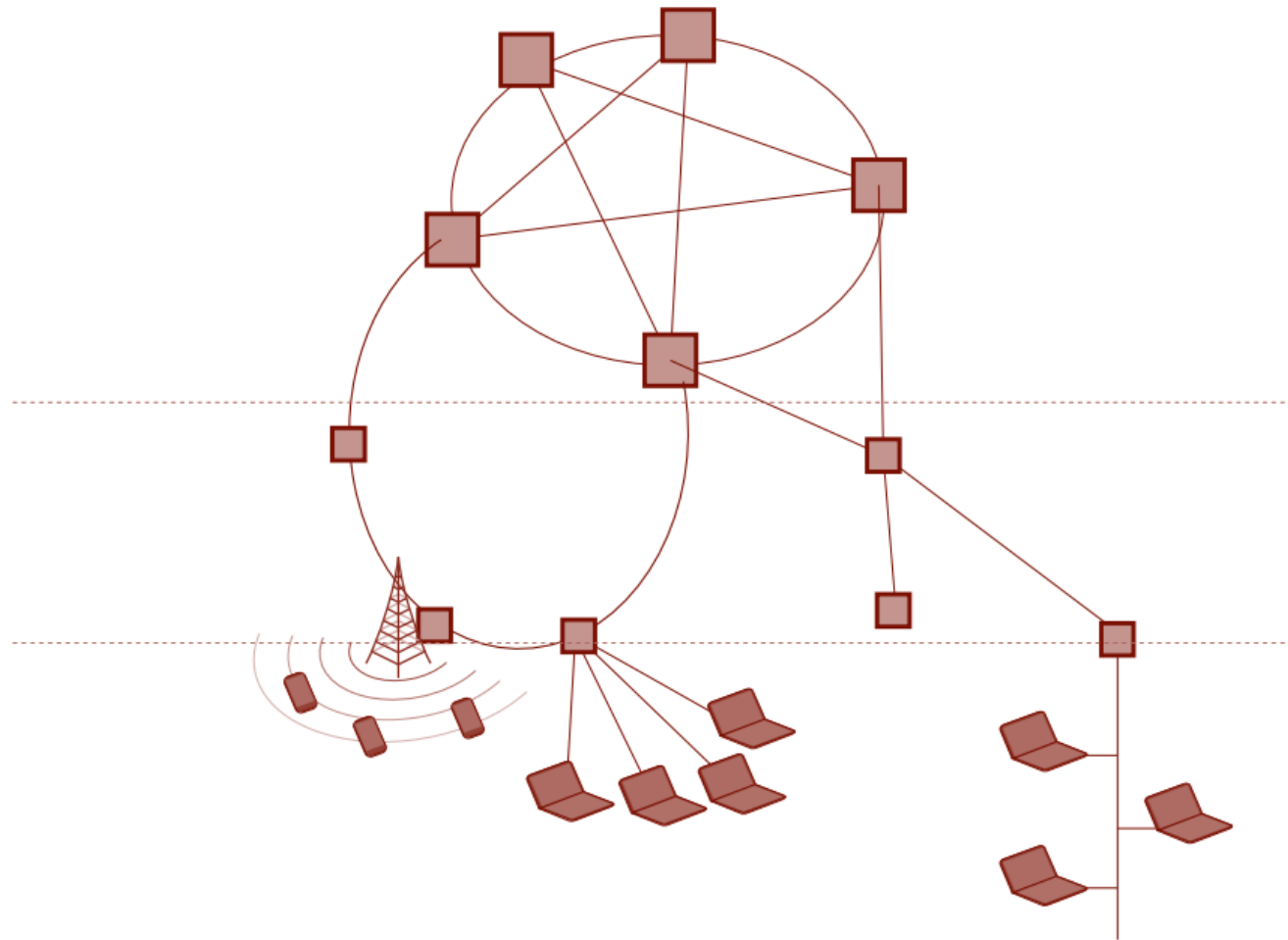


Red de Acceso

Red de Acceso

INTRODUCCIÓN

Introducción



Núcleo de Red

Red de agregación /
distribución / transporte

Red de acceso

Definición

- Segmento de la red de telecomunicaciones que conecta a los usuarios finales con la red del proveedor (con el concentrador de la central).
- Se delimita entre la interfaz de conexión del usuario con la red del proveedor y la interfaz que conecta el conmutador.
- No interpreta la señalización asociada al usuario.
- Definición formal en ITU-T G.902.

Ejemplos

- Telefonía fija tradicional: Par de cobre desde el abonado hasta la central.
- Datos fijos: puede ser fibra óptica, cobre (ej tecnologías xDSL), o radio (5G, Starlink...).
- Red móviles: conjunto de radio bases y controladores.

Definición

- La red de acceso es la parte de mayor inversión en una red de telecomunicaciones
“Los directores de la empresa pública [ANTEL] decidieron destinar el 86% del presupuesto de 2021 a la instalación de fibra óptica.”
<https://www.elobservador.com.uy/nota/las-inversiones-de-antel-en-2021-donde-mejorara-la-cobertura-de-celulares-y-los-planes-para-la-fibra-optica-2021331151433>

Definición

- Y varias de las noticias relacionadas a las telecom están relacionadas con la red de acceso.

“El gobierno autorizó a cinco cableoperadoras a vender el servicio de transmisión de datos por cable (internet). Se trata de una opción que, hasta ahora, solo tenía Antel , por lo que implica la ruptura de un monopolio.”

<https://www.elpais.com.uy/informacion/politica/cinco-cableoperadores-podran-vender-internet-y-cae-monopolio-de-antel>

Las condiciones de la subasta de estos tres bloques (uno de los cuales está reservado para Antel, la proveedora estatal) generó molestias, tanto en la Ursec como con relación a algunas empresas que se perfilan como potenciales participantes de la subasta.

<https://ladiaria.com.uy/politica/articulo/2023/3/subasta-de-5g-genera-polemica-en-la-ursec/>

El gobierno habilitó a Starlink, la empresa de Elon Musk, a ofrecer internet satelital en Uruguay

<https://www.elpais.com.uy/negocios/la-ursec-habilito-a-starlink-la-empresa-de-elon-musk-a-ofrecer-internet-satelital-en-uruguay>

Definición

- Históricamente construida sobre cobre para telefonía
 - Típicamente se utilizaba activamente solo el 1% del tiempo
 - Contaba con una vida útil de 20 a 30 años.
- Tendencias Actuales:
 - Abaratamiento de la red de acceso, con tecnologías de rápido despliegue y menor costo de mantenimiento (inalámbricas)
 - Proporcionar redes de acceso de mayor capacidad (Fibra Óptica, inalámbricas 4G/5G, etc.)

Clasificación

Según las **tasas de transmisión** ofrecidas al usuario

- Banda Angosta (Narrow Band): voz y datos de baja tasa.
- Banda Ancha (BroadBand): datos de tasa mayores; útiles p. ej. para transmisión de video)

Según el **medio físico**

- Cableadas o Alámbricas (cobre, coax, fibra óptica)
- Inalámbricas (radiofrecuencia, aire)

Clasificación – Tasa de Transmisión

Banda Ancha (Broadband): conexión que permite una tasa de bits máxima ("pico") en la interfaz de acceso superior a un determinado umbral. (NO de extremo a extremo)

- Problema en definición: el umbral tiende a aumentar cuando se popularizan tecnologías de mayor tasa de transmisión.
- Popularmente:
 - 90s: el término se usaba para transmisiones superiores a 64 kbps (capacidad dialup máxima).
 - Mediados 2000s, tasas de transmisión superiores a 512 kbps.
- Especificaciones:
 - 1988 - (ITU) "broadband service": más de 1.5 o 2Mbps
 - 2010 - (FCC) "Basic Broadband": Más de 4Mbps en downstream y 1 Mbps en upstream
 - 2015 - (FCC) "Basic Broadband": Más de 25Mbps en downstream y 3 Mbps en upstream

Banda Angosta (Narrow Band): aquellas con tasas inferiores a las de BroadBand

Clasificación – Medio físico

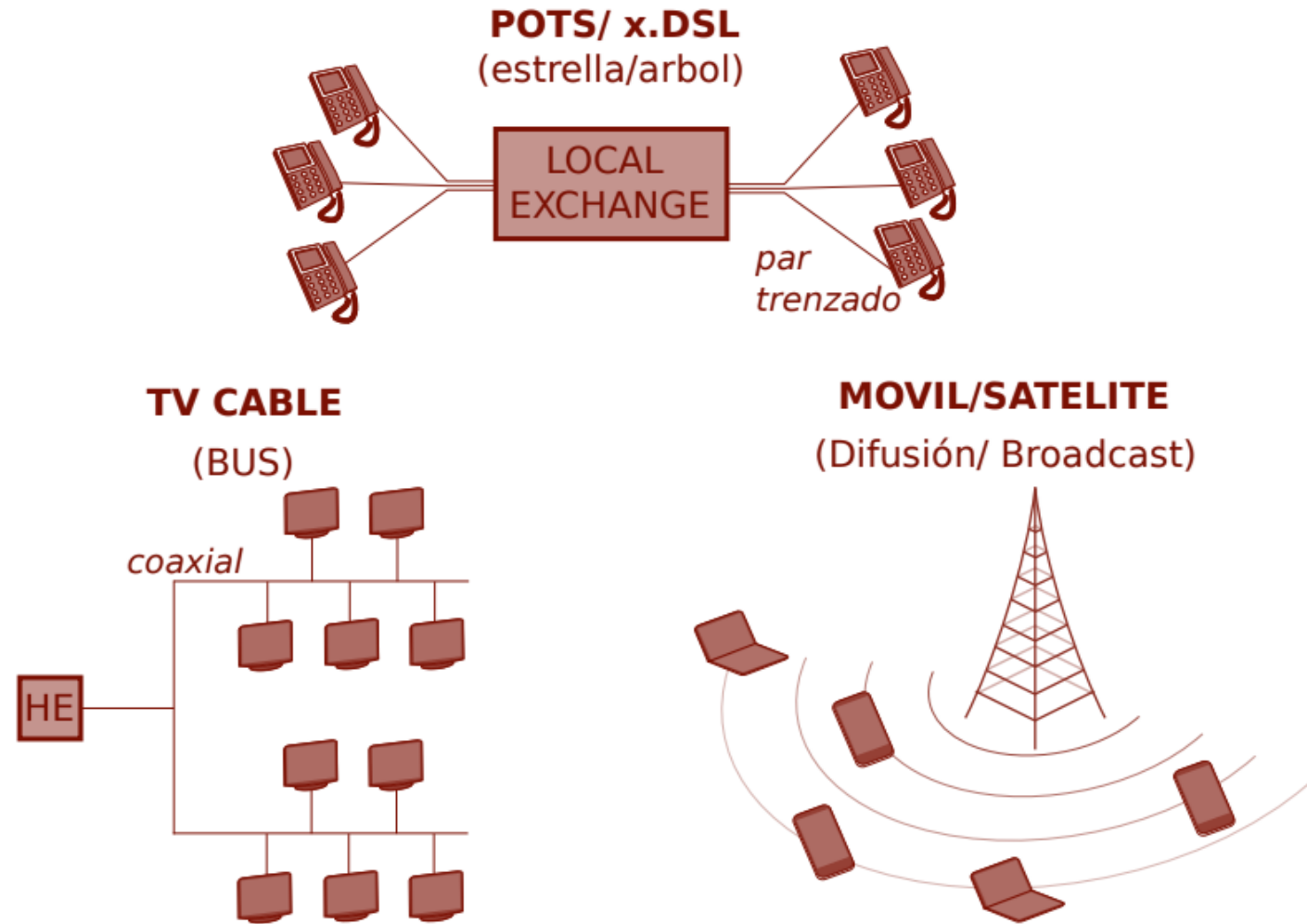
Cableadas

- Despliegue lento y costoso (tendido de cables y obras civiles)
- Despliegue no necesariamente asociado a la demanda
- Mayores anchos de banda, conexiones estables y “dedicadas” a los usuarios.
- Ubicaciones Fijas
- Conexión para hogares, oficinas y demás espacios físicos

Inalámbricas

- Menor inversión (o paulatina) y despliegue más rápido.
- Despliegue asociado a la demanda
- Anchos de banda menores, variables y compartidos entre varios usuarios.
- Ubicaciones móviles y nomádicas.
- Conexión para dispositivos personales de los usuarios o para enlaces distantes

Arquitectura



Arquitectura – Aspectos Generales

Pares de cobre

- Instalado para telefonía básica (POTS: Plain Old Telephony Systems, 3.4 KHz/usuario).
- Muy extendida en todo el mundo.
- Digitalización para soportar ISDN, soporta tecnologías DSL.
- Existen variantes multipares (ej: UTP)

Cables coaxiales

- Originalmente instaladas para CATV.
- De naturaleza analógica, fuerte asimetría de ancho de banda ascendente y descendente.
- Penetración desigual en los diferentes países.
- También utilizadas para servicios de internet.

Para redes cableadas aproximadamente el 80% del costo
corresponde a la red de acceso

Arquitectura – Aspectos Generales

Radio / Inalámbricos

- Terrestres o vía satélite.
- Única solución para servicios de carácter móvil y nómádico.
- Auge de las redes móviles ha revolucionado mercados de voz y de datos.
- Servicios de difusión (ej.: radio, TV satélite).

Fibra Óptica

- Tradicionalmente utilizada en niveles de agregación de ancho de banda, enlaces entre centrales e internacionales
- En la actualidad también se utiliza en el acceso.

Red de Acceso

PAR DE COBRE

Par de cobre

- Caro de instalar
- Caro de mantener
- Lento de desplegar
- Tasa de transmisión (datos) disminuye con la distancia del cobre entre central y abonado
- Fortaleza: **ya está instalado**
- Se sigue usando

Par de cobre

- El ancho de banda del par de cobre depende de:
 - Longitud del bucle de abonado: mayor distancia menor ancho de banda
 - Diámetro del cable: cuanto mayor diámetro menor resistencia.
Típico: 0,4mm (26AWG) a 0,6mm (24AWG)
 - Diafonía, acoplamiento entre pares
- Trenzados de distinto paso en todo el camino para evitar el acoplamiento inductivo.

Tipos de pares de cobre

Pares Simples

- Básicos utilizados para telefonía

UTP (4 pares)

- Empleados en cableados Ethernet tradicionales

Multipares

- 25, 50 o 100 pares (centrales y secundarios)
- 1000 o más pares (cable primario)
- Contienen Gel impermeable
- Requieren Equipos de presurizado

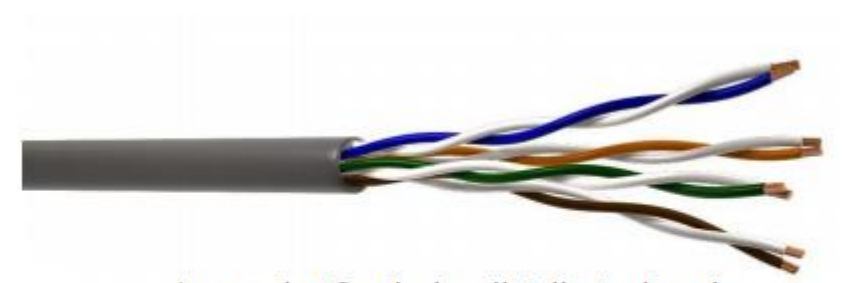


Image by Oyuhaín, distributed under a CC-BY-SA-4.0 license.

