



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONAUTICO

TRABAJO FINAL DE GRADO

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

FECHA:

19/10/2016

AUTOR:

ACOSTA, Marcos Gabriel

TUTOR: Ing. Juan Galleguillo



1 DEDICATORIA

*A Jesús por ser mi fuente de vida, inspiración y modelo a seguir.
A mi familia por el apoyo estos años y sus palabras de aliento.
A todos los amigos y compañeros que me acompañaron durante todo
este camino.*



2 AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres que me ofrecieron su apoyo incondicional en todo este camino mucho más allá de lo económico, y a mi hermana por su compañía y amistad los primeros años lejos de la familia.

A todos los amigos que hice durante todos estos años en diferentes ámbitos, que muchos de ellos han sido como una familia.

Al Instituto Universitario Aeronáutico y los profesores que lo conforman por proveer un marco de calidad para alcanzar la formación profesional.

Al tutor, el Ing. Juan Galleguillo, por su predisposición y apuesta a este trabajo que me permite cerrar esta etapa.





ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE UNA RED SDH AL
ESTE DE BUENOS AIRES QUE FUE ADAPTADA
PARA TRANSPORTAR TRÁFICO IP REQUERIDO
POR LOS NODOS B EN UN SISTEMA 3G



1	DEDICATORIA	1
2	AGRADECIMIENTOS	2
3	INDICE DE FIGURAS.....	8
4	INTRODUCCIÓN	11
5	SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES.....	13
5.1	EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS.....	13
5.2	LOS PRIMEROS SISTEMAS	14
5.2.1	EL SISTEMA AMPS (ver video)	14
5.2.2	EL SISTEMA NMT 450/900	15
5.2.3	EL SISTEMA TACS 900.....	15
5.3	SEGUNDA GENERACIÓN (GSM)	16
5.3.1	ARQUITECTURA DE UNA RED GSM.....	18
5.3.1.1	BSS (Base Station Subsystem)	19
5.3.1.2	NSS (Network Subsystem)	20
5.3.1.3	NMS (Network Management System)	21
5.3.2	INTERFACES ESTANDARIZADAS DE GSM	21
5.3.2.1	INTERFAZ RADIO UM.....	21
5.3.2.2	INTERFAZ A.....	22
5.3.2.3	INTERFAZ A-BIS	22
5.3.3	EVOLUCIÓN HACIA 3G: GPRS.....	22
5.3.3.1	FUNCIONAMIENTO DE GPRS.....	23
5.4	TERCERA GENERACIÓN (UMTS).....	24
5.4.1	WCDMA	26
5.4.2	ARQUITECTURA DE UNA RED UMTS.....	26
5.4.2.1	RADIO ACCESS NETWORK.....	27
5.4.2.2	CORE NETWORK	28
5.4.3	INTERFACES DE UNA RED UMTS.....	28
5.4.3.1	INTERFAZ Uu	28
5.4.3.2	INTERFAZ Iur.....	28
5.4.3.3	INTERFAZ Iu.....	29
5.4.3.4	INTERFAZ Iub.....	29
6	TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN	33
6.1	REDES DE TRANSMISIÓN TDM	34



6.1.1	PDH: Jerarquía Digital Plesiócroma	35
6.1.2	SDH: Jerarquía Digital Síncrona.....	38
6.1.2.1	ESTRUCTURA DE MULTIPLEXADO	40
6.1.2.2	UTILIZACIÓN DE LOS ENCABEZADOS	42
6.1.2.3	ELEMENTOS DE UNA RED SDH	42
6.1.2.4	RESUMEN SDH	45
6.2	ATM: MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO	46
6.2.1	ARQUITECTURA DE ATM	46
6.2.2	CAPA DE ADAPTACIÓN ATM (AAL).....	48
6.3	ETHERNET	49
6.3.1	TRAMA ETHERNET.....	49
6.3.2	DIRECCIONAMIENTO ETHERNET.....	50
6.3.3	TRANSMISIÓN ETHERNET	51
6.3.4	DISPOSITIVOS ETHERNET	52
6.3.4.1	ETHERNET HUB.....	52
6.3.4.2	ETHERNET SWITCH.....	53
6.4	PROTOCOLO DE INTERNET (IP).....	53
6.4.1	DIRECCIONAMIENTO IP	54
7	EVOLUCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN DE ACCESO HACIA IP.....	56
7.1	CARRIER ETHERNET	57
7.1.1	E-LINE: Ethernet Virtual Private Line.....	58
7.1.2	E-LAN (Ethernet Virtual Private LAN).....	59
7.1.3	E-TREE.....	60
7.1.4	VENTAJAS CARRIER ETHERNET	60
7.2	ESTRATEGIAS DE EVOLUCIÓN	61
7.2.1	RED PARALELA	64
7.2.2	ETHERNET SOBRE TDM	66
7.2.3	TDM SOBRE ETHERNET	67
7.2.4	RED HÍBRIDA TDM/ETHERNET/IP/MPLS	68
7.3	ETHERNET SOBRE SDH	70
7.3.1	GENERIC FRAMING PROCEDURE.....	71
7.3.2	VIRTUAL CONCATENATION	72
7.3.3	LCAS.....	73
8	ANÁLISIS Y ESTUDIO DE CASO.....	75



8.1 SOLUCIONES UTILIZADAS PARA LA RED RED DE TRANSPORTE DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES	75
8.1.1 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA 2G.....	75
8.1.2 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA 3G CON INTERFACES IUB ATM/TDM....	76
8.1.3 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA 3G CON INTERFACES IUB DUAL STACK	77
8.1.4 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA 3G CON INTERFACES IUB FULLIP	78
8.2 EQUIPOS DE TRANSPORTE	79
8.2.1 MULTIPLEXORES OMS 1200	79
8.2.1.1 OMS 1240 CON PLACA CORE STM-1/4	80
8.2.1.2 OMS 1200 CON PLACA CORE STM-4/16.....	81
8.2.1.3 SUBRACK PARA EL OMS 1240.....	81
8.2.2 MULTIPLEXORES OMS 1600	83
8.2.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	84
8.2.2.2 TARJETAS ETHERNET SWITCH.....	86
8.2.3 SERVICIOS EVPLAN EN MULTIPLEXORES ERICSSON.....	90
8.2.3.1 CONFIGURACIÓN DE SERVICIOS EVPLAN	92
8.3 IMPLEMENTACIÓN DE ETHERNET SOBRE SDH	93
8.3.1 INTERFAZ IUB EN CONFIGURACIÓN ATM/TDM.....	93
8.3.2 INTERFAZ IUB EN CONFIGURACIÓN DUAL IUB	96
8.3.2.1 PRIMER PASO: INSTALACIÓN DE TARJETAS ETHERNET SWITCH.....	100
8.3.2.2 SEGUNDO PASO: CONFIGURACIÓN DE INTERFACES SDH	101
8.3.2.3 TERCER PASO: CONECTAR LOS PUERTOS DEL BACKPLANE SDH Y VCG....	105
8.3.2.4 CUARTO PASO: CONECTAR LOS PUERTOS ETHERNET Y/O PUERTOS VCG AL BRIDGE	106
8.3.2.5 QUINTO PASO: CONFIGURAR LOS VCG Y LOS PUERTOS INVOLUCRADOS.	109
8.3.2.6 SEXTO PASO: CONFIGURAR EL BRIDGE	113
8.3.3 VERIFICACIONES DE CONECTIVIDAD.....	120
9 CONCLUSIONES	123
10 BIBLIOGRAFÍA	124

3 INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – LINEA DE TIEMPO DE LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL	14
FIGURA 2 – PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS 3 SISTEMAS GSM	17
FIGURA 3 – ELEMENTOS BÁSICOS QUE COMPONEN LA ARQUITECTURA DE UNA RED GSM.....	19
FIGURA 4 – ARQUITECTURA DE UNA RED GSM/GPRS, DONDE SE APRECIA LA ADICIÓN DE LOS NODOS GSN	24
FIGURA 5 – ELEMENTOS E INTERFACES DE UNA RED UMTS.....	27
FIGURA 6 - PILA DE PROTOCOLOS PARA EL PLANO DE CONTROL.....	30
FIGURA 7 - PILA DE PROTOCOLOS PARA EL PLANO DE USUARIO	31
FIGURA 8 – NIVELES JERÁRQUICOS DE MULTIPLEXACIÓN.....	37
FIGURA 9 – TRAME E1 CON SUS 32 TIMESLOTS	37
FIGURA 10 - JERARQUÍA SDH.....	39
FIGURA 11 - TRAMA BÁSICA SDH	40
FIGURA 12 - ESTRUCTURA DE MULTIPLEXADO	41
FIGURA 13 - MULTIPLEXOR TERMINAL	43
FIGURA 14 - REGENERADOR.....	43
FIGURA 15 - MULTIPLEXOR DE INSERCIÓN/EXTRACCIÓN	44
FIGURA 16 - DXC	45
FIGURA 17 - ENCABEZADO DE UNA CELDA ATM	48
FIGURA 18 - TRAMA ETHERNET 802.3	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 19 - TRAMA ETHERNET II.....	50
FIGURA 20 – ENCABEZADO IP	55
FIGURA 21 - E-LINE O EVC PUNTO A PUNTO.COMPLETAR.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 22- PROCESO DE FLUJO DE TRÁFICO TDM, QUE SE PRODUCE EN UN CES.COMPLETAR	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 23 - ELAN O EVC MULTIPUNTO A MULTIPUNTO.COMPLETAR	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 24 - E-TREE.COMPLETAR	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 25 - RED DE TRANSPORTE RESPECTO AL RESTO DE UNA RED MÓVIL.....	62
FIGURA 26 - COPIAR.....	63
FIGURA 27 - ENCAPSULANDO UNA TRAMA ETHERNET EN GFP.	72
FIGURA 28 - DIAGRAMA DE CONEXIÓN ENTRE BSC Y BTS.....	76
FIGURA 29 – DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA UN SISTEMA 3G CON INTERFAZ IUB.....	77
FIGURA 30 - DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA UN SISTEMA 3G DUAL IUB.....	78
FIGURA 31 - DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA UN SISTEMA 3G FULL IP	78
FIGURA 32 - ESTRUCTURA DE SUBRACK DE OMS 1240.....	82
FIGURA 33 - ESTRUCTURA DEL SUBRACK Y PLACAS	83



FIGURA 34 - EJEMPLOS DEL OMS 1660 STANDARD Y COMPACT	85
FIGURA 35 - CAPACIDADES DE LA MATRIZ DEL OMS 1600	85
FIGURA 36 - DIAGRAMA EN BLOQUES DE UNA TARJETA ETHERNET SWITCH	86
FIGURA 37 - OMS 1240 CON TARJETA ETS100	87
FIGURA 38 - SOFTWARE OMS 1200 LCT	88
FIGURA 39 - CHASIS VISTO DESDE EL LCT	89
FIGURA 40 - VENTANA DE SELECCIÓN DE TARJETA	89
FIGURA 41 - OMS 1240 CON TARJETA ETHERNET SWITCH CONFIGURADA.....	90
FIGURA 42 - VISTA DE UN SERVICIO EVPLAN.....	91
FIGURA 43 - SOLUCIÓN PARA UBA865 CON INTERFAZ IUB EN ATM/TDM	94
FIGURA 44 - VISTA DEL CAMINO EN LA RED SDH.....	94
FIGURA 45 - SISTEMA DE GESTIÓN DE UN RADIOENLACE EVOLUTION CON CAPACIDAD PARA 25 E1S	95
FIGURA 46 - SISTEMA DE GESTIÓN DE LA BTS EN LA CONFIGURACIÓN DE LAS INTERFACES E1..	96
FIGURA 47 - SOLUCIÓN PARA UBA865 CON INTERFAZ IUB EN DUALSTACK	97
FIGURA 48 - TOPOLOGÍA DE LA ZONA DE BA065	98
FIGURA 49 - TOPOLOGÍA DE LA ZONA DE BA378.....	99
FIGURA 50 - DIAGRAMA DE ANALOGÍA UTILIZANDO SWITCHES	99
FIGURA 51 - OMS EN BA378 CON TARJETA ETHERNET SWITCH	100
FIGURA 52 - OMS EN BA065 CON TARJETA ETHERNET SWITCH	101
FIGURA 53 - CREACIÓN DE CIRCUITO VC12.....	103
FIGURA 54 - LISTA DE TODOS LOS VC12 CREADOS.....	104
FIGURA 55 - VISUALIZACIÓN DE UNO DE LOS VC12	104
FIGURA 56 - CONEXIONES ENTRE VC A VCG DENTRO DE LA PLACA ETHERNET	106
FIGURA 57 - CONEXIÓN DE UN PUERTO ETHERNET AL BRIDGE.	108
FIGURA 58 - CONEXIÓN DE UN PUERTO VCG AL BRIDGE.....	109
FIGURA 59 - CONFIGURACIÓN DEL PUERTO 8 - STATUS.....	110
FIGURA 60 - CONFIGURACIÓN DEL PUERTO 8 - MAU CONFIGURATION.....	111
FIGURA 61 - CONFIGURACIÓN DE PUERTO 8 - ETHERNET CHARACTERISTICS	112
FIGURA 62 - CONFIGURACIÓN DEL PUERTO 8 - QUEUE CONFIGURATION	113
FIGURA 63 - CONFIGURACIÓN DEL BRIDGE	115
FIGURA 64 - ESTADO GENERAL DEL BRIDGE.....	116
FIGURA 65 - CONFIGURACIÓN DEL PUERTO 8 DEL BRIDGE.....	117
FIGURA 66 - ESTADO DEL PUERTO 8 DEL BRIDGE.....	118
FIGURA 67 - CONFIGURACIÓN DE VLAN DEL PUERTO 8	118
FIGURA 68 - CONFIGURACIÓN DEL PUERTO 10 DEL BRIDGE	119
FIGURA 69 - CONFIGURACIÓN DE VLAN DEL PUERTO 10.....	119
FIGURA 70 - CONFIGURACIÓN IP DE LA RADIOBASE	120



FIGURA 71 - TABLA ARP DEL ROUTER.....	121
FIGURA 72 - TABLA DE DIRECCIONES MAC DEL MULTIPLEXOR.....	122
FIGURA 73 - PRUEBA DE PING DESDE EL ROUTER HACIA LA RADIOBASE	122



4 INTRODUCCIÓN

Los últimos años fueron testigos de un crecimiento fenomenal en la industria inalámbrica, en términos de tecnología y de suscriptores. Hubo una migración radical de la telefonía fija a la móvil y se calcula que hoy hay 4 o 5 veces más líneas de telefonía móviles que fijas por lo que la planificación de las redes y la optimización de los servicios relacionados cobra gran relevancia en las empresas de telecomunicaciones.

Este crecimiento y evolución de las tecnologías presenta el gran desafío para los operadores de telefonía móvil de mantenerse al día en el nivel tecnológico sin dejar de expandir sus redes para dar servicio a un mayor número de clientes y estar preparados para recibir las nuevas tecnologías que se vienen. Dentro de este desafío nace el presente trabajo que contribuirá a poder reutilizar para sistemas de comunicaciones móviles 3G una red de transporte que en su momento fue instalada para soportar la red de acceso de un sistema 2G.

El caso que se va a estudiar es una empresa que cuenta con una red SDH que actualmente está operativa, la cual incluye radios, multiplexores y conexiones de fibra óptica. SDH es un protocolo de transporte basado en la conmutación de circuitos y el problema surge porque las aplicaciones multimedia y la red de acceso de conmutación de paquetes IP requiere una red cuya base sea la conmutación de paquetes. Debido a esto es necesario reemplazar los radios SDH por radios Ethernet y los multiplexores por routers lo cual conlleva un gran costo de tiempo, recursos y dinero para la organización. Si bien esta es la solución a largo el plazo, en el corto plazo sería ideal poder aprovechar la red de transmisión ya instalada para ganar tiempo en la integración del tráfico IP requerido por los nodos B de un sistema 3G y también de los nuevos sistemas 4G, pero cuyo análisis si bien



es muy similar la generación anterior, no entra dentro del alcance de este trabajo.

Para poder cumplir con los tiempos y no descartar la red SDH instalada, mientras a la par va creciendo la red de routers, se implementa sobre la misma un conjunto de protocolos denominados Ethernet over SDH (EoSDH) que permite que una red SDH pueda transportar tráfico Ethernet y de esta manera adaptarla para ser útil frente a los nuevos requerimientos.

Como nota final se aclara que para hacer el estudio del caso analizado no se revelarán los nombres ni ubicaciones originales de los equipos debido es información confidencial del proveedor de telefonía móvil.



5 SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

5.1 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS

Desde el año 1979 que se puso en servicio por Nippon Telephone and Telegraph (NTT) el primer sistema de telefonía celular de primera generación (1G) hasta el día de hoy, 37 años después, donde ya hay investigaciones avanzadas de lo que sería la quinta generación (5G), los sistemas de telefonía móvil no han dejado de evolucionar ni hay proyecciones de que esto se detenga.

Cada nueva generación refiere un cambio fundamental en la naturaleza del servicio, nuevas bandas de frecuencia y nuevas tecnologías de transmisión. Nuevas generaciones han aparecido cada década desde el primer lanzamiento en 1981 de la red analógica 1G.

La primera generación (1G) solo permitía realizar llamadas de voz. Esta fue reemplazada por la segunda generación (2G) que agregó datos y servicios de mensajería. 3G agregó funcionalidad multimedia a los teléfonos y la cuarta generación (4G) amplió el horizonte de los servicios al llevar las velocidades de transferencia a valores muy elevados. A continuación se describirá cada generación y luego se hará un análisis de los requerimientos comunes y individuales para la red de transporte de acceso.



Figura 1 – Línea de tiempo de la evolución de los sistemas de telefonía móvil.

5.2 LOS PRIMEROS SISTEMAS

Existen tres mercados que en principio comenzaron siendo los más importantes en cuanto a telefonía móvil que son Estados Unidos, Europa y Japón. Cada uno de estos mercados desarrolló su primer sistema analógico cuyo punto en común era el uso de una interface de radio analógica, con algunas especificaciones públicas pero con desarrollos propietarios que imposibilitaban la interconexión entre ellos.

El primer sistema analógico usado en Estados Unidos es el AMPS, mientras que en los países europeos fueron dos los sistemas para la prestación de telefonía móvil que son NMT y TACS.

5.2.1 EL SISTEMA AMPS (ver video)

En 1974 la FCC (United States Federal Communication Commission) reservó 40MHz del espectro para comunicaciones móviles celulares donde AT&T obtuvo la licencia para operar el servicio basado en AMPS desarrollado por los laboratorios Bell, primero de manera experimental y comercial en Chicago para luego expandirse. En 1989 se añadieron 10MHz



al espectro resultando 25+25MHz, quedando asignadas las frecuencias de 824 a 849 MHz para los canales de transmisión y de 869 a 894 MHz para los canales de recepción.

El estándar AMPLS (Advanced Mobile Phone Service) fue el primer sistema analógico utilizado en Estados Unidos. Emplea la técnica de FDMA (Frequency Division Multiple Access) con una asignación de canales de 30kHz con lo que se consigue un total de 666 canales dúplex, de los cuales 42 son de control y el resto para conversación. Luego con la ampliación del rango asignado de frecuencias aumentó su capacidad hasta 832 (790+42) canales.

Una evolución del estándar es el D-AMPS (Digital AMPS) que al ser digital es considerado de segunda generación. El mismo emplea la misma banda de frecuencias y la misma separación de 30kHz pero ahora utiliza la técnica TDMA con lo cual multiplica por 3 la capacidad de los canales al dividir las llamadas en el tiempo.

5.2.2 EL SISTEMA NMT 450/900

Europa fue pionera en la carrera de la telefonía móvil. En 1969 en la conferencia nórdica de telecomunicaciones se aprobó el concepto de una colaboración en materia de telefonía móvil lo que dio lugar al sistema NMT (Nordic Movil Telecommunications).

El sistema tiene dos versiones según la banda en la que operan. Una es la NMT 450 que opera en la banda de 450MHz y otra es la NMT 900 que opera en la banda de 900MHz. La separación de canales para ambas versiones es de 25kHz y utiliza la técnica de multiplexado en frecuencia (FDMA) de banda estrecha.

5.2.3 EL SISTEMA TACS 900



El sistema TACS (Total Access Communication System) fue el primer sistema de comunicaciones móviles en el Reino Unido lanzado en 1985. Utilizaba la técnica FDMA, al igual que NMT, pero mejorando la calidad de audio al realizar la señalización fuera de banda.

Empleaba la banda de 900MHz y canales de 25kHz lo que permitía gran disponibilidad de canales, lo que lo hacía útil para cubrir áreas urbanas. Las comunicaciones eran analógicas pero todo el control de la red se realiza de forma digital.

5.3 SEGUNDA GENERACIÓN (GSM)

El más conocido y el que llegó a nuestro país, de los sistemas celulares digitales o de segunda generación, fue GSM.

El concepto de GSM empezó en 1982 cuando la CEPT (Conference for European Post and Telecommunications Administration) formó un comité conocido como Groupe Speciale Mobile (GSM), del cual deriva el conocido nombre de GSM que luego debido al alcance mundial del mismo se cambió el significado de las siglas a Global System for Mobile Communications.

El sistema se planteó como un sistema multioperador por lo que se diseñó para que varios operadores pudieran compartir el espectro y que sea la señalización y las interfaces las que permitan al abonado elegir la red a la que desea conectarse. El objetivo principal era permitir a los usuarios de telefonía móvil usar su equipo en cualquier país de Europa.

La técnica de acceso utilizada en GSM es una combinación de multiplexación por división en el tiempo y en frecuencia (TDMA/FDMA). Decimos división en frecuencia porque se divide el ancho de banda disponible en 124, 374 o 299 portadoras dependiendo la versión del sistema que se utilice, y luego se utiliza la técnica TDMA para dividir estas portadoras en el tiempo.



La unidad fundamental de tiempo se llama TS (time slot), que dura 15/26 ms y la información que contiene, dentro de una trama TDMA, constituye una ráfaga.

GSM utiliza un sistema de multiplexado en el tiempo (TDM) de banda estrecha, dentro de 3 bandas que son 900/1800/1900 con una separación de 200kHz entre portadoras.

En el siguiente gráfico se observa la asignación de bandas de frecuencias para cada una de las 3 versiones:

	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Uplink	890 – 915 MHz	1805 – 1880 MHz	1850 – 1910 MHz
Downlink	935 – 960 MHz	1805 – 1880 MHz	1930 – 1990 MHz
Ancho de banda	25 MHz	75 MHz	60 MHz
Separación portadoras	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Distancia dúplex	45 MHz	95 MHz	80 MHz

Figura 2 – Características de frecuencia de los 3 sistemas GSM

En GSM 900 se dispone de un ancho de banda de 25 MHz para cada sentido de la transmisión, por lo que si la separación entre portadoras es de 0,2MHz resultan un total de 124 portadoras. Para GSM 1800 se dispone un ancho de banda de 75MHz lo que resulta en 374 portadoras. En el caso de GSM 1900 con un ancho de banda de 60MHz permite 299 portadoras.



Cada portadora tiene 8 canales TDMA, por lo que la cantidad de canales triplica al número de portadoras quedando de la siguiente manera:

- Para GSM 900: $124 \times 8 = 992$ canales
- Para GSM 1800: $374 \times 8 = 2992$ canales
- Para GSM1900: $299 \times 8 = 2392$ canales

Este número de portadoras es el que debe ser dividido entre todos los operadores con licencia. Por ejemplo, si un operador tiene licencia para un ancho de banda de 10MHz podrá usar las 50 portadoras correspondientes, repartiéndolas entre las distintas células o según el patrón de reutilización establecido.

5.3.1 ARQUITECTURA DE UNA RED GSM

La red GSM se organiza como un conjunto de células denominadas estación base (BTS), también conocido como radiobase, que brindan cobertura completa al área de servicio. El grupo de estaciones base se encuentran conectadas a un controlador de estación base (BSC) que se ocupa de la gestión de toda la red de radio.

Uno o varios BSC se conectan a una central de conmutación de móviles (MSC) que es el núcleo de la red, responsable del inicio, control y finalización de las llamadas así como de la tasación. Es también la interfaz entre diversas redes de GSM o otras redes de telefonía o datos.

La arquitectura básica se muestra en la siguiente figura:

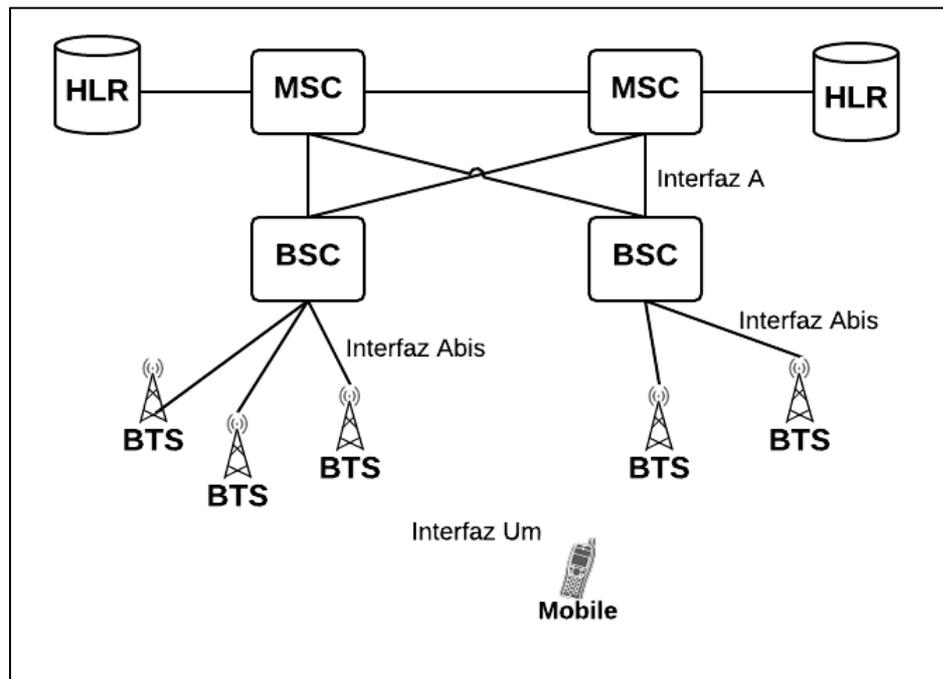


Figura 3 – Elementos básicos que componen la arquitectura de una red GSM

La arquitectura completa la podemos dividir en tres partes:

- **BSS (Subsistema de estaciones base)**
- **NSS (Subsistema de red)**
- **NMS (Subsistema de gestión de red)**

5.3.1.1 BSS (Base Station Subsystem)

El BSS está compuesto por las estaciones base (BTS), el controlador de estaciones base (BSC) y el transcodificador (TC). Tiene tres interfaces estandarizadas llamadas Abis, A y X.25.

- **BTS (Base Transceiver Station):** Contiene los transmisores y receptores para cubrir un área geográfica. La interfaz entre la BTS y la BSC se llama interfaz Abis de la cual se hablará más adelante y es la más importante dentro de este trabajo final ya que nos enfocaremos en las tecnologías utilizadas para transportar esta interfaz.



- **BSC (Base Station Controller):** Controla las estaciones base. La función principal es el manejo de los recursos de radio y handover (transferencia de llamadas entre distintas celdas). La interfaz entre el MSC y la BSC se denomina interfaz A.

5.3.1.2 NSS (Network Subsystem)

El subsistema de red actúa como una interfaz entre la red GSM y las redes públicas como la telefonía fija. Sus principales componentes son el MSC, HLR, VLR y AUC.

- **MSC (Mobile Switching Centre):** El MSC (conocido generalmente como switch) es el elemento más importante del NSS. Es el responsable de las funciones de conmutación necesarias para la interconexión entre usuarios móviles y otros móviles o usuarios de la red fija.
- **HLR (Home Location Register):** El registro HLR contiene información relacionada con el abonado móvil, como el tipo de suscripción, ubicación actual y el estado del equipo.
- **VLR (Visitor Location Register):** El VLR entra en acción cuando el usuario entra a la región de cobertura. A diferencia del HLR, el VLR es dinámico y solo tiene la información de abonados que entran en su zona de cobertura.
- **AUC (Authentication Centre):** Responsable de aplicar las políticas de la red para protegerla de abonados falsos.
- **EIR (Equipment Identity Registers):** Encargado de controlar el acceso a la red, evitando el acceso de equipos no autorizados.



5.3.1.3 NMS (Network Management System)

Su principal tarea es asegurar el funcionamiento de la red. Para esto realiza tres tareas: monitoreo de red, toma mediciones de rendimiento de la red y maneja el sistema de alarmas.

5.3.2 INTERFACES ESTANDARIZADAS DE GSM

Como vimos en la Figura 3, hay varias interfaces involucradas en un sistema GSM. La comunicación entre los principales elementos se realiza mediante las siguientes interfaces:

- **Interfaz radio Um**
- **Interfaz A**
- **Interfaz A-bis**

5.3.2.1 INTERFAZ RADIO UM

La interfaz Um es la interfaz de aire. Es de suma importancia ya que es a la cual está expuesto el abonado.

En los sistemas FDMA, una frecuencia específica es asignada a cada usuario que establecía una llamada. Cuando hay muchas llamadas, la red tendía a sobrecargarse llevando el sistema a saturación. Pero en los sistemas de 2G se utiliza FDMA combinado con TDMA por lo que cada frecuencia se divide en 8 canales. Este sistema se explicó anteriormente en el punto 5.3.



5.3.2.2 INTERFAZ A

La interface A está presente entre la BSC y el MSC. Consiste en uno o más enlaces PCM, cada uno con una capacidad de 2,048 Mbps. Esta interfaz también lleva señalización SS7.

5.3.2.3 INTERFAZ A-BIS

La interfaz A-bis es la que se encuentra entre la BTS y la BSC. También es una interfaz PCM de capacidad de 2,048 Mbps según la recomendación G.703 de la ITU¹, la cual describe las características físicas y eléctricas para luego poder interconectar las interfaces dentro de sistemas de jerarquía digital síncrona.

Esta interfaz es la que está involucrada en el estudio que se hará en este trabajo. Estudiaremos como estos sistemas de Jerarquía Digital Síncrona (SDH), que fueron instalados para llevar las interfaces A-bis de los sistemas 2G, pueden ser reutilizados realizando algunas modificaciones para transportar las interfaces de los sistemas 3G que se estudiarán en el capítulo siguiente.

5.3.3 EVOLUCIÓN HACIA 3G: GPRS

El paso de 1G a 2G supuso un cambio en la red y en los terminales, ya que se pasó de un mundo analógico a uno digital, pero se mantuvo el mismo tipo de negocio, el de la voz. Lo radical del cambio de 2G a 3G, a pesar de ambos ser digitales, es que supone un cambio en los elementos de red, en los terminales y en el modelo de negocio ya que más allá de la voz cobran importancia otro tipo de contenidos como son las imágenes, la

¹ La recomendación se puede conseguir en el sitio de la ITU.

<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.703-201604-I/es>

² Disponible en el sitio de la ETSI.



música, las aplicaciones basadas en el usuario con sus preferencias y su localización.

Uno de los servicios que está intermedio entre una generación y otra es el GPRS, con el cual 2G se abre paso a la introducción de los servicios propios de las redes 3G.

5.3.3.1 FUNCIONAMIENTO DE GPRS

Con el sistema GPRS (General Packet Radio Service), presentado por el ETSI (European Telecommunication Standard Institute) para la segunda fase del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes llega al nivel del usuario a través de protocolos como TCP/IP, X.25 y Frame Relay sin necesidad de utilizar conexiones intermedias de conmutación de circuitos.

Este servicio permite la transmisión de paquetes en modo link-by-link por lo que ya no se requiere de establecer una conexión y reservarla como en el caso de conmutación de circuitos. Entonces, una vez que un paquete ha sido transmitido por la interfaz Um, se liberan los recursos. Por lo tanto, los recursos de radio se utilizan sólo cuando hay necesidad de enviar o recibir datos y no en otros momentos.

Esta tecnología se implementa sobre la red GSM, no es una arquitectura distinta, sólo se añade una nueva funcionalidad sobre la misma para permitir la conmutación de paquetes. El elemento principal que se añade para el soporte de GRPS es el GSN (Gateway Support Node) el cuál funciona como un router ya que proporciona interconexión con otras redes de datos, también administra la movilidad de los usuarios, entrega los paquetes de datos a los terminales más allá de su posición, y realiza autenticación y facturación.

Para adaptar una red GSM a GPRS se requieren dos nodos lógicos que son:

- **S-GSN:** Se encarga del intercambio de paquetes, funciones de movilidad, autenticación y facturación.
- **G-GSN:** Maneja la interconexión con redes de paquetes externas (por ejemplo Internet).

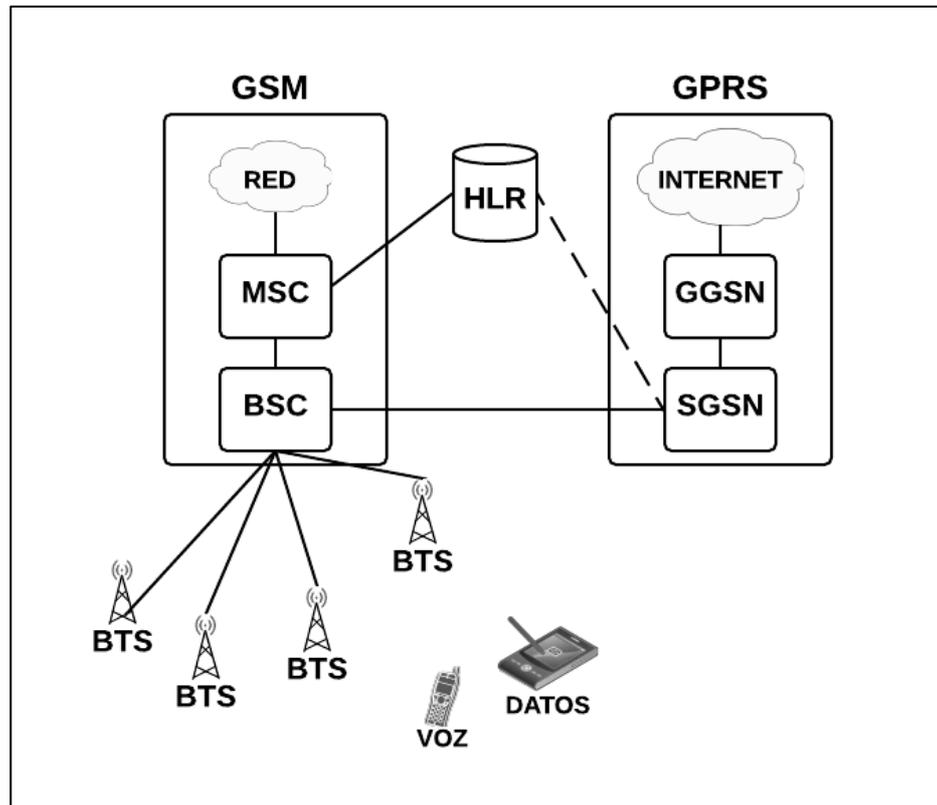


Figura 4 – Arquitectura de una red GSM/GPRS, donde se aprecia la adición de los nodos GSN

5.4 TERCERA GENERACIÓN (UMTS)

La idea detrás del diseño de un sistema 3G (tercera generación) fue tener un solo estándar mundial en vez de adoptar sistemas distintos según la región del mapa. De esta forma nació el estándar IMT-2000 por iniciativa de la UIT que consiste en una familia de sistemas que proveen acceso inalámbrico a la infraestructura global de telecomunicaciones a través de satélites y medios terrestres.



El miembro más importante de esta familia de sistemas es el UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Sus principales características son:

- Es un estándar pensado para ser usado mundialmente para todas las aplicaciones móviles.
- Soporte transmisión de datos por conmutación de circuitos y por conmutación de paquetes.
- Alta eficiencia en el uso espectral.
- Diseñada para soportar servicios multimedia en conjunto con el servicio de voz.

En cuanto a la interfaz de aire se adoptaron varias alternativas. Una de las razones de ello es permitir una evolución progresiva a partir de los sistemas existentes de segunda generación.

Las cinco alternativas adoptadas muestran la evolución desde la segunda generación. Dos de las especificaciones surgen del trabajo de la ETSI para desarrollar un sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS), uno de ellos es el WCDMA el cual utiliza la tecnología CDMA para proporcionar uso eficiente del ancho de banda y tasa de datos elevada. La segunda es la TD/CDMA la cual utiliza una combinación de WCDMA y TDMA la cual fue pensada para ser la actualización de los sistemas GSM basados en TDMA.

Otra alternativa, de origen norteamericano, es la conocida como CDMA2000. Está basado en CDMA y es similar a WCDMA aunque incompatible con él y además utiliza una técnica conocida como multiportadora.

Las últimas dos especificaciones son IMT-SC para redes basadas en TDMA y IMT-FC que puede ser utilizada en redes basadas en TDMA o FDMA. Ambas fueron desarrolladas por la DECT (Digital European Cordless Telecommunications).



5.4.1 WCDMA

En la tecnología CDMA (Code Division Multiple Access) no existe división en el tiempo y todos los usuarios usan la misma portadora y para conseguir esto, a cada uno de ellos se le asigna un código binario distinto, y para identificar la señal procedente de cada uno se realiza una correlación con su código. Los códigos son ortogonales por lo que tras su correlación sólo se obtendrá la señal deseada. Debido al multitrayecto los códigos no son totalmente ortogonales en recepción, por lo que es necesario un buen control de potencia para que la recepción de todos los usuarios sea similar y al hacer la correlación se consiga el usuario correcto y no el que transmita con más potencia.

Wide CDMA (WCDMA) es una técnica de acceso múltiple por división de código y posee una capacidad 8 veces superior al clásico CDMA y utiliza canales de radio de 5 Mhz.

Debido a la complejidad de la técnica CDMA la misma no se detallará en este trabajo ya que como se dijo en la sección 5.3.2.3 la interfaz que más nos interesa no es la de aire sino la que interconecta las radiobases con sus controladores (BSC para 2G o RNC para 3G).

5.4.2 ARQUITECTURA DE UNA RED UMTS

En el siguiente gráfico se puede apreciar la arquitectura de una red UMTS:

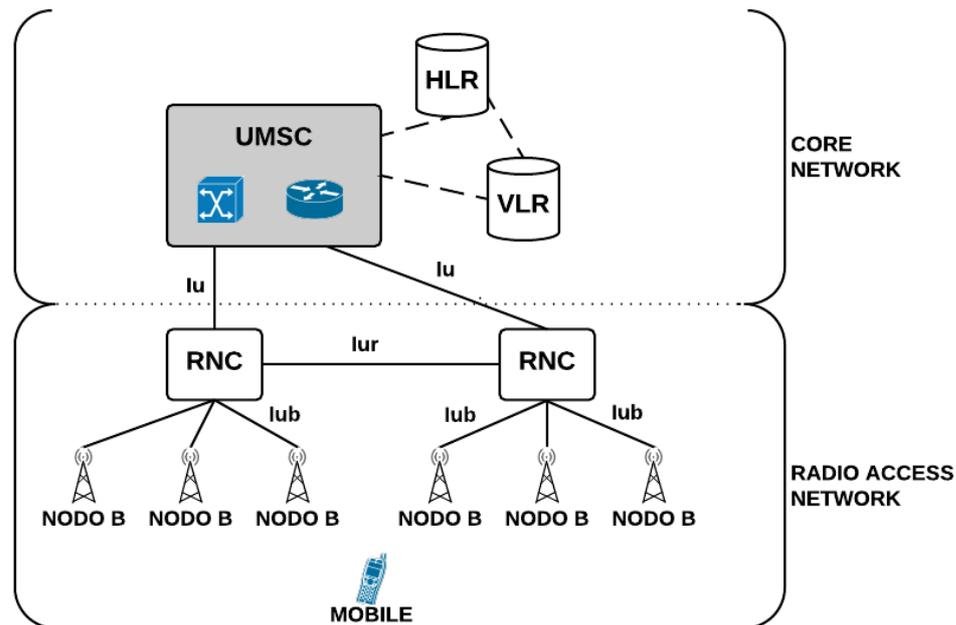


Figura 5 – Elementos e interfaces de una red UMTS

Como se observa en el diagrama la red está compuesta de dos grandes subsistemas:

- **RAN (Radio Access Network) o Red de Acceso por Radio**
- **CN (Core Network) o Red Troncal.**

5.4.2.1 RADIO ACCESS NETWORK

La RAN está compuesta por las entidades que manejan los recursos de la red y que proporcionan acceso al usuario a la red troncal. A diferencia de GSM donde la BTS y la BSC son los componentes de la red de acceso, en UMTS son reemplazadas por los Nodos B y el RNC respectivamente.

- **RNC (Radio Network Controller):** Actúa como la interfaz entre la radiobase y la red troncal (CN). Es responsable del control de todos los recursos de radio en conjunto con el Nodo B y lo realiza sin involucrar a la red núcleo. Sus principales funciones son el



control de congestión de las celdas y el enrutamiento de los datos entre la interfaz Iub y Iur.

- **Nodo B:** Es la radiobase de un sistema 3G. Actúa como el punto de conexión de la interfaz de aire WCDMA (o la modulación que se utilice para la interfaz de aire) con el resto de la red. Como en los sistemas 2G, la transmisión y recepción de señales de radio se hace por medio de antenas direccionales o omnidireccionales.

5.4.2.2 CORE NETWORK

La red troncal o core network maneja dos dominios: uno de conmutación de paquetes y otro de conmutación de circuitos. El diseño de sus protocolos está basado en WCDMA pero sus componentes y definiciones fueron adoptados de GSM. Sus principales componentes son VLR, HLR, MGW del lado de conmutación de circuitos y SGSN y GGSN del lado de conmutación de paquetes.

Como sus nombres, así también sus definiciones son similares a GSM por lo que no se detallará cada una.

5.4.3 INTERFACES DE UNA RED UMTS

5.4.3.1 INTERFAZ Uu

Es la interfaz de aire y la puerta de entrada del usuario a la red móvil. Es similar a la Um en los sistemas 2G.

5.4.3.2 INTERFAZ Iur

Es una interfaz cuya función es interconectar las distintas RNC. No existía una interfaz así en redes GSM. Fue diseñada para soportar el



traspaso de usuarios entre distintas RNCs y utiliza un protocolo de señalización llamado RNSAP (Radio network system application part).

5.4.3.3 INTERFAZ Iu

Esta interfaz conecta el sistema RAN con el CN. Maneja la conmutación, enrutado y funciones de control para el tráfico de circuitos y paquetes por lo que tiene dos subinterfaces: La Iu-CS que interconecta el tráfico relacionado con conmutación de circuitos (RAN contra MSC) y Iu-PS que maneja la parte de conmutación de paquetes (RAN contra SGSN).

5.4.3.4 INTERFAZ Iub

Es la interfaz que conecta la radiobase (Nodo B) con el RNC. Es la interfaz equivalente con la Abis de los sistemas GSM por lo que como se mencionó es la interfaz más relevante en este trabajo.

Generalmente involucra el despliegue de toda una red de transporte ya que suelen existir grandes distancias entre una RNC y el Nodo B, esta red de transmisión de acceso se denomina UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) o Red de Acceso Terrestre UMTS.

En el año 2000 con la Release 99 del grupo 3GPP (Third Generation Partnership Project) se estableció utilizar ATM para el núcleo de la red y para la interfaz Iub. Pero luego en la Release 5 se introdujo la posibilidad de transportar los datos de usuario y la señalización NBAP (Node B Application Part) del nodo B proveniente de la RNC a través de IP. Además, con la Release 4 se separaron las funciones de transporte y control en dos planos: plano de control y plano de usuario. En la Figura 6 y Figura 7 se observa la pila de protocolos para para ambos planos en el caso de utilizar ATM y en el caso de utilizar IP como protocolos de transporte.

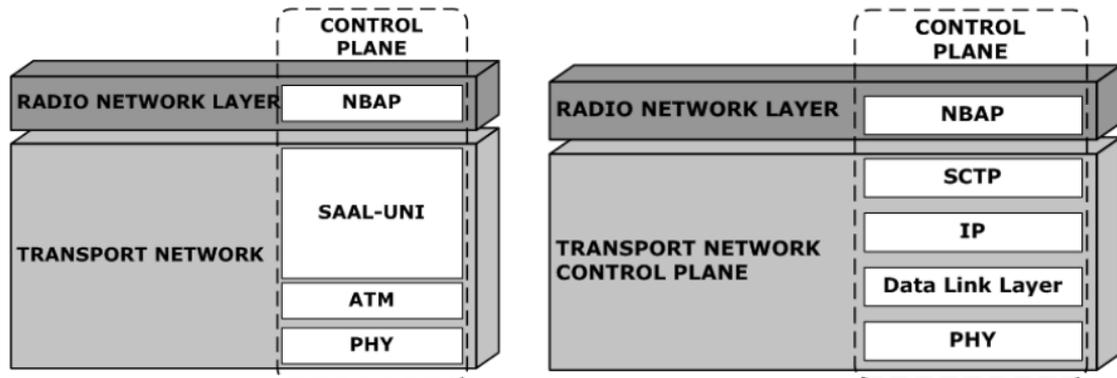


Figura 6 - Pila de Protocolos para el Plano de Control

En la Capa de Red de Radio (Radio Network Layer) se utiliza el conjunto de protocolos NBAP para el caso del plano de control y Frame Protocol para el de usuario.

Cuando se utiliza transporte ATM, la capa SAAL-UNI (Signalling ATM Adaptation Layer) está compuesta por 3 subcapas: SSCF-UNI (Service Specific Coordination Function for support of signalling at the User Network Interface), SSCOP (Service Specific Connection Oriented Protocol) y AAL5 (ATM Adaptation Layer 5).

Cuando se utiliza como protocolo de transporte a IP, la capa 2 será Ethernet nativo. Tanto el protocolo Ethernet/IP como ATM serán explicados en detalle en el capítulo siguiente.

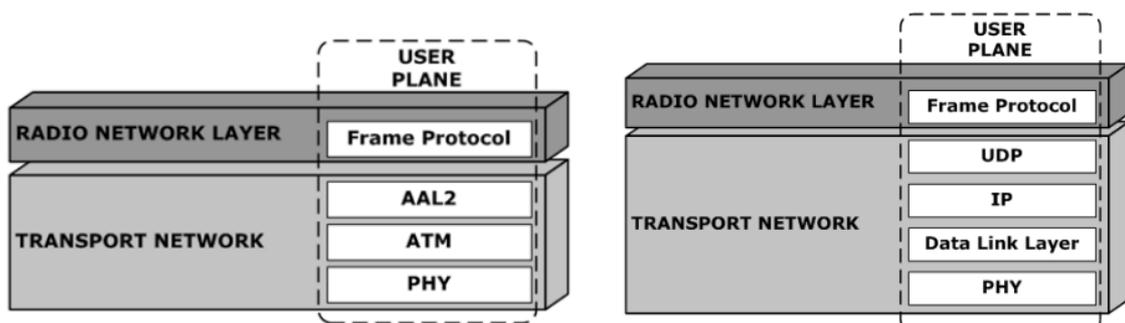




Figura 7 - Pila de Protocolos para el Plano de Usuario

5.4.3.4.1 TIPOS DE Iub

Debido a que UMTS se tuvo que implementar en redes existentes diseñadas para el acceso TDM requerido por GSM, el transporte de información de los nodos B hacia la RNC se realizó en los comienzos mediante el empaquetado de E1s sobre los que se transportaba ATM. Luego con la Release 5 y 6 de la 3GPP que permitía el transporte por IP se extendió la tecnología Ethernet y eso llevó a que existan tres configuraciones posibles para la interfaz Iub de los nodos B:

- **Iub ATM/TDM**

Esta es la configuración que se utilizó en los comienzos antes de la llegada de IP. Los nodos B poseen puertos E1 que se agrupan utilizando un protocolo llamado IMA (Inverse Multiplexing for ATM) de manera que se crea un enlace lógico de mayor ancho de banda (equivalente a la suma de los E1 utilizados). El flujo de tramas ATM se distribuye entre los múltiples E1s y se reensambla al llegar al destino para recrear de nuevo el flujo original. Por lo tanto, IMA es un protocolo mediante el que se crean circuitos emulados ATM. Cada circuito virtual se llama Grupo IMA y cada nodo B requerirá de uno de ellos, lo que reserva recursos en la ruta física para dicho grupo.

- **Iub Dual-Stack**

En esta configuración un nodo B posee dos caminos Iub diferentes, uno ATM y otro IP simultáneamente. Esto permite:

- Descargar el tráfico de datos hacia un camino Ethernet.
- Usar un camino como principal y el otro como secundario para tener protección frente a fallas.
- Utilizar uno para tráfico uplink y otro para downlink.



- Enviar por ATM el tráfico sensible al retardo y las pérdidas (señalización, voz) y los datos menos sensibles, como HSPA, enviarlos por la red IP.

Esto ofrece muchos beneficios ya que garantiza calidad de servicio al tráfico sensible y puedo tener velocidades pico mayores para el tráfico que va por la red IP.

- **Iub FULL-IP**

Esta configuración requiere de una ruta completa Ethernet desde el nodo B hasta la RNC. La capacidad de la interfaz deja de estar limitada a las 8 E1s que trae como máximo un nodo B y puede llegar hasta 1Gbps de un puerto Ethernet. Esta es la modalidad más moderna que se persigue para que todo el tráfico evolucione hacia IP.



6 TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN

En el capítulo anterior se mencionó la arquitectura completa de los sistemas de comunicaciones móviles de primera hasta cuarta generación. En el capítulo presente nos enfocaremos a las redes de transmisión de acceso que se utilizan para transportar la interfaz A-bis en el caso de sistemas móviles 2G y la interfaz Iub en el caso de 3G.

Para el caso de sistemas de segunda generación (2G) se definió la interfaz A-bis como la que existe entre la BTS y la BSC. A diferencia de la interfaz Um que es una conexión directa a través de la interfaz de radio entre la BTS y el móvil, en el caso de la interfaz A-bis nunca es una conexión directa entre ambos equipos y suele involucrar toda una red de transmisión.

Generalmente son cientos de BTS las que se controlan por la misma BSC. Estas últimas se encuentran en los grandes centros de control y conmutación de los operadores mientras que las BTS se encuentran distribuidas a lo largo de todo el territorio nacional donde se quiere proporcionar cobertura. Esto significa que muchas veces existen grandes distancias entre ambos equipos lo que requiere el despliegue de una red de transporte para cubrir el trayecto de esta interfaz. Lo mismo ocurre para el caso de 3G donde los Nodos B también se encuentran distribuidos por todo el territorio y requieren una red que transporte la interfaz Iub hasta la RNC.



6.1 REDES DE TRANSMISIÓN TDM

La ETSI en su documento “*GSM Recommendation 08.54*”² establece la estructura de la capa física de la interfaz A-bis para que soporte el transporte de los canales de tráfico y control entre BTS y BSC. El organismo recomienda que la interfaz debe ser transportada por un medio digital a una velocidad de 2048 kbit/s con una estructura de trama de 32 time slots de 64 kbit/s. Y las características físicas/eléctricas de este tipo de interfaces están definidas en la recomendación G.703 de la CCITT.

Con la llegada de GSM y la necesidad de transportar la interfaz A-bis surgió la necesidad de definir una tecnología para realizar ese transporte. Fue en este escenario que se desarrolló PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy o Jerarquía Digital Plesiócrona) que permitía multiplexar varios canales sobre un mismo sistema de cableado pero con una jerarquía muy rígida, costosa de mantener y con un margen de crecimiento limitado lo que no permitiría a los proveedores seguir el ritmo a las nuevas demandas de las comunicaciones móviles. Sumado a estas desventajas está el hecho de que no existe un único estándar a nivel global.

Estas desventajas fueron las que motivaron a la CCITT a establecer nuevas recomendaciones (G.707, G.708 y G.709, hoy forma una única G.707) dando lugar la llamada SDH (Synchronous Digital Hierarchy o Jerarquía Digital Síncrona) basándose en la tecnología SONET desarrollada en Estados Unidos. SDH también fue pensado para el transporte de voz pero a la vez proporciona soluciones a los inconvenientes de PDH.

Estas dos tecnologías hicieron que las primeras redes de transporte para GSM utilizaran equipos PDH (E1) para la red de acceso de las BTS mediante una topología de árbol y en los puntos donde confluyen varias

² Disponible en el sitio de la ETSI.

http://www.etsi.org/deliver/etsi_gts/08/0854/05.00.00_60/gsmts_0854v050000p.pdf



ramas se instalaron equipos SDH para manejar lo que podríamos llamar la red troncal de acceso. Si bien esta solución no era la única opción disponible, es la mayormente utilizada y la que se utilizó en la red que se analizará en este trabajo.

6.1.1 PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona

En las redes de comunicaciones para poder realizar una transmisión digital de la voz captada por el micrófono del teléfono móvil, la cual es una señal analógica, es necesario utilizar alguna técnica de conversión analógica-digital de las cuales la más utilizada es la denominada PCM (Modulación por Codificación de Pulsos o en inglés Pulse Code Modulation).

Un codificador PCM realiza tres procesos:

1. Se muestrea la señal analógica.
2. Se cuantifica la señal muestreada.
3. Los valores cuantificados son codificados como flujos de bits.

- **Muestreo.**

La señal analógica es muestreada cada T_s s donde T_s es el intervalo de muestreo o período. Su inverso se denomina *frecuencia de muestreo* y se denota como f_s donde $f_s = 1/T_s$. La restricción para f_s es que debe ser al menos 2 veces la frecuencia más alta contenida en la señal original para luego poder recuperarla. Esto se denomina teorema de Nyquist y si W es el ancho de banda de la señal, necesito tomar muestras a una frecuencia de $2W$.

Basándonos en esto podemos concluir que para digitalizar una señal telefónica la cual tiene un ancho de banda de 4kHz (la voz ocupa entre los 300 y 3400Hz y el resto se utiliza como zona de guarda)



debemos tomar al menos 8000 muestras la cual corresponde a una frecuencia de muestreo de $1/8000=125\mu s$.

- **Cuantificación**

En el proceso de cuantificación se asignan valores discretos a las muestras obtenidas de la señal analógica. Para simplificar la señal digital a transmitir se utilizan niveles finitos de valores discretos para representar de forma aproximada la amplitud de las muestras. Para ello, se divide en intervalos los cuales pueden ser de igual tamaño o no (llamada cuantificación y no uniforme respectivamente) todo el rango de amplitudes que pueden tomar las muestras. Esto origina un aspecto llamado error de cuantificación pero no es relevante en señales de voz para una comunicación telefónica.

- **Codificación**

Luego de que cada muestra ha sido cuantificada, cada muestra se cambia a una secuencia de bits. Para transmisiones telefónicas se establece que una cuantificación de 256 niveles es suficiente lo que requiere $2^8=256$ bits para representar cada muestra.

Con estos tres procesos se puede calcular que si para un canal telefónico deben tomarse 8000 muestras/segundo y dichas muestras codificarse con un número binario de 8 bits, entonces la tasa de bits para un canal telefónico es la siguiente:

$$\text{Tasa de bits: } 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{segundo}} \times 8 \frac{\text{bits}}{\text{muestra}} = 64000 \frac{\text{bits}}{\text{segundo}}$$

Esta técnica de conversión analógico-digital nos permite transmitir datos mediante multiplexación temporal (TDM), lo cuál nos permite transmitir varios canales telefónicos digitalizados utilizando la misma línea de transmisión aprovechando el espacio entre dos muestras consecutivas para



intercalar muestras de otros canales. De este concepto nació la Jerarquía Digital Plesiócrona (en inglés sus siglas son PDH), que es TDM y tiene sus versiones europea y americana. La unidad básica en PDH es el canal telefónico digitalizado con PCM a 64kbps, y la trama básica (a nivel tributario) se denomina E1 (PCM 30+2) que corresponde a 30 canales telefónicos más dos correspondientes a alineación y control.

La trama E1 tiene una duración total de 125 μ s y una velocidad de 2.048Mbps.

La forma de multiplexar los canales que llegó a los equipos que se manejan en Argentina es la europea que consiste en agrupar las tramas de los niveles jerárquicos superiores agrupando tramas básicas E1 de 4 en 4, bit a bit. En la siguiente tabla se describen las cinco jerarquías del sistema europeo:

Jerarquía	Velocidad	Canales	Trama
E1	2048 Kbit/s	30	256 bits = 125 μ s
E2	8448 Kbit/s	120	848 bits = 100.38 μ s
E3	34368 Kbit/s	480	1536 bits = 44,7 μ s
E4	139264 Kbit/s	1920	2904 bits = 20.85 μ s
E5	564992 Kbit/s	7680	2688 bits = 4.7 μ s

Figura 8 – Niveles jerárquicos de multiplexación

La recomendación G.732 define el esquema de multiplexación en 32 canales (del 0 al 31) para una trama MIC a 2048kbps. De los 32 canales, 30 se dedican a transportar información y 2 para la sincronización (canal 0) y la



Figura 9 – Trama E1 con sus 32 Timeslots



señalización (canal 16). En ocasiones podemos también utilizar el canal 16 para tráfico.

Para multiplexar los canales en un sistema plesiócrono (que significa que la velocidad de la señal puede variar debido a que cada equipo es sincronizado por un reloj distinto) se realiza un proceso conocido como bit-stuffing que consiste en agregar bits extras para llevar todas las señales de entrada a una velocidad común, lo que requiere múltiples pasos para multiplexar y demultiplexar una señal.

A pesar de ser un primer paso hacia la multiplexación de señales digitales la tecnología PDH presenta varias desventajas las cuales impiden que se convierta en la solución definitiva para transmisión TDM. Uno de sus inconvenientes es la falta de estandarización a nivel global lo que no permite la compatibilidad entre dispositivos de distintos proveedores. Tampoco existe información en la trama, debido al bit-stuffing que no permita definir el comienzo y el fin de la carga, lo que resulta en que si se quiere acceder a un tributario de un nivel determinado dentro de una señal multiplexada, habría que demultiplexar paso a paso todos los canales hasta dicho nivel, y luego, volver a multiplexarlos para retomar la señal original. La otra desventaja es la falta de cabeceras en la trama para transmitir información relativa a la operación, mantenimiento y administración de la red por lo que no es posible realizar tareas de monitorización, detección y corrección de errores, protección frente a fallos, etc.

6.1.2 SDH: Jerarquía Digital Síncrona

La organización American National Standards Institute estandarizó bajo el nombre de SONET (Synchronous Optical Network o Red Óptica Síncrona) una propuesta de la empresa BellCore en 1985. Basado en esta propuesta la ITU-T publicó la recomendación G.707, una versión compatible, denominada Jerarquía Digital Síncrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy). SONET/SDH fue creada para aprovechar las ventajas



que proporciona la transmisión digital a alta velocidad a través de fibra óptica.

El principal motivo para la creación de SDH fue proveer una solución a largo plazo para comunicar equipos ópticos entre operadores, esto significa, permitir que equipos de distintos fabricantes se comuniquen entre sí.

La segunda ventaja principal es el hecho de que es síncrono. En ese entonces la mayoría de los sistemas de multiplexación eran plesiócronicos (como PDH). Al ser síncrono permite multiplexación y demultiplexación en un paso. Este tipo de multiplexación requiere hardware menos complejo mientras mejora la calidad de la señal y permite insertar (add) y extraer (drop) canales fácilmente.

La especificación SDH define una jerarquía de velocidades de datos digitales normalizada. La velocidad menor definida por la ITU-t es 155,52Mbps denominada STM1. En la siguiente tabla observamos el resto de los niveles de la jerarquía establecida:

Jerarquía	Velocidad (Mbps)	Número de E1
STM-1	155,52	63
STM-4	622,08	252
STM-16	2488,32	1008
STM-64	9953,28	4032
STM-256	39813,12	16128

Figura 10 - Jerarquía SDH

Al igual que en la jerarquía de PDH, los niveles superiores se construyen multiplexando tramas del nivel inferior, por lo que con cuatro tramas STM1 obtenemos una trama STM4 y así sucesivamente.

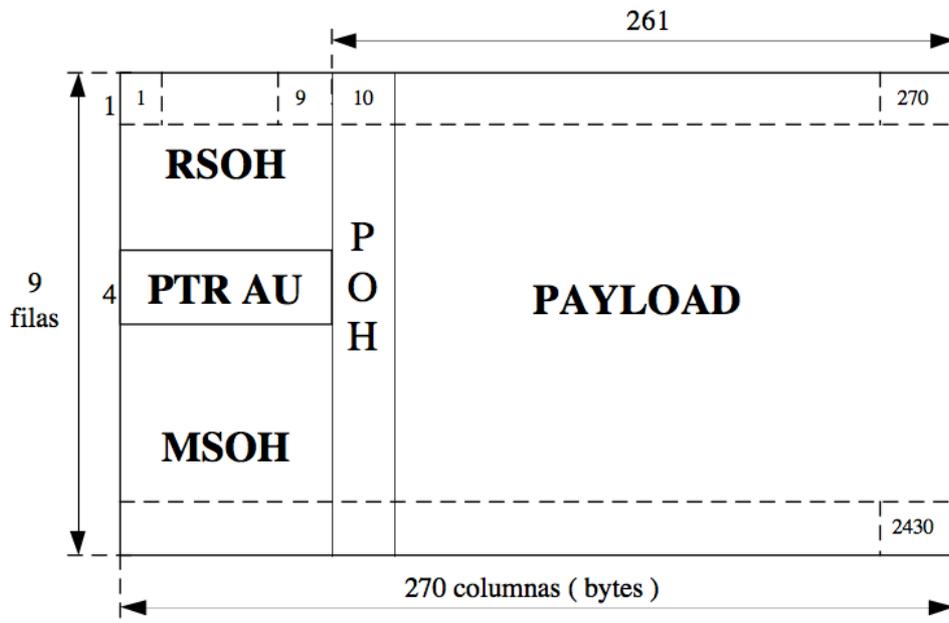


Figura 11 - Trama básica SDH

En la Figura 9 se puede observar que la trama SDH tiene carga “no útil”, por lo que, por ejemplo para el caso de una STM1 si bien la velocidad está definida en 155Mbps, en la práctica solo puedo transportar aproximadamente 126Mbps y el resto es utilizado para la cabecera.

6.1.2.1 ESTRUCTURA DE MULTIPLEXADO

Cuando una señal es transmitida por la red SDH primero es encapsulada en un contenedor cuya capacidad está definida de manera que asegure la transmisión de señales tributarias definidas en PDH, se denomina Cn donde n corresponde al valor de la jerarquía PDH a encapsular. Por ejemplo, una trama E1 de 2Mbps correspondería a un Cn, n=12.

Al contenedor Cn se le asocia un encabezado llamado POH (Path Over Head). A la suma del Cn más el encabezado se lo denomina VC (Virtual

Container o Contenedor Virtual). Por lo que un VC asociado a transmitir una E1 es un VC12. Se hace una distinción entre contenedores virtuales de bajo orden (VC11, VC12, VC3, VC2) y los de alto orden (VC4, VC3) porque los de alto orden pueden contener VCs de bajo orden.

Luego a los VC de bajo orden se les agrega un puntero formando el TU (Tributary Unit o Unidad Tributaria) el cual indica el lugar donde comienza el VC en la trama. Varios TU multiplexados forman el TUG (Tributary Unit Group). Por ejemplo el TUG2 puede estar formado por 4xTU11, o 3xTU12 o 1xTU2.

Los TUG multiplexados nos dan los VC de alto orden. Luego el AU se compone del VC de alto orden más el puntero. Para terminar de componer la trama STM (Synchronous Transport Module) se compone el AUG (Administrative Unit Group) que es el espacio que ocupa un AU4 con su trama de transmisión, o el que ocupan 3 AU3 multiplexados, sumado al encabezado SOH (Section Over Head). En la figura 10 se puede observar el sistema de multiplexado con todas sus relaciones.

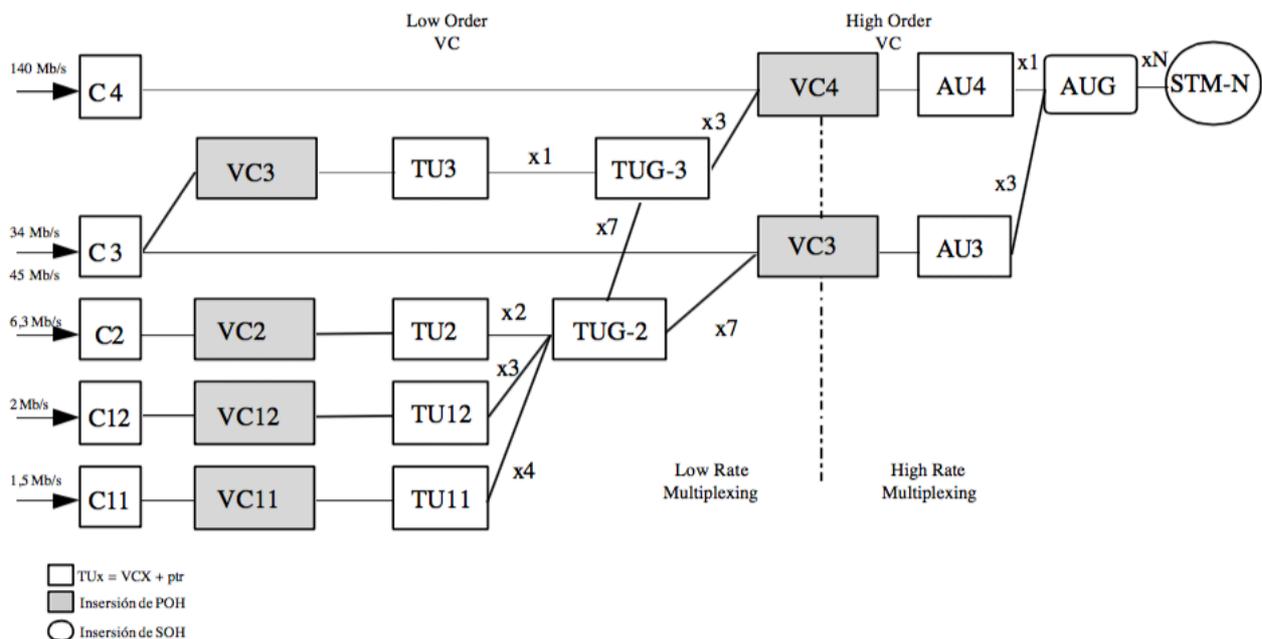


Figura 12 - Estructura de Multiplexado



6.1.2.2 UTILIZACIÓN DE LOS ENCABEZADOS

Como se observa en la Figura 11, la trama STM-1 provee una matriz de 9 filas por 270 columnas (bytes). La matriz está ordenada de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Se divide en tres zonas:

- SOH (Section Over Head), o encabezado de sección el cual a su vez está subdividido en dos, un encabezado para secciones regeneradoras llamado RSOH, y otro para secciones multiplexoras llamado MSOH.
- Punteros de AU.
- Payload (C4).

Los encabezados tienen por función, entre otras, el monitoreo de calidad entre las diferentes secciones. También son los encargados de brindar canales de servicio, datos y gestión. A través de bytes de los encabezados viaja el protocolo de gestión con el cual se conectan los equipos SDH a la red de gestión.

6.1.2.3 ELEMENTOS DE UNA RED SDH

- **Multiplexor terminal**
El elemento donde terminan los circuitos. Actúa como un concentrador de E1s así como de otras señales tributarias. En la Figura 13 se observa el diagrama del mismo.

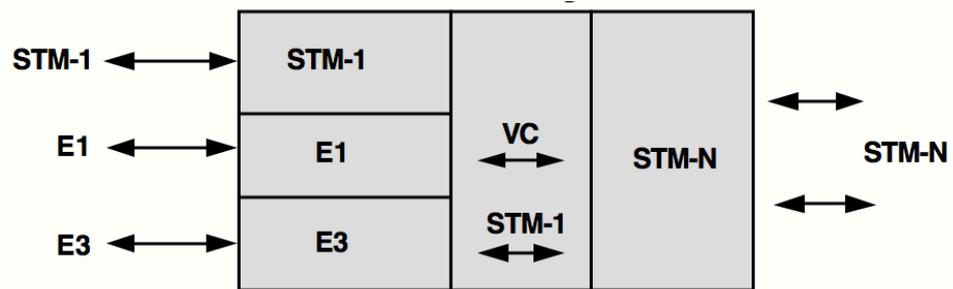


Figura 13 - Multiplexor Terminal

- **Regenerador**

Un regenerador es necesario cuando, debido a largas distancias entre multiplexores, la señal en la fibra se degrada. El regenerador recupera el sincronismo de la señal recibida y reemplaza el encabezado de la Sección Regeneradora (RSOH) antes de retransmitir la señal. Los encabezados de la Sección Multiplexora, del circuito y de la carga útil no son alterados.

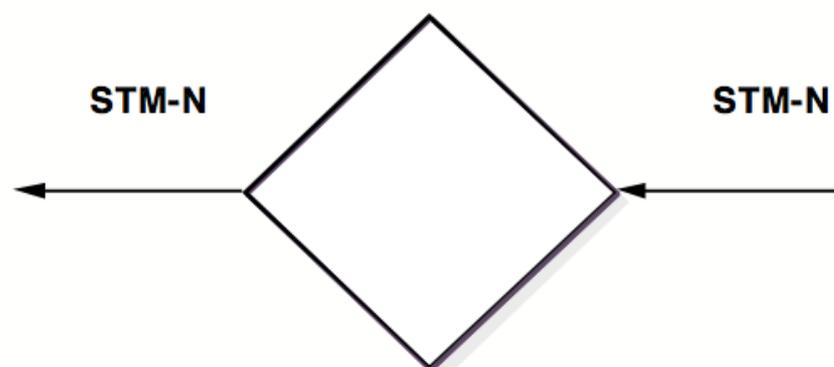


Figura 14 - Regenerador

- **Multiplexor Inserción/Extracción (Add/Drop Multiplexer)**

Una de las principales ventajas de SDH es la posibilidad de insertar (add) y extraer (drop) tributarios directo desde la señal. El Multiplexor de Inserción/Extracción se encarga de extraer o insertar señales tributarias plesiócronas o síncronas de cualquiera

de las dos señales agregadas STM-N que recibe (una en cada sentido de transmisión), así como dejar paso a aquellas que se desee.

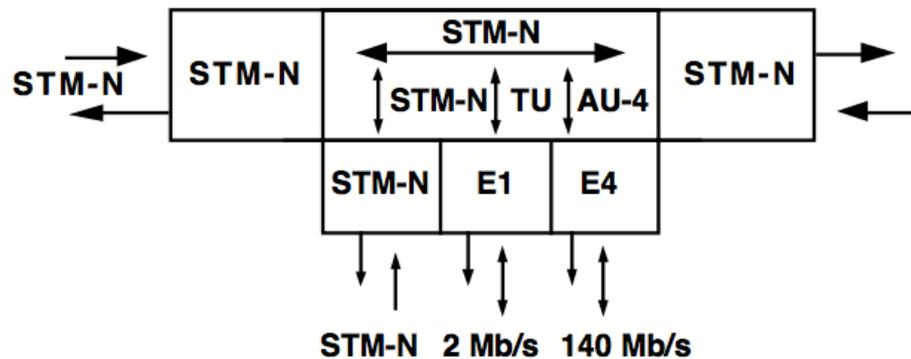


Figura 15 - Multiplexor de Inserción/Extracción

- **DXC (Digital Cross-Connect)**

Los elemento de cross conexiones digitales permiten la interconexión sin bloqueo de señales a un nivel igual o inferior, entre cualquiera de sus puertos de entrada y de salida. Los DXCs admiten señales de acceso, tanto plesiócronicas como síncronas, en diversos niveles. Los DXCs son el puntos de mayor flexibilidad en la red SDH, posibilitando que el operador realice de forma remota interconexiones semipermanentes entre diferentes canales, capacitando el encaminamiento de flujos a nivel de VC sin necesidad de multiplexaciones o demultiplexaciones intermedias.

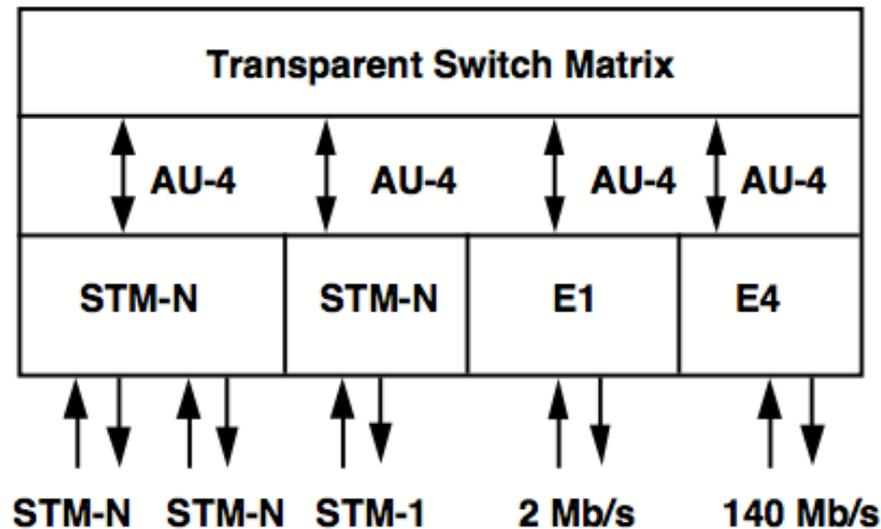


Figura 16 - DXC

6.1.2.4 RESUMEN SDH

Como hemos visto, son muchos los beneficios que ofrece la tecnología SDH a los operadores de telecomunicaciones y grandes empresas, los cuales podemos resumir en los siguientes puntos:

- Reducción de coste de los equipos de transmisión por la posibilidad de integrar las funciones de transmisión, multiplexación e interconexión en un solo equipo; y la alta competencia entre proveedores de equipos debida a la alta estandarización de SDH.
- El acceso directo a las señales de cualquier nivel sin necesidad de demultiplexar en todos los niveles.
- La incorporación de información de gestión adicional en las tramas lo cual permite el mantenimiento centralizado, rápida y exacta localización de averías, el re-encaminamiento automático, la monitorización permanente de la calidad del circuito, etc.



- La amplia gama de anchos de banda de transmisión y la posibilidad de acceder directamente a las señales de cualquier nivel sin necesidad de demultiplexar en todos los niveles inferiores, permiten la creación de una infraestructura de red muy flexible y uniforme.

Todas estas características posicionaron a SDH al momento de su desarrollo como el sistema de transmisión en el mercado para las redes de acceso cuya escalabilidad permitió el despliegue de redes muy grandes de las cuales muchas siguen vigentes hasta el día de hoy.

6.2 ATM: MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO

ATM es una tecnología de transporte ampliamente empleada en telecomunicaciones y que opera a nivel de capa 2 según el modelo de referencia OSI. Es una tecnología orientada a conexión, diseñada para el transporte de múltiples tipos de servicios entre ellos voz, video y datos y provee gran escalabilidad del ancho de banda.

6.2.1 ARQUITECTURA DE ATM

ATM es una red de conmutación de celdas. Los dispositivos de acceso del usuario, denominados sistemas finales se conectan mediante una interfaz usuario-red (UNI) a los conmutadores de la red. Los conmutadores se conectan entre sí por interfaces red-red (NNI).

- **Conexión virtual**

La conexión de dos sistemas finales se realiza mediante caminos de transmisión (TP), caminos virtuales (VP) y circuitos virtuales (VC).

Un camino de transmisión TP es la conexión física (cable, satélite, etc) entre el sistema final y un conmutador o entre dos conmutadores. Un camino de transmisión se divide en varios



caminos virtuales VP los cuales ofrecen una conexión o un conjunto de conexiones entre dos conmutadores.

Las redes de celdas están basadas en circuitos virtuales (VC). Todas las celdas que pertenecen a un mismo mensaje siguen el mismo circuito virtual y mantienen el orden hasta alcanzar su destino.

Para identificar las conexiones virtuales se creó un identificador jerárquico de dos niveles: un identificador de camino virtual (VPI) y un identificador de circuito virtual (VCI).

- **Celdas**

Se denomina así a la unidad de datos básica en una red ATM. Tiene solo 53 bytes, con 5 bytes para la cabecera y 48 para la carga. El hecho de que las celdas sean de tamaño fijo facilita el proceso de conmutación. El porque de los 53 bytes se explica debido a que celdas más grandes provocan tiempos de retardo en la transmisión que servicios como voz y video no pueden tolerar, mientras que celdas más pequeñas reducen la eficiencia en el manejo del ancho de banda.

En la Figura 17 se observan los 5 bytes del encabezado de una celda ATM, donde VCI y VPI ya se explicó que son, y los otros campos relevantes son:

- GFC (Generic Flow Control). Generalmente no es utilizado.
- PT (Payload Type). El primer bit indica si la celda contiene datos de usuario o de control. Si contiene datos de usuario, el segundo bit indica congestión y el tercero indica si la celda es la última en una serie de celdas que representan una sola trama AAL5.
- CLP (Cell Loss priority). Indica si la celda puede ser descartada cuando hay extrema congestión.

- HEC (Header Error Control). Checksum calculado para detectar errores solo en el encabezado.

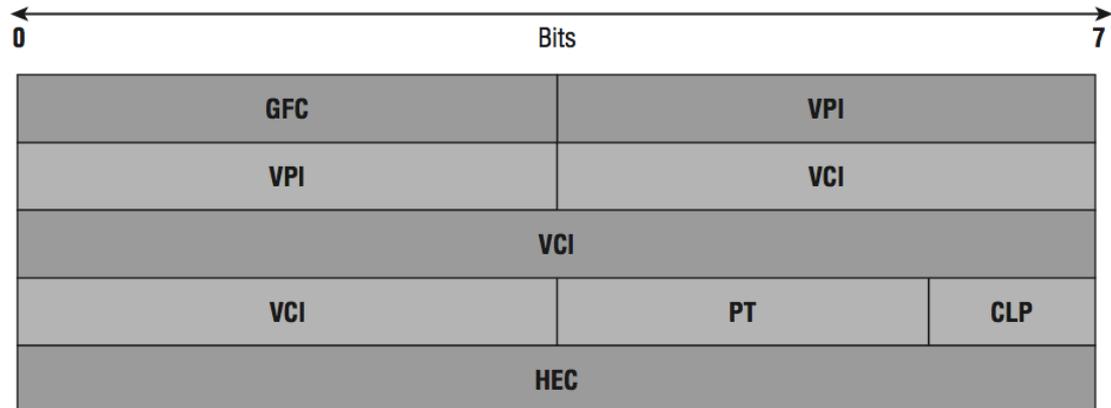


Figura 17 - Encabezado de una celda ATM

6.2.2 CAPA DE ADAPTACIÓN ATM (AAL).

El AAL (ATM Adaptation Layer) se diseñó para permitir dos conceptos en ATM. En primer lugar, debe transportar cualquier tipo de carga. Debe poder aceptar, de un protocolo de nivel superior, una paquete de datos o un flujo continuo de bits, por ejemplo, de un servicio multimedia y dividirlo en celdas ATM sin que el servicio se vea afectado.

Para esto AAL define dos subniveles. El primer subnivel se denomina segmentación y re-ensamblado (SAR) que se encarga de segmentar la carga en segmentos de 48 bytes y de re-ensamblarlos en el destino. Antes de ser segmentados deben ser preparados para garantizar su integridad. Esto se realiza en el subnivel denominado subnivel de convergencia (CS).

Como ATM permite transportar todos los tipos de servicios, ya sea que requieran baja latencia o sean circuitos orientados a conexión, se establecieron 4 versiones de AAL para dar soporte a todas las clases de servicio:



- **AAL1:** Tráfico que requiere bit rate constante. (ejemplo: video y voz)
- **AAL2:** Tráfico con bit rate variable.
- **AAL3/4:** Servicio orientado a conexión.
- **AAL5:** Servicio no orientado a conexión (ejemplo: IP).

6.3 ETHERNET

El protocolo Ethernet fue creado originalmente por Xerox Corporation pero no tuvo éxito para lanzarlo comercialmente. Luego, Xerox se unió a Digital Equipment Corporation (DEC) para estandarizar un conjunto de productos de red que usarían tecnología Ethernet. Más tarde se sumó Intel Corporation y el grupo fue conocido como DEC-Intel-Xerox (DIX). DIX desarrolló y publicó el primer estándar de Ethernet a 10Mbps.

Ethernet es una tecnología broadcast que se basa en compartir el medio para la comunicación. Usa un protocolo pasivo para la recepción llamado Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CS), o en español, Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones. También usa un sistema de direccionamiento en la capa de enlace de datos conocido como direcciones MAC (Media Access Control) y provee la capacidad de enviar una trama de datos a todos los dispositivos de la red simultáneamente (broadcasting).

6.3.1 TRAMA ETHERNET

Para proveer un estándar para la industria el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) formó el grupo 802.3 para trabajar en la estandarización de redes LAN basadas en la tecnología Ethernet pero desafortunadamente el protocolo diseñado por el comité resultó innecesariamente complejo por lo que a la par surgió otro estándar llamado



Ethernet II el cuál fue mucho más aceptado. En la Figura 18 y Figura 19 se observan los dos formatos de trama.

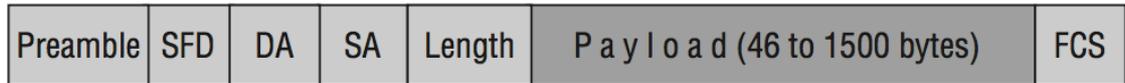


Figura 18 - Trama Ethernet 802.3

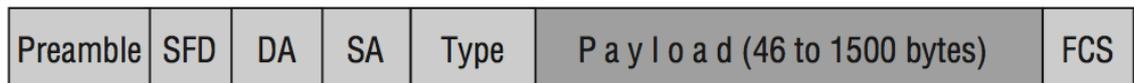


Figura 19 - Trama Ethernet II

A continuación se explican los campos relevantes en la trama Ethernet:

- **Preamble:** Es una cadena de bits utilizada para que el transmisor y el receptor sincronicen su comunicación. Consiste en una patrón binario de 56 unos y ceros.
- **Start of Frame Delimiter (SFD):** Siempre es 10101011 y se utiliza para indicar el comienzo de la información de la trama.
- **Destination Address (DA):** La dirección MAC del dispositivo de destino.
- **Source Address (SA):** La dirección MAC del transmisor:
- **Length/Type:** Este campo en el formato de trama 802.3 indica la longitud de la carga útil de la trama. Se estableció que si el valor es menor a 1536 entonces es una trama 802.3 y el valor indica la longitud de la carga útil. Si es mayor a ese número entonces lo que nos indica el campo es que se trata de una trama Ethernet II.
- **Payload:** Aquí se insertan los datos, la carga útil.
- **Frame Check Sequence (FCS):** Utilizado para detectar tramas corruptas. Cuando el FCS calculado no coincide la trama se descarta.

6.3.2 DIRECCIONAMIENTO ETHERNET



Ethernet tiene su propio esquema de direccionamiento. Una dirección MAC consiste en 48 bits (6 bytes) hexadecimales que se dividen en dos partes. Los primeros 3 bytes consisten en el OUI (Organization Unit Identifier) que identifica el fabricante con su número único asignado por la IEEE y los últimos 3 bytes son asignados por el fabricante.

Las direcciones MAC son utilizadas para llevar una trama de un dispositivo a otro en una red Ethernet. La dirección MAC de cada dispositivo debe ser única y es esta unicidad la que permite que la trama sea enviada solo a la estación requerida.

6.3.3 TRANSMISIÓN ETHERNET

Desde su origen, una de las características más importantes de Ethernet fue el método a través del cual los dispositivos acceden a un medio compartido. En ATM o otros protocolos, el host empieza a transmitir datos por el medio físico cuando lo requiere pero es importante recordar que estas tecnologías son diferentes ya que Ethernet utiliza un medio compartido lo cual significa que otros hosts comparten el acceso al medio físico, lo que significa en la práctica es que es bastante posible que más de un host intente transmitir información al mismo tiempo, por eso los diseñadores de Ethernet desarrollaron una serie de procedimientos para permitir que cada estación pueda acceder al medio cuando lo necesito pero previniendo que una estación monopolice la conversación. Estos procedimientos o protocolo se denominan CSMA/CD pero fueron creados para el diseño original de Ethernet donde el medio físico era un cable que iba recorriendo todas las estaciones y el modo de transmisión era half-duplex. Hoy en día con los enlaces full-duplex el medio se convierte en un enlace punto a punto y ya se permite transmisión simultánea en ambos sentidos sin involucrar colisiones ni necesidad de retransmisión.

Actualmente se disponen de las siguientes velocidades y modos de operación:



- **Velocidad:** 10Mbps, 100Mbps (FastEthernet), 1Gbps, 10Gbps, 100Gbps.
- **Operación:** Full-Duplex, Half-Duplex (con CSMA/CD)

Todas las velocidades poseen estándar para ser transmitido por par de cobre o por fibra óptica, exceptuando las velocidades superiores a 10Gbps que requieren fibra óptica.

6.3.4 DISPOSITIVOS ETHERNET

En las secciones anteriores se explicó como se transmiten las tramas Ethernet. En este capítulo se describen los dispositivos involucrados aparte de las estaciones clientes.

6.3.4.1 ETHERNET HUB

Un hub es un pequeño dispositivo de interconexión que generalmente cuenta con entre 4 a 8 puertos Ethernet para que las estaciones puedan comunicarse entre sí. Para realizar esto el hub tiene una circuitería no inteligente que transmite las señales de cualquier puerto hacia todos los puertos indiscriminadamente.

Cualquier trama Ethernet que llega por cualquier puerto es enviada a todos los otros puertos por lo que cualquier estación puede hablar con cualquier otra estación conectada al hub. Esto implica que solo soporta el modo de transmisión half-duplex ya que no puede procesar dos señales a la vez. En la actualidad y en las redes profesionales/empresariales ya no se utilizan más estos dispositivos.



6.3.4.2 ETHERNET SWITCH

A diferencia del Ethernet hub, los switches realizan las operaciones de envío de tramas de forma inteligente. Un Ethernet switch envía la trama solo al puerto que la requiere. Realiza esta función construyendo una tabla dinámica de direcciones MAC que relaciona las direcciones MAC con los puertos. Para construir la tabla el switch guarda la dirección MAC de los paquetes que ingresan y los asocia al puerto por el cual ingresó. Esta tabla se llama FDB (Forwarding Data Base).

6.4 PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Para solucionar el problema de la entrega de un paquete a través de varios enlaces, se ha diseñado el nivel de red al cuál pertenece el protocolo IP. Se dice que los protocolos explicados en las secciones anteriores son protocolos de nivel de enlace de datos según el modelo de referencia OSI.

El nivel de red es responsable de la entrega cliente a cliente y del encaminamiento de los paquetes a través de los equipos intermedios (conmutadores). La cabecera del paquete contiene, entre otra información, las direcciones lógicas del origen y del destino. El nivel de red es responsable de comprobar su tabla de encaminamiento para encontrar la información de encaminamiento (tales como la interfaz de salidas o la dirección física del siguiente nodo). Si el paquete es demasiado grande se fragmenta.

En Internet, a nivel de enlace de red, es una red de conmutación de paquetes. La conmutación se puede dividir en tres categorías: conmutación de circuitos, conmutación de paquetes y conmutación de mensajes. En Internet se ha elegido el enfoque basado en datagramas. Utiliza una dirección universal definida en el nivel de red para encaminar los paquetes del origen al destino.



La entrega de un paquete se puede realizar utilizando un servicio de red orientado a conexión o uno no orientado a conexión. En un servicio orientado a conexión, el origen establece en primer lugar una conexión con el destino antes de enviar el paquete. Pero en un servicio no orientado a conexión como es el caso de IP, el nivel de red trata cada paquete de forma independiente y los paquetes no tienen relación entre ellos. Los paquetes de un mensaje pueden viajar o no por el mismo camino hasta el destino.

El protocolo de Internet (IP) versión 4 es un mecanismo de entrega utilizado en los protocolos TCP/IP y el más utilizado de los protocolos de nivel de red. En el nivel de red, los protocolos definen como los paquetes son enviados, quien crea el paquete y quien lo recibe. Para esto se definen los siguientes conceptos:

- **Ruteo:** El proceso de direccionar los paquetes.
- **Direccionamiento lógico:** Direcciones que pueden ser usadas sin importar el tipo de red física que se utilice, brindando al menos una dirección a cada dispositivo. Permite al proceso de enrutamiento identificar la procedencia y el destino de un paquete.
- **Protocolo de ruteo:** Un protocolo que ayuda al router (enrutador) aprendiendo dinámicamente grupos de direcciones en la red que permiten funcionar al proceso de direccionamiento.

6.4.1 DIRECCIONAMIENTO IP

Para comunicarse con un dispositivo utilizando IP, se necesita una dirección IP. Cuando se cuenta con la dirección IP y el software y hardware apropiado, se puede enviar y recibir paquetes IP.

Una dirección IP consiste en un número de 32 bit, usualmente escrito en notación decimal donde cada byte (8 bits) es separado por puntos resultando cuatro números decimales escritos en secuencia. Por ejemplo



168.1.1.2 es una dirección IP escrita en notación decimal pero su versión actual binaria es 10101000 00000001 00000001 00000010.

En la Figura 20 se observa el encabezado de un paquete IP donde se puede observar que dispone de los siguientes campos:

<--		32 bits		-->	
Versión (4 bits)	Longitud del encabezado (4 bits)	Tipo de servicio (8 bits)	Longitud total (16 bits)		
Identificación (16 bits)			Indicador (3 bits)	Margen del fragmento (13 bits)	
Tiempo de vida (8 bits)		Protocolo (8 bits)	Suma de comprobación del encabezado (16 bits)		
Dirección IP de origen (32 bits)					
Dirección IP de destino (32 bits)					
Datos					

Figura 20 – Encabezado IP



7 EVOLUCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN DE ACCESO HACIA IP

Con la llegada de la banda ancha a las redes móviles el primer paso que tuvieron que seguir las operadoras, fabricantes y organismos fue tomar una decisión sobre qué tecnología/s de transporte serían las apropiadas para cubrir las necesidades de la red a corto, medio y largo plazo. En las redes fijas se había desplegado con éxito la tecnología ATM y con las redes móviles, detrás de los nodos B y BTS, había grandes despliegues de redes SDH. Sin embargo, enseguida se tomó conciencia de las limitaciones de ATM y SDH ante las siguientes características de la evolución de las perspectivas del mercado:

- Extensión del acceso a datos en movilidad para todos (no sólo para unos pocos).
- Crecimiento de las aplicaciones de datos, video, música, noticias, web, etc. Las operadoras se encontraron con que el tráfico de datos crecía exponencialmente.

El crecimiento en ancho de banda sería principalmente en servicios de datos de usuario de tipo best-effort (como accesos a la web). Por este motivo se vislumbró como opción óptima el uso de redes basadas en IP de igual forma que en Internet, para así conseguir una convergencia entre redes y servicios en el futuro. Además, con el fin de proporcionar redes IP nativas, se desarrolló bajo el estándar Ethernet, para que se pudiese aplicar en redes de área extensa (WAN) y metropolitanas, lo que se denomina comercialmente Carrier Ethernet, siendo ésta una tecnología efectiva y más barata que las demás alternativas, como SDH o TDM. Por este motivo, y porque los estándares de tecnologías 4G se han desarrollado para funcionar sobre redes IP, la mayoría de las operadoras optaron por usar IP/Ethernet en la evolución de su red de transporte: radioenlaces de



microondas Ethernet y soluciones Ethernet cableadas (coaxial, fibra óptica, DSL, PON, etc.).

7.1 CARRIER ETHERNET

El protocolo Ethernet fue explicado en el capítulo anterior y a pesar de las ventajas que le ganaron su popularidad como el bajo coste, la escalabilidad, granularidad (celdas sin tamaño fijo) y fiabilidad (transmisión simple y robusta) el mismo presentaba algunas limitaciones que debían ser resueltas antes de poder extenderse a las redes convergentes, para lo que se fundó en 2001 el Metro Ethernet Forum. Los objetivos de esta asociación serían resolver las dificultades presentadas por Ethernet, definiendo y estandarizando servicios y atributos con el fin de promover la adopción de esta tecnología a nivel de red de acceso (WAN y MAN). La solución obtuvo el nombre comercial “Carrier Ethernet”, y básicamente consiste en la extensión de Ethernet para permitir a los proveedores de servicio de telecomunicaciones ofrecer a sus clientes servicios Ethernet y utilizar Ethernet en sus redes.

Los servicios Carrier Ethernet se pueden transportar sobre distintos tipos de redes, tanto de paquetes como de tecnologías legacy. Los atributos que diferencian a Carrier Ethernet de las clásicas redes LAN basadas en Ethernet son cinco:

- Calidad de Servicio (QoS) predecible
- Servicios estandarizados (E-Line, E-LAN, E-Tree)
- Escalabilidad (de 1Mbps a 10Gbps)
- Fiabilidad
- Gestión de servicios

Siendo los servicios estandarizados:

- **E-Line**

- E-LAN
- E-Tree

7.1.1 E-LINE: Ethernet Virtual Private Line

Es un servicio de datos que proporciona una conexión Ethernet, también llamada Ethernet Virtual Connection (EVC), punto a punto entre dos interfaces.

Este tipo de servicio se utiliza para crear Líneas Ethernet Privadas (EPL) o Líneas Virtuales Privadas Ethernet (EVPL).

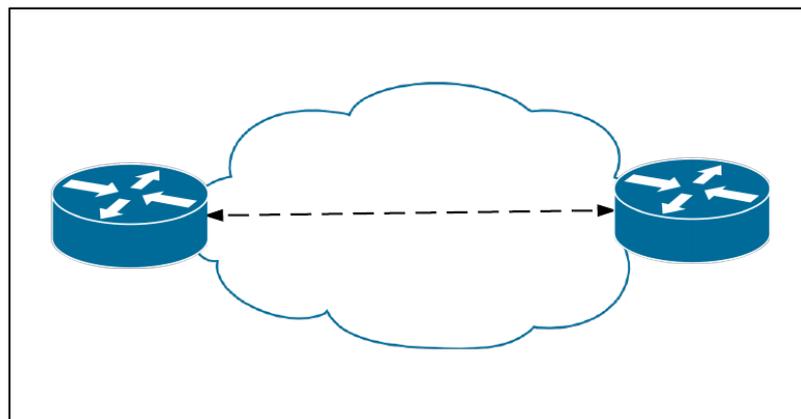


Figura 21 - EVC o E-line punto a punto

Entre dos interfaces pueden definirse múltiples servicios, que se diferenciarán entre sí mediante un parámetro llamado VLAN.

Si se requiere transportar tráfico TDM a través de la red Ethernet, se utiliza un servicio E-line y se hace uso de un sistema de emulación de circuitos llamado CES, que recrea las condiciones de sincronismo y alta calidad propias de una conexión TDM.

El funcionamiento es el siguiente: el flujo de bits de un tributario E1 llega a un equipo Carrier Ethernet, se fragmenta en segmentos de la misma longitud a los que se añade una cabecera para formar un paquete; los paquetes se transmiten por la red Ethernet hasta que llegan a su destino,

donde se eliminan las cabeceras, se concatenan las tramas y se recupera la temporización, reconstruyendo el flujo de bits original.

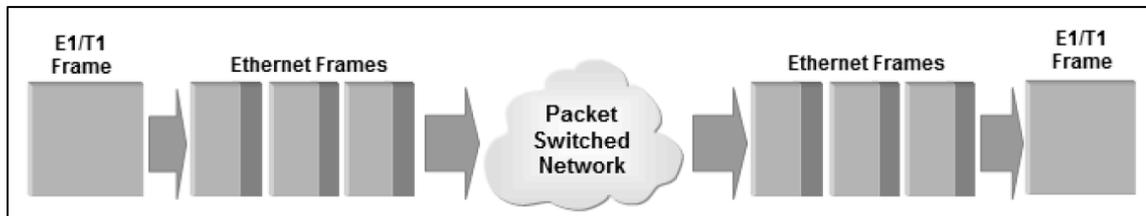


Figura 22 - Proceso de flujo de tráfico TDM, que se produce en un CES.

7.1.2 E-LAN (Ethernet Virtual Private LAN)

El servicio E-LAN es un servicio de datos que proporciona una conexión Ethernet, también llamada Ethernet Virtual Connection (EVC), multipunto a multipunto entre dos interfaces UNI. ELAN o EVC multipunto a multipunto

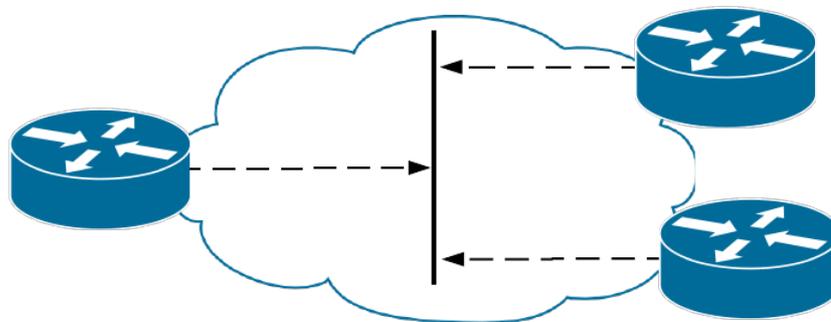


Figura 23 - ELAN o EVC multipunto a multipunto

Un servicio E-LAN puede ser de dos tipos: Ethernet Private LAN (EP-LAN) o Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN o VPLS), según si el interfaz UNI es dedicado o se multiplexan varios servicios a través del mismo. Soporta redes LAN transparentes y VPNs multipunto de capa 2.

Además, son una forma de proporcionar comunicaciones Ethernet multipunto a multipunto a través de la red IP/MPLS, permitiendo que

emplazamientos dispersos geográficamente compartan un dominio de broadcast Ethernet conectándolos mediante PWE3. Este es uno de los principios de una red LAN, debe disponerse de una malla totalmente interconectada, lo que se consigue mediante protocolos como BGP (Border Gateway Protocol) o LDP (Label Distribution Protocol).

7.1.3 E-TREE

La topología del EVC en árbol permite la conexión multipunto entre raíces y entre raíz y hoja, pero no entre hojas.

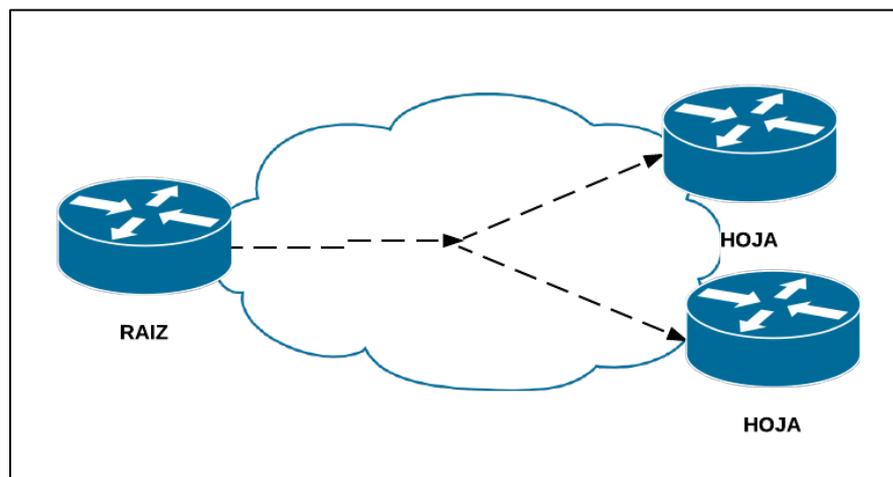


Figura 24 - Servicio E-TREE

Además, estos servicios se definen en una capa superior a la red de transporte, lo que los hace independientes de la red de transporte a través de la que se establecen (SDH, MPLS, etc.).

7.1.4 VENTAJAS CARRIER ETHERNET

La mayoría de operadores han decidido que utilizar Ethernet, o Carrier Ethernet, como tecnología portadora de los datos es la mejor opción para modernizar la red de transmisión existente, facilitando una infraestructura de red convergente que ofrece nuevos servicios de una forma efectiva y



rentable para el operador. Esta infraestructura brinda el ancho de banda y los requerimientos de red para todos los servicios, tanto de carácter particular como empresarial, tanto voz como datos.

En resumen, las ventajas que introducen Ethernet y la transmisión mediante paquetes en la red de transporte son numerosas:

- Soporta todos los servicios, incluyendo los “legacy” (preexistentes). Esto significa que los servicios soportados por la red TDM pueden funcionar también en la red Ethernet (mediante emulación de circuitos CES o Pseudowires PSW3).
- Ahorro en costes de operación (OPEX) ya que existe una única infraestructura que mantener y operar.
- Red de transporte preparada para 4G, pues al final de la migración podrá ser fácilmente llevada a IP.
- Ofrece alta flexibilidad para transportar todo tipo de servicios, con varias velocidades y tamaño de paquetes posibles.
- El hecho de permitir la prestación de nuevos servicios a mayor ancho de banda permite a las operadoras recibir más ingresos por parte de los usuarios que hacen uso de ellos.
- Eficiente en costes y gestión del ancho de banda. Flexibilidad de topología.

7.2 ESTRATEGIAS DE EVOLUCIÓN

Una vez conocida la motivación que lleva a las operadoras de comunicaciones móviles a realizar la migración de sus redes de transmisión de acceso hacia infraestructuras basadas en paquetes, así como las técnicas de transporte de datos que se van a utilizar y la justificación de por qué elegimos unas frente a otras (básicamente compartir recursos en lugar de dedicar), se debe planear una estrategia para llevar a cabo la evolución. Debe tenerse en cuenta que ahora la red de transporte va a soportar

múltiples servicios de distinta naturaleza (2G y 3G), garantizando la integridad de todas ellas de forma que los usuarios no noten diferencia en el servicio en función de la tecnología que les da soporte.

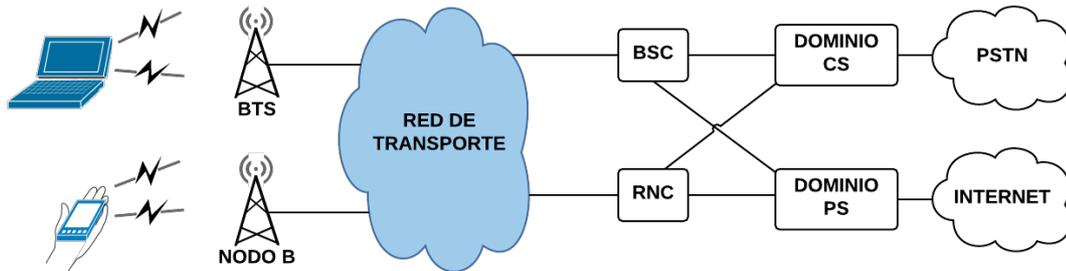


Figura 25 - Red de transporte respecto al resto de una red móvil.

En resumen, los retos que se presentan a las operadoras que desean mejorar su red son los siguientes:

- Adaptarse al explosivo crecimiento del tráfico de datos.
- Aprovechar las economías de escala logradas con las tecnologías de paquetes basadas en Ethernet.
- Superar la incertidumbre en las etapas de planificación (la red all-IP no se implanta de forma inmediata, las tecnologías TDM y ATM aún predominarán durante unos años).
- Lograr una escalabilidad mucho más efectiva en costes.
- Optimizar el uso del ancho de banda y las inversiones realizadas.
- Lograr una mayor flexibilidad para crear servicios diferenciados más rápidamente y a menor coste.
- No perder la fiabilidad y sencillez disponible en TDM.

Para superar estos retos es fundamental definir una estrategia de migración o de evolución. Las redes TDM existentes supusieron grandes inversiones por parte de los operadores que las desplegaron, por lo tanto, ahora es de esperar que la transición a una nueva red IP no se considere una tarea simple que pueda realizarse instantáneamente. Por otra parte, durante la migración de la red de transmisión la experiencia de usuario no

debe empeorar, o al menos, debe tratarse de reducir al máximo el impacto en el servicio.

Por este motivo, se presenta como algo natural realizar una migración gradual o evolución desde las redes TDM de conmutación de circuitos, a tecnologías más modernas, como son las de conmutación de paquetes con tecnología de transmisión Ethernet.

Además, es importante que los nuevos equipos que se instalen en la red puedan ser capaces de interoperar con los viejos. El hecho de realizar una transición gradual implica que, hasta que la red sea completamente migrada, en ella van a tener que coexistir las tecnologías y equipos preexistentes junto a los nuevos equipos Ethernet, es decir, se tendrá un escenario híbrido TDM/paquetes que permita mantener la infraestructura existente y sus ingresos derivados hasta el despliegue completo de Ethernet. De esta forma se garantiza la rentabilidad de la inversión en los equipos: un elemento PDH está en servicio hasta el instante en el que se realiza el intercambio (swap) por el equipo Ethernet, que pasa a funcionar inmediatamente, apagándose el primero.

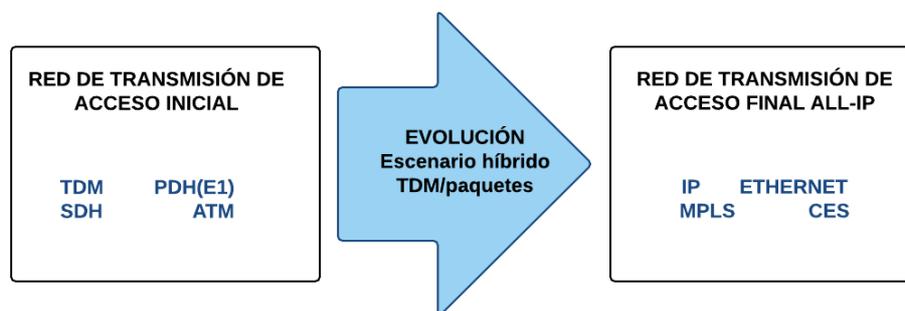


Figura 26 – Tecnologías y conceptos relacionados con la transición a red All-IP

La migración por tanto, debe ser gradual, pero, ¿cómo realizarla y por dónde empezar?. Existen múltiples caminos y a continuación se desarrollarán 4 posibles para finalmente poder entrar en el capítulo



siguiente en el análisis del caso elegido para este trabajo final y cuál es la estrategia elegida.

Las siguientes cuatro estrategias desarrolladas hacen referencia a las diferentes tecnologías utilizadas para transportar los diferentes tipos de tráfico:

- Red Paralela
- Ethernet sobre TDM
- TDM sobre Ethernet
- Red Híbrida TDM/Ethernet/IP/MPLS

En estos apartados, de igual forma que en el resto del proyecto, se va a asumir que la red de transmisión de acceso se subdivide en dos:

- La Red Troncal de Acceso, con enlaces de mayor capacidad y donde se implementa SDH/ATM/MPLS.
- El resto de la red desde la parte troncal hasta los Nodos B/BTS, donde no existe MPLS, sino que está formada por enlaces Ethernet/PDH/SDH.

7.2.1 RED PARALELA

En la estrategia “paralelo”, también llamada “overlay”, los nuevos equipos se instalarían en paralelo a los existentes, creando por lo tanto una segunda red basada en paquetes en paralelo a la TDM.

Lógicamente, no sería viable desplegar una segunda red completa y mantenerla apagada en espera del cambio, pues la red tiene grandes dimensiones y se necesita una alta inversión y mucho tiempo para desplegarla, y no sería rentable ya que durante ese tiempo los equipos no estén en uso y no estaríamos aprovechando sus propiedades e incluso podrían quedarse desfasados.



Por lo tanto tendríamos dos redes independientes funcionando en paralelo: una basada en conmutación de circuitos que se encargaría de transportar el tráfico TDM de las estaciones 2G y tráfico sensible al retardo de los nodos B de sistemas 3G, y una red basada en conmutación de paquetes que transportaría los datos y tráfico no sensible al retardo de los nodos B (configuración Dual-Stack de un nodo B). De esta manera, cada tráfico se transmite de forma nativa.

Esta opción puede ser útil cuando el peso de los servicios TDM es mayor o equivalente al de los servicios Ethernet, o cuando el tráfico es muy crítico y no se pueden asumir cortes de tráfico durante la migración.

Las ventajas que ofrece esta estrategia son:

- Permite realizar pruebas sobre el sistema completo antes de entrar en funcionamiento.
- En caso de aplicarse a módulos o cadenas permite aplicar la configuración FULL-IP a los nodos B implicados desde el principio. Por lo tanto los recursos se aprovechan más tiempo que si existen elementos aislados Ethernet en entornos aún TDM.
- En cuanto a la definición de los enlaces lógicos, con esta opción sólo se realiza un cambio de topología (de PDH o ATM a Ethernet), por lo tanto nos ahorramos tener que migrar el tráfico hasta que la red basada en IP se ha desplegado completamente.
- Tecnicamente no tiene complejidad, el tráfico se transporta de forma nativa por ambas redes.

Sus desventajas son numerosas:

- Requiere una alta inversión inicial (despliegue de una nueva red).
- Supone un costo adicional el hecho de mantener dos redes en lugar de una: se duplican costes de operación.
- Dos redes independientes con modelos de explotación diferentes: el personal de operación de red requiere formación en dos



sistemas distintos y la provisión de un servicio requiere configurar muchos elementos y varios sistemas de red.

- Durante el tiempo que tarda en prepararse el módulo a sustituir hay equipos que no se están aprovechando. Si el proceso lo aplicáramos a la red completa, el nuevo despliegue tardaría meses o años en realizarse, y es inviable tener los equipos en espera tanto tiempo.
- Es más complejo de llevar a cabo, pues el proceso de migración no es instantáneo y en la mayoría de ocasiones se requiere coordinación de varios departamentos de la operadora, con la planificación y sincronización que eso conlleva entre todos. Además, dada la extensión de la red se necesitarían muchos recursos humanos para llevar a cabo el trabajo.

7.2.2 ETHERNET SOBRE TDM

Esta forma de introducir Ethernet en la red consiste en simular o mapear Ethernet sobre los equipos y enlaces existentes TDM (PDH y SDH).

Los principales retos son realizar el transporte de tráfico de datos a un coste ajustado sin saturar la capacidad de la red TDM existente (PDH y SDH no están diseñados para soportar servicios Ethernet de alta capacidad).

Esta opción puede ser conveniente cuando el tráfico de datos está empezando a utilizarse en la red y aún no supone un volumen significativo del tráfico total, cuando la red TDM está sobredimensionada y cuenta con capacidad sobrante suficiente para introducir tráfico de datos, o cuando la desaparición del tráfico TDM se prevé a largo plazo.

La ventaja de esta solución es que permite desplegar servicios Ethernet o MPLS con una simple actualización de hardware, evitando el coste e



instalación de equipos completos. Sin embargo, esta opción presenta importantes desventajas.

7.2.3 TDM SOBRE ETHERNET

En esta solución se opta por sustituir la planta de red TDM totalmente, instalando equipos IP nativos. Para seguir haciendo uso de los servicios TDM como el tráfico de las BTS o el ATM/E1 de los nodos se deben utilizar tecnologías de emulación de circuitos tipo CES o PWE3 ATM.

Los principales retos a los que se debe hacer frente a la hora de llevar a cabo esta aproximación son los siguientes:

- Debe realizarse un transporte “transparente” del tráfico TDM (cuidando el QoS, retardos, jitter).
- Debe recuperarse el sincronismo correctamente tras la fragmentación del flujo TDM en paquetes y su reensamblado en destino.
- Debe conseguirse una gestión (provisión y monitorización) simple y potente, para asegurar recursos disponibles en la red y QoS, incluso ante situaciones de fallo.

Esta configuración requiere:

- Plataformas con tecnologías pseudowire.
- Mecanismos para conseguir el sincronismo como cabeceras RTP (Real-Time Protocol) o elementos extremos con acceso a la misma fuente de sincronismo para calcular el timestamp.

Esta solución es apropiada cuando el tráfico TDM todavía constituye una parte significativa de la red y se requiere transmitir servicios de baja capacidad tipo E1 de las BTS 2G en TDM, pero no justificándose operativa o económicamente el mantenimiento de la red TDM. Es la opción óptima en los escenarios en los que previsiblemente va a desaparecer el tráfico TDM



residual a corto o medio plazo, que será reemplazado por servicios de datos, como voz sobre IP (VoIP).

En la práctica se utilizan estos métodos de emulación cuando el enlace Ethernet es de alta capacidad (un CES de un E1 ocupa más que el E1 de forma nativa) o no existe otra alternativa para la ruta TDM.

7.2.4 RED HÍBRIDA TDM/ETHERNET/IP/MPLS

En una red de transporte híbrida coexisten las tecnologías TDM o ATM con las nuevas tecnologías IP, Ethernet y MPLS, de manera que en ocasiones pueden transportarse de forma nativa y en otras deben hacer uso de pseudowires.

Es una combinación de las opciones anteriores, donde a cada escenario o sección particular se aplica la solución más adecuada según sus necesidades, y por este motivo es la alternativa de migración que suele seguirse.

La filosofía que se viene aplicando a las redes de transporte en los últimos años es la de conmutación de paquetes, tanto para migrar la red existente como para nuevo despliegue. Sin embargo, como se ha mencionado, este proceso no es instantáneo y tampoco es viable mantener dos redes completas e independientes, por lo que en la fase intermedia van a coexistir servicios y equipos TDM y Ethernet. Por otra parte, si toda la red se basara en emular Ethernet sobre TDM se estarían perdiendo las oportunidades y ventajas que ofrecen los servicios IP o Ethernet nativos, siendo éstos más rentables, e incluso pudiendo no cubrirse las demandas de ancho de banda a medio/largo plazo. Así mismo, dada la carga de tráfico TDM procedente de estaciones base 2G, lo óptimo es mantener la red troncal SDH hasta la convergencia de tráfico en una red que sea todo IP.

De esta forma, en la misma red se pueden encontrar:



- Cadenas de radioenlaces que permiten PDH o Ethernet.
- Cadenas formadas por radioenlaces PDH y Ethernet.
- Red troncal de acceso SDH en anillo de fibra óptica o radioenlaces STM-1.
- Red troncal de acceso MPLS con LSPs sobre TDM, Ethernet, SDH.
- Estaciones base 2G con A-bis TDM nativo (ruta PDH/SDH hasta BSC) o con Abis atravesando equipos Ethernet y/o MPLS mediante CES.
- Nodos B con lub ATM/IMA E1.
- Nodos B con lub Dual Stack (ATM+IP).
- Nodos B FULL-IP.
- Recursos duplicados como medidas de protección en lugares puntuales.
- Redes Privadas Virtuales TDM o Ethernet.

Los operadores que daban servicio GSM, GPRS y UMTS adoptaron redes de agregación ATM o SDH. Sin embargo, poco tiempo después los servicios IP se extendieron a la tecnología móvil de la mano de HSPA (3G) y 4G, por lo que el primer paso de la migración consistió en sustituir los equipos ATM o SDH de mayor capacidad por equipos MPLS o no sustituirlos, pero si ir instalándolos en paralelo. En ese momento los enlaces Ethernet eran escasos o inexistentes, por lo que el tráfico ATM de los nodos B se migró a la red MPLS mediante PWE3 emulando circuitos punto a punto a través de la misma. Los enlaces lógicos de las BTS 2G no resultaron afectados por este cambio, pues circulaban por la red TDM (PDH y SDH hasta la BSC).

A partir de ese momento se fue desplegando la planta de radioenlaces Ethernet, comenzando por los tramos donde se requería mayor capacidad que la existente: entre equipos MPLS con gran concentración de tráfico para permitir más adelante el paso a FULL-IP de los nodos B, radioenlaces PDH con todos sus flujos ocupados que impedían aumentar la capacidad de



lub de nodos B que la necesitaban, núcleos de población, etc. En algunos casos dichos radioenlaces Ethernet sustituyen a radioenlaces PDH, migrándose el tráfico de uno a otro (ejemplo de escenario donde se puede producir el transporte de TDM sobre Ethernet). En otros casos se trata de radioenlaces de nuevo despliegue cuya finalidad es poner en servicio un nuevo nodo B o cambiar la topología de la red en alguna zona. Eventualmente, un nodo B podrá configurarse como FULL-IP en el momento en que disponga de una ruta completa Ethernet hasta el equipo MPLS más cercano.

En esta opción la planta de radioenlaces PDH tiende a desaparecer, sustituida por radioenlaces Ethernet (capaces de soportar circuitos E1 nativos o emulados). En cuanto a la red SDH, deberá adaptarse para ser capaz de transportar paquetes, utilizándose como capa física de MPLS o incluso eliminándose, dando paso a una capa óptica DWDM.

Es importante mencionar que esta estrategia elegida se presenta como óptima para realizar una evolución gradual que permita asumir una razonable carga de trabajo por parte de los ingenieros y técnicos encargados de su diseño y realización física, así como repartir los gastos y la inversión económica que debe asumir la operadora en un cierto lapso de tiempo. Además, siempre que sea posible se tratará de utilizar y reutilizar el equipamiento existente hasta la completa implantación de los sistemas Ethernet, IP y MPLS. Precisamente, dados los volúmenes de trabajo y gasto económico ya realizados y por realizar, se considera más una evolución que una migración de la red.

7.3 ETHERNET SOBRE SDH

Debido a que transportar Ethernet sobre TDM es la forma más rápida de preparar las redes para rápidamente ofrecer tráfico Ethernet o IP, en esta sección se profundizará sobre los protocolos involucrados para que eso pueda ser realizado.



El termino EoSDH (Ethernet over SDH) se refiere a un conjunto de protocolos que permiten la adaptación de tramas Ethernet en contenedores virtuales SDH, los cuales son:

- **GFP (Generic Framing Procedure)**
- **VCat (Virtual Concatenation)**
- **LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme)**

7.3.1 GENERIC FRAMING PROCEDURE

GFP es un protocolo desarrollado para adaptar trafico de diferentes tecnologías a un canal de bits síncrono como SDH, OTN o PDH. Su estandarización fue un esfuerzo conjunto del American National Standards Institute (ANSI) con la ITU-T. Fué creado para mejorar la interoperabilidad entre equipamientos y mejorar la performance del mapeo con un mecanismo de adaptación de baja complejidad. El objetivo era estandarizar el proceso de mapeo de paquetes de datos a tecnologías síncronas.

La carga útil o payload del GFP puede ser mapeada de dos modos diferentes según el tipo de servicio al que se orienta: GFP-Framed (GFP-F) o GFP-Transparent (GFP-T). En el primero el servicio es mapeado trama por trama a la trama GFP lo que resulta en tramas con longitud variable y en el segundo, el mapeo se hace byte por byte por lo que no tiene necesidad de esperar la llegada de una trama completa, reduciendo el retraso y proporcionando una trama de longitud constante.

GFP-F permite la adaptación de FastEthernet, Gigabit Ethernet, IP, MPLS, PPP, y otros protocolos de capa 2 del modelo OSI. GFP-T está más optimizado para utilizar protocolos de capa 1 por lo que es utilizado para Ethernet PHY, IBM Enterprise Systems Connection (ESCON), Fiber Connectivity (FICON), o Fiber Channel.

La trama GFP está dividida en dos partes: el Core Header (encabezado núcleo) y el área de carga útil. El Core Header contiene 2 octetos para el indicador de la longitud de la carga útil (PLI, Payload Length Indicator) y 2 octetos para el cHEC (Core Header Error Control) que es un código CRC-16 usado para proteger el encabezado. El área de carga útil está dividido en tres partes: Payload Area Header (encabezado de la carga útil), Client Payload Information (información de la carga útil) y un código CRC de 32 bits opcional. Y así mismo el Payload Area Header se divide en dos porciones: Payload Type (tipo de carga útil) y Extension Headers. A su vez el Payload Type contiene 5 campos que pueden verse en la siguiente figura que muestra una trama GFP y el encapsulamiento de una trama Ethernet en ella.

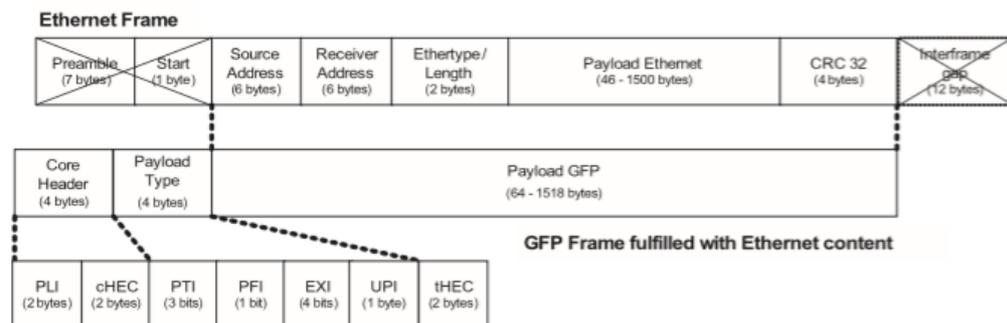


Fig. 2. Encapsulating Ethernet frames using GFP-F.

Figura 27 - Encapsulando una trama Ethernet en GFP.

7.3.2 VIRTUAL CONCATENATION

VCat fue estandarizado por la ANSI en la recomendación T1.105 y por la ITU-T en las recomendaciones G.707 y G.783. Describe un sistema en que varios canales SDH pueden ser multiplexados arbitrariamente para formar un VC de mayor orden. Por lo tanto, un tributario puede ser mapeado en la combinación de VCs que mejor cumpla con sus necesidades de capacidad. Esta combinación se llama Virtual Concatenation Group. (VCG, Grupo de Concatenación Virtual).



El protocolo surgió para superar el desperdicio de capacidad en la concatenación contigua que permitía crear canales customizados pero requería que todos los VCs componentes sean tratados como una sola entidad, siguiendo el mismo camino por la red y permite solo algunas concatenaciones estandarizadas. Por ejemplo para concatenar canales VC4 solo se pueden hacer de a 1, 4, 16, 64 o 256 lo cual me lleva al problema que si se quiere mapear una Gigabit Ethernet la misma no podría ser transportada concatenando 4 VC4s porque tendríamos solo 622 Mb/s, y el siguiente grado sería concatenar 16 VC4s lo que llevaría la capacidad a 2448 Mb/s, con lo que tendríamos una eficiencia solo del 42%, el resto sería desperdiciado. En cambio con la concatenación virtual (VCat) puedo agrupar 7 VC4s y así lograr una eficiencia del 95% del uso de los canales.

En la concatenación virtual los datos son repartidos entre los múltiples canales del VCG. Paquetes de control que contienen la información necesaria para el re-ensamblado son insertados en algunos bytes no utilizados de la cabecera SDH. Estos paquetes contienen información de la secuencia de los canales y el número de trama. El receptor será el encargado de re-ensamblar el flujo de datos original compensando a través de un buffer el retardo diferencial que puede ocurrir por VCs que toman diferentes caminos dentro de la red.

7.3.3 LCAS

Originalmente el tráfico SDH mantiene una velocidad nominal y una desviación aceptable cerca de este valor. Los VCs son considerados casi constantes en términos de velocidad de bits. Sin embargo, el tráfico Ethernet puede variar desde cero hasta la capacidad nominal del link. Por ejemplo, se ajusta bien al tipo de tráfico VBR (Variable Bit Rate) utilizado por las redes de computadoras. Una primera aproximación para transportar este tráfico VBR sobre SDH es elegir el VC más cercano que satisfaga el requerimiento de capacidad, incluso cuando el cliente no va a usar la misma



durante todo el tiempo. Obviamente esta solución lleva a subutilización de los VCs de SDH. Otra solución es multiplexar varios flujos Ethernet hasta llenar la carga útil del VC disponible, pero también pueden existir periodos donde no haya tráfico. Por lo que se vuelve evidente la necesidad de algún mecanismo interno del SDH que permita ajustar dinámicamente la velocidad de datos.

En 2004, la Recomendación G.7042/Y.1305 de la ITU-T especificó un protocolo para crecer o decrecer dinámicamente dicha velocidad en múltiplos de VCs virtualmente concatenados. Este método es llamado Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS o en español Esquema de Ajuste de la Capacidad del Enlace) y permite ajustar dinámicamente la velocidad de datos según la necesidad del origen o destino sin interrumpir el servicio. Provee mecanismos de control y gestión para crecer o decrecer la capacidad de los VCGs. Si falla un link físico o un miembro del grupo sufre una avería, LCAS automáticamente decrece el número de VCs sin afectar tráfico, solo disminuyendo la capacidad.

Cuando LCAS está habilitado, controles de ajuste de capacidad del link son enviados utilizando parte del encabezado POH de los VCs. Estos controles son utilizados para realinear la carga de los miembros del VCG, indicar el número de secuencia de cada miembro, negociar el número de miembros del VCG entre el receptor y el emisor, enviar comandos cuando hay cambios, informar fallas de algún miembro o para determinar el estado del mismo.



8 ANÁLISIS Y ESTUDIO DE CASO

Ahora estamos en condiciones de describir el caso que se va analizar y estudiar. Primero se va a describir como estaba diseñada la red de transporte para dar servicio a las BTS en los sistemas de comunicaciones móviles de 2G, donde las BSC se encuentran ubicadas estratégicamente en distintos puntos del país, y para transportar la interfaz Abis se utiliza una red SDH transportada por fibra óptica o por radioenlaces, y en el último salto se puede utilizar un radioenlace PDH. Luego de describir la red con la que se cuenta, se describirá el diseño que se realiza para que la misma pueda transportar tráfico Ethernet, que cambios deben realizarse, en donde se realizarán para luego, como paso final, analizar todas las configuraciones realizadas para lograrlo.

8.1 SOLUCIONES UTILIZADAS PARA LA RED RED DE TRANSPORTE DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

8.1.1 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA 2G

Como se estudió anteriormente en la sección 6.1, para transportar la interfaz A-bis se definió una interfaz de 2,048 Mbps lo cual dio lugar a la instalación de redes SDH y PDH para hacerlo, debido a que las BSC se encuentran sólo en algunos puntos estratégicos, y las BTS se encuentran distribuidas en toda una región.

En la Figura 28 se observa el diagrama más genérico de la solución que se utiliza para la conexión entre la BSC y la BTS, donde los paréntesis indican los equipos que se encuentran en el mismo edificio. Cómo se puede observar, donde se encuentra la BTS se encuentran multiplexores terminales de gran capacidad que son los que van a montar sobre la red SDH todas las interfaces A-bis hacia las diferentes BTS de la región, las

cuales pertenecen a dicha BSC. Lo que se observa en el gráfico como una nube SDH en realidad está compuesta de diversos multiplexores de todo tipo y cuya topología como se explicó anteriormente es mixta, de anillo en algunos sectores, y de tipo árbol en otros. Luego para salir de la red SDH se dispone de un multiplexor terminal de baja capacidad, ya que solo va a subir (add) y bajar (drop) el tráfico de la BTS que está instalada en el mismo edificio o sitio, y algunas más que llegarán a través de radioenlaces PDH como se observa en el diagrama. Vale destacar que siempre los radioenlaces tienen topología en árbol hasta el multiplexor donde ingresan a la red SDH.

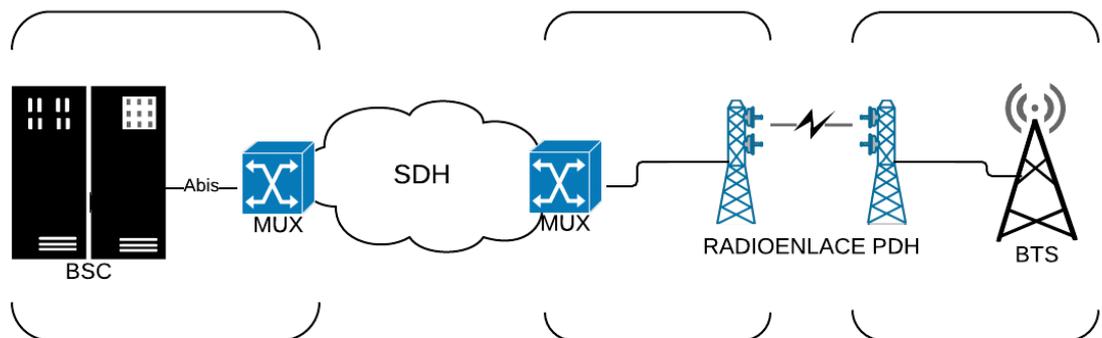


Figura 28 - Diagrama de conexión entre BSC y BTS

8.1.2 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA 3G CON INTERFACES IUB ATM/TDM

Como se comentó en la sección 5.4.3.4.1, los nodos B de un sistema 3G poseen puertos E1 por los cuales se distribuye el flujo ATM que utiliza la interfaz y se reensamblan antes de ingresar a la RNC para recrear el flujo original. Por lo que la solución es similar a la utilizada para la interfaz A-bis solo que se agrega, en este caso, la solución propuesta por Nokia donde se utiliza un router Tellabs para ensamblar y reensamblar el flujo de ATM, por lo que este equipo posee por un lado interfaces ATM y por otro interfaces SDH.

También en este caso para transportar las tramas E1 utilizamos una red SDH y radioenlaces PDH cuando es necesario.

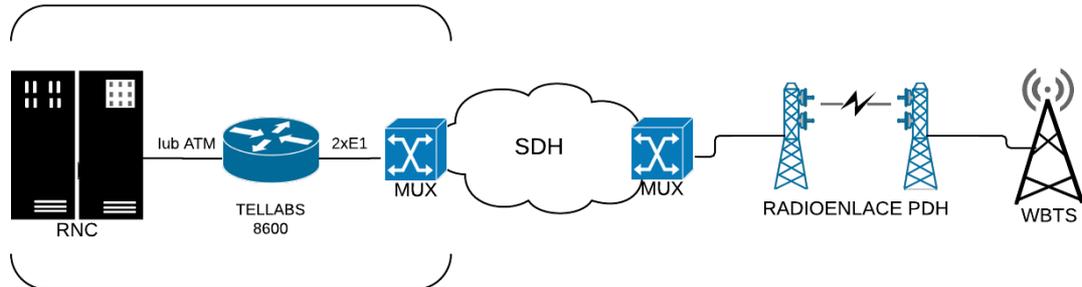


Figura 29 – Diagrama de conexión para un sistema 3G con interfaz Iub.

8.1.3 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA 3G CON INTERFACES IUB DUAL STACK

Para brindar transporte a un nodo con configuración Dual Stack o Dual Iub se puede seguir brindando una interfaz Iub ATM/TDM con tramas E1, utilizando la misma red conocida en las configuraciones anteriores, por donde se enviará el tráfico sensible al retardo y pérdidas pero también en simultáneo se utilizará otra interfaz IP por la cual se tendrá mayor velocidad para manejar el tráfico de paquetes.

En este punto es donde surge el problema, pero también la oportunidad, de implementar un camino Ethernet sobre el cual manejar el tráfico IP desde la RNC hasta el Nodo B. Problema debido a que en este punto ya hay toda una red TDM instalada y funcionando, pero también oportunidad debido a que permite dar el primer paso para tener una red IP.

Debido a que la demanda de tráfico de datos a causa de servicios multimedia utilizados en los dispositivos móviles crece más rápido que el tiempo requerido para poder instalar y configurar toda una red utilizando equipos puramente IP, fue necesario utilizar una estrategia que permita utilizar la red SDH para llevar el tráfico Ethernet a los lugares donde todavía

no se llega con equipos IP, por lo que mientras la red de routers llamada IPRAN (IP Radio Access Network) se va expandiendo, en paralelo se utiliza Ethernet sobre SDH que es de implementación fácil sobre una red ya en funcionamiento, lo que permite acelerar los tiempos para implementar la segunda interfaz IP.

La solución entonces quedará como se observa en la Figura 30.

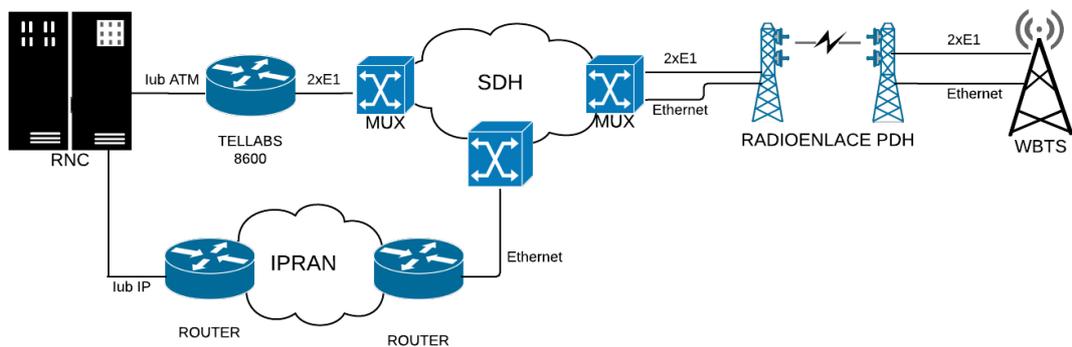


Figura 30 - Diagrama de conexión para un sistema 3G Dual Iub

8.1.4 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA 3G CON INTERFACES IUB FULL-IP

En esta configuración ya no se tienen dos interfaces Iub sino solo una, que es IP. Por lo que para brindarle transporte se utiliza la misma solución que para la interfaz IP de un nodo Dual Iub. Entonces la solución quedaría según el diagrama siguiente:

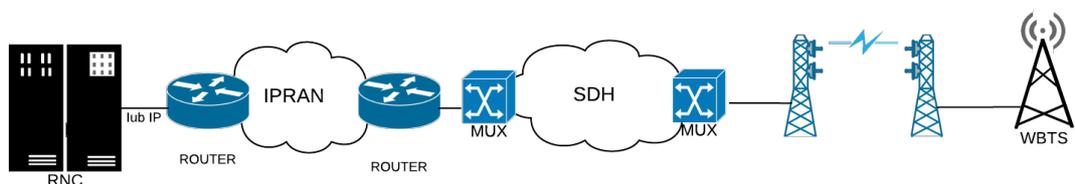


Figura 31 - Diagrama de conexión para un sistema 3G FULL-IP



8.2 EQUIPOS DE TRANSPORTE

La empresa en sus comienzos para comenzar a ofrecer el servicio móvil 2G y proveer el transporte para la comunicación entre las BSC y las BTS instaló una red SDH compuesta por equipos de múltiples proveedores como Alcatel-Lucent, Huawei, Nortel y Marconi (en el 2005 fue adquirida por Ericsson por lo que hoy lleva ese nombre), muchos de ellos interconectados por fibra óptica y en las zonas donde no estaba esa posibilidad se instalaron radioenlaces con capacidad de transportar SDH de proveedores como Nera, Harris y Siemens.

En el caso de la zona que se estudia en este trabajo se utilizan multiplexores de la serie Marconi OMS 1200 Y 1600 de la empresa Ericsson.

8.2.1 MULTIPLEXORES OMS 1200

La familia OMS 1200 es un grupo de multiplexores SDH Add/Drop (inserción y extracción) optimizados para utilizar en anillos o como equipos terminales.

Está compuesta por dos miembros:

- **OMS 1240:** Sub-rack Compacto (en este trabajo usaremos solo éste modelo de la familia).
- **OMS 1260:** Sub-rack de tamaño completo.

En ambos casos pueden ser equipado con placas Core/CCU de STM-1 o STM-4 y capacidades de switch de 5Gbits o 10Gbits. Estos equipos pueden ser gestionados por el sistema ServiceOn Optical Element Manager de Ericsson o localmente. Algunas de las características de esta serie son:

- Posibilidad de instalar hasta dos placas Core, donde cada una provee una completa matriz de crossconexión soportando todos



los tamaños de contenedores establecidos por la ETSI y con posibilidad de operar como un par protegido. Existen dos tipos de placas Core ofreciendo dos puertos STM-1/4 o un solo puerto STM-4/16 con acceso frontal a través de módulos SFP.

- Disponen de slots dedicados en el backplane para placas tributario PDH de 2Mb/s y con posibilidad de habilitar un esquema de protección.
- Una placa Comms/Auxiliar que provee sincronismo de red, gestión de red y esquema de conexión de alarmas.
- Posibilidad de instalar una placa tributaria SDH Multi-rate que provee 4 puertos STM-1 o uno STM-4.
- Una variedad de placas de datos que proveen conectividad 10/100 y Gigabit Ethernet.

Los equipos de la familia pueden ser adaptados según requerimientos del consumidor para usos específicos, pero sus usos más típicos son instalarlos en centros de telecomunicaciones como parte de un anillo, en instalaciones de un cliente utilizándose como equipos terminales o en instalaciones donde hay una radiobase de redes móviles.

8.2.1.1 OMS 1240 CON PLACA CORE STM-1/4

La configuración del OMS 1240 con una placa Core STM-1/4 fue diseñada para aplicaciones donde se requiere un alto volumen de transporte de 2 Mbit/s a través de aplicaciones STM-1 o STM-4 que requieren flexibilidad y opciones de protección en una unidad en formato subrack.

La unidad provee funcionalidad STM-1/4 al cliente en conjunto con aplicaciones para anillos SDH o aplicaciones terminales a través de 4 interfaces de línea.

Posee las siguientes prestaciones:



- Compatible con la nueva generación de multiplexores SDH de Ericsson.
- Soporte protección SNCP y 1+1 MSP, además de protecciones de placa Core y Tributaria.
- Soporte para I.421 para ISDN.
- Puertos tributarios de tráfico: 2 Mbit/s, 34 Mbit/s, 45 Mbit/s, 140 Mbit/s, STM1 eléctrica, STM1 y STM4 ópticas, Ethernet 10 baseT, 100 baseT y Gigabit Ethernet.
- Configuración, gestión de alarmas y performance.
- Diseño compacto.
- Redundancia de placas de alimentación en corriente continua, las cuales también incluyen la interfaz de conexión local.

8.2.1.2 OMS 1200 CON PLACA CORE STM-4/16

La placa Core STM-4/16 puede reemplazar la core STM-1/4 en ambos subracks (1240 y 1260) y las características del equipo son idénticas exceptuando lo siguiente:

- La placa Core STM-4-16 tiene un solo puerto bidireccional de línea por cada una, soportando un máximo de dos. No se puede hacer protección 1+1 MSP entre dichas interfaces.

8.2.1.3 SUBRACK PARA EL OMS 1240

El subrack del OMS 1240 está diseñado para instalarse:

- Como una sola unidad, alineado verticalmente en un rack de equipamiento de telecomunicaciones de 2200mm de altura, 600mm de ancho y 300mm de profundidad.
- Como dos módulos OMS 1240 verticalmente alineados, montados lado a lado a través del ancho del rack.

- Como una sola unidad, alineada horizontalmente, en un rack estándar de 19" usando el kit apropiado para el montaje horizontal.

En la siguiente figura puede observarse las opciones de montaje:

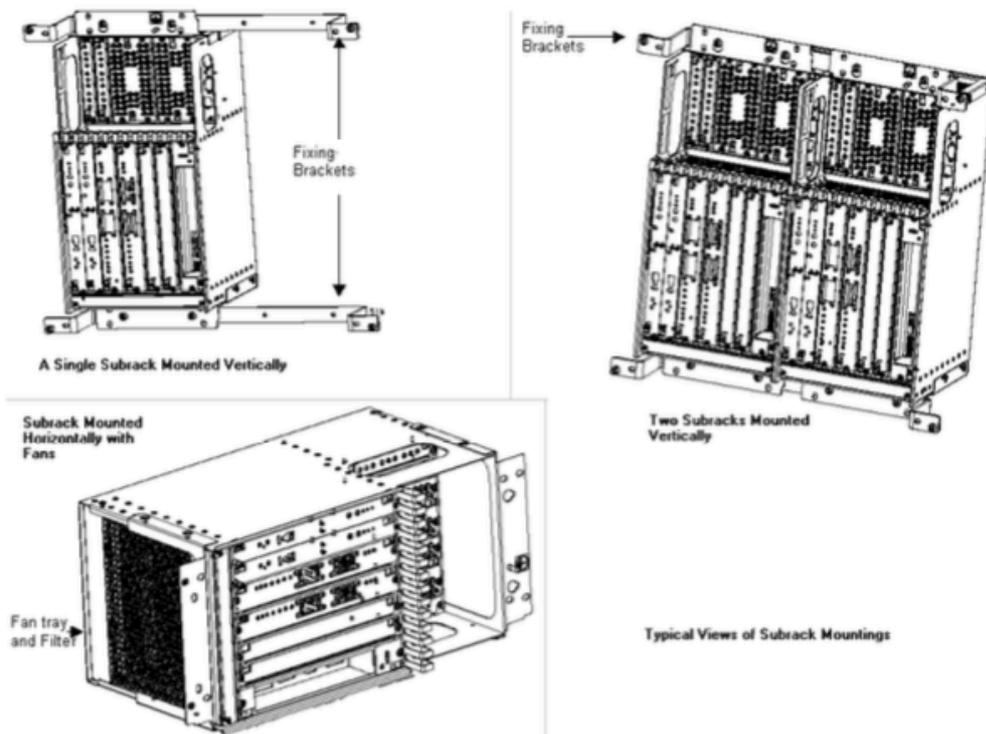


Figura 32 - Estructura de subrack de OMS 1240

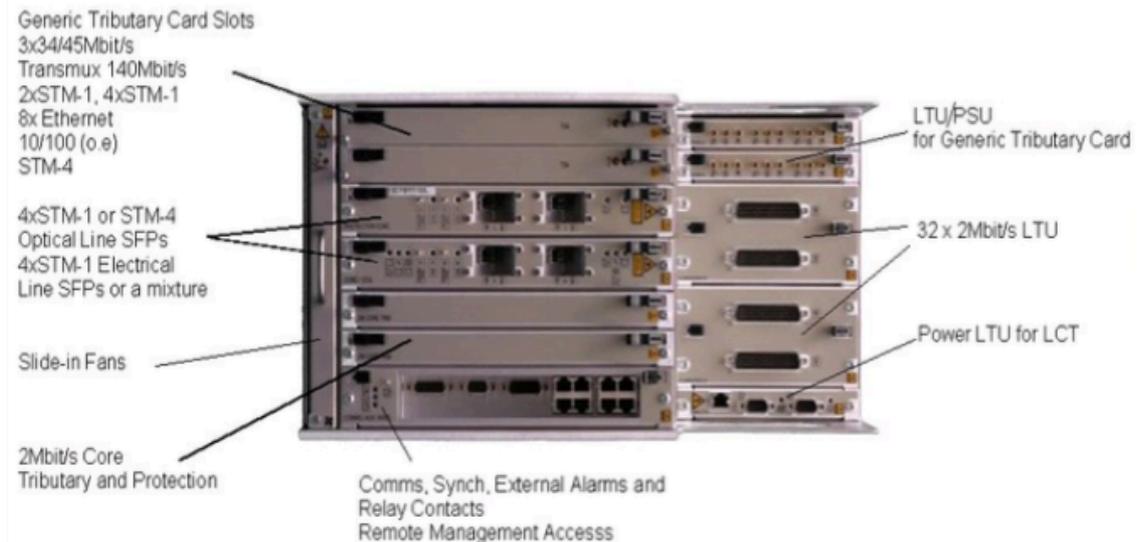


Figura 33 - Estructura del Subrack y placas

Como en este trabajo no se utiliza el equipo de la serie OMS 1260 no se detallarán sus funciones y características.

8.2.2 MULTIPLEXORES OMS 1600

La familia Optical MultiService 1600 está diseñado para proveer soluciones eficientes de transporte en redes con una porción creciente de tráfico de datos y proveer soluciones sencillas a operadores en redes troncales de alto crecimiento ya sea metropolitanas, regionales o nacionales. Diferentes opciones de configuración y dimensión de los subracks permiten extender el concepto original de los 1600 a las características de espacio y funcionales requeridas.

La familia OMS 1600 provee soluciones de alta densidad reduciendo el espacio y el consumo de energía mientras ofrece extrema flexibilidad. Todos los multiplexores pueden ser configurados como terminal, add/drop para ser utilizados en línea, anillo, estrella, redes malladas, cumpliendo los requerimientos de multiplexores de acuerdo a la ITU-T G.782.



Los equipos 1600 están basados en una estructura SDH muy flexible. Hay disponible para el equipo las tarjetas estándar (Tributario/Línea, LTU, Unidad controladora de comunicaciones (CCU)) que pueden ser instaladas en un chasis estándar, y tarjetas específicas para otras operaciones. Una combinación de tarjetas booster y booster/pre-amp pueden ser usadas con tarjetas amplificables para extender el alcance de la sección.

Provee servicios Ethernet utilizando varias tarjetas de mapeado Ethernet que soportan GFP, LCAS y VCAT que mapean tráfico Ethernet en VCs de SDH para proveer servicios de datos.

8.2.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Existen seis variantes posibles:

- Tres variantes del subrack OMS 1664 Standard (Metro-Core): OMS 1664-60G con una matriz 384x384, OMS 1664-20G con una matriz 128x128 y el OMS 1664-10G que usa una placa core STM-4/16 (la utilizada por la familia OMS 1200).
- Tres variantes del subrack OMS 1654 Compacto (Metro Edge): OMS 1654-60G con una matriz 384x384, OMS 1654-20G con una matriz 128x128 y el OMS 1654-10G con una placa core STM-4/16.

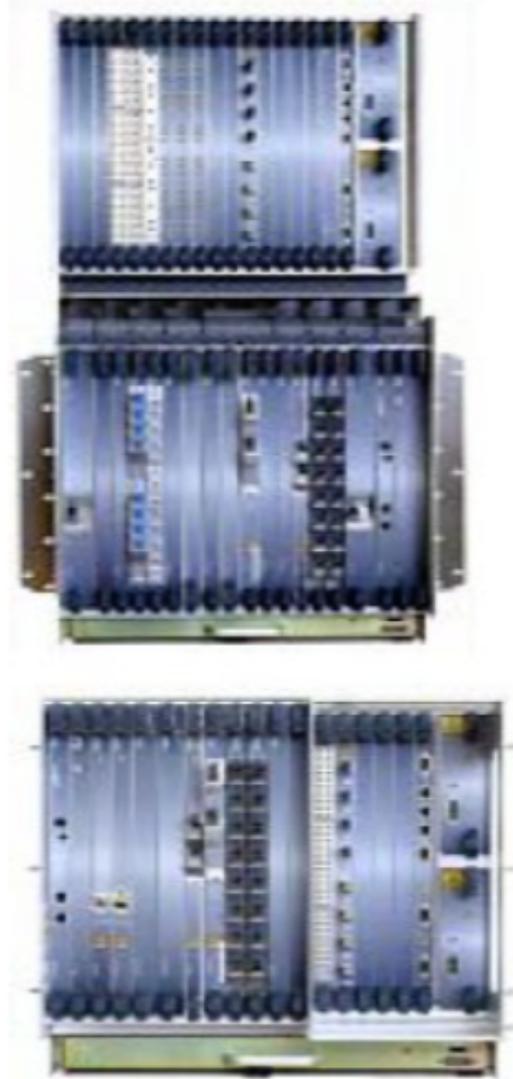


Figura 34 - Ejemplos del OMS 1660 Standard y Compact

Switch Size	Product Name	
	Standard Shelf	Compact Shelf
384 x 384	OMS 1664-60G	OMS 1654-60G
128 x 128	OMS 1664-20G	OMS 1654-20G
STM-4/16 core card	OMS 1664-10G	OMS 1654-10G

Figura 35 - Capacidades de la Matriz del OMS 1600

8.2.2.2 TARJETAS ETHERNET SWITCH

Los multiplexores de la familia 1664 y 1240 para agregar la funcionalidad de transportar servicios Ethernet requieren de la instalación de tarjetas que hagan el mapeo del tráfico SDH hacia Ethernet y viceversa, es decir, que relacionen un puerto Ethernet con un VC de SDH.

En la Figura 36 se puede observar el diagrama en bloques de una placa Ethernet Switch que muestra las principales funcionalidades de la tarjeta y la interconexión entre ellos.

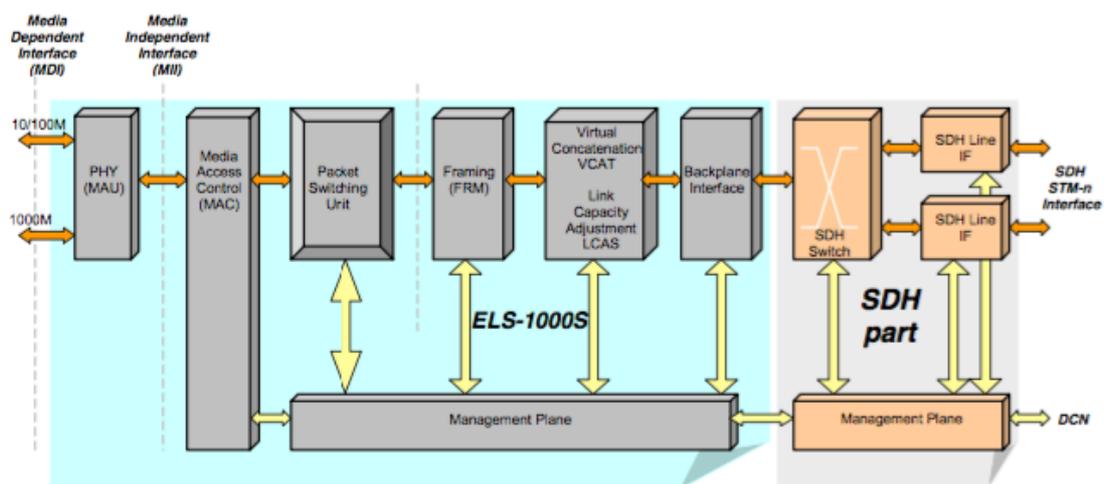


Figura 36 - Diagrama en bloques de una tarjeta Ethernet Switch

Si bien existen otras opciones, en este caso se trabajará con la tarjeta ETS-100 que posee las siguientes características:

- Agregación de links Ethernet sobre SDH.
- Dos interfaces Gigabit Ethernet y seis interfaces Fast Ethernet.
- Etiquetado de VLAN.
- Mapeado de $n \times VC-12$, VC3 O VC4.
- GFP.
- LCAS.

Luego de elegir la tarjeta que se va a utilizar, el siguiente paso es realizar la instalación física de la misma y luego configurarla, esto teniendo en cuenta que ya tenemos el multiplexor instalado y correctamente comisionado. En la Figura 37 se puede observar un multiplexor 1240 con la tarjeta ETS-100 insertada en el slot 1-6.



Figura 37 - OMS 1240 con tarjeta ETS100

Para realizar la primera configuración se requiere del software OMS 1200 Local Craft Terminal (Figura 38 - Software OMS 1200 LCT), con el cual una vez, que se encuentra realizado el login en el equipo debemos realizar los siguientes pasos:

1. Desde la vista principal (Figura 39) hacemos click derecho en el slot que deseamos configurar y luego elegimos la opción **Configure**. Después elegimos de la lista desplazable la opción **Ethernet Switch (8 ports)** (Figura 40).
2. Hacemos click en **OK** para confirmar la selección y enviar los datos al elemento de red. Un dialogo de **Identified Non-specific Card Setup** aparecerá hasta que el equipo reconozca la tarjeta.
3. Volvemos a la pantalla principal del OMS 1200 LCT donde ahora podremos ver el equipo con la tarjeta Ethernet Switch

configurada en el slot seleccionado.(Figura 41)

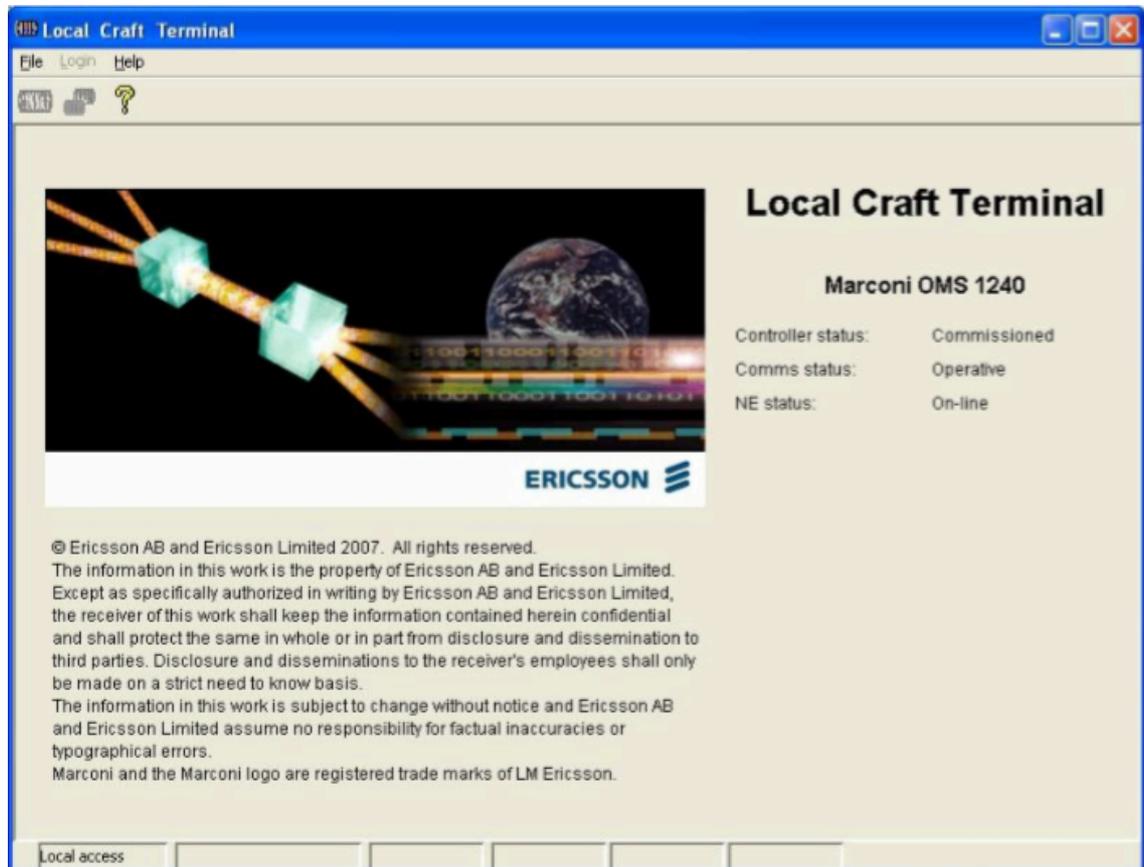


Figura 38 - Software OMS 1200 LCT

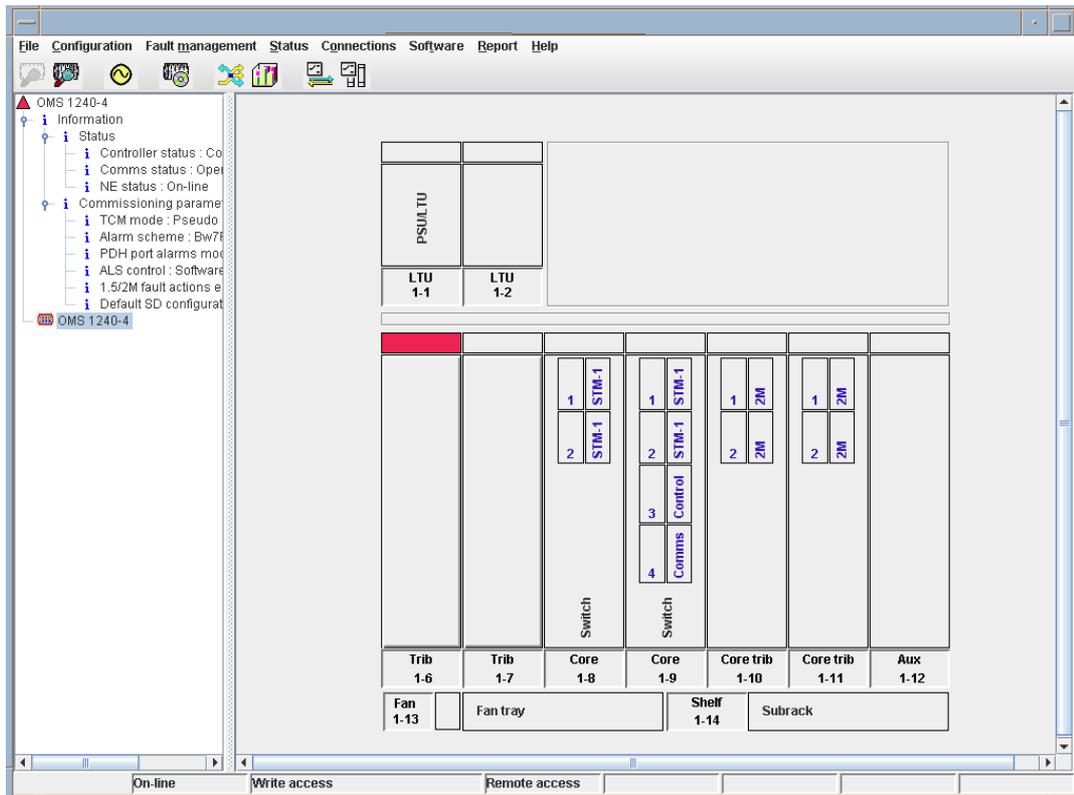


Figura 39 - Chasis visto desde el LCT

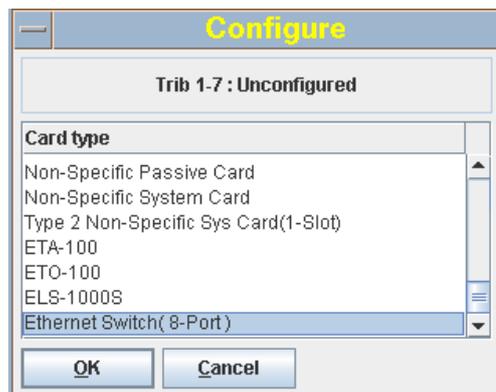


Figura 40 - Ventana de selección de tarjeta

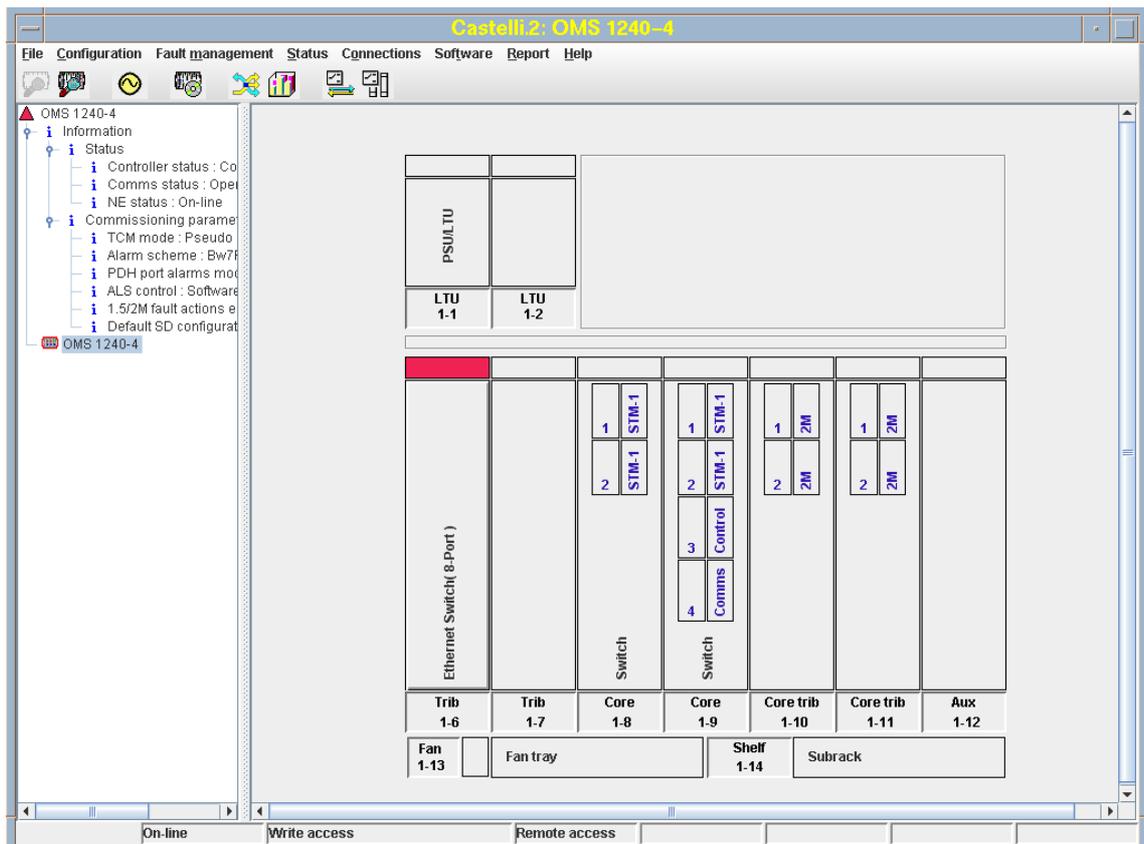


Figura 41 - OMS 1240 con tarjeta Ethernet Switch configurada

8.2.3 SERVICIOS EVPLAN EN MULTIPLEXORES ERICSSON

Luego de conocer los protocolos, los conceptos de diseño y los equipos disponibles ya están dadas las condiciones para explicar como realizar la implementación para que la red SDH pueda transportar tráfico Ethernet.

Dentro de los tipos de servicios Ethernet existentes se utilizará el Ethernet Virtual Private LAN (EVPLAN) (mencionado en la sección 7.1.2) debido a que es el servicio que mejor permite compartir recursos de la red ya que crea un dominio de broadcast entre todos sus miembros.

El manual de Ericsson denominado OMS 1200 Ethernet Services define al servicio EVPLAN de la siguiente manera:



8.2.3.1 CONFIGURACIÓN DE SERVICIOS EVPLAN

Para crear un servicio EVPLAN se deben realizar los siguientes pasos:

- Configurar las interfaces SDH que están conectadas a la matriz del switch.
- Conectar los puertos del backplane SDH y VCG.
- Conectar los puertos Ethernet y/o puertos VCG al bridge.
- Configurar los puertos Ethernet y VCG.
- Configurar el bridge.

Los atributos que hay que considerar para un servicio EVPLAN son los siguientes:

- Parámetros respecto al acuerdo de nivel de servicio (SLA – Service Level Agreement).
- Parámetros del CE (Customer Edge).
- Parámetros de la interfaz del usuario de red (UNI).
- Parámetros globales del bridge.
- Parámetros específicos de puertos del bridge.
- Parámetros de VLAN.
- Spanning Tree

Los parámetros UNI y CE deben soportar el acuerdo de nivel de servicio y el ancho de banda requerido por el servicio. Por ejemplo, la velocidad del puerto debe ser igual o superior a la comisionada al servicio, si el CIR=48Mbit/s, entonces la velocidad del puerto físico debe ser por lo menos 100Mbps.

La mayoría de los servicios EVPLAN no requiere cambios en la configuración global del bridge ya que son relativos a Spanning Tree y los parámetros que vienen por defecto funcionan y no necesitan ser cambiados.

Los parámetros específicos del puerto del bridge reflejarán el actual diseño de la red, por ejemplo, un puerto UNI puede ser configurado como



puerto de Acceso y un puerto NNI puede ser configurado como puerto Trunk. Un puerto de acceso solo puede ser miembro de una VLAN mientras un puerto configurado como Trunk es miembro de todas las VLANs configuradas.

Una cuestión importante al construir un servicio EVPLAN es asegurarse que la tarjeta Ethernet tenga suficientes recursos para el servicio. Las tarjetas Ethernet tienen una habilidad finita de configuración, en términos de crecer los servicios en la misma. Cuando se configura un servicio se utiliza un número de puntos de flujo. La pantalla de configuración global del bridge muestra la cantidad de puntos de flujo utilizados y disponibles.

Si un puerto es asignado a una VLAN equivale a un punto de flujo utilizado. Un puerto de acceso siempre equivaldrá a un solo punto de flujo pero un puerto trunk que es miembro de tres VLANs equivaldría a tres puntos de flujo utilizados. El cálculo para determinar los puntos de flujo utilizados es: Puertos en VLAN1 + Puertos en VLAN2 + Puertos en VLAN3...etc.

8.3 IMPLEMENTACIÓN DE ETHERNET SOBRE SDH

Para explicar todo el proceso de implementación de Ethernet sobre SDH se utilizará el ejemplo de una BTS de 3G llamada UBA854 y se irá analizando la evolución del transporte de la interfaz Iub desde que fue instalada como ATM/TDM hasta la migración a DualStack, que es el punto del proceso donde se añade el camino Ethernet que va a ser transportado por la red SDH por la que también van las tramas E1, y en el caso de la utilización de EoSDH se analizarán e indicarán las configuraciones paso a paso y cambios que se realizan a nivel de transporte.

8.3.1 INTERFAZ IUB EN CONFIGURACIÓN ATM/TDM

Tal como se indicó en la sección 8.1.2, para este caso, lo que se requiere de la red de transporte es transportar tramas E1. La solución implementada previo a la implementación de Ethernet es la que se puede observar en el siguiente diagrama donde se detallan los nombres de los sitios donde se encuentra cada equipamiento.

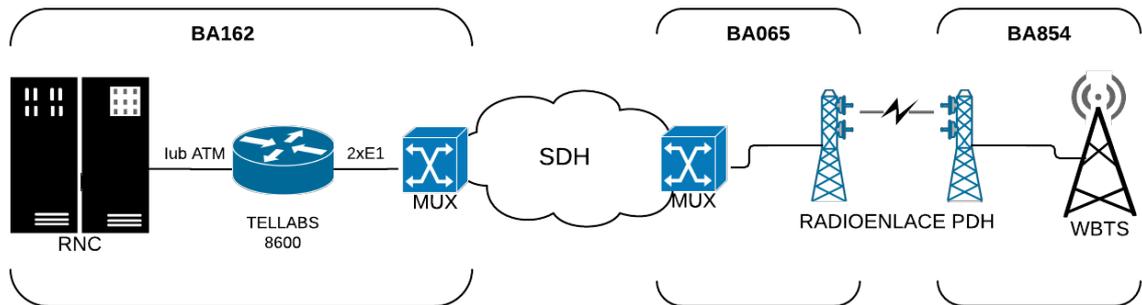


Figura 43 - Solución para UBA854 con interfaz lub en ATM/TDM

La red SDH debe transportar dos tramas VC12 desde el sitio BA162, donde se encuentra la RNC, hasta el sitio BA854, donde se encuentra el Nodo B. Para esto se utiliza la red de multiplexores de Marconi/Ericsson entre el sitio donde se encuentra la RNC hasta el sitio BA065, para luego ser transportadas por un radioenlace PDH hasta la WBTS o Nodo B.

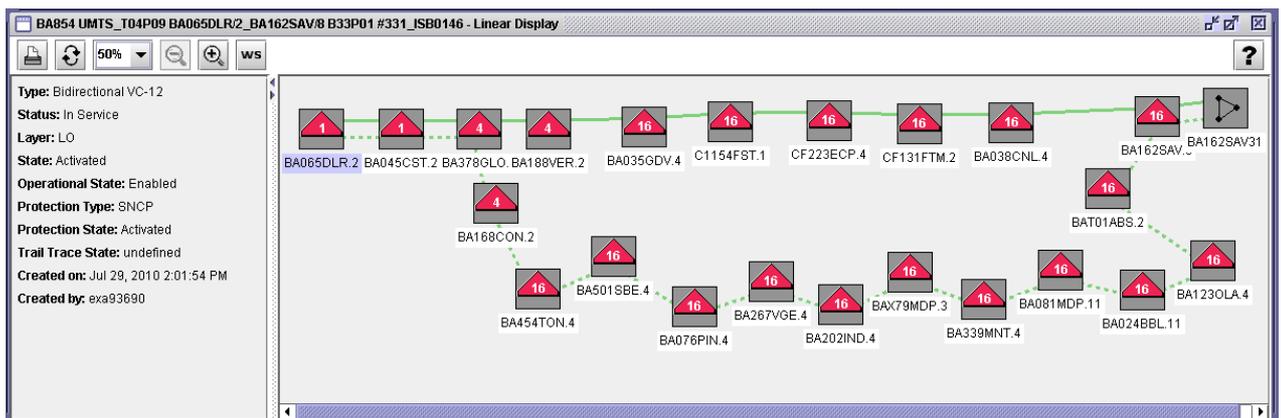


Figura 44 - Vista del camino en la red SDH

En la Figura 44 se observa el recorrido que hacen las tramas por la red SDH entre BA162 hasta BA065. En línea simple se indica el camino principal de la trama y en línea punteada el camino de respaldo que existe en caso que el principal sufra alguna contingencia.

Cada multiplexor está representado por un triángulo rojo los cuales están entre si conectados por enlaces STM1, STM4 o STM16 que pueden ser transportados por radioenlaces SDH para el caso del primero o fibra óptica para el caso de últimos dos. Todos son de la línea OMS 1200 o 1600 de Ericsson/Marconi y en un extremos contamos con tributarios de puertos E1 y del otro extremo con un VC12 dentro de una STM1 que va conectada en este caso al equipo Tellabs que hace el ensamble y reensamble hacia el protocolo ATM.

Luego la trama en formato E1 es conectada a un radioenlace Evolution XPAND de la empresa Ceragon que tiene capacidad para 25 E1s (Figura 45).

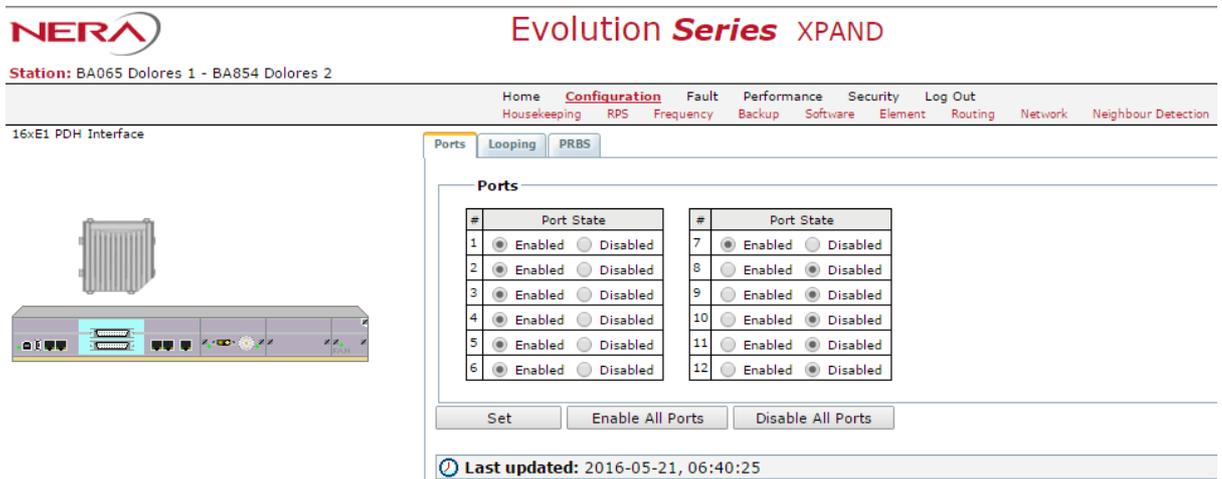


Figura 45 – Sistema de gestión de un radioenlace Evolution con capacidad para 25 E1s

Luego del radio las E1 ya van conectadas a la placa FTI de la celda que es la que contiene los puertos E1 y Ethernet. En la Figura 46 se observa la pantalla de configuración de los puertos en el sistema de gestión de la BTS

3G donde se pueden ver las interfaces E1 y se puede observar que solo poseemos hasta 4 E1 lo que limita el ancho de banda a un máximo de 8Mbps. Debido a la creciente demanda de tráfico de datos por parte de los servicios que utilizan los usuarios de telefonía esa capacidad no es suficiente.

IF	In use	CRC on
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

EIF	In use	Speed and duplex	Link flapping prevention timer [0...600s]	Current speed and duplex	RX power (dBm)	MAC address
1	<input type="checkbox"/>	Autodetect	0	Autodetect	Not connected	00:40:43:68:48:BE
2	<input type="checkbox"/>	Autodetect	0	Autodetect		00:40:43:68:48:BE
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Autodetect	0	Autodetect		00:40:43:68:48:C0

Figura 46 - Sistema de gestión de la BTS en la configuración de las interfaces E1

8.3.2 INTERFAZ IUB EN CONFIGURACIÓN DUAL IUB

Ahora ya se encuentra el escenario donde la configuración requiere disponer de una interfaz Ethernet en conjunto con las E1 con el objetivo de disponer de mayor ancho de banda ya que, como vimos en la sección 8.3.1,

se tiene la limitación de solo llegar a 8Mbps. Pero con Ethernet, con un solo puerto se puede superar ampliamente esa capacidad.

Para brindar transporte Ethernet a las celdas es necesario disponer de una tecnología que pueda manejar el protocolo. La solución ideal es instalar una red de switches y routers, ya que fueron dispositivos diseñados para esto, pero los tiempos de despliegue de toda una nueva red están muy lejos de cumplir con los tiempos de crecimiento de la demanda por lo que es cuando surge la posibilidad de utilizar la red SDH que ya está instalada para transportar Ethernet utilizando los protocolos de Ethernet sobre SDH.

La solución consiste en que el transporte sea Ethernet de punta a punta. Por lo que las RNC disponen de tarjetas que manejan tráfico Ethernet y las mismas son conectadas a la red de routers llamada IPRAN (en español significa Redes IP de Acceso por Radio). Esta red IPRAN va creciendo hasta en un futuro tener la misma o mayor extensión que la red SDH, pero como esos tiempos son muy largos, como primera solución se va a llegar por Ethernet sobre SDH desde el sitio donde está el nodo B, hasta el punto más cercano donde haya un router.

En la figura Figura 47 se puede observar el diagrama la solución utilizada.

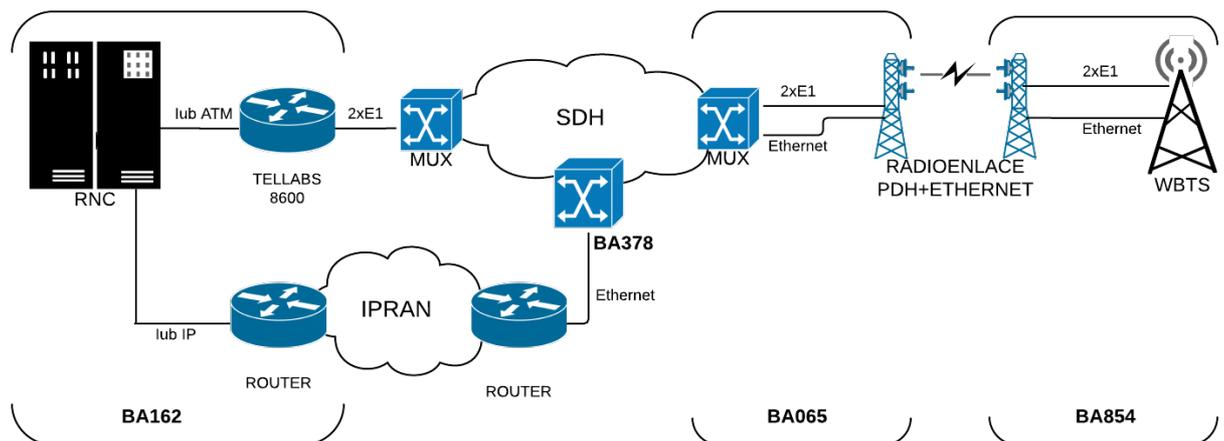


Figura 47 - Solución para UBA865 con interfaz lub en DualStack

Por lo observado en el diagrama de la solución lo que se debe hacer sobre el SDH es configurarlo para que pueda transportar tramas Ethernet entre BA378 y BA065. Como los protocolos de EoSDH solo manejan las tramas Ethernet significa que todo funcionará a nivel capa 2 del modelo de TCP/IP, por lo que el router instalado en BA378 verá lo mismo que si estuviera conectado a una red de switches, es decir, se formara un dominio de broadcast entre todo el servicio EVPLAN.

En este caso como se puede observar en la topología de la red SDH (Figura 48 y Figura 49) se debe crear un servicio Ethernet desde BA065DLR3 que pase por BA065DLR2, BA045CST2 para finalmente llegar a BA378GLO2. Como en BA045 se dispone de un equipo que también tiene tarjeta Ethernet switch y donde existen servicios Ethernet que también deben llegar al router de BA378 lo que vamos a crear es un túnel que sea BA065DLR3 – BA045CST2 y luego otro que sea BA045CST2 – BA378GLO2.

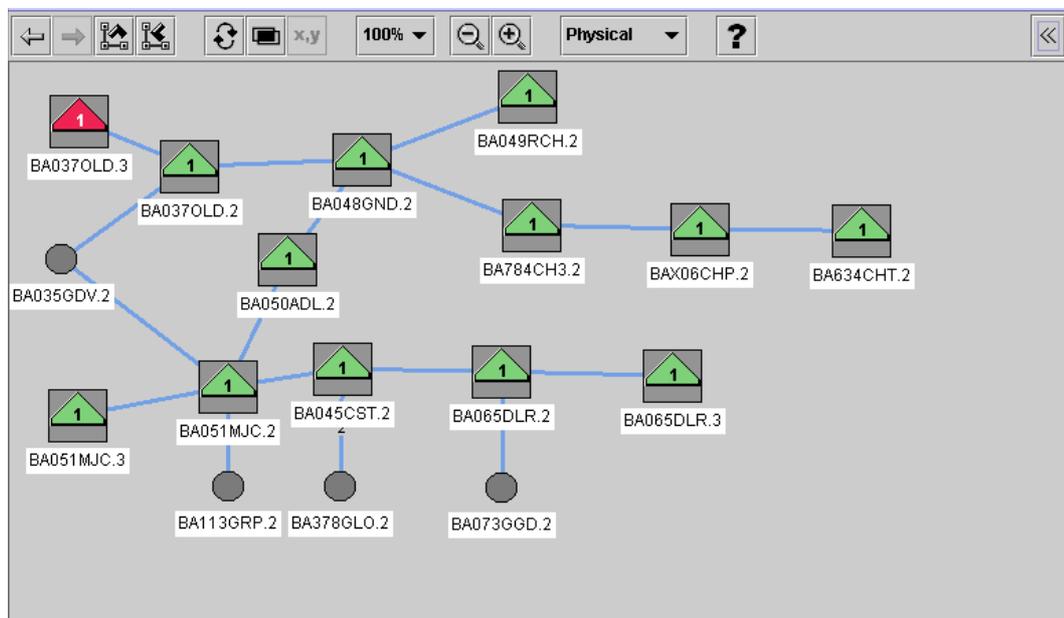


Figura 48 - Topología de la zona de BA065

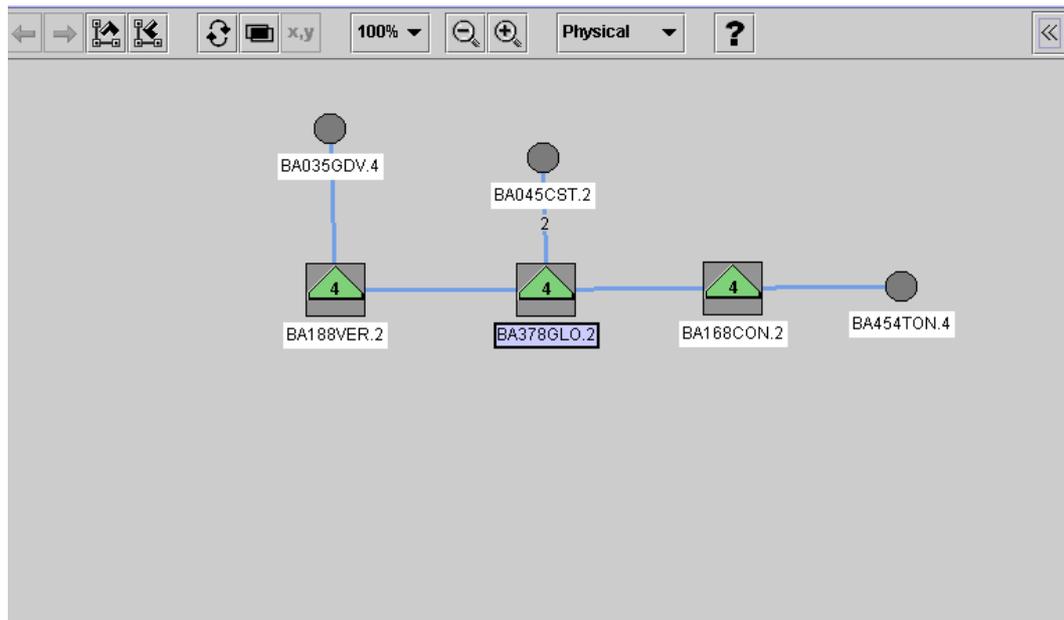


Figura 49 - Topología de la zona de BA378

Desde la vista del router de BA378 y considerando que los multiplexores solo manejan el tráfico Ethernet a nivel de capa 2 el diagrama de red que se generaría sería análogo al siguiente:

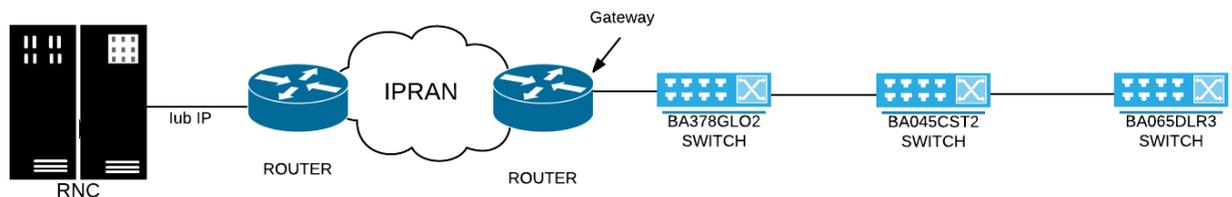


Figura 50 - Diagrama de analogía utilizando switches

De la analogía podemos analizar que desde el gateway (que sería la interfaz del router en BA378) hacia la derecha todo va a ser parte del mismo dominio de broadcast por lo que la transmisión de los paquetes se va a realizar de acuerdo a las tablas de direcciones MAC que genere cada tarjeta Ethernet, y que cualquier servicio que se agregue sobre las mismas va a tener visibilidad a nivel de capa 2 con el gateway y con los otros equipos del dominio.

8.3.2.1 PRIMER PASO: INSTALACIÓN DE TARJETAS ETHERNET SWITCH

El primer paso a realizar es instalar tarjetas Ethernet switch (cómo se explicó en la sección 8.2.2.2) en los multiplexores de los extremos para que puedan aplicar el conjunto de protocolos de EoSDH y así adaptar las tramas Ethernet a contenedores virtuales (VC). En la Figura 51 y Figura 52 se pueden observar ambos equipos con la tarjeta Ethernet switch ya instalada.

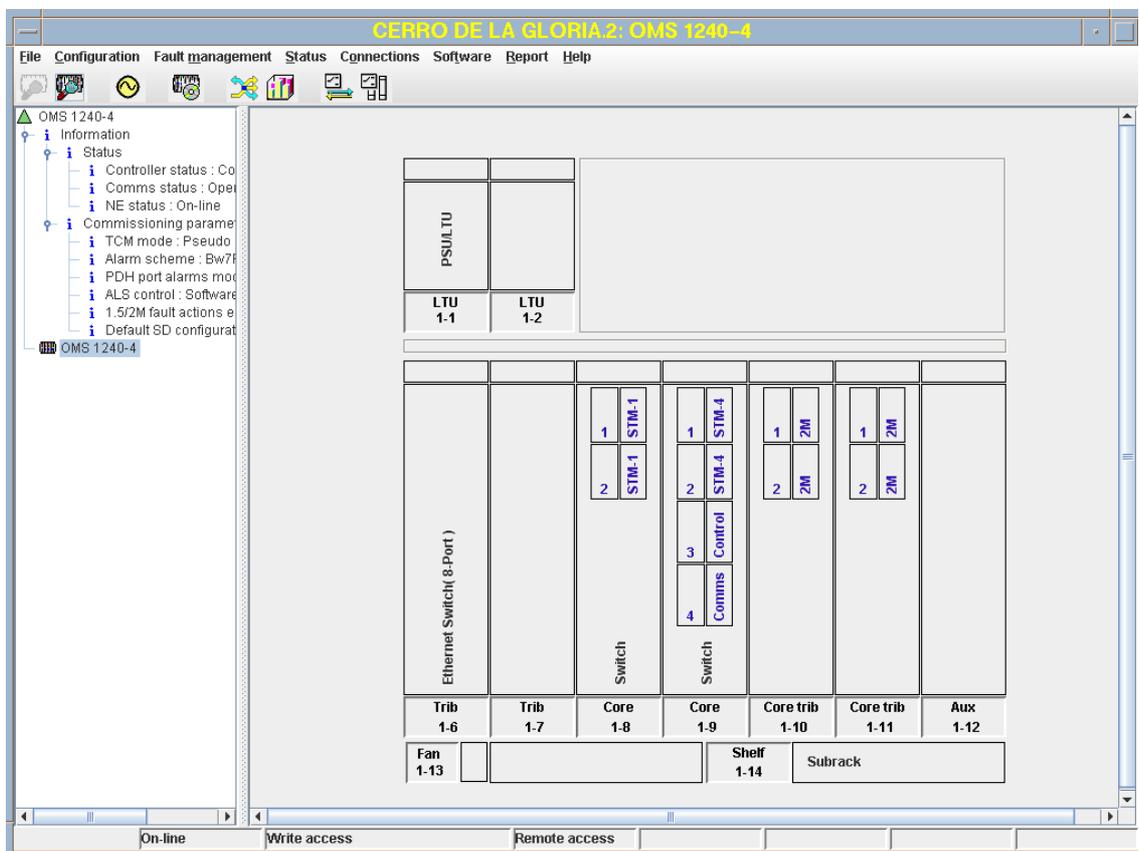


Figura 51 - OMS en BA378 con tarjeta Ethernet Switch

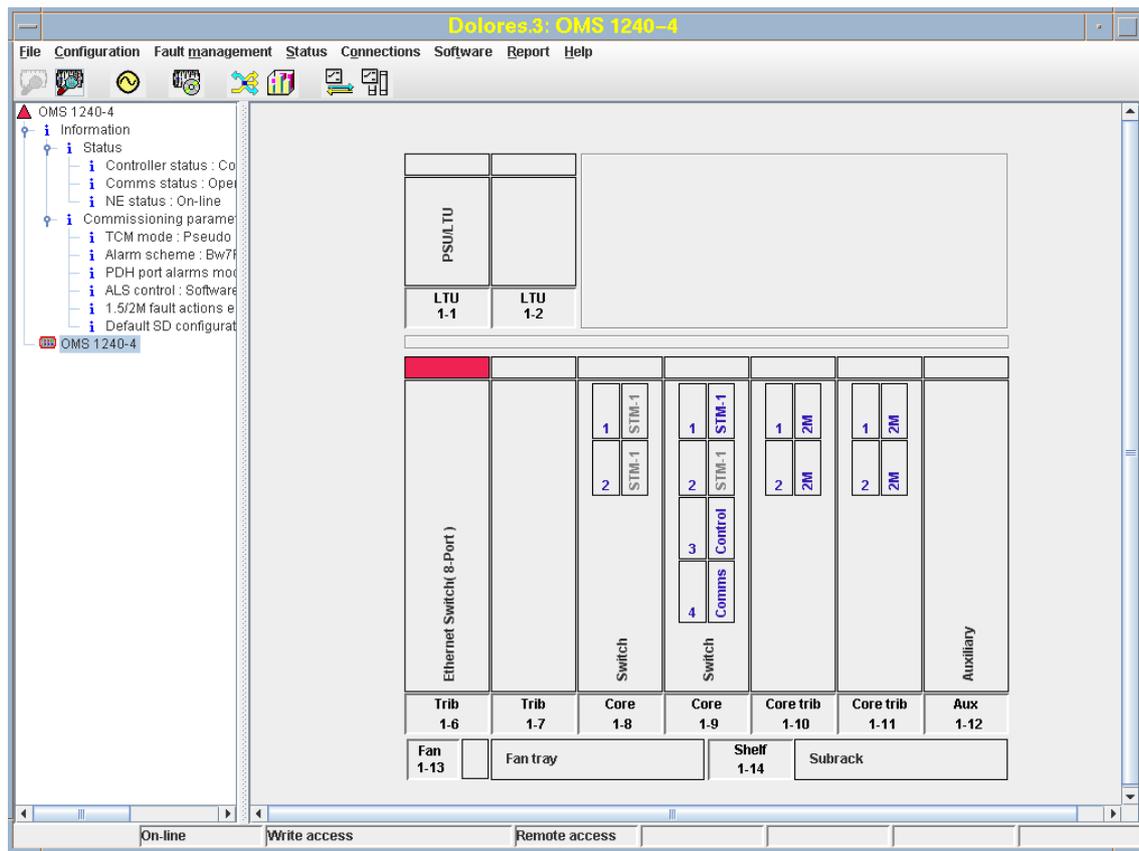


Figura 52 - OMS en BA065 con tarjeta Ethernet switch

Luego según los pasos de la sección 8.2.3.1 para crear un servicio EVPLAN lo que debemos hacer es configurar las interfaces SDH, lo que significa que debemos configurar los circuitos entre los equipos de acuerdo a la capacidad que queremos que tenga el vínculo Ethernet.

8.3.2.2 SEGUNDO PASO: CONFIGURACIÓN DE INTERFACES SDH

El siguiente paso consiste en configurar los circuitos necesarios en la red SDH que van a ser los que luego la tarjeta Ethernet switch va a utilizar para encapsular tráfico sobre ellos.

Según lo observado en la Figura 50 vemos que tendremos un grupo de circuitos entre BA065 y BA045, y luego otro grupo de circuitos de BA045 hacia BA378.



Se va a explicar el proceso solo para el primer salto del servicio Ethernet ya que el procedimiento es el mismo para los dos casos.

En el primer salto se utilizará un VCG compuesto por 22 circuitos VC12. Debido a la utilización actual de las STM1 no se puede armar un VC3.

Gracias al software de Ericsson para administrar la red llamado MV38 Network Management System no es necesario realizar las cross conexiones equipo por equipo manualmente sino que podemos hacerlo a través del asistente para creación de circuitos donde seleccionamos los extremos y luego nos deja elegir la posición donde queremos mapear el VC12 dentro de la STM1 entre los equipos, luego le damos un nombre al circuito y el software lo aplica en los equipos correspondientes. En la Figura 53 se puede observar el asistente de creación de circuitos donde vemos que los extremos en este caso son BA045 y BA065, y cuyas terminaciones son en las tarjetas 1-6 que es donde están instaladas las Ethernet switch y puerto 99 que es el puerto interno de la tarjeta que mira hacia la red SDH. Se debe repetir el procedimiento hasta crear los 22 circuitos requeridos.

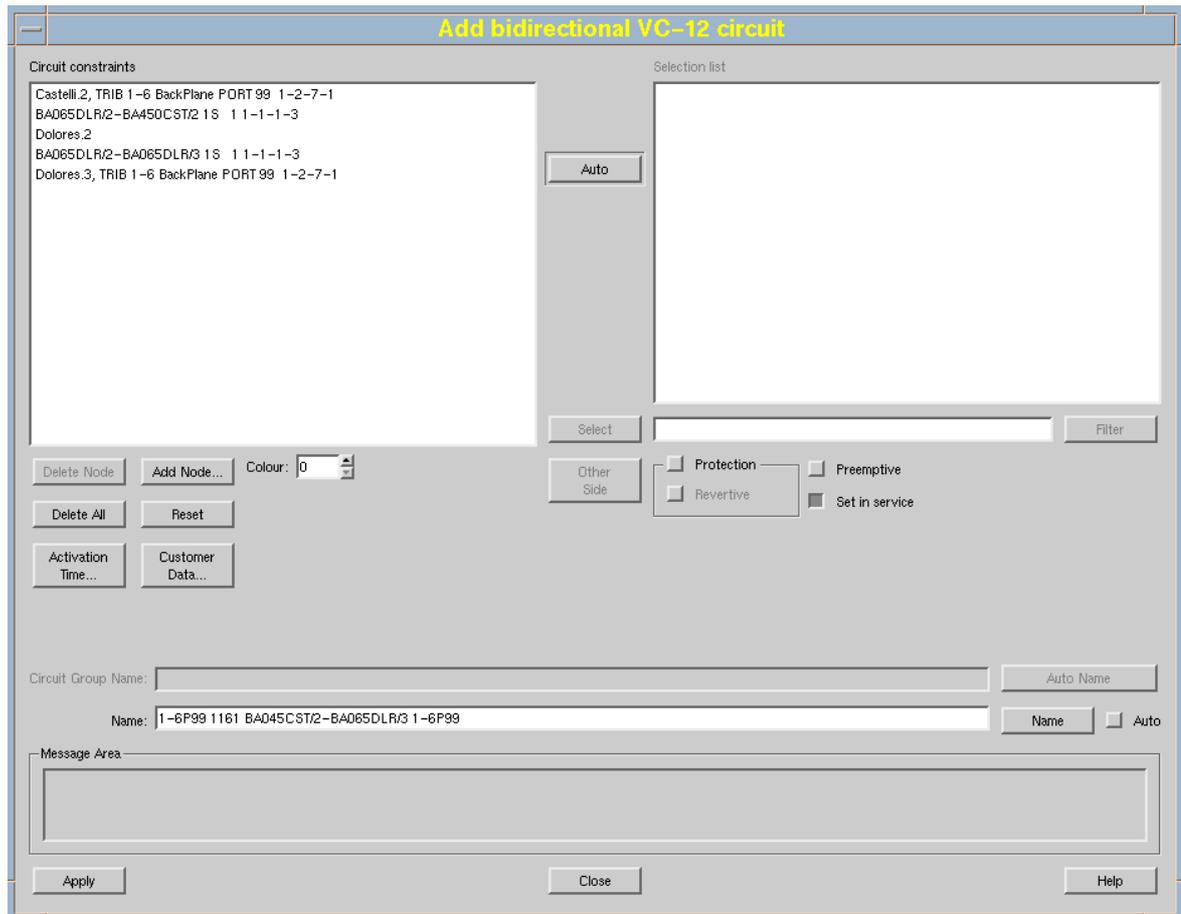


Figura 53 - Creación de circuito VC12

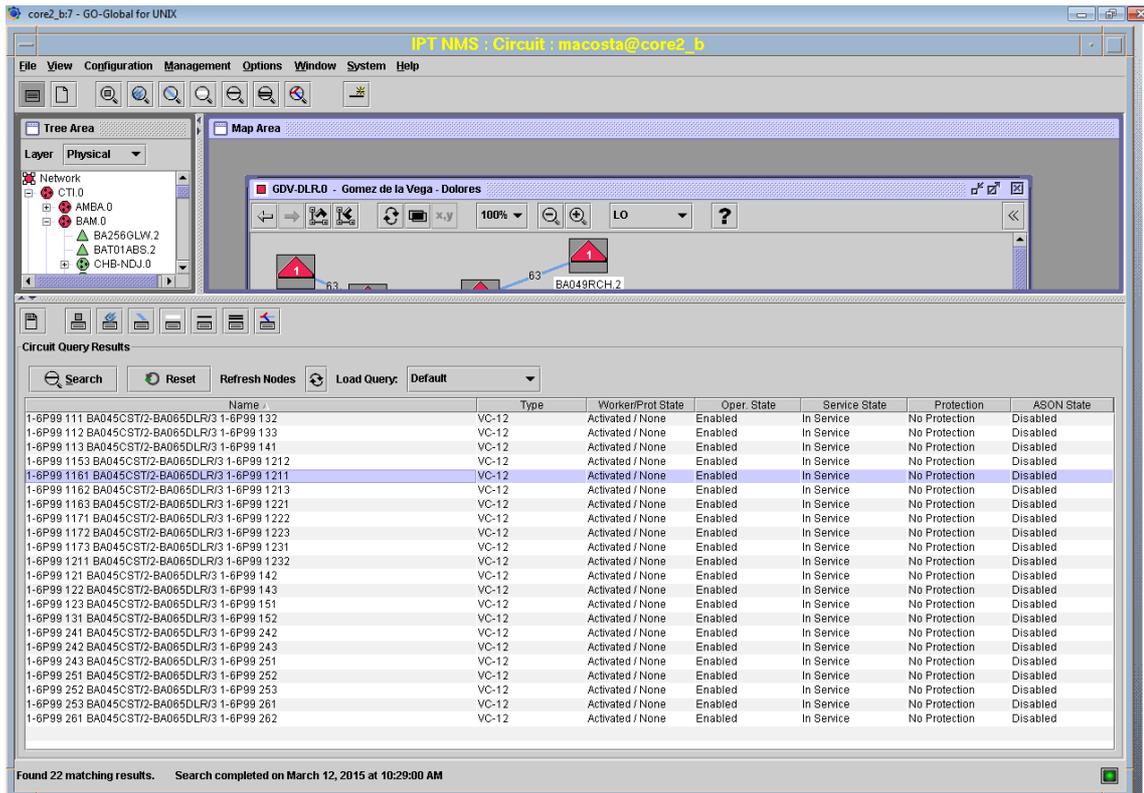


Figura 54 - Lista de todos los VC12 creados

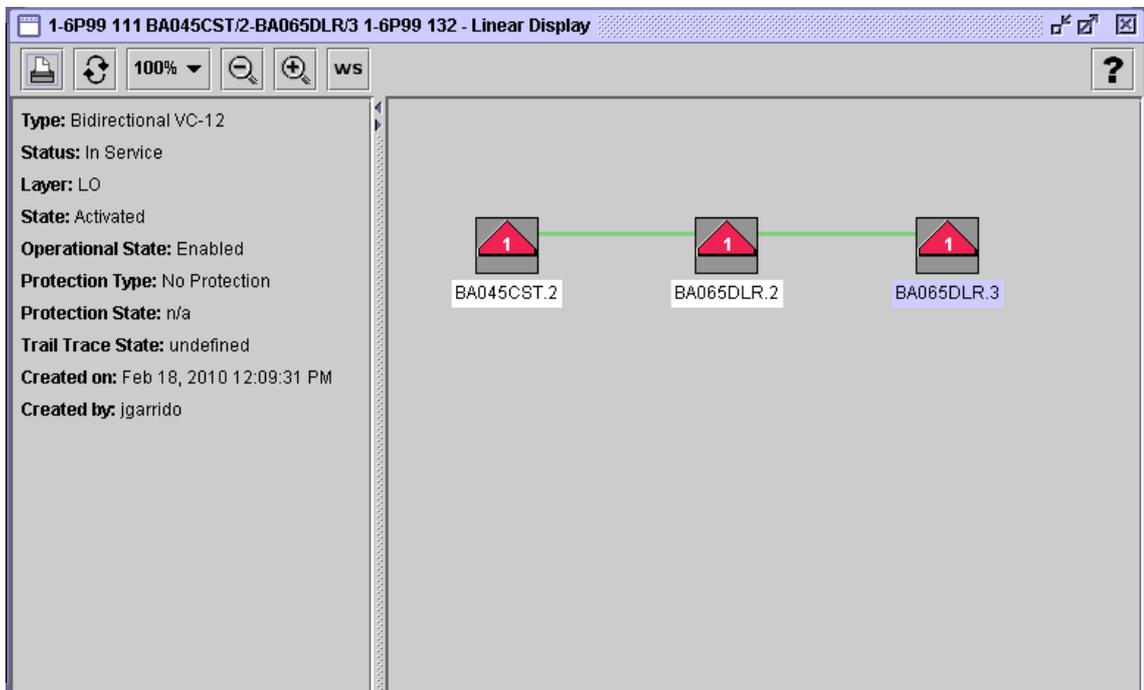


Figura 55 - Visualización de uno de los VC12



8.3.2.3 TERCER PASO: CONECTAR LOS PUERTOS DEL BACKPLANE SDH Y VCG

Luego de crear los circuitos VC12 entre las placas Ethernet switch de ambos equipos, se deben conectar todos los VC12 recibidos en el puerto 99 a un VCG dentro de la placa para que se concatenen formando un solo circuito cuya capacidad va a ser la suma de todos. Esto se puede realizar de dos formas, la primera es utilizando el MV38 y seleccionar todos los VC12 de la lista, y la segunda forma es realizarlo manualmente desde el software LCT en la vista denominada *Ethernet Connections* del equipo. Esto se realiza en ambos equipos involucrados en el circuito, en la Figura 56 se observa el VCG 102 conectado a todos los VC12 que creamos en el paso anterior en el equipo de BA065DLR3. Del lado de BA045 se debería hacer lo mismo seleccionando el mapeo dentro de la STM1 de la tarjeta Ethernet switch que corresponda.

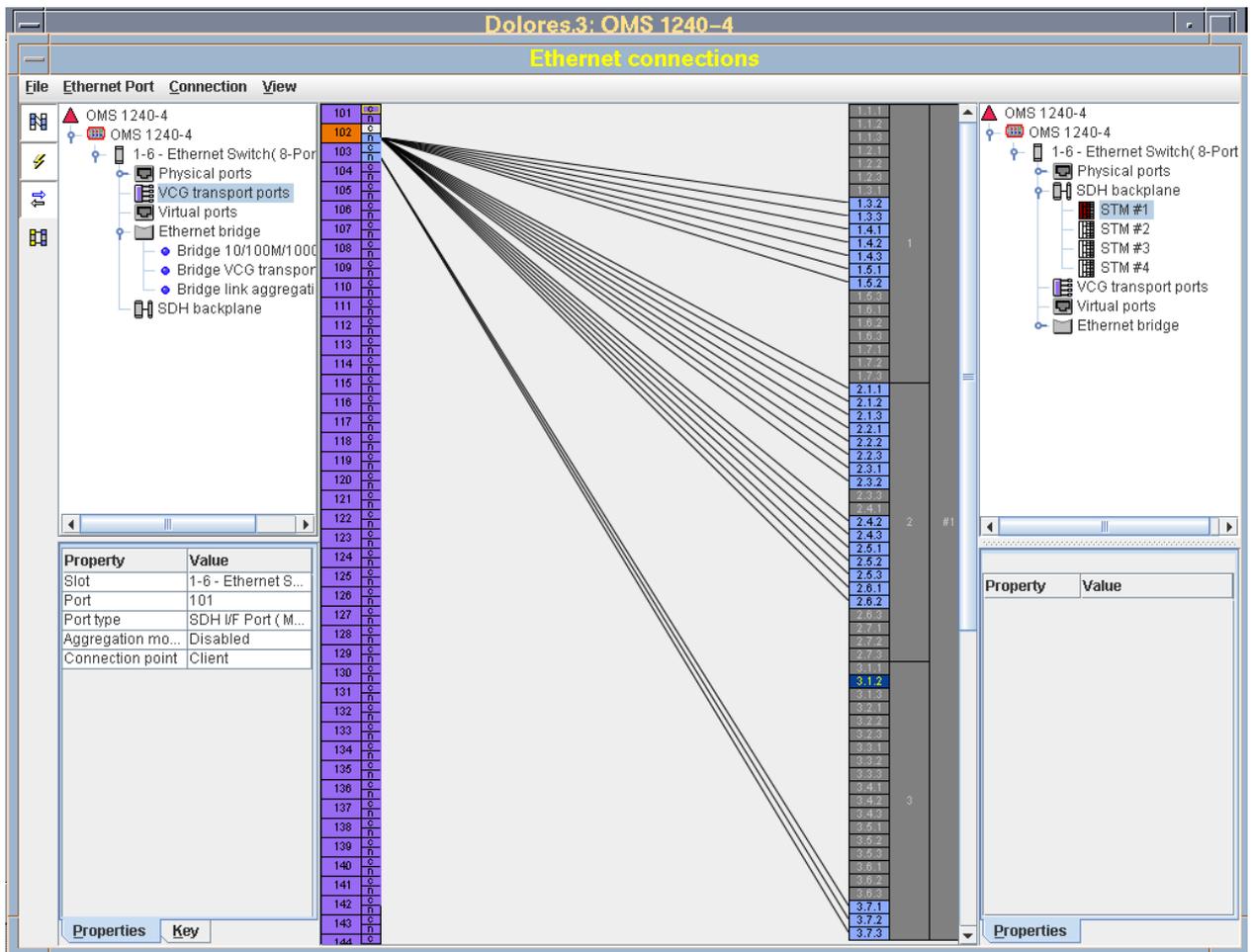


Figura 56 - Conexiones entre VC a VCG dentro de la placa Ethernet

8.3.2.4 CUARTO PASO: CONECTAR LOS PUERTOS ETHERNET Y/O PUERTOS VCG AL BRIDGE

El bridge dispone de 100 puertos singularmente numerados. Estos están divididos entre puertos frontales de la tarjeta Ethernet, puertos de una tarjeta LTU (Line Tributary Unit), puertos VCG y puertos LAG, todos poseen un mapeo fijo. Este mapeo fijo asegura que los puertos asociados conserven siempre la misma dirección MAC.

En la siguiente tabla se observa el mapeo de los puertos del bridge con su correspondencia.



Nro de Puerto del Bridge	Puerto Mapeado
Puerto Bridge 1 -8	100M/1000M Puerto 1- 8
Puerto Bridge 9 – 24	100M LTU Puerto 1 – 16
Puerto Bridge 25 – 88	VCG Puertos 101 to 164
Puerto Bridge 89 – 100	Puertos LAG del Bridge

El procedimiento para conectar puertos al bridge es simple debido a que el mapeo es automático ya que cada puerto y VCG tiene su puerto ya asignado en el bridge como pudimos observar.

En la Figura 57 y en la Figura 58 se puede observar la conexión del puerto 8 de la tarjeta Ethernet Switch, que es donde se va a conectar el radioenlace que luego va a darle transporte Ethernet a la WBTS 3G en BA854, a un puerto del bridge y también la conexión del puerto VCG armado en el paso anterior, al bridge.

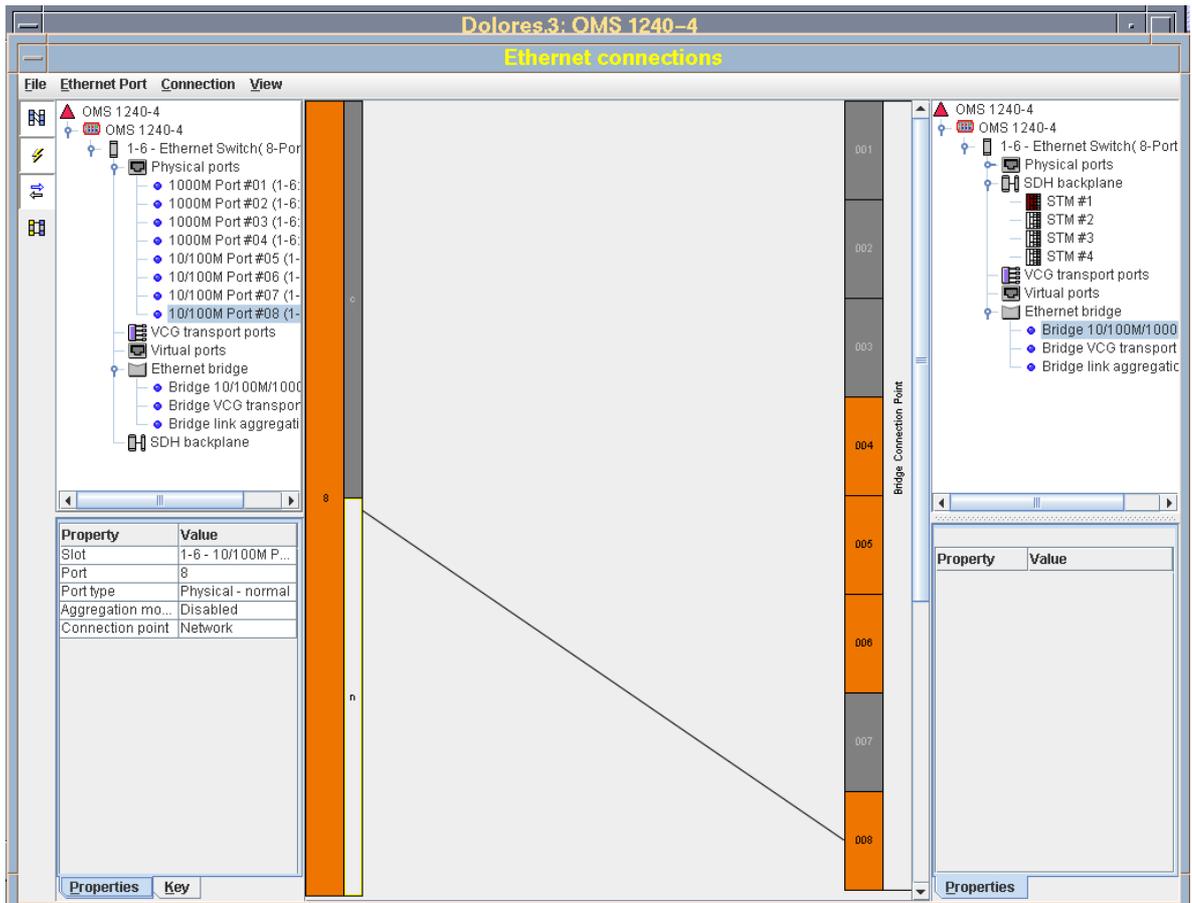


Figura 57 - Conexión de un puerto Ethernet al bridge.

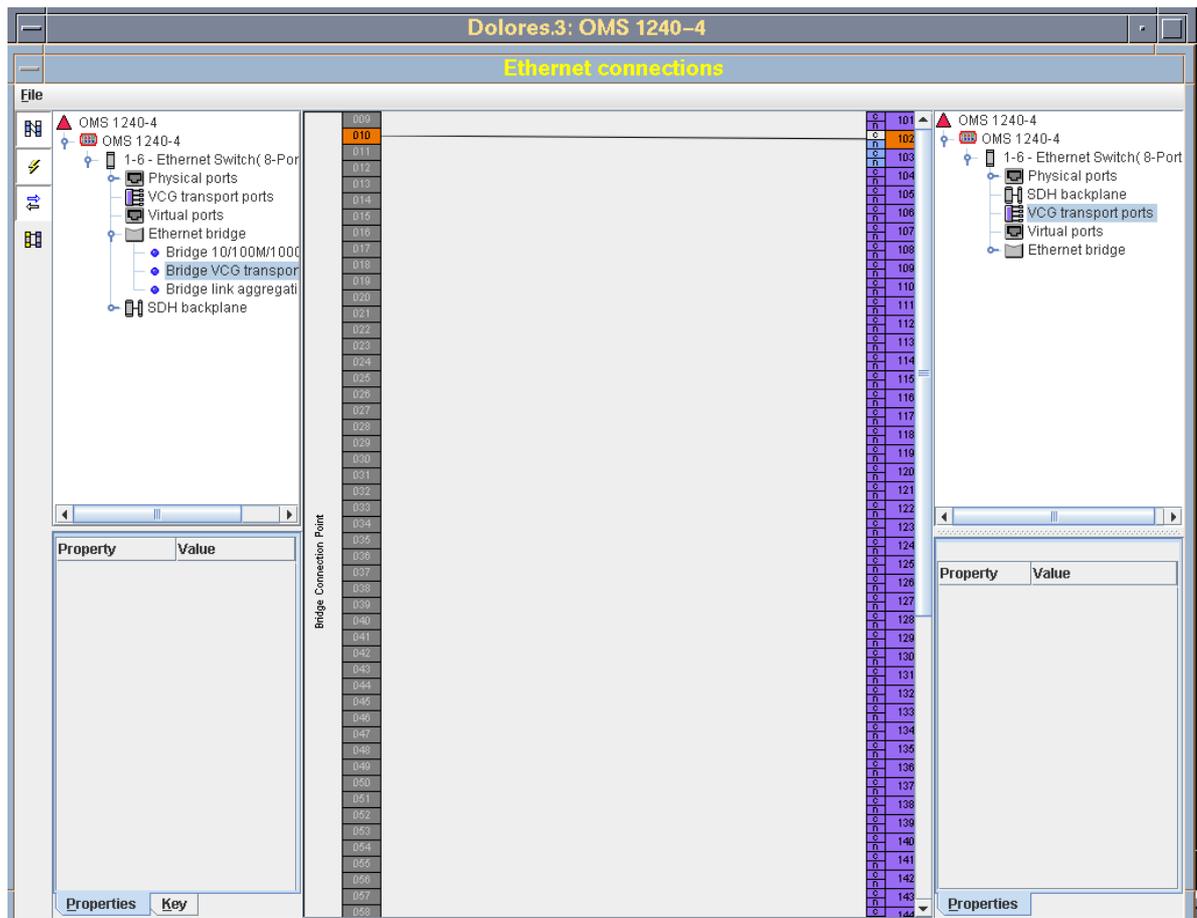


Figura 58 - Conexión de un puerto VCG al bridge.

8.3.2.5 QUINTO PASO: CONFIGURAR LOS VCG Y LOS PUERTOS INVOLUCRADOS

Ahora que ya se tienen todas las conexiones realizadas entre el SDH y la tarjeta Ethernet Switch, armado los VCG y conectados al bridge junto con los puertos, se puede empezar con la configuración de los mismos.

Es limitado el número de parámetros que se deben configurar en los puertos VCG y Ethernet. Para la mayoría de ellos su configuración por defecto serán suficientes.

Cuando los puertos están conectados al bridge las opciones de Puntos de Flujo (VLAN) y SLA desaparecen debido a que estos pasan a ser configurados ya no en el puerto sino en los parámetros del bridge.

En las siguientes figuras se muestra la configuración para el puerto 8 que es el que utilizamos para llegar a la celda estudiada en este caso.

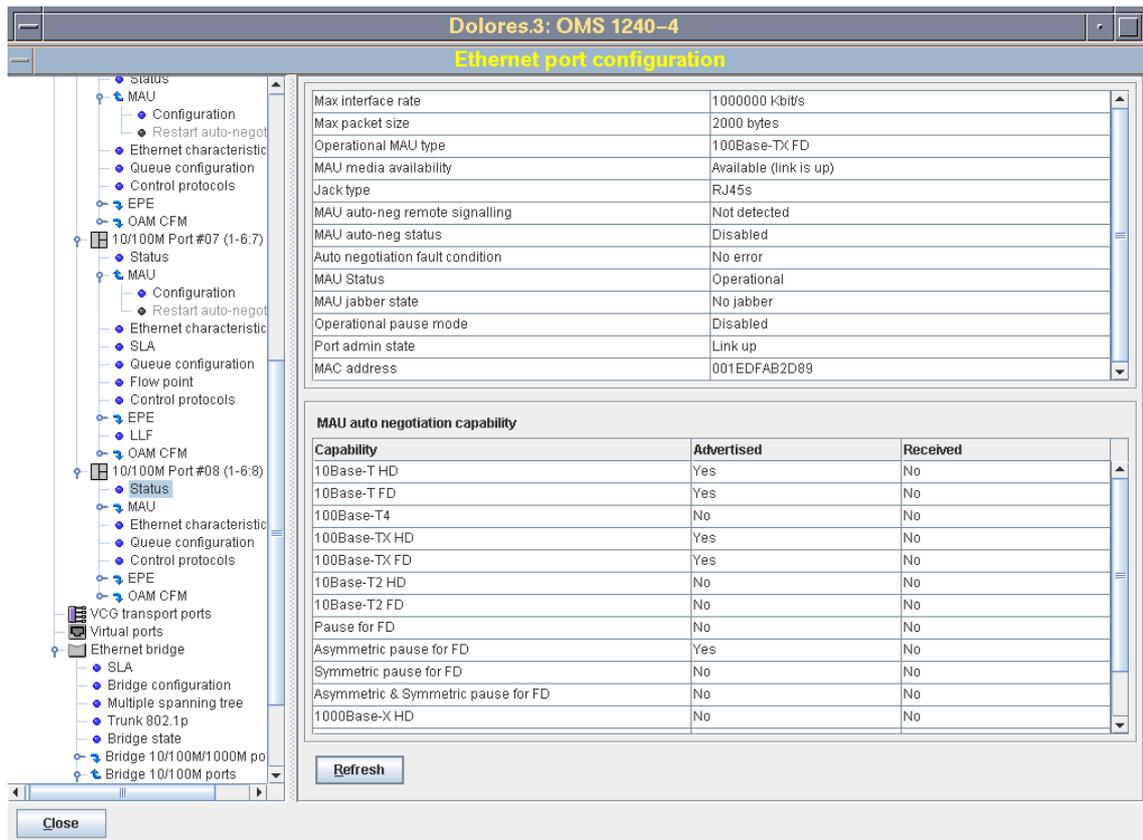


Figura 59 - Configuración del puerto 8 – Status

En la Figura 59 se puede observar la pantalla donde se muestra el estado actual del puerto, si está activo, su tipo de conector y sus parámetros de velocidad y dúplex.

En la siguiente captura (Figura 60) se puede ver la pantalla de configuración de los parámetros de negociación y velocidad del puerto, así como su estado administrativo y el monitoreo del mismo.

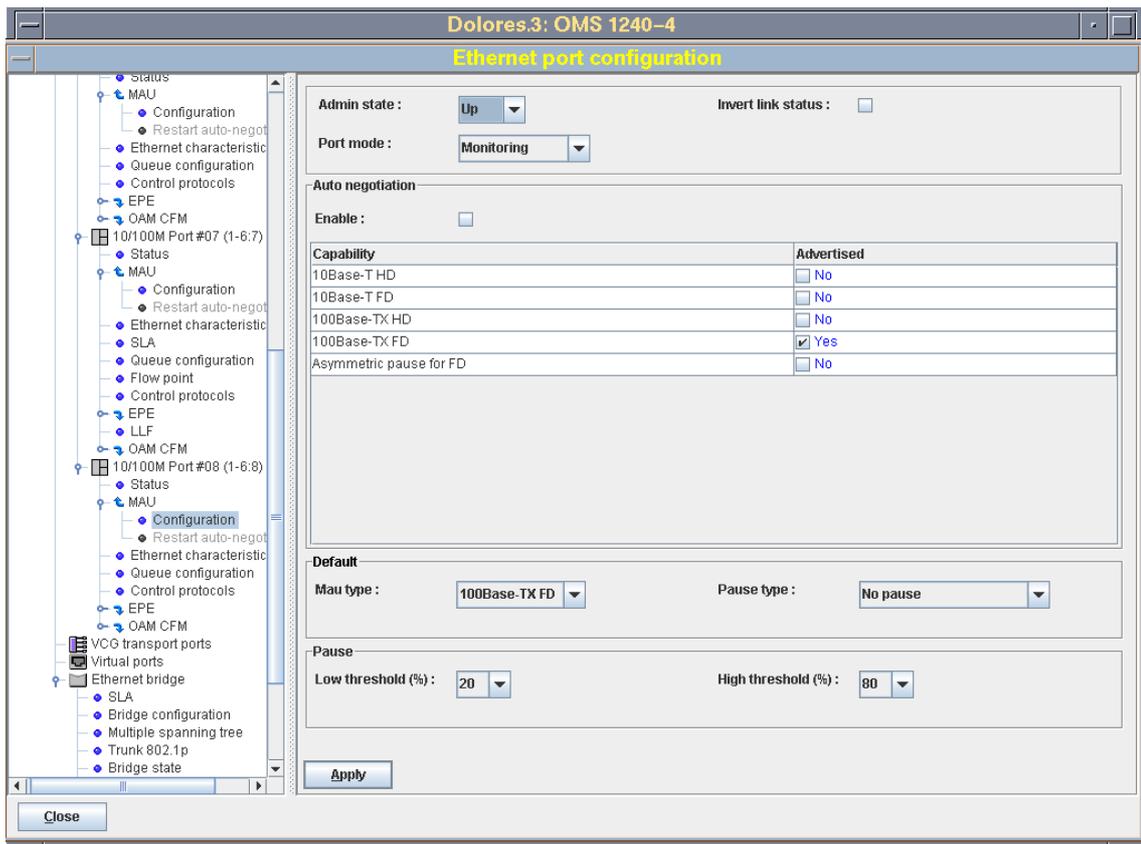


Figura 60 - Configuración del puerto 8 - MAU Configuration

En la pestaña de Ethernet characteristics (Figura 61) se dejará el CIR overbooking en 100% ya que no queremos calidad de servicio ni que haya que descartar tráfico y se configura el tamaño máximo de la trama Ethernet en 1600 que es estándar.

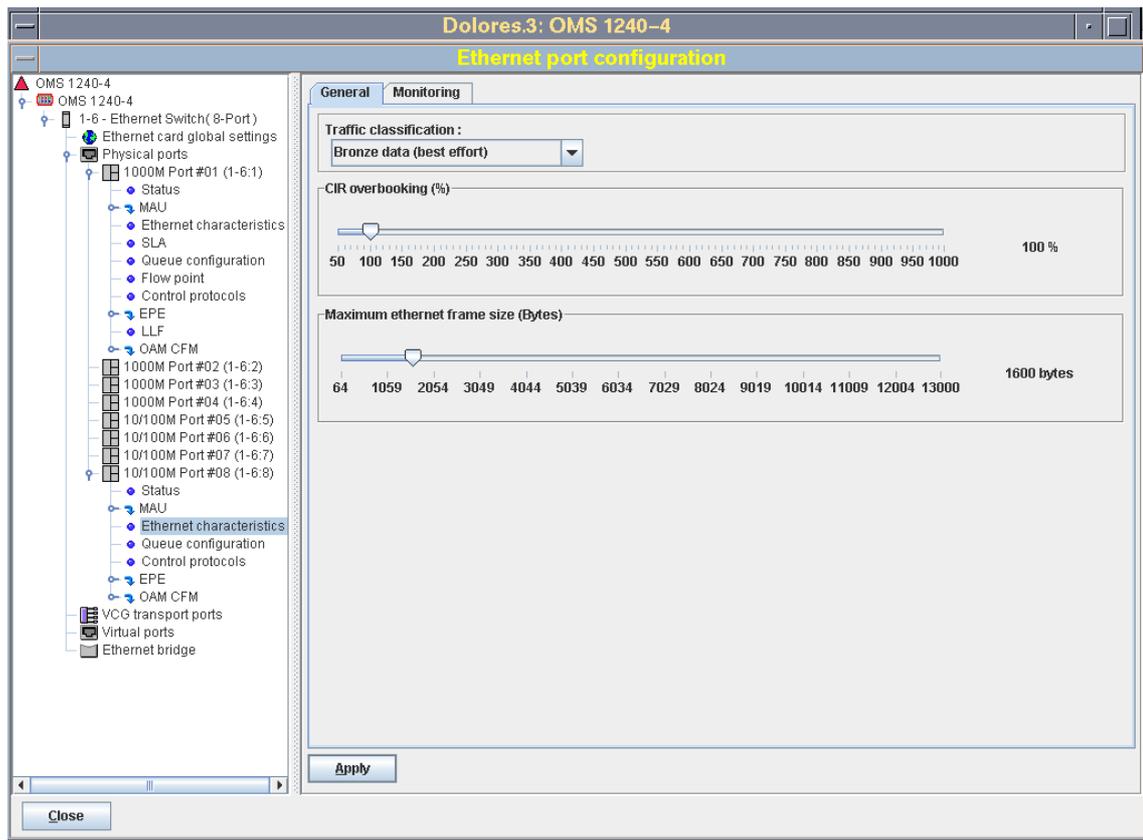


Figura 61 – Configuración de puerto 8 – Ethernet characteristics

En la pantalla de Queue Configuration (Figura 62) se configura lo referido a la cola según la calidad de servicio y los flujos de tráfico que tengamos, pero en este caso se dejarán los valores por defecto, lo mismo las pestañas que siguen (Control protocols, EPE, OAM CFM).

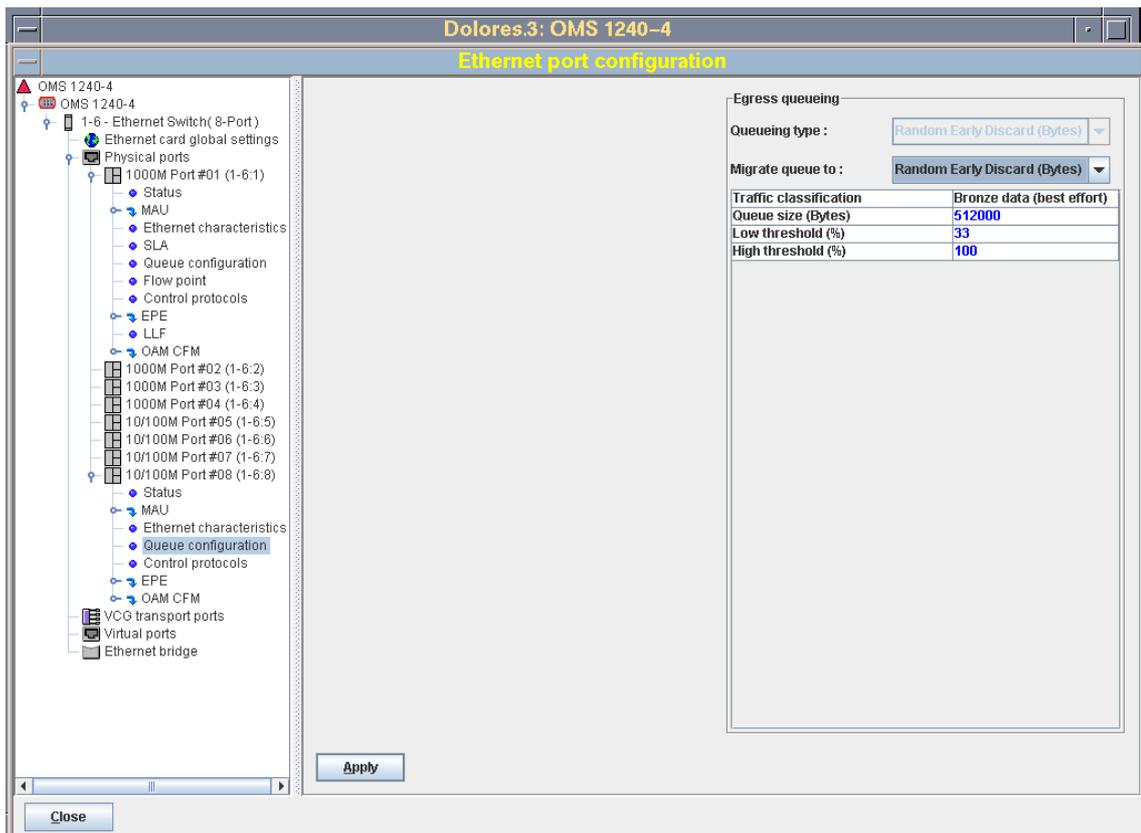


Figura 62 - Configuración del puerto 8 – Queue configuration

8.3.2.6 SEXTO PASO: CONFIGURAR EL BRIDGE

El bridge tiene muchos parámetros configurables pero no es necesario explicar todos ya que normalmente los servicios no requerirán realizar cambios sobre los mismos, excepto algunos que definen el tipo de servicio.

Para configurar el bridge es necesario definir lo siguiente:

- Roles de los puertos del bridge (Acceso, Trunk, Agnostico).
- VLAN a las que van a pertenecer los puertos (Los que sean trunk van a pertenecer automáticamente a todas las VLANs).
- El SLA del puerto.
- Habilitar los puertos del bridge.



Para este caso se configura el puerto 8 del bridge y el puerto 10 correspondientes al puerto conectado a la Ethernet switch y al puerto conectado al VCG, respectivamente.

Puerto 8 del bridge (puerto 8 de 10/100M):

- *Puerto de acceso, VLAN 2000, 802.1P Enabled, Default Ingress PCP =0, SLA = CIR 45M, CBS 10KB, PIR 45M, PBS 10KB.*

Puerto 10 del bridge (puerto VCG 102):

- *Puerto trunk, VLAN 2000, 802.1P Enabled, Default Ingress PCP=0, SLA = CIR 50M, CBS 10KB, PIR 100M, PBS 100KB.*

En las siguientes figuras se observan los pasos para configurar el bridge. Solo se mostrarán las opciones que son relevantes al caso o donde hay que cambiar alguna configuración respecto a la que viene por defecto.

Las primeras pestañas de la configuración del bridge que aparecen desde *SLA* hasta *Bridge state* no se modifican debido a que incluye parámetros de spanning tree cuyos valores por defecto son correctos para este caso particular y también para la mayoría de los casos, y otras configuraciones de *SLA* que se realizarán específicamente sobre los puertos y no sobre la configuración general del bridge.

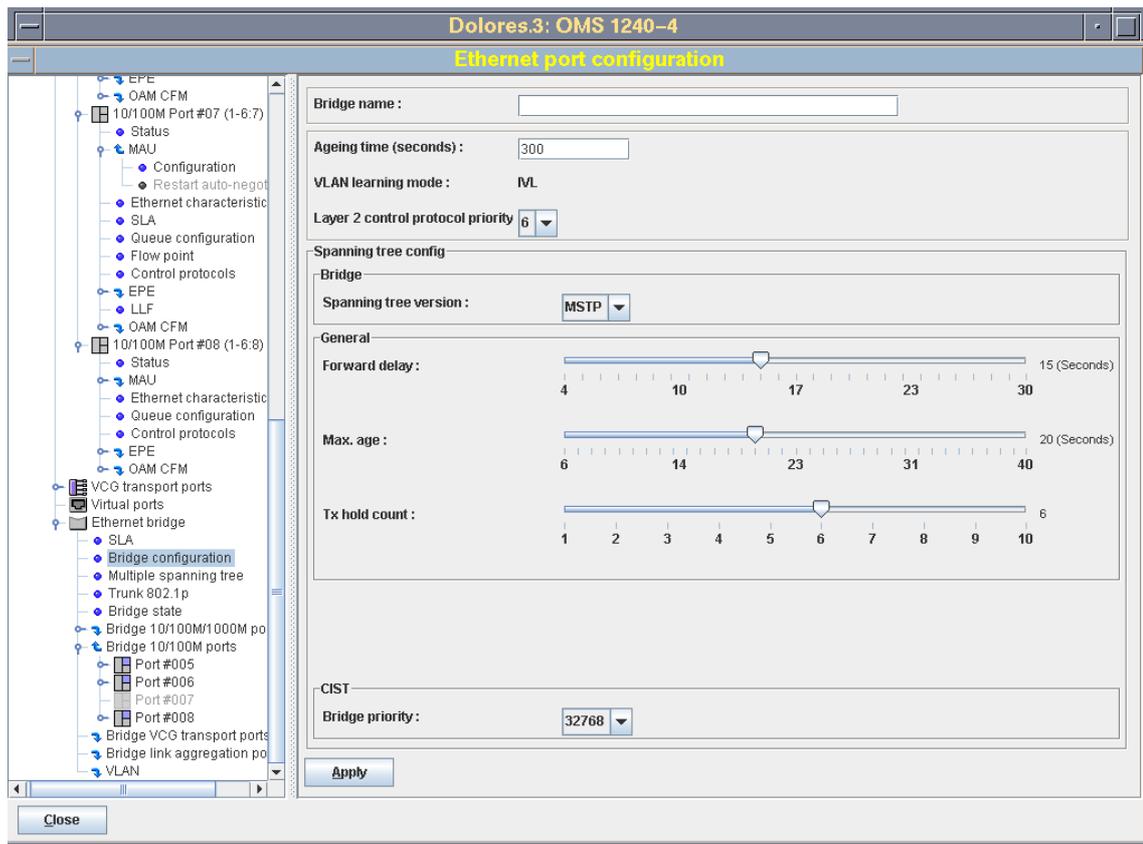


Figura 63 - Configuración del bridge

En la Figura 63 se configura la versión de spanning tree y si se quisiera declarar un nombre al bridge para referencia, pero en este caso no se hará y se deja la configuración que viene pre establecida.

Luego pasamos a la siguiente figura donde se observa el estado general y actual del bridge.

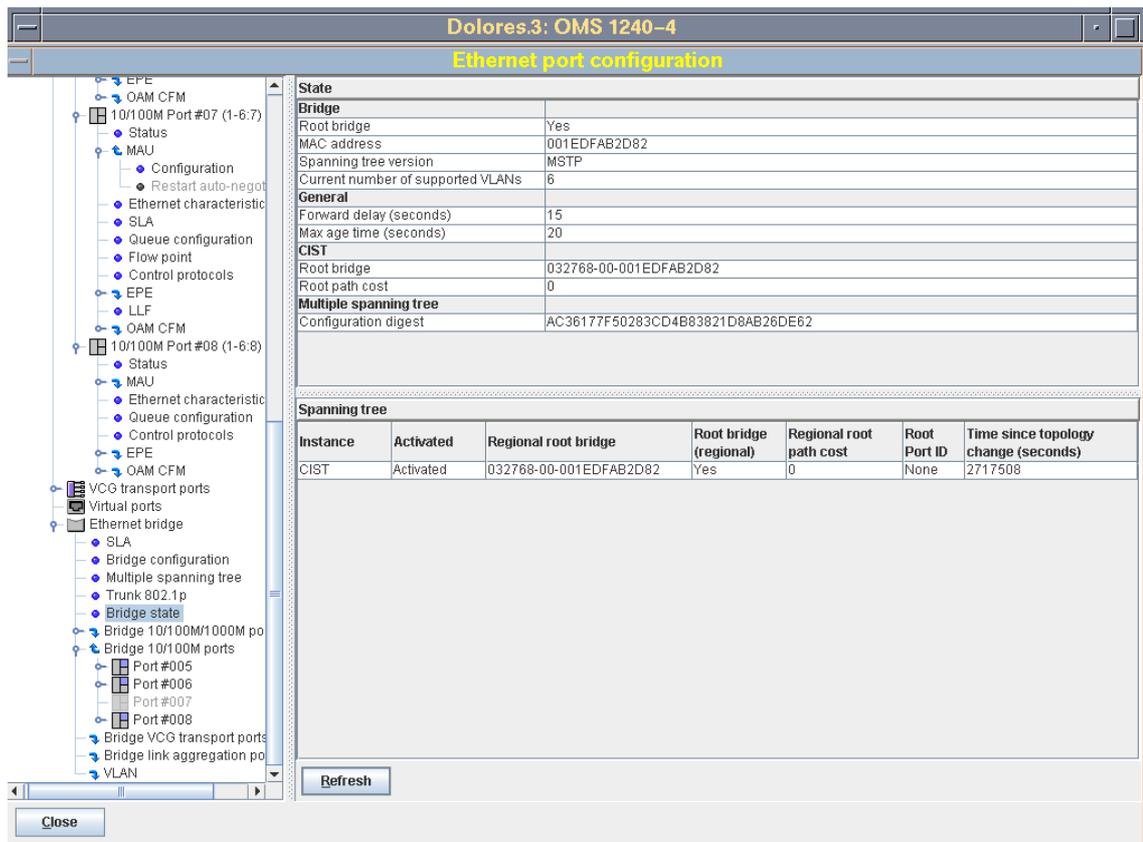


Figura 64 - Estado general del bridge

El siguiente paso es adentrarse en la configuración del puerto 8 del bridge que corresponde al puerto 8 de la placa Ethernet switch según la conexión que se realizó en la Figura 57.

En la primer pestaña denominada Port configuration (Figura 65) se configura el nombre que se quiere asignar al puerto aunque en este caso se dejará en blanco. También se observa la casilla donde habilitamos el puerto y donde debemos configurar los parámetros de spanning tree y de calidad de servicio. Como se puede ver y debido a que el puerto está dedicado para un solo cliente, se configura el valor de CIR y de PIR en 45Mbps, que es el total del ancho de banda disponible en este caso (debido a los 21 VC12 que asignamos al VCG). Los valores de CBS y PBS se dejan por defecto y se deja el spanning tree habilitado.

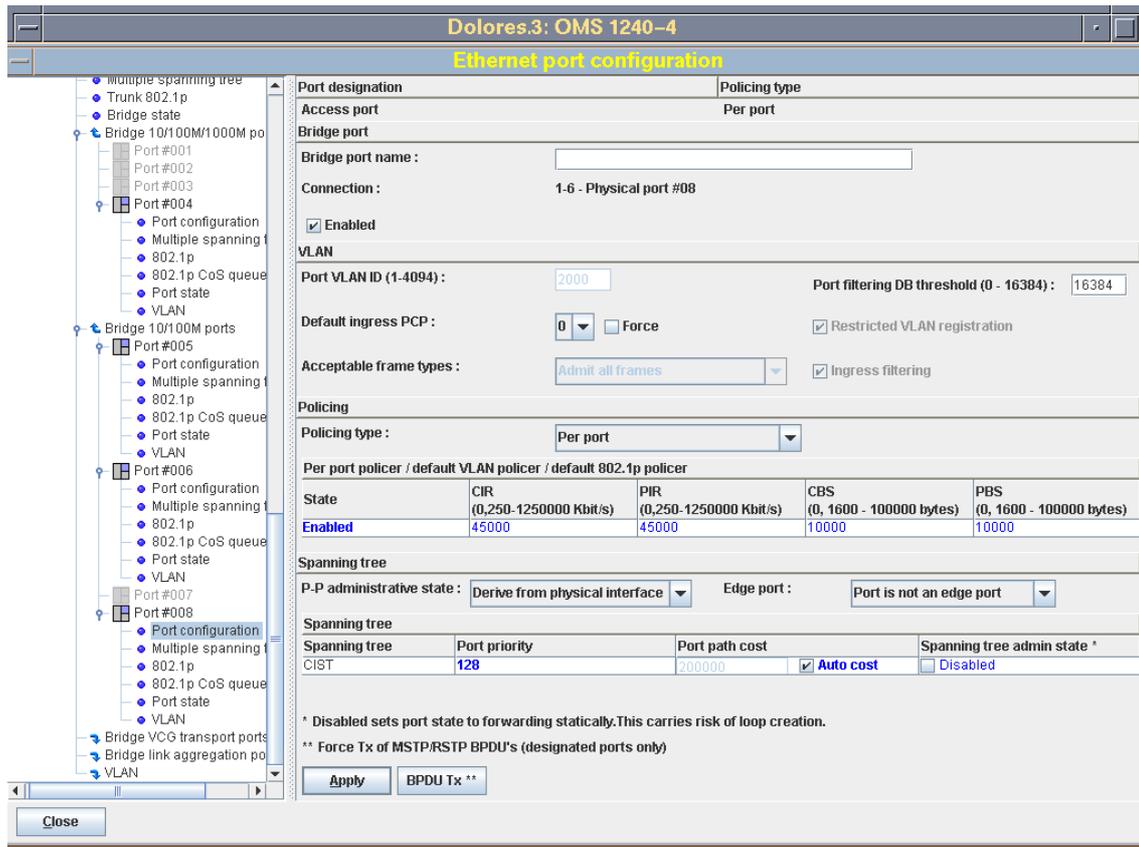


Figura 65 - Configuración del puerto 8 del bridge

La siguiente pestaña que nos interesará es la de Port state (Figura 66) donde se puede ver el estado y algunas configuraciones del puerto para luego ir hacia la pestaña VLAN (Figura 67) donde se asignará la VLAN 2000 y se establecerá a que el puerto funcione como acceso.

Por último se debe configurar el puerto 10 del bridge que es el que está conectado al VCG 102. Las pantallas de configuración son las mismas solo que ahora no se configurará política de calidad de servicio y se establecerá el puerto como trunk (Figura 68 y Figura 69).

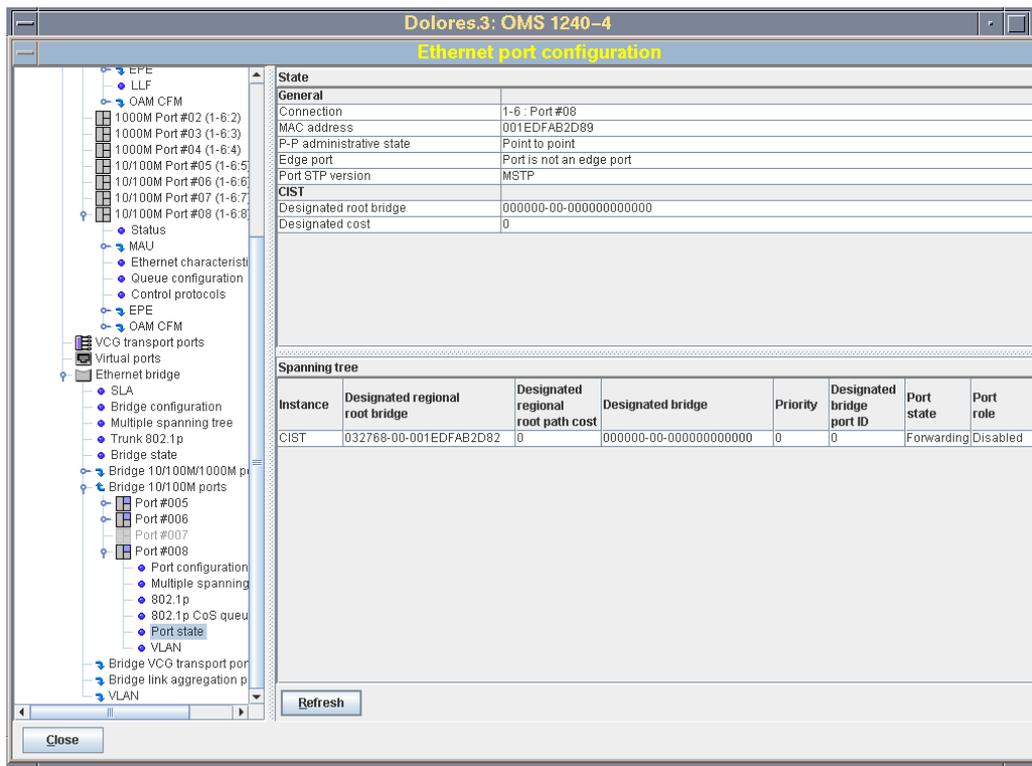


Figura 66 - Estado del puerto 8 del bridge

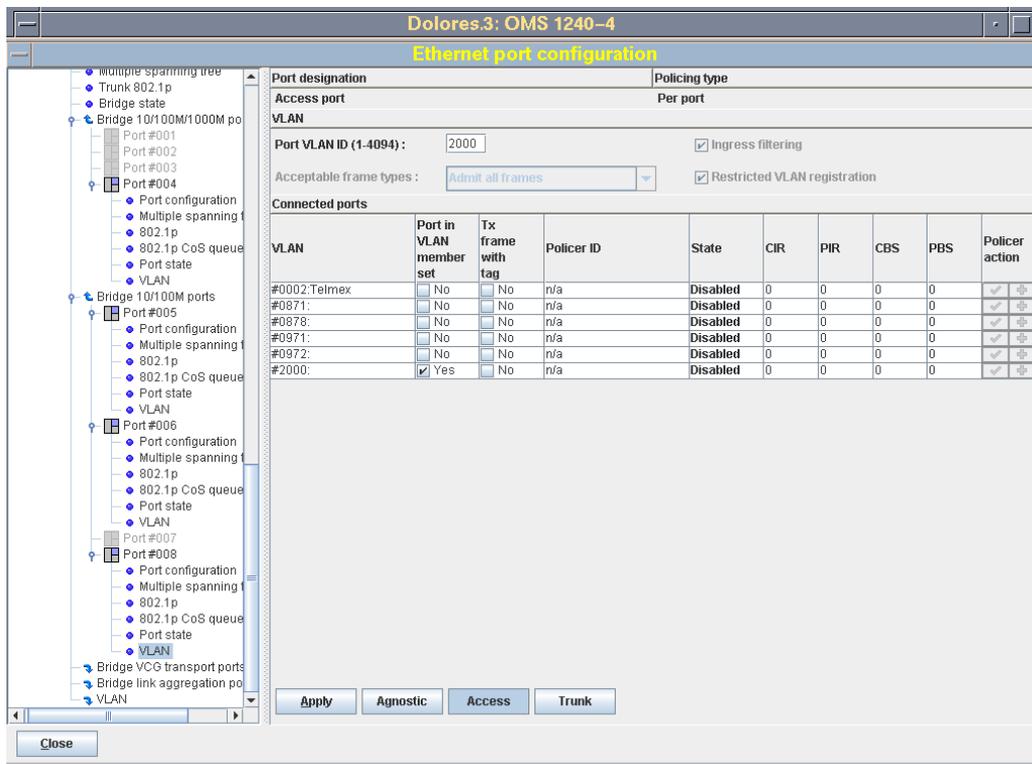


Figura 67 - Configuración de VLAN del puerto 8

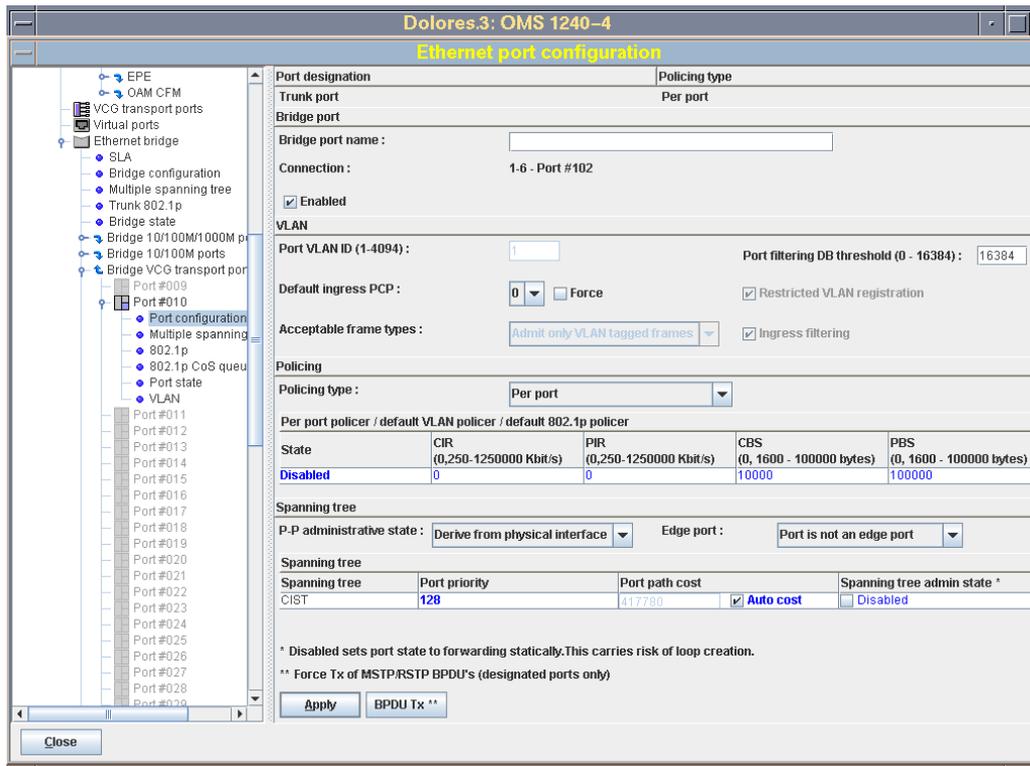


Figura 68 - Configuración del puerto 10 del bridge

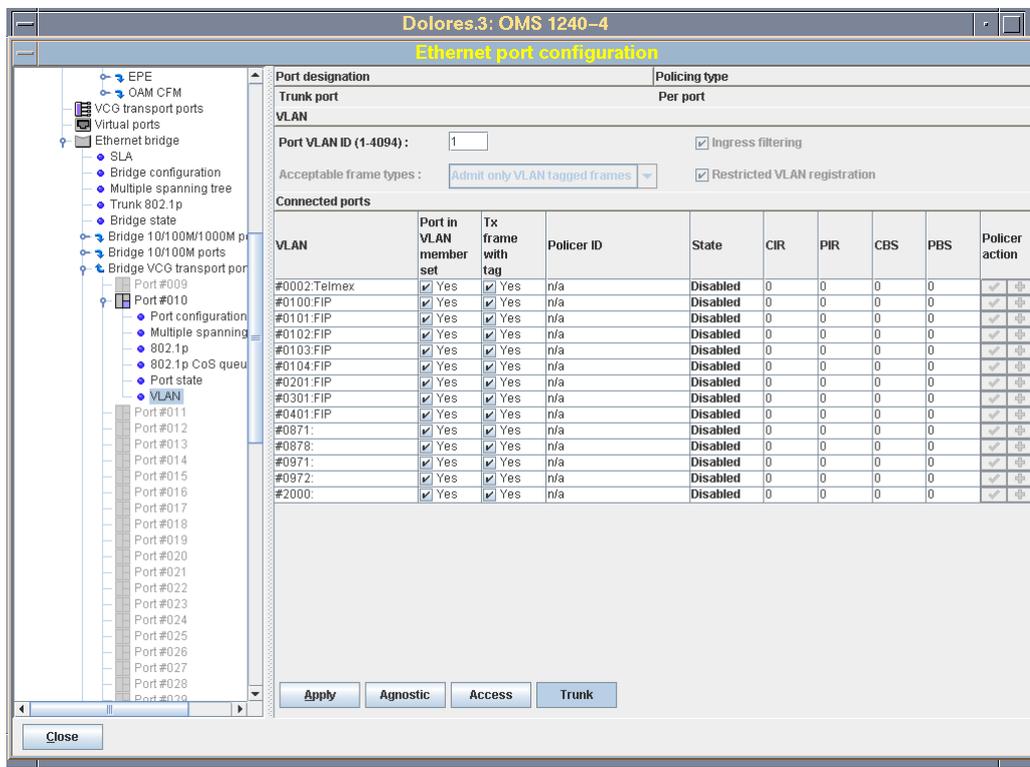


Figura 69 - Configuración de VLAN del puerto 10

Si se realizan los mismos pasos de configuración en las tarjetas Ethernet switch de ambos extremos, se puede decir que el enlace Ethernet sobre SDH ya está operativo. Como se mencionó, en este caso solo se mostró la configuración del primer enlace y de la tarjeta de un solo extremo por lo que se debería hacer lo mismo en el otro extremo y también realizar toda la configuración del siguiente enlace con sus respectivas tarjetas.

8.3.3 VERIFICACIONES DE CONECTIVIDAD

En esta sección simplemente se muestran las pruebas que se realizan para comprobar que el servicio Ethernet está funcionando correctamente.

En la siguiente figura podemos observar la IP de la interfaz lub Ethernet de la radiobase 3G (10.150.142.15).

The screenshot displays the 'BTS Site Manager' web interface. The main window shows the configuration for a 'Transport Ethernet interface'. The IP address is set to 10.150.142.15 with a subnet mask of 25. The bandwidth is 100.0 Mbit/s. The traffic shaping type is WFQ. The total shaper information rate is 50.0 Mbit/s, and the total shaper burst size is 4000 octets. The shaper information rate is 100.0 Mbit/s, and the shaper burst size is 4000 octets. The committed information rate is 18.0 Mbit/s. The interface area is set to OSPF disabled. The interface cost is 1.65535. The interface is configured with QoS and Ethernet overhead. The connectivity state to DR or BDR is Down. The interface area is OSPF disabled. The configured interface cost is 1.65535. The interface is configured with QoS and Ethernet overhead. The connectivity state to DR or BDR is Down. The interface area is OSPF disabled. The configured interface cost is 1.65535.

Figura 70 - Configuración IP de la radiobase



Luego en la figura debajo podemos observar como el router en BA378 tiene esa IP en su tabla ARP a través de la interfaz que mira hacia el multiplexor. Si observamos la dirección MAC de la radiobase que está asociada con su IP es 00-40-43-9b-bc-52, la cual coincide con la dirección que aprende el multiplexor por el puerto 8 que era el asignado a la radiobase.

```
Sesión de Telnet - System:10.2.22.71 Mgmt:10.2.22.71 (2)
Conectar 10.2.22.71 Selecionar... Desconectar
SDH_to_MuxA Up Up/Down VPRN 1/2/7
10.150.142.1/25 n/a
UBA378_Direct Down/Down VPRN 1/1/1
10.150.143.1/27 n/a
-----
Interfaces : 2
A:BA378_CGL70_SAR8# show router 4001 arp
-----
ARP Table (Service: 4001)
-----
IP Address MAC Address Expiry Type Interface
-----
10.150.143.1 00:25:ba:d2:b9:74 00h00m00s Oth UBA378_Direct
10.150.142.1 00:25:ba:d2:b8:ea 00h00m00s Oth[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.2 60:a8:fe:e9:0f:94 00h53m03s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.6 00:40:43:3d:82:bc 03h53m41s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.14 04h00m00s Dyn SDH_to_MuxA
10.150.142.15 00:40:43:9b:bc:52 03h58m58s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.16 00:0f:bb:2a:84:d5 03h55m19s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.17 00:40:43:6f:bb:3e 03h59m57s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.18 04h00m00s Dyn SDH_to_MuxA
10.150.142.20 00:40:43:9b:3f:af 03h46m02s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.22 00:0f:bb:f8:1f:1d 01h52m25s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.24 60:a8:fe:a8:ab:91 01h51m07s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.25 00:0f:bb:64:b3:2e 03h25m18s Dyn[I] SDH_to_MuxA
10.150.142.26 04h00m00s Dyn SDH_to_MuxA
-----
No. of ARP Entries: 14
A:BA378_CGL70_SAR8#
```

Figura 71 - Tabla ARP del router

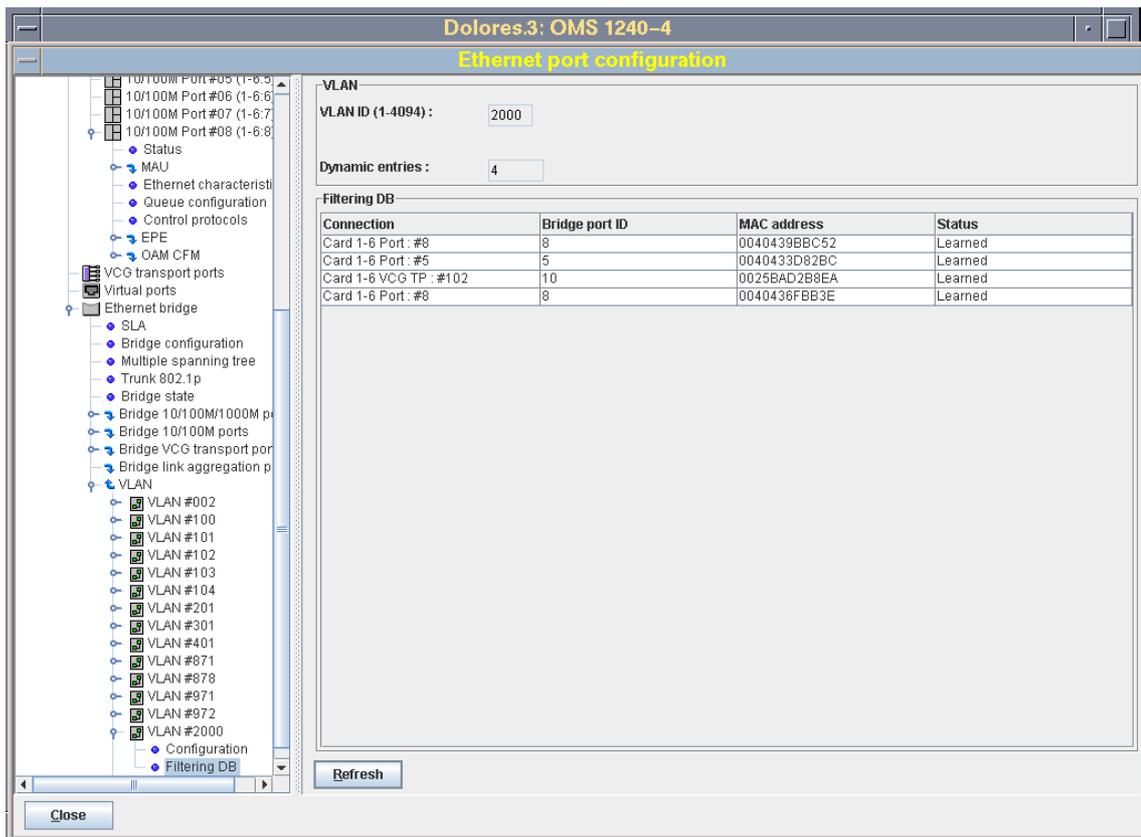


Figura 72 - Tabla de direcciones MAC del multiplexor

En la última imagen podemos observar que se puede realizar una prueba de conectividad la cual responde correctamente.

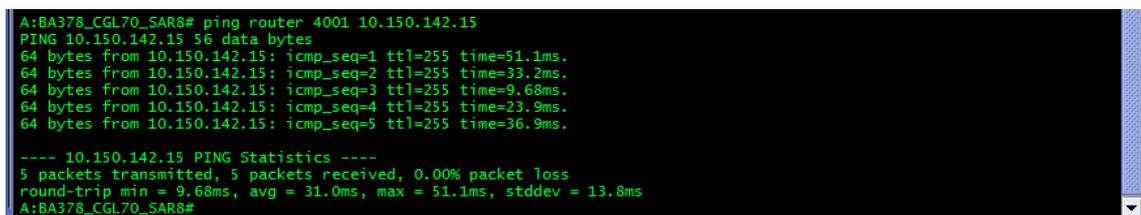


Figura 73 - Prueba de ping desde el router hacia la radiobase



9 CONCLUSIONES

Se puede observar a lo largo de este trabajo que si bien la tecnología en todas su amplitud evoluciona a una velocidad a la cual las compañías y las organizaciones, debido a sus procesos internos, costos y capacidad humana no les resulta tan fácil seguirle el ritmo a los nuevos cambios, siempre existen métodos y recursos que permiten hacer la transición de una manera más suave y alcanzable.

El caso de implementar Ethernet en las redes TDM que fueron originalmente instaladas para el tráfico de las redes móviles de 2G entra dentro de ese marco de métodos utilizados para hacer las transiciones más suaves y acordes a los tiempos manejados por las compañías. En este caso para las interfaces lub de las celdas 3G, pero permitiría la migración de cualquier servicio TDM a Ethernet, incluso hoy en día se está utilizando para transportar las interfaces de los eNodos B de las redes móviles 4G en escenarios donde todavía no existe la red de routers.

Se pudo observar que el funcionamiento es el esperado y que cumple con todos los requerimientos necesarios, por lo que las interfaces transportadas no tienen ninguna limitación ni desventaja, excepto lo relacionado a la capacidad ya que no tiene el dinamismo y el enrutamiento que posee una red nativa de IP/Ethernet, pero es un problema que con una buen análisis de tráfico se puede prevenir, por lo que se concluye que la implementación de Ethernet sobre SDH para transportar el tráfico Ethernet requerido por la evolución de los nodos B en un sistema de comunicaciones móviles de tercera generación (3G) es un recurso totalmente recomendable para hacer frente a la evolución de las tecnologías de transmisión de datos.



10 BIBLIOGRAFÍA

Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y redes de computadores*. Pearson Education.

Forouzan, B. A. (2007). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. McGraw-Hill.

Hundley, K. (2009). *Alcatel-Lucent Scalable IP Networks Self-Study Guide*. Alcatel-Lucent.

Marconi OMS 1200 - Ethernet Services Configuration Guidelines. (2008). Ericsson .

Marconi OMS 1200 - Ethernet Functionality. (2008). Ericsson.

Marconi OMS 1200 – Technical Product Description. (2009). Ericsson.

Dannhart, M. (2002). *Ethernet over SONET* . PCM-Sierra Inc.

Fernandes, A. M. (2011). Ethernet-over-SDH: Technologies Review and Performance Evaluation. *REVISTA TELECOMUNICAÇÕES* , 13.

Mishra, A. R. (2004). *Cellular Network Planning and Optimisation*. John Wiley & Sons.

Moya, J. M. *Comunicaciones Móviles*. Thomson.