

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE BILBAO-UPV/EHU

Sistemas de Radiocomunicación

Segunda Parte (Temas 4,5,6,7)

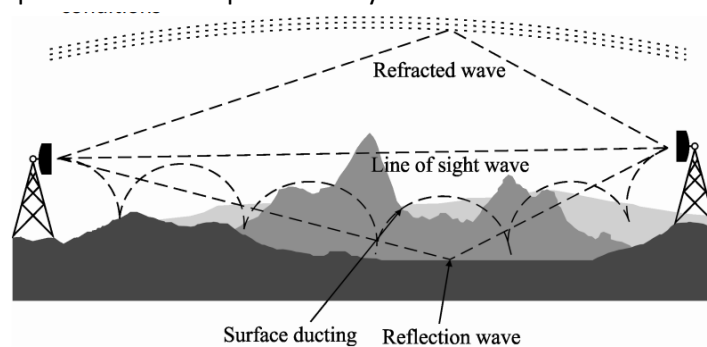
David González García

01/04/2014

Capítulo 4: Sistemas de Servicio Fijo

Introducción:

- Un radioenlace de Servicio Fijo (FS, término usado por la ITU-R) se trata de cualquier enlace de radiocomunicaciones entre dos estaciones fijas basadas en la propagación de señales a través de la atmósfera a frecuencias mayores que 30 MHz, con un límite que está establecido en 3000 GHz.
- Actualmente, se usa más el término genérico de Sistema Inalámbrico Fijo (FWS- Fixed Wireless System), que se emplea para identificar los sistemas de telecomunicación operando para servicios fijos y son usados en escenarios de aplicaciones de transporte y acceso.
- **Fixed Wireless System (FWS):**
 - Enlaces terrestres punto-a-multipunto.
 - Sistemas de Alta Frecuencia.
 - High Altitude Platform Systems (HAPS).
 - Enlaces ópticos de espacio libre.
 - Enlaces terrestres punto-a-punto:
 - **Microwave Line of Sight Links (LOS Microwave).**
 - Enlaces microondas (MW links).
 - Radioenlaces del Servicio Fijo.
 - Radioenlaces simples.
 - **Sistema Inalámbrico Fijo (FWS): Microwave Line of Sight Links (LOS Microwave):**
 - Los enlaces LOS Microondas operan en condición de campo visual en las frecuencias desde 400 MHz hasta 95 GHz, bajo unas condiciones especificadas de disponibilidad y calidad.



- Campo de aplicación y casos de uso:
 - Redes Backhaul: Redes de retorno (enlaces intermedios entre el núcleo y las subredes en sus bordes).
 - El transporte tradicional o Redes Backhaul han usado enlaces LOS microondas que operan en bandas de frecuencia por debajo de 15 GHz.
 - La longitud de salto típica en estos sistemas se encuentra en el rango desde los 30 a los 50 km y la

capacidad de bitrate asociada es equivalente a la media de las altas capacidades en PDH o SDH (normalmente sobre 34 Mbps).

- Backhaul en Redes Móviles.
 - Los enlaces LOS microondas son el sistema de comunicación más común para las funciones de transporte entre estaciones base BS (o equivalente en redes 3G y 4G), por encima del nivel de los nodos de control (por ejemplo, Base Station Controllers, BSC, en GSM) y cualquiera con nodos de mayor orden como los MSC (Centros de Conmutación Móvil) y nodos de conmutación de paquetes
 - Cuando son instalados en las Estaciones Base, los enlaces LOS microondas comparten la infraestructura y torres con el equipamiento de la red de acceso celular.
- Redes Metro (MAN, WMAN) y Redes EDGE (puente entre comunicaciones 2G y 3G).
 - Las redes Metro son redes de transporte en áreas urbanas basadas en anillos de fibra óptica con altas capacidades y normalmente basadas en SONET/SDH y estándares METRO Ethernet, que transportan voz, vídeo, TV y flujos de tráfico de datos.
 - La aplicación de los enlaces LOS microondas es:
 - ❖ Término corto, solución alternativa a los enlaces de fibra óptica.
 - ❖ Enlaces que permiten trayectos redundantes que podrían reconfigurar y portar tráfico originalmente transportado por el anillo de fibra óptica en casos en los que haya alguna alteración o interrupción en el anillo.
 - ❖ Extensión backbone para alcanzar lugares más allá de los límites de las áreas urbanas.
- Redes de Acceso Fijas.
 - La conexión de las premisas del cliente (CP, customer premises) al ancho de banda de las redes de acceso fijo es normalmente llevado por medio de par de cobre o por sistemas de fibra óptica. Esta aplicación incluye también conexiones para puentes LAN o conexiones remotas LAN.
 - Enlaces LOS microondas y sistemas punto-a-multipunto de alta densidad se usan como alternativa u opción complementaria.
 - Los enlaces LOS microondas usados en este ambiente son normalmente enlaces IP de alta capacidad, en

línea con la tendencia de la evolución en redes de acceso desde ATM a IP.

- Casos adicionales...
 - Soporte físico para las redes de corporaciones de compañías privadas tanto como utilidades (electricidad, gas...), seguridad pública, y otras industrias, que puede requerir conectar construcciones y otras facilidades de instalación dentro de un área.
 - LAN o PAN (Personal Area Network) en ambientes interiores, donde los enlaces de radio son usados para conexiones de servicios multimedia de alta velocidad entre aparatos locales dentro de determinadas áreas, oficinas...
 - Instalaciones del enlace temporalmente portátiles para eventos especiales o para comunicaciones y llamadas de emergencia en caso de desastres naturales.

Bandas de Frecuencia

- Bandas de Frecuencia usadas por enlaces LOS microondas:

Traditional Commercial Bands New bands and Experimental

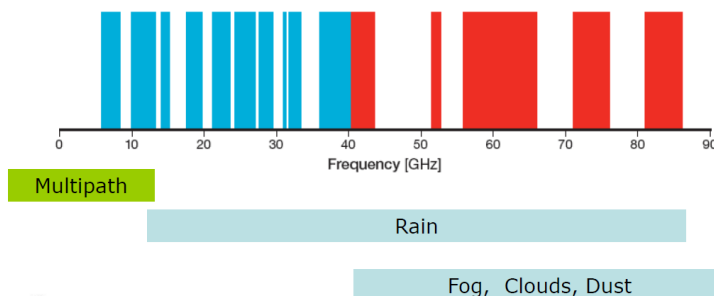
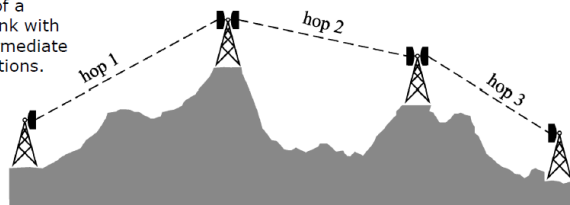


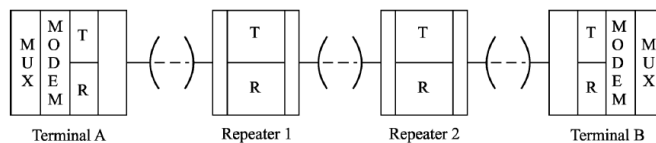
Diagrama en Bloques Básico

- LOS Microondas: Estructura Básica:

Diagram of a bidirectional link with nodal and intermediate repeater stations.



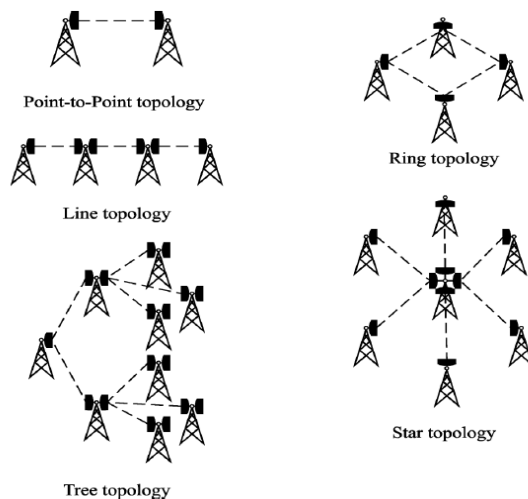
a) Path terrain profile



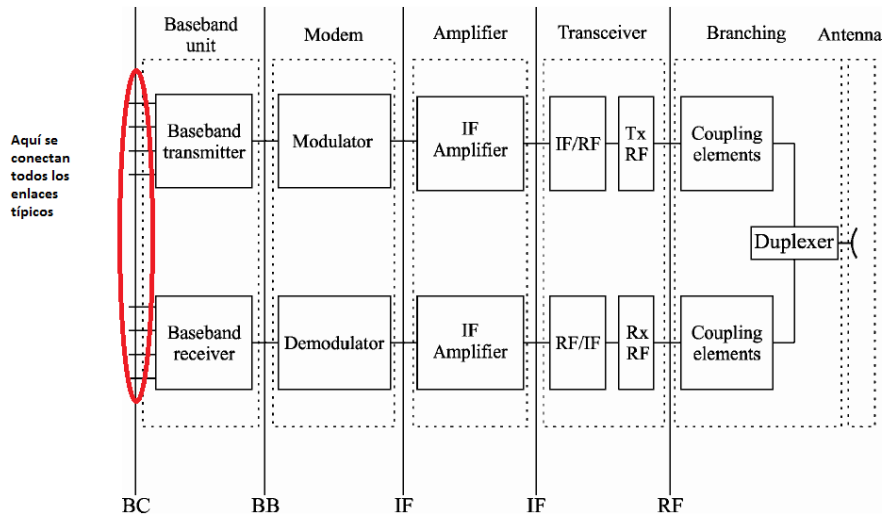
b) Functional equipment blocks of the link

- En el caso más general, un enlace LOS Microondas está compuesto por terminales de estaciones de radio (estación transmisora, una estación receptora), y estaciones repetidoras intermedias.
- Un terminal de estación radioeléctrica es un centro o núcleo (hub) que maneja el tráfico saliente y entrante, y donde puede haber algún tipo de multiplexación o demultiplexación pro medio de agregar o desagregar diferentes fuentes de tráfico.
- Una estación repetidora tiene la función de habilitar la característica de línea de visión directa (LOS) a través de un trayecto específico, normalmente para superar un obstáculo geográfico o una distancia demasiado larga.
- Se dan dos tipos generales de estaciones repetidoras intermedias:
 - Repetidores pasivos: estos son, o superficies simples de reflexión, como espejos radioeléctricos, o antenas directivas instaladas consecutivamente a través de una línea de transmisión.
 - Repetidores activos: estos son estaciones de radio que usan elementos activos, transmisores, receptores y sistemas de radiación que reciben, procesan, amplifican y transmiten la señal que llega desde un enlace que salta hacia el siguiente. Dependiendo del procesamiento involucrado para ello, estas estaciones pueden ser de RF, de IF o repetidores banda base.
- Los Nodos o Estaciones Terminales de un enlace LOS Microondas son las estaciones de radiocomunicación donde la carga en banda base se origina y se envía.
- Un salto, o salto de enlace, es la sección del enlace entre dos estaciones radio, o entre un nodo y una estación repetidora o entre estaciones repetidoras.

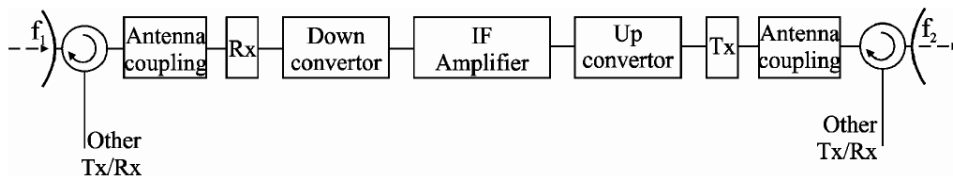
- Topologías de Red:



- Diagrama en Bloques de una Estación terminal de un enlace de relé de radio:

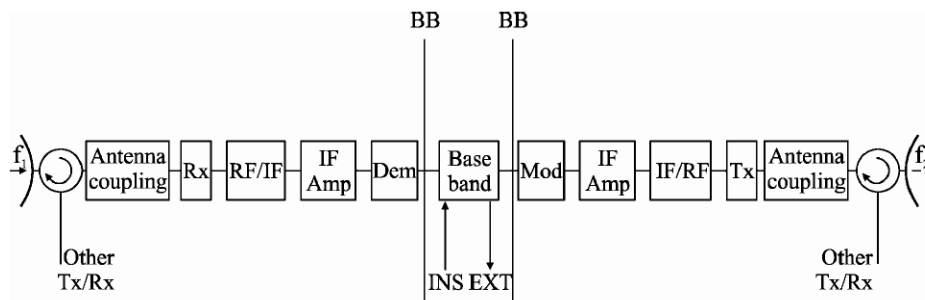


- **Diagrama en Bloques de un repetidor activo no-regenerativo:**
(sólo la rama asociada a una de las direcciones del canal)



- Diagrama de bloques para un radiocanal en una sola dirección de transmisión que es recibida en la frecuencia f_1 y retransmitida en la frecuencia f_2 , de acuerdo con la misma nomenclatura de bloque e interfaz que la usada en el caso de estaciones terminales.

- **Diagrama en Bloques de una Estación Nodal para un solo radiocanal:**



- En la figura anterior, en caso de ser bidireccional, habría que duplicar el número de radiocanales. Es decir, un radioenlace va a tener tantas cadenas de bloques como radiocanales unidireccionales haya.
- Diagrama en Bloques de una Estación Nodal para un solo radiocanal (se muestra sólo la rama asociada a una de las direcciones del radiocanal).
- Las Estaciones Nodales intermedias son similares a los Receptores Regenerativos.
- En este caso, la señal se convierte descendentemente a la IF, se demodula y demultiplexa en Banda base.
- Es posible bajar e insertar canales hacia y desde cualquier flujo de tráfico del principal flujo del enlace. Las estaciones nodales intermedias permiten

interconectar diferentes secciones de la red o diferentes trayectos del enlace de relé de radio.

- Si más de dos trayectos son conectados a la estación de radio, esto se conoce como “Nodo multidireccional”.
- La caída e inserción de canales puede ser llevada a cabo a nivel de radio-canal o a un nivel más alto de trama de interfaces digitales multiplexados.
- El trayecto entre una estación terminal y una Estación Nodal intermedia se llama “Sección de switch”, y será considerada una unidad de control, protección y monitorización. El término “sección de switch” se extiende a las secciones entre estaciones nodales donde hay varias estaciones nodales en el mismo enlace de relé de radio.

- **Estaciones Repetidoras Pasivas:**

- Back to Back (consecutivas, y al revés).
- Reflectores

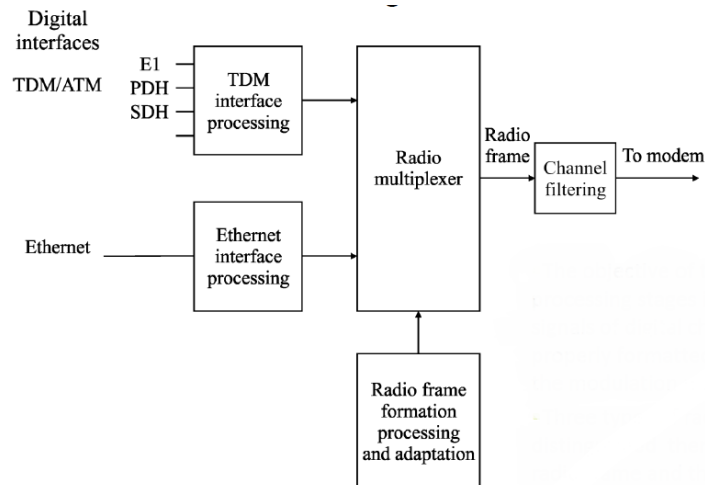


- La ubicación física de los elementos funcionales del enlace será cambiada en función de la aplicación y grado de integración de cada fabricante.
- De acuerdo con el lugar exacto de la instalación para cada uno:
 - All indoor – In Door Unit: IDU (todo interior).
 - Las configuraciones IDU son típicas en enlaces de relé de radio de alta capacidad. Las unidades son colocadas en salas de transmisión y se ubican en tramas de diferentes tipos y tamaños: 19 pulgadas (ETSI) en Europa, 21 pulgadas en USA.
 - Las antenas son instaladas en torres exteriores y conectadas al centro de transmisión a través de cables coaxiales o guía ondas.
 - Al tratarse de “indoor”, sale de Transmisión con todos los equipamientos metidos, a su vez, en bastidores. Por tanto, las antenas se conectan a la torre con un cable.
 - Split Unit (RF outdoor).
 - Se trata de la solución entre exterior e interior.
 - Los bloques del modem y de banda base se sitúan en el interior, normalmente en construcciones diseñadas específicamente para este propósito.
 - La unidad de Radio Frecuencia (RF) se coloca en el exterior, cerca de la antena.

- La conexión a Frecuencia Intermedia (IF) entre ambas unidades se hace mediante cables coaxiales, que también transmiten la potencia de alimentación necesaria para las unidades de Radio Frecuencia.
 - Esta configuración tiene pérdidas por transmisión menores que las configuraciones IDU, particularmente para altas frecuencias. Y es que, en caso de emplearse IDU en lugar de "Split Unit", se da mucha más atenuación, ya que opera a la frecuencia de RF todo el cable (decenas de metros) en vez de a la IF.
 - Esta disposición es ampliamente usada en redes de acceso o redes de transporte para comunicaciones móviles, a altas frecuencias.
 - All outdoor (out- Door Unit), ODU, todo exterior.
 - Todo el equipamiento del enlace de relé de radio está instalado cerca (pero fuera) de la antena.
 - ODU se usa principalmente para transportar señales microcélula en comunicaciones móviles, donde las Estaciones Base son, también, outdoor.
 - Las Estaciones Base normalmente construidas con interfaces digitales que están directamente conectados a la unidad outdoor (a los radioenlaces). Las conexiones deben estar hechas usando cables coaxiales: tráfico, alimentación, alarmas y las señales dirigidas compartirán el medio de transmisión.
- **Unidad en Banda Base:**

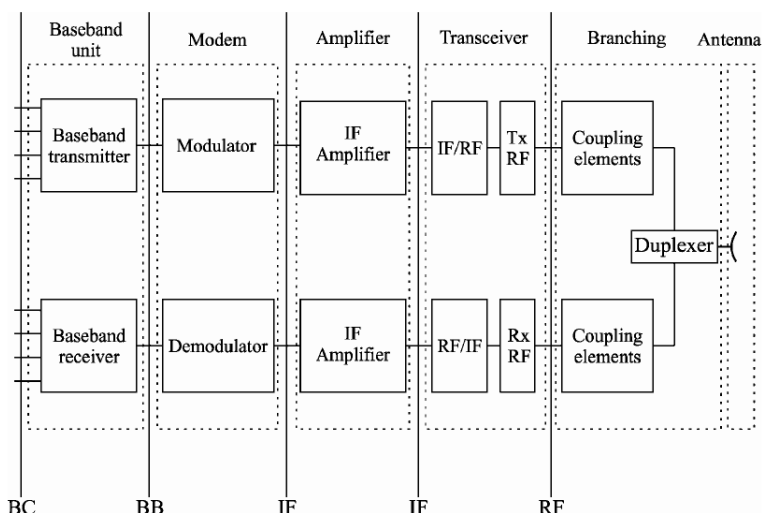
	<i>Interface</i>
<i>Ethernet</i>	IEEE 802.3 -10/100/1000 BaseT
<i>PDH</i>	E1/2048 Kbps - T1/1544 Kbps USA
<i>PDH</i>	E3/34368 Kbps – T3/44736 Kbps
<i>PDH</i>	E4/139264 Kbps
<i>SDH</i>	Normalmente se usan estas banda base Sincrona de orden 1 STM-1 155.520 Kbps
<i>SONET</i>	Europa OC-3 STS-3 USA

- Diagrama en bloques general de la Unidad en Banda Base en el lado del Transmisor:



- Cabe destacar que el filtrado de canal se da antes de introducir las señales al módem, como se ve en la figura.
- Velocidad de los interfaces de entrada V_b , con $V_b > V_{bn}$.
- El objetivo de las etapas de procesamiento de la señal banda base es la conversión de las señales de entrada de los interfaces del canal digital en otros flujos adecuadamente formados que serán atendidos por la unidad de modulación.
- Tres tipos de radio-tecnologías se distinguen dependiendo del tipo de trama de radio y del tratamiento de las señales en el interfaz digital (dependiendo de la multiplexación empleada): TDM Radio (multiplexación en tiempo, basado en conmutación de circuitos, hay que adaptar el tráfico de paquetes), Radio Híbrido (tiene una parte fija, para las velocidades fijas de TDM, y una parte variable para adaptar el tráfico Ethernet, tratando simultáneamente dichas señales) y Ethernet Radio (basado en conmutación de paquetes).
- Funciones adicionales de la unidad en Banda Base:
 - Corrección de errores y codificación.
 - Procesamiento Banda Base:
 - Conversión del código de línea.
 - Ecuación.
 - Recuperación de reloj.
 - Recuperación de portadora.
 - Reducción del "jitter" (variabilidad temporal en la transmisión de señales digitales).
 - Monitorización de la calidad de la señal.

- Diagrama en bloques de una estación terminal de un enlace de relé de radio:



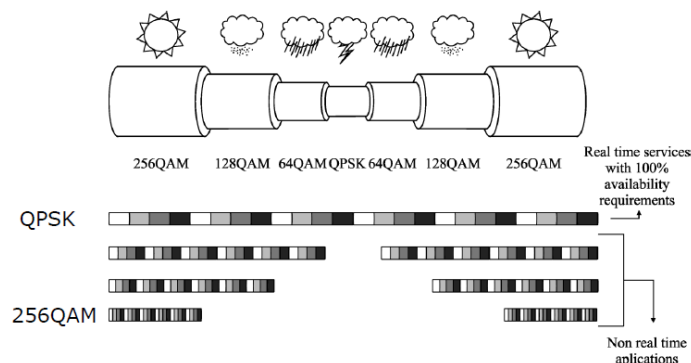
- **Modulación y Demodulación:**

- Modulaciones usadas en enlaces de relé de radio:

Coding	Type
Uncoded	PSK, Phase-shift keying
	Quadrature PSK (QPSK - 4PSK)
	Differential QPSK (DQPSK), Offset QPSK (O-QPSK)
	QAM, Quadrature amplitude modulation
Coded	16, 32, 64, 128, 256, 512 and 1024
	BCM, Block Coded Modulation
	TCM, Trellis Coded Modulation
	MLCM, Multi Level Coded Modulation

Donde, cabe destacar, las modulaciones codificadas son más robustas frente a errores.

- Probabilidad de error: “Bit error ratios” para diferentes modulaciones y umbrales.
- Modulación adaptativa según varían las condiciones de propagación:

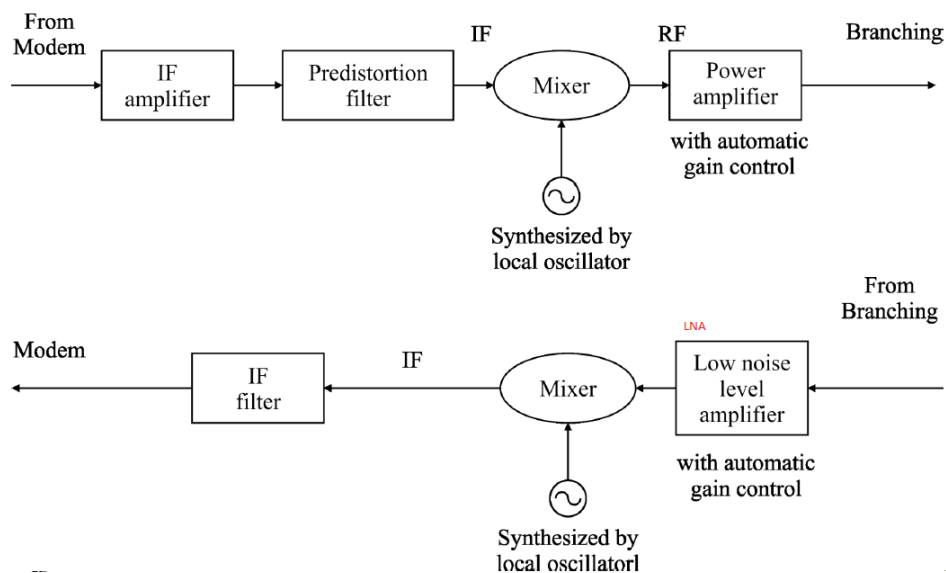


- Modulaciones de mayor orden:
 - “Throughput (volumen de información a través de las redes de datos)” mayor.
 - Umbral mayor -> menor margen.
- Modulaciones de orden menor:

- “Throughput (volumen de información a través de las redes de datos)” menor.
- Menor umbral -> mayor margen.
- Y es que, la lluvia provoca atenuación, la cual, a su vez, hace que la potencia recibida sea menor. Por tanto, el umbral ha de bajar, teniendo que emplearse un esquema de modulación con menos niveles.
- Estos esquemas incluyen modulación adaptativa para transmitir con varios niveles, transmitiendo en cada momento con la modulación más alta posible.

Atenuación	Esquema Modulación	Vb Tx
<10	256 QAM	154 Mbps
10<20	128 QAM	140 Mbps
...
40<50	QPSK	34 Mbps
X (Indisponibilidad)	X (Indisponibilidad)	X (Indisponibilidad)

• **Transceptor:**



- El Amplificador de Ruido Bajo, LNA, ha de fabricarse a la menor temperatura posible, próxima a cero, en un proceso de criogenización (proceso de fabricación a temperaturas muy bajas). Tiene la misión de proporcionar un ruido bajo a la señal.
- Por otra parte, la frecuencia del oscilador local será:

$$F_{Lo} = F_{RF} - F_{IF} \rightarrow F_{RF} = F_{Lo} + F_{IF}$$
- En Recepción: $N = N_0 \cdot B_{eq}$; donde N es la potencia de ruido, y N_0 , la DEP de ruido, debido a la lluvia, al multitrayecto... El B_{eq} , se trata del ancho de banda del filtro en Recepción para dejar pasar la señal.

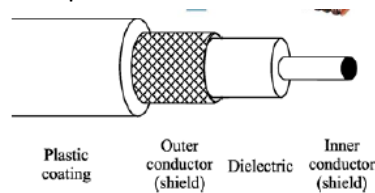
- **Acoplamiento de Antenas:**

- Elementos:

- Líneas de Transmisión RF:

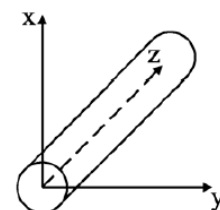
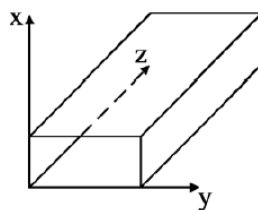
- Cables coaxiales.

- ❖ Las pérdidas en los cables coaxiales aumentan con la frecuencia, así que su uso se limita normalmente a los 3 GHz para grandes distancias de conexión entre la antena de las unidades exteriores. Para frecuencias mayores, el cable coaxial sólo se emplea en distancias cortas de conexión, tanto como en conexiones de alimentación a las unidades transceptoras exteriores.

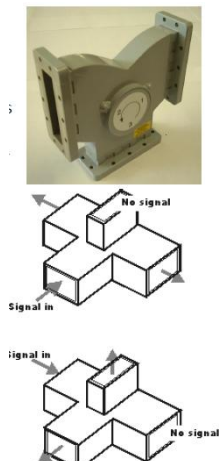


- Guía Ondas.

- ❖ En la práctica, las guía ondas son usadas para frecuencias sobre unos 3 GHz. Éstas pueden entregar una mayor potencia con una baja atenuación a altas frecuencia, que la que conseguirían las líneas de transmisión coaxiales. Las desventajas de las guía son la complejidad de sus instalaciones. A pesar de los bajos valores de atenuación, las pérdidas totales podrían ser demasiado altas en instalaciones IDU.
 - ❖ Sobre unos 10 GHz y si la red “branching” (ramificada) es larga, los equipamientos fabricados ofrecen soluciones alternativas basadas en unidades dispuestas ODU o “Split Unit”. La sección IDU se conectará al transceptor cerca de la antena por medio de un cable coaxial. La señales viajarán en IF (frecuencia intermedia) a través del cable coaxial desde y hasta el transceptor y desde/hasta los módulos IDU. En resumen, el trayecto recorrido por las señales RF de alta frecuencia será mucho más corto (trayecto antena-transceptor). Cabe destacar que, a partir de los 10 GHz se emplean “Split Unit” ya que, la atenuación obliga a emplear distancias cortas.



- Circuitos “branching” (ramificados):
 - Todos los circuitos pasivos y aparatos entre el transceptor y la antena se integran en la unidad “branching”.
 - Filtros, “circuladores”, aisladores y duplexores se incluyen en esta categoría.
 - Las pérdidas por inserción son el parámetro más importante a considerar en ellos.
 - Filtros RF:
 - ❖ Se emplean para asegurar que pase la señal deseada y no la indeseada. Consiguen reducir las interferencias, sin transmitir más de lo necesario, y el ruido se concentra en una banda con el menor ruido posible.
 - ❖ Los filtros RF “branching” aseguran que el espectro de la señal se mantenga dentro de los límites de la banda de frecuencia permitida, reduciendo así las posibles interferencias de los canales de transmisión adyacentes. En el lado receptor, su función se trata de reducir las señales indeseadas y mantener la influencia de la temperatura de ruido dentro del ancho de banda mínimo requerido.
 - Circuladores (separadores entre direcciones de Transmisión):
 - ❖ Se trata de un elemento pasivo de RF, compuesto por puertos acoplados o desacoplados entre sí en función de lo requerido. Así, la señal se deriva por una puerta u otra, mientras que el resto se bloquean.
 - ❖ Son aparatos con tres puertos. Cada uno asociado a uno de los otros dos y el par resultante se conoce como par de puertos. La señal entrante por uno de los puertos del “circulador” será entregada completamente al par de puertos, mientras que el tercer puerto permanece completamente aislado. El tercer puerto es denominado “la puerta aislada”. Los “circuladores” son los aparatos más ampliamente usados para permitir la compartición de una antena singular por múltiples radio-canales.

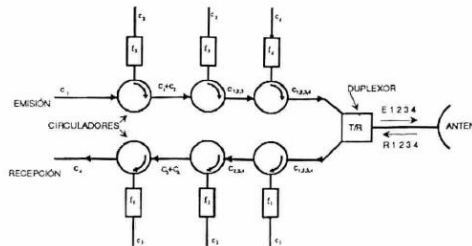


➤ Aisladores:

- ❖ Se tratan de aparatos de dos puertos que tienen bajas pérdidas por inserción cuando la señal viaja desde el primer al segundo puerto, y gran aislamiento, o grandes pérdidas, cuando la potencia entra en el segundo puerto hacia el primero. En este caso, la potencia será disipada totalmente en el aparato. Se usan en radio-enlaces con la función de proteger el equipamiento RF de posibles reflexiones que pueden causar daños en las unidades de transmisión.

➤ Duplexores:

- ❖ Se emplean para hacer simultánea la Transmisión y Recepción del canal bidireccional, es decir, para sincronizar Tx y Rx.
- ❖ Son dispositivos pasivos que permiten compartir una antena singular por radio-canales bidireccionales, por aislar convenientemente el radio-canal de transmisión o recepción, en función de lo requerido.
- ❖ Normalmente están formados por un conjunto de circuladores y filtros paso-banda que eliminan las frecuencias equivalentes a los límites de frecuencia de los radio-canales de Tx y Rx. Tienen bajas pérdidas por inserción (objetivo).



• **Antenas:**

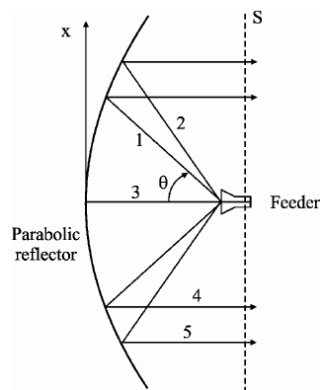
▪ Antenas usadas en enlaces de radio-relé:

- Empleadas para transferir la máxima potencia posible al receptor deseado en la dirección del eje de la antena.
- La transmisión debería evitar la transmisión de energía en otras direcciones que podrían crear interferencias a otros sistemas.
- Los patrones de radiación deben tener un estrecho lóbulo principal y una alta directividad en la dirección de máxima radiación.
- Pequeños lóbulos secundarios, laterales y traseros.
- Amplio rango de posibles planos de disposición de radio-canales y anchos de banda: estable por encima de un ancho de banda considerable.
- Alta discriminación a la polarización-cruzada: XPD.

▪ Tipos:

- Yagi
 - En las bandas de frecuencia más bajas, 2,5 GHz.
 - Bajo coste.
 - Ancho de banda pequeño.

- Antenas planas (Flat-Plane o Flat Panel Array).
 - Tecnología “microstrip” (línea de transmisión) multicapa.
 - Perfil, tamaño y peso pequeño. Típicamente, tamaños de las antenas protegidas desde los 0.15 m hasta 1 m con un espesor de unos 25-50 mm y un peso inferior a los 4 kg.
 - Productos disponibles en los 23, 27 y 38 GHz. Al estar limitados en ancho de banda, se emplean únicamente en entornos urbanos, también por su estética. Algunas: FPA23 (23 dBi), FPA19 (19 dBi), FPA13 (13 dBi).
- Antenas parabólicas reflectoras.
 - Las más utilizadas. Por lo general, si hay radioenlace, hay antena parabólica, y viceversa.
 - Las características geométricas del paraboloide de revolución permiten transformar la radiación de la onda esférica (casi omnidireccional), que emerge desde el alimentador y es reflejada en la superficie del paraboloide, en un frente de onda plano, con componentes reflejados paralelos al plano del foco (perpendiculares al eje de la antena).
 - El frente de onda resultante será un rayo colineal, de gran directividad, provocando en el diagrama de radiación unos lóbulos muy estrechos.
 - En recepción, por reciprocidad, la onda plana que cae sobre la superficie reflectada, se refleja para focalizar la potencia recibida en el alimentador.



➤ Parámetros de la Antena Parabólica Reflectora:

❖ Ganancia de la Antena:

- ✓ Directividad.
- ✓ Ganancia.

✚ Ganancia (dBi, dBd, $dB_{\lambda/2}$): la ganancia de una antena, tradicionalmente llamada ganancia absoluta, es un concepto que incluye las pérdidas de la antena.

✚ Se define como la intensidad de radiación en una dirección específica, y la intensidad producida por radiador isótropo alimentado con la misma potencia.

- ✚ Y como la intensidad de radiación asociada a un radiador isótropo es igual a la potencia de entrada, P_{in} , dividida por 4π :

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P_{in}}$$

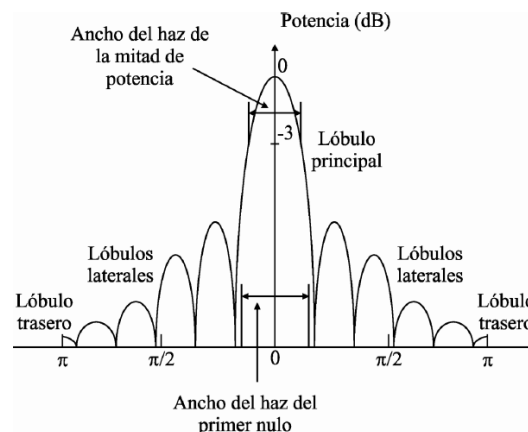
- ✚ La ganancia de una antena parabólica puede aproximarse con la siguiente ecuación, en dBi:

$$G = 10 \log \left(\eta A \frac{4\pi}{\lambda^2} \right)$$

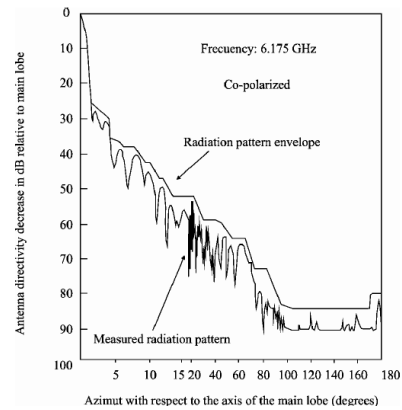
Donde, A , es el área de la apertura física de la antena en m^2 , η es la eficiencia de apertura de la antena y λ , longitud de onda.

- ✓ Eficiencia de Apertura.

- ❖ Potencia Radiada Isotrópica Equivalente: PIRE.
- ❖ Diagrama de Radiación /Patrón de Radiación:

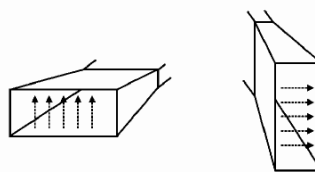


- ✓ Ancho de haz.
- ✓ Menor de los lóbulos secundarios.
- ✓ Envoltente del Diagrama/Patrón de Radiación: (RPE):
 - ✚ Antenas de las mismas series mostrarán una dispersión en sus características del patrón de radiación, simplemente debido a tolerancias asociadas al proceso de fabricación y las características del material.
 - ✚ Las envoltentes del patrón de radiación son patrones regulares y simplificados obtenidos como envoltentes de diagramas reales medidos a diferentes frecuencias en antenas de unas series específicas.



- ❖ Desadaptación, VSWR y Pérdidas de Retorno.
- ❖ Polarización: cómo está indicado el campo eléctrico en la dirección de propagación.
 - ✓ La polarización de una antena en una dirección definida es la polarización de la onda radiada por la antena, y por consiguiente, la forma según varía el tiempo que la dirección y amplitud relativa que el vector Campo Eléctrico describe.
 - ✓ Puede ser lineal, circular o elíptica.
 - ✓ Puede separarse en dos componentes ortogonales que representan las componentes de polarización vertical y horizontal que son ortogonales.
 - ✓ Para una antena parabólica, la polarización se define por la polarización del alimentador.
 - ✓ La discriminación entre las componentes ortogonales de la polarización (normalmente una deseada y la otra interferente) se llama Discriminación de Polarización-Cruzada (XPD).

Rectangular Shape Horn Feeds

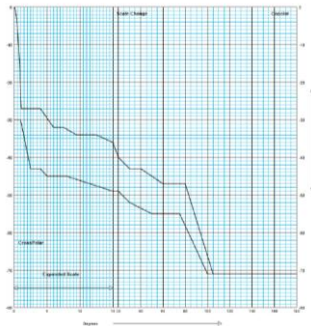


Vertical Polarization

Horizontal Polarization

- ✓ Los fabricantes de antenas normalmente proporcionan patrones de radiación para polarización co-polar y cruzada.
- ✓ En el caso especial de antenas doblemente polarizadas, los patrones proporcionados son más complejos que para el caso de una única polarización.
- ✓ Los patrones requeridos serán HH co-polar (respuesta de una antena polarizada horizontalmente a una señal polarizada horizontalmente) y VV (respuesta de una antena polarizada verticalmente a una señal polarizada verticalmente). Así como, HV (respuesta de

una antena polarizada horizontalmente a una señal polarizada verticalmente) y VH (respuesta de una antena polarizada verticalmente a una señal polarizada horizontalmente).



➤ Antenas Grid:

- ❖ El reflector es un “grid” (cuadrícula) metálico.
- ❖ De 300 a 3.5 MHz.
- ❖ De 1,2 a 4 m de tamaño.



➤ Antenas estándar:

- ❖ Baratas.
- ❖ El reflector es un sólido parabólico.
- ❖ Para entornos de baja interferencia.
- ❖ El reflector se trata de un aluminio que rota.
- ❖ Sin ningún tipo de cubierta.



➤ Antenas de Plano Focal:

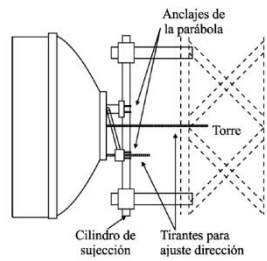
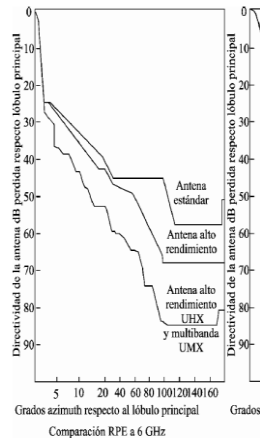
- ❖ El área de apertura efectiva de estas antenas crece haciendo que el plano del foco de la superficie parabólica se ensanche a través del plano focal.

➤ Antenas blindadas (protegidas):

- ❖ Radomo.
- ❖ Escudo.



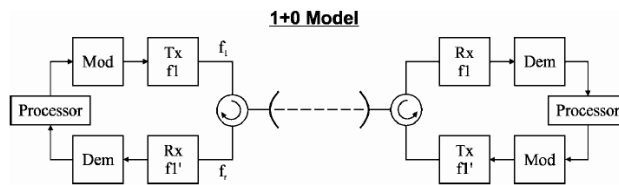
➤ Antenas de Gran Rendimiento.



• **Disposiciones redundantes:**

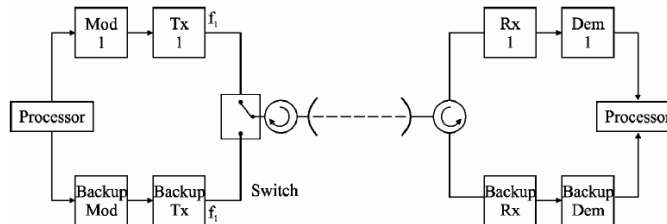
Para casos de averías.

- Configuraciones sin protección:



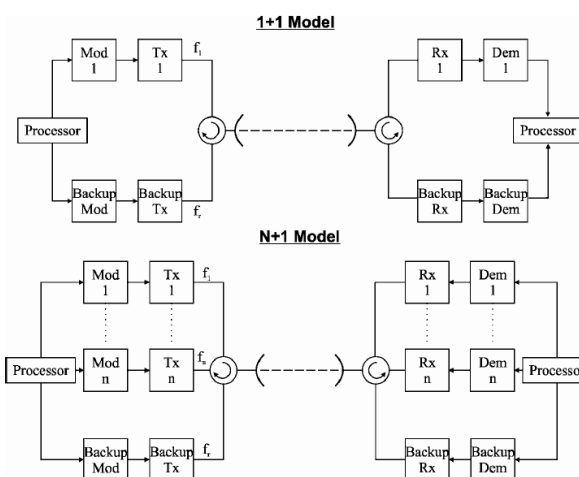
- Configuración “Hot-Standby”:

Diagram of a Hot Standby 1+1 configuration.



Método de redundancia en el que el sistema primario y secundario funcionan simultáneamente. De esta manera los datos contenidos son los mismos.

- Configuración de Diversidad de Frecuencia:

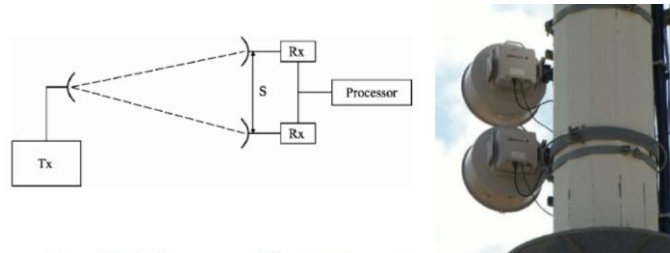


Se dispone de un canal de protección completo de uno a otro extremo, así de cómo un equipo redundante (doble). La misma información se transmite simultáneamente para dos frecuencias distintas. El receptor minimiza el efecto del desvanecimiento recibiendo a cada instante en la frecuencia con la que

más potencia llegue la señal. Resulta más económica que la diversidad de tiempo debido a la disposición más sencilla de los equipos. Sin embargo, el número de frecuencias disponible es limitado y el espectro se congestiona.

- **Diversidad de Espacio:**

- Se puede introducir o no redundancia de equipos, depende de la disposición del sistema. La información se envía en la misma frecuencia por dos trayectos diferentes, mediante una sola antena. Los trayectos se eligen para que no haya desvanecimiento a la vez en cada uno de ellos. Se emplean dos antenas receptoras dispuestas en una torre vertical, siendo la salida una combinación lineal de las señales recibidas, de intensidad prácticamente constante.



Simplified diagram of the equipment in a Hop with Spatial diversity

- **Monitorización y Tratamiento del Sistema:**

- La ayuda de las herramientas de monitorización y tratamiento del sistema es la de obtener tanta información como sea posible sobre el estado del enlace de radio-relé en un momento específico así como hacer más fácil el mantenimiento de las operaciones.
- Los sistemas de tratamiento demandan un continuo flujo de información por telemétrica que accede a los diferentes elementos remotos monitorizados dese el sistema de control.
- La integración con otros sistemas de tratamiento superiores se hace a través de interfaces con protocolos estandarizados.
- Las aplicaciones de mantenimiento y operación incluyen diferentes funciones que se organizan en módulos: tratamiento de errores, tratamiento del comportamiento (rendimiento), tratamiento de la configuración y verificación del BER.
- La función de tratamiento del comportamiento (rendimiento) del sistema recoge, almacena y procesa los datos del comportamiento de todos los elementos de la red de transmisión del enlace de relé de radio y produce informes de calidad adaptados a cada función de operación, mantenimiento y planificación. Los testadores de BER (Bit Error Rate) se emplean para controlar la calidad del comportamiento del sistema.
- La función del tratamiento de la configuración permite configurar los elementos de la red remotamente, proporcionando un inventario permanente del equipamiento de la red.
- Todas estas funciones de tratamiento pueden integrarse en una aplicación incorporada a los elementos de control en bases locales. El acceso a esta aplicación puede darse directamente desde un PC con conexiones USB o

Ethernet. Los enlaces modernos de radio-relé usan accesos remotos basados en tecnología IP.

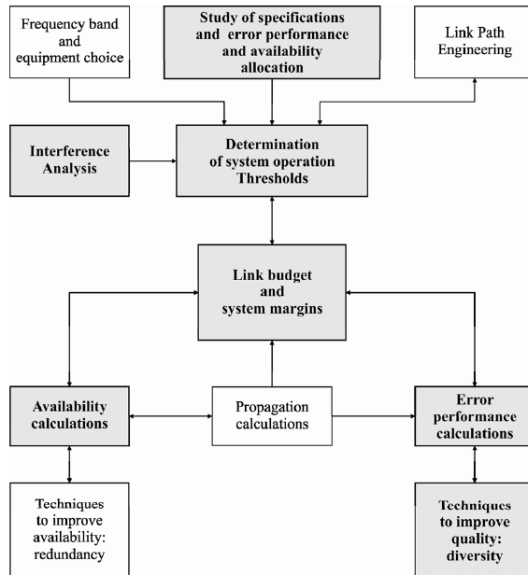
- **Propagación:**

Causa	Efecto	Descripción	Estadísticas	Degradación
Refracción	Curvatura del rayo	Curvatura en el trayecto de propagación seguido por la señal entre Tx y Rx	Depende de las características del gradiente del índice de refractividad a lo largo del trayecto Tx-Rx	Desvanecimiento por la difracción en los obstáculos del terreno durante tramos de curvatura extrema
	Conductos	Propagación confinada entre capas de la troposfera o entre esas capas y la superficie de la Tierra	Depende de la probabilidad con la que ocurren condiciones de super-refractividad en la Troposfera	-Al debilitarse la Tierra plana. -Desvanecimiento selectivo -Larga distancia -Interferencias
	Multitrayecto en la Troposfera	Propagación a través de múltiples componentes que refractan sobre diferentes capas de la Troposfera. La componente reflejada en la Superficie de la Tierra también se suele considerar en el conjunto del multitrayecto	Depende de las características del gradiente del índice de refractividad	-Desvanecimiento selectivo (distorsión) en los sistemas de difusión (enlaces de media y alta capacidad). -Desvanecimiento plano en sistemas de banda estrecha, con enlaces de baja capacidad.
	Ensanchamiento del rayo/haz	Divergencia (no enfocada) de la señal de radio, provocada por diferentes componentes del haz que sufren los diferentes efectos de la curvatura.	Depende de las características del gradiente del índice de refractividad	Aumento del desvanecimiento plano
	Variación del ángulo de disparo y de llegada (Efecto de Desalineación del haz)	Variación del ángulo de disparo y de llegada debido a valores anómalos de refracción. El efecto es un punto de error	Depende de las características del gradiente del índice de refractividad	Desvanecimiento plano

		virtual entre Tx y Rx.		
Difracción del terreno	Atenuación	Difracción en uno o varios obstáculos del terreno o estructuras artificiales	Asociado a las mismas estadísticas del gradiente del índice de refractividad. Bajo condiciones estándar no debería darse difracción en un FWS (Sistema inalámbrico fijo)	Desvanecimiento plano
Efectos de la vegetación	-Atenuación -Depolarización	Absorción asociada a las hojas y ramas de la vegetación, normalmente árboles	Variable en función de los ciclos de viento y el follaje	Desvanecimiento plano, centelleo y depolarización
Absorción troposférica	Atenuación	Absorción de energía de las moléculas formadas en la capa baja de la troposfera: Oxígeno y Vapor de Agua principalmente	Dependiendo, sobre todo, de las estadísticas de densidad del vapor de agua, mientras que la concentración de oxígeno se asume constante.	Atenuación
Hidrometeoros	Absorción	Absorción de energía por las gotas de la lluvia, partículas de la niebla y copos de nieve	Estadísticas de los hidrometeoros, provistas por la ITU-R	Atenuación
	Depolarización	Cambio en la polarización del frente de onda causado por formas no esféricas de las gotas de lluvia, copos de nieve o partículas de hielo	Estadísticas de los hidrometeoros (ITU-R)	Desvanecimiento debido a las pérdidas por desadaptación en la antena, asociadas a la depolarización Interferencia intra-sistema en escenarios de densa reutilización, ambos en el mismo o en distintos enlaces

Diseños básicos de enlaces FWS:

- **Diseño completo:**



- **Fase 1: Estudios preliminares:**

1. Análisis de las especificaciones y estudio de la aplicación: evaluación de las tecnologías de transporte (TDM, PDH/SDH, ATM, IP, Ethernet), requerimientos de capacidad, restricciones posibles...
2. Estudio de la banda de frecuencia apropiada (en algunos casos es una especificación que no puede ser modificada).
3. Selección del equipamiento y estudios de las especificaciones del equipamiento: capacidades, opciones banda base y de multiplexación, actualización del sistema y posibles extensiones, esquemas de redundancia y diversidad permitidos...
4. Estudio de los objetivos del comportamiento de la disponibilidad y los errores y su distribución: recomendaciones de la ITU-T e ITU-R.
5. Primer análisis de la ruta del radio-enlace y del perfil del terreno: identificar el número de saltos y de sitios candidatos.

- **Fase 2: Diseño Detallado del Enlace:**

1. Diseño de un plan inicial de frecuencia.
2. Estudio detallado de de la ruta radioeléctrica (altura de las antenas, criterio de despejamiento...).
3. Asignación de los objetivos de comportamiento (rendimiento) de los errores en las diferentes secciones (saltos): análisis de los umbrales de los sistemas.
4. Diseño del balance de potencia del enlace en cada uno de los saltos: márgenes del sistema y decisión preliminar en cuanto a diversidad y redundancia.

5. Análisis de Interferencia: estudio de las interferencias internas del sistema y optimización del plan de radio-canal. Decisión sobre la necesidad para antenas especiales que podrían mitigar los problemas de interferencia en escenarios de complicada reutilización de frecuencia.

▪ **Fase 3: Instalación, Tests, Operación y Mantenimiento:**

1. Inspección de los obstáculos del trayecto y puntos relevantes: rediseño del lugar y re-cálculo de la altura de la antena.
2. Configuración del equipo e instalación.
3. Tests del sistema para evaluar el BER (Background Bit Error Rates), comprobación de los umbrales del sistema, identificación de problemas de interferencia inesperados, etc.
4. Operación y mantenimiento del enlace.