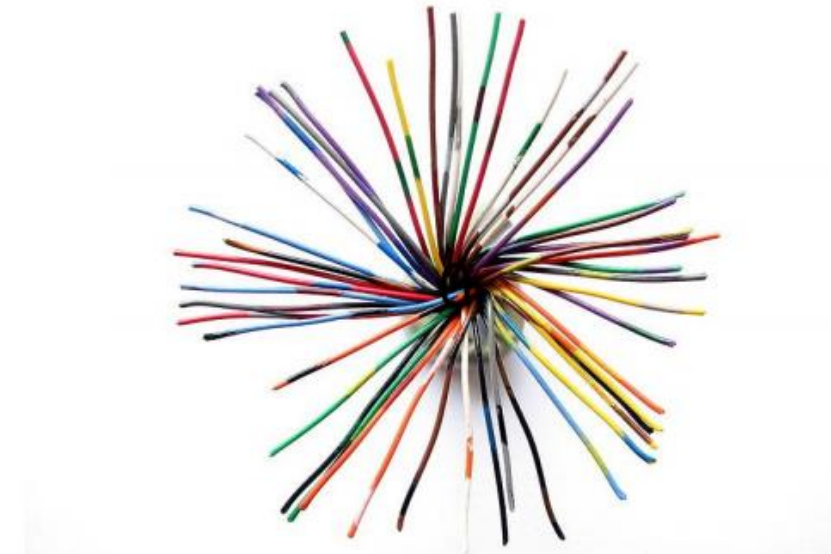


Image by Adamantios, distributed under a CC-BY-SA-3.0 license.

Par de cobre – Planta Externa

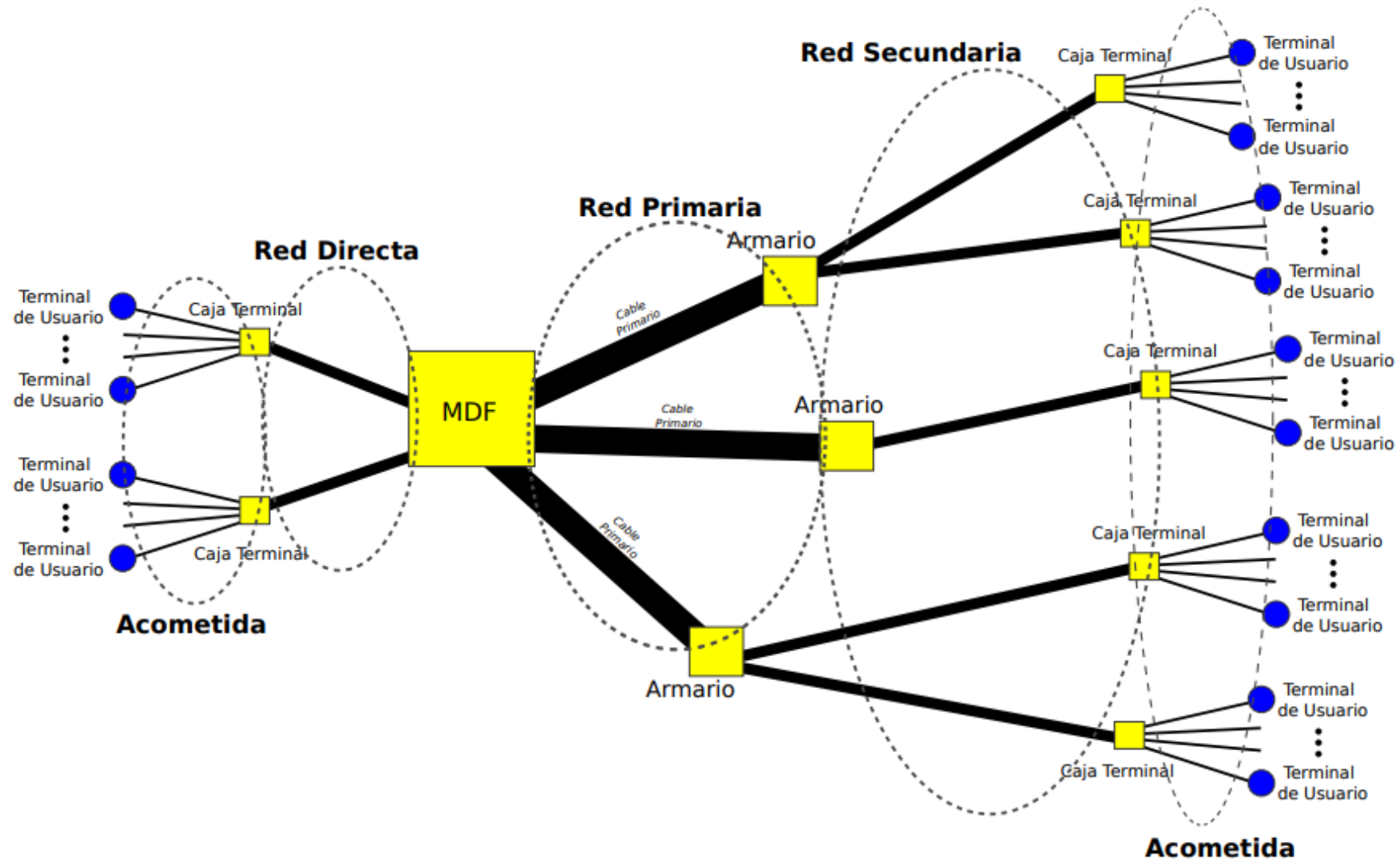
Definición de Planta externa

Infraestructura, equipos, estructuras y medios de comunicación exteriores al Edificio de la Central de Conmutación a través de los cuales se brindan servicios a los usuarios.

Topología

- Red Primaria
- Red Secundaria
- Red Directa
- Acometida, o línea de abonados

Par de cobre – Planta Externa



Par de cobre – Planta Externa

Red Primaria

Cables de cobre desde el MDF (Main Distribution Frame) de la central y hasta puntos de sub-repartición (armarios) de las zonas a atender. El cable primario consta de entre 1000 y 2000 pares.

Red Secundaria

Va desde los armarios a través de cables multipares hasta distintos puntos de dispersión (cajas terminales) instaladas en postes, fachadas, interiores de edificios, etc.

Red de Acceso al Cliente (línea de abonados, acometida).

Enlace existente entre caja terminal y el equipo terminal del cliente.

Red Directa

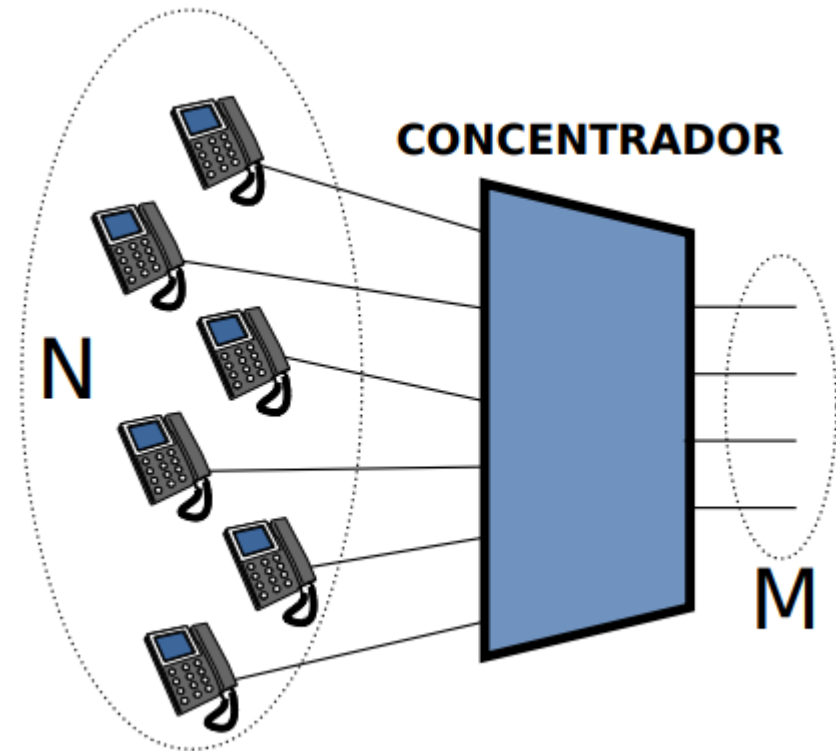
Conjunto de cables que van desde el MDF de la Central y se finalizan en cajas terminales, en un radio próximo (~300m) al edificio de la Central.

Par de cobre – Planta Externa

Pares de Cobre: con margen de reserva de reserva (por ej. 10%) para crecimiento futuro

Concentrador de Abonados:

Aprovechando que no todos los abonados hablan al mismo tiempo, se pueden compartir recursos y tener más pares del lado abonado (1 por abonado) que del lado central.

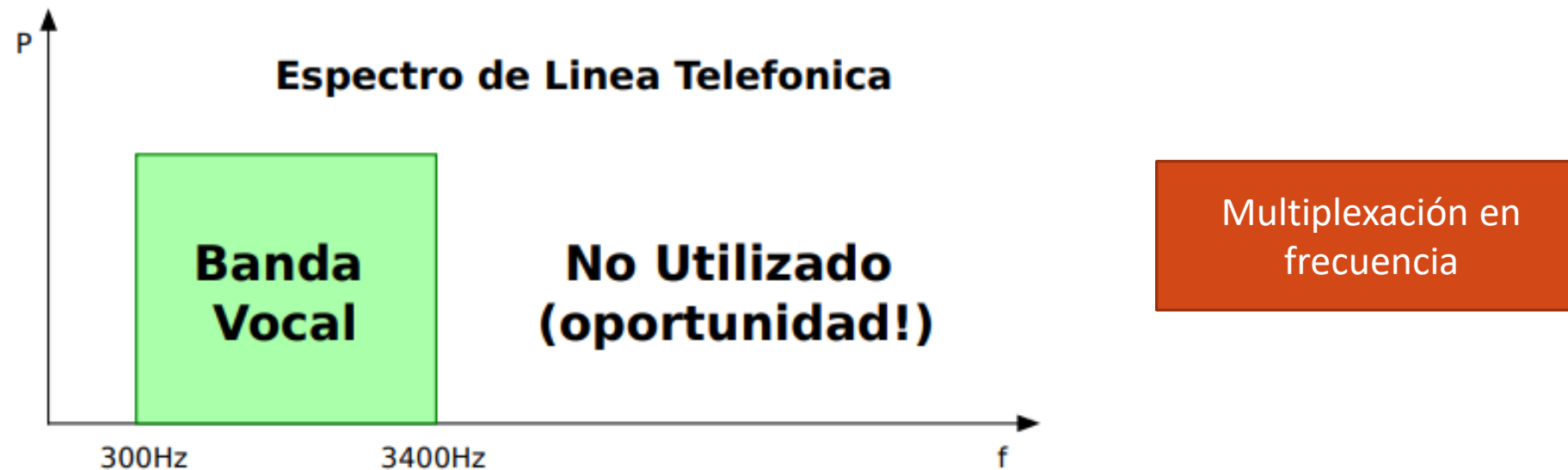


Relación de Concentración: $M/N < 1$

Par de cobre – Servicio de datos

Para extender la funcionalidad de la red de cobre incorporando servicios de acceso de datos, se usó:

- Módems de banda vocal
- Tecnologías DSL (Digital Subscriber Line)



Módems de banda vocal

Transmiten señales digitales empleando únicamente la banda vocal del sistema telefónico

Fue el primer intento de reutilizar líneas telefónicas para el envío de datos.

La alternativa era rentar una línea de cobre dedicada, lo cual era caro.

Estándares ITU-T:

- V.22 (1988) - 1200 bps
- V.32 (1993) - 9600 bps
- V.34 (1994) - 28.8 kbps
- V.92 (1999) - 56 kbps (DS) / 48 kbps (US)

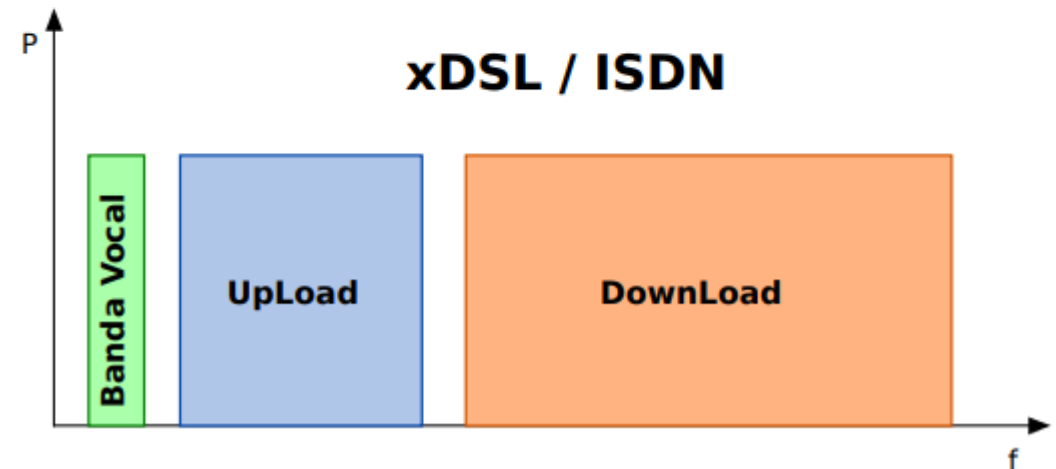
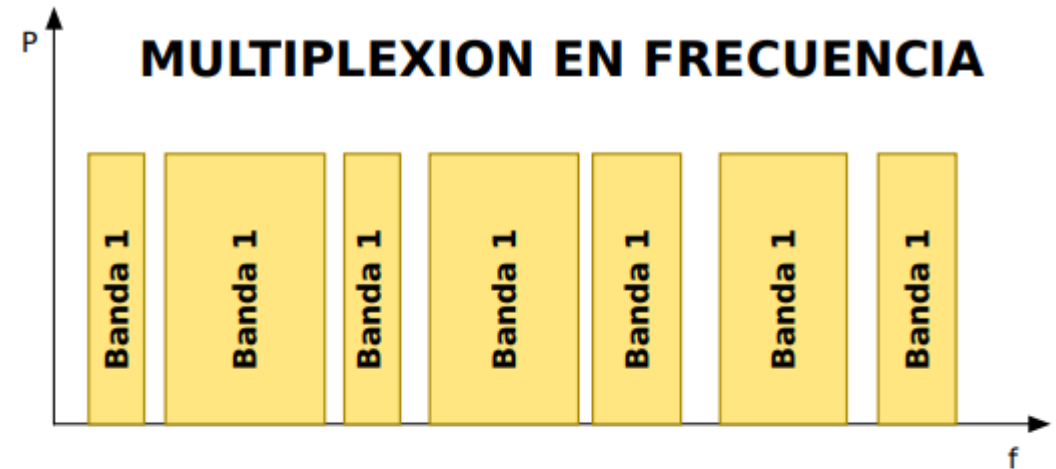
Fines de '90 y principios de 00, alternativas BroadBand reemplazan a los sistemas vocales.

Multiplexación en Frecuencia

Multiplexación por División en Frecuencia (FDM)

La capacidad disponible del medio de comunicación se divide en bandas de frecuencia que se utilizan para transportar señales diferentes.

Permite compartir el medio físico.



Datos en cobre

Tecnologías que permiten la transmisión de información digital sobre pares de cobre **fuera** de la banda vocal.

Todas las tecnologías DSL implican el uso de pares de módems.

Dentro de esta familia de tecnologías se incluyen:

- Accesos ISDN (Integrated Services Digital Network)
- Accesos xDSL (Digital Subscriber Line)

ISDN

Canales

- Canal B: Bearer Channel. Provee un enlace digital para voz y datos de 64kbps (DS0) para el usuario. El audio se digitaliza y codifica con G.711.
- Canal D: Data Channel. 16 o 64 kbps, utilizado para call setup y management.

