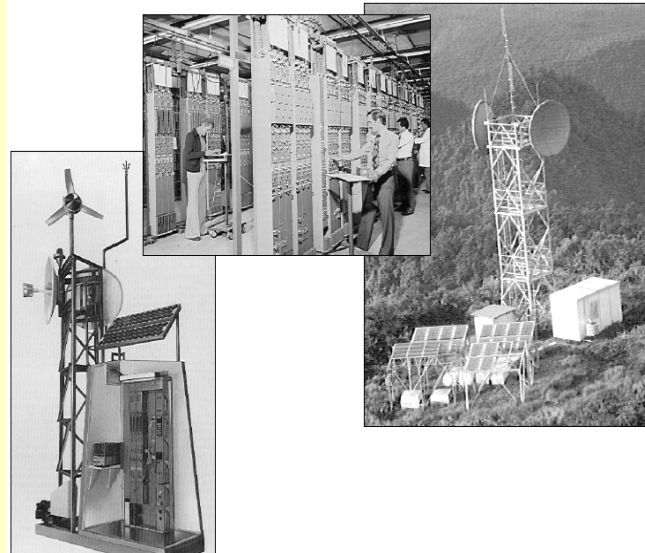


Tema:3 RADIOENLACES



Radioenlaces

- Radioenlace: a cualquier interconexión entre terminales de telecomunicación efectuada por ondas radioeléctricas.
 - Terminales
 - Fijos: radioenlace del servicio fijo
 - Móvil: Sistemas o Servicios Móviles
 - Situación de terminales
 - Todos en la tierra: radioenlaces terrenales
 - Uno o más repetidores en satélite: radioenlace espacial o por satélite
- Radioenlaces terrenales del servicio fijo: sistemas de radiocomunicaciones entre puntos fijos situados sobre superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de transmisión de información con unas características de disponibilidad y calidad determinadas.

Radioenlaces

- Frecuencias: 800 MHz -50 GHz
- Para frecuencias superiores a 1 GHz: enlaces de microondas.
- Sistemas modulados, con multiplexación.
- Radiocanal: pareja de portadoras ida y retorno. Se asocia a la idea de circuito de telecomunicación dúplex a 4 hilos.
- Clasificación atendiendo a la modulación de *esta portadora*
 - Radioenlaces analógicos,
 - Modulación: FM
 - Señal moduladora: Múltiplex telefónico (hasta 2700 canales telefónicos), una Señal de Video (0 a 5 Mhz), una señal radiofónica FM
 - Radioenlaces digitales,
 - Modulación: B-PSK, 4-PSK, D-PSK, OQPSK, NQAM,...
 - Señal moduladora: (video, audio, datos, un múltiplex digital 64 Kbits/s ITU-T (antiguo CCIID, o múltiplex de orden superior PDH y SDH,
 - Capacidad: baja hasta 2Mb/s, media hasta 8, alta mayor o igual 34 Mbits/sg.

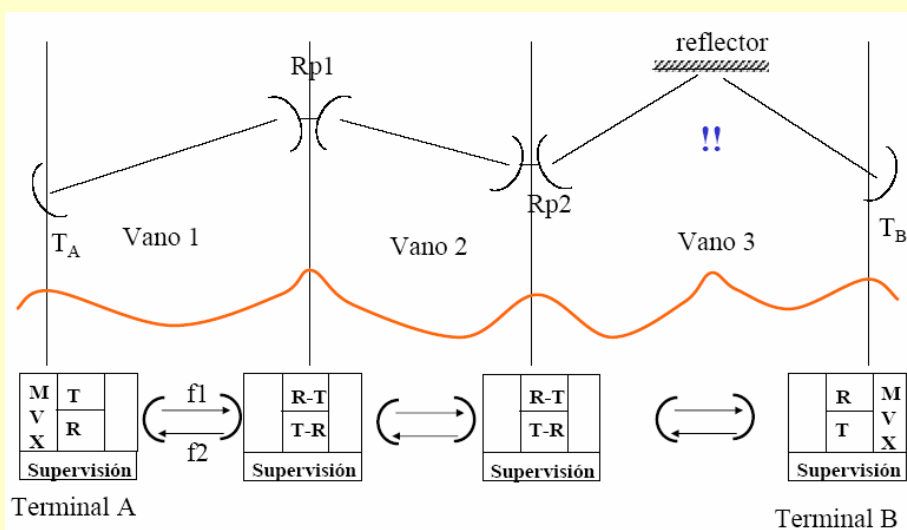
Radioenlaces

- Radioenlaces de servicio fijo utilizan propagación troposférica.
- Utilizan repetidores para salvar obstáculos.
- Vano: sección del enlace radioeléctrico entre un terminal y un repetidor, o entre dos repetidores.
 - Despejado al menos un 60 % de la primera zona de Fresnel en condiciones normales de refractividad atmosférica: límite ≈ 80 Km. Para $f \leq 10$ GHz
 - Si $f > 10$ GHz (atenuación lluvia), límite::30 Km
 - Económicamente, interesan vanos de la mayor longitud posible
 - Pero, hay que tener en cuenta desvanecimiento es proporcional a d (Rec ITU 530)
 - El problema: ¿Longitud óptima del vano?
- Existen radioenlaces con propagación por dispersión troposférica: "radioenlaces transhorizonte"

