



Espinosa 1045 (C1405AMM) Buenos Aires – ARGENTINA
www.ses.com.ar Tel. +54 11 5453 0000 Fax +54 11 5453 8464

***Reunión Técnico-Operativa sobre Redes de Comunicaciones y Transmisión de Datos
OACI – Oficina Sudamericana, Lima, Perú, 11 al 15 de octubre de 2010***

Tecnologías Satelitales “hubless” IP para Redes Internacionales

Carlos F. Belaustegui Goitia

SES SISTEMAS ELECTRÓNICOS S.A.

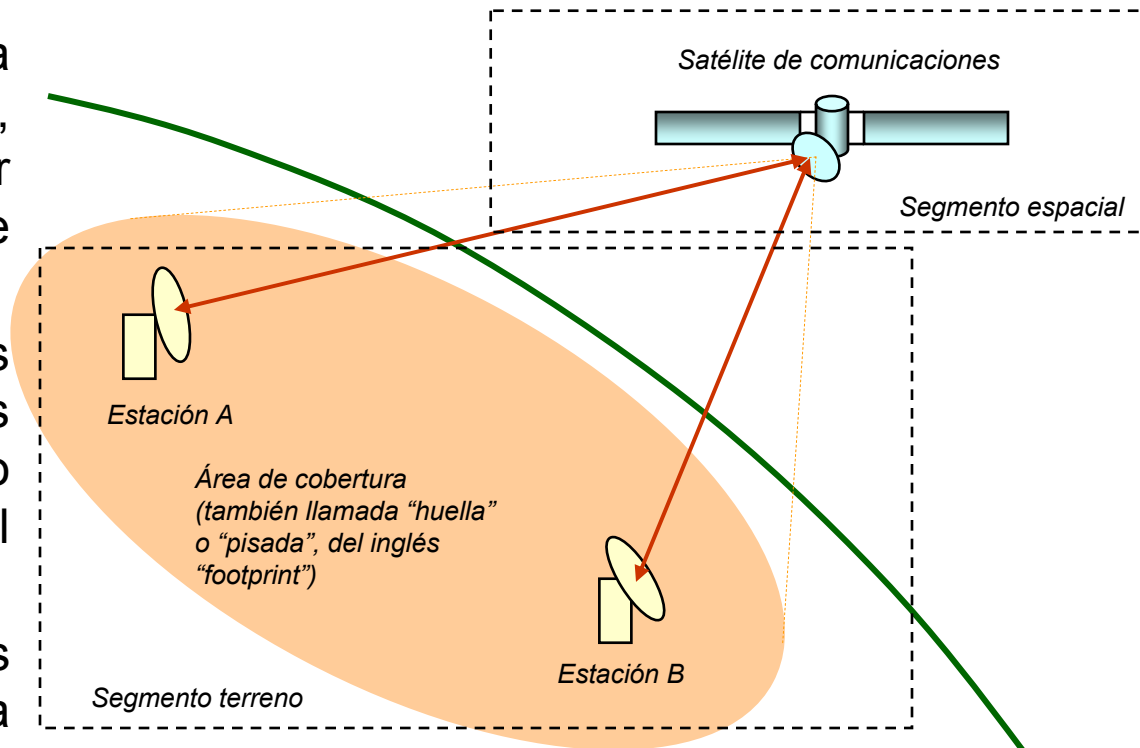
c.belaustegui@ses.com.ar

15 de Octubre, 2010

- **Conceptos básicos**
 - Órbita geoestacionaria
 - Esquema funcional de estación terrena
 - Modulación
- **Topologías de redes satelitales**
 - Estrella
 - Malla
 - Mixta
- **Métodos de acceso**
 - SCPC
 - TDM/TDMA,
 - TDMA hubless
 - Características, ventajas y desventajas
- **Redes “hubless” VSAT**
 - Ancho de banda a demanda
 - Funciones TCP/IP
 - Calidad de servicio
 - Telefonía IP
 - Redes internacionales

Concepto básico de un enlace satelital

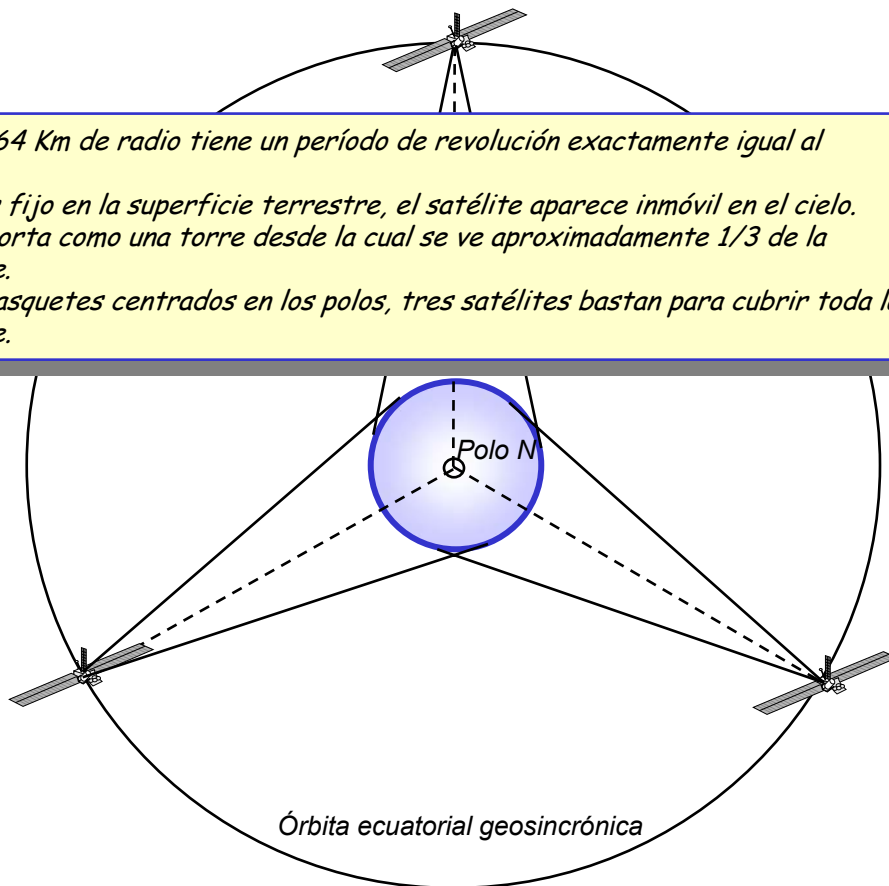
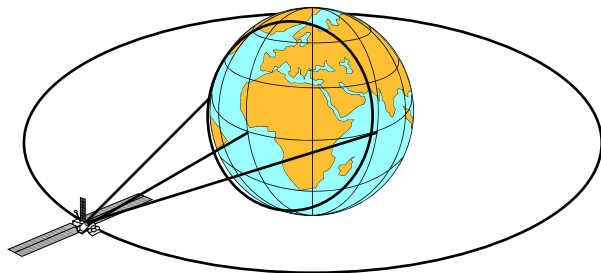
- El satélite, a gran altura sobre la superficie terrestre, es utilizado como repetidor entre dos estaciones de comunicaciones.
- Las estaciones terrenas pueden estar muy alejadas entre sí. No es necesario que exista alcance visual entre ellas.
- Las estaciones terrenas deben estar dentro del área de cobertura de la antena del satélite.



Órbita Geoestacionaria

- **Órbita ecuatorial geosincrónica = órbita geoestacionaria.**
- **Período: 24 hs.**
- **Radio: 42 164 km.**
- **Altura sobre la superficie terrestre:**
 $42\ 164 - 6\ 378 = 35\ 786$ km.
- **Velocidad: 3 075 m/s.**
- **Visibilidad: 1/3 de la superficie terrestre.**

- Una órbita de 42 164 Km de radio tiene un período de revolución exactamente igual al terrestre: 24 hs.
- Para un observador fijo en la superficie terrestre, el satélite aparece inmóvil en el cielo.
- El satélite se comporta como una torre desde la cual se ve aproximadamente 1/3 de la superficie terrestre.
- Excepto por dos casquetes centrados en los polos, tres satélites bastan para cubrir toda la superficie terrestre.