Interfaces

- BRI/Basic Rate Interface: 2B+D 2x64kbps for voice and data and one 16kbps channel for call setup and management.
- PRI/Primary Rate Interface:
 - EEUU: "T1" 23B+1D (1544kbps) .
 - Resto del mundo excepto Japón: "E1" 30B+2D (2048kbps).

ISDN – *Too Little Too Late*

- Idea: Servicio totalmente digital de voz y datos hasta el abonado.
- Desarrollo y estandarización demasiado largo: empieza en los 70s, finaliza en 1988.
- Fracaso Comercial
Cuando llegaron al mercado las interfaces BRI para usuarios (90s), ya existían otras propuestas más flexibles, mucho más económicas y de mayor capacidad.
- Sin embargo, permitió la digitalización completa y estandarizada de la red interna de las empresas telefónicas.
- Las interfaces E1 PRI permiten manejar un troncal de 30 líneas digitales sobre un solo cable físico, lo cual redujo varios costos asociados a las líneas y a diferencia de las BRI, resulto comercialmente viable para las empresas.

Tecnologías xDSL

Digital Subscriber Line

- Posibilita la transmisión digital de alta tasa sobre los bucles de abonado de las líneas telefónicas convencionales.
- Casi siempre emplea filtros pasabajos DSL (“Splitters”)
- Sensible a interferencias y autointerferencias (NEXT, FEXT)

Éxito:

- Porque aprovecha la inversión ya realizada en redes de acceso de cobre para telefonía, lo cual representa más del 80% del costo total. (Obs: —load coils)
- Por el costo del despliegue de redes de mayor capacidad como por ejemplo fibra óptica.

Tecnologías xDSL

HDSL (High Data Rate DSL)

- Primera utilizada de acceso de banda ancha
- Trasmisión full-duplex, simétrica 2 Mbps
- Recomendación ITU-T G.991.1 (1998)

ADSL (Asymmetric DSL)

- Mayor penetración en el mercado residencial
- ITU-T G.992.1 “G.dmt” (1999)
Trasmisión full-duplex, asimétrica hasta 8 Mbps (DS) / 1.3 Mbps (US)
- ITU-T G.992.2 “G.lite” (1999)
Transmisión full-duplex de mayor tolerancia a errores, asimétrica hasta 1.5 Mbps (DS) / 512 kbps (US).

Tecnologías xDSL

ADSL2

- Trasmisión full-duplex, 12 Mbps(DS) / 3.5 Mbps(US)
- ITU-T G.992.3 (2005-2009)

ADSL2+

- Trasmisión full-duplex, 24 Mbps (DS) / 3.3 Mbps (US)
- ITU-T G.992.5 “G.adslplus” (2005-2009)
- Tiene mayor despliegue que ADSL2

VDSL2

- Trasmisión full-duplex, 200 Mbps (DS) / 100 Mbps (US)
- ITU-T G.993.2 (2006)

Tecnologías xDSL

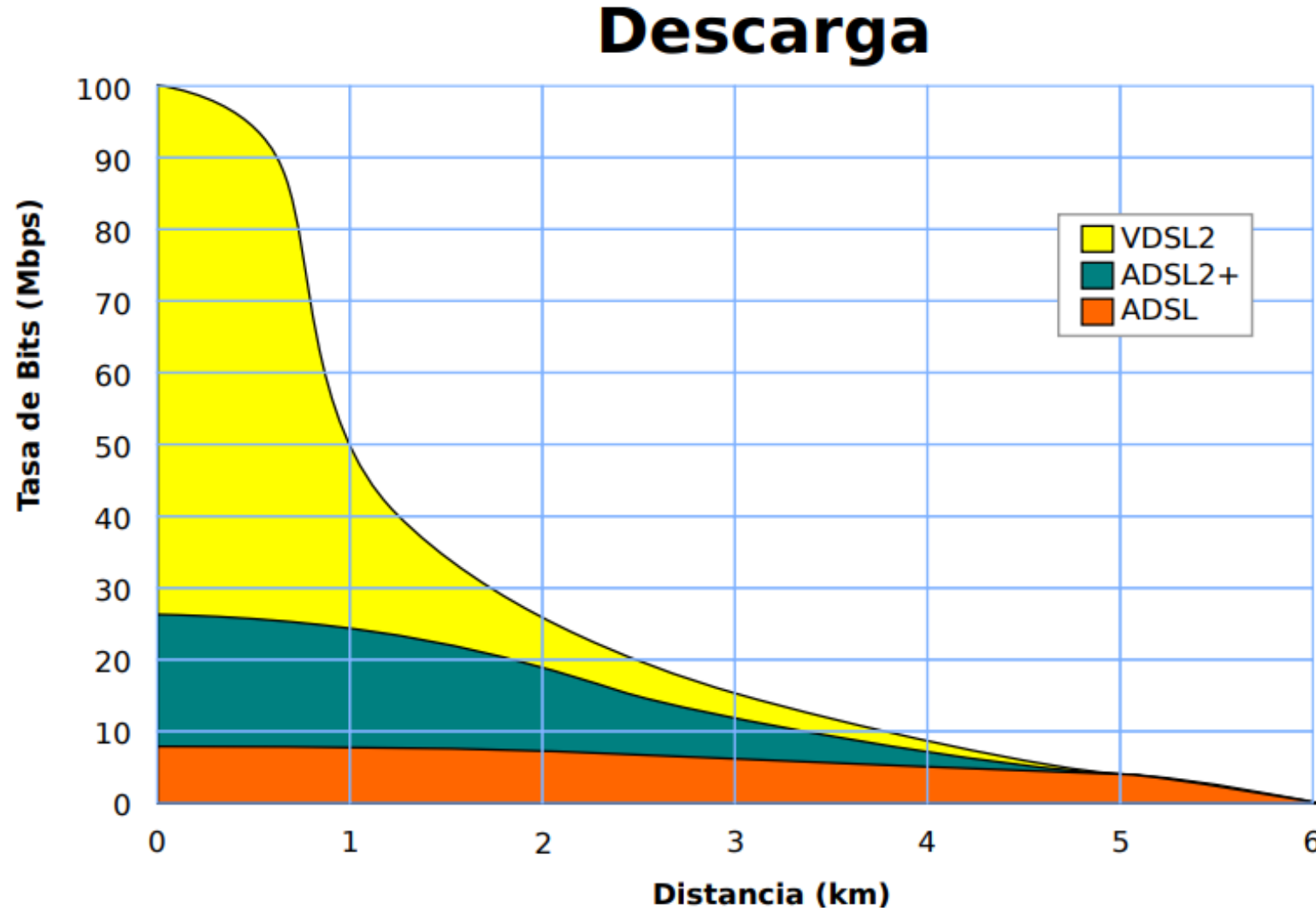
Se tomaron los valores de la mayoría de los fabricantes de estas tecnologías (para 24AWG).

El valor 0 significa que no se pueden asegurar velocidades a esas distancias, no significa que la caída se abrupta

Tecnología	Dist. < 300mt		300 < Dist. < 2.5km		2.5 < Dist. <5.0km		Dist > 5.0Km
	BW DL	BW UL	BW DL	BW UL	BW DL	BW UL	BW DL
ADSL G.Lite	1.5Mbps	512Kbps	1.5Mbps	512Kbps			0
ADSL G.dmt	8Mbps	1Mbps	8Mbps	1Mbps	4Mbps	1Mbps	0
ADSL2	12Mbps	1Mbps	10Mbps	1Mbps	4Mbps	1Mbps	0
RE-ADSL	192Kbps	96Kbps	192Kbps	96Kbps	192Kbps	96Kbps	192Kbps
ADSL2+	24Mbps	1.2Mbps	16Mbps	1Mbps	4Mbps	1Mbps	0
VDSL2	100Mbps	100Mbps	20Mbps	20Mbps	5Mbps	1Mbps	0

Fuente: ITU-T estándares G.992

Tecnologías xDSL – Capacidad vs. Distancia



Tecnologías xDSL – Uso del espectro

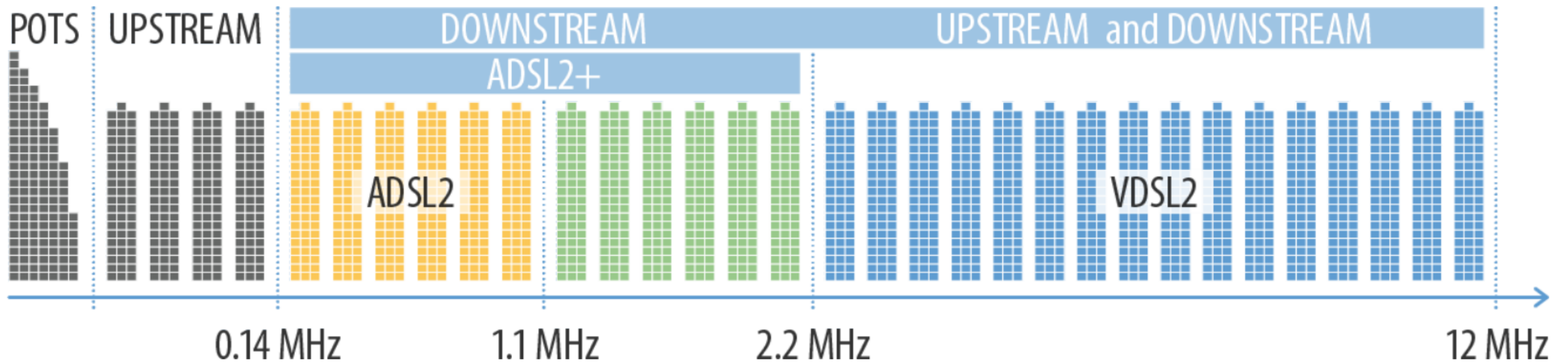
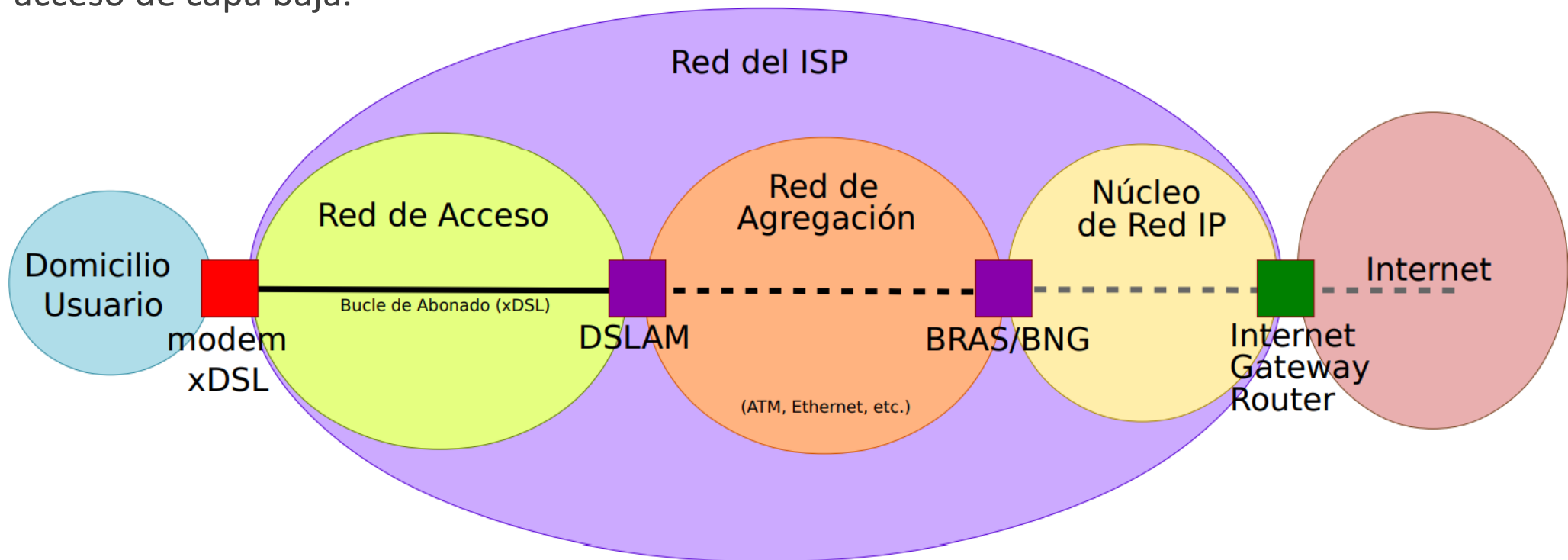


Imagen obtenida de <https://broadbandnow.com/DSL> el 24/3/2019, CC license.

Tecnologías xDSL – Arquitectura

DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)

Dispositivo que recibe señales desde conexiones de clientes DSL y las transporta multiplexadas sobre líneas de mayor capacidad sobre la red agregación. Es el terminador de la capa física. El DSLAM como tal no participa de la señalización superior de los usuarios pero proporciona el acceso de capa baja.



Tecnologías xDSL – Arquitectura

BRAS (BroadBand Remote Access Server) o BNG (BroadBand Network Gateway)

Dispositivo que agrega y rutea trafico de las sesiones de los usuarios desde y hacia el núcleo de la red de un ISP (“backbone IP”) y otras redes (ej: Internet)

Conecta el núcleo de la red IP o Backbone con la red de agregación.

Tareas del BRAS:

- Agrega los circuitos de varios dispositivos de enlace de acceso como ser DSLAMs, ONTs, etc.
- Provee conectividad de capa 2 a través de Ethernet o vía sesiones de punto a punto (Point to Point Protocol over Ethernet --PPPoE, PPP over ATM sessions, etc.)
- Es el punto donde un ISP puede aplicar políticas de QoS en capa 3.
- Provee conectividad de capa 3 y enrutamiento de trafico hacia el backbone y otras redes IP (punto de terminación lógica de la red)
- Constituye la interfaz donde se autentican, autorizan y se lleva la contabilidad de los usuarios (sistemas AAA; p.ej.: RADIUS, DIAMETER)

Red de Acceso

FIBRA ÓPTICA

Fibra Óptica – Funcionamiento Físico

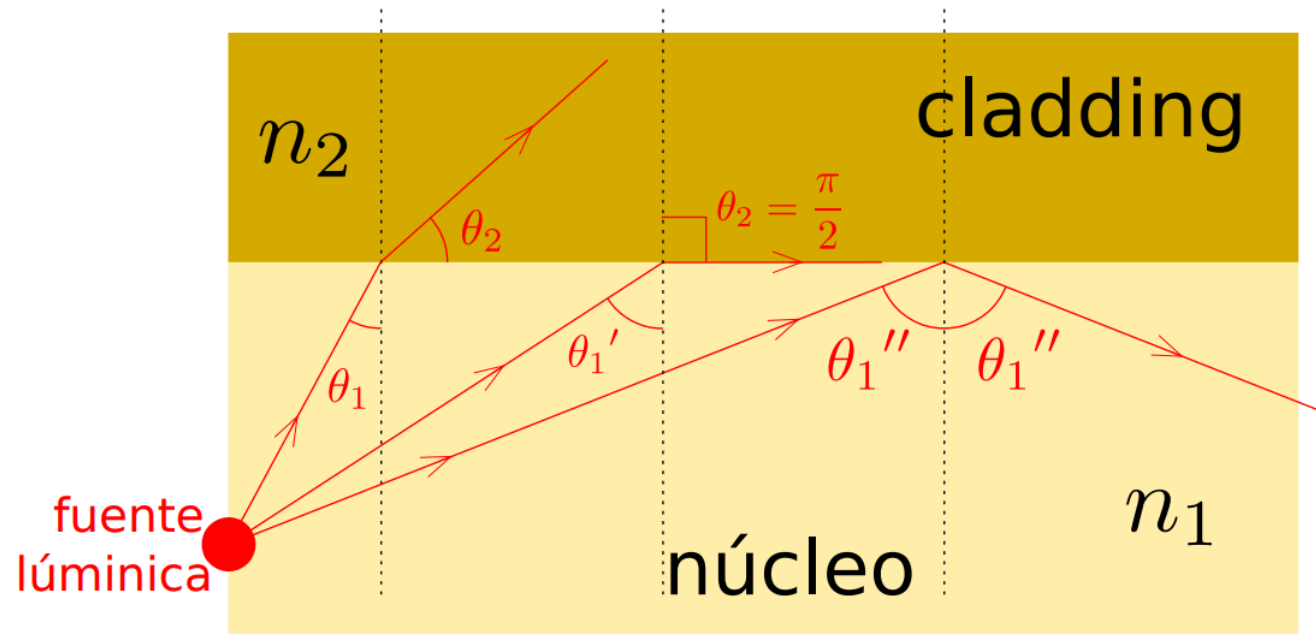
Medio que permite enviar información en forma de luz confinada

Principio de Funcionamiento: Ley de Snell

La Ley de Snell describe en términos de óptica clásica (“teoría de rayos”) los ángulos de refracción que experimenta un haz de luz al cambiar de medio de propagación en función de los índices de refracción de estos y del ángulo de incidencia.