• **Banda de Frecuencia y Elección del Equipamiento:**

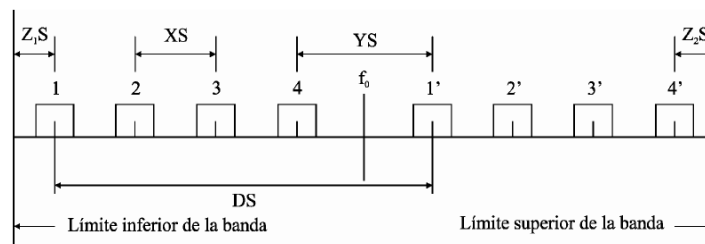
- Capacidad de un enlace LOS Microondas:

$$B_{RF} = (1 + \alpha) V_b \frac{1}{\log_2 M}$$

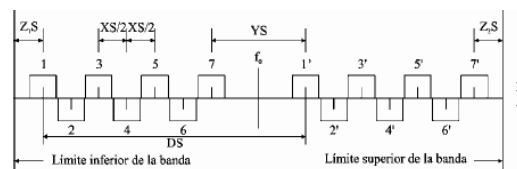
α , factor de roll-off del filtro de canal ($0 < \alpha < 1$);

V_b , Bit Rate Bruto de señal modulada en bit/s; M , nº de niveles de modulación

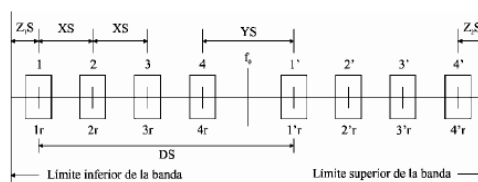
- El "bitrate" neto se incrementa un 5% sobre el bruto.
- Este incremento se produce en las etapas de procesamiento de la información y agregación de datos en banda base.
 - Corrección de Errores Hacia Delante (Forward Error Correction, FEC).
 - Bits adicionales más significativos para mantenimiento, supervisión o servicio interno del sistema.
 - Multiplexación interna de varios flujos de bits estandarizados.
- Planes de Disposición del Radio-Canal:



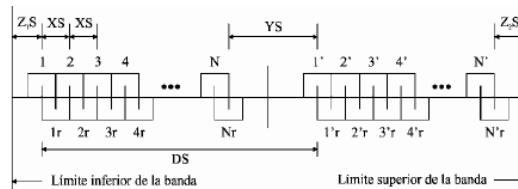
○ Alternado:



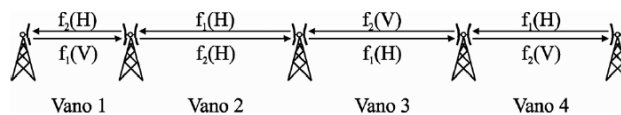
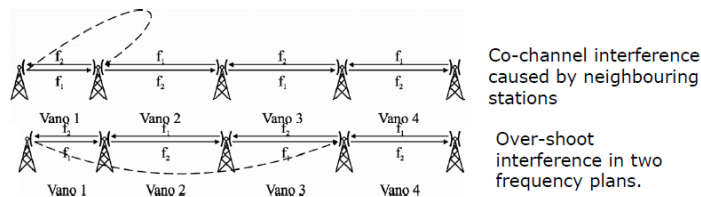
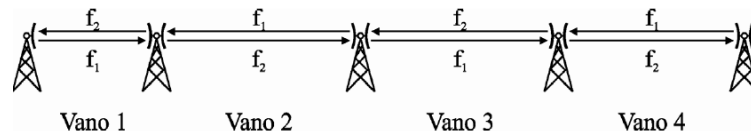
○ Co-canal:



○ Intercalado:

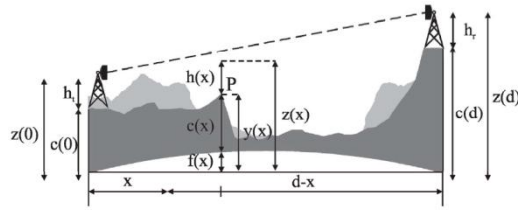


- Planes de Frecuencia: 2 Frecuencias:



- Análisis del trayecto del enlace:**

- También referido como “Análisis de Ingeniería del Trayecto”.
- Estudia las alternativas para proporcionar un trayecto de Línea de Visión Directa (LOS) entre antena transmisora y receptora.
- La altura del despejamiento debe ser suficiente para eliminar la difracción en cualquier caso de irregularidad en la troposfera (sub-refracción severa).
- Cálculos:
 - Localización de cada nodo del enlace (estaciones repetidoras).
 - Dimensionamiento:
 - Lugar de Transmisión.
 - Sala de equipamiento y unidades del sistema.
 - Suministro de potencia.
 - Acceso.
 - Torres.
 - Requerimientos especiales para la instalación de la antena.
 - Problemas de Interferencia.
- El despejamiento, con puntos de visión directa (LOS), se basa en cálculos geométricos:
 - Bases de datos topográficas: extraídas del perfil del trayecto.
 - Trayecto de la señal.
 - Análisis de la difracción o de la reflexión.
- Las herramientas de software proporcionan el soporte para la tarea a la hora de tomar decisiones.
- Extracción del perfil, despejamiento y obstrucciones:



$$f(x) = \frac{x(d-x)}{2kR_0}$$

▪ Elección óptima de la altura de las antenas:

Se requiere un compromiso entre una serie de factores, que incluyen tanto aspectos de propagación como de criterio práctico:

- Garantizar la ausencia de obstáculos que bloqueen la LOS.
- Minimizar la presencia del fenómeno desvanecimiento por “multitrayecto” de propagación: los trayectos con menor inclinación son más proclives a sufrir el multitrayecto.
- Minimizar el impacto de las reflexiones en la superficie de la Tierra: enlaces sobre superficies de agua y, en general, perfiles planos con buena conductividad.
- Minimizar interferencias.
- Referencia de la ITU-R:

1. El despejamiento sobre los más altos obstáculos es igual al primer elipsoide de Fresnel R_1 asumiendo el valor medio del factor k (si el valor medio no está disponible, se supone el valor por defecto $k=4/3$). Esta condición se aplica tanto en climas templados como en climas tropicales.
2. Para el valor efectivo de k , k_e , excedido el 99%:

Clima templado	Clima Tropical
Despejamiento: 0.0 R_1 (por ejemplo terrenos de pasto) si sólo hay un único obstáculo aislado en el trayecto	Despejamiento: 0.6 R_1 para longitudes del trayecto mayores de 30 km
Despejamiento: 0.3 R_1 si la obstrucción en el camino se extiende a lo largo de una porción del trayecto	

• **Análisis del Umbral:**

▪ El enlace será diseñado de acuerdo a dos criterios:

- Disponibilidad:
 - Estadísticas asociadas a períodos donde el enlace se degrada severamente, donde podría decirse que el enlace se encuentra en un estado equivalente a inactividad.
 - Causas de la indisponibilidad: Errores en el Equipamiento y Absorción de Lluvia.

- Parámetros para el Objetivo de Diseño: Balance de Potencia en el enlace (pérdidas fijas) y Estadísticas de Desvanecimiento por lluvia.
- Comportamiento (rendimiento) de los errores:
 - Estadísticas asociadas a períodos donde el enlace se encuentra activo. La degradación podría ocurrir, pero no por debajo del umbral de disponibilidad.
 - Causas de la degradación en el comportamiento (rendimiento) de los errores: Desvanecimiento plano (lento), Desvanecimiento Selectivo.
 - Parámetros para el Objetivo de Diseño: Balance de Potencia en el enlace (pérdidas fijas) y Estadísticas de Desvanecimiento Plano (sólo se el Desvanecimiento Plano es el factor clave).
 - Si el Desvanecimiento Plano presenta ajustes en el balance de potencia del enlace (PIRE, Ganancia de la Antena Rx, etc.) tiene un pequeño impacto en el comportamiento del sistema.
- Parámetros de error asociados con el BER y el umbral de potencia:

Criterion		ITU Recs.	B.E.R	Associated Power Threshold
SESR	Availability	ITU-T: G.821, G.827 ITU-R F.1703	10^{-3}	T_{h3}
SESR	Error Performance	ITU-T: G.826, G.828, G.829 ITU-R F.1668	10^{-6} ; $1,7 \cdot 10^{-5}$	T_{h6} ; T_{h5}
BBER	Error Performance	ITU-T: G.826, G.828, G.829 ITU-R F.1668	10^{-12}	T_{h12}

- Los umbrales son proporcionados frecuentemente por el fabricante. Si este no fuera el caso, como dependen del esquema de modulación y del ruido interno de las unidades receptoras, será necesario obtenerlos a través de cálculos para cada esquema de modulación y codificación, más una penalización asociada a la implementación práctica.
- Para obtener los márgenes, el primero paso es calcular el umbral de potencia asociado a los eventos de error (actualmente el BER).
- Los umbrales están relacionados con el parámetro “w” necesario para obtener el umbral de potencia en el receptor.

$$w = \frac{e_b}{n_o} = \frac{T_h}{kT_o fR}$$

or in dB units:

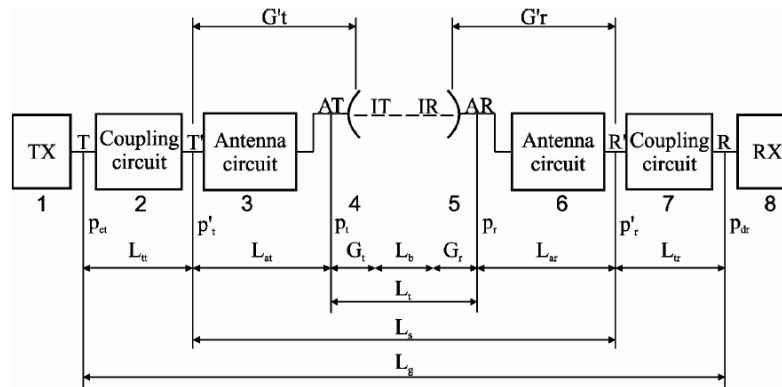
$$T_h (dBm) = W (dB) + F (dB) + 10 \log R (bits / s) - 174$$

Donde, T_h , es el umbral del nivel de potencia asociado a un BER específico; k, constante de Boltzmann; T_o , Temperatura estándar (270°); f, figura de ruido del receptor; R, “bitrate”.

- Los valores del VER (10^{-3} y 10^{-6}) pueden asociarse con $w=E_b/N_0$ para diferentes esquemas de modulación:

	E_b/N_0 (dB) @ (BER=10 ⁻³)	E_b/N_0 (dB) @ (BER=10 ⁻⁶)
BPSK	6.8	10.5
QPSK	6.8	10.5
4DPSK	9.1	12.8
8 PSK	10.0	13.8
16 QAM	10.4	14.4
64 QAM	14.7	18.8
256 QAM	19.3	23.5

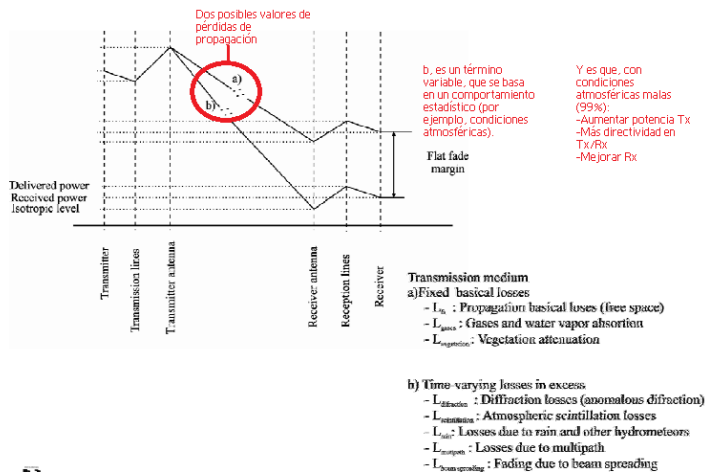
- **Balance de Potencia en el enlace y márgenes:**
 - Balance de potencia en el enlace:



$$P_{rx} = P_{et} - L_{tt} + G_t - L_b + G_r - L_{tr}$$

- P_{tx} (dBm): Potencia entregada por el Transmisor al circuito de la antena.
- P'_t (dBm): Potencia entregada a la antena real a la entrada del circuito de la antena (con pérdidas).
- P_t (dBm): Potencia virtual entregada a la antena ideal sin pérdidas y equivalente al total de potencia radiada.
- PIRE (dBm): Potencia Radiada Isótropa Equivalente en la dirección hacia el receptor.
- P_r (dBm): Potencia disponible (virtual) en la antena receptora ideal (sin pérdidas).
- P'_r (dBm): Potencia disponible (real) a la salida del circuito de la antena (entrada de la red de adaptación).
- P_{rx} (dBm): Potencia disponible a la entrada del receptor.
- L_{tt} , pérdidas en la Distribución de la Antena y en los Circuitos de Adaptación, entre los interfaces T y T'.
- L_{at} , pérdidas en los Circuitos de la Antena, en el lado Transmisor, entre los interfaces T' y AT.
- L_{tr} , pérdidas en los Circuitos de Distribución y Adaptación conectando la Antena y el Receptor, entre los interfaces R' y R.
- L_{ar} , pérdidas en los Circuitos de la Antena en el lado Receptor, entre los interfaces R' y AR.
- L_b , pérdidas básicas de propagación, en función de la distancia, frecuencia y mecanismos de propagación.

- L_t , pérdidas de transmisión. Se calculan como las pérdidas básicas de propagación menos las ganancias de la antena ideal ($T_x + R_x$).
- L_s , pérdidas del sistema. Representan la diferencia en los niveles entre la entrada de la antena real en transmisión y la salida de la antena real en el lado receptor.
- L_q , pérdidas totales, definidas entre la salida del transmisor y la entrada del receptor.



- Determinación de los umbrales de operación del sistema y de los márgenes del sistema:
 - Margen Bruto y Ganancia del Sistema:

- Margen Bruto, también llamado margen térmico de ruido o margen de desvanecimiento plano, es la diferencia entre el nivel recibido en condiciones nominales y el nivel de potencia umbral. Si designamos el Margen Bruto como M_3 , M_5 , M_6 y M_{12} asociados a un BER de 10^{-3} , $1,7 \times 10^{-5}$, 10^{-6} y 10^{-12} .
- Siendo C (dB) la potencia recibida, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 M_3 &= C - T_{h3} & GS_3 &= P_t - T_{h3} \\
 M_5 &= C - T_{h5} & GS_5 &= P_t - T_{h5} \\
 M_6 &= C - T_{h6} & GS_6 &= P_t - T_{h6} \\
 M_{12} &= C - T_{h12} & GS_{12} &= P_t - T_{h12}
 \end{aligned}$$

- **Análisis de la Interferencia. Instalación y Test:**

- Cálculos de Propagación:
 - Pérdidas y Desvanecimiento asociados a diferentes fenómenos de propagación:

Pérdidas Básicas de Propagación	L_{fs}	Pérdidas de Espacio Libre
Pérdidas Fijas Básicas excediendo las de espacio libre L_{bexc}	L_{gases}	Absorción por Gas (O_2) y vapor de agua (H_2O)
	$L_{vegetación}$	Valores de atenuación por la vegetación
Pérdidas Variables	$L_{difracción}$	Difracción en obstáculos

Básicas excediendo las de espacio libre L_{bexv}		(causada por valores anómalos de refracción)
	$L_{centelleo}$	Desvanecimiento por Centelleo en la Troposfera
	$L_{hidrometeoros}$	Desvanecimiento por la lluvia y otros hidrometeoros
	$L_{multitrayecto}$	Desvanecimiento por multitrayecto, incluyendo efectos de reflexión en la superficie de la Tierra y multitrayecto debido a varios fenómenos de refracción en las capas altas de la Troposfera
	L_{XPD}	Pérdidas por depolarización (asociadas a hidrometeoros y valores anómalos de refracción)
$L_{desalineación}$ $L_{ensanchamiento\ del\ haz}$	Pérdidas causadas por valores anómalos de refracción	

<i>Frecuencia</i>	<i>Fenómeno de Propagación</i>	<i>Perturbaciones en el radio-enlace</i>	<i>Objetivo afectado</i>
$F_0 < 10$ GHz	Refracción anómala ⁽¹⁾	Enlaces de media y alta capacidad: Distorsión o Desvanecimiento selectivo	Comportamiento (rendimiento) del error
		Enlaces de baja capacidad: Desvanecimiento plano	Disponibilidad y (rendimiento) del Error ⁽²⁾
$F_0 > 10$ GHz	Hidrometeoros	Desvanecimiento Plano	Disponibilidad

(1) Nosotros asumimos la ruta diseñada en un camino en el que no hay pérdidas por difracción relacionadas a la sub-refracción.

(2) Nosotros no tenemos datos para predecir la duración de los efectos de refracción anómala. En saltos de una longitud típica por debajo de los 10 GHz, nosotros asumimos que los objetivos de disponibilidad se cumplen si los objetivos de comportamiento (rendimiento) del error lo hacen.

- Impacto del fenómeno de propagación:

- Una de las recomendaciones de la ITU-R proporciona los métodos de predicción para los efectos de propagación que deberían ser tenidos en cuenta en el diseño de enlaces fijos digitales LOS:
 - Métodos para calcular las estadísticas de absorción de lluvia (objetivo de disponibilidad).
 - Métodos para calcular las estadísticas por Desvanecimiento Plano (objetivo de rendimiento del error).
 - Métodos para calcular estadísticas de Desvanecimiento Selectivo (objetivo de Rendimiento del error).
 - Métodos para calcular otras fuentes de perturbación: Reducción del XPD (polarización cruzada).
 - Métodos para calcular el impacto de los esquemas de Redundancia y Diversidad.