Radioenlaces

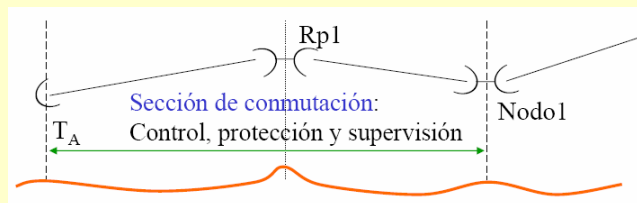
- Antenas muy directivas (relación delante-atrás) permiten .
Reutilización del mismo par de frecuencias en cada vano.
- Limitación de recursos espectrales:
 - Planes estrictos de canalización: aumenta distorsión,
interferencia entre símbolos, ...
 - Solución: codificación, ecualización.
- Ventajas e inconvenientes de un radioenlace
 - Ventajas (no hay que poner el medio).
 - Inversión reducida
 - Instalación rápida y sencilla
 - Conservación más económica y de actuación rápida . Se superan bien las irregularidades del terreno.
 - Inconvenientes (acceso a emplazamientos (elevados))
 - Necesidad de visibilidad directa
 - Acceso adecuado a repetidor, energía, ...
 - La segregación de canales no es tan flexible
 - Linealidad en repetidores

Estructura General de un Radioenlace



Equipos del Radioenlace

- Estaciones terminales y estaciones repetidoras intermedias con sus equipos transceptores.
 - Transceptores: equipos transmisores-receptores en el mismo bastidor, compartiendo el mismo sistema radiante.
- Las estaciones intermedias pueden ser:
 - Estaciones nodales: se baja a banda base y se pueden extraer-introducir canales ("drop-in").



- Repetidores activos: se amplifica en FI y se reenvía
- Repetidores pasivos: la señal se reenvía, en otra dirección, tal como ha llegado. Son reflectores (espejos), back to back~...

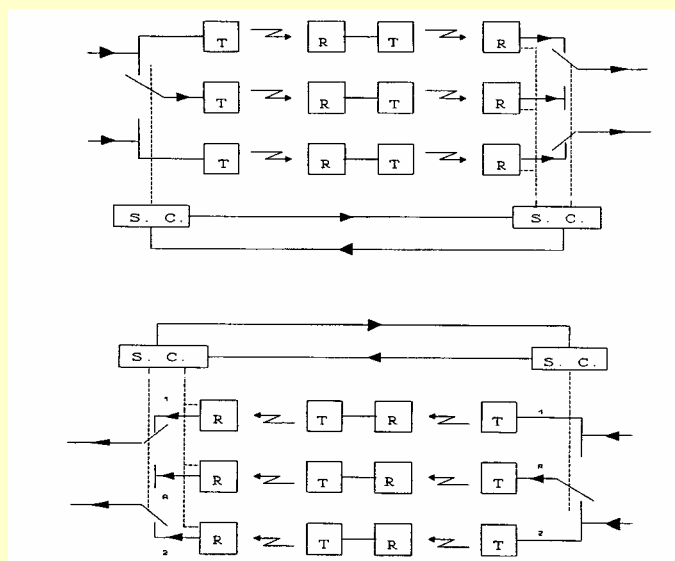
Equipos y Elementos de Reserva

- Los radioenlaces son Sistema de comunicaciones "en serie": un corte en un vano inutiliza el sistema completo.
 - Y se exige una elevada disponibilidad:
 - Redundancia
 - elementos de reserva: equipos (averías) y canales
 - técnicas de diversidad (desvanecimientos)
 - Sistemas de supervisión

Equipos y Elementos de Reserva

- Elementos de reserva
 - Equipos de "protección" o "reserva activa" (stand-by)
 - Sistemas "M+N": M canales activos y N de reserva
 - Muy usuales sistemas 2 + 1 Y 3 + 1.
 - Conmutación
 - Por separado en cada sentido
 - automática (sistemas de supervisión) o manual (mantenimiento).
 - En FI (ciclo conmutación más breve) o en BB
 - Utilizados por: degradación señal referencia, ruido elevado, BER alta.

Equipos y Elementos de Reserva

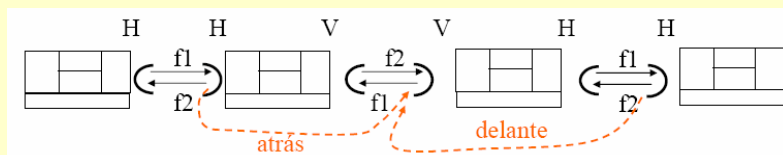


Equipos y Elementos de Reserva

- **Sistemas de supervisión**
 - Canales de servicio: canales reservados para la comunicación entre personal de mantenimiento
 - Telecontrol: obtener la máxima información sobre el posible estado del radioenlace en un momento determinado (estación no atendida → central)
 - Telemando: envío de información a las estaciones no atendidas en permanencia (estación no atendida ← central)
 - Señales de control del sistema de conmutación

Planes de Frecuencias

- El plan de frecuencias fija, entre otras cosas, las frecuencias de las portadoras (Tx-Rx) del radiocanal.
- Hay que tener en cuenta
 - $P_t - P_r \approx 60$ a 90 dB
 - Pueden existir acoplos
 - La directividad de las antenas en repetidores
- Plan a 2 frecuencias: una para cada sentido de la transmisión del vano.



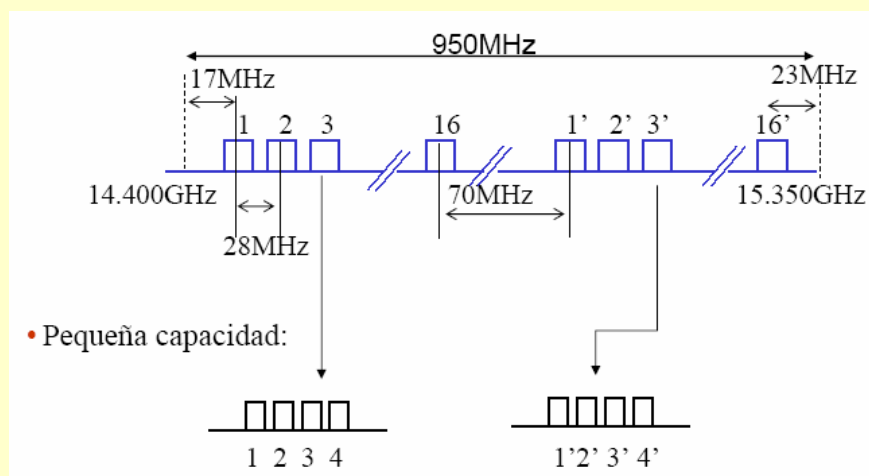
- Hay posibilidad de interferencia hacia atrás y hacia adelante
- Se cambia la polarización en cada vano

Planes de Frecuencias

- Los planes de frecuencias fijan las bandas utilizadas
- Además, el plan de frecuencias recoge para cada banda:
 - Su frecuencia central
 - Número de radiocanales
 - Las portadoras asociadas a cada canal
 - Separación entre frecuencias adyacentes y entre las frecuencias extremas y los bordes.
 - Polarizaciones de cada portadora
 - Tipo y calidad de radioenlace
- Los objetivos que se persiguen son:
 - Optimizar la utilización del espectro
 - Minimizar interferencias
 - Otros: facilitar interconexión en circuitos internacionales, intercalado de radiocanales adicionales, transmisiones mixtas analógicas-digital

Planes de Frecuencias

- Ejemplo de plan para radioenlace digital: Rec. 636 (14 GHz)
 - Separaciones posibles entre canales de 14 ó 28 MHz: 32 ó 16 radiocanales



- Pequeña capacidad:

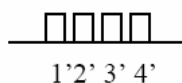
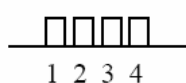
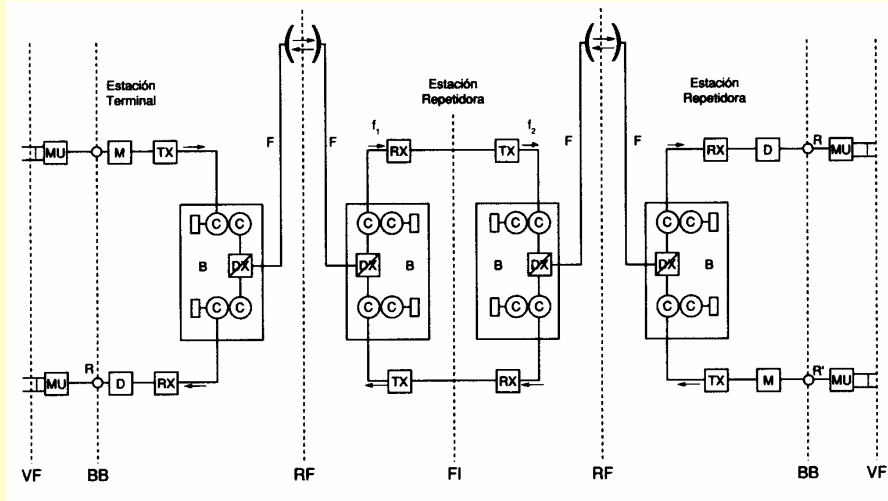
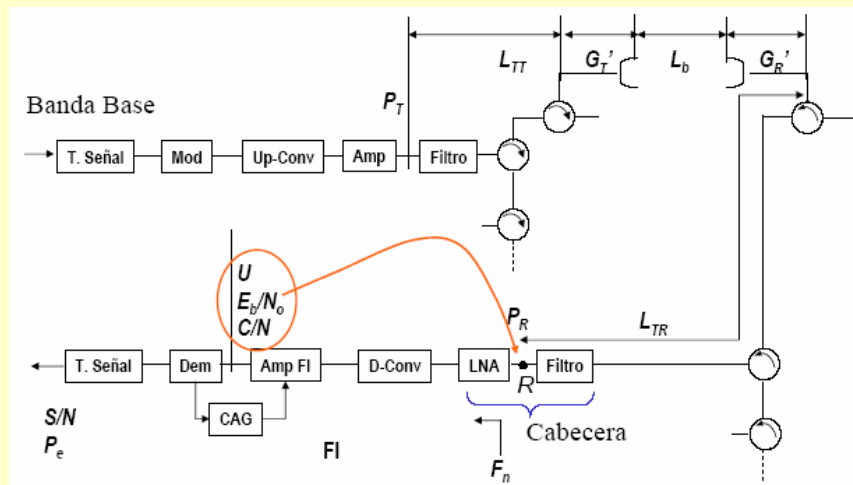


DIAGRAMA DE BLOQUES DE EQUIPOS

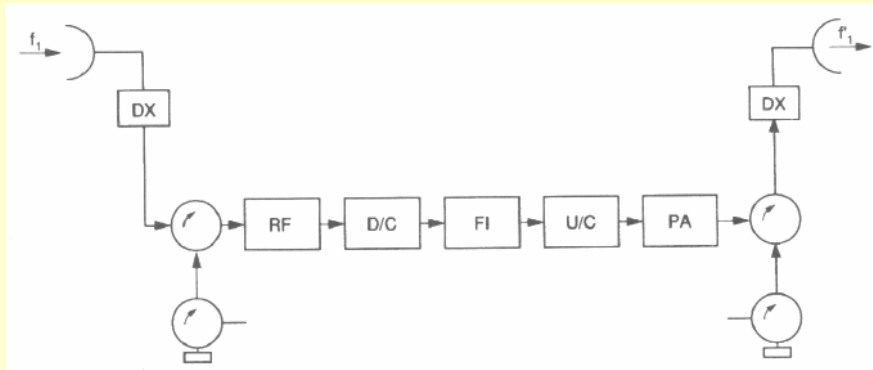


Transceptor

- TX-Rx en el mismo bastidor

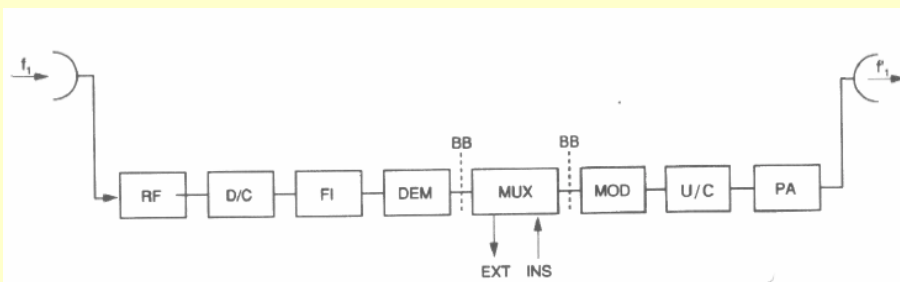


Repetidor Activo

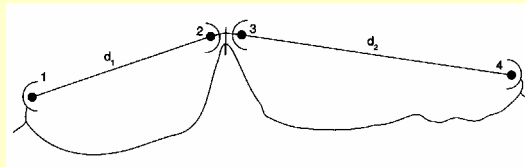


Estación Nodal o Nodo

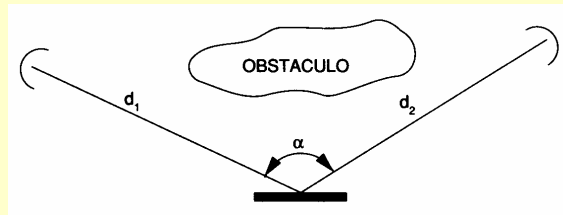
- Regeneración de la señal
- Inserción o extracción de canales "drop-in"



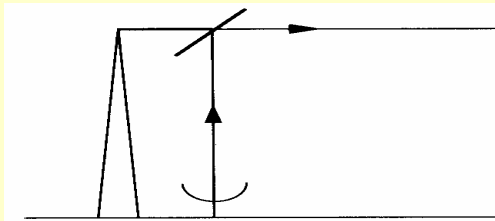
Repetidores Pasivos



- Reflector plano



- Montaje periscópico



Parámetros básicos de un radioenlace

- Son aquellos involucrados en la ecuación de FRIIS:

$$P_R(\text{dBm}) = P_T(\text{dBm}) + L_{TT} + G_T + L_b + G_R + L_{TR}$$
- Donde intervienen directamente
 - Potencia entregada: Potencia de transmisión, P_T (dBm)
 - Pérdidas en los circuitos de acoplamiento L_{TT} L_{TR} (dB)
 - Ganancias de las antenas, G_T G_R (dB)
 - Pérdidas básicas de propagación L_b (dB)
 - Potencia recibida P_R (dBm) definida a la entrada del Amplificador RF.
- E indirectamente, en la potencia recibida,
 - El ruido, Factor de Ruido
 - del Rx, F_R (dB)
 - del sistema F_S (dB)
 - La relación portadora ruido $P_R/N = C/N$ (dB)
 - Potencia mínima utilizable o sensibilidad U (dB)
 - Relación señal/ruido S/N (dB) o portadora/ruido C/N (dB)
 - Relación Energía de bit/densidad espectral de potencia E_b/N_0 (dB)
 - Probabilidad de error en los bits. P_e

Desvanecimiento multitrayecto

- Se produce por interferencia entre el rayo directo y los rayos reflejados:
 - En la superficie terrestre.
 - En capas atmosféricas.
- Los desvanecimientos por reflexión en el suelo pueden ser profundos y de larga duración, sobre todo cuando la reflectividad del terreno es elevada (llanuras, mares, etc).
- Puede controlarse tratando de bloquear el rayo reflejado o mediante un sistema de recepción adecuado.
- Se debe anular el rayo reflejado o compensar su efecto perjudicial mediante alguna de las siguientes medidas:
 - Utilización de técnicas de diversidad.
 - Inclinación ligera de las antenas, de forma que el rayo reflejado entre por un mínimo del diagrama de radiación.
 - Desplazamiento del punto de reflexión a una zona menos reflectante.
 - Apantallamiento del rayo reflejado (pueden controlarse con las alturas de las antenas).
 - Utilización de sistemas anti-reflectantes.

Desvanecimiento multitrayecto

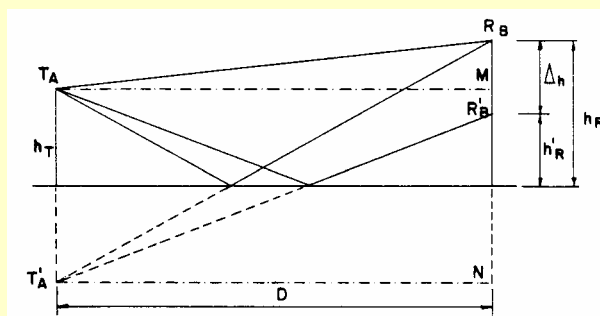
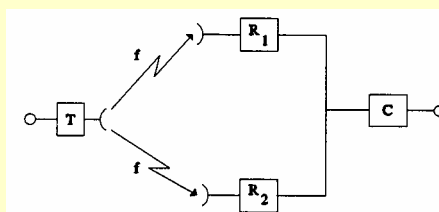
- Los desvanecimientos en las capas atmosféricas se debe a que la antena radia un haz de rayos con diferentes ángulos de salida.
- Para alguno de estos rayos, la existencia de capas atmosféricas con variaciones anormales de la refractividad puede producir condiciones de reflexión, transportándolos de este modo a la antena receptora.
- Esta modalidad de multitrayecto troposférico está sujeta a variaciones aleatorias. Su importancia o grado de influencia aumenta con la frecuencia y de un modo especial con la longitud del vano.
- Este tipo de desvanecimiento es el más severo de los que se dan en condiciones de cielo despejado, sobre todo cuando adquiere carácter selectivo produce una distorsión de amplitud y fase en la señal recibida, que degrada la calidad del enlace, lo cual provoca las interrupciones del servicio.

Técnicas de Diversidad

- Diversidad: enviar la misma información por *caminos radioeléctricos diferentes* que se vean afectados de forma independiente por el desvanecimiento.
 - Espacial
 - de frecuencia
 - de ángulo,
 - de polarización,
 - de ruta
- Según el tipo de procesado de Señal de los distintos caminos:
 - Conmutación
 - Combinación
- Interesa correlación pequeña entre distintas señales a Procesar
- Ventajas:
 - Reduce el % de tiempo de desvanecimiento
 - Aumenta la fiabilidad (redundancia) .
 - Mejora la S/N o la BER

Diversidad de Espacio

- Características
 - Una sola frecuencia Portadora
 - Una antena en TX y dos en RX a diferente altura
 - La señal recibida por las dos antenas y los dos receptores confluyen en un sistema de conmutación o preferiblemente de combinación

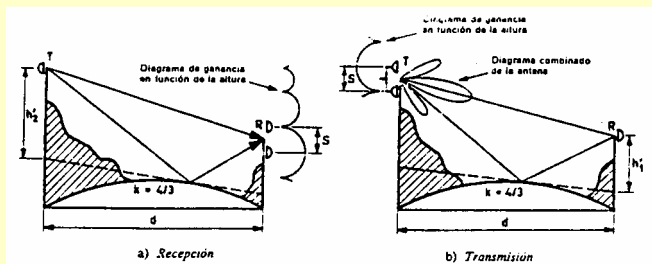


Diversidad de Espacio

- La diferencia de trayecto entre señales directas y reflejadas no es la misma para las dos antenas; colocando una antena separada de la otra por la relación:

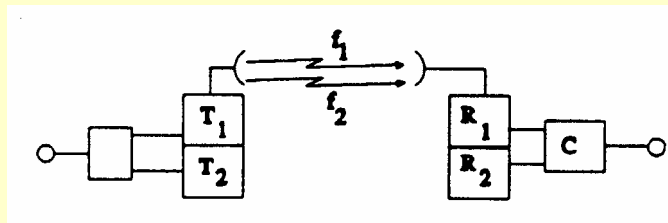
$$\Delta h = (2k + 1) \cdot \left(\frac{d \cdot \lambda}{4 \cdot h_T} \right) \quad \text{para } k = 0, 1, 2, \dots, n$$

- Se asegura así, que si una antena se encuentra en un mínimo, la otra se encontrará en un máximo
- La diversidad de espacio es una de las medidas preventivas más eficaces contra el desvanecimiento, debido a la propagación por trayectos múltiples, tanto en radioenlaces analógicos como digitales



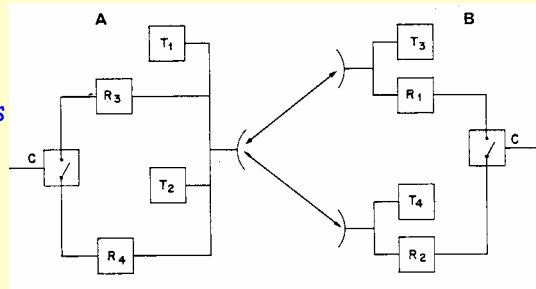
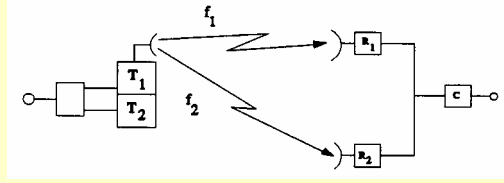
Diversidad de Frecuencia

- Se utilizan simultáneamente dos portadoras f_1 y f_2
- Este sistema se basa en la selectividad en frecuencia de los desvanecimientos
- Es necesario una separación mínima entre frecuencias del 2% para que resulte eficaz.
- Cuando una se desvanece la otra frecuencia no
- En este caso son necesarios dos transmisores y dos receptores por dirección
- Inconveniente: usar otro radiocanal (espectro es bien escaso y caro)



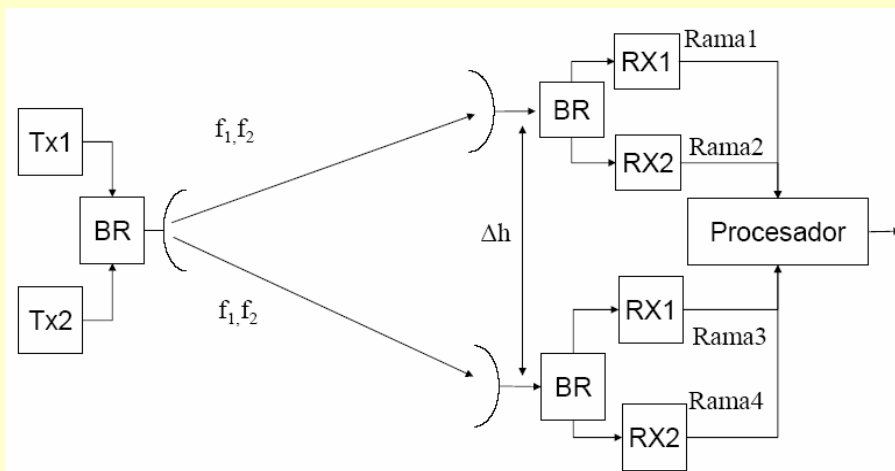
Diversidad híbrida

- Combina la diversidad en frecuencia y la diversidad en el espacio.
- Uno de los extremos trabaja en diversidad en frecuencia, transmitiendo la misma información en dos canales distintos. En el otro extremo se utilizan dos antenas separadas, cada una de las cuales recibe una de las frecuencias
- Tiene las ventajas de ambas técnicas de diversidad.



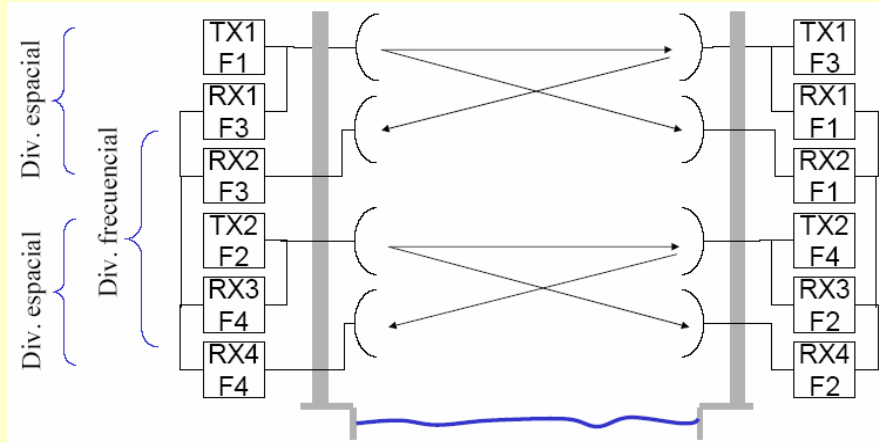
Diversidad Espacial - Frecuencia (Montaje Mixto)

- Cuando la separación de frecuencia no sea suficiente



Diversidad Cuádruple

- Casos muy complicados, como grandes distancias en mar



Calidad de un Radioenlace

- La calidad representa el grado en el que el radioenlace estará en condiciones de proporcionar el servicio para el que se ha diseñado.
 - Calidad de disponibilidad
 - Calidad de fidelidad
- La disponibilidad cuantifica la probabilidad de que el sistema se encuentre en condiciones de funcionamiento en un momento dado.
 - Se cuenta el tiempo que está:
 - Disponible T_{dis}
 - Indisponible T_{ind}
 - Se empieza a contar la indisponibilidad cuando se sobrepasa un valor de referencia T_0 sin funcionar correctamente, por debajo de un umbral.
 - Indisponibilidad total

$$U = \frac{\sum T_{ind}}{T} \cdot 100(\%)$$
- La fidelidad : microinterrupciones y degradaciones ligeras y breves, $< T_0$
 - Se expresa en tasa de error de bit

Indisponibilidad de un Radioenlace

- Existe indisponibilidad debido a:
 - Fallos o averías
 - Condiciones anómalas (lluvia, desvanecimientos)
 - Interferencias
- La indisponibilidad se define para un periodo de tiempo en el que
 - Se produce un corte parcial o total de la señal
 - Aparece un ruido
 - Aparece distorsión
- Para definirla hay que especificar
 - Criterio cuantitativo relativo al parámetro de calidad:
 - Analógico: Potencia de ruido en banda base
 - Digital: BER
 - Duración mínima T_0 y tiempo medio entre interrupciones.
- Se pueden clasificar según su duración:
 - Largas (más de 10 segundos), poco frecuentes: Disponibilidad
 - Breves y frecuentes: Fidelidad

Planificación de un radioenlace

- El objetivo principal es establecer una ruta que cumpla con las especificaciones técnicas necesarias.
 - requisitos de valor medio de ruido durante largo tiempo y un período mínimo de interrupciones por fallos de propagación debido a desvanecimientos de las señales.
- Antes de iniciar el trazado de una ruta deben tenerse en cuenta ciertos datos de gran importancia con respecto a las características del sistema como:
 - el número de canales actuales y posibles ampliaciones
 - fiabilidad del sistema,
 - grado de rendimiento con respecto al ruido
 - tiempos máximos de BER, etc.

Elección del trayecto

- Lo primero a determinar son los emplazamientos de las estaciones terminales e intermedias, donde se instalarán las torres para las antenas, debiendo conocer sus coordenadas geográficas y altura. Para ello se utilizan los mapas topográficos de escalas 1:50000 o mejor aún 1:25000, siendo necesario también una inspección sobre el terreno.
- En las ciudades, para evitar reflexiones y sombras de edificios, se suelen instalar las estaciones de radio en las afueras, prolongando los circuitos hasta la central por medio de líneas de transmisión (coaxial o fibra óptica).
- El número de estaciones repetidoras y por lo tanto el de vanos vendrá delimitado por imperativos geográficos, redes de comunicación existentes, exigencias de calidad, facilidad de acceso y de suministro de energía, etc.
- En el anteproyecto se indican longitudes de vano en función del número de canales, la frecuencia utilizada

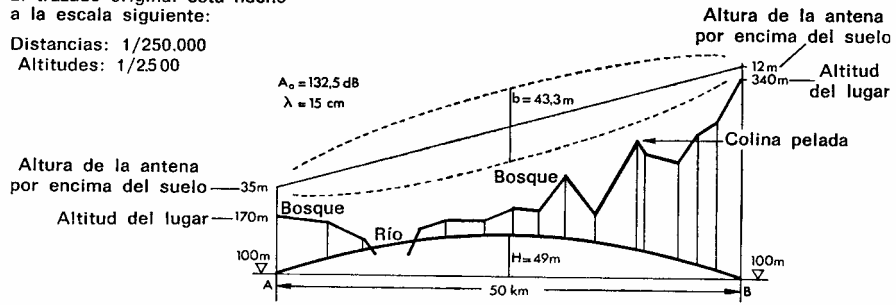
Datos de propagación necesarios para el cálculos de radioenlaces

