) cada emisor necesita una frec distinta

## • Clasificación de técnicas por asignación

### • PAMA: preasignado

- Indicado para tráfico constante y conocido
- Desaprovecha (Intelsat I, II, III)

### • DAMA: bajo demanda

- Indicado para tráfico variable
- Costoso sistema de control (SPADE, INMARSAT, TDMA-Intelsat)

### • RMA: acceso aleatorio

- Indicado para bajo volumen de datos irregular
- Pérdidas en caso de congestión

### RMA: ejemplo típico: ALOHA

- cada estación emite cuando lo desea y escucha el canal
- si hay colisión espera tiempo aleatorio y retransmite

Si ocupación y S/N son bajos ⇒ Aloha = límite teoría de capacidad Shannon

slotted Aloha → dobla la capacidad gracias a la sincronía

Interesa tx corta para minimizar prob de colisión: problema en tierra → potencia de pico

solución:

### Spread Aloha

- la ráfaga se ensancha en tiempo con códigos PN
- se pueden separar sola pamientas
- prob. de colisión igual a aloha



# Tema 6. Comunicaciones móviles por satélite

## Introducción

- Inicialmente Inmarsat → GEO terminales maletín
- Explosión LEO
  - terminales pequeños
  - problemas económicos
- Nueva solución: SUPERGEO gracias a la desclasificación de antenas hinchables

## Clasificación por servicio

- Little LEOs : principal ventaja : store & forward comunicación tipo email
- Big LEO : Voz (retardos cortos y terminales pequeñas) Gran expectativa y fracaso comercial
- Super GEO : gran alternativa para voz
- Banda ancha GEO : gran capacidad y fácil ISL

## Órbitas para móviles

### GEO

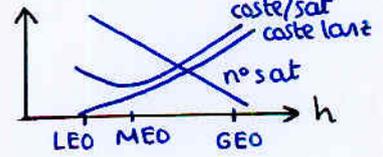
- gran ocupación orbital
- lanzamiento costoso
- retardos (500ms ida y vuelta)
- grandes pérdidas de propagación
  - ↳ Antenas grandes en tierra
- pobre cobertura en latitudes extremas (nula > 81°)
- (+) no handover

### LEO

- + completamente globales
- + lanzamiento barato
- complejidad constelación
- muchos satélites
- velocidades muy altas
  - ↳ desplaz doppler
  - ↳ handover muy frecuente (aunq. determinista)

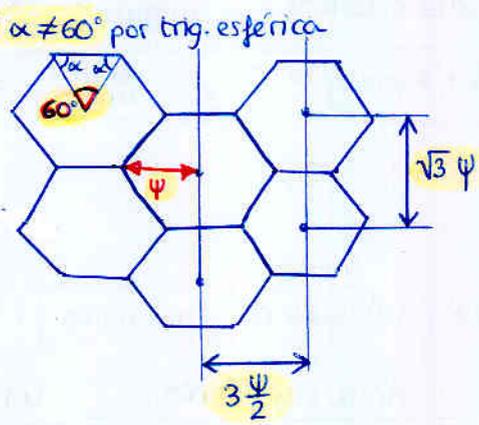
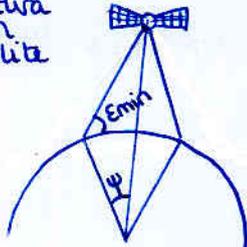
### MEO

- compromiso
- + satélites más sencillos que LEO y GEO
- mismos inconvenientes que LEO y GEO (pero atenuados)

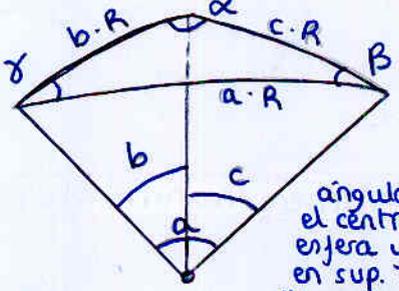


## Diseño de constelaciones en LEO

cobertura de un satélite



## Trigonometría esférica



ángulos desde el centro de esfera y arcos en sup. son "lo mismo" cte R

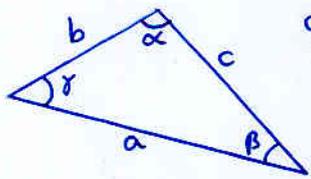
$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } a} = \frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } b} = \frac{\text{sen } \gamma}{\text{sen } c}$$

- Ley coseno sobre ángulo int →  $\cos a = \cos b \cos c + \text{sen } b \text{sen } c \cos \alpha$
- Ley coseno sobre ángulo ext →  $\cos \alpha = -\cos \beta \cos \gamma + \text{sen } \beta \text{sen } \gamma \cos a$

exceso de ángulo =  $\alpha + \beta + \gamma - \pi$

Area triangulo esférico =  $R^2 \cdot \text{exceso ángulo}$

## Trigonometría plana



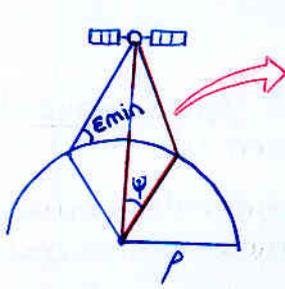
ángulos suman 180°

$$\frac{\text{sen } \alpha}{a} = \frac{\text{sen } \beta}{b} = \frac{\text{sen } \gamma}{c}$$

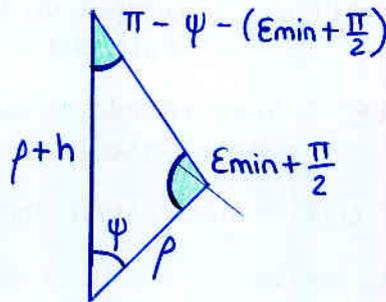
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos(\alpha) \leftarrow \text{"Pitágoras" modificado}$$

