

1. Tecnología y alcance del proyecto

1.1. Introducción a los radioenlaces inalámbricos

En las últimas décadas se ha adoptado comúnmente el término de “sociedad de la información” para referirse al tipo de sociedad en la que vivimos. Lo que se manifiesta a menudo en una imperiosa necesidad de acceso a las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) por parte de empresas y corporaciones tanto privadas como públicas.

Aún así, a menudo el demandante de acceso a esta tecnología hace frente a un déficit en las necesidades necesarias para garantizar dicho acceso debido a varias razones.

Una de las causas más comunes en la época actual puede ser las dificultades financieras que conllevan un alto costo de los gastos de capital (CAPEX) de adquisición y de los gastos operativos (OPEX) de las infraestructuras necesarias para algunos tipos de redes de información, por ejemplo las redes cableadas y de fibra óptica que conllevan un alto desembolso inicial en equipos así como en obra civil y un importante costo de mantenimiento.

Otra razón común es la denominada “brecha digital” presente en algunas zonas debido a su localización (regiones rurales o de difícil acceso por ejemplo) o por desigualdades económicas o sociales impidiendo un acceso equitativo a las tecnologías de la información.

Una de las alternativas tecnológicas más comunes son las tecnologías de redes inalámbricas las cuales se identifican según varios criterios de clasificación.

Un criterio extendido de clasificación de redes inalámbricas es aquel basado en según su alcance geográfico o ámbito de acción:

- **Redes inalámbricas de área personal (WPAN):** Rango de acción limitado, restringido a distancias del orden de unas decenas de metros. El estándar más representativo es el IEEE 802.15.1 (Bluetooth), UWB o IEEE 802.15.4 (Zigbee)¹
- **Redes inalámbricas de área local (WLAN):** Ideadas para coberturas de unos pocos centenares de metros, las que han experimentado un mayor despliegue principalmente debido al estándar IEEE 802.11 (WiFi) y sus numerosas variantes.
- **Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN):** Rango de acción aproximado de cerca de 20 Km, uno de los estándares destacados en la actualidad es el 802.16 (WiMAX) además de las tecnologías propietarias inspirándose en el estándar anterior aún sin cumplirlo comúnmente conocidas como Pre-Wimax o Post-WIFI englobándose a menudo ambas bajo la

¹ También se clasifican como Redes inalámbricas de área corporal (WBAN): Rango de acción muy limitado, sensores implantados o acoplados al cuerpo para monitorizar parámetros vitales que se envían a una estación base para ser analizados.

denominación BWA. Otros estándares en retroceso respecto a los anteriormente mencionados son LMDS y BRS (anteriormente conocido como MMDS)

- **Redes Inalámbricas de Área Extensa (WWAN):** Redes con la cobertura más amplia, hasta 100Km. Entre los estándares más representativos de este tipo de redes están IEEE 802.20, UMTS, LTE...

Otra clasificación de las tecnologías inalámbricas puede ser aquella en base al criterio de su grado de movilidad:

- **Fijo:** Tal y como indica su nombre, los equipos carecen de toda movilidad, estando siempre en una ubicación fija.
- **Nómada:** El uso normal de esta tecnología es una posición estacionaria, pero con la posibilidad de moverse fácilmente aunque no se asegure la operatividad de los equipos durante los desplazamientos.
- **Móvil:** Estas tecnologías están pensadas para ser usadas mientras se está en movimiento.

En la siguiente figura se presenta un diagrama combinando ambas clasificaciones así como su evolución en las últimas décadas.

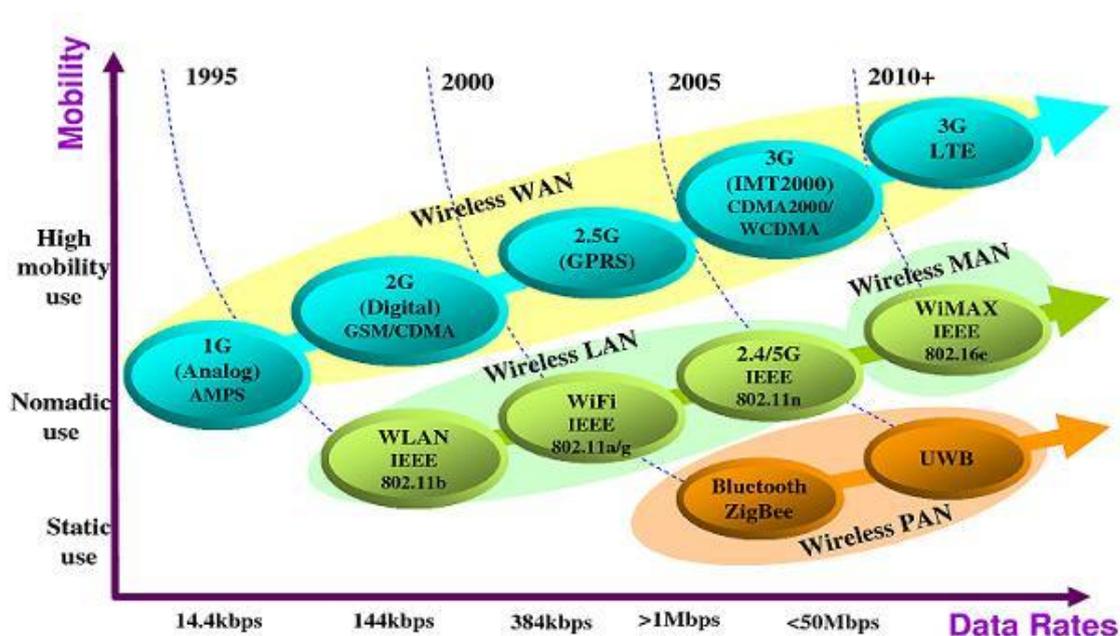


Figura1. 1 Clasificación de redes inalámbricas

Entre las distintas tecnologías inalámbricas, son de especial interés para el ámbito del presente proyecto los radioenlaces en microondas fijos terrestres para los cuales son especialmente relevantes las siguientes clasificaciones adicionales:

- **Según la tecnología en la que están basados**, Ethernet (IP), TDM(PDH o SDH) o Híbridos.
- **Según el tipo de Duplexión que usa una pareja de equipos para comunicarse entre ellos**, Por división en el tiempo (TDD) o en la frecuencia (FDD).
- **Según si son sujetos a licencia**, como los radioenlaces de alta capacidad de las bandas de frecuencias de 6 a 38GHz o sistemas Wimax, o si al contrario no están sujetos a licencia aplicándoles la denominación de bandas de frecuencia de uso común², como es el caso de los sistemas Pre-Wimax en la banda 5GHz u otras bandas de frecuencia como la de 2.4GHz.
- **Según su nivel de conexión de la parte de la red a la que pertenecen**:
 - Red Troncal³: Parte principal de la red interconectando sedes distantes, núcleos de población o municipios.
 - Red de Acceso: Parte de la red conectando los nodos finales de usuario a la red troncal.