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

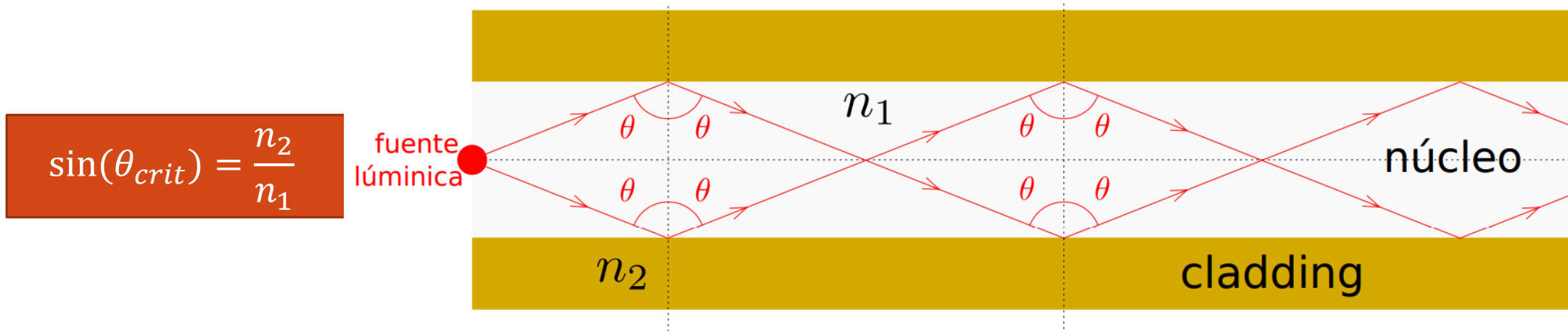
n_1 : índice de refracción del núcleo
 n_2 : índice de refracción del cladding
 θ_1 : ángulo de incidencia de la luz
 θ_2 : ángulo de refracción



Fibra Óptica – Funcionamiento Físico

Reflexión Total

- Fenómeno por el cual toda la luz se refleja y nada se refracta; no cambia de medio.
- Todo haz de luz con incidencia mayor que el ángulo crítico θ_{crit} será reflejado
- Requiere $n_1 > n_2$.



$$\sin(\theta_{crit}) = \frac{n_2}{n_1}$$

Entonces un medio (núcleo) envuelto por otro de menor índice de refracción (cladding) es capaz de confinar luz dentro de su recorrido (Fibra Multimodo)

Fibra Óptica – Funcionamiento Físico

Modo Fundamental – Fibra Monomodo

- **Concepto:** si el diámetro del núcleo es suficientemente pequeño respecto a las longitudes de onda de la luz a emplear, la clásica Ley de Snell no se sostiene.
- **Teoría de Modos:** El funcionamiento físico en este caso corresponde al de una onda electromagnética estacionaria y queda descrito a partir de las ecuaciones de Helmholtz (deriva de Maxwell y condiciones de borde; guía de onda).
- En estas condiciones la luz solo se propaga a lo largo de su eje siguiendo su modo más bajo (modo fundamental, HE₁₁). Los demás modos no llegan a establecerse.

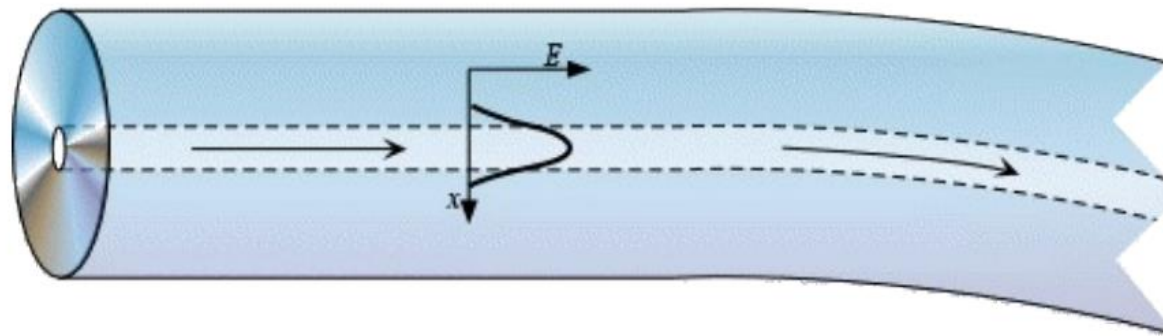


Figure 6. Mode Guided by Core of Singlemode Fiber

Fuente: <http://www.evanescentoptics.com/technical-info/?id=4>, accedido 25/3/2019

Así se pueden transmitir pulsos a mayores distancias ya que puede retener con mayor fidelidad la forma de cada pulso al no enfrentar distorsiones por múltiples modos (camino, trayectos).

Fibra Óptica – Clasificación

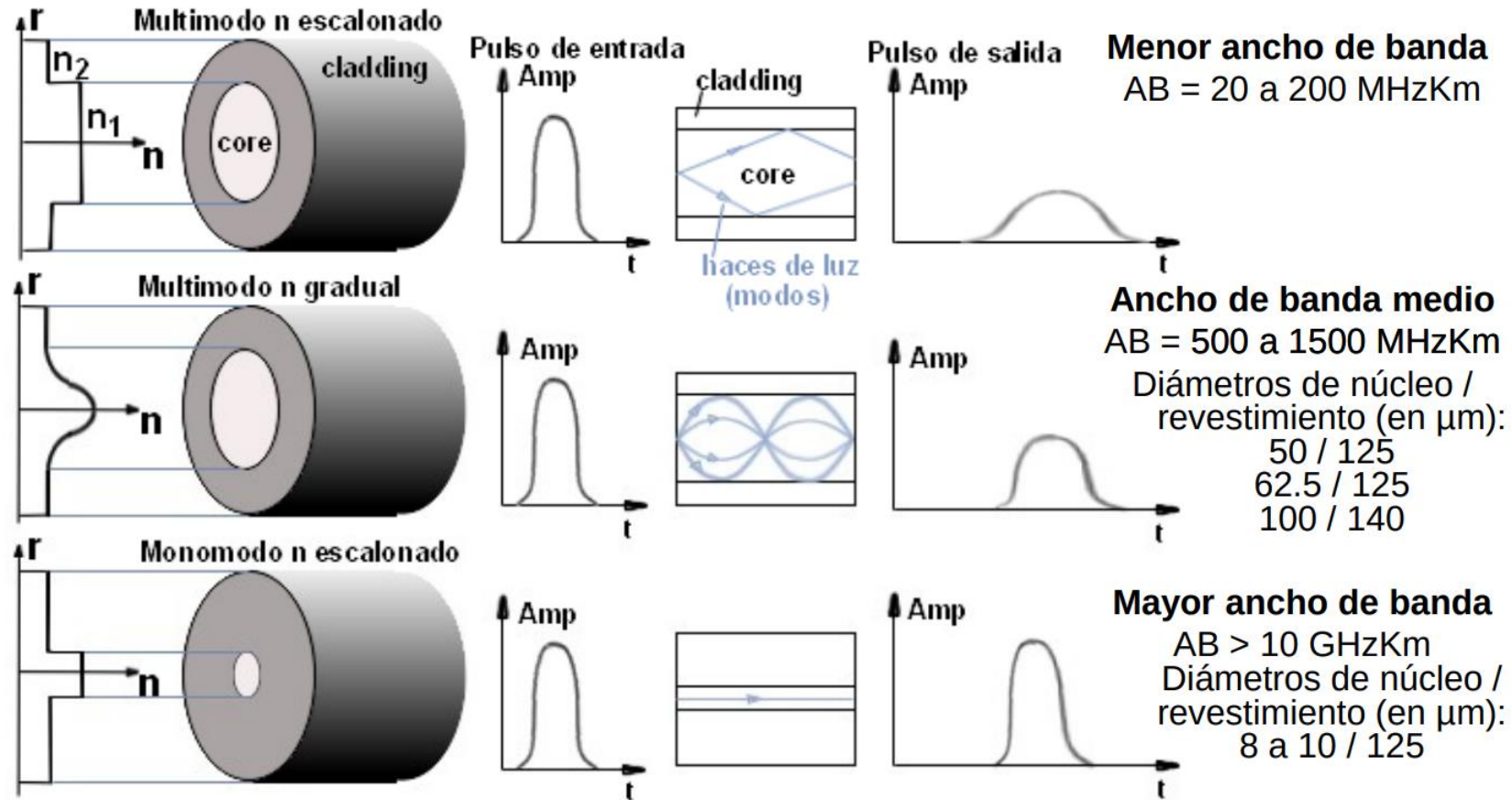
Multimodo

- Fuentes de luz barata (LED, láser de menor precisión)
- Mayor pérdida (dispersión)
- Distancia < 500 m
- Menor ancho de banda
- **Usos:** Dentro de edificio o Datacenter
- **Tipos:** Gradual y Escalonado
- **Estándares:**
 - OM1 (62.5 μ m, para LED)
 - OM2 (50 μ m, para LED)
 - OM3 (50 μ m, para láser, 10 Gbps @ 300 m)
 - OM4 (50 μ m, para láser, 100 Gbps @ 125 m)

Monomodo

- Fuente de luz cara (láser)
- Poca pérdida
- Distancia > 60 km (hay distintos tipos)
- Mayor ancho de banda
- **Usos:** largas distancias, grandes capacidades
- **Tipos:** Estándar, Low Water Peak, Low Loss Fiber, Bend Insensitive Fiber, etc.
- **Estándares:**
 - OS1 (8 μ m, λ =1310nm, 1db/km)
 - OS2 (8 μ m, λ =1550nm, 0,4db/km)

Fibra Óptica – Clasificación

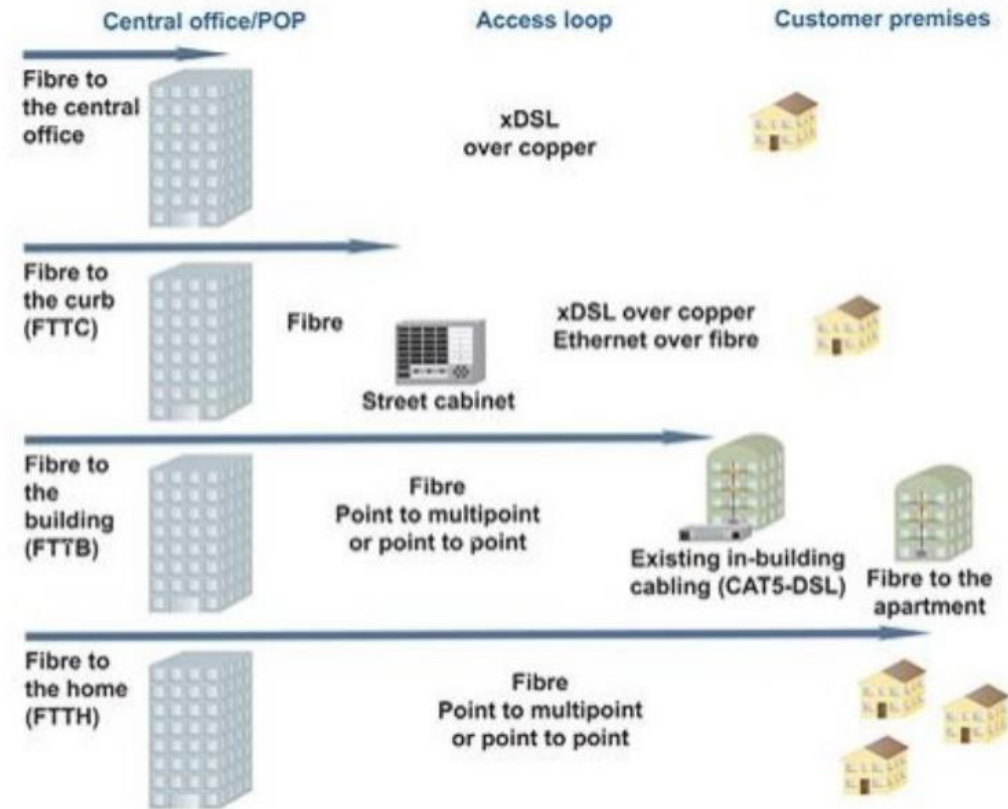


Fuente: <http://www.yio.com.ar/fo/>, figura 3, accedido Marzo 2014.

Acceso de Fibra Óptica

- FO en el acceso, según aproximación (gradual) al usuario: FTTx hasta FTTH.
- Reducción de costos de fibra y componentes facilita el despliegue.

Figure 2: Different types of FTTx networks



Source: FTTH Council Europe, FTTH Handbook, 5th edition, Figure 4

Acceso de Fibra Óptica

FTTEx: Fiber to the Exchange

- Fibra entre centrales, solo requiere cableado de FO para troncales.
- Menor costo
- Despliegue más rápido
- Desde la central al abonado se utiliza:
 - Medio físico: Par trenzado de cobre o cable coaxial.
 - Enlace: ADSL, HDSL, SDSL, DOCSIS, etc.

FTTCab: Fiber to the Cabinet

- FO desde central hasta un armario cercano a los abonados.
- Cobertura de 2 ó 3 manzanas.
- Reduce tramos de cobre o coaxial respecto a FTTEx.

Acceso de Fibra Óptica

FTTC: Fiber to the Curb

- FO hasta “la esquina”, hasta caja terminal.
- Similar al anterior pero el área de cobertura es 1 cuadra.
- Variante: FTTB: Fiber to The Building.

FTTH: Fiber To The Home

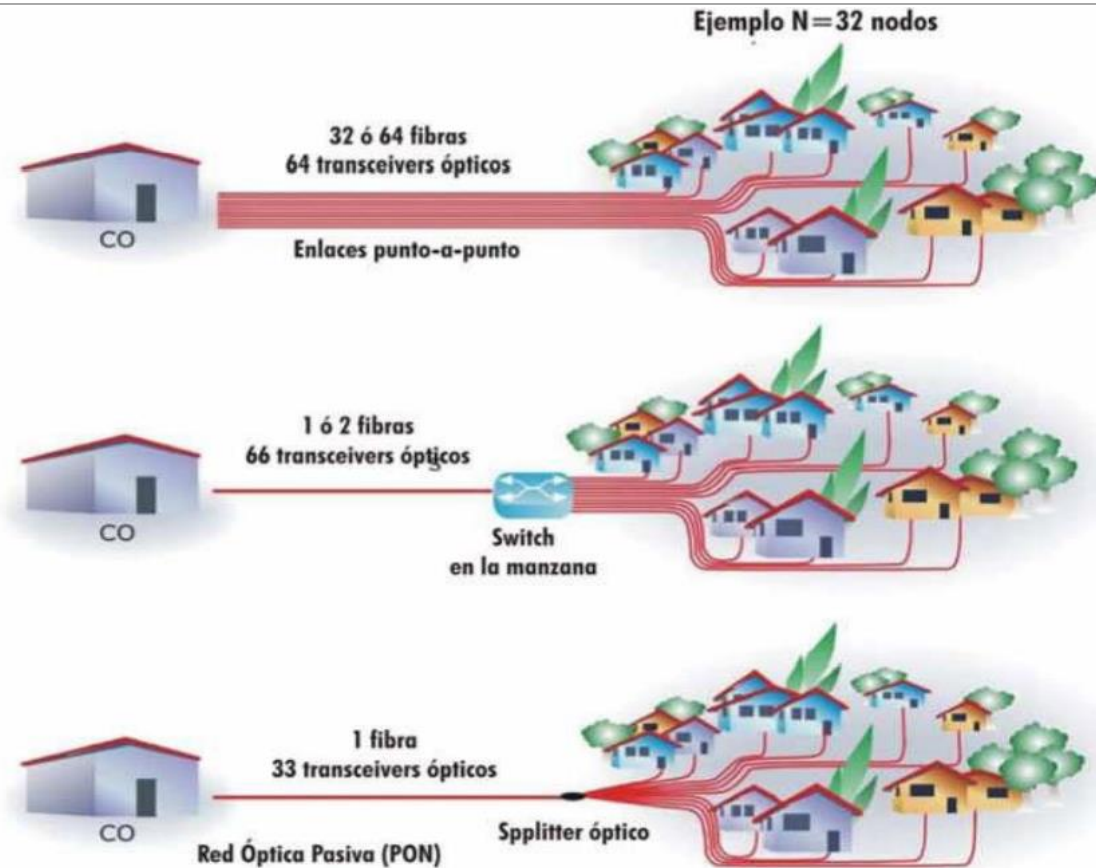
- FO desde el nodo de servicio hasta el hogar del abonado.
- Más directo
- Mayor costo
- Requiere transmisión completamente óptica bidireccional
 - Cada usuario necesita una ONU con transmisor óptico
 - Emplea PON o AON para las capas 1 y 2.

Acceso de Fibra Óptica

Fibra Punto a Punto (Directa).
Despliegue más caro.

Fibra Punto-Multipunto c/Switch.
Hibrido FO + Cobre (Eth ó xDSL)

PON: Passive Optical Network
Reduce la cantidad de fibras



Arquitectura punto-a-punto vs punto-multipunto con switch en la manzana vs PON

Fuente: "Especialidad de Sistemas de Telecomunicación", Grado de Ingeniería Técnica de Telecomunicación, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universitat Politècnica de Valencia.
https://www.etsit.upv.es/media/content/category/docencia/estudios_de_grado/itinerarios/itinerario_sistemas_telecomunicacion.pdf,
pág. 16, accedido Marzo 2019.

PON: Passive Optical Network

Red de fibra óptica cuyos componentes son pasivos entre la central (OLT) y el equipo en el domicilio del abonado (ONT).

- Permite compartir una misma fibra por parte de hasta 64 usuarios.
- Es la forma más económica de desplegar FTTH.
- Desplegada en Uruguay por ANTEL.

PON: Passive Optical Network

DownStream

- Trasmisión punto a multipunto, los splitters repiten la señal recibida por todas las fibras salientes (hub).
- Tx OLT: 1490 nm o 1550 nm

UpStream

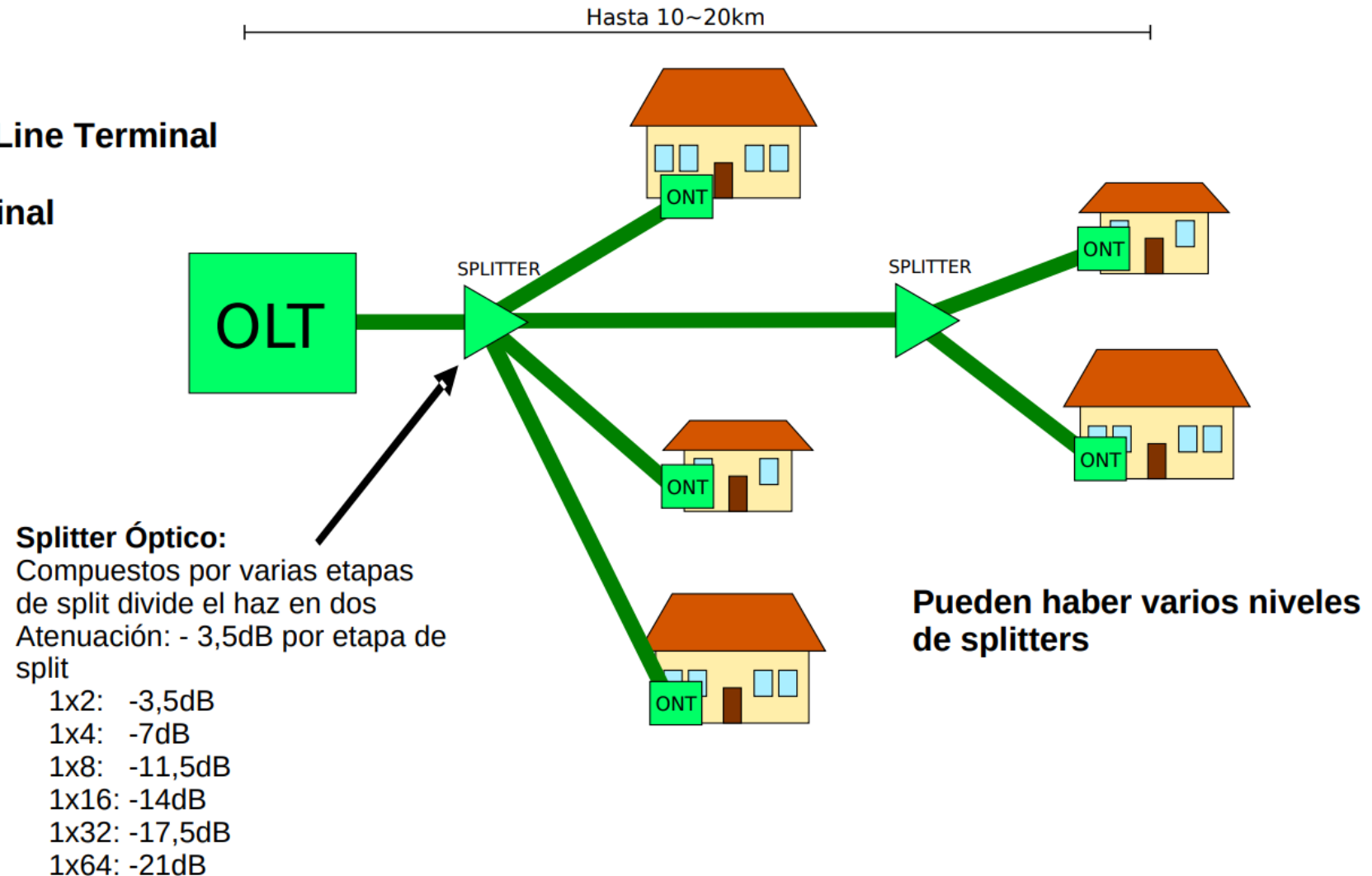
La comunicación es punto a punto entre ONT y OLT. Señales multiplexadas usando TDM controlado por OLT (en GPON). Los splitters no operan.

Tx ONT: 1310 nm

Full dúplex con CWDM (una longitud de onda para cada sentido de la comunicación)

Arquitectura PON

OLT: Optical Line Terminal
ONT: Optical Network Terminal



PON: Passive Optical Network

	BPON	GPON	EPON
Estándar	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 892.3ah (1 Gbps) IEEE 892.3av (10 Gbps)
Descripción	BroadBand PON	Gigabit Capable PON	Ethernet PON
Tasa de Transmisión	DS: hasta 1.2 Gbps US: hasta 622 Mbps	DS: hasta 2.5 Gbps US: hasta 1.25 Gbps	DS: 1.25 Gbps / 10.3 Gbps US: 1.25 Gbps / 10.3 Gbps
Longitud de onda	DS: 1490 nm US: 1310 nm	DS: 1490 nm US: 1310 nm	DS: 1490 nm, 1550 nm US: 1310 nm
Protocolo	ATM	Eth over ATM/IP o TDM	Ethernet
Video	RF @ 1550 nm o IP	RF @ 1550 nm o IP	IP
Max PON Splits	32	64	16
Cobertura	20 km	60 km	20 km

PON: Passive Optical Network

Estándares “Nuevos” y Temas en desarrollo:

- XGPON: ITU-T G.987 (2010)
 - Tecnología similar a GPON pero hasta 10 Gbps DS / 2.5 Gbps US
 - Emplea WDM para coexistir con deploys [B|E|G]PON en la misma infraestructura cableada
 - Longitudes de onda: 1577 nm DS / 1270 nm US
- RF PON
- NG-PON2 (ITU-T G.989 series – en desarrollo).
 - Capacidad base de 40 Gbps usando cuatro lambdas en WDM de 10 Gbps (DS) / 2.5 Gbps (US) cada una

Red de Acceso

INALÁMBRICAS

Inalámbricas

Medio físico: espectro radioeléctrico

- Regulación del espectro (URSEC)
- Recurso caro y escaso
- Bandas licenciadas y no licenciadas

Tecnologías:

- Nomadicas: WiFi, WiMAX
- Celulares (Móviles): GSM, UMTS, LTE, NR
- Microondas: LMDS, MMDS
- Satelitales

Wi-Fi: Wireless Fidelity (WLAN)

Estándares IEEE 802.11

- Operan en bandas sin licencia
- Grandes anchos de banda.
- Gran éxito comercial.
- Alcance limitado.
- Restricciones de potencia de radiación.
- Basado en CSMA/CA para acceso.
- Aparece OFDMA en wifi 6 para mejorar eficiencia... pero igual depende de CSMA/CA.

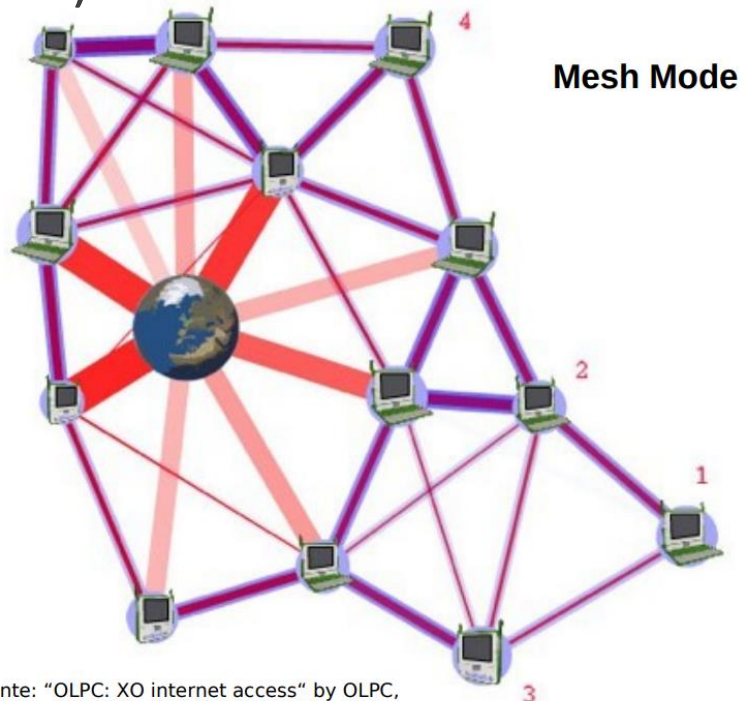
Despliegues para acceso

- WiFi Local -- área local, oficinas, domicilio
- Campus-Wide WiFi
- Municipal WiFi (city-wide): Utiliza modo Mesh (Ej.: Plan Ceibal)

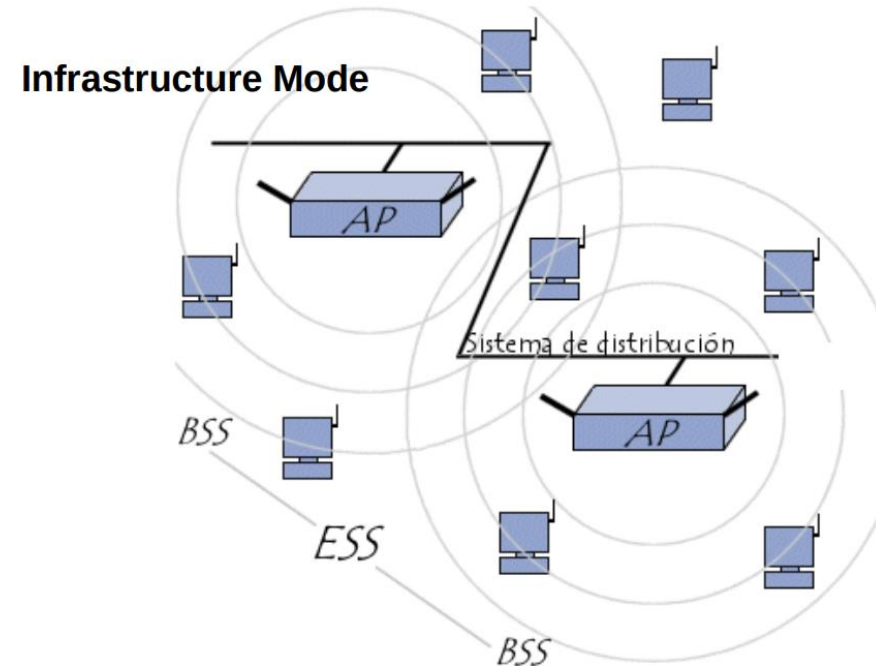
Wi-Fi: Modos de operación

Infraestructure Mode: Las máquinas se comunican a través de un AP

Mesh Mode: Las máquinas se comunican directamente y además reencaminan paquetes destinados a otras permitiendo una topología mallada dinámica (IEEE 802.11s).



Fuente: "OLPC: XO internet access" by OLPC, http://wiki.laptop.org/go/Image:802.11s_5.jpg, accedido Marzo 2019, licensed under the Creative Commons Attribution 2.5 Generic license.



Fuente: "Cómo implementar una red wifi (estándar 802.11)" por Jean-François Pillou, CCM.net. accedido Marzo 2019, Url: <https://es.ccm.net/contents/791-como-implementar-una-red-wifi-estandar-802-11>,

Wi-Fi: Wireless Fidelity (WLAN)

Ventajas

- Despliegue:
 - Economía de escala para redes inalámbricas sin regulación.
 - Anchos de banda similares a redes LAN.
 - No requiere cables.
- A diferencia de redes móviles, no es necesario roaming en el exterior.

Problemas

- Vulnerabilidades (Seguridad Informática).
- Interferencias y actual saturación de las bandas ISM (2.4 GHz).
- Limitada capacidad para atravesar obstáculos (especialmente 5 GHz).
- Dificultades con aplicaciones sensibles a latencia y jitter.
- Eficiencia, particularmente al aumentar cantidad de usuarios.

Wi-Fi: Wireless Fidelity (WLAN)

Estándar	Año	Banda de operación	Capacidad base (Mbps; PHY)	Tecnologías
IEEE 802.11	1997	2.4 GHz	2	CSMA/CA FH o DSSS
IEEE 802.11b	1999	2.4 GHz	11	Canales de 22 MHz DSSS
IEEE 802.11a	1999, 2002	5 GHz	54	OFDM
IEEE 802.11g	2003	2.4 GHz	54	OFDM tasas altas DSSS tasas bajas
IEEE 802.11n	2009	2.4 GHz / 5 GHz	600	Canales de 40 MHz OFDM MIMO
IEEE 802.11ac	2014	5 GHz	1000	Canales hasta 160 MHz OFDM MIMO
IEEE 802.11ax	2020	2.4 GHz / 5 GHz / 6 GHz	6000	OFDMA MU-MIMO

Wi-MAX (WMAN – IEEE802.16)

Tecnología de Red Inalámbrica Metropolitana de IEEE.

Alternativa a tecnologías 4G, popular en Corea del Sur y Japón.

Características (IEEE 802.16-2012, conocido como WiMAX2+)

- Conexión Fija: Teórico 1 Gbps máximo (< 5km); 75 Mbps (< 50km).
- Conectividad hasta 100 km.
- Móvil: 100Mbps nomadico ($v < 10\text{km/h}$).
- Permite conexiones hasta más de 120 km/h (vehicular).
- Ancho de Banda Adaptativo.
- Soporta distintas bandas y escenarios: NLOS (2-11GHz) y LOS (10-66GHz).
- Emplea bandas licenciadas y sin licenciar.
- Tecnología orientada a conexión, emplea OFDMA y MIMO.
- Posibilita QoS y garantizar bitrate mínimo.

Problemas

- Afectado por la lluvia.
- Frecuencias altas tienen poca penetración, mas adecuadas para backhauls.
- El ancho de banda de cada sector se comparte entre los abonados.
- No integrado con generaciones celulares.

Satelitales

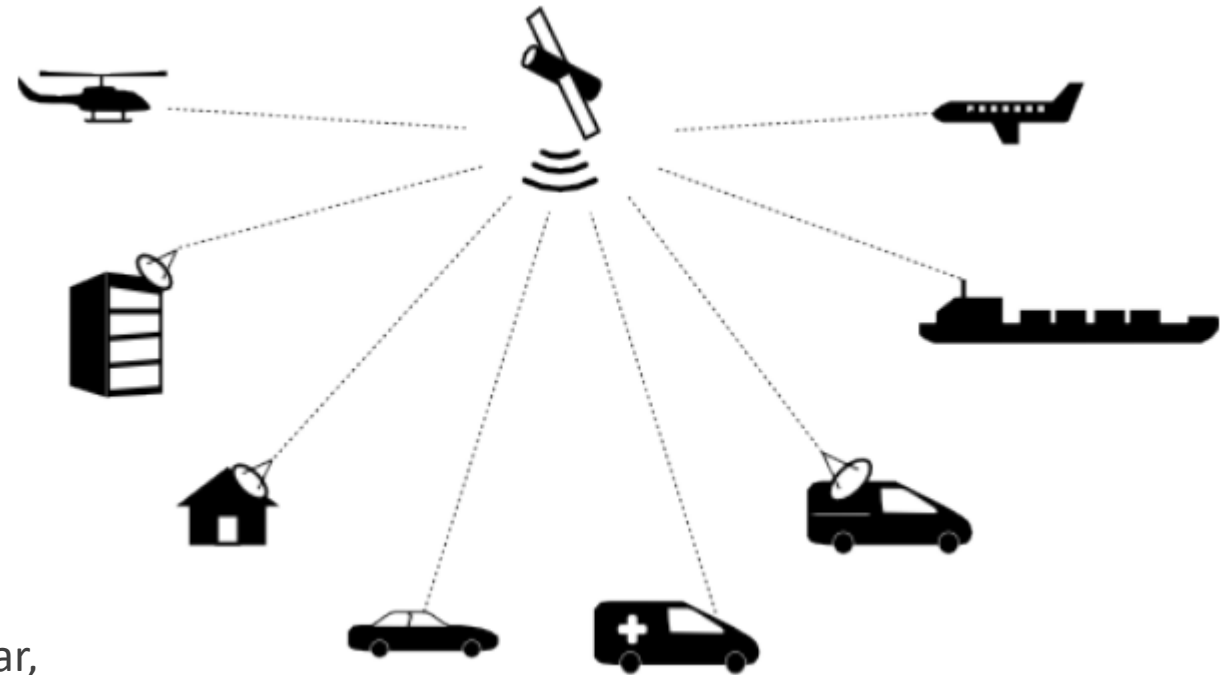
Repetidor radioelétrico en el espacio, que recibe señales, las amplifica y las vuelve a enviar a la tierra (en otra banda)

Una red satelital consiste:

- Transponder (Rx-Tx)
- Estación en tierra que controla
- su funcionamiento
- Red de usuario

Características

- Capacidad de Gbps
- Costosas de desplegar y mantener
- Latencias grandes
- Usados para:
 - Bidireccional: sitios remotos, barcos en altamar, aviones, etc. (Narrow Beam, bent pipe)
 - Unidireccional: Televisión (Wide Beam)



Satelitales: Starlink

Basado en LEO: Low Earth Orbit (~550 km)

- A diferencia de satélites geo-estacionarios, orbitan a menor distancia.
- Pros:
 - Menor latencia al estar más cerca.
 - Mejores bitrates.
- Cons:
 - Necesita tracking de satélites.
 - Necesita alta densidad de satélites.
 - Puede ser problemático desde punto de vista de saturación del espacio aéreo.

Permite además un uso (limitado) hacia terminales “comunes” para escenarios de emergencia en zonas aisladas.

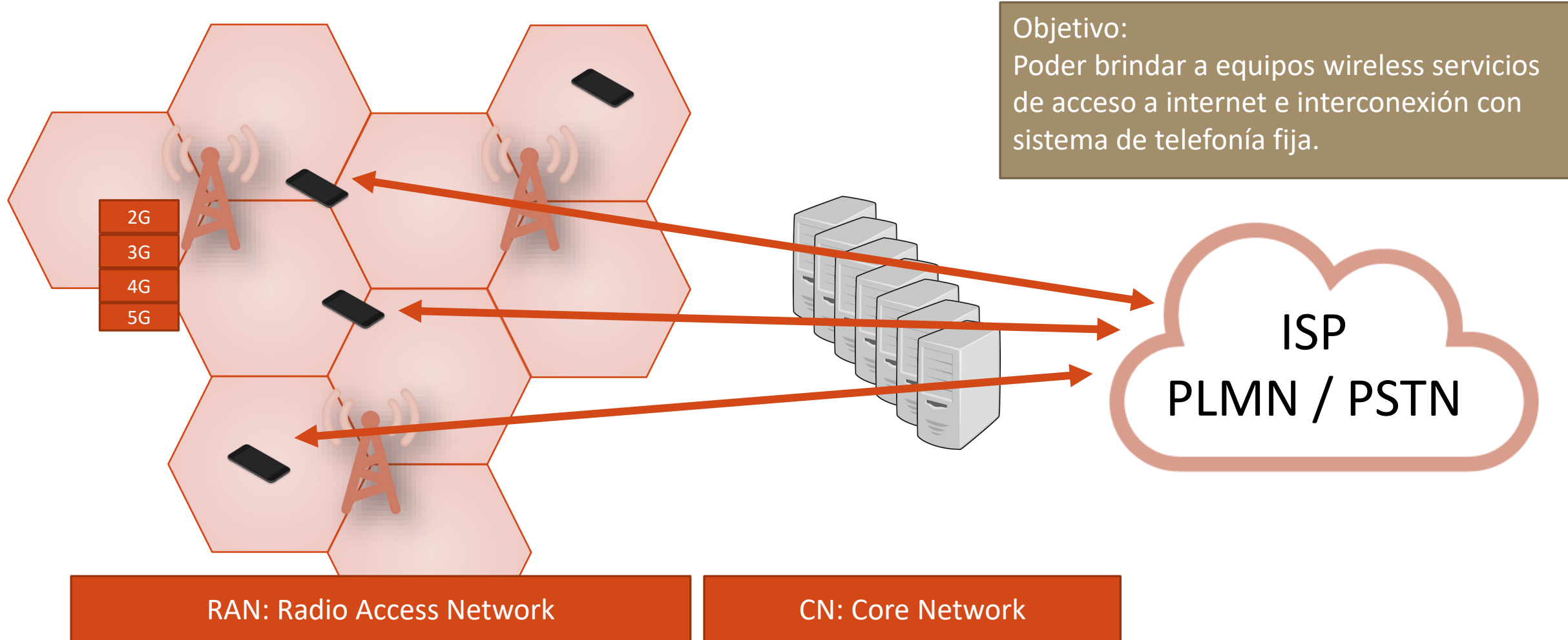
También puede ser opción interesante para transporte de rbs LTE / 5G.

Satelitales: Starlink

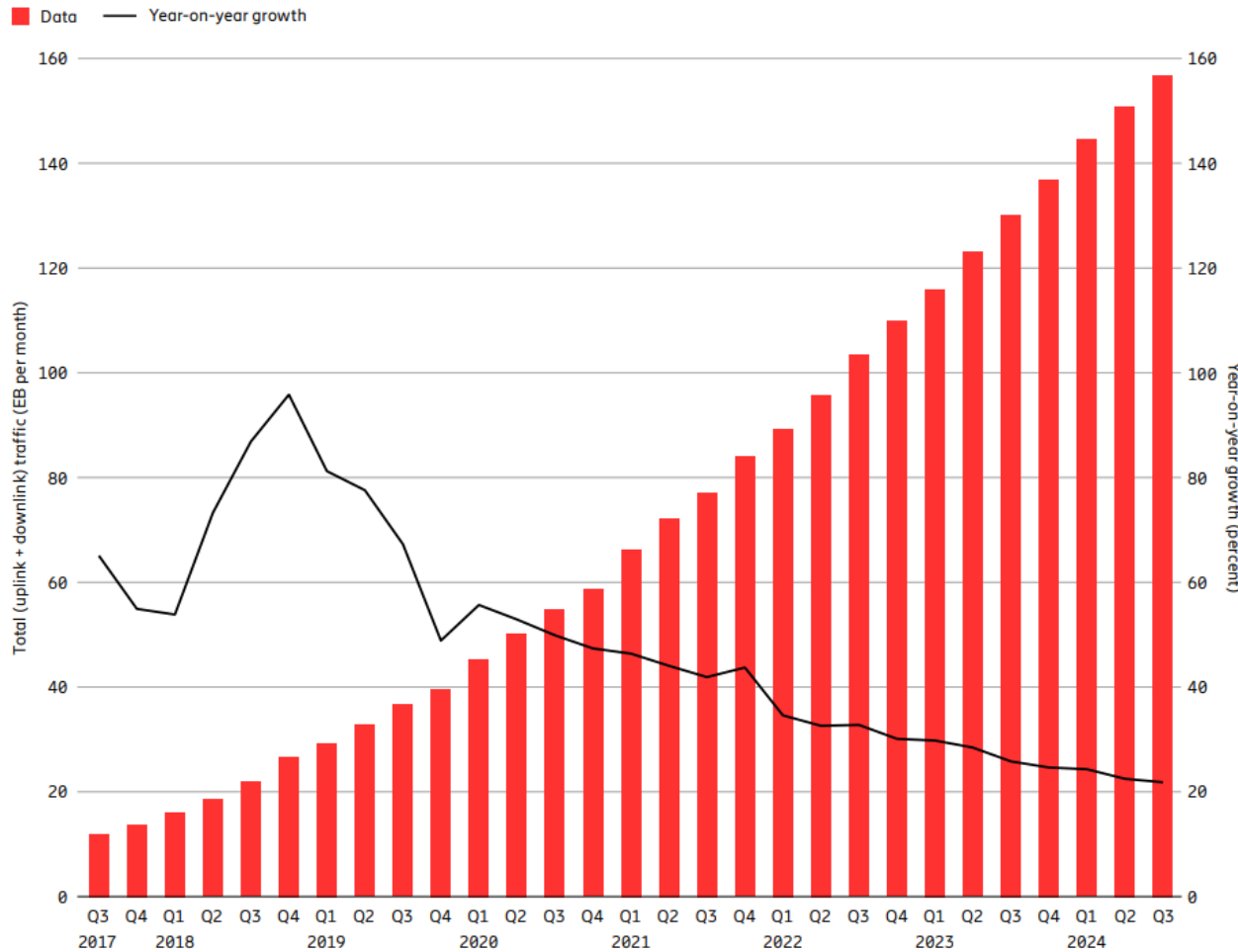


<https://www.starlink.com/map>

Red de Acceso Móvil



Red de Acceso Móvil

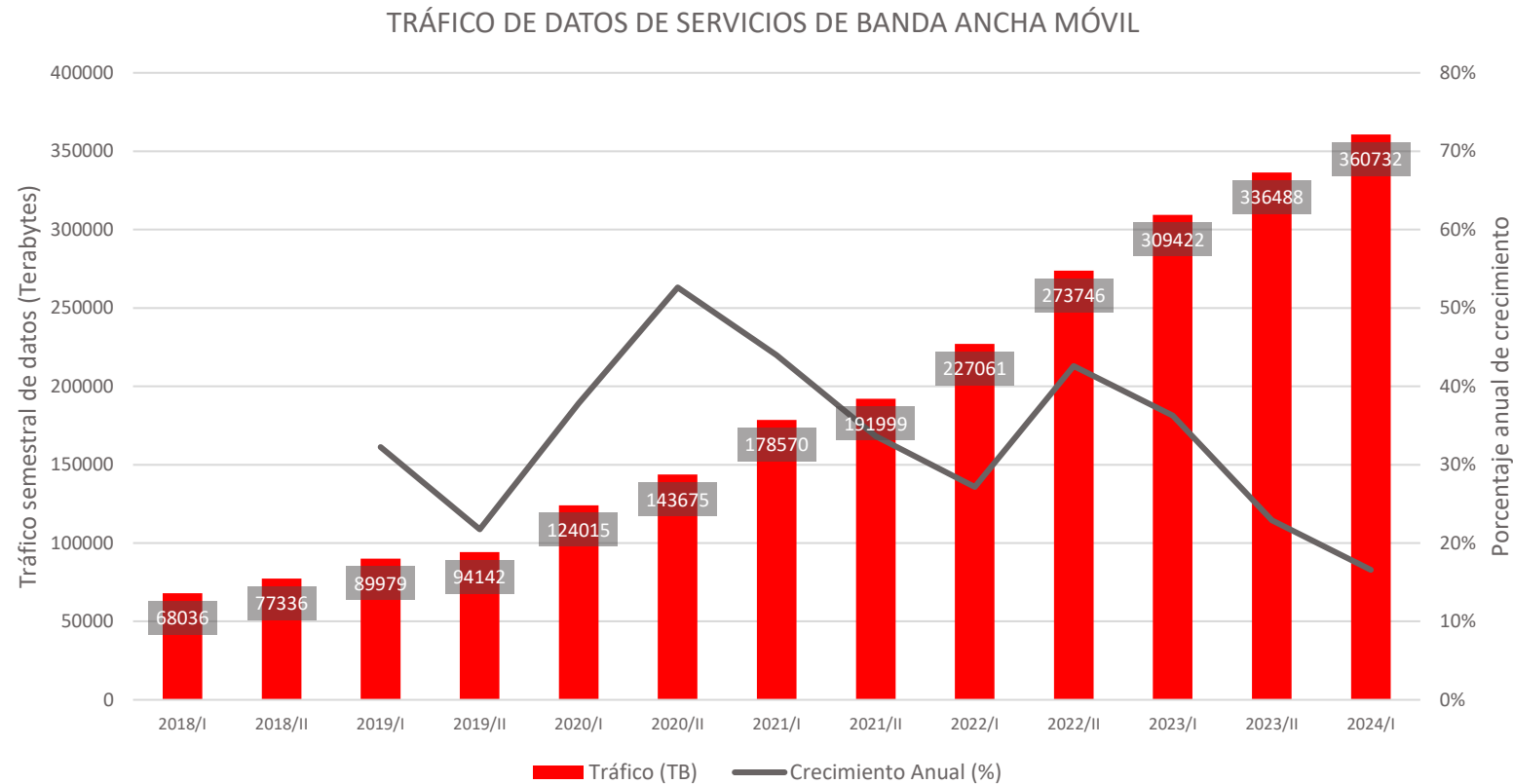


Crecimiento sostenido año a año en el tráfico global. La cantidad de tráfico año a año aumenta alrededor de un 20%!