- El problema se reduce al cálculo de las pérdidas básicas,
$$L_b = L_{bf} + L_{di} + L_d + L_a + L_p + L_g$$
- Espacio libre, difracción, desvanecimiento, ángulos, precipitaciones, gases.
- La metodología en el diseño de un radioenlace queda:
 - 1.- Análisis de la geometría del perfil: determinar altura de las antenas
 - 2.- Evaluar Pérdidas Adicionales debidas a atmósfera:
 - desvanecimiento factor K
 - Atenuación debida a gases atmosféricos.
 - 3.- Cálculo atenuación por lluvia
 - 4.- Estudio de la despolarización
 - 5.- Estudio de desvanecimientos multitrayecto: plano y selectivo
 - 6.- Protección contra desvanecimientos multitrayecto: Técnicas de diversidad

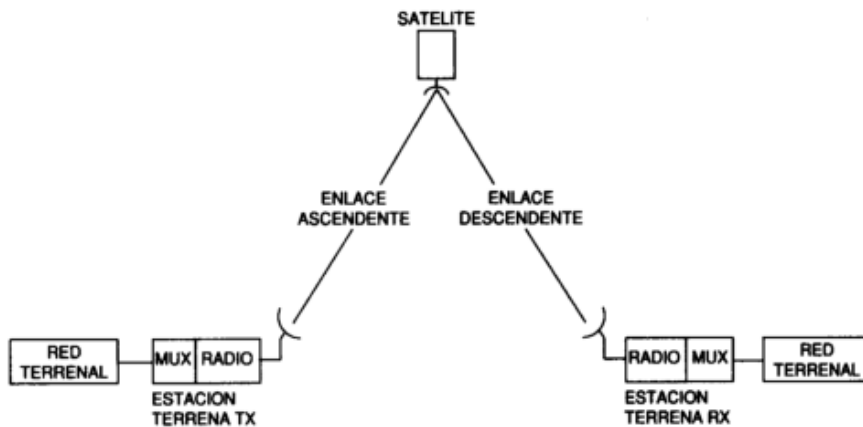
Ejemplo de un trazado

El trazado original está hecho a la escala siguiente:

Distancias: 1/250.000
Altitudes: 1/2500



Radiocomunicación por satélite



Radiocomunicación por satélite

- **Estación terrena transmisora:**
 - Recibe la señal en banda de base a transmitir: múltiplex (FDM o TDM) de telefonía o datos, o bien una señal de vídeo en banda de base.
 - Esta señal modula una portadora en FI, la cual se traslada luego a la frecuencia de portadora de RF, que se amplifica y se transmite hacia el satélite.
 - En transmisión, se requieren potencias elevadas, asociadas a la utilización de antenas de gran directividad.
 - La portadora o portadoras transmitidas pueden estar activadas continuamente o a petición, cuando exista información a transmitir.
- **Los enlaces ascendente (Tierra-espacio) y descendente (espacio-Tierra).**
 - propagación en condiciones de espacio libre.
 - Puede también existir atenuación adicional por lluvia.
 - Debido a la limitación de potencia del satélite, el enlace descendente es el más desfavorable, debido a esto, se asignan a éste las frecuencias más bajas.

Radiocomunicación por satélite

- **El satélite:** es una estación repetidora que amplifica, cambia de banda y retransmite la señal recibida, estableciendo conexiones entre las estaciones terrenas de su zona de cobertura.
- Se distinguen en el satélite las secciones de:
 - Recepción: antena y el amplificador de bajo factor de ruido.
 - Conversión, conmutación: Como las frecuencias de recepción y transmisión del satélite son distintas, se efectúa una conversión de frecuencia, seguida de una amplificación de la señal. Se denomina **transpondedor** al conjunto convertidor de frecuencia-amplificador. La sección de conmutación establece el encaminamiento de la señal y la asignación de transpondedores.
 - Transmisión: La unidad de transmisión es un amplificador no lineal en transmisiones analógicas y cuasilineal en transmisiones digitales. Las señales de salida de diferentes portadoras se multiplexan para su emisión por una antena, cuyo diagrama de radiación depende de la cobertura requerida.

Radiocomunicación por satélite

- **Estación terrena receptora:** debe disponer de una antena muy directiva (que es la misma que para transmisión) y un sistema receptor de muy bajo factor de ruido, cuya misión es
 - amplificación de la señal
 - conversión a FI
 - demodulación,
 - tratamiento múltiplex
- Después de la etapa de FI, se separan los mensajes no destinados a esta estación demodulándose los correspondientes a ella, que se acondicionan para su encaminamiento, a través de circuitos terrenales, hacia los centros de conmutación.
- El tramo comprendido entre la red terrenal y el transmisor y entre el receptor y dicha red, constituye el sector terrenal del enlace.
- El tramo transmisor-enlace ascendente-satélite-enlace descendente-receptor forma el llamado segmento espacial