• Obtener  $\psi$

Datos:  $h$  y  $E_{min}$



Triángulo plano

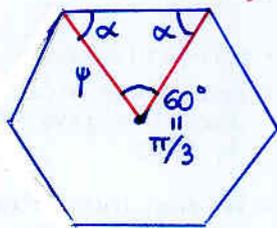


Ley del seno:

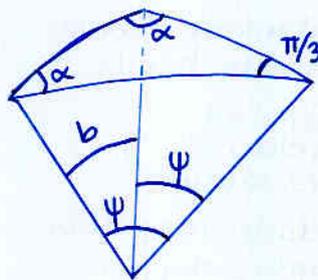
$$\frac{\text{sen}(E_{min} + \frac{\pi}{2})}{\rho + h} = \frac{\text{sen}(\frac{\pi}{2} - \psi - E_{min})}{\rho}$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} - E_{min} - \arcsen\left(\frac{\rho}{\rho+h} \cos E_{min}\right)$$

• Obtener  $\alpha$



Triángulo esférico



Ley coseno sobre ángulo externo

$$\cos \alpha = -\cos \alpha \cos \frac{\pi}{3} + \text{sen} \alpha \text{sen} \frac{\pi}{3} \cos \psi$$

$$\cos \alpha (1 + \underbrace{\cos \frac{\pi}{3}}_{0.5}) = \text{sen} \alpha \left( \underbrace{\text{sen} \frac{\pi}{3}}_{\frac{\sqrt{3}}{2}} \cos \psi \right)$$

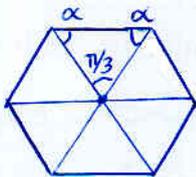
$$\frac{\text{sen} \alpha}{\cos \alpha} = \text{tg} \alpha = \frac{1.5}{\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \psi}$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{\sqrt{3}}{\cos \psi}\right)$$

• Obtener area del hexágono esférico

son 6 triángulos esféricos

exceso ángulo =  $2\alpha + \frac{\pi}{3} - \pi = 2\alpha - \frac{2\pi}{3}$

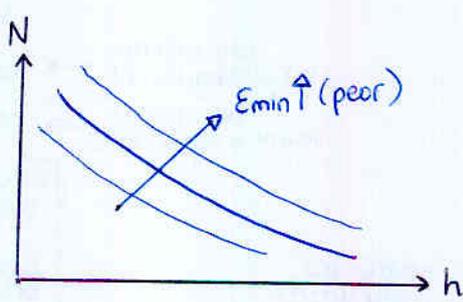


Area =  $6 \cdot A_{\text{triang}} = 6 \cdot \rho^2 \cdot \text{exceso ángulo} = 6\rho^2 \cdot (2\alpha - \frac{2\pi}{3})$

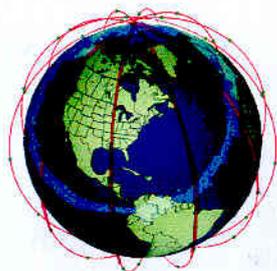
Número de satélites para cubrir la tierra

• Primera aproximación

Límite inferior  $N = \frac{\text{Area sup. tierra}}{\text{Area hexágono esférico}} = \frac{4\pi \rho^2}{6\rho^2 (2\alpha - \frac{2\pi}{3})}$



Aproximación por planos orbitales

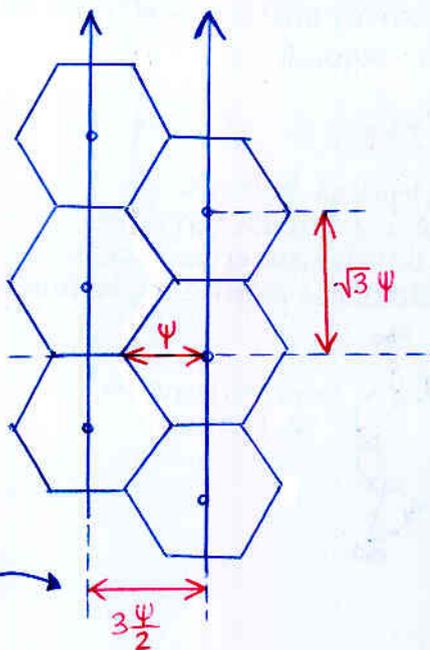


El punto crítico es el ecuador

Ecuador

Las celdas avanzan así juntas

Lo que ponemos como distancias son en realidad ángulos en el centro de la Tierra



Visto desde el polo norte



Número de órbitas

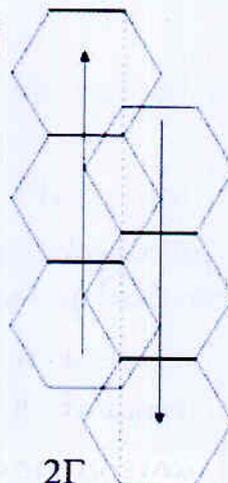
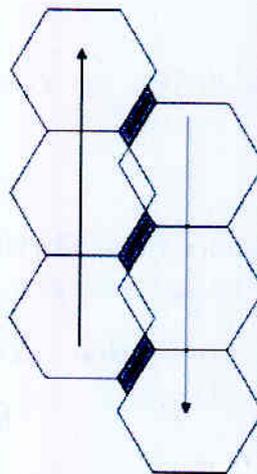
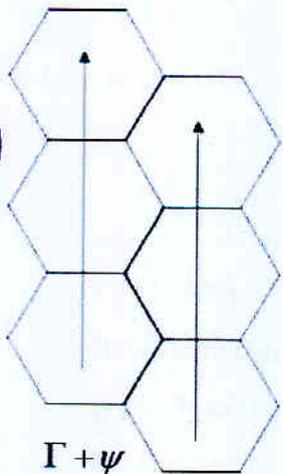
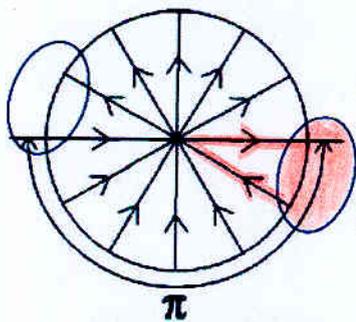
$$\Omega = \frac{\pi}{3\psi/2}$$

Número de satélites por órbita

$$N/\Omega = \frac{2\pi}{\sqrt{3}\psi}$$

Número de satélites :  $N = \text{nº de órbitas} \cdot \text{nº satélites por órbita}$

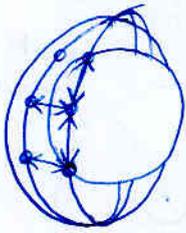
Otra consideración: planos contrarrotatorios



Al no avanzar juntas no encajan

Hay que acercarlas más

# Inter satellite Links ISL



Inter-orbit: más fáciles ← posición relativa de  
 Intra-orbit: seguimiento

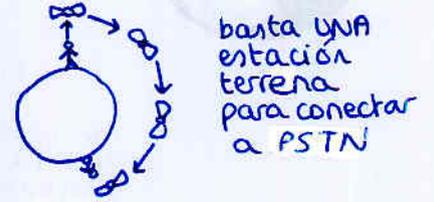
## sin ISL

- complejidad terrestre
- necesita estación terrestre  
 alla donde queremos cobertura  
 (limitaciones políticas y bélicas)

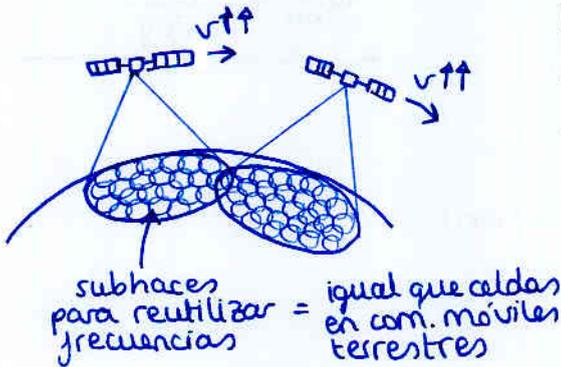


## con ISL

- complejidad espacial



# Procesos de handover



• se producen por el avance de las haces y los subhaces del satélite

- son frecuentes (aunq el móvil no se mueva)
- son predecibles / deterministas

Factor clave para la calidad del sistema

- Iridium: cambia subhaz cada minuto!
- Globalstar: tx por 2 canales a la vez para disminuir la prob. pérdida

# Sistemas existentes en com. móviles satélite

## GEO: Inmarsat

- para embarcaciones marítimas
- en cualquier lugar excepto los polos

Inmarsat-A: analógico (2 maletas 50 kg)

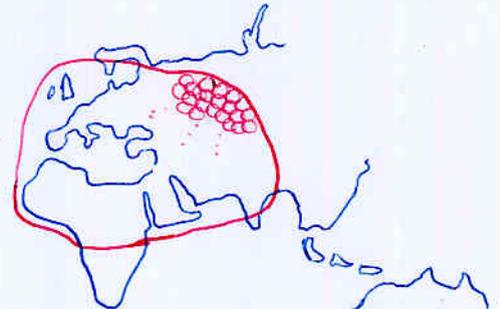
Inmarsat-B: digital (portatil 3kg)

• antena 40 cm

• coste \$3..20 por minuto

## Super GEO: Thuraya

- 2 satélites cubriendo oriente medio y norte de africa
- antena inflable 12'5m



cada satélite:

- conformado electrónico de haz
- 250 a 300 subhaces
- 12-15 años de vida
- 13750 canales voz

- **Big LEO** : frecuencias reservadas por UIT (bandas L y S)
- terminales duales ("engachar con pegamento" movil sat. y movil normal)

→ **Iridium**

- 6 planos orbitales
- cada uno 11+1 satélites (redundancia)
- $h = 780 \text{ km}$  (66+6)
- $T_N = 100 \text{ minutos}, 28 \text{ s}$
- $v = 28\,000 \text{ km/h}$

Tecnología más avanzada (con diferencia)

- 48 subhaces / satélite
- 3168 celdas
- Implementan **ISL**
  - ↳ intraplano: sencillos
  - ↳ interplano: paneles orientables
  - ↳ puede funcionar con solo 1 estación terrena
- satélites inteligentes
  - ↳ procesado y enrutado embarcado
  - ↳ ISL

sistema celular

- 48 subhaces
- clusters  $k = 12$
- 960 canales / cluster
- 20 canales / celda

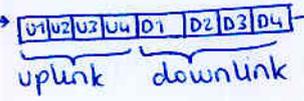
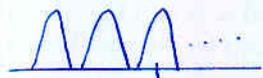
↓  
cada canal = 4 usuarios up y down

- **80 usuarios / celda** (celda España)
- $80 \times 48$  usuarios / sat?
- no, limitado a 1100 por cuestiones de potencia

Estado actual

- ha renacido tras la bancarrota
- comprado por Boeing - nueva estrategia de venta y marketing
- actualidad registran ganancias

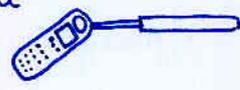
→ **FDMA-TDMA / TDD**  
 varias frecs con TDMA cada una      duplexado en tiempo!  
 ii  $f_{up} = f_{down} !!$       muy poco habitual en satélite