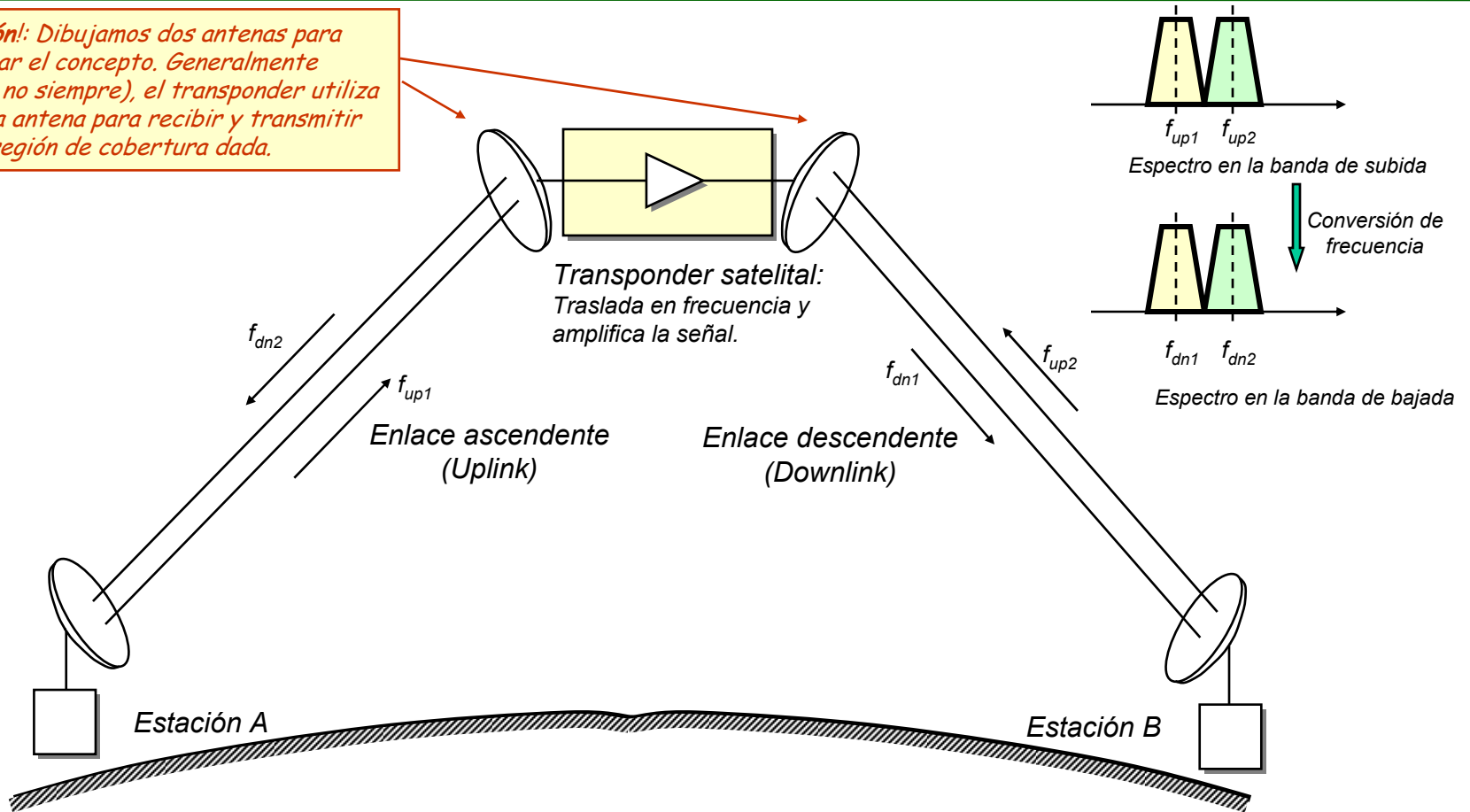


Características de los Sistemas Geoestacionarios

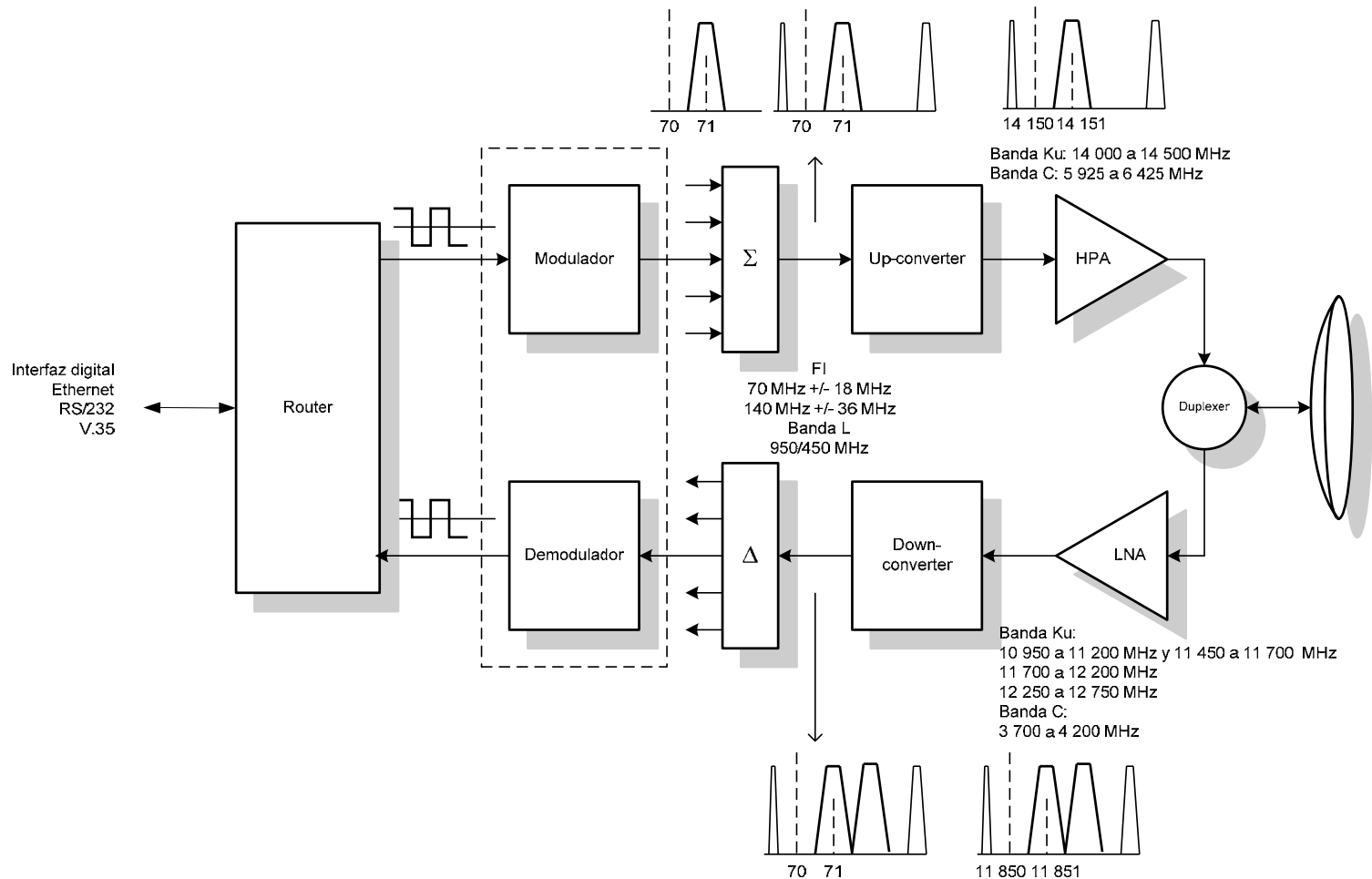
- *Cobertura global con 3 satélites.*
- *Cobertura regional o nacional.*
- *Costo del enlace independiente de la distancia.*
- *Permite llegar a lugares de difícil acceso por otros medios, como radioenlace o fibra óptica.*
- *No necesita repetidoras intermedias.*
- *Rapidez de despliegue.*
- *Flexibilidad en la configuración de la red.*

Enlace Satelital Básico

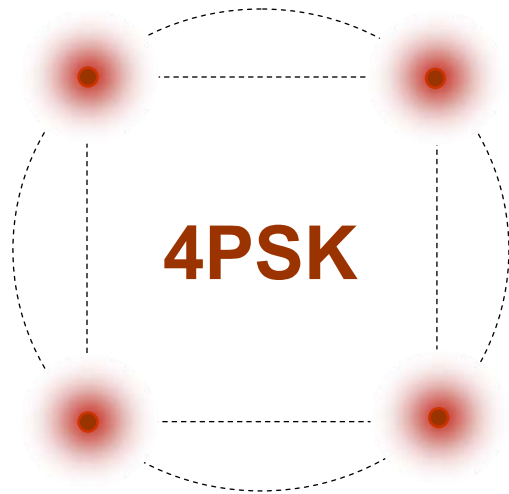
¡Atención!: Dibujamos dos antenas para presentar el concepto. Generalmente (aunque no siempre), el transponder utiliza la misma antena para recibir y transmitir en una región de cobertura dada.