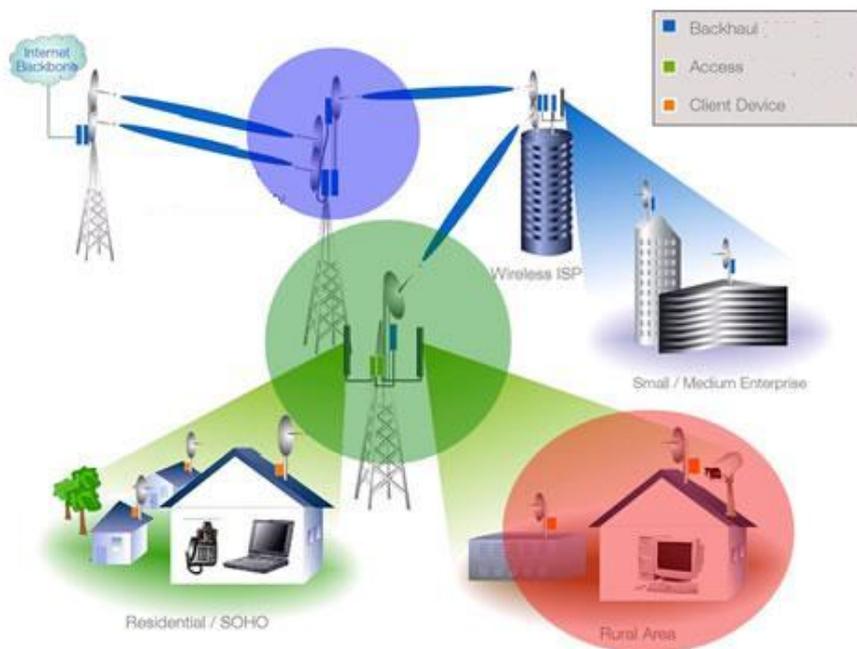


Figura1. 2 Clasificación de redes de radioenlaces

² Que una banda de frecuencia sea de uso común no implica que carezca de regulación de hecho suelen ser sujetas a restricciones mas estrictas en algunos aspectos, por ejemplo en cuanto a la PIRE de los sistemas que la conforman.

³ En ingles Backhaul

- **Según la topología funcional de los radioenlaces:** Distinguiéndose de ese modo entre radioenlaces punto a punto (PtP) y punto a multipunto (PtMP). Los cuales se pueden combinar entre si para dar lugar a topologías mas complejas como por ejemplo topologías malladas.

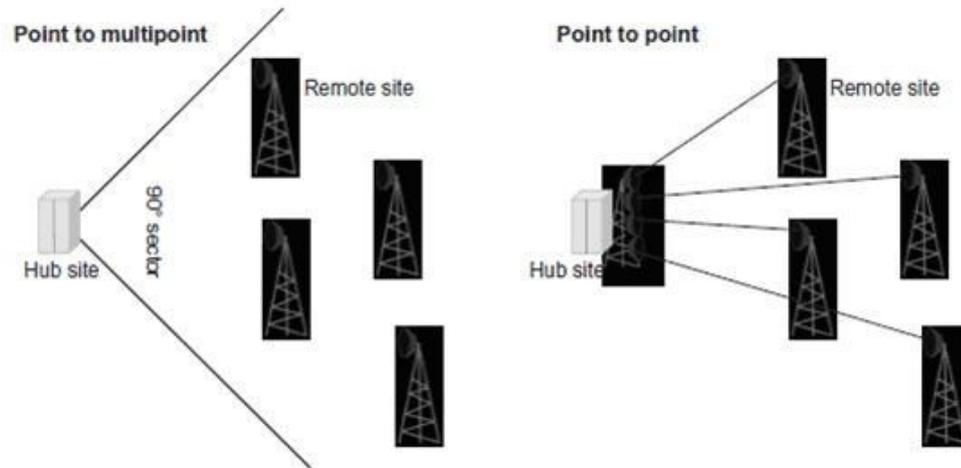


Figura1. 3 Diagrama de radioenlaces PtP y PtMP

Los radioenlaces en microondas presentan ventajas adaptándose a los casos con dificultades de despliegue de redes cableadas aunque presenten algunos inconvenientes. Esas tecnologías se extienden en rangos de frecuencias desde menos de 1GHz a frecuencias del orden de decenas de GHz.

Se mencionan abajo algunas aspectos tanto positivos como negativos de las tecnologías de radioenlaces respecto a las tecnologías cableadas.

Ventajas

- Habitualmente suponen un menor CAPEX y OPEX facilitando la gestión económica.
- Mayor rapidez y sencillez de la instalación y del mantenimiento permitiendo un despliegue adecuado para necesidades urgentes como en el caso de desastres naturales por ejemplo.
- El terreno no supone un obstáculo crítico (montañas, mar, zonas aisladas...) ya que las infraestructuras y obras civiles necesarias son en comparación mínimas.
- El medio de transmisión, el aire, es de características constantes o previsibles según las tecnologías elegidas siendo los equipos los únicos que deben de certificarse y regularse.
- Tecnologías con gran capacidad de adaptabilidad y facilidad en cuanto al reacondicionamiento y la reubicación física (cambio de longitud y división en vanos de radioenlaces, uso de repetidores pasivos y activos, cambios de altura y tipo de antenas, sustitución de cableados y accesorios...) así como en cuanto a reutilización y escalabilidad de equipos.

Inconvenientes

- El interfaz de transmisión es el aire por lo que es un medio compartido y de fácil implicando que el espectro de frecuencias usadas por estas tecnologías es un bien escaso, lo que conlleva una fuerte carga regulatoria y normativa de su uso. Se hace necesario separar en bandas de frecuencias y racionalizar su uso para evitar usos inadecuados del mismo y sus consecuencias negativas (fallos de seguridad, interferencias...). Esto ha llevado a definir organizaciones de regulación del espectro radioeléctrico (las UN del CNAF), varias entidades reguladoras de ámbito nacional (SETSI en España, FCC en los Estados Unidos , IC en Canadá...) y organismos internacionales (ETSI, ITU-R, IEEE...) incluso consorcios privados (Wimax Forum).
- El interfaz de transmisión es el aire por lo que se ve afectado por diversas fuentes de pérdidas y otros condicionantes entre los que nombramos algunos de los más comunes:
 - Pérdidas en espacio libre
 - Reflexión
 - Refracción
 - Absorción
 - Desvanecimiento plano y por multitrayecto⁴.
 - Lluvias
 - Gases atmosféricos y vapores de agua
 - Difracción o atenuación por obstáculos, vegetación....
- Un aspecto importante que condiciona fuertemente el correcto funcionamiento de un vano o radioenlace es la disponibilidad de visibilidad radioeléctrica o línea de vista (LOS). En caso de tener obstáculos se diferencia entre línea de vista parcialmente obstruida (nLOS) y aquella completamente obstruida(NLOS). Reseñar en cuanto a este punto que el concepto de línea de vista radioeléctrica es diferente al de la visual, ya que el haz de transmisión no es lineal sino que forma una elipsoide basándose en el concepto de zonas de Fresnel según se detallará mas adelante.