4 usuarios por trama

Servicios : voz, fax, sms, email, datos 2'4 kbps  
 coste : 0'9 - 3 \$/minuto

terminal



→ **Globalstar**       $T_N = 11 \text{ min}$



- LEO no polar
- no global
- solapamiento: 2 o más satélites visibles

- están en zona de Van-Alien → blindaje
- $h = 1414 \text{ km}$
- 8 planos orbitales
- satélites sencillos: complejidad en tierra

16 subhaces / satélite      handover suave

Enlace usuario : **CDMA-FDMA / FDD**  
 Enlace a central : **FDM / FDMA**

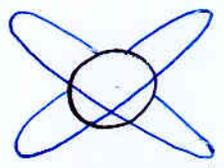
cada satélite requiere una estación terrena  
 ⇒ > 100 estaciones

Cobertura limitada por estaciones

**CDMA le permite potencias bajas y más capacidad por celda**

por eso tiene tan pocas subhaces por satélite

→ **ICO (MEO fallido)**



satélites: 10+2  
 inclinación 45°  
 $T_N = 6 \text{ h}$

- satélites bent-pipe: grandes antenas
- 12 estaciones terrenas → red ICONet
- 163 subhaces / satélite
- 4500 llamadas / satélite

Antenas **DRA** : Direct Radiation Arrays (forman los 163 subhaces indep.)



muy grandes

- Promovido por Inmarsat
- luego reutilizado
- luego cancelado

**Teledesic (datos banda ancha LEO)**

→ Bill Gates y príncipes saudíes

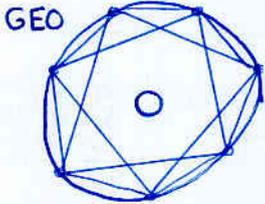
- original : 840 + 84 (21 planos con 40 sat) a 700km
- luego : 288 (12 planos con 24 sat) a 1350km
- luego : 30 (MEO)
- luego : se canceló

Objetivo: internet-in-the-sky  
1'2 Gbps  
(celdas muy pequeñas)

- ¡iban a ser la leche!
- ISL a 8 vecinos (60GHz + laser)
  - on board processing (OBP)

**GEOs de banda ancha**

ISL para evitar saltos a tierra



- Galaxy/spaceway : 20 GEO : up 1'5 Mb/s Down 92 Mb/s
- Cyberstar : 3 GEO up 3 Mb/s Down 92 Mb/s
- Astrolink : 9 GEO up 1'5 Mb/s Down 130 Mb/s

- ↳ procesado digital embarcado
- ↳ banda ka (up 30 GHz, down 20 GHz)
- ↳ 3 centros de control y 50 pararelas

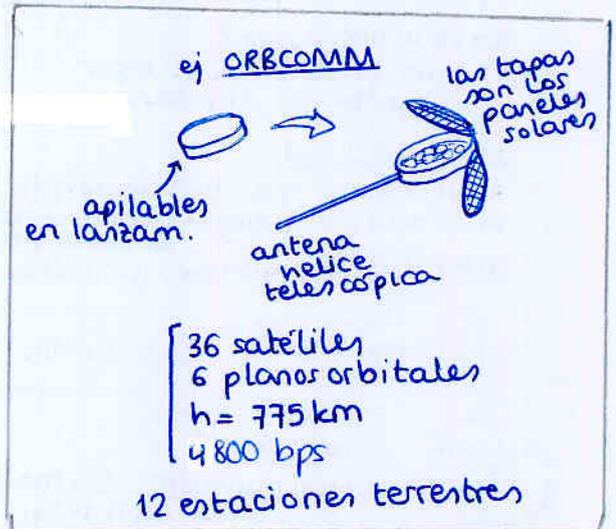
**LittleLEOs banda estrecha**



- 1kb/s
- satélites MUY simples
- 50-100 kg
- frecuencias muy bajas
- < 1GHz

email, mensajería, búsqueda

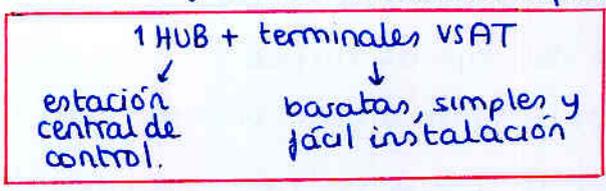
estación terrestre encamina el mensaje a internet



# Tema 7. Redes de datos VSAT

VSAT: Very small Aperture Terminal → redes de datos privadas  
ej: control oleoductos España

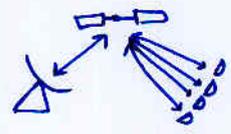
- Ventajas:**
- económicas (orografía, distancia)
  - seguridad (red PROPIA)
  - más tipos de aplicaciones
  - crecimiento modular sencillo
  - independencia del estado de la red terrestre
  - Flexibilidad
- Desventajas:**
- retardo GEO
  - condiciones atmosféricas (problema lluvia en banda ku)
  - HUB debería tener redundancia



alternativa a red sobre PSTN o radioenlaces terrestres

## Conectividad

- VSAT ≠ punto a punto → para eso usas F.O.
- pto a multipunto (broadcast) (unidireccional) satélites idóneos para ello
- punto a multipunto interactivo
  - bidireccional
  - plena conectividad
  - ej típico: estrella



## Redes VSAT en estrella

- Ideal para broadcast o punto a multipunto interactivo
- Para comunicarse entre VSATs es obligado pasar por el HUB
  - (+) ⇒ gran potencia
  - (-) ⇒ más retardo (4 trayectorias de satélite ida + 4 vuelta)

### Típico en VSAT



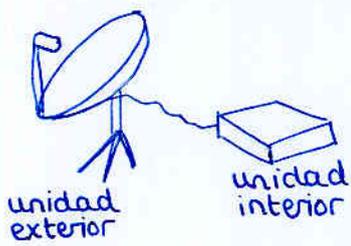
alternativa: mallá bajo demanda

- establecimiento de enlace entre dos VSAT tras pedirlo al hub: → voz con menor retardo
- problemas de potencia → transmisión de un alto volumen de datos

red pequeña: se trata de abaratar hub (compartirlo)

red grande: se tiende a terminales baratos

## Hardware VSAT



- unidad exterior:
  - antena banda ku ~ 50cm diámetro
  - diplexor separa ida y vuelta
  - AX: LNA
  - TX: conversor y SSPA (solid state power amplifier)
- unidad interior: depende mucho de la aplicación
  - unidad compactada con procesador (modem, procesado BB, interfaz datos, interfaz voz)
  - Video: calidad ajustable al AB disponible

## Acceso múltiple

- Gran variedad
- sólo tiene sentido hablar de Acceso Múltiple en dirección VSAT → HUB

Depende del tipo de tráfico :

- TDMA (normalmente bajo demanda) : para volumen datos medio
- CDMA spread spectrum (secuencia directa) :
  - problema de ortogonalidad si hay muchas terminales
  - hardware tiene parte específica para cada terminal
- RMA
  - ideal para tráfico irregular y poco volumen de datos
  - ALOHA y SpreadALOHA  
(SAMA : spread Aloha Multiple Access)

## Ejemplos

- Telecontrol para red de oleoductos CAMPSA
  - captura automática de datos en estaciones  
(SCADA : supervisor control and data acquisition) → sustituye a un señor durmiendo en cada estación
  - video de seguridad de baja calidad
- Red de loterías del estado
  - recogida de datos
- servicios de Satellite News Gathering
  - noticias internacionales con periodistas desplazados
  - terminales móviles típicas de los corresponsales
- Internet por VSAT
  - 38-156 kbps subida
  - 2-40 Mbps bajada

**Introducción. Definiciones**

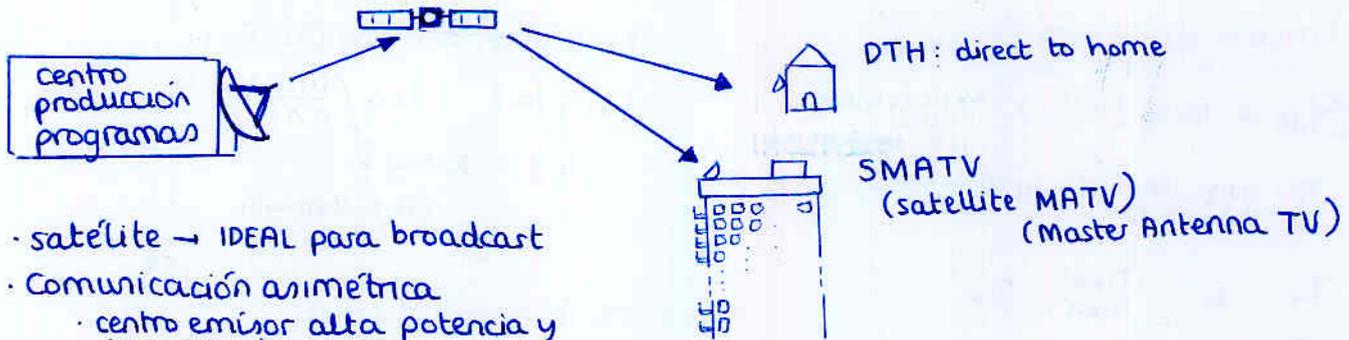
DBS : Direct Broadcast System.

No hace como Intelsat, aquí se envía la TV directamente al usuario doméstico.

se inició como una "piratería" del sistema profesional

DBS es atractivo allá donde no llega CATV

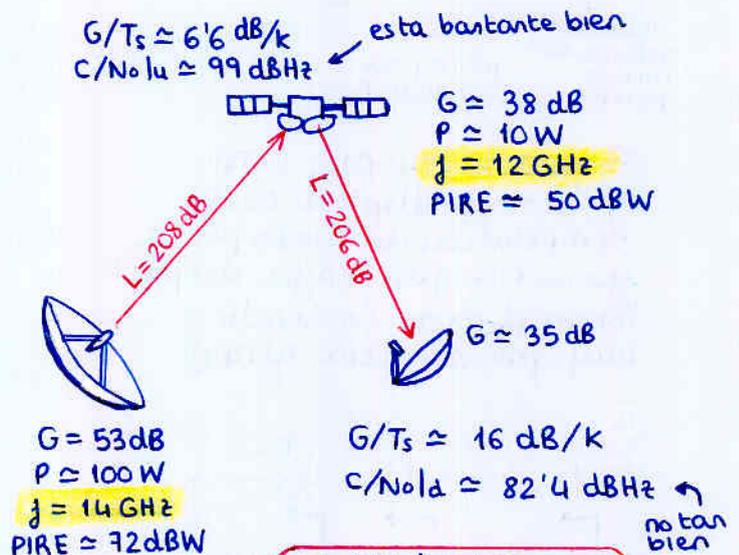
El satélite actúa como repetidor con gran visibilidad en órbita GEO



- satélite → IDEAL para broadcast
- Comunicación asimétrica
  - centro emisor alta potencia y tamaño de antena (campo antenas de ASTRA en Luxemburgo)

**Características del enlace**

- atenuación extrema por la distancia
- rotación de polarización en ionosfera (pérdidas 3dB si uso circular-lineal) (no afecta mucho a altas frec de hoy)
- Factores clave :
  - en tx : PIRE = Pt + G
  - en rx : factor mérito =  $\frac{G}{T} = \frac{\text{ganancia}}{\text{temp ruido total equiv.}}$
- El enlace crítico es el descendente (por eso usa frec menor)



el C/No total se obtiene del "paralelo" del up y down. → Prácticamente solo afecta el DOWN

