

Backhauling

Hervé LE BRIS - EFORT

<http://www.efort.com>

1 Introducción

Hasta una época reciente, las tecnologías utilizadas para el acceso a redes de telecomunicación se acomodaron con la infraestructura instalada 20 o 30 años atrás para la telefonía analógica.

De aquí a dos años, dos fenómenos clave van a ocurrir:

- Por una parte los usuarios acostumbrados a la calidad ADSL van a aumentar su tráfico en un factor 10 en celular (con la 4G-LTE) y en un factor 50 a 100 en fijo (con la fibra óptica en los hogares)
- Por otra parte, el abandono del modo circuito (TDM o ATM) por el modo paquete generalizado (la telefonía volviéndose ToIP) será confirmada, esta movida ya empezó con el ADSL.

Anticipando esta evolución, una etapa simbólica fue pasada en 2005 cuando los volúmenes intercambiados en telefonía clásica (64kbit/s) fueron superados por volúmenes de otra naturaleza, identificados como "datos", incluyendo la ToIP y el video.

Por estas razones conectar a la red mundial los usuarios, que sean fijos o móviles, en donde se encuentren y traer su tráfico, 10 a 100 veces más elevados que antes, es un desafío técnico y económico para los operadores. Es la función del « backhauling ».

Una misión del backhauling es permitir el acceso de los usuarios a la red de transporte para que puedan acceder a plataformas de servicios más y más centralizadas.

Para el backhauling, el compromiso entre elección de tecnologías y costos depende obviamente de los tipos de servicios usados y de la densidad geográfica de sus puntos de utilización.

Típicamente, el espectro hertziano limitando los tráficos agregados de los celulares, hasta los de tipo LTE-4G, quedan (y quedaran) moderados, y pueden en primer instancia acomodarse de tecnologías de transporte ya existentes, tipo SDH por ejemplo, tanto por cable que por enlaces hertzianos.

No sucede lo mismo por los usuarios fijos para quienes el tráfico nominal llega a ser de 100Mbit/s a algunos Gbit/s en particular para la conexión de las empresas.

En este último caso, *sólo la fibra óptica* puede transportar tales tráficos agregados sobre largas distancias. La contra-partida inmediata es el **costo de la ingeniería civil**. Evidentemente en zonas de población densa, la optimización económica se puede encontrar más fácilmente que en el campo.

En cuanto a la red de transporte misma, se pre-supone aquí que su amortización se basa en tal masa de cantidad de tráfico y sobre tal duración (40 años) que la ecuación económica justifica fácilmente el recurso a la fibra óptica quedando por elegir el modo de multiplexación: en este campo, el Ethernet directo sobre DWDM tiene actualmente las favores de los actores.

Relativamente al uso de la fibra en las arquitecturas de Backhauling cabe tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Aunque una fibra enterrada tiene una muy fuerte disponibilidad, es generalmente necesario prever su eventual ruptura y la desviación del tráfico hacia otro punto de entrada de la red de transporte.
- Será oportuno mezclar tráfico de los móviles y tráfico de usuarios fijos sobre los mismos soportes físicos?
- Traer el tráfico hacia la red de transporte desde puntos de concentración o de multiplexación situados cerca de los usuarios, debe acomodarse de tráficos de tipo « datos » poco previsibles, lo que hace complejo la optimización de esta red común de colecta,
- En la mente de los usuarios rige la idea de que el transporte de los tráficos debería ser « casi-gratuito ».
- Una estructura nueva de backhauling deberá tomar en cuenta la conexión de sistemas ya calificados de « antiguos », aunque sob tienen unos años de uso como por ejemplo: DSLAM en redes fijas y NodeB para los celulares UMTS-3G típicamente.

En esta presentación de backhauling seguiremos el siguiente plano:

- Detallaremos una lista de equipos de agregación de los usuarios usados hoy en día y en un futuro previsible.
- Presentaremos unas soluciones técnicas aptas en satisfacer la problemática del backhauling.
- Estudiaremos elementos de costo y de metodologías de evaluación, permitiendo así dirigir la reflexión entre varios compromisos técnicos y económicos. Esta ultima parte ha de tomar en cuenta la geografía local: densidad de población, reglamentación nacional y provincial, prácticas comerciales....

2 Equipos e interfaces de conexión de usuarios.

Como lo vimos mas arriba, el backhauling consiste en conectar equipos de acceso, de concentración o de multiplexación, específicos de los servicios entregados, hacia equipos de agregación con el objetivo de encaminar el tráfico usuarios de y a la red de transporte.

Equipos de conexión de usuarios de accesos móviles e interfaz de conexión:

- BTS o BSC (GSM-2G): TDM sobre E1
- NodeB o RNC (UMTS-3G): ATM sobre E1
- eNodeB (LTE-4G): Ethernet 100 BaseT

Nota: el interfaz radio necesita señales de sincronización (frecuencia y fase) relativamente precisas, cuales pueden o deben, según el caso, estar entregadas por la red (cf: IEEE 1588 V2).

Equipos de conexión de usuarios de accesos fijos e interfaz de conexión:

Usuarios fijos particulares:

- Unidad de conexión de los clientes telefónicos TDM sobre E1
- DSLAM-ATM: ATM sobre SDH - STM1
- DSLAM-IP: Paquete sobre SDH (PoS) – STM1
- OLT (FTTH GPON): Ethernet 10 Gbit/s sobre fibra
- Switch Ethernet (FTTH P2P): Ethernet 10 Gbit/s sobre fibra
- Estación de base WiMax Ethernet 100 Mbit/s sobre UTP5

Usuarios fijos empresas:

ADM para LS PDH (Nx64, E1, E3): SDH STM1 o 4

ADM para LS STM1: SDH STM 4

DSLAM para LS empresas en G.SHDSL (Nx2,3Mbit/s) : ATM sur SDH - STM1

POP IP público (router): Paquete sobre SDH (PoS) STM1 o 4 o GigaEther

Switch Ethernet – P2P: Ethernet 10/40/(100 ?!) Gbit/s

Todos estos equipos de acceso se conectan a la red de transporte por una o más fibras ópticas.