Ericsson Mobility Report – Nov 2024 (Ericsson)

<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report>

Red de Acceso Móvil



En UY el crecimiento un poco por debajo, pero igualmente en persistente crecimiento.

Gráfica hecha con datos de Informe de mercado de telecomunicaciones – Jun 2024 (gub.uy)

<https://www.gub.uy/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/datos-y-estadisticas/estadisticas/informes-mercado-del-sector-telecomunicaciones>

Red de Acceso Móvil

Organizaciones Estandarizadoras

- 3GPP - 3rd Generation Partnership Project
- 3GPP2 - 3rd Generation Partnership Project 2
- ITU-T - International Telecommunications Union
- ETSI - European Telecommunications Standards Institute
- ANSI - American National Standards Institute

Red de Acceso Móvil

1G 1980s Aquellos ladrillos enormes. Analógico y enfocado en servicios de voz.	2G 1990s Nokia 1100. Me preocupa la voz, pero quiero poder mandar algún mensaje cada tanto. Algún mail no vendría mal.	3G 2000s Primeros celulares que hacían más que jugar a la vborita. Blackberry al top. Si, la voz es importante... pero quiero navegar en internet y mandar mails.	4G 2010s Smartphones. Que lo tengan todo y conectados a todo. Llamar por teléfono? Estás loco... Datos y más datos, para mi y para mis "cosas".	5G 2020s Las personas no son los únicos usuarios. Más equipos conectados. Más "cosas". Más velocidad.
---	---	---	---	--

Red de Acceso Móvil – 1G

- Sistemas analógicos
- Solo voz (en baja calidad)
- Baja eficiencia espectral
- Sin seguridad
- Redes comerciales 1970-1980
 - Tokio: NTT, 1979
 - Escandinavia: Nordic Mobile Telephony, 1981
 - USA: Advanced Mobile Phone System, 1983.
- Sistemas Incompatibles (sin posibilidad de Roaming)
- Terminales caros, penetración menor al 10%
- Estándar dominante: AMPS
 - Utilizado en Uruguay en los 90s

Red de Acceso Móvil – 2G

Sistemas digitales:

- IS-136 (TDMA: Time Division Multiple Access).
 - IS-95 (CDMA: Code Division Multiple Access).
 - GSM (Global System for Mobile communication).
Resultó el estándar dominante.
-
- Mayor eficiencia espectral: Mejor calidad y mayor capacidad para servicios de VOZ.
 - Capacidad (limitada) para servicios de datos.
 - Incluye seguridad: autenticación de usuario y cifrado.

Red de Acceso Móvil – 2G

GSM (Global System for Mobile communications)

- Estándar abierto, no propietario y de fácil implementación
 - Favoreció economías de escala para los fabricantes
 - Definió y resolvió el roaming celular
 - Contribuyó a la globalización de sistemas celulares.
- Primer red GSM comercial: Finlandia, 1991.
- Introdujo nuevos servicios:
 - “Boom” de SMS
 - Servicios de datos limitados
 - Evoluciona a GPRS/EDGE(2000) con conmutación de paquetes.
DL 40 kbps & UL 14 kbps.

Red de Acceso Móvil – 3G

Sistemas concebidos como evoluciones de los 2G:

- Centrados en mejorar servicios de voz.
- Mayor eficiencia espectral que 2G/2.XG.

UMTS (3GPP):

- Evolución de GSM.
- Penetración global.
- Interfaz de radio W-CDMA (y TD-CDMA, poco popular).

CDMA 2000 (3GPP2):

- Evolución de IS-95.
- Despliegue en EEUU (al igual que IS-95).
- Interfaz de radio CDMA/TDMA.

Red de Acceso Móvil – 3.XG

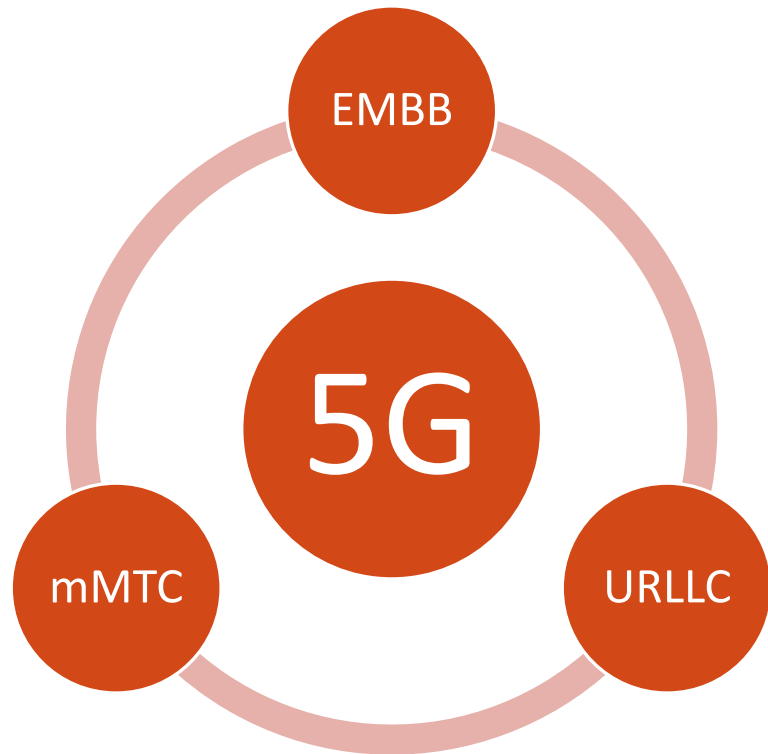
- Optimización en manejo de recursos de radio.
- Ofrecen mayores tasas de transmisión (más allá de los 384 kbps de UMTS por ej.).
- UMTS evoluciona hacia HSDPA, HSUPA, HSPA+.
- CDMA2000 evoluciona hacia EV-DO.
- Velocidades de bajada de hasta unos 100 Mbps.

Red de Acceso Móvil – 4G

- Concebido para transmisión de paquetes de datos.
 - Estándar full IP, en todo sentido.
 - CS Fallback: Inicialmente la “voz” se transmite por layers 2G/3G.
 - Se introduce luego VoLTE sobre SIP.
- LTE (3GPP) es el estándar 4G más popular.
 - Evolución de UMTS.
- OFDMA: Mejora la eficiencia espectral de UMTS.
- Varias opciones de BW a desplegar (5 a 20MHz): mayor flexibilidad para los operadores.
- Tasas de datos en el orden de cientos de Mbps (LTE-A; 4.5G).
- NB-IoT

Red de Acceso Móvil – 5G

Estándar NR (New Radio) de 3GPP. Evolución desde LTE.

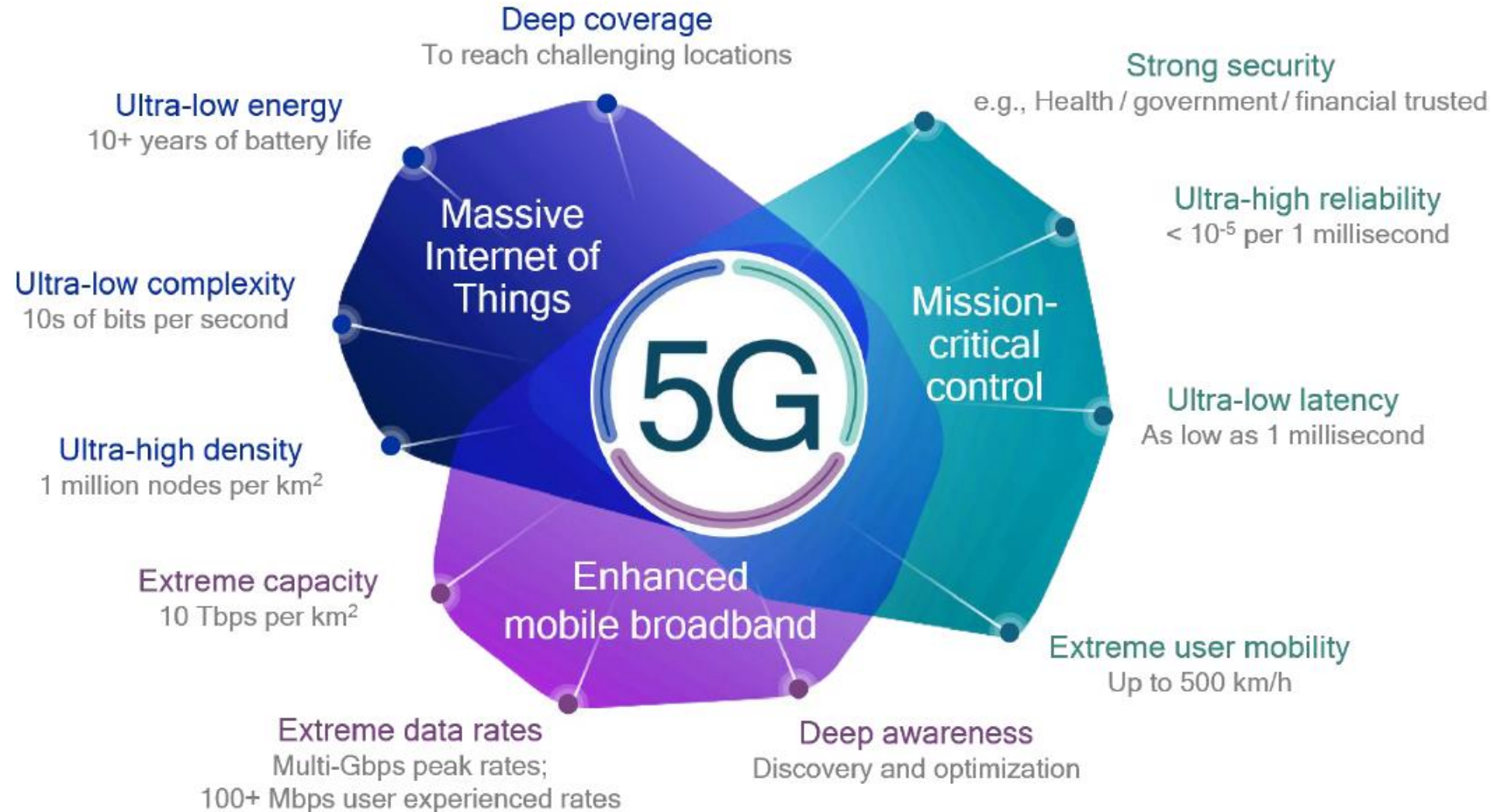


eMBB: enhanced Mobile Broadband

URLLC: Ultra Reliable Low Latency Communications

mMTC: massive Machine Type Communications

Red de Acceso Móvil – 5G



Red de Acceso Móvil

Radio Access Network (RAN)

- Implementada con las Radio Access Technology (RAT).
- Va desde el dispositivo de usuario hasta la red de núcleo (Core Network).

Ejemplos:

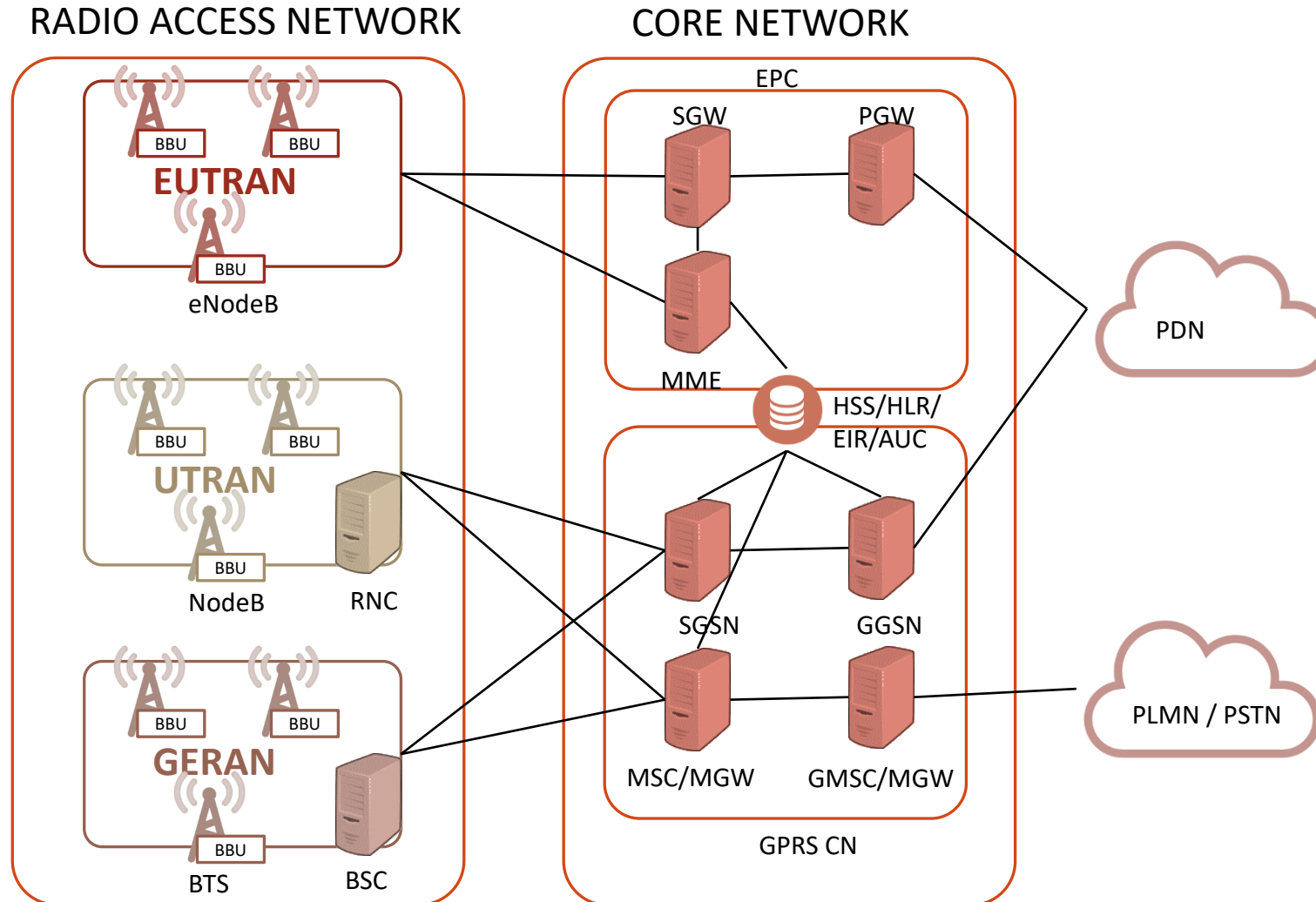
- GRAN: GSM Radio Access Network
- GERAN: Como GRAN pero con la inclusión de servicios de paquetes EDGE.
- UTRAN: UMTS Radio Access Network.
- E-UTRAN: Evolved UTRAN. RAN de LTE.
- NG-RAN: Next Generation RAN en 5G.

Red de Acceso Móvil

Arquitecturas

- Los elementos de la arquitectura de las redes móviles presentan algunas variantes según las tecnologías y las “generaciones”.
- En las primeras generaciones la “inteligencia” de la red se centraliza en las centrales / controladoras.
 - Los nodos / radiobases son esencialmente elementos que ejecutan pero no deciden
- En 4G la inteligencia se mueve hacia el borde de la red.
- 5G distribuido al igual que LTE.
- Surgen variantes de tipo de Cloud-RAN para apoyar procesamiento en hw de propósito general.