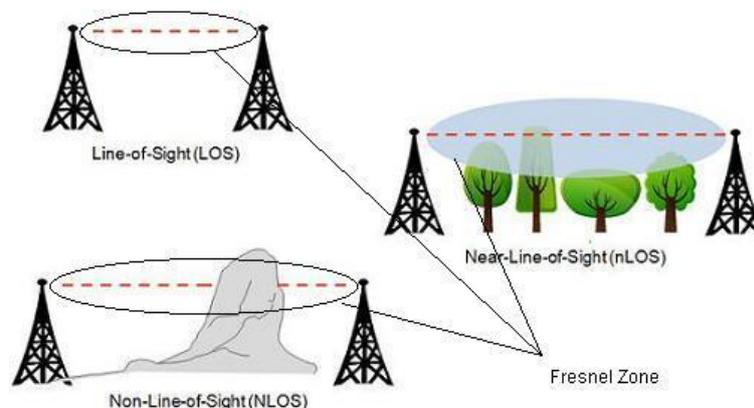


Figura1. 4 Tipos de Líneas de vista

⁴ *Multipath fading* en Inglés

Por todo lo explicado hasta el momento queda patente que es de vital importancia realizar de forma correcta y fiable el diseño y la planificación de las redes de radioenlaces como paso previo a su despliegue.

Dicha planificación implica cálculos y conocimientos de perfiles del terreno que serían inviables a no ser que se recurra a algunos de los programas y herramientas SW disponibles para ello.

Hay una variedad de herramientas SW no propietarias disponibles para la planificación, el diseño y la simulación de los radioenlaces de servicio fijo e incluso para otros tipos de tecnologías inalámbricas, como por ejemplo Atoll, PathLoss, Radio Mobile...

Por otro lado en un entorno laboral se recurre también muchas veces a herramientas propietarias de alguno de los fabricantes por las facilidades que presentan para el diseño de una red de radioenlaces con la tecnología concreta que se pretende desplegar.

Lo que nos lleva al alcance de este proyecto que se explicará en el siguiente apartado.

1.2. Alcance del proyecto

El objetivo fundamental del presente proyecto fin de carrera es introducir una herramienta propietaria de diseño de redes de radioenlaces escenificando así el potencial y la utilidad de este tipo de herramientas para la correcta planificación de una red de radioenlaces con la consiguiente optimización de CAPEX (nuevas infraestructuras, equipos y accesorios, necesarios) y OPEX (ayuda a una correcta planificación de trabajos de instalación y acomodación de infraestructuras existentes).

La herramienta propietaria elegida es la herramienta RPlanner del fabricante Radwin. Con lo cuál, el presente proyecto se centrará en explicar y ejemplificar de forma exhaustiva el uso de dicha herramienta para la planificación radioeléctrica de redes de radioenlaces en base a la tecnología de este fabricante.

Están fuera del alcance del proyecto los aspectos de diseño y planificación de conectividad de los flujos de tráfico IP proporcionados por dicho radioenlaces.

Para lo cuál se detalla a continuación la estructura de los apartados conformando el presente proyecto:

1. **Tecnología y alcance del proyecto**

En el presente apartado se realiza en primer lugar una introducción genérica al ámbito tecnológico del proyecto, las distintas tecnologías de redes inalámbricas disponibles, haciendo especial hincapié en realizar una introducción a los radioenlaces terrestres fijos y a los aspectos relativos a su planificación. En segundo lugar se incluye el presente apartado detallando el alcance y la estructura del presente proyecto. En tercer y último lugar se realiza una explicación específica de la tecnología que se empleada en el presente proyecto perteneciente al fabricante Radwin.

2. **Base teórica de la herramienta RPlanner**

Apartado donde se incluye una explicación de los datos y métodos de cálculo implementados por la herramienta RPlanner.

3. **Uso de la herramienta RPlanner**

Recoge una extensa explicación de las distintas funcionalidades de la herramienta RPlanner, incluyendo así una explicación exhaustiva de los diferentes menús y utilidades incluidos como parte de la herramienta RPlanner. Se proporciona también una extensa representación visual explicativa con imágenes de los mapas y los menús informativos disponibles a través de esta herramienta. Así mismo para ejemplificar el procedimiento a seguir para el uso de la herramienta se idean dos redes o planos modelos con topologías elementales punto a punto y punto a multipunto en Sevilla capital, incluyendo los resultados detallados de ambos diseños en dos informes obtenidos directamente de la herramienta RPlanner al final del documento como anexos 1 y 2 respectivamente.

4. Plan modelo de una red corporativa

Apartado incluyendo la planificación de una red troncal corporativa modelo cercana a la realidad en una localidad genérica en la provincia de Sevilla. Se indican detalladamente los requerimientos y especificaciones de la red a planificar basándose en las funcionalidades y utilidades de la herramienta RPlanner previamente explicadas en el apartado 3. Se detallan así mismo las prescripciones establecidas y las consideraciones de planificación para llegar a su cumplimiento y verificación. También se incluirá el informe obtenido de la herramienta RPlanner en el apartado 5 a continuación.

5. Informe de plan modelo de una red de radioenlaces corporativa

Informe obtenido de la herramienta RPlanner incluyendo los resultados de la planificación de la red corporativa modelo en el apartado 4. Dicho informe se ha editado y reorganizado para poner en relieve la capacidad de adaptación del mismo a las necesidades del planificador.

6. Conclusiones

Exposición de las conclusiones extraídas de la realización del presente proyecto y de las recomendaciones en cuanto a las actuaciones y las líneas de trabajos posteriores a llevar a cabo tras su finalización.

7. Anexo 1:

Informe obtenido de la herramienta RPlanner incluyendo resultados de planificación del plan punto a punto modelo.

8. Anexo 2:

Informe obtenido de la herramienta RPlanner incluyendo resultados de planificación del plan punto a multipunto modelo.

9. Anexo 3:

Hojas de especificaciones⁵ de los equipos empleados en el presente proyecto.

10. Anexo 4:

Glosario incluyendo el listado en orden alfabético de los acrónimos usados en el de la memoria del proyecto y su significado.

11. Anexo 5:

Referencias bibliográficas y enlaces Web usados en la elaboración del presente proyecto.