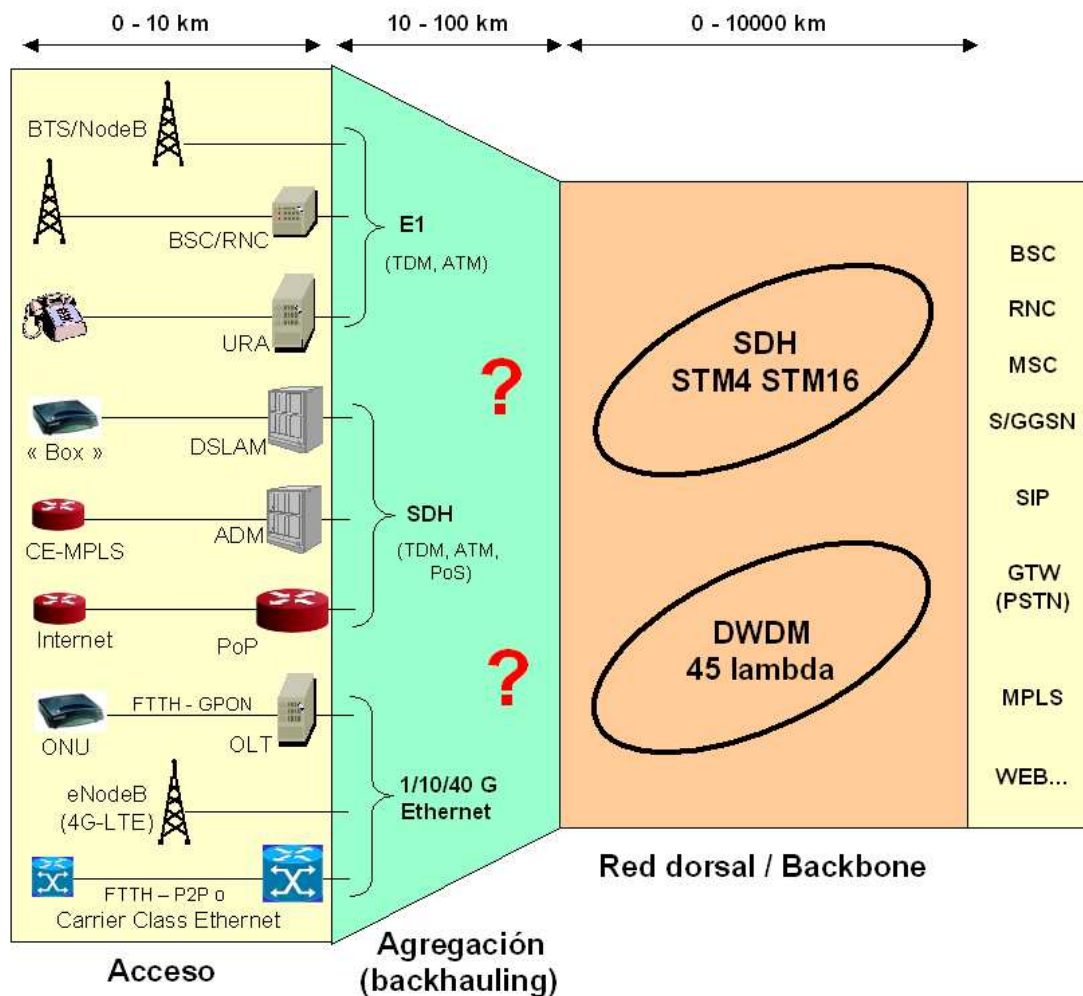


Figura 1: Síntesis de los equipos cuyo tráfico debe estar « backhaulado »

En la figura 1, se puede observar que en lo alto se presentan las tecnologías más antiguas y más a bajo las más recientes.

3 Tecnologías y Soluciones

En la figura 1, los tráficos agregados que resultan de la concentración o de la multiplexación de todos los servicios pueden estar muy elevados, varios Gbit/s, que sólo la fibra óptica puede soportarlos. Esta tecnología supone se analice la problemática de la ingeniería civil.

Sin embargo, los tráficos manejados por un operador móvil son y quedaran claramente inferiores por lo que podría implementar un backhauling adaptado a sus necesidades, usando tecnologías tales como SDH sobre cables o enlaces hertzianos:

Backhauling dedicados para tráfico de usuarios móviles:

Los BTS y BSC, por una parte, al igual que los NodeB y RNC, tienen interfaces de tipo E1 soportando TDM en el primer caso y ATM en el segundo caso. Comúnmente, un NodeB tratando 3 bandas de 5Mhz (en el caso de los 3 operadores mayores de Francia) se conecta con 6 E1.

La conexión a un ADM SDH ubicado a menos de 4 kilómetros se puede hacer con G.SDHSL sobre una o dos pares telefónicas existentes a muy bajo costo.

Más allá de 4 y hasta 15 o 20 kilómetros, se pueden utilizar enlaces hertzianos. Existen en el mercado enlaces hertzianos capaces de transportar hasta seis STM1 con un séptimo de auxilio. Si se trata de una BSC o de un RNC en zona « sensible » en cuanto a la disponibilidad, se pueden utilizar tales enlaces hacia dos puntos distintos de acceso a la red de transporte.

La introducción de la LTE-4G, materializada por los eNodeB, impone interfaces de tipo Ethernet a 100Mbit/s. De manera inevitable a corto plazo, el recurso a un transporte sobre STM1 se impone, con « Ethernet over SDH o EOS ». En este caso, se deberá utilizar dos VC-3 para un trafico útil agregado de $2 \times 48.384 = 96.768$ Mbit/s, apto para transportar el trafico real Ethernet.

Recordemos, que hacia la red de transporte, si las ADM y cross-connects SDH soportan la « virtual concatenación o VCAT », cada uno de los VC-3 puede estar soportado por un camino físico diferente para llegar a conectar el equipo jerárquicamente superior: Ethernet siendo por concepción, un modo paquete, la pérdida de uno de los VC-3 no corta totalmente la conexión, el otro camino quedando funcionando; estamos entonces en un régimen debilitado con una banda útil partida por dos.

La siguiente figura 2 resume estas situaciones.

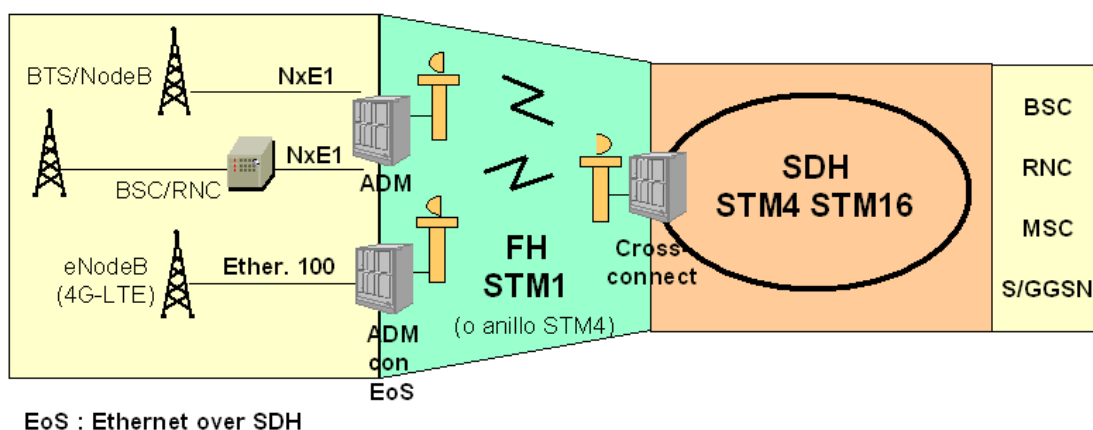


Figura 2: Ejemplo de conexión relativo a backhauling de equipos móviles

En la figura 2, los enlaces hertzianos STM1 utilizados en backhauling pueden ventajosamente ser reemplazados por un bucle STM4 sobre fibras ópticas, caso que puede ocurrir en zonas urbanas relativamente densas.

La evolución hacia interfaces de tipo Ethernet pareciendo inevitable, el operador móvil puede decidir de una etapa intermediaria preparatoria al « todo Ethernet » en donde este tipo de interfaz es el único usado.

La figura 3 ilustra entonces esta etapa:

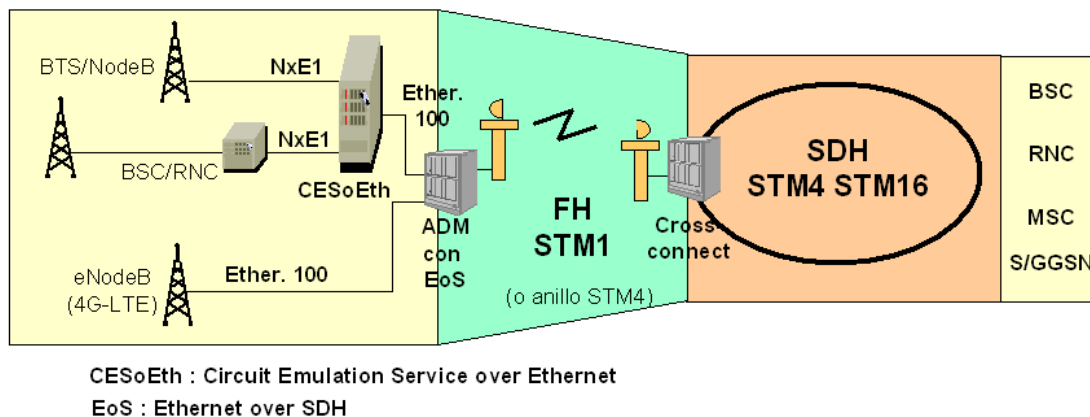


Figura 3: Etapa intermediaria hacia una única interfaz Ethernet 100M

Nótese que en esta arquitectura hay que instalar la función de emulación de circuitos sobre Ethernet (CESoEth), de manera a tomar en cuenta los antiguos sistemas basados en PDH.

El « Metro Ethernet Forum (MEF) » definió las reglas (a efecto de normas) permitiendo esa emulación:

- MEF-18: Circuit Emulation Services Over Ethernet (CESoETH)
- MEF-8: Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks

Algunos analistas anuncian que 73% de los « antiguos » sistemas serán conectados de esta manera (CESoE) antes del 2013.

En esta arquitectura, el ADM de agregación es un eslabón débil (un « Single Point of Failure o SPOF »); obviamente debe ser « carrier grade » con alimentación duplicada, doble unidad de control, etc...

Una manera de introducir más flexibilidad y entonces la posibilidad de tener más caminos desde la periferia hacia las funciones centrales, consiste en utilizar una red MPLS, tecnología hoy en día madura que reemplazó el ATM.

En la figura 4 más abajo, hay que precisar que los tramos Ethernet intercambiados con los equipos terminales son directamente encapsulados en unos «seudo-wires» ellos mismos transportados por los Label Switched Paths (LSP), es decir los circuitos virtuales como MPLS. La norma tiene previsto este tipo de encapsulación.

Bajo la reserva de disponer de tarjetas acopladoras ad hoc, esta igualmente posible encapsular directamente los flujos E1 dentro de estos «seudo-wires» dedicados: la normativa aconseja utilizar una adaptación de tipo AAL1, proveniente del ATM (ref IP/MPLS Forum 4.1.0).

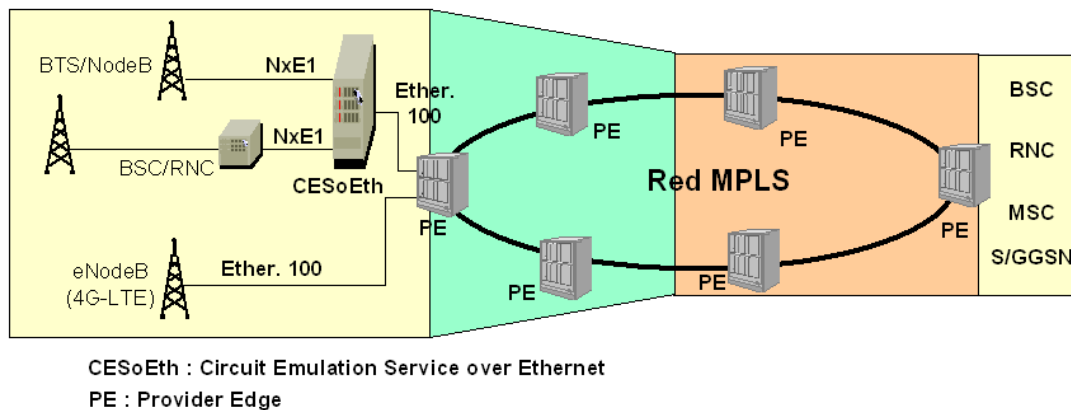


Figura 4: Alternativa utilizando una red MPLS, más flexible

Recordemos que gracias a la instalación de IS-IS (u OSPF) dentro de la red MPLS, el mejor camino en términos de disponibilidad, y carga es siempre elegido para llegar al equipo jerárquicamente superior.

Este tipo de backhauling basado MPLS y dedicado a las aplicaciones móviles puede perdurar por el hecho que los tráficos correspondientes quedaran siempre del orden de 100Mbit/s por eNodeB y entonces totalmente manipulables por la tecnología MPLS.

Backhauling : arquitectura global.

En esta sección, supondremos que una capilaridad relativamente densa en fibras ópticas fue instalada permitiendo el transporte de muy altos tráficos, digamos desde 100Mbit/s por casa o empresa, transportando una muy grande variedad de servicios o aplicaciones.

En las zonas urbanas densas, la fibra se volverá rápidamente muy presente y permitirá generalmente conectar por un único camino físico los usuario al nodo de conexión óptico: el balance óptico debe permite la conexión de los usuarios sobre distancias del orden de 10 kilómetros sin amplificador.

En lugares periféricos y rurales, en donde los clientes son más alejados, la situación es totalmente distinta: la presencia de la fibra será el resultado de coyunturas incluyendo resultado de las votaciones políticas, la voluntad de los clientes, el voluntarismo de los operadores, ...

Según las configuraciones locales ya instaladas, los ADM SDH pueden seguir utilizados para soportar los servicios clásicos. Con la llegada de nuevos servicios y más que nada los que requieren muy altos tráficos se necesita la instalación de equipos de multiplexación óptico llamados "Reconfigurable Optical ADM" (ROADM); la afectación de longitudes de onda (λ) haciendose a distancia desde la plataforma de gestión.

La siguiente figura 5 muestra una situación transitoria posible:

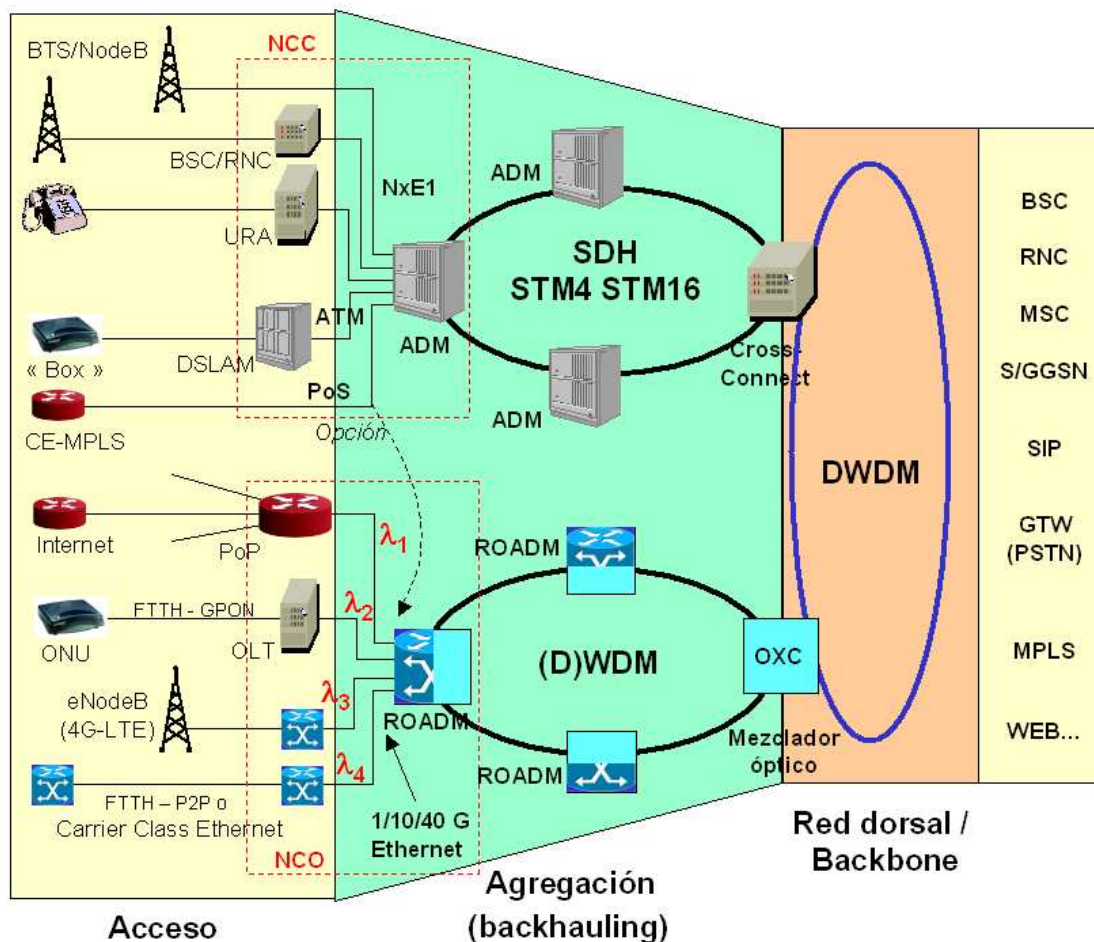


Figura 5: Situación mixta con SDH y Ethernet sobre WDM

Nótese que el anillo (DWDM) de la figura presenta exclusivamente interfaces Ethernet por lo que el semi-ROADM del lado usuarios es un conmutador Ethernet. En este caso, estos conmutadores puestos en anillo pueden utilizar el protocolo Resilient Packet Ring (RPR) para asegurar un rerouteo automático a nivel de tramo en caso de falla de un camino: sirve para reforzar el rerouteo de nivel longitud de onda λ entre los dos pares de fibras en sentido opuesto del bucle.

En esta figura, una distinción está efectuada entre NCC y NCO:

- el Nodo de Conexión de Clientes (NCC) está en un edificio pertenencia del operador histórico local y gestionado por él. De allí salen las pares de cobre telefónicas; allí se encuentran naturalmente los DSLAM, los equipos de enlaces E1....
- el Nodo de Conexión Óptico (NCO), puede tener una localización mucho más alejada de los usuarios finales.

En el futuro, los operadores terminaran desactivando sus anillos SDH al beneficio de los anillos Ethernet sobre (DWDM); evolución quizás más o menos forzada por la falta de mantención de parte de los fabricantes. Los analistas opinan de hecho que los costos de CAPEX y OPEX están por bajar diez veces más para los equipos de anillos Ethernet que para los de SDH, ..

La arquitectura de bakhauling podría entonces parecerse a la de la figura 6:

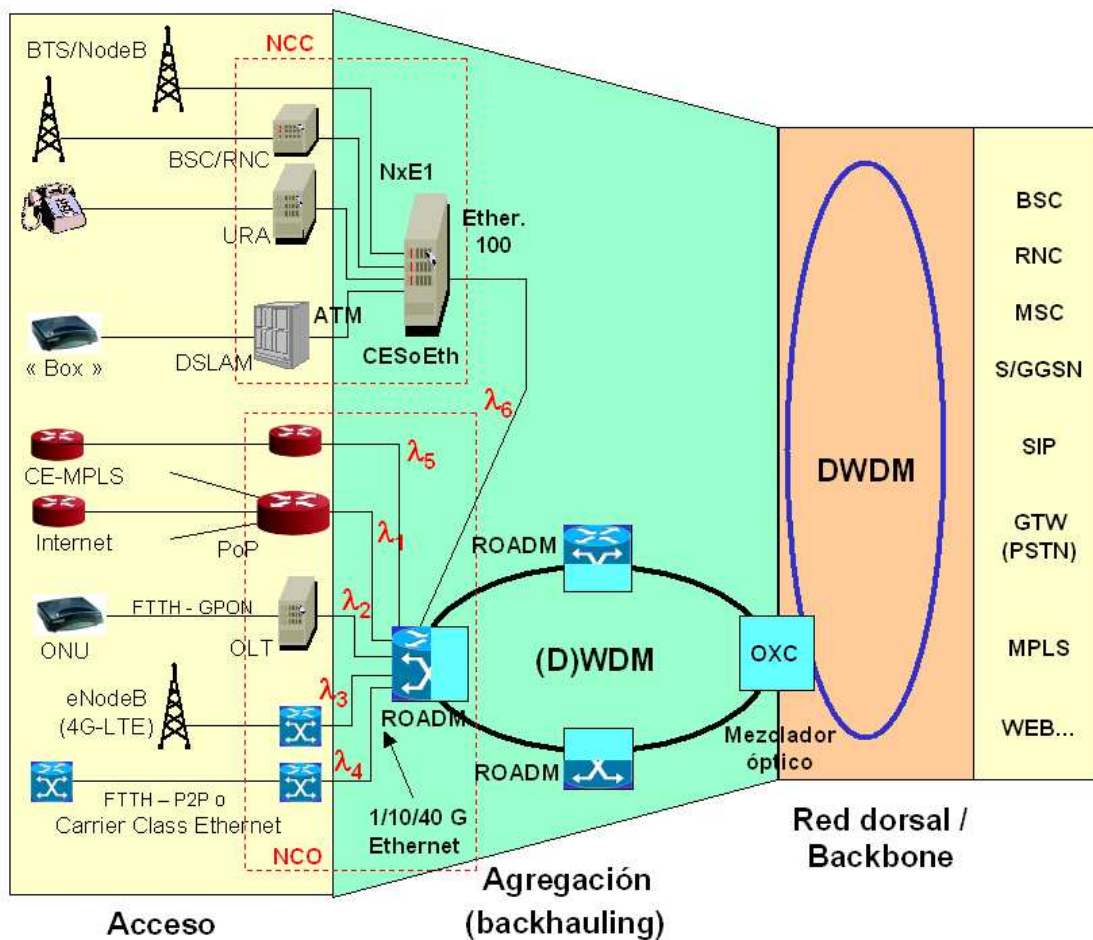


Figura 6: Situación, que podrá perdurar, basada en Ethernet sobre WDM

En esta figura, constatamos que la fibra óptica está generalizada y esto desde los puntos de utilización; por ejemplo, los eNodeB tendrían interés en ser conectados (vía un ONU estándar) a una red GPON cercana!

El acceso a las lógicas de servicios se presenta en el lado derecho de las figuras.

Es entonces en torno al NCO, en teoría más central que el NCC, sobre todo en zona rural, que la arquitectura lógica empieza a dibujarse. Depende por supuesto de la manera en la cual estos servicios están ellos mismos arquitecturados y del nivel de disponibilidad necesario. La posibilidad de tener dos caminos físicos distintos al partir del NCO hacia la red de transporte puede ser un argumento muy fuerte para el cliente; también lo es el costo de conexión!

Los equipos de tratamiento de los servicios pueden así ser fuertemente centralizados, siendo también por supuesto duplicados para garantizar una alta calidad de servicios. Por ejemplo, un único servidor SIP activo a nivel nacional; unas pocas pasarelas VoIP/RTC: a título de ejemplo se evalúa que 5 pasarelas VoIP/RTC han de poder soportar todo el tráfico de un país como Francia.

El backhauling de larga distancia puede hacerse a través de la red de transporte por enlace punto a punto tal como indicado en la figura 7.

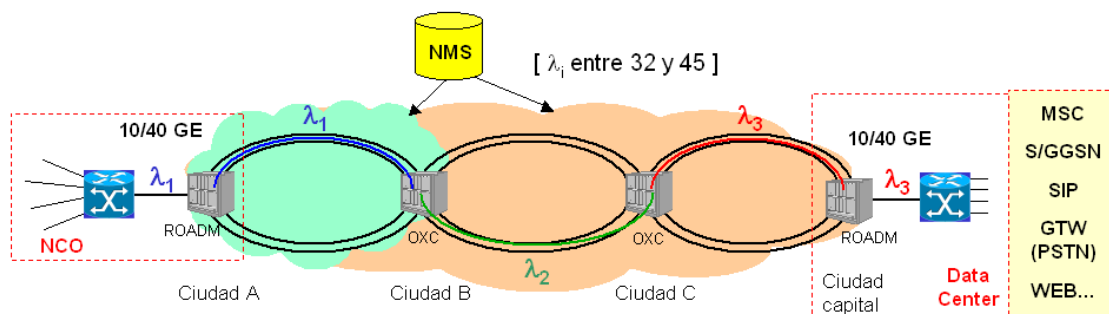


Figura 7 : Backhauling punto a punto de larga distancia

Nótese que la red de backhauling, es decir de colecta y de distribución, podría ser instalada y explotada por un operador dedicado y a caso independiente de los demás actores: vendería entonces dicha prestación a los operadores de servicios... con compromisos de calidad de servicio (SLA) estrictos, por supuesto!

4 Aspectos Económicos

Conectar con alto tráfico numerosos sitios distribuidos en el territorio a la red de transporte mundial presenta además de un desafío técnico un desafío económico que hay que inscribir en el tiempo.

En Francia, la mayoría de los pares de cobre de usuarios fueron instaladas entre 1975 et 1980 : 30 à 35 años después quedan operacionales a pesar de la vulnerabilidad a la oxidación del cobre así como de los conectores,

Hablando de fibra óptica, se puede pensar en una inversión a plazo de 40 años.

Además el alcance de la fibra óptica hasta 20 km o más no necesita prever equipos intermediarios lo que presenta una ventaja fuerte para la calidad de servicio.

Más adelante tratamos de las preguntas fuertes que hay que hacerse en cada etapa de un proyecto de backhauling. En cuanto a costo la pregunta "Hacer por si mismo o alquilar recurso?" a de ser una pregunta permanente.

Ingeniería civil :

En este rubro es el **CAPEX** el que mas pesa: al CAPEX le corresponde alrededor del **80% del costo total de la red**. En cambio con una sólida base de datos de caminos de cables y de cañerías, el OPEX puede reducirse mucho.

Para tender y soportar la fibra, distintas posibilidades se presentan:

En el aire utilizando los postes de red eléctrica de alta, mediana o baja tensión,

En el aire en la fachadas de los edificios (muy común en Japón)

En el aire con postes específicos

En el fondo de ríos

Enterrado en el campo sin cañerías

En subterráneos en lugares alquilados tales desagües en grandes ciudades.

En subterráneos en cañerías alquiladas

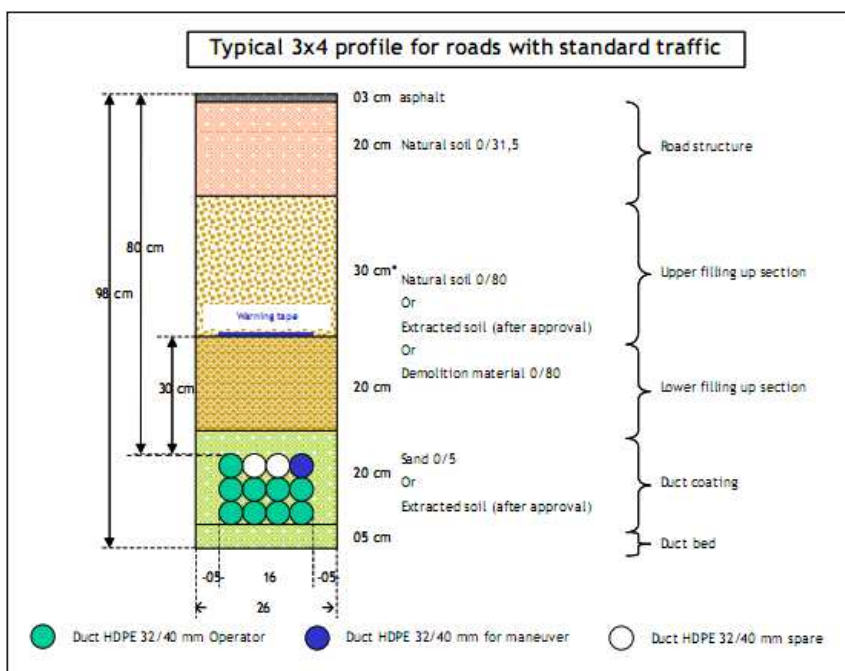
Enterrado en el campo con cañerías

En esta lista los elementos van por lo del CAPEX de costo más barato a costos mayores. Nótese que en la evaluación del CAPEX hay que tomar en cuenta los costos administrativos para lograr las autorizaciones correspondientes.

Por lo que a alquiler de cañerías se refiere, actualmente en Francia el costo de alquiler de una cañería a France Telecom se calcula de la siguiente manera: $2,4 * D^2$ €/m/cm² por año. (D diámetro en cm de la cañería). Por ejemplo el tendido de un cable de 12 fibras, en una cañería de 12,4mm de diámetro sobre sur 2000 m cuesta 615 € por mes. Suponiendo que 8 de estas fibras (4 de auxilio) permiten conectar cada una 32 usuarios en GPON, el costo mensual por usuario es de 3€ - IVA incluida.

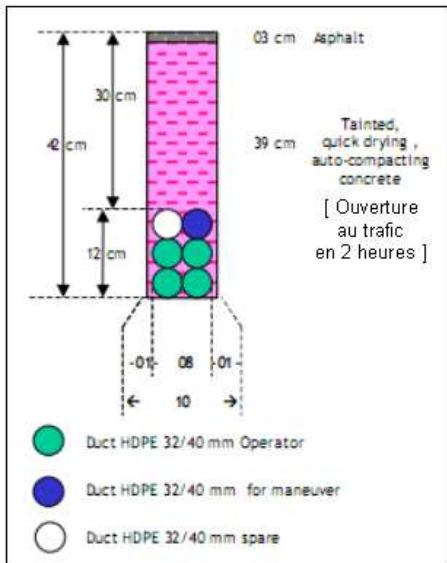
En cuanto a zanjas en ciudades, existen 3 tipos distintos.

Zanja de 3 x 4 cañerías:



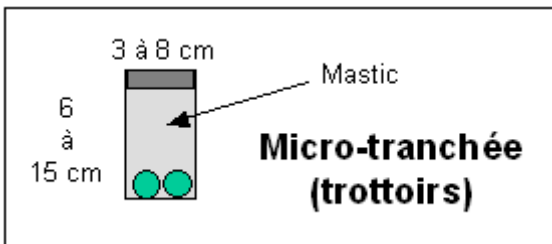
Costo: 100 à 150€/m (indicativo). **Velocidad de realización:** 50m por día.

Zanja de 2 x 3 cañerías :



Velocidad de realización: entre 150 y 200m por día.

La Micro-zanja (2 x 1 cañerías):



Velocidad de realización: 400 metros por día.

Costo de las cámaras de 1000 à 1500€ por cámara.

Nota sobre libre competencia: las autoridades locales de reglamentación Telecom han de dictar reglas de acceso competitivo a las cañerías. El caso particular en que estas cañerías fueran instaladas por dichas autoridades es una situación favorable pero necesita la neutralidad de las autoridades frente a los derechos de acceso acordados a los distintos operadores.

Edificios:

Vimos mas arriba que las fibras que conectan los usuarios pueden o no transitar por un edificio NCC del operador histórico (no necesariamente si la red de backhauling es nueva). El alcance sin repetidor autorizado por las fibras permite instalar dichos equipos activos en el NCO, punto central de llegada de las fibras.

Es preciso entonces disponer de un edificio específico para este NCO, a caso alquilando un local comercial bien ubicado con respecto a su posicionamiento en el territorio: cercanía a fuente de energía eléctrica así como al acceso a las cañerías. De este punto de vista, un departamento en un edificio no sirve.

Se evalúa la superficie del NCO para conectar 15000 usuarios en zona densa a 48m² si se conectan en FTTH y a 15m² si la conexión se realiza en GPON.

También es preciso tomar en cuenta el consumo eléctrico de los equipos. De este punto de vista, la tecnología GPON presenta una gran ventaja: una sola tarjeta permite conectar hasta 64 usuarios.

Tipos de cables y costo:

Para fijar las ideas, el costo de un cable reforzado llevando 12 fibras G.652 se evalúa a **2400€/km** (Diámetro = 12,4mm). Este tipo de cable conviene incluso para ser enterrado directamente en tierra sin cañerías.

Con estos datos y sobre la base de una amortización sobre 30 años, el costo mensual de este cable utilizado para conectar 250 usuarios, no supera algunos centavos de euros por mes y por usuario, valor a comparar al costo de la ingeniería civil.

Equipos a instalar en el NCO, incluyendo los equipos descritos en figuras 5 y 6:

- Repartidores de cables ópticos
- Equipos GPON. A título aclarativo un bastidor Alcatel-Lucent 7342 con 2 « shelves » equipados con tarjetas 2xGPON puede conectar hasta **3500 usuarios** por un consumo eléctrico de **1600W y una superficie al suelo de 60 x 40 cm (23" x 15")**.
- Conmutadores Ethernet « carrier grade » para FTTH punto a punto (por ejemplo du CISCO 4510), los proveedores son numerosos
- Routeurs IP de agregación o PoP (si acceso Internet)
- Conmutadores Ethernet 10GE en interconexión local al NCO
- ROADM para backhauling hacia red de transporte
- Equipo de alimentación eléctrica segura (48VDC → 220VAC)
- Baterías, grupo electrógeno
- Aire acondicionado
- Alerta incendio,
- Control de acceso, alarma

Un operador nuevo entrante que solo apunta a ofrecer servicios “fijos” puede limitar sus inversiones a conmutadores Ethernet. Con esta arquitectura, utilizará el concepto de LAN virtuales para la multiplexación de los diferentes servicios ofreciendo por ejemplo a un mismo usuario el acceso Internet (público) así como el acceso a una red privada MPLS de interconexión de sitios de empresas.

Es preciso incluir en los costos CAPEX los costos de capacitación inicial, y en los de OPEX los contratos de mantenimiento de los equipos

No omitir la definición de SLA (Service level Agreement) en los contratos así como el monto de las penalidades en caso de que no se respetan.

En las especificaciones de procesos y contratos es preferible tomar en cuenta las normas COBITv4.1 et ITILv3 (certificación ISO 20000).

5 Conclusión

Hemos visto que 35 años después de los principios de la digitalización de la red telefónica analógica y 15 años después de la generalización del GSM, la evolución tecnológica en la red de acceso va a llevar a la generalización, por una parte de la fibra óptica, y por otra parte del modo paquete por lo que a multiplexación y encaminamiento se refiere.

La generalización de la fibra para conectar a los usuarios alejados de los centros urbanos va a necesitar innovación especialmente por lo que a ingeniería civil se refiere. Esta es una necesidad absoluta para ofrecer a corto plazo todos los servicios que requieren alta velocidad de transferencia de información.

El modo paquete también se va a generalizar. Ya estamos acostumbrados al IP generalizado; muy probablemente en las redes nuevas de acceso, el modo de transporte será Ethernet por su costo de implementación, y su flexibilidad de gestión.

Tanto es así que ya se puede anticipar que al terminarse 2013, la mitad de los enlaces de backhauling estarán basados en Ethernet : los paquetes Ethernet siendo en estas arquitecturas directamente emitidos sobre portadoras ópticas. También se prevé que en esta fecha se podrá transmitir sobre un mismo par de fibras hasta 80 o 160 portadoras simultáneas por un costo muy razonable. (Con velocidad de hasta 100 Gbit/s máxima por portadora)

Mientras tanto las interfaces de conexión de los antiguos sistemas de acceso típicamente PDH, ATM o SDH se emularán a través de Ethernet.

En cuanto a la red mundial de interconexión, que no es del alcance de este documento, se puede imaginar que podrá seguir utilizando la tecnología MPLS tanto para los flujos públicos como privados... por lo menos hasta que los usuarios no empiecen a intercambiar masivamente entre sí, flujos muy altos de datos como podría ser para intercambios de videos HD...

ANEXO

GPON : Arbitraje numero de abonados / distancia por fibra

Laser emisión : +1 hasta +5 dBm
Sensibilidad recepción : min = -27 dBm

→ Presupuesto disponible : **28dB**

Debilitación fibra G.652 :

- Dirección abajo a 1550nm : 0.23dB por km (GPON a 1490nm)
- Dirección arriba a 1310nm : 0.37dB por km

Splitter 1:2 = 3.5dB

Splitter 1:4 = 7dB

Splitter 1:8 = 10.5dB

Splitter 1:16 = 14dB

Splitter 1:32 = 17.5dB

Splitter 1:64 = 21dB

Nota : es posible poner dos splitters
Por ex : x4 seguido abajo por uno x16 = x 64

Conector = 0,3 - 0.5 dB

Empalme = 0.1 - 0.2 dB

Consejo : prever 6% para el envejecimiento

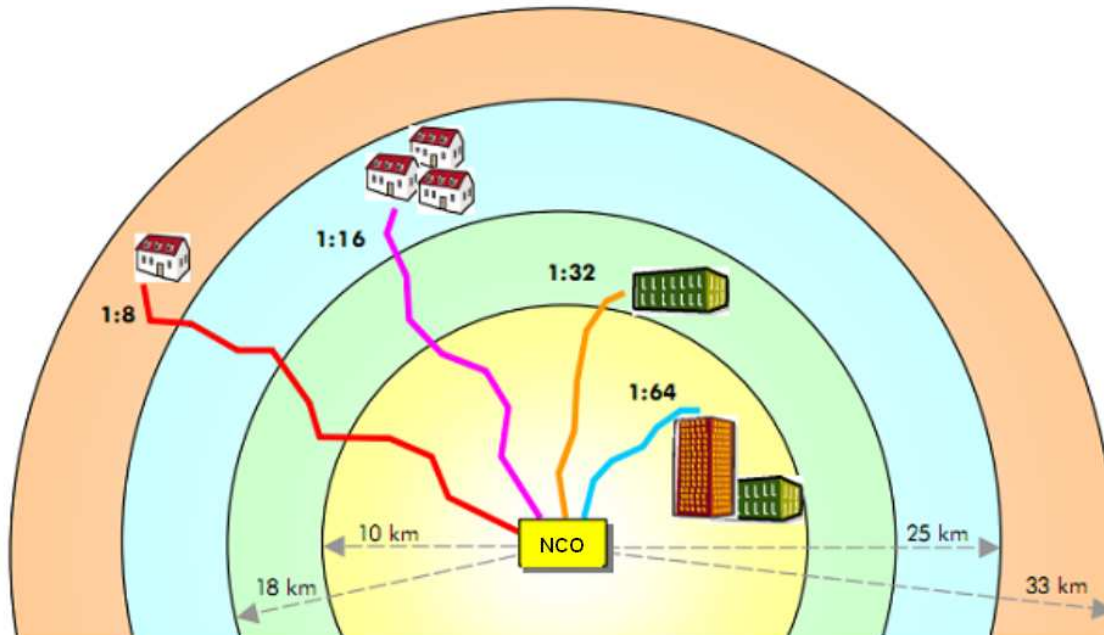


Ilustración de las distancias posibles segun el indice de división