Red de Acceso Móvil



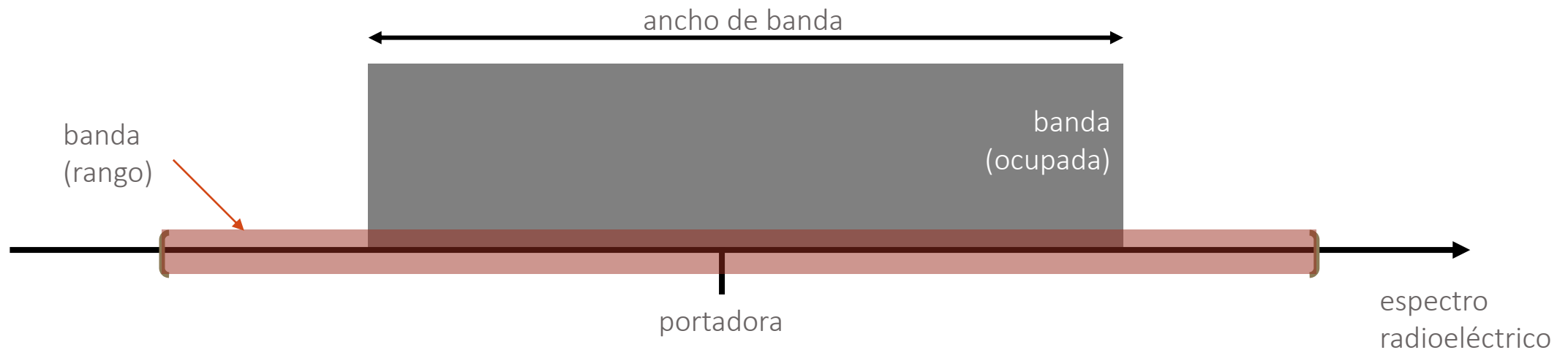
Red de Acceso Móvil

La **portadora** hace referencia a la ubicación en el rango de frecuencias.

La **banda** refiere a un rango de frecuencias. Puede usarse para hablar de la porción de espectro radioeléctrico que ocupa una señal, o para un rango de frecuencias más general.

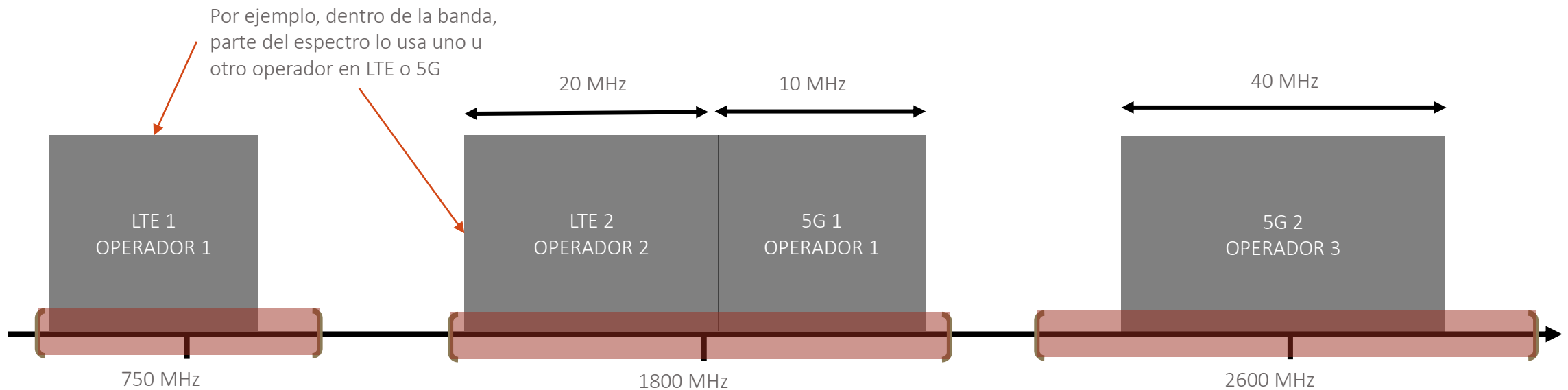
Cuando nos referimos a la banda que ocupa la señal a veces también le llamamos **canal**.

El **ancho de banda** es el tamaño del rango que ocupa.



Red de Acceso Móvil

- Dentro de una banda distintos operadores pueden coexistir irradiando en anchos de banda disjuntos, cada uno en el que fue asignado por ente regulador (ej. URSEC en UY).
- Los anchos de banda que se pueden asignar dependen de lo que permitan los distintos estándares.



Red de Acceso Móvil

Cobertura vs. Capacidad

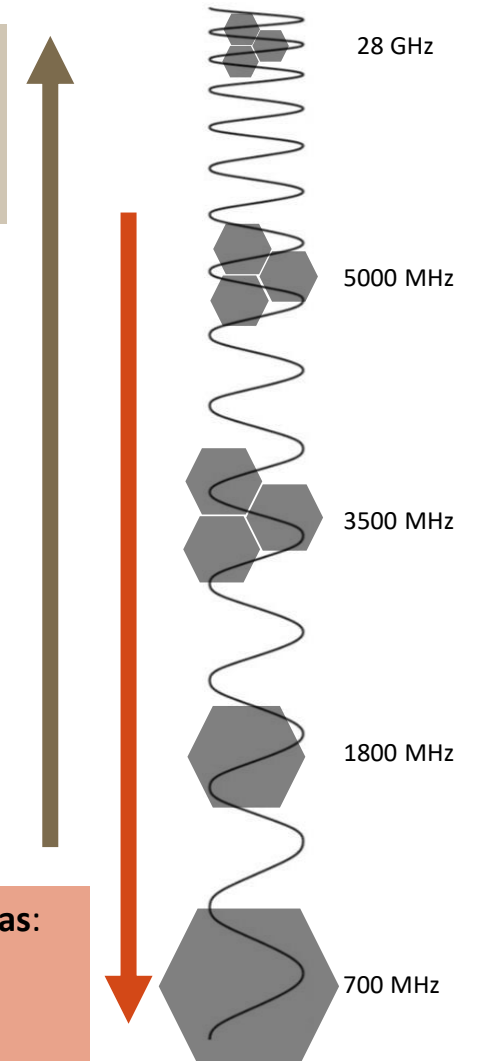
- Bandas bajas llegan más lejos pero tienen menos ancho de banda. → aportan cobertura.
- Bandas altas tienen menor cobertura pero mayor ancho de banda. → aportan capacidad.

Más ancho de banda = más recursos = más capacidad.

No todos los móviles soportan todas las bandas. Cada móvil tiene determinado su conjunto de soporte en base a hardware y firmware que tenga.

Bandas en frecuencias más **altas**:
Más capacidad.

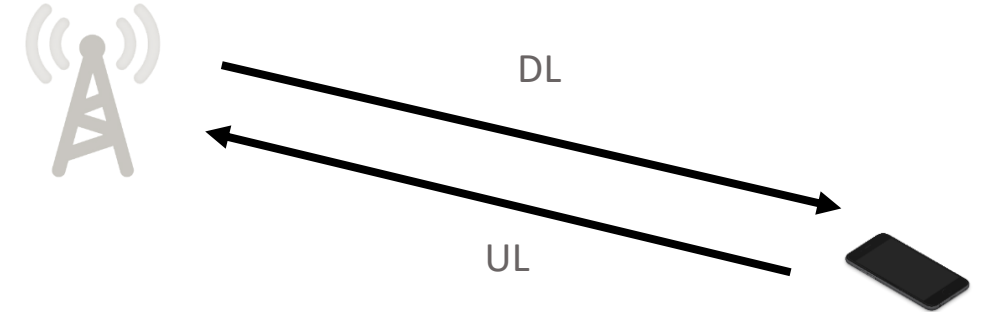
Bandas en frecuencias más **bajas**:
Mayor cobertura.



Red de Acceso Móvil

Hay dos caminos de transmisión:

- De la radiobase al usuario: **downlink (DL)**.
- Del usuario a la radiobase: **uplink (UL)**.



FDD: Frequency Division Duplex.

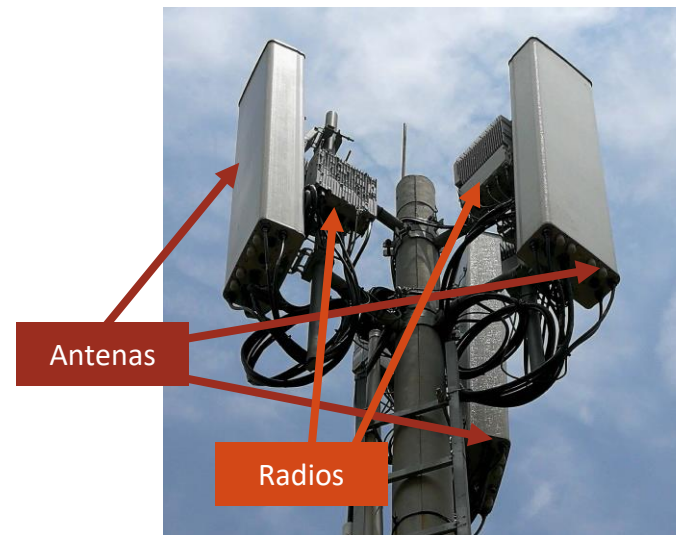
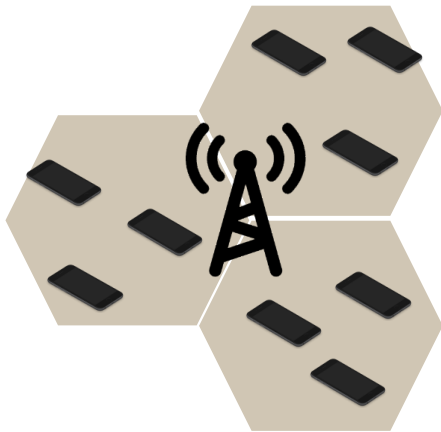
Un canal para el DL y otro distinto, separado, para el UL.

TDD: Time Division Duplex.

El mismo canal es compartido entre DL y UL, se van turnando.

Red de Acceso Móvil

- Una **radiobase** está compuesta por un equipo de procesamiento a nivel de piso o en sala, equipos radiantes cerca de la antenna que generan la señal (radios) y las antenas que lo irradian.
- Una radiobase típica puede tener 3 de lo que se denominan **sectores** que dan servicio a una zona de $\pm 120^\circ$. Una antena en cada sector irradia en su zona. Cada antena tiene entre 2 y 4 transceptores (transmisor y receptor).
- Las antenas irradian hacia toda su zona, sin importar en qué parte del sector están los usuarios.



Red de Acceso Móvil

- **Radiobase:**

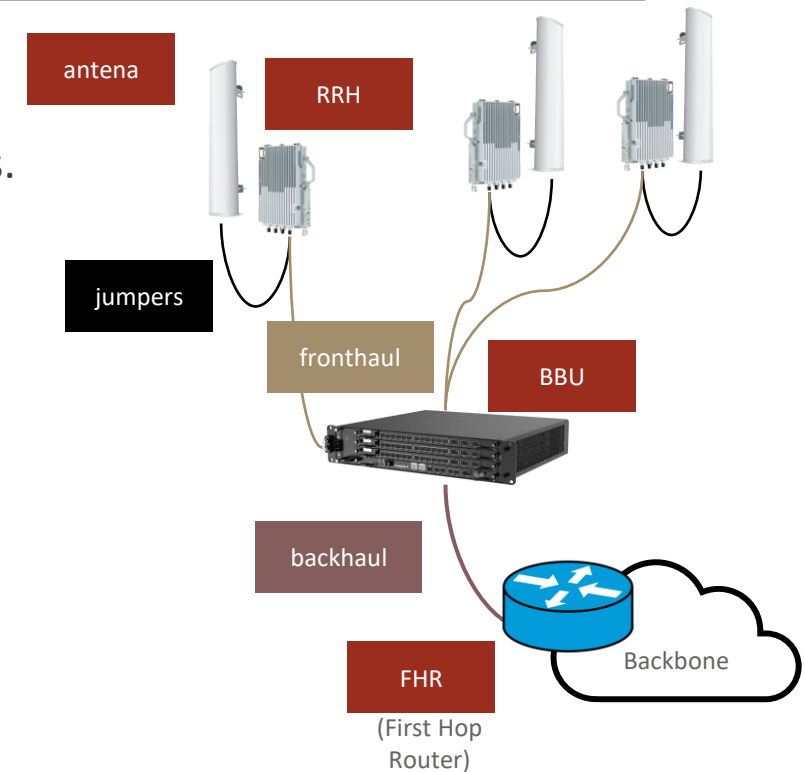
- Conjunto de elementos que permiten la transmisión y recepción de las señales de radiofrecuencia, así como el procesamiento de estas señales.
- Transmisión (backhaul).
- Bandabase (baseband unit; BBU).
- Enlace a radios (fronthaul; fibra).
- Radios. RRH: Remote Radio Head. RFM: Radio Frequency Module.
- Guías de onda.
- Antenas.

- **Celda:**

- Zona de servicio móvil en que una radiobase mantiene conexiones con usuarios y les asigna recursos de radio en una portadora y en una tecnología (2G/3G/4G/5G).

- **Sector:**

- Conjunto de celdas que trabajan sobre la misma zona en distintas portadoras / tecnologías. Típicamente 3 sectores en una radiobase. Muchas veces se usan indistintamente “sector” y “celda”.



Una radiobase típica tiene 3 sectores, cada uno con una o más portadoras de una o más tecnologías.

Red de Acceso Móvil

- **Ancho de banda (bandwidth).**
 - Tamaño en frecuencia del canal de radio.
- **Portadora (carrier).**
 - Ubicación en frecuencia del canal de radio.
 - ARFCN: Absolute Radio Frequency Channel Number.
- **Duplexing.**
 - Cómo se separan DL y UL. TDD por tiempo, FDD por frecuencia.
- **Multiplexing vs. Multiple Access.**
 - Multiplexing: cómo se dividen los recursos. → Ej.: OFDM.
 - Multiple Access: cómo se comparte el medio. → Ej.: OFDMA.
- **Channel Coding.**
 - Codificación del canal. Redundancia y códigos correctores de errores.
- **Interleaving.**
 - Scrambling de bits para evitar perder bits contiguos ante fallas en radio.

Red de Acceso Móvil

- **Broadcast.**
 - Envío de información básica sobre la celda y la red que debe llegar a todos los usuarios de la celda.
- **Idle.**
 - Móvil sin conexión en la red.
 - Registrado pero sin recursos asignados.
- **Paging.**
 - Notificación al móvil de tráfico DL o llamada entrante.
- **Connected.**
 - Móvil conectado en la red y con capacidad para tráfico.
- **Attach / detach.**
 - Registro / de-registro en la red.

Red de Acceso Móvil

- **Reselección.**
 - El usuario en idle pasa de una celda a la otra. A veces debe notificar al core para que sepa cambio de ubicación, pero no siempre.
- **Redirección.**
 - El móvil estando en conectado enviado a otra celda pero no se negociación recursos de ante-mano.
 - El móvil pasa de connected a idle para luego establecer una nueva conexión en la celda target.
- **Handover.**
 - El móvil se mantiene todo el tiempo en connected.
 - Se deben negociar recursos de ante-mano entre celda origen y destino.
- **Roaming.**
 - Móvil conectado en red de otro operador.
 - Debe existir previo acuerdo de roaming entre operadores.
- **Intra / Inter.**
 - Intra: dentro de lo mismo. Inter: por fuera.
 - Ej.: Handover intra-LTE inter-frecuencia → cambia de portadora LTE.