⁵ En inglés *Datasheets*

1.3. Equipamiento propuesto

En este apartado se definen las características del equipamiento del fabricante Radwin utilizado para la implementación del presente proyecto. Con el cuál se ofrece conectividad para un amplio rango de aplicaciones:

- Operadores Móviles, Backhaul Rural y Urbano.
- Proveedores de Servicio Fijo e ISPs, red troncal IP para telefonía móvil de tercera generación y banda ancha
- Acceso para grandes corporaciones
- Redes Privadas
- Gobierno, Utilities, Transporte, Educación, Sanidad, Empresas
- Seguridad y Video vigilancia (CCTV)

A continuación se enumeran las características generales y radioeléctricas más destacadas del equipamiento del fabricante Radwin empleado para la realización del presente proyecto.

1.3.1. Características generales

- Topologías Punto a Punto (PtP, Familia Radwin 2000) y Punto a Multipunto (PtMP, Familia Radwin 5000)

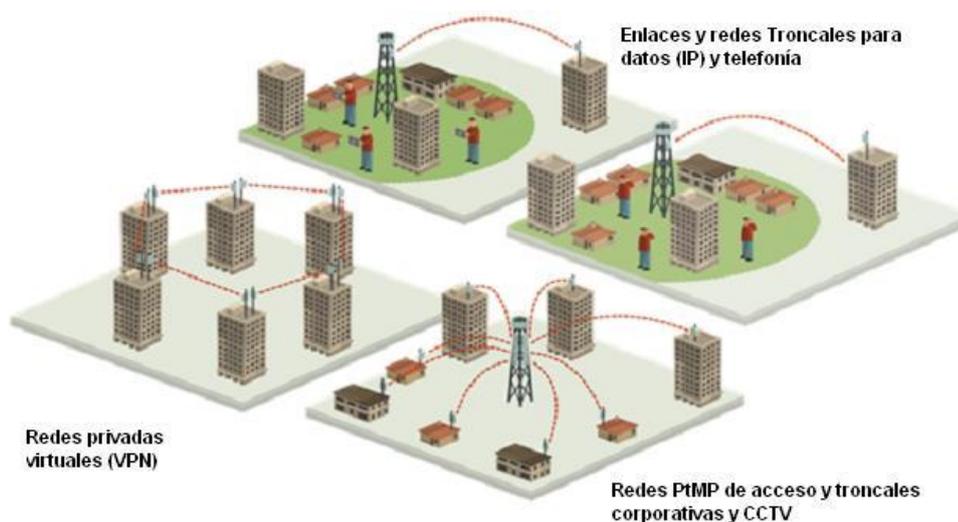


Figura1. 5 Topologías y aplicaciones Radwin

- Soporte de tráfico tanto PDH nativo como Ethernet nativo. Equipos de interior Ethernet PoE con un solo puerto Ethernet e IDUs con múltiples puertos Ethernet. Soportando un modo funcionamiento transparente de tráfico Ethernet o con aplicación de técnicas como la gestión de VLAN, QinQ y QoS.

- Gestión de equipo vía Ethernet y SNMP con capacidad de envío de mensajes (traps) a sistemas de gestión global de red tanto propietario como de otros fabricantes.
- Enlaces de alta capacidad hasta 200 Mbps de tasa de servicio agregada neta por enlace para PtP y por sector para PtMP. Se dispone de anchos de banda de canal configurables 5/10/20/40 MHz dependiendo de las restricciones regulatorias vigentes en cada país o región. Se ofrecen equipos en varias bandas de frecuencia 2.3-2.7GHz, 3.3-3.8GHz y 4.4-6.4GHz con un interfaz radio patentado, siendo de especial interés para este proyecto la banda de frecuencia de uso común en 5.4 GHz
- Posibilidad de balanceo de tasa Ethernet simétrica por defecto, 50% bajada-50% subida, reconfigurable de modo asimétrico hasta un máximo de 92%-8% en cualquiera de los dos sentidos.

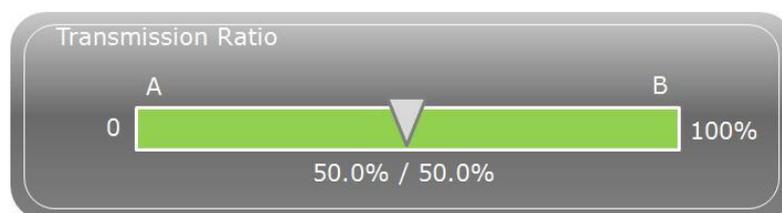


Figura1. 6 Tasa asimétrica

- Técnica de seguridad como clave de enlace, distintos niveles de acceso y técnica de cifrado de bloque AES con claves de 128 bits.

1.3.2. Características radioeléctricas

Se realiza hincapié en las características radioeléctricas del equipamiento al ser el conocimiento de estas características determinante para realizar la planificación radioeléctrica.

- Se implementa de técnicas dinámicas de gestión de frecuencia y potencia:
 - Selección dinámica de frecuencia (DFS) permitiendo evitar interferencias co-canal con sistemas de radar identificando las frecuencias donde operan estos últimos y “falsos radares” como se suele denominar a emisiones de otros equipos que se pueden identificar erróneamente como radares.
 - Selección Automática de frecuencia (ACS) que permite definir los canales de frecuencia disponibles para que un equipo transmita en ellos. Se realiza un barrido entre los canales habilitados en caso de corte de señal.

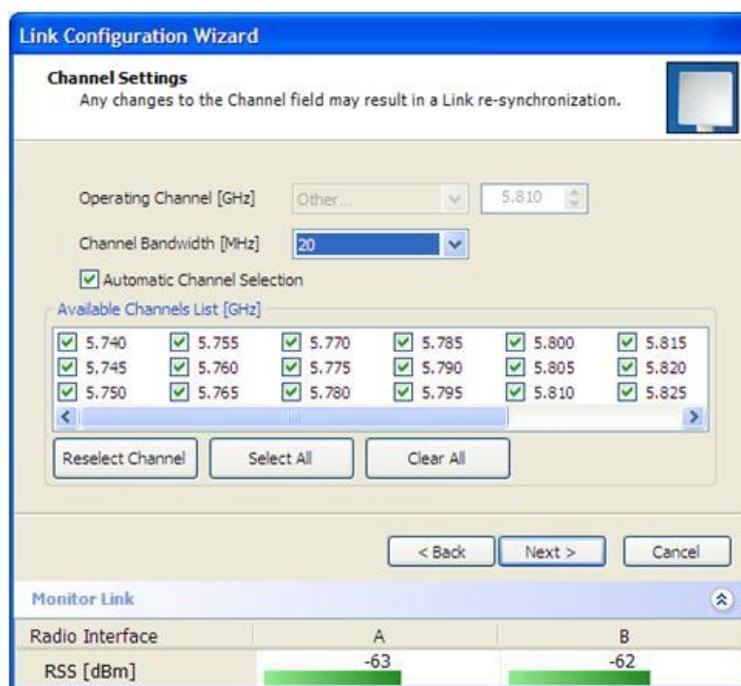


Figura1. 7 Selección automática de Canal

- Vista de espectro la cual permite realizar una evaluación de las interferencias en los canales de frecuencia entre aquellos seleccionados por ACS e identificar aquellos en los cuales se han detectado radares.

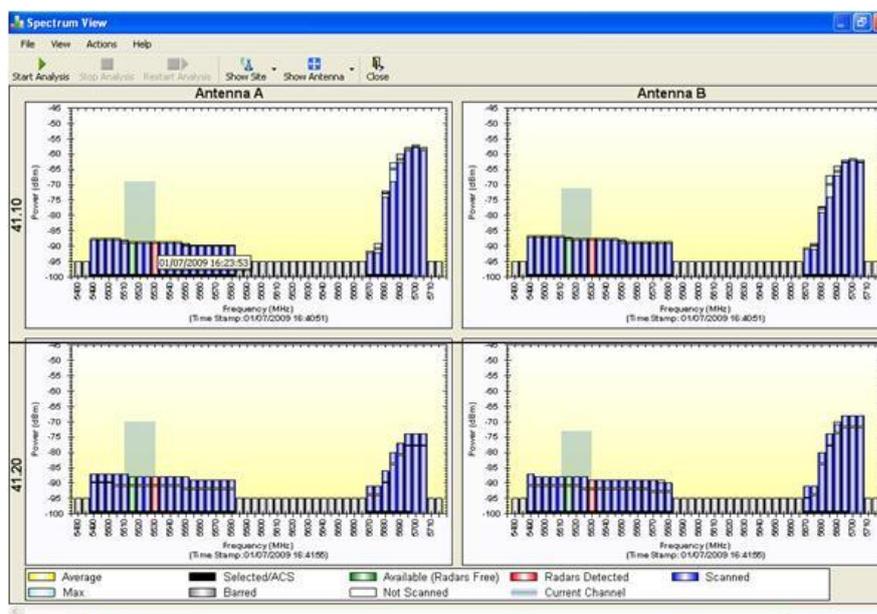


Figura1. 8 Vista de Espectro

- Control de potencia de transmisión (TPC) limitando automáticamente la potencia de transmisión de los equipos de radiofrecuencia, lo que garantiza el respeto de las limitaciones de dicha potencia establecida por la regulación vigente en una determinada región para minimizar las interferencias con otros equipos y tecnologías operando en la misma banda de frecuencia.
- Esquemas de modulación BPSK/QPSK/16QAM/64QAM con mecanismos de corrección de errores:
 - Corrección de errores hacia adelante (FEC) para corregir errores en el receptor sin necesidad de retransmisión. Se realiza introduciendo redundancia en la información transmitida con algoritmos predeterminados, Códigos Correctores de Errores (ECC)
 - Implementación propietaria de solicitud automática de repetición (ARQ) según la que se solicita inmediatamente la retransmisión de la información cuando se detecta un error en el receptor mediante el uso de asentimientos positivos y negativos (ACK y NACK).

- Modulación y codificación adaptativas
Además de asignarle a un radioenlace punto a punto o a un sector punto a multipunto esquemas fijos de modulación, se pueden configurar para que cambien dinámicamente la modulación y la tasa aérea de transmisión adaptándose a la variaciones de las condiciones radioeléctricas: lluvia, desvanecimientos, interferencias...

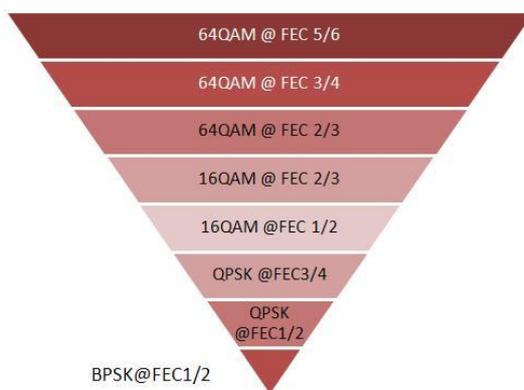


Figura1. 9 Niveles disponibles con modulación y codificación adaptativas.

- Se reflejan en la tabla en la figura 1.10 las especificaciones de rendimiento espectral para las canalizaciones disponibles en cumplimiento de las regulaciones en vigor según la ETSI adoptadas en España y otros países de la unión Europea. Se incluyen los datos siguientes: tasas en el aire y tasa de servicio simétrica alcanzable (Throughput) con polaridad simple o doble, esquemas de modulación, FEC y sensibilidad para una tasa de error de bit (BER) menor a $10e^{-11}$

Air Rate – Dual Antenna [Mbps] @ 40MHz CBW	27	54	81	108	162	216	243	270
Throughput– Dual Antenna [Mbps] @ 40MHz CBW	10	21	32	43	64	85	96	100
Air Rate – Single Antenna [Mbps] @ 40MHz CBW	13	27	40.5	54	81	108	121.5	135
Throughput– Single Antenna [Mbps] @ 40MHz CBW	--	10	16	22	32	43	49	53
Air Rate – Dual Antenna [Mbps] @ 20MHz CBW	13	26	39	52	78	104	117	130
Throughput – Dual Antenna [Mbps] @ 20MHz CBW	4.9	10.2	15.5	20.8	30.7	41.3	46.6	51.7
Air Rate – Single Antenna [Mbps] @ 20MHz CBW	6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
Throughput – Single Antenna [Mbps] @ 20MHz CBW	--	5	7.6	10.3	15.6	21	23.6	25.9
Modulation	BPSK	QPSK		16QAM		64QAM		
FEC [k=]	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4	5/6
Sensitivity (dBm) @BER $10e^{-11}$ @ 20 & 40 MHz CBW For 10 MHz CBW, deduct 3 dBm	-88	-86	-83	-81	-77	-72	-70	-67

Figura1. 10 Tablas de especificaciones de eficiencia espectral

- Técnicas de transmisión radioeléctricas avanzadas entre las cuales está OFDM, así como la posibilidad de elegir entre un funcionamiento MIMO o con diversidad espacial usando antenas directivas ya sean parabólicas o de panel.

- OFDM

La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales u OFDM es un procedimiento por el cual se transmiten varios canales paralelos de baja velocidad a través de un único canal de comunicación.

Se usan así distintas porciones del espectro radioeléctrico ortogonales entre sí denominadas sub-portadoras para cada canal radio, de modo que individualmente las sub-portadoras no se ven afectadas por las distorsión entre símbolos adyacentes (ISI)

Cuando los datos están codificados a lo largo de todas las sub-portadoras, las interferencias de banda estrecha se pueden mitigar fácilmente descartando la sub-portadora donde dicha interferencia es persistente.

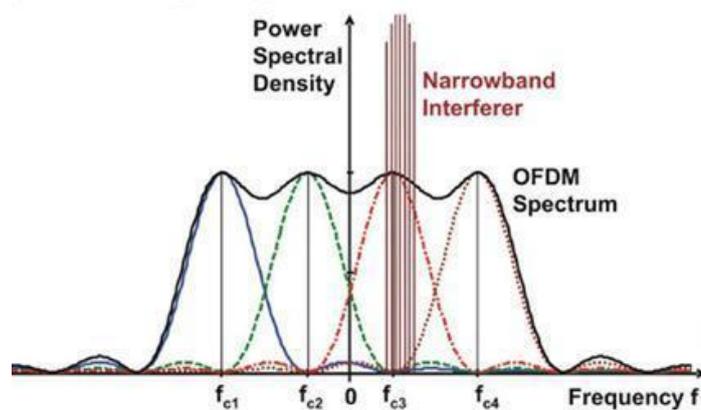


Figura1. 11 Espectro OFDM, Interferencia de banda estrecha

En el dominio de la frecuencia, el espectro de cada sub-portadora es una función sinc ($\text{sinc}_N(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$) que se anula cada f_0 . Como el espaciado de las sub-portadoras es el mismo no hay interferencia entre ellas.

El espectro total OFDM es de forma prácticamente rectangular, por lo que OFDM tiene una muy alta eficiencia espectral proporcionando una robustez contra interferencia o desvanecimientos selectivos y de RF.

- MIMO, Múltiple Entrada Múltiple Salida

Con Múltiple Entrada Múltiple Salida el sistema duplica la capacidad disponible por enlace usando dos polaridades, horizontal y vertical, a la vez que mantiene la misma tasa en el aire y modulación que la unidad de radio usaba con una sola antena.

Por lo que además de incrementar la capacidad aumenta el rango y la disponibilidad. Por ejemplo usando una antena dual Radwin 2000 puede transmitir a una modulación 64QAM con FEC de 5/6 y obtiene una tasa en el aire de 130Mbps cuando con una sola antena se obtenía 65 Mbps

Para funcionar en ese modo cada puerto de antena de salida de la radio debe estar conectado a una antena manteniendo la separación de las dos antenas simples o conectarse a un puerto de una antena dual que implementa separación entre las dos polarizaciones, balanceando así el nivel de recepción en ambos casos.

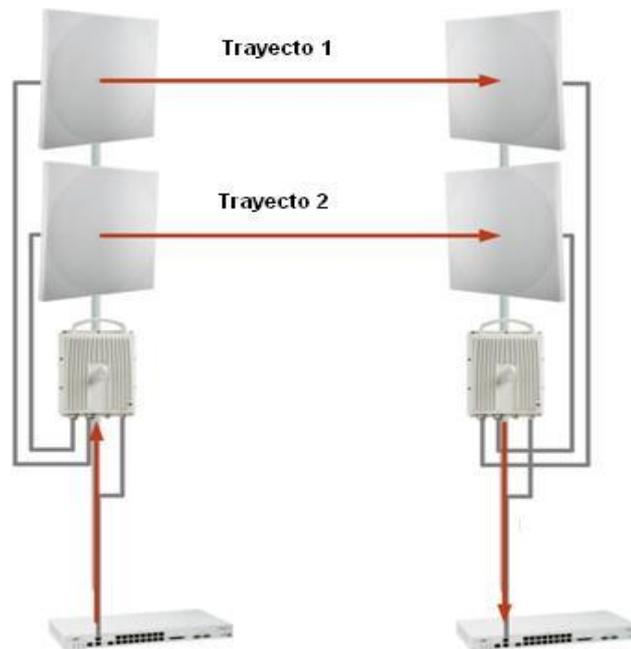


Figura1. 12 Esquema MIMO

- Diversidad espacial:

El modo de funcionamiento con diversidad espacial, usa dos antenas para mejorar la calidad y la fiabilidad del enlace.

Una situación frecuente es aquella en la que no se tiene una línea de vista despejada (n-LOS) entre el transmisor y el receptor. En ese caso la señal se refleja a lo largo de diferentes trayectos radioeléctricos antes de llegar al receptor, si es que llega a él finalmente.

Cada una de las reflexiones introduce de ese modo desfases, retrasos, atenuación e incluso distorsión de forma que pueden interferir de modo destructivo entre ellas en la apertura de la antena receptora. La diversidad de antena es especialmente efectiva en la mitigación de ese tipo de situaciones multitrayecto.

Así que múltiples antenas le permiten la llegada a un receptor de varias versiones de la misma señal. De ese modo, cada antena se verá afectada por una interferencia diferente con lo cual si una antena sufre un desvanecimiento profundo hay una alta probabilidad de que otra antena no lo sufra.

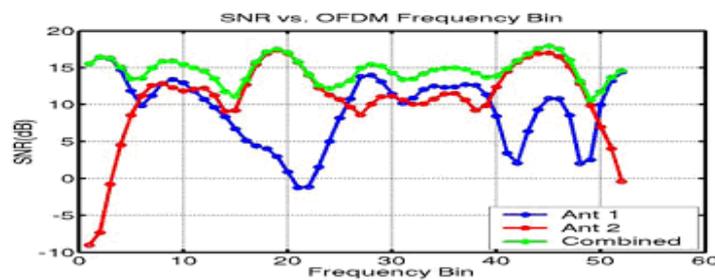


Figura1. 13 Representación de mejora por diversidad de trayecto radioeléctrico

Naturalmente la diversidad requiere también una separación de antena que se logra igual que en el punto anterior con una separación física de dos antenas funcionando en una única polarización o con una antena dual.

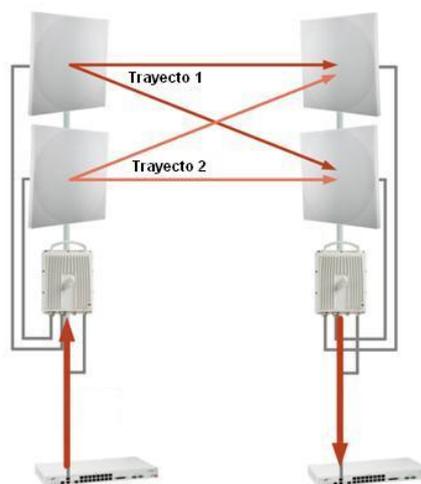


Figura1. 14 Esquema de diversidad de trayecto radioeléctrico

- Técnicas propias de sincronismo para la mitigación de interferencias⁶.
 - HSS, Sincronización de emplazamiento concentrador. Debido al uso de TDD, duplexión por división en el tiempo entre la transmisión y la recepción entre dos equipos que se comunican usando una misma frecuencia, se incrementa el nivel de interferencias cuando se tiene un emplazamiento concentrador donde coincidan dos ODU's o más con poca o ninguna separación física entre sus antenas.

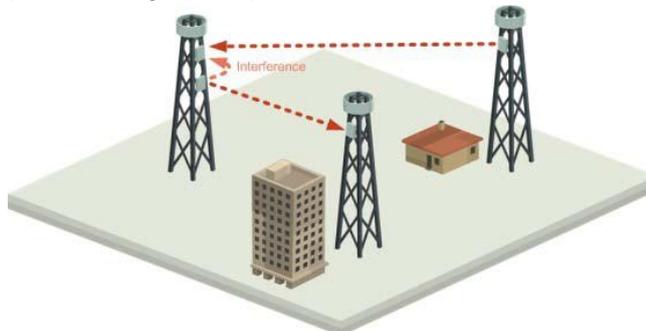


Figura1. 15 Interferencia en sitios concentradores

Así que el objetivo es que las ODU's en dicho emplazamiento sincronicen el formato de los intervalos de tiempo usados para la transmisión y recepción que se denomina patrón de trama radio (RFP)

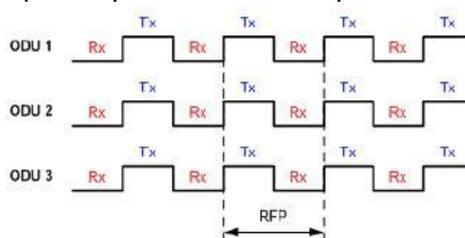


Figura1. 16 Patrón de Trama Radio

La solución que se propone consiste en usar un mecanismo propietario para sincronizar los RFP's de los distintos equipos al mismo reloj, eligiendo un equipo como maestro de sincronismo y el resto como clientes. Para lo cuál se interconectan los equipos coincidentes en el emplazamiento con un cable en caso de tener dos equipos o con un equipo pasivo llamado unidad HSS en caso de tener más equipos en el emplazamiento concentrador.



Figura1. 17 Unidad HSS

⁶ Estas técnicas no excluyen que haya que llevar a cabo una planificación adecuada de los canales de frecuencia usados contando además con la ayuda de las herramientas expuestas previamente (ACS, DFS, Vista de espectro)

- GSU, Unidad de sincronización basada en GPS.

Cuando se tienen topologías complejas con varios sitios concentradores, la solución anterior no es suficiente para lograr el sincronismo.

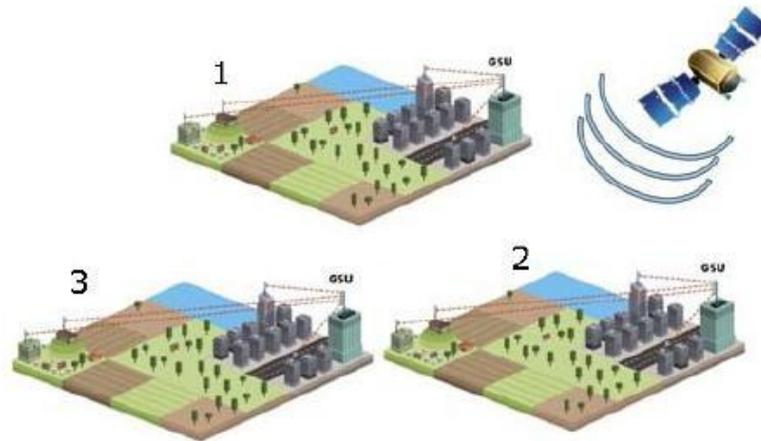


Figura1. 18 Diagrama de topología empleando GSU para concentradores independientes

La solución propuesta en la figura 1.18 consiste en combinar el uso de una HSS con el uso de un equipo adicional llamada GSU conectada a una antena GPS por emplazamiento para propagar la señal propietaria de sincronismo usando el protocolo RS422. Una de las unidades GSU actúa como unidad maestra de sincronismo para que todos los equipos transmitan y reciban simultáneamente.

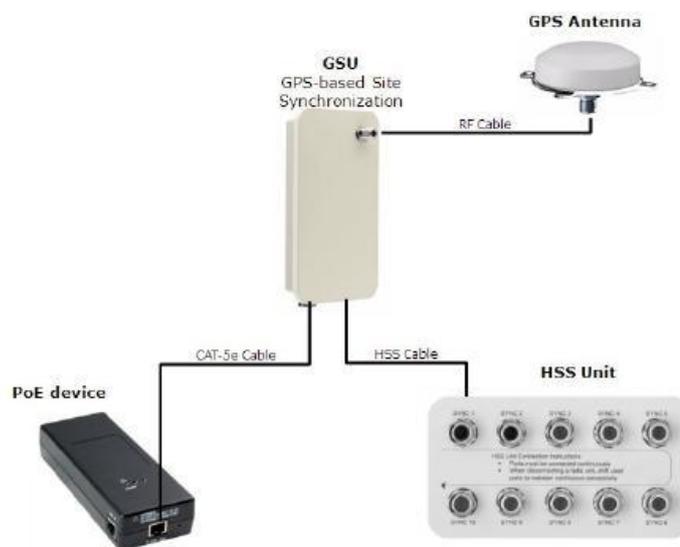


Figura1. 19 Equipamiento GSU

Una situación aún mas compleja sería tener interconectados los sitios concentradores entre sí, en cuyo caso se hace prácticamente insostenible lograr un sincronismo correcto.

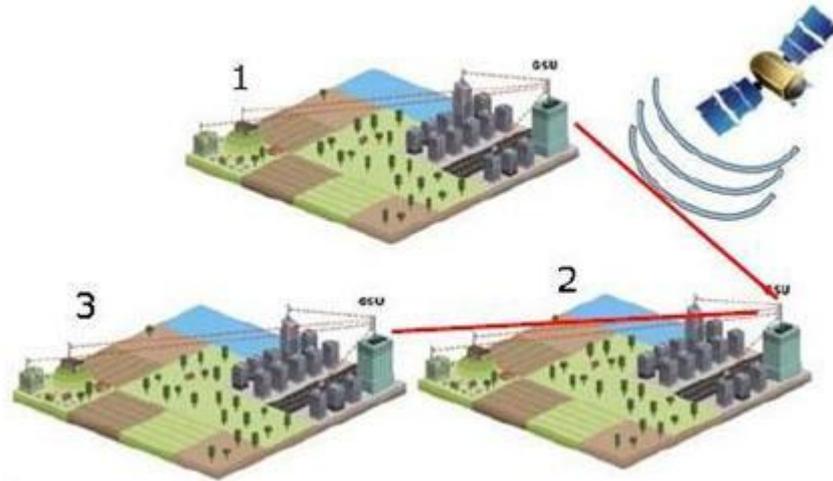


Figura1. 20 Diagrama de topología empleando GSU para varios concentradores interconectados

En ese caso no existe una solución universal, sino que se hacen algunas recomendaciones para por lo menos interconectar entre sí los sitios concentradores cumpliendo el condicionante de que no interfieran entre sí para el ejemplo en el diagrama de la figura 1.20:

- Que los sitios 1 y 3 en la figura 1.20 no estén conectados.
- Que los sitios no conectados estén lo suficientemente alejados para no interferirse mutuamente, 1 y 3 en la figura 1.20.
- Que los sitios conectados estén a su vez lo suficientemente lejos para no interferir con el sitio al que están conectados, 1 con 2 y 2 con 3 en la figura 1.20.
- Se usa fase invertida en la mitad de la duración de trama entre los sitios colindantes en cascada para lograr que haya comunicación entre si usando TDD, por ejemplo:
 - Los sitios pares, 2 en la figura 1.20, usan fase normal.
 - Los sitios impares, 1 y 3 en la figura 1.20, usan fase invertida.

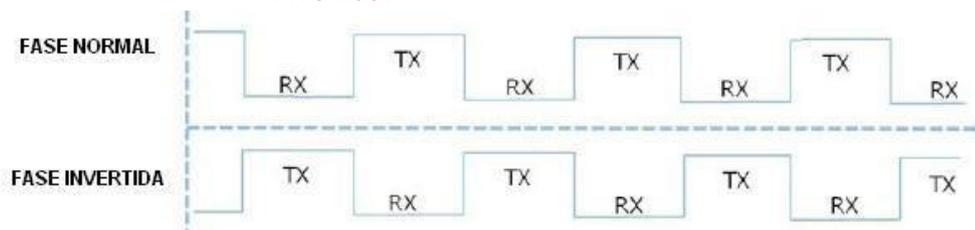


Figura1. 21 Esquema de fase invertida en la mitad de duración de trama

- Terminamos con una característica específica de la familia Radwin 5000 de radioenlaces punto a multipunto que consiste en el reparto del ancho de banda total disponible en un sector al cual da servicio una estación base de alta capacidad (HBS) distribuyendo el total de tiempo de trama (80ms) en intervalos de tiempo (TS de duración 1.25ms) entre las distintas unidades suscriptoras de alta capacidad (HSU).

La organización de ese reparto es la siguiente:

- Número máximo de HSUs: 32
- Número total de TSs disponibles por HBS: 64
- Número mínimo de TSs que se pueden asignar a una HSU: 2
- Número máximo de TSs que se pueden asignar a una HSU: 32
(la mitad de la capacidad de la HBS)
- Throughput máximo por TS
 - Ancho de banda de 10 MHz: 0.84 Mbps
 - Ancho de banda de 20 MHz: 1.56 Mbps
 - Ancho de banda de 40 MHz: 3.12 Mbps
- Latencia máxima por HSU: 40.5msec
- Latencia mínima por HSU: 2.25msec

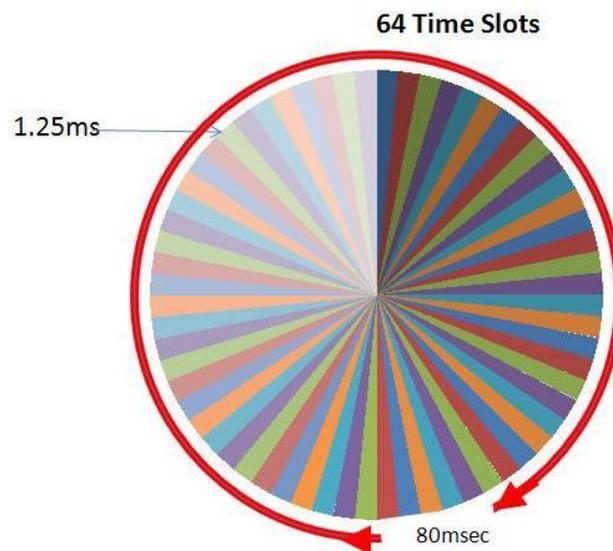


Figura1. 22 Distribución de los TS en un sector

Un inconveniente habitual de este tipo de tecnología con reparto de ancho de banda se presenta cuando se adopta una asignación compartida de ancho de banda con una gestión adaptativa de modulación.

En ese caso una degradación, por una interferencia por ejemplo, en uno solo de los enlaces del sector repercute en todos los demás enlaces, aunque no sufran interferencias, ya que se reducen las modulaciones de todos ellos.

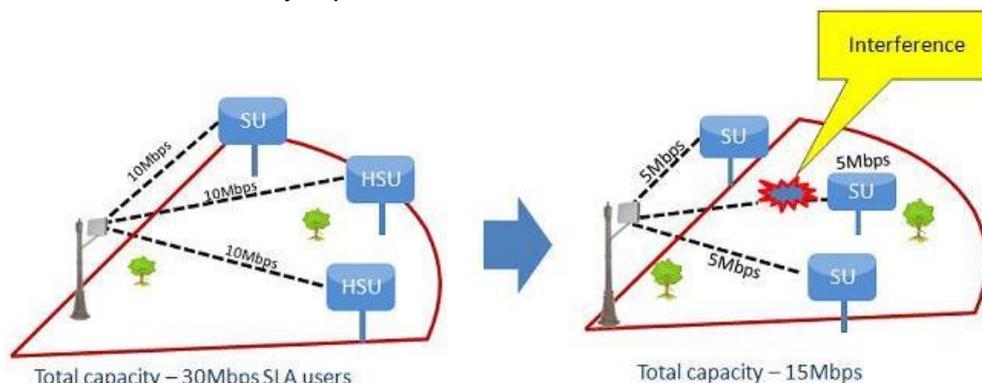


Figura1. 23 Asignación compartida de ancho de banda

Por ello no se puede asegurar el acuerdo de nivel de servicio (SLA) comprometido además de producirse una latencia mayor y variante.

Como solución se adopta una asignación dedicada de ancho de banda en la que, en caso de degradación de uno o una parte de los radioenlaces del sector, se reduce exclusivamente la modulación de los enlaces afectados.

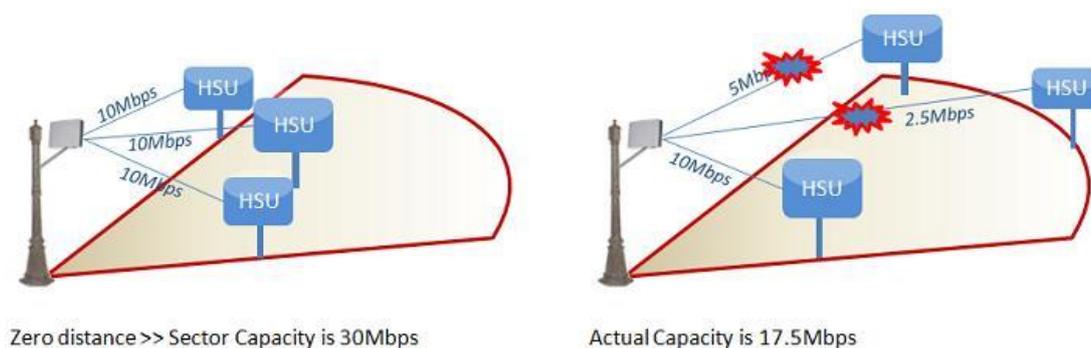


Figura1. 24 Asignación dedicada de ancho de banda

Así se mejora el SLA y se permite una cierta variedad de longitud de enlaces en un mismo sector para adaptarse a situaciones reales y optimizar el uso de la capacidad total del sector.