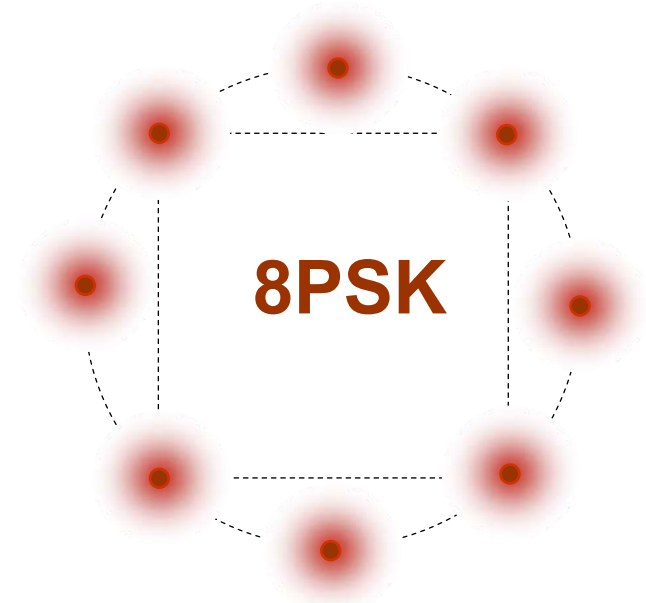
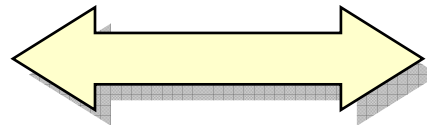
Esquema Funcional de una Estación Terrena



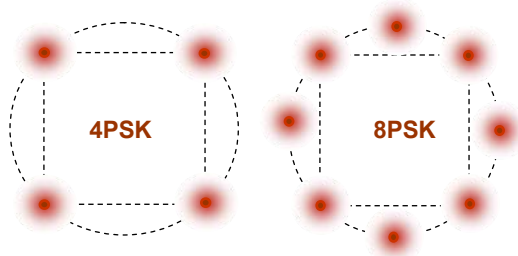
Modulación



- 2 bits por símbolo
- Menor eficiencia espectral
- Menor probabilidad de error
- Menor potencia necesaria



- 3 bits por símbolo
- Mayor eficiencia espectral
- Mayor probabilidad de error
- Mayor potencia necesaria

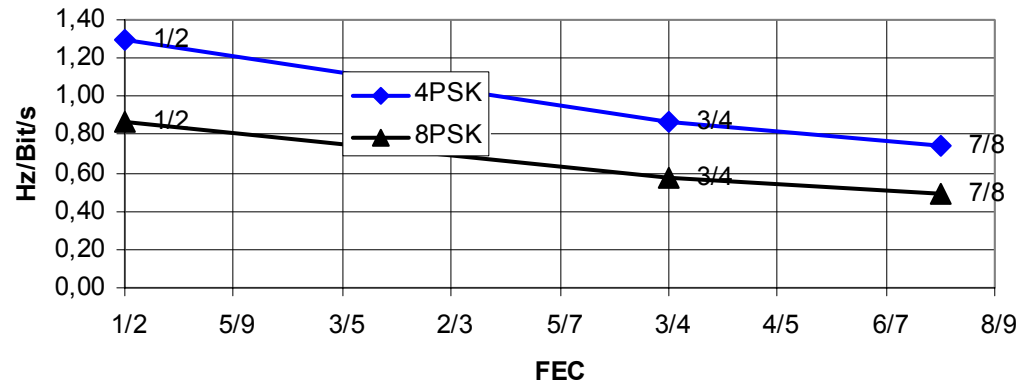


$$B = 1,3 \frac{r_b}{\log_2 M} \cdot FEC$$

B: ancho de banda de la portadora (Hz)
 r_b : Velocidad de transmisión digital (Bit/s)
 M: Número de estados de la constelación
 FEC: Razón del código corrector de errores

B/r_b : Eficiencia espectral (Hz/bit/s)

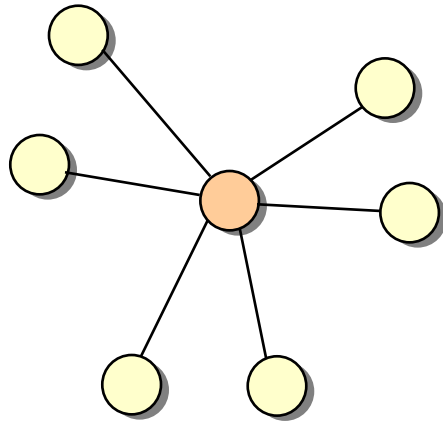
Eficiencia espectral



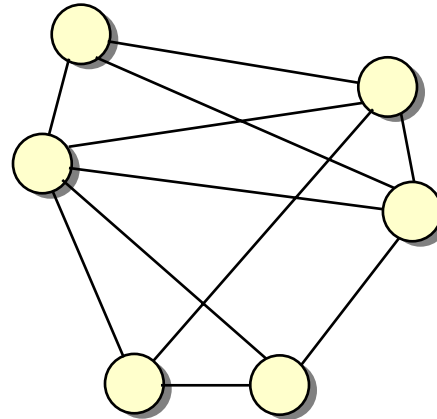
Topologías de Redes Satelitales



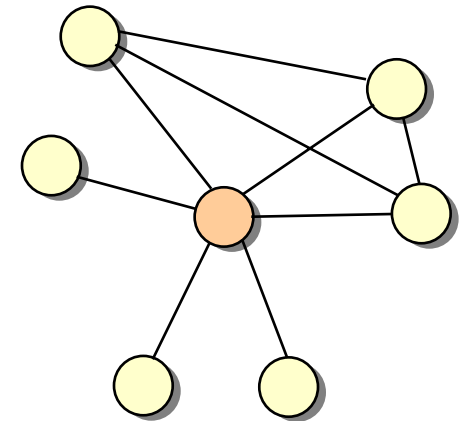
Punto a punto



Estrella



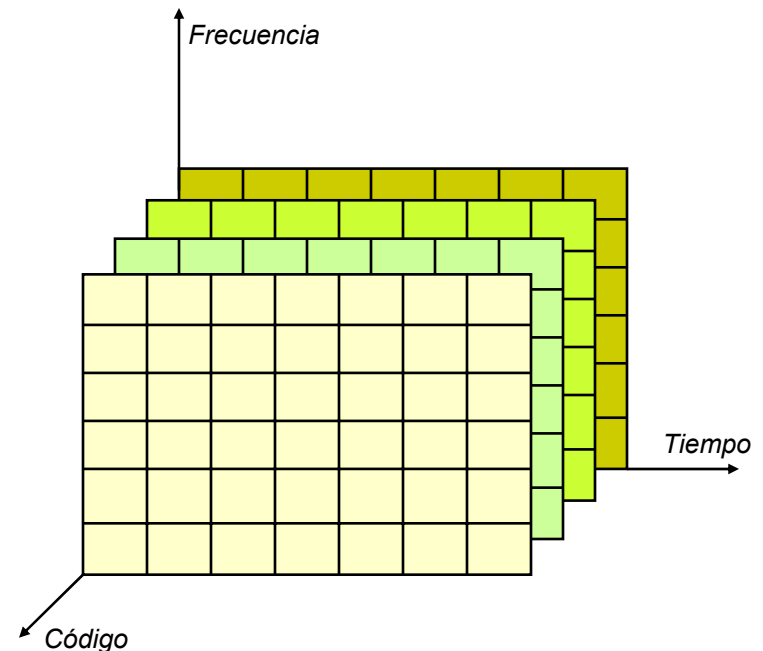
Malla



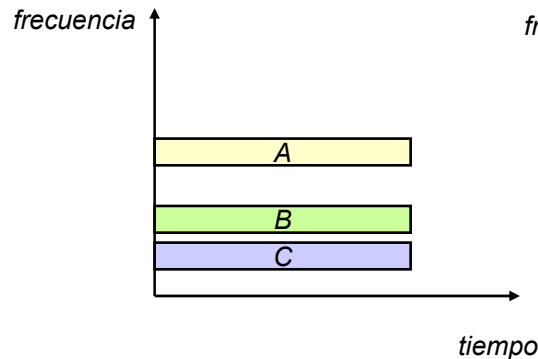
Mixta

Métodos de acceso en general

- **FDMA - Frequency Division Multiple Access:**
Acceso múltiple por división de frecuencia.
- **TDMA - Time Division Multiple Access:**
Acceso múltiple por división de tiempo.
- **CDMA - Code Division Multiple Access:**
Acceso múltiple por división de código.

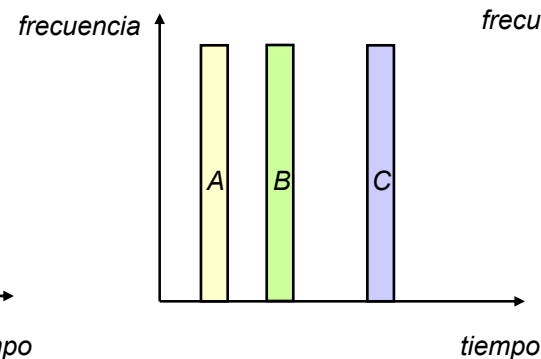


Métodos de acceso al satélite



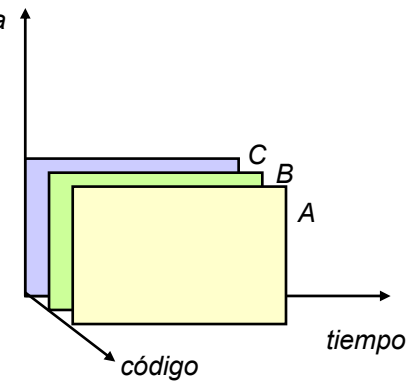
FDMA

Cada estación transmite todo el tiempo en una frecuencia determinada. Cada estación recibe todas las frecuencias y demodula solamente las que están destinadas a ella. El ancho de banda total disponible para la red se reparte entre las distintas estaciones.



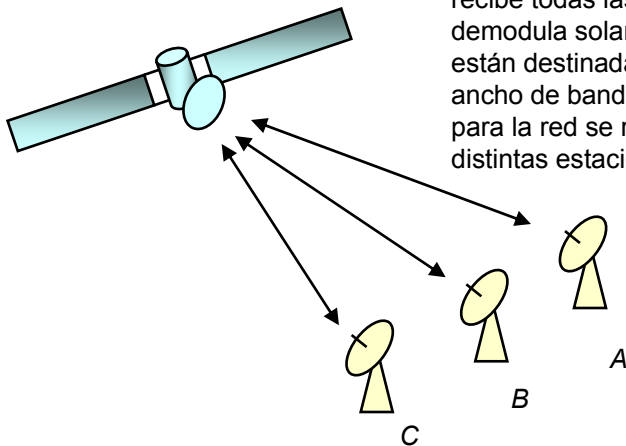
TDMA

Cada estación transmite ocupando todo el ancho de banda disponible durante una fracción de tiempo (ráfaga, ranura temporal o "time slot"). Todas las estaciones transmiten en la misma frecuencia. Cada estación recibe todas las ráfagas y decodifica solamente las que están destinadas a ella.



CDMA

Cada estación transmite todo el tiempo ocupando todo el ancho de banda disponible. Todas las estaciones transmiten en la misma frecuencia. La señal transmitida por cada estación es codificada por un código pseudoaleatorio de muy alta velocidad (código de ensanchamiento de espectro o "spreading code"). Cada estación recibe todas las emisiones y decodifica solamente la destinada a ella, correlacionándola con una réplica del código de esa señal, generada localmente.



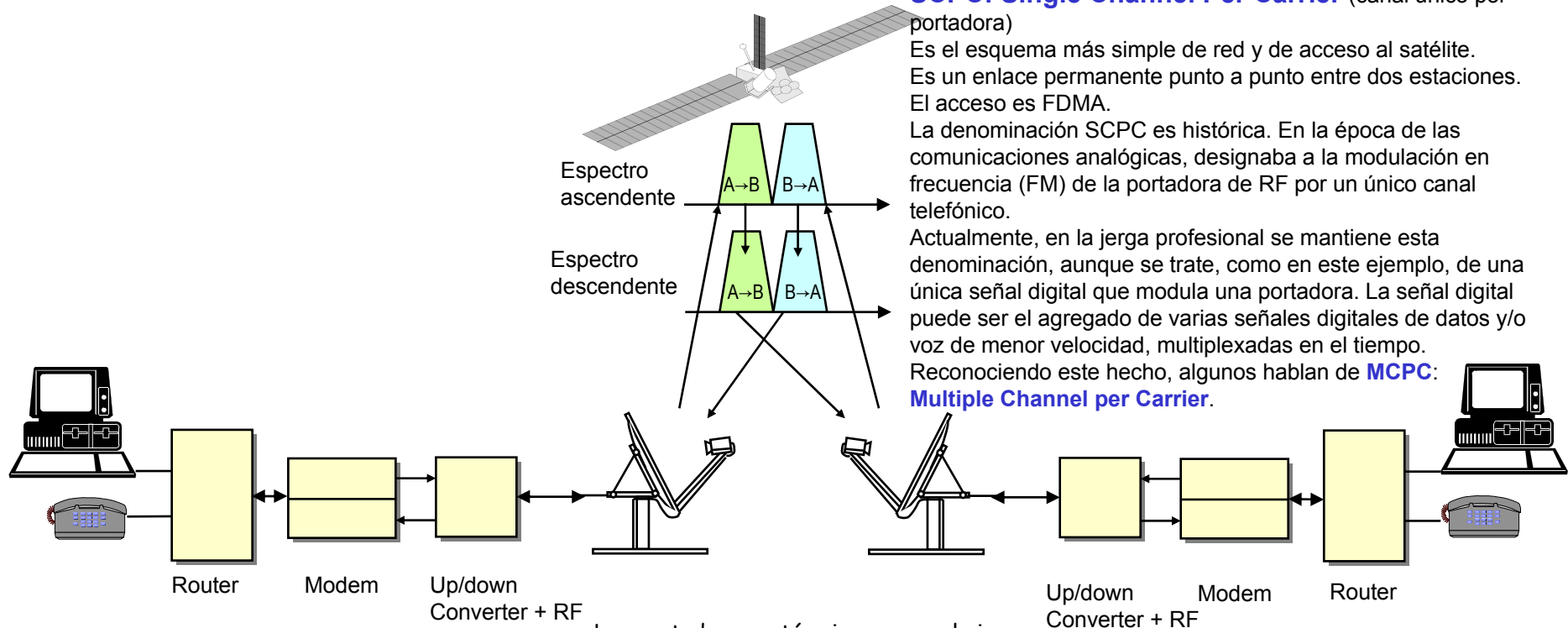
SCPC: Single Channel Per Carrier (canal único por portadora)

Es el esquema más simple de red y de acceso al satélite.
Es un enlace permanente punto a punto entre dos estaciones.
El acceso es FDMA.

La denominación SCPC es histórica. En la época de las comunicaciones analógicas, designaba a la modulación en frecuencia (FM) de la portadora de RF por un único canal telefónico.

Actualmente, en la jerga profesional se mantiene esta denominación, aunque se trate, como en este ejemplo, de una única señal digital que modula una portadora. La señal digital puede ser el agregado de varias señales digitales de datos y/o voz de menor velocidad, multiplexadas en el tiempo.

Reconociendo este hecho, algunos hablan de **MCPC: Multiple Channel per Carrier**.



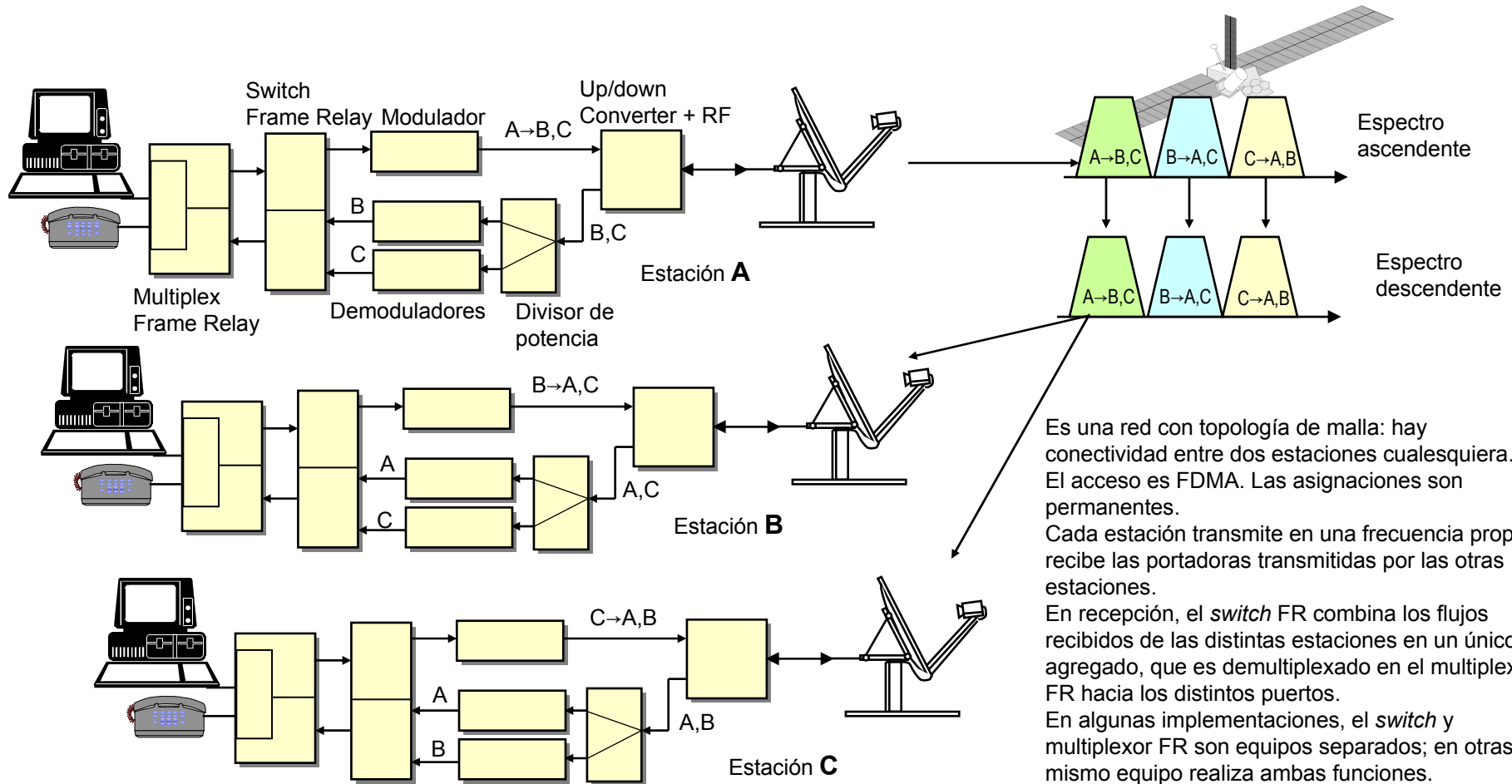
Las portadoras están siempre en el aire.

En otros términos, la asignación es **permanente**.

Esto es ineficiente, si la ocupación del canal no es constante.

Para hacer más eficiente el uso del espectro, se utiliza asignación **a demanda**. Esto es un acceso **SCPC-DAMA**.

SCPC/Frame Relay



Es una red con topología de malla: hay conectividad entre dos estaciones cualesquiera. El acceso es FDMA. Las asignaciones son permanentes. Cada estación transmite en una frecuencia propia y recibe las portadoras transmitidas por las otras estaciones. En recepción, el switch FR combina los flujos recibidos de las distintas estaciones en un único agregado, que es demultiplexado en el multiplexor FR hacia los distintos puertos. En algunas implementaciones, el switch y multiplexor FR son equipos separados; en otras, un mismo equipo realiza ambas funciones.

SCPC/Frame Relay

Ejemplo: Red CAFSAT (Central Atlantic FIR Satellite Network)

Interconecta FIRs del Atlántico
 Central y Sur, para intercambiar
 tráfico de voz y datos.





Espinosa 1045 (C1405AMM) Buenos Aires – ARGENTINA
www.ses.com.ar Tel. +54 11 5453 0000 Fax +54 11 5453 8464

SCPC/Frame Relay

La estación Ezeiza (Argentina) de la red CAFSAT fue diseñada y construida por

•INSA – Ingeniería y Servicios Aeroespaciales S.A., de España

Fue instalada por

•SES SISTEMAS ELECTRÓNICOS S.A. de Argentina



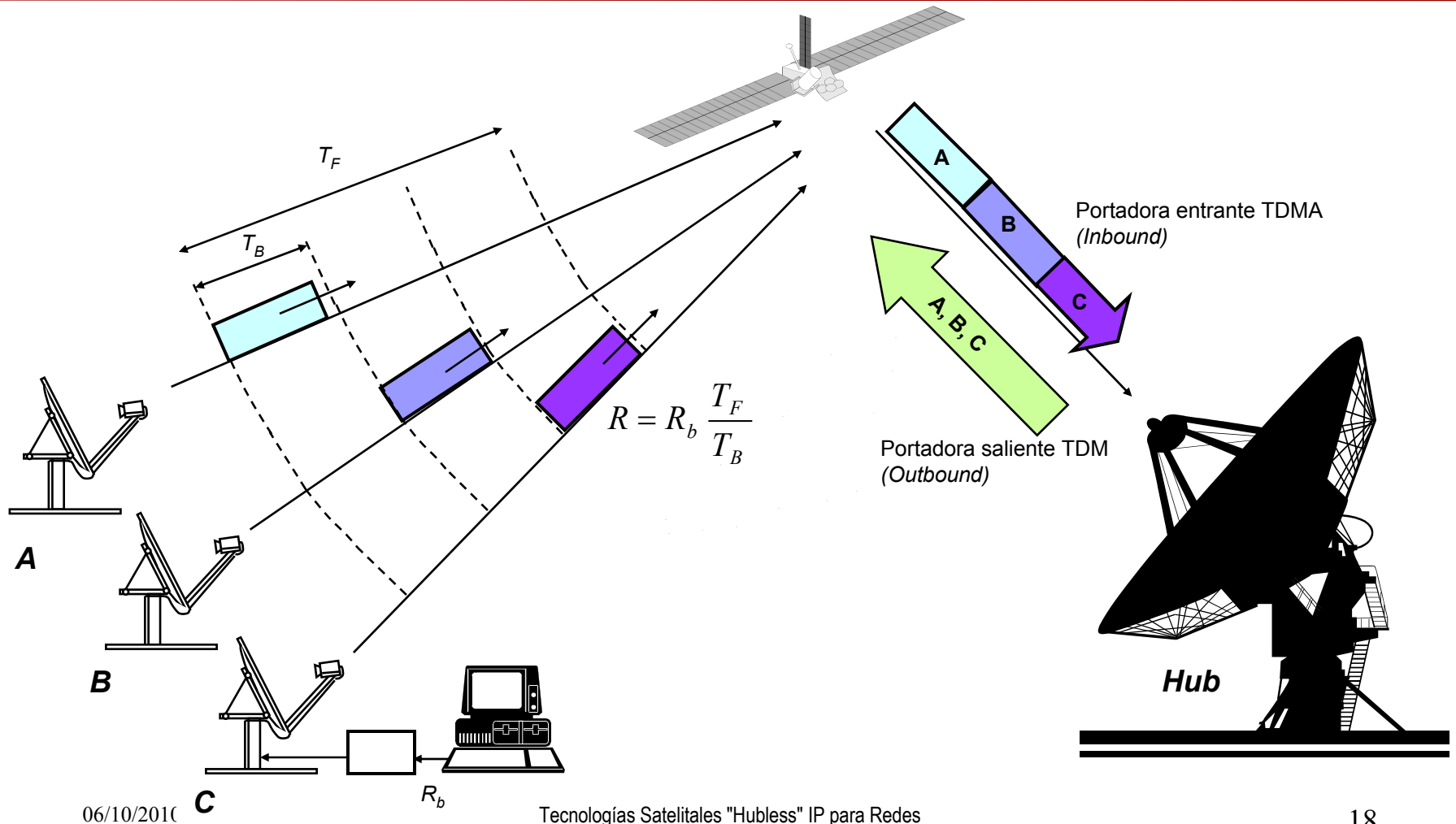
SCPC – Características

- Enlace punto a punto.
- Solución simple, fácil de proyectar e instalar.
- Para un único enlace, o pocos enlaces, no requiere gran inversión inicial.
- Permite cualquier topología.
- Capacidad asignada en forma permanente aunque no haya tráfico.
- En una red malla de N puntos, se necesitan:
 - $N(N-1)/2$ enlaces,
 - $N(N-1)$ modems y
 - $N(N-1)$ portadoras
- Costos de **capital** y **operación** crecen básicamente como N^2

Ventajas

Desventajas

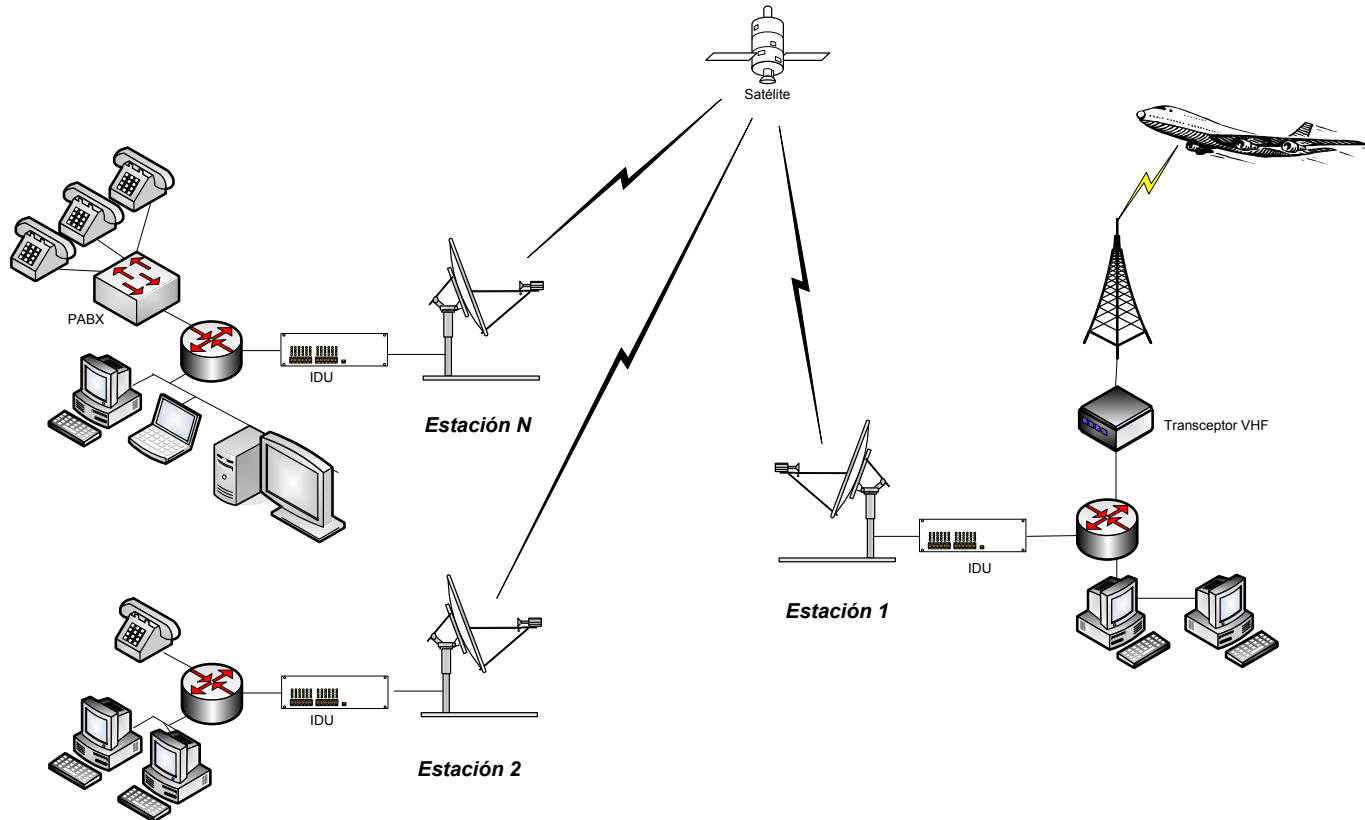
Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)



TDM/TDMA – Características

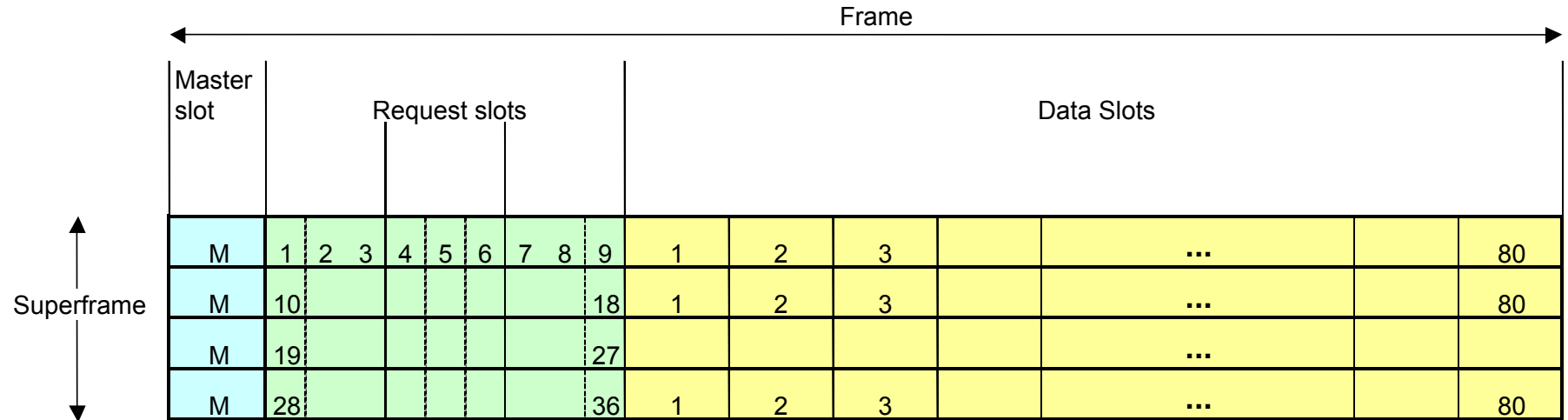
- Topología estrella Hub – remotas.
 - Portadora saliente muy eficiente (alta eficiencia espectral).
 - Gran capacidad de la portadora saliente.
 - Estaciones remotas pequeñas y económicas.
- Ventajas*
- No permite topología malla, o permite malla parcial con portadoras poco eficientes.
 - Baja calidad de la comunicación oral entre dos remotas, causada por doble salto satelital a través del Hub: RTT (Round-Trip-Time) $\cong 4 \times 125$ mseg = 500 mseg.
 - Hub costoso.
 - Alta inversión inicial para una red pequeña.
 - Punto único de falla.
- Desventajas*

Red TDMA (hubless)



- Todas las estaciones acceden a una misma portadora.
- No existen una portadora “saliente” y otra “entrante”.
- La topología de la red es mesh: todas las estaciones comunican entre sí.
- Una estación actúa como “referencia” para sincronismo, control y gestión de toda la red. Desde el punto de vista de tráfico, es similar a todas las demás estaciones.
- Todas las estaciones deben transmitir y recibir a la velocidad de la portadora única, lo que exige antenas y SSPAs de mayor tamaño.

Trama TDMA en una Red *Hubless*



Master Slot:

El primer TS en cada trama es usado por la estación maestra para transmitir el plan de transmisión. Todas las estaciones de la red deben estar en recepción sintonizadas a la frecuencia del canal maestro.

Request Slots:

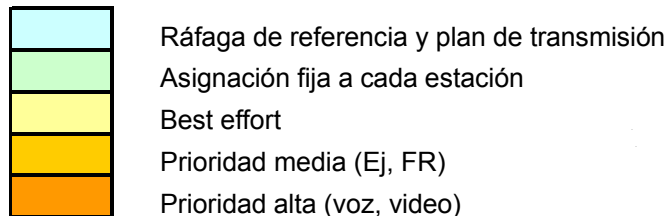
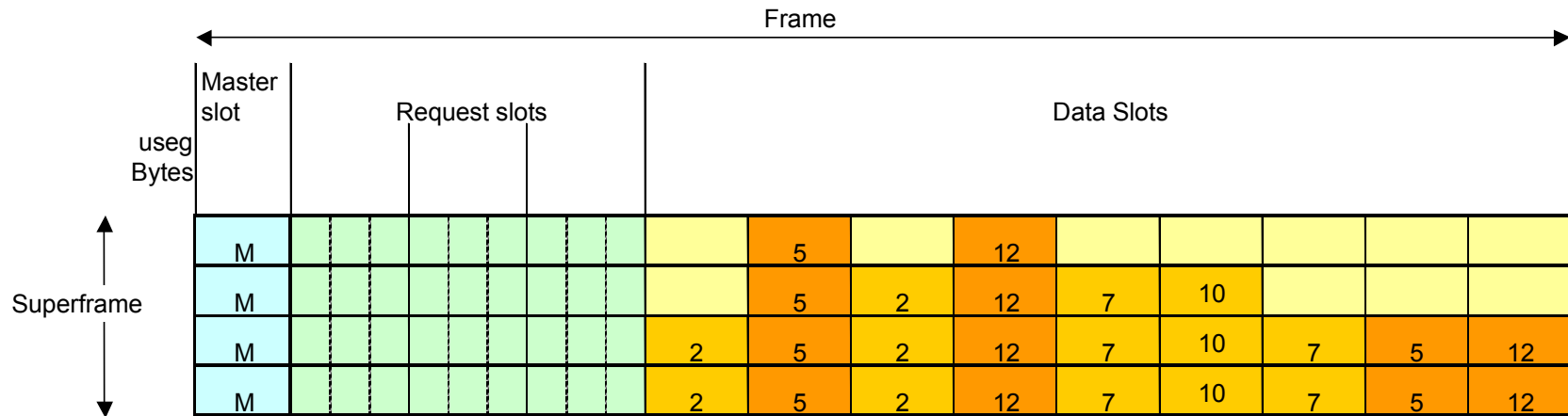
Las estaciones esclavas transmiten sus requerimientos de capacidad a la maestra. Cada estación envía a lo sumo un requerimiento por trama.

Data Slots:

Este conjunto de ranuras temporales es la carga útil de la portadora. Esta capacidad se organiza según clases de tráfico como se muestra en la lámina siguiente.

Éste es un ejemplo de organización de la portadora TDMA en un sistema comercial real.

Asignación Dinámica de Capacidad en la Trama TDMA



Reserva y Asignación de Capacidad de Transmisión

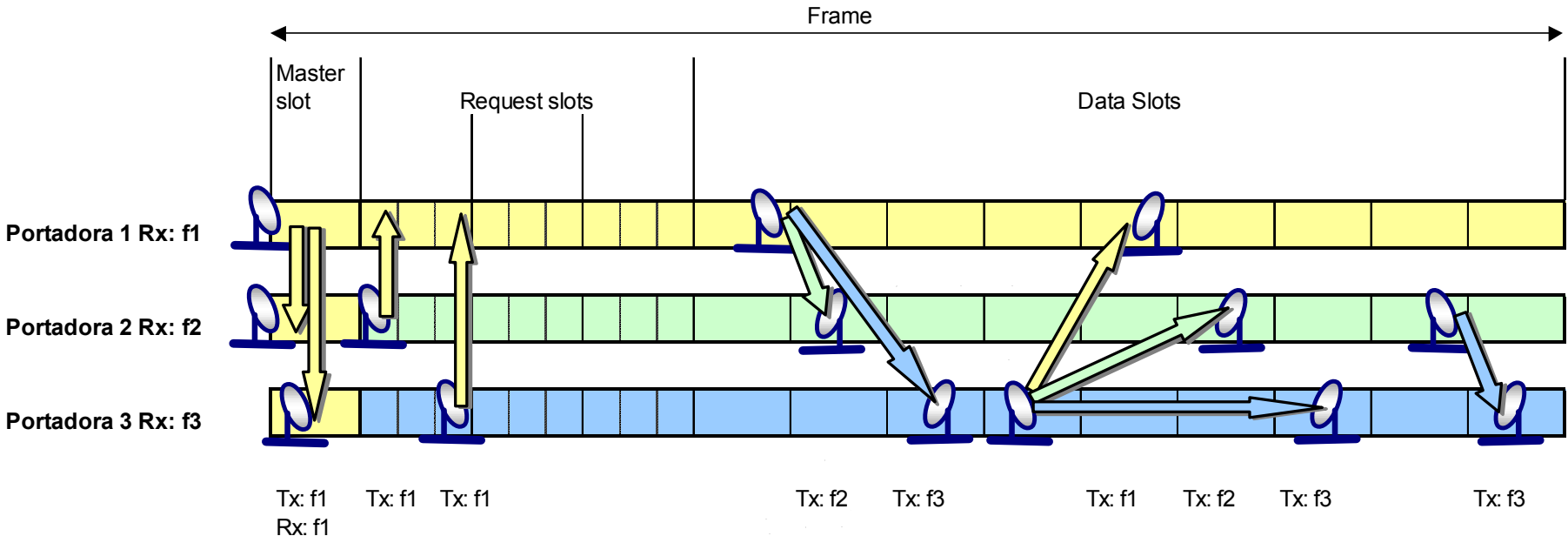
Throughput permanente (stream request): Para voz, video y aplicaciones en tiempo real. Se traduce en un número fijo de TS por trama.

Throughput garantizado: Capacidad que la estación puede reservar en cualquier circunstancia. Los TS no están reservados en forma permanente, sino sólo cuando la estación los requiere. Para asegurar un valor de CIR.

Throughput disponible: Si hay TS disponibles, se asignan a estaciones que tienen demanda en exceso (EIR).

Best Effort: Si quedan TS libres, se asignan a estaciones que tienen demanda de baja prioridad.

Portadoras TDMA Múltiples



- Con una sola portadora, para expandir la capacidad de la red, puede ser necesario cambiar RF y/o antena.
- Cuando el tráfico de la red es tal que no puede ser soportado por una única portadora, es necesario agregar portadoras.
- Así, se puede expandir la red sin cambiar RF o antena de estaciones existentes.
- La red puede tener hasta 32 canales de frecuencia con capacidades de hasta 8 Mbit/s cada uno.
- Cada estación se asigna a un canal determinado. Puede transmitir en la frecuencia de cualquier canal, pero sólo recibe tráfico en la frecuencia de su canal.
- En el intervalo de tiempo de Master Slot, todas las estaciones sintonizan su recepción en f1, para recibir la sincronización y plan de transmisión de la maestra.
- Todos los requerimientos de capacidad se transmiten a la frecuencia f1.

TDMA “hubless” Características

- Topología malla completa.
 - Arquitectura descentralizada: No hay un Hub único.
 - No hay un punto único de falla.
 - Todas las estaciones tienen el mismo hardware.
 - Cualquier estación puede ser la estación de referencia.
 - Se pueden definir estaciones de referencia primaria y secundaria. La secundaria asume el control automáticamente si falla la primaria.
 - Salto único satelital entre dos estaciones cualesquiera \Rightarrow Buena calidad de comunicación oral: $RTT \cong 2 \times 125 \text{ mseg} = 250 \text{ mseg}$.
 - Capacidad a demanda (BoD): Bajo costo de operación
 - Un modem (IDU) por estación: Bajo costo de capital.
 - El costo es básicamente proporcional a N (y no a N^2 como SCPC).
 - Baja inversión inicial para una red pequeña.
- Estaciones de tamaño y costo algo mayor que en una red TDM/TDMA con Hub.

Ventajas

Desventaja

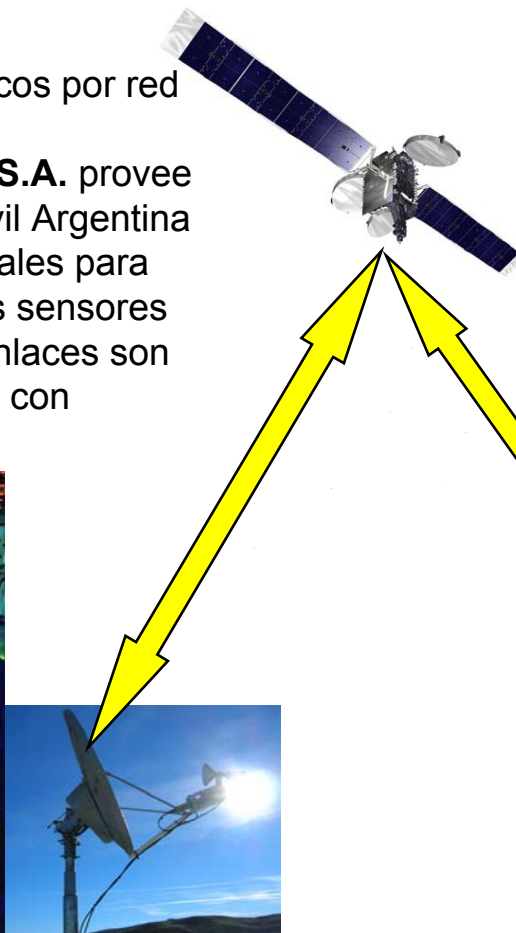
- **BoD - Bandwidth on Demand:** Ancho de Banda a Demanda
- Funciones de asignación BoD en el nodo de referencia primaria/secundaria: Servidor BoD.
- No requiere *hardware* especial. Cualquier estación puede ser el servidor BoD.
- Ancho de banda asignado sobre la base de parámetros CIR (*committed IR*), EIR (*excess IR*) fijados para cada estación.
- La estación tiene ancho de banda para cumplir CIR y puede obtener ancho de banda adicional hasta una velocidad máxima CIR + EIR.
- Las reglas CIR, EIR son fijadas por el operador, para cada estación.
- Se puede asignar **ancho de banda permanente** (similar a SCPC = “*clear channel*”).

TDMA “hubless” Ancho de Banda a Demanda

Ejemplo de aplicación:

Transmisión de datos radar sincrónicos por red satelital IP.

SES SISTEMAS ELECTRÓNICOS S.A. provee a la Administración de Aviación Civil Argentina (ANAC) todas las conexiones satelitales para datos radar sincrónicos / IP entre los sensores radar y ACCs de todo el país. Los enlaces son “clear channel”, sin efectos de *jitter*, con interfaces sincrónicas / IP.



- Aceleración TCP en todas las estaciones.
- Compresión de encabezado/contenido TCP.
- Interfaz IP nativa.
- Ruteo IP en la IDU.
- Soporte de subredes. Definición de máscaras de subred.
- Calidad de servicio (QoS) por direcciones, por tipo de servicio (TOS) - DiffServ.
- Fragmentación y re-armado de paquetes para mantener retardos estables y reducir jitter.
- Direccionamiento IP: ARP, RARP, direcciones estáticas.

TDMA “hubless” – Telefonía IP

- Prioridad de tráfico VoIP: reduce retardo.
- Fragmentación de paquetes grandes: Reduce varianza del retardo.
- Otras aplicaciones (ej., transferencia de archivos), no afectan llamadas en curso.
- Asignación dinámica de ancho de banda por llamada.
- Prioridad para mensajes de establecimiento y corte de llamada.
- Soporte de SIP y H.323.
- Funcionamiento con equipos Voip standard comerciales.
- Alta calidad y confiabilidad para aplicaciones críticas.

TDMA “hubless” – Telefonía IP

Ejemplo de aplicación:

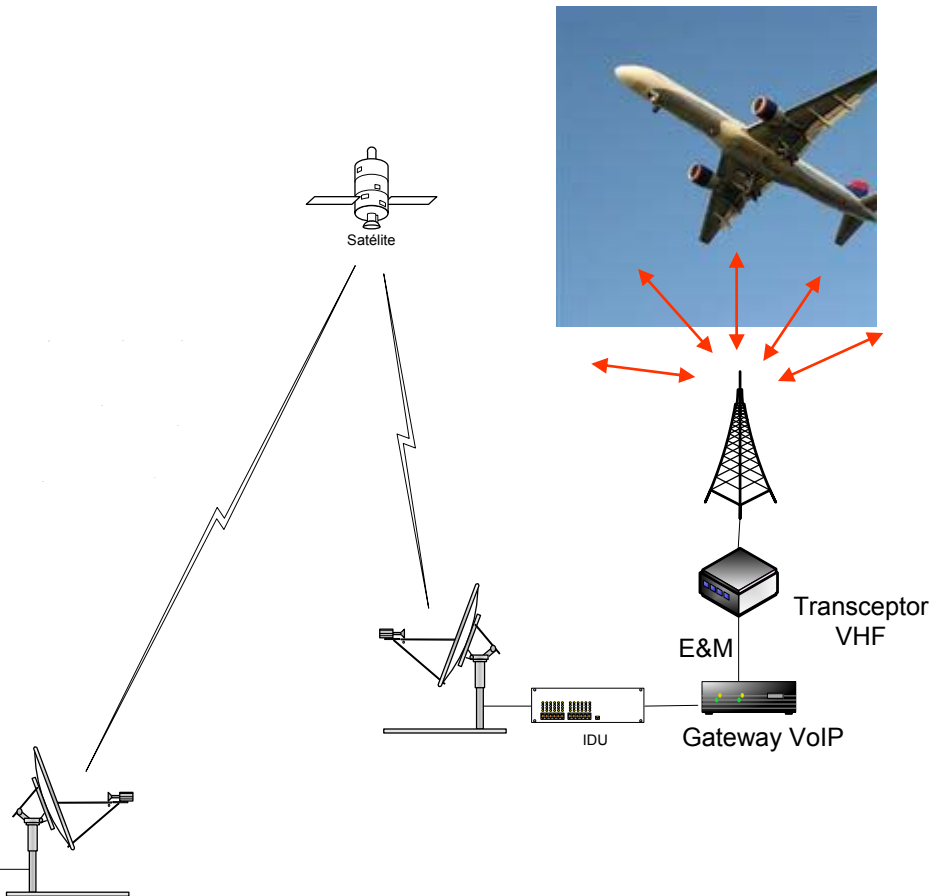
Comunicación oral piloto-controlador por VHF, transportada por red satelital IP.

SES SISTEMAS ELECTRÓNICOS S.A. provee a la Administración de Aviación Civil Argentina (ANAC) conexiones satelitales para comunicaciones orales piloto controlador por VHF, confiables, sin errores de *timing* entre señalización y modulación por voz.

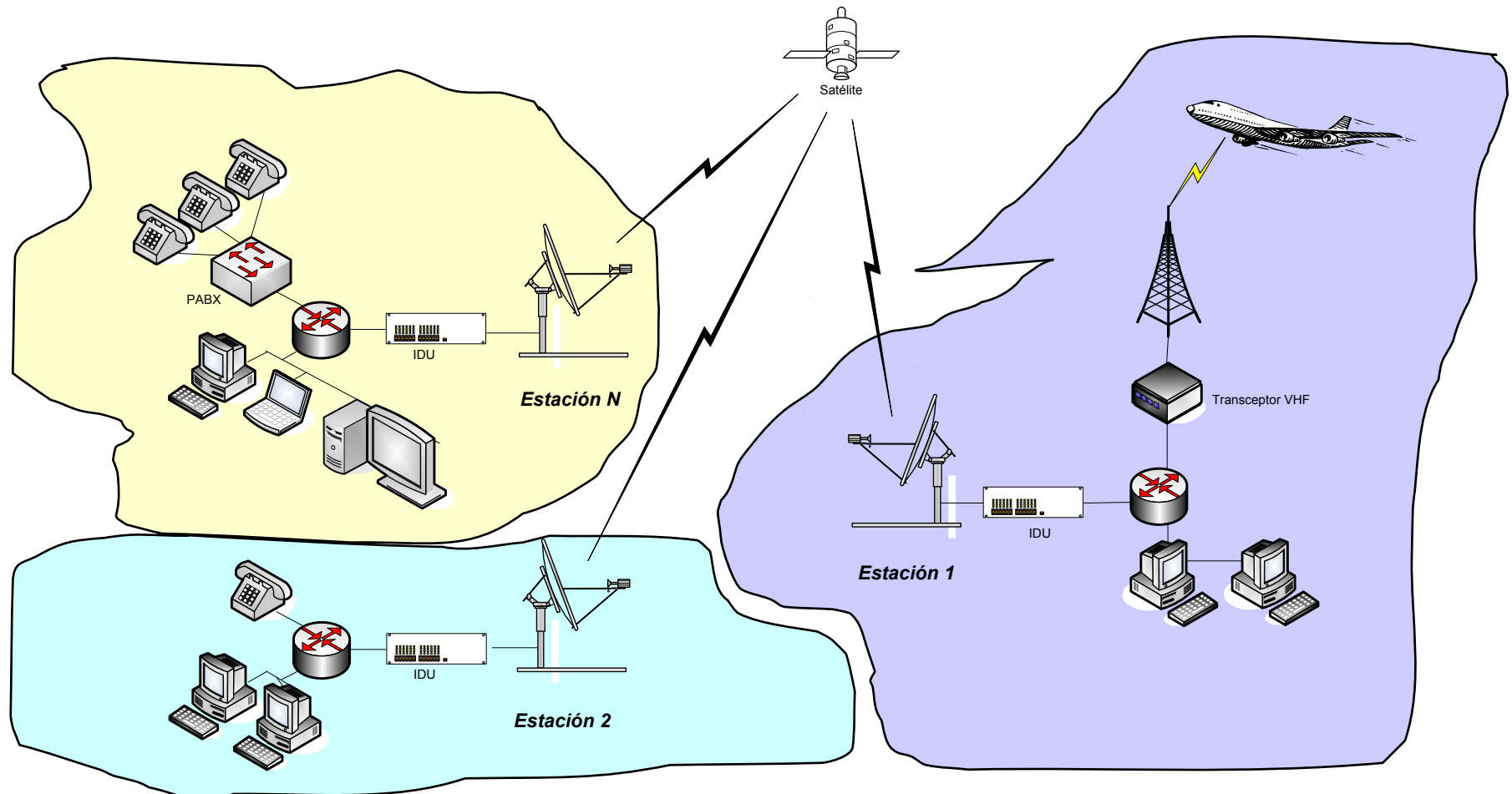


Gateway VoIP

IDU



TDMA "hubless" Redes Internacionales



Conclusiones

- **Las redes TDMA “hubless” son la mejor solución para redes internacionales para aplicaciones de protección al vuelo.**
- **Todas las estaciones son iguales. No hay un hub.**
- **No hay un punto único de falla.**
- **Se pueden agregar o quitar estaciones sin afectar al resto de la red.**
- **La red en malla permite salto simple satelital entre dos estaciones cualesquiera, imprescindible para las comunicaciones telefónicas y orales piloto-controlador.**
- **Tecnología madura y probada.**
- **Para asegurar tales características a un costo razonable, la tecnología debe tener**
 - **Alta eficiencia espectral.**
 - **Codificación LDPC, TPC.**
 - **Amplias facilidades para BoD, QoS, ruteo IP, aceleración TCP, FH, codificación LDPC/Turbo**



Espinosa 1045 (C1405AMM) Buenos Aires – ARGENTINA
www.ses.com.ar Tel. +54 11 5453 0000 Fax +54 11 5453 8464