**Relación portadora a densidad espectral de ruido**

Es como la C/N pero independizada del BW!!

$$\frac{C}{No} = \frac{C [W]}{No [W/Hz]} = \frac{Pt \cdot Gt \cdot Ae}{k \cdot Ts} = \frac{PIRE \cdot Gr}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \cdot k \cdot Ts} \quad [Hz]$$

$\frac{Gr}{\lambda}$  (prop)      factor mérito

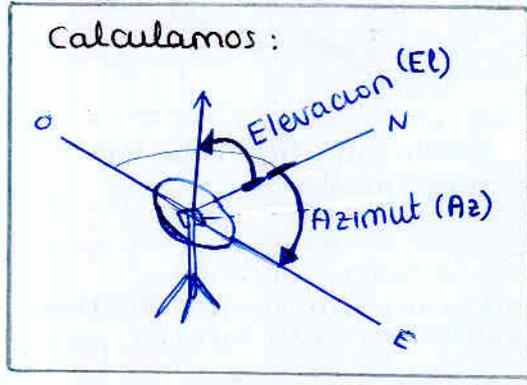
pérdidas por lluvia      otras pérdidas

$$\frac{C}{No} (dBHz) = PIRE (dBW) + \left. \frac{Gr}{Ts} \right|_{dB} - L_{prop} (dB) - k (dB) (-L_R (dB) - L_i (dB))$$



# Orientación antena cálculo típico en cuestiones:

Datos : Posición antena {  $La$  : latitud N de la antena  
longitud E de la antena }  
Posición satélite GEO → longitud E del satélite }  $D = \text{long E. antena} - \text{long E. satélite}$



$$\begin{cases} El = \arctg \left( \frac{\cos B - 0'151269}{\text{sen } B} \right) \\ Az = \pi + \arctg \left( \frac{\text{tg}(D)}{\text{sen}(La)} \right) \end{cases}$$

$\pi$  se quita en hemisf. sur

siendo  $B = \arccos(\cos(D) \cos(La))$

Y la distancia del enlace al satélite  
 $d = 35768 \cdot \sqrt{1 + 0'41999 \cdot (1 - \cos B)}$

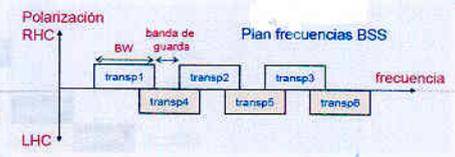
## Plan de frecuencias DBS - BSS de la ITU

hoy día está muy mezclado

Banda Ku { Banda baja : 10'7 - 11'7 GHz polarización circular RHC / LHC  
Banda alta : 11'7 - 12'75 GHz polarización lineal V / H ← dig analógico

no hay mucha rotación de polarización

- desfase de 1/2 canal entre polarizaciones
- bandas de guarda



## Modulaciones para TV analógica y digital

- TV analógica Banda Ku
  - Video FM
  - Audio FM
 } AB = un transpondedor 36 MHz  
 ↳ aumenta robustez

recuerda: en terrestre era UHF 46-862 MHz  
 Video BLV } AB=8 MHz  
 Audio FM }

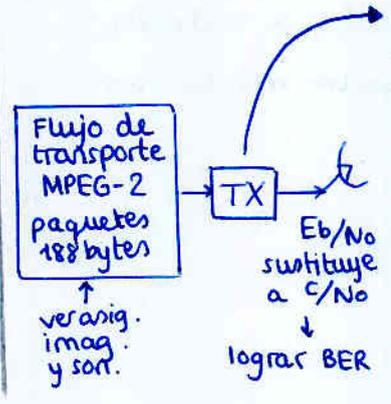
- TV digital norma DVB-S
  - QPSK (robustez) Banda Ku
  - ventaja: compresión MPEG-2
  - 5-6 canales en un transpondedor
  - única portadora (PIM)

El satélite elimina la principal ventaja de lo digital, ya que no regenera

recuerda: en terrestre era UHF QAM (eficiencia) 5-6 canales en 8 MHz

Tasas binarias según calidad:

norma DVB	SDTV: Estandar 4:2:2 y 4:3 6 Mbps
	EDTV: mejorada 16:9 9 Mbps
	HDTV: Alta def 20 Mbps



### Adaptador de satélite en DVB-S

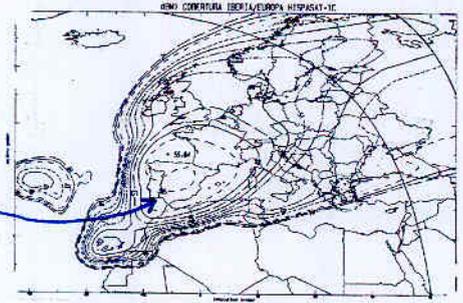
- Aleatorización: cambia un byte de sincronismo
- Protección errores Reed-Solomon RS(204, 108) = RS(bytes-out, bytes-in)
- Entrelazado: para separar errores rajaga
- Protección errores código convolucional escijo 1/2 (max protección), 2/3, ..., 7/8 según la calidad del enlace
- Baseband shaping
- Modulador QPSK

# Sistemas DBS europeos

Hispasat : 4 satélites en 30° Oeste

- Eutelsat
- Intelsat : se dedica más a TV profesional
- ASTRA

## huella HISPASAT



PIRE 56dBW  
!! muy buena !!

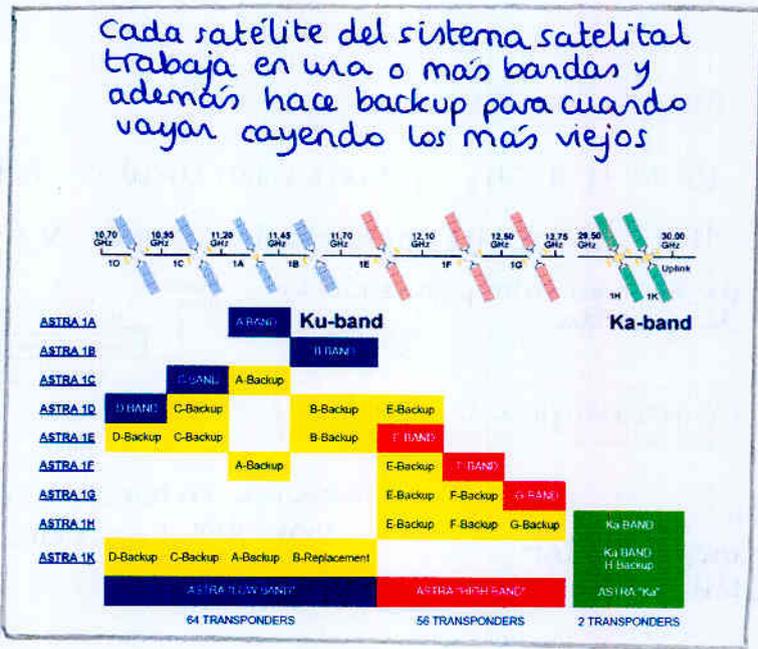
usando superficie reflectora conformada

- 4 posiciones orbitales asignadas
- la más importante es 19'2°E

- 7 satélites
- 148 transpondedores
- > 1100 canales de TV
- Canal de retorno para datos banda ancha

"supersatélite" : Sistema satelital desde las instalaciones de Astra muy directivas pueden comunicarse con cada satélite por separado  
↓  
el usuario ve un único 'supersatélite'

se nombran con mismo número y distinta letra

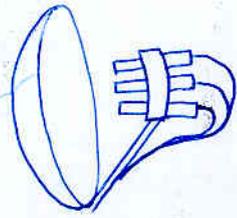


DBS interactivo :

canal de retorno ← red conmutada  
satélite : mejor pero equipo de usuario mucho más caro  
DVB-RCS

tendencias : tecnología IP adaptada a satélite  
↓  
para soportar retardo GEO

## Unidad exterior



- antena
- Dispositivo multisatélite
- LNB (low noise block)

Soporte mecánico para varios LNBs en posiciones desplaz. de focas



capta 4 posiciones orbitales (cada posición puede ser un 'supersatélite' equivalente formado por varios satélites)

- deben tener poca distancia orbital

### Low Noise Block

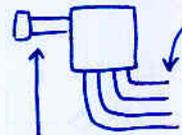
Amplificador de bajo ruido y convertor a FI  $G = 55 \text{ dB}$   
 $F = 0.7 \text{ dB}$

- salida coaxial a FI
- Tantos LNBs como posiciones orbitales

ej: LNB universal



4 salidas, para las 4 combinaciones de polarización (horiz/vert) y banda (alta/baja)



coaxial FI

950 - 1950 MHz

1100 - 2150 MHz

para cada banda dos cables, uno para cada polarización

banda baja: 10.7 - 11.7 GHz  
banda alta: 11.7 - 12.75 GHz

## Equipos internos / indoor



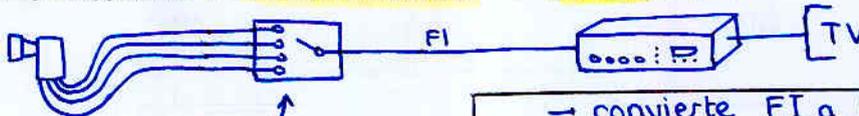
nos llegan 4 coaxiales FI con TV en QPSK 30 MHz 5-6 canales ¿qué hacemos?

Estudiamos los siguientes casos:

- 1 Instalación individual  
unidad exterior + IRD-QPSK
- 2 Instalación colectiva
  - 2.1 Repartir señal en QPSK, tal y como llega
    - 2.1a: tantos cables como salidas LNB
    - 2.1b: procesar para combinar todo en un único cable FI
  - 2.2 Transmodular la señal a QAM en UHF y distribuir junto a las terrestres

### 1 Instalación individual

LNB universal + multiconmutador + IRD QPSK en FI



se controla con un tono de 0 o 22 kHz y 13 o 18 V. Cada una de las 4 opciones elige una de las 4 entradas

- convierte FI a AF
- demodula QPSK
- decodifica MPEG-2
- modula video BLV y audio FM (i.e. lo que entiende la TV)

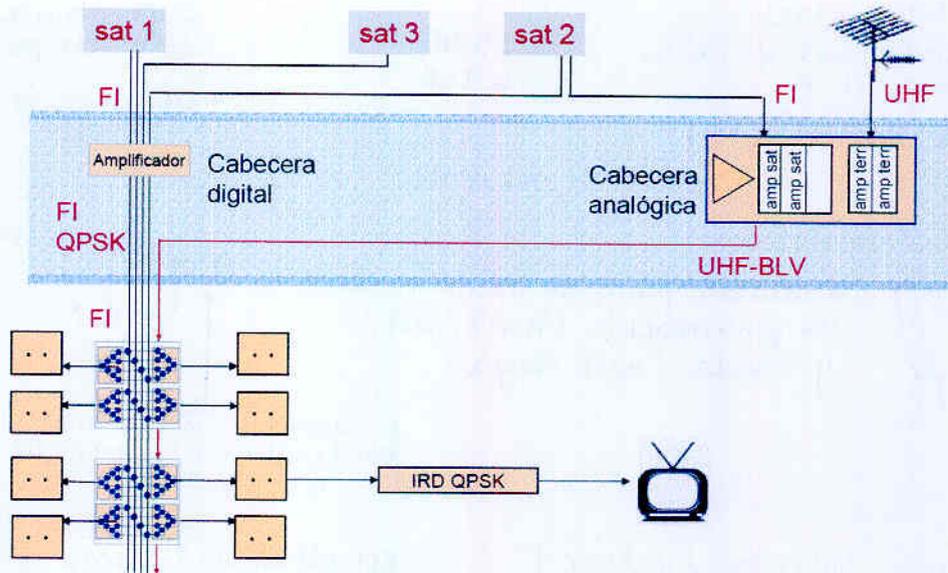
- además inyecta la alimentación del LNB y controla posibles multiconmutadores

## ② Instalación colectiva Hay 2 opciones

②.1 : Repartir la señal en FI QPSK tal y como llega del sat

- Requiere un IRD QPSK en cada casa
- Tiene 2 subopciones

2.1a : Tirar tantos cables como salidas de LNB en foco de antena y tener multiconmutadores x4, controlando cada vivienda una salida



2.1b : Procesar la señal en frecuencia y combinar todo en un único cable FI

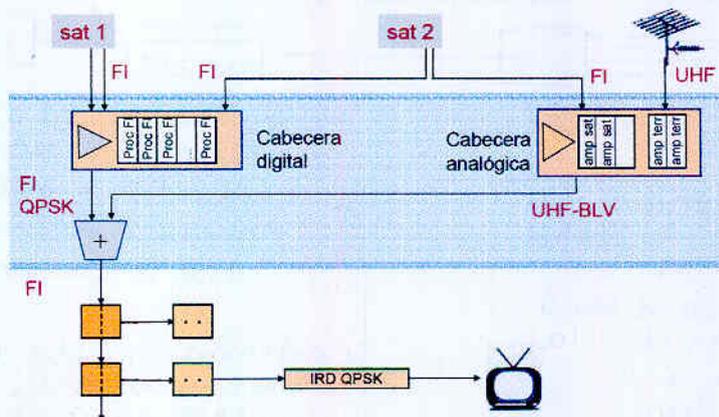
Requiere un procesador de IF en la cabecera digital:

### Procesador de FI

Unidad que traslada los canales en frecuencia para integrarlos en un solo cable de FI

Cambia de frecuencia canales para que no se solapen

polarización dig/analog	1	2	3	4	5	7	8
vertical digital	g						
horizontal digital	b						h
horizontal analógico		c					
vertical analógico							
Distribución	a	d	e	f			



2.2) Transmodular la señal a QAM y distribuir en UHF junto a las terrestres

- viajara como si fueran canales del sistema TDT
- mientras las TV no lean directamente TDT, requiere en cada casa un IRD-QAM

Para transmodular se usa un:

Transmodulador Digital Transparente QPSK-QAM (TDT QPSK-QAM)

- conversor de FI a RF
- demodula QPSK (30MHz)
- elimina errores (decodificador viterbi y reed-solomon)
- remodula 64QAM (8MHz) (como TV digital terrestre)

Además inyecta hacia arriba la alimentación del LNB

no confundir con TV digital terrestre

no decodifica MPEG-2

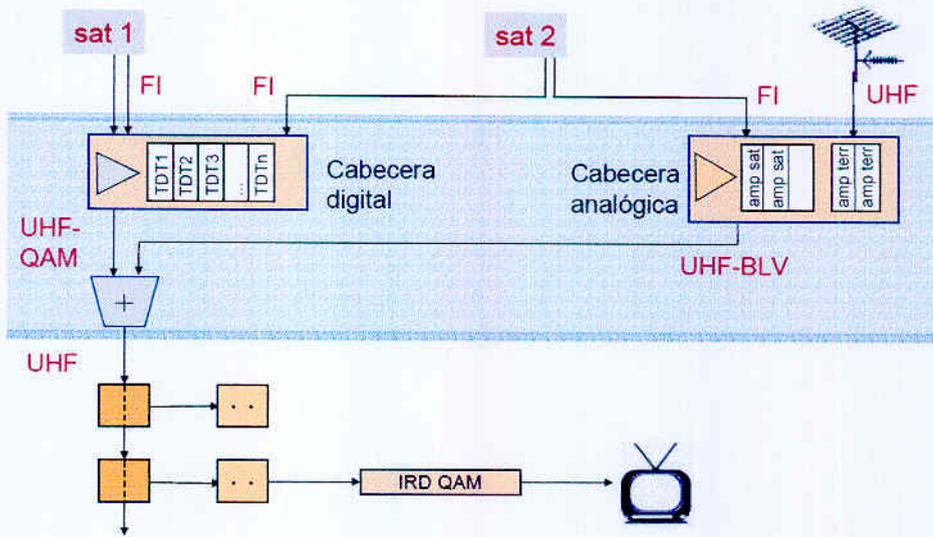
uno por cada transpondedor 36MHz (5-6 canales)

En cada casa:

IRD-QAM

- Demodula 64QAM
- Decodifica MPEG-2
- modula video BLV y audio FM

- Esta opción es:
- barata en cable (sólo un cable UHF)
  - costosa en equipos (varios transmoduladores)



2.2b) Una última opción: TDT QPSK-AM(PAL)

¿Y si hacemos que el transmodulador convierta directamente a TV terrestre analógica (video BLV)?

- nos ahorramos el IRD-QAM de cada usuario
- los TDT QPSK-AM(PAL) son módulos caros, y necesitamos uno por cada canal de TV (multiplica el nº de equipos en cabecera por 5 respecto a la solución TDT-QAM)