

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**PROPUESTA PARA LA MIGRACIÓN
DE LAS TECNOLOGÍAS ATM Y
ETHERNET A GIGABIT ETHERNET
EN EL BACKBONE DE LA RED
CORPORATIVA MULTISERVICIO DEL
AYUNTAMIENTO DE JEREZ DE LA
FRONTERA**

Autor:

Alejandro Sánchez Giménez

Fecha:

Junio de 2004

PROPUESTA PARA LA MIGRACIÓN DE
LAS TECNOLOGÍAS ATM Y ETHERNET
A GIGABIT ETHERNET EN EL
BACKBONE DE LA RED CORPORATIVA
MULTISERVICIO DEL AYUNTAMIENTO
DE JEREZ DE LA FRONTERA

Fecha: Junio de 2004

Autor: Alejandro Sánchez Giménez

Tutor: Rafael Estepa Alonso

CALIFICACIÓN:

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
AGRADECIMIENTOS	ix
1. Introducción y Objetivos.....	1
1.1. Orígenes	1
1.2. Evolución	2
1.3. Objetivos.....	2
2. Conceptos Básicos.....	4
2.1. Tecnologías para la red de datos	4
2.1.1. ATM	4
2.1.1.1. ¿Qué es ATM?.....	4
2.1.1.2. Formato básico de la celda ATM.....	5
2.1.1.3. Establecimiento de conexiones y transmisión	5
2.1.1.4. Conexiones Virtuales de ATM.....	6
2.1.1.5. Modelo de referencia de ATM	7
2.1.1.6. Clases de servicios ofrecidos por ATM	8
2.1.2. Gigabit Ethernet	10
2.1.2.1. ¿Qué es Ethernet?	10
2.1.2.2. Formato de la trama Ethernet.....	10
2.1.2.3. ¿Qué es Gigabit Ethernet?	12
2.1.2.4. Arquitectura del Protocolo Gigabit Ethernet	13
2.1.2.4.1. La capa física	14
2.1.2.4.2. La capa de Enlace	15
2.1.2.4.2.1 Nivel MAC:.....	15
2.1.2.4.2.2 Nivel de Enlace Lógico.....	17
2.2. Tecnologías para el transporte de voz	18
2.2.1. Transporte de voz sobre ATM: emulaciones E1.....	18
2.2.2. Voz sobre IP (VoIP)	19
2.2.2.1. ¿Por qué usar redes IP?	19
2.2.2.2. El estándar H.323	20
2.2.2.3. Elementos de una red VoIP	21
2.2.3. TDM sobre IP (TDMoIP).....	22

2.2.3.1. Tipos de TDMoIP	22
2.2.3.2. Esquema de funcionamiento.....	23
2.2.3.3. Encapsulación TDMoIP	23
2.2.3.4. Señalización OAM.....	24
2.2.3.4.1. Mensajes de comprobación de conectividad	24
2.2.3.4.2. Formato de los paquetes OAM.....	25
2.3. Calidad de Servicio (QoS) en redes IP	26
2.3.1. Terminología QoS.....	26
2.3.2. QoS paso a paso	27
2.3.2.1. Marcado de la trama entrante, <i>scheduling</i> y evitación de la congestión	28
2.3.2.1.1. Marcado.....	28
2.3.2.1.2. Scheduling	28
2.3.2.1.3. Evitación de la congestión.....	29
2.3.2.1.4. Diagrama de flujo.....	30
2.3.2.2. Clasificación, marcado y política de ancho de banda en el <i>switching</i> <i>engine</i>	31
2.3.2.2.1. Clasificación	32
2.3.2.2.2. Marcado.....	33
2.3.2.2.3. Políticas de ancho de banda	34
2.3.2.3. <i>Scheduling</i> ,evitación de la congestión y marcado en el puerto de salida	35
2.3.2.3.1. <i>Scheduling</i> y evitación de la congestión	36
2.3.2.3.2. Marcado.....	36
3. Análisis del estado actual de la red.....	38
3.1. La Red de Datos	38
3.1.1. Pequeños emplazamientos: tecnología Ethernet	39
3.1.2. Grandes emplazamientos: tecnología ATM	40
3.1.3. Resumen de infraestructuras y tecnologías empleadas en la troncal	42
3.1.4. Esquema lógico de la red de datos	42
3.1.5. Esquema físico de la red de datos	46
3.2. La red de voz.....	48
3.2.1. El sistema Ibercom	48
3.2.2. Transporte de voz sobre ATM.....	50

3.2.3. Esquema de la red de voz	52
<i>3.3. Justificación del cambio.....</i>	<i>54</i>
3.3.1. Discusión de las tecnologías para la red de datos	55
3.3.1.1. ATM vs. Gigabit Ethernet	56
3.3.2. Discusión para el transporte de la voz.....	58
3.3.2.1. TDMoIP vs ATM	58
3.3.2.2. TDMoIP vs VoIP	60
4. Nueva solución de red	62
<i>4.1. Red de transporte.....</i>	<i>62</i>
4.1.1. Electrónica de red	63
4.1.1.1. Catalyst 3750.....	64
4.1.1.2. Catalyst 6500.....	65
4.1.1.2.1. Catalyst 6506	66
4.1.1.2.2. Catalyst 6509	67
4.1.2. Sistema de gestión	70
4.1.3. Mejoras en las infraestructuras de cableado	71
4.1.3.1. Modificaciones en la infraestructura de fibra	71
4.1.3.2. Mejoras en cableados de edificios	73
<i>4.2. Integración de la voz</i>	<i>74</i>
4.2.1. Aspectos a tener en cuenta en la implementación	75
4.2.2. Hardware empleado	76
4.2.3. VLANs.....	79
<i>4.3. Gestión de QoS en la red de transporte.....</i>	<i>79</i>
4.3.1. Hardware empleado	80
4.3.1.1. Cisco Catalyst 6509	81
4.3.1.2. Cisco Catalyst 6506	81
4.3.2. Configuración de los puertos de los conmutadores	82
5. Planificación de la migración	84
<i>5.1. Fase I</i>	<i>84</i>
<i>5.2. Fase II.....</i>	<i>85</i>
<i>5.3. Fase III.....</i>	<i>86</i>
<i>5.4. Fase IV.....</i>	<i>86</i>

5.5. Fase V.....	87
5.6. Fase VI	89
5.7. Cronograma	89
6. Presupuesto.....	93
6.1. Infraestructuras de comunicaciones	93
6.2. Hardware de datos	93
6.3. Hardware TDMoIP	94
6.4. Software de gestión	94
6.5. Total Proyecto	94
7. Conclusiones y líneas de avance	95
7.1. Conclusiones	95
7.2. Líneas de avance	97
ANEXOS	98
Anexo I: Campos de la cabecera TDMoIP	99
Palabra de Control TDMoIP	99
Cabecera de red	100
Ethernet.....	101
Formato de la carga útil TDMoIP	101
Anexo II: Formato de los paquetes OAM	104
Anexo III: Configuración de los Gateways TDMoIP	106
Instalación del software	106
lpmux-16.....	107
lpmux-1.....	109
Modo de funcionamiento.....	110
Anexo IV: Cálculo del número de subtramas incluidas en un paquete TDMoIP	115
Anexo V: Configuración de QoS en Catalyst 6500	117
Configuración interfaces Tipo A	117
Configuración interfaces Tipo B	119

Índice

Configuración interfaces Tipo C 120

Bibliografía **124**

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: FORMATO DE LA CELDA ATM	5
FIGURA 2.2: TIPOS DE CONEXIONES ATM	6
FIGURA 2.3: SERVICIOS ATM	9
FIGURA 2.4: FORMATO DE LA TRAMA ETHERNET	11
FIGURA 2.5: ARQUITECTURA GIGABIT ETHERNET	13
FIGURA 2.6: CARRIER EXTENSION	16
FIGURA 2.7: FRAME BURSTING	17
FIGURA 2.8: EMULACIÓN E1 SOBRE ATM	18
FIGURA 2.9: ELEMENTOS DE UNA RED VOIP	22
FIGURA 2.10: FUNCIONAMIENTO DE TDMOIP	23
FIGURA 2.11: FORMATO DE LOS PAQUETES TDMOIP	24
FIGURA 2.12: FORMATO DE LOS PAQUETES OAM	26
FIGURA 2.13: QOS PASO A PASO	27
FIGURA 2.14: EJEMPLO DE USO DE UMBRALES PARA EVITAR LA CONGESTIÓN	30
FIGURA 2.15: MARCADO DE LA TRAMA ENTRANTE, SCHEDULING Y EVITACIÓN DE LA CONGESTIÓN	31
FIGURA 2.16: CLASIFICACIÓN, MARCADO Y POLÍTICA DE ANCHO DE BANDA EN EL SWITCHING ENGINE	35
FIGURA 2.17: MARCADO DE LAS TRAMAS IP EN EL MSFC	37
FIGURA 2.18: SCHEDULING, EVITACIÓN DE LA CONGESIÓN Y MARCADO EN EL PUERTO DE SALIDA	37
FIGURA 3.1: CONEXIÓN ETHERNET	39
FIGURA 3.2: EMPLAZAMIENTOS CON TECNOLOGÍA ETHERNET	39
FIGURA 3.3: EMPLAZAMIENTOS CON TECNOLOGÍA ATM	41
FIGURA 3.4: CONEXIONES ATM	41
FIGURA 3.5: RESUMEN DE INFRAESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍAS	42
FIGURA 3.6: ESQUEMA LÓGICO DE LA RED DE DATOS	44
FIGURA 3.7: LEYENDAS DEL ESQUEMA LÓGICO	45
FIGURA 3.8: CONEXIÓN EN EDIFICIOS	46
FIGURA 3.9: ESQUEMA FÍSICO DE LA RED DE DATOS	47
FIGURA 3.10: EMULACIÓN DE E1 SOBRE ATM	50
FIGURA 3.11: EQUIPAMIENTO DE CENTRALITAS MD-110	51

FIGURA 3.12: ESQUEMA DE LA RED DE VOZ	53
FIGURA 4.1: NUEVA SOLUCIÓN DE RED.....	62
FIGURA 4.2: EQUIPAMIENTO CATALYST 3750 NECESARIO	65
FIGURA 4.3: MÓDULOS GBIC NECESARIOS	67
FIGURA 4.4: NUEVO ESQUEMA LÓGICO DE LA RED DE DATOS	69
FIGURA 4.5: NUEVO ESQUEMA FÍSICO DE LA RED DE DATOS.....	72
FIGURA 4.6: NUEVO ESQUEMA DE LA RED DE VOZ	78
FIGURA 4.7: ESQUEMA DE INTERFACES DONDE CONFIGURAR QOS.....	83
FIGURA 5.1: FASE I DE LA MIGRACIÓN.....	84
FIGURA 5.2: FASE II DE LA MIGRACIÓN.....	85
FIGURA 5.3: FASE III DE LA MIGRACIÓN	86
FIGURA 5.4: FASE IV DE LA MIGRACIÓN.....	87
FIGURA 5.5: FASE V DE LA MIGRACIÓN	88
FIGURA 5.6: FASE VI DE LA MIGRACIÓN.....	89
FIGURA 5.7: CRONOGRAMA FASES I Y II	90
FIGURA 5.8: DESCRIPCIÓN FASES I Y II	90
FIGURA 5.9: CRONOGRAMA FASES III Y IV	91
FIGURA 5.10: DESCRIPCIÓN FASES III Y IV	91
FIGURA 5.11: CRONOGRAMA FASES V Y VI	92
FIGURA 5.12: DESCRIPCIÓN FASES V Y VI	92
FIGURA 6.1: PRESUPUESTO INFRAESTRUCTURAS DE COMUNICACIONES.....	93
FIGURA 6.2: PRESUPUESTO HARDWARE DE DATOS	93
FIGURA 6.3: PRESUPUESTO HARDWARE TDMOIP	94
FIGURA 6.4: PRESUPUESTO SOFTWARE DE GESTIÓN.....	94
FIGURA A.1: FORMATO DE LA PALABRA DE CONTROL DE TDMOIP	99
FIGURA A.2: CABECERA UDP/IP.....	100
FIGURA A.3: AGRUPACIÓN DE SUBTRAMAS EN EL PAQUETE TDMOIP	102
FIGURA A.4: ESTRUCTURA DE LA PALABRA DE CONTROL TDMOIP.....	103
FIGURA A.5: PAQUETE OAM	104
FIGURA A.6: CAMPO SERVICE SPECIFIC INFORMATION.....	105
FIGURA A.7: RADVIEW-SC-TDMOIP	106
FIGURA A.8: DESCUBRIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS TDMOIP	107
FIGURA A.9: CARACTERIZACIÓN IPMUX-16.....	108
FIGURA A.10: CONFIGURACIÓN IPMUX-16.....	108
FIGURA A.11: CARACTERIZACIÓN IPMUX-1.....	109

FIGURA A.12: CARACTERIZACIÓN IPMUX-1	109
FIGURA A.13: FUNCIONAMIENTO <i>NORMAL</i>	110
FIGURA A.14: CREACIÓN DE LOS CIRCUITOS TDMOIP	111
FIGURA A.15: TABLA DE CIRCUITOS CREADOS	112
FIGURA A.16: CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS TDMOIP	113
FIGURA A.17: ESQUEMA CIRCUITO TDMOIP	115

AGRADECIMIENTOS

Quisiera dedicar estas líneas a todas las personas sin las cuales no hubiera sido posible realizar este proyecto. En especial a mis padres y a mi novia por su apoyo y constantes ánimos para que lo terminase; a mi tutor, por su inestimable ayuda durante la duración del proyecto; y a todos mis compañeros de Jesytel, que tanto me han ayudado con todas las dudas y problemas que me han surgido en la elaboración del mismo.

1. Introducción y Objetivos

1.1. Orígenes

La idea de crear una red corporativa propiamente dicha que soportara las comunicaciones, tanto de voz como de datos, de la Corporación Municipal del Ayuntamiento de Jerez surgió en 1997 con la fundación de Jesytel (Jerez Sistemas y Telecomunicaciones).

Esta empresa municipal se creó con la intención de unificar la informática y las comunicaciones de la Corporación Municipal que hasta ese momento funcionaba como una serie de edificios aislados, cada uno con su propia red y sus propios recursos. Los edificios que poseían su propia infraestructura de red por aquel entonces eran Jereyssa, Ajemsa, G.M.U. y el propio Consistorio. En cada uno de estos edificios existían servidores locales en los que se almacenaba la información de la empresa así como los programas que utilizaban los usuarios en ellas.

Las tecnologías escogidas en su momento para llevar a cabo este proyecto de red corporativa fueron Ethernet a 10/100 Mbps, para emplazamientos pequeños, y ATM a 155 Mbp para los edificios con mayor demanda de servicios.

Mediante esta tecnología y con la instalación de una infraestructura de comunicaciones basada fundamentalmente en fibra óptica, tanto monomodo como multimodo, se garantizaba un servicio adecuado a la corporación, teniendo en cuenta tanto las necesidades de comunicación propias de cada empresa como el más que previsible crecimiento de la plantilla municipal. La Calidad de Servicio para las comunicaciones de voz garantizada por ATM jugó un importante valor a la hora de decantarse por esta tecnología en aquellos emplazamientos que demandaban un mayor volumen de tráfico.

1.2. Evolución

Como resultado de la evolución tecnológica que se viene experimentando en los últimos años, de la aparición de herramientas informáticas cada vez más potentes, así como del crecimiento del personal de la Corporación Municipal, la red corporativa debe soportar grandes volúmenes de tráfico de voz y datos. La aparición de estas nuevas necesidades de comunicación han provocado que la capacidad de la actual red para soportarlas se haya visto mermada de manera importante. Esto conlleva un deterioro de la calidad de servicio ofrecida a los usuarios, cuyas aplicaciones demandan cada vez un ancho de banda mayor.

Asimismo, desde el punto de vista de la electrónica de red, nos encontramos con un equipamiento obsoleto. El hecho de que estos equipos se encuentren descatalogados, en algunos casos, por el fabricante ocasiona gran cantidad de problemas a la hora de buscar repuestos. Del mismo modo cualquier posibilidad de ampliación se ve complicada por la falta de los componentes necesarios en el mercado debido fundamentalmente a la aparición de nuevas tecnologías y con ellas nuevos equipos y componentes que han sustituido a los anteriores.

Por todo ello se plantea la necesidad de implantar una nueva red acorde con las necesidades actuales, capaz de adaptarse a las nuevas tecnologías venideras y al crecimiento de la Corporación de una manera rápida, flexible y cómoda, sin necesidad de realizar grandes cambios en la estructura de la misma.

1.3. Objetivos

El objeto del presente proyecto es ofrecer una posible solución para la mejora de la red corporativa del Ayuntamiento de Jerez mediante la implantación de la tecnología *Gigabit Ethernet* en su red troncal. Esta tecnología sustituirá a las que actualmente se emplean, basadas Ethernet a 10/100 Mbps en unos enlaces y en ATM a 155 Mbps en otros.

Mediante este diseño se pretenden integrar los servicios de voz y datos en una única red inteligente, con capacidad para asignar prioridades al tráfico en tiempo real y

la optimización del ancho de banda, ofreciendo la Calidad de Servicio (QoS) necesaria para la implementación del transporte de tráfico de voz sobre la red de datos Gigabit Ethernet.

Características como tiempo de disponibilidad elevado, óptima calidad de servicio y alto grado de seguridad deben ser premisas a la hora de llevar a cabo el diseño de la nueva red, de manera que la integración de todas ellas, junto con otras no menos importantes como una gestión sencilla, hagan de ésta una estructura de comunicaciones eficiente, robusta y fiable.

La arquitectura de la nueva red estará basada en la actual, aprovechándose aquellas infraestructuras de comunicaciones que se consideren oportunas y desplegando nuevos medios en aquellos emplazamientos que no estén preparados para soportar la implantación de la nueva tecnología.

Del mismo modo se abordará la mejora de los cableados LAN en aquellos edificios corporativos que, debido a su antigüedad y/o mal estado de conservación, así lo requieran. De esta manera se logran unos requisitos mínimos en la capa física acordes con la avanzada tecnología de red que se va a instalar, eliminando posibles problemas y limitaciones a este nivel.

Los beneficios derivados del desarrollo de la nueva red son claros:

- Una red más rápida.
- Una red más fiable.
- Una red más segura.

Todo ello redundará en un incremento notable de la productividad, gracias a un diseño mas optimizado y flexible de la red, modificando la percepción de la informática por parte del personal del ayuntamiento, que con los servicios que le presta este nuevo diseño se convierte en miembro activo de la red corporativa..

2. Conceptos Básicos

En este apartado trataremos de exponer, de forma resumida, los conceptos básicos que definen las tecnologías objeto de estudio de este proyecto, tanto para la red de datos como para la red de voz.

Posteriormente se describirán las técnicas empleadas para ofrecer Calidad de Servicio al transporte de voz sobre Gigabit Ethernet.

2.1. Tecnologías para la red de datos

Las dos tecnologías candidatas para transportar los datos a través del *backbone* de la red son ATM y Gigabit Ethernet. Veamos a continuación cada una de ellas con más detalle.

2.1.1. ATM

2.1.1.1. ¿Qué es ATM?

ATM (Modo de Transferencia Asíncrona) es un estándar de la ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sector de Estándares en Telecomunicaciones), para la conmutación de celdas donde la información para múltiples tipos de servicio como voz, video y los datos, se transporta en celdas pequeñas de tamaño fijo. Esta tecnología fue inicialmente concebida para el transporte a alta velocidad de voz, video y datos a través de redes públicas. El Foro de ATM amplió la visión de la ITU-T de ATM y planteó sus uso en redes públicas y privadas.

ATM reúne los beneficios de la conmutación de circuitos (capacidad y retardo de transmisión constante, ambos garantizados) con los de conmutación de paquetes (flexibilidad y eficiencia para tráfico intermitente). Debido a su naturaleza asíncrona es más eficiente que las tecnologías síncronas, como TDM, ya que los intervalos de tiempo en los que una estación puede enviar información están disponibles bajo

demanda, habiendo información en el encabezado de cada celda ATM que identifica el origen de la transmisión.

2.1.1.2. Formato básico de la celda ATM

ATM transfiere información a través de unidades de tamaño fijo llamadas celdas. Cada celda consta de 53 bytes. Los primeros 5 bytes contienen información del encabezado de la celda y los 48 bytes restantes contienen la "carga útil" (la información del usuario), tal y como se muestra a continuación:

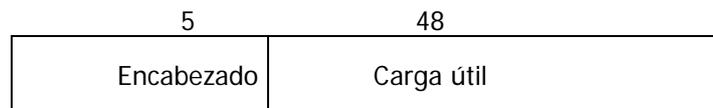


FIGURA 2.1: FORMATO DE LA CELDA ATM

Las celdas pequeñas de tamaño fijo son muy adecuadas para la transferencia de tráfico de voz y video, ya que dicho tráfico no tolera los retardos que surgen por tener que esperar a que un paquete grande de datos descargue su información, entre otras cosas.

La adopción de una cabecera de 5 bytes ha sido posible porque no se realiza recuperación de errores en los nodos intermedios. Tampoco se emplean direcciones válidas a nivel de toda la red, tales como la dirección MAC en Ethernet o IP en redes tipo TCP/IP

2.1.1.3. Establecimiento de conexiones y transmisión

ATM es una tecnología orientada a conexión. Esto implica que antes de empezar a transmitir información se debe establecer un canal de comunicación entre las entidades que toman parte en la transmisión. Esta transmisión es bajo demanda, es decir, una entidad que quiera transmitir debe solicitar a la red un canal con unos parámetros de servicio determinados. Si la red no puede garantizar esa calidad de servicio no se lleva a cabo la conexión. De esta forma se garantiza QoS en las conexiones ATM que así lo requieran.

Un canal de transmisión es compartido por varias conexiones a la vez, lo que implica que debe implementarse algún mecanismo para que todas puedan transmitir. Este mecanismo consiste en una multiplexación temporal, es decir, el canal de transmisión se divide en intervalos temporales iguales, en cada uno de los cuales se transmite una celda. Una característica importante es que la asignación de intervalo de tiempo no es estática. Debido a esto una conexión no tiene que esperar n intervalos de tiempo fijos para volver a transmitir sino que si hay intervalos libres puede utilizarlos en caso de que los necesite, optimizándose así el ancho de banda disponible.

En el caso que durante la conexión no se cumplan los parámetros de servicio especificados durante el establecimiento los conmutadores ATM podrán descartar celdas que no se ajusten a los patrones de tráfico establecidos.

2.1.1.4. Conexiones Virtuales de ATM

Las redes ATM están, fundamentalmente, orientadas a la conexión, lo que significa que se debe establecer un VC (Canal Virtual) a través de la red ATM antes de cualquier transferencia de datos.

En ATM hay dos tipos de conexiones: las trayectorias virtuales, que se identifican por medio de un VPI (Identificadores de Trayectoria Virtual), y los canales virtuales, que se identifican por la combinación de un VPI y un VCI (Identificador de Canal Virtual).

Una trayectoria virtual es un conjunto de canales virtuales que están conmutados de manera transparente a través de una red ATM con base en VPI comunes, tal y como se presenta en el siguiente gráfico:



FIGURA 2.2: TIPOS DE CONEXIONES ATM

Sin embargo, todos los VCIs y VPIs tienen significado local solamente a través de un enlace particular y se calculan de nuevo en cada switch, según sea necesario.

La operación básica de un switch ATM es muy sencilla. La celda se recibe a través de un enlace con un valor VCI o VPI conocido. Este switch mira el valor de la conexión en una tabla de traducción local para determinar el puerto o los puertos de salida de la conexión y el nuevo valor VPI/VCI de la conexión en ese enlace. Posteriormente el switch retransmite la celda a través de ese enlace de salida con los identificadores de conexión adecuados. Como todos los VCIs y VPIs tienen significado local sólo a través de un enlace particular, estos valores se calculan de nuevo en cada switch, según sea necesario.

2.1.1.5. Modelo de referencia de ATM

El modelo de referencia ATM se compone de los siguientes planos que se extienden a través de todas las capas:

- **Control:** este plano es responsable de la creación y administración de las solicitudes de señalización
- **Usuario:** este plano es responsable de la administración de la transferencia de datos.
- **Administración:** este plano tiene dos componentes:
 - o La administración en capa se encarga de administrar las funciones específicas de la capa como la detección de fallos y los problemas de los protocolos.
 - o La administración en el plano se encarga de administrar y coordinar las funciones relacionadas con todo el sistema
 - o

El modelo de referencia ATM se compone de las siguientes capas:

- **Capa física:** es análoga a la capa física del modelo de referencia OSI y administra la transmisión dependiente del medio físico de transmisión.
- **Capa ATM:** combinada con la capa de adaptación de ATM, la capa ATM es análoga, a grandes rasgos, a la capa de enlace de datos del modelo de

referencia OSI. La capa ATM es responsable de establecer conexiones y pasar celdas a través de la red ATM. Para realizar esta función, utiliza la información del encabezado de cada celda ATM.

- **AAL (Capa de Adaptación de ATM):** combinada con la capa de ATM la AAL es análoga a la capa de enlace de datos del modelo OSI. La capa AAL es responsable de aislar los protocolos de capas superiores de los detalles de los procesos de ATM.

Cuando una trama o flujo de bits, cualquiera que sea su origen (voz, datos, imagen o vídeo), entra en una red ATM el nivel de Adaptación la segmenta en celdas. El proceso comienza inmediatamente cuando la primera parte de la trama entra en el conmutador de acceso a la red ATM. No hay que esperar a que llegue completa.

El nivel AAL realiza funciones de Segmentación y Reensamblado (SAR) para mapear la información de niveles superiores al campo de Carga Útil de la celda. Otras funciones de AAL son el control y recuperación de la temporización para las clases de servicio A y B, así como la detección y manejo de celdas perdidas o fuera de secuencia.

2.1.1.6. Clases de servicios ofrecidos por ATM

AAL soporta cuatro tipos de servicios: Clases A, B, C y D. Hay cuatro tipos de AAL: AAL1 y AAL2 soportan las clases A y B respectivamente, mientras que las clases C y D están indistintamente soportadas por AAL3/4 ó AAL5. El protocolo AAL5 (SEAL) es una versión más sencilla y eficiente de la AAL 3/4, soportando las clases de servicio C y D para datos de alta velocidad. Los servicios han sido clasificados de acuerdo con tres criterios:

- La existencia de una temporización relacionada entre los usuarios origen y destino (por ejemplo voz).
- La tasa de bit, o velocidad binaria asociada con la transferencia (constante/CBR o variable/VBR).
- El modo de conexión (con conexión o sin conexión).

En la siguiente figura se muestran los diferentes servicios proporcionados por ATM:

Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Clase de servicio
SI		NO		Temporización Relacionada
Constante	Variable			Tasa bits
Orientado a conexión			Sin conexión	Modo

FIGURA 2.3: SERVICIOS ATM

Los servicios en clase A y B están orientados a conexión y existe una temporización relacionada entre los usuarios origen y destino. La diferencia entre las dos clases es que la clase A proporciona un servicio con tasa de bit constante, mientras que en la clase B la tasa de bit es variable. Un ejemplo de uso de la clase A es la transferencia de un flujo constante de bits asociada con una llamada de voz, por ejemplo a 64Kbps (Similar a un canal B en ISDN). La clase A es también conocida como Emulación de Circuito Conmutado.

Un ejemplo de uso de la clase B es la transmisión de un flujo de bits variable asociado con vídeo comprimido. Aunque el vídeo produce tramas a velocidad constante un codec de vídeo produce tramas conteniendo una cantidad variable de datos comprimidos.

Las clases C y D no tienen temporización relacionada entre el origen y el destino. Ambas proporcionan servicios en modo paquete, con velocidad binaria variable entre origen y destino. La clase C está orientada a conexión y la clase D es sin conexión.

Para realizar las funciones anteriores el nivel AAL está dividido en dos subniveles:

- El Sub-nivel de Convergencia (CS), que realiza las funciones de convergencia entre el servicio ofrecido al usuario y el proporcionado por el nivel ATM.
- El Sub-nivel de Segmentación y Reensamblado (SAR), que realiza las funciones de ensamblado/segmentación de los datos de origen para colocarlos en el campo de información de la celda y la correspondiente función de desensamblado/reensamblado en el destino.

2.1.2. Gigabit Ethernet

2.1.2.1. ¿Qué es Ethernet?

Es la tecnología de red de área local más extendida en la actualidad.

Fue diseñado originalmente por Digital, Intel y Xerox, por lo cual la especificación original se conoce como Ethernet DIX. Posteriormente en 1.983 fue formalizada por el IEEE como el estándar Ethernet 802.3.

La velocidad de transmisión de datos de Ethernet en sus orígenes fue de 10Mbps/s, alcanzando posteriormente velocidades de 100 Mbps en las especificaciones Fast Ethernet.

Al principio sólo se usaba cable coaxial con una topología en BUS. Sin embargo esto ha cambiado y ahora se utilizan nuevas tecnologías como el cable de par trenzado categoría (5e ó 6) o la fibra óptica.

Ethernet/IEEE 802.3 está diseñado de manera que no se puede transmitir más de una información a la vez. El objetivo es que no se pierda ninguna información y se controla con un sistema conocido como CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Detección de Portadora con Acceso Múltiple y Detección de Colisiones). El principio de funcionamiento de este sistema consiste en que una estación, para transmitir, debe detectar la presencia de una señal portadora y, si existe, comienza a transmitir. Si dos estaciones empiezan a transmitir al mismo tiempo se produce una colisión y ambas deben repetir la transmisión. Para ello esperan un tiempo aleatorio antes de repetir, evitando de este modo una nueva colisión ya que ambas escogerán un tiempo de espera distinto. Este proceso se repite hasta que se reciba confirmación de que la información ha llegado a su destino.

2.1.2.2. Formato de la trama Ethernet

El formato de la trama Ethernet es el siguiente:

Preamble (7-bytes)	Start Frame Delimiter (1-byte)	Dest. MAC Address (6- bytes)	Source MAC Address (6- bytes)	Length / Type (2- bytes)	MAC Client Data (0-n bytes)	Pad (0-p bytes)	Frame Check Sequence (4-bytes)
-----------------------	---	--	---	-----------------------------------	---	-----------------------	---

FIGURA 2.4: FORMATO DE LA TRAMA ETHERNET

Siendo cada uno de los campos los siguientes:

- **Preamble:** Secuencia de 56 bits con valores alternados 1 y 0 usados para la sincronización . Esto sirve para que los componentes en la red puedan detectar la presencia de señal y puedan leer la señal antes de que llegue la trama de datos.
- **Start Frame Delimiter:** Secuencia de 8 bits configurados a 10101011 que indica el inicio de la trama.
- **Destination & Source MAC Addresses:** El campo Destination MAC Address (Dirección MAC Destino) identifica la estación que debe recibir la trama. La Source MAC Address (Dirección MAC Origen) identifica la estación origen de la trama. El estandar 802.3 permite que estos campos de dirección sean de 2 o 6 bytes de longitud pero virtualmente todas las implementaciones Ethernet en existencia usan direcciones de 6 bytes. La Dirección Destino puede especificar una "dirección individual" dirigido a una estación única o una "dirección multicast" destinada a un grupo de estaciones. Una dirección destino con todos los bits en 1 se refiere a todas las estaciones en la LAN y es denominada "dirección broadcast" (o difusión).
- **Length/Type:** Si el valor de este campo es menor o igual que 1500, entonces el campo Length/Type indica el número de bytes en el subsiguiente campo MAC Client Data. Si el valor de este campo es mayor o igual que 1536, entonces el campo Length/Type indica la naturaleza del protocolo MAC del cliente (tipo de protocolo).
- **MAC Client Data:** Este campo contiene los datos transferidos desde la estación origen hasta la estación destino (o estaciones). El tamaño máximo de este campo es de 1500 bytes. Si el tamaño de este campo es menor de 46 bytes, entonces es necesario el uso del campo subsiguiente "Pad" para hacer que el tamaño de la trama alcance el tamaño mínimo.

- **Pad:** Si es necesario, bytes adicionales son agregados en este campo para hacer que la longitud de la trama alcance su valor mínimo. El mínimo tamaño de trama Ethernet es 64 bytes desde el campo Destination MAC Address hasta el campo Frame Check Sequence.
- **Frame Check Sequence:** Este campo contiene un valor de chequeo de redundancia de 4 bytes (CRC) para verificación de errores. Cuando una estación origen ensambla una trama MAC, realiza un cálculo CRC sobre todos los bits desde el campo Destination MAC Address hasta el campo Pad (todos los campos excepto el preambulo, el delimitador de trama y la secuencia de chequeo de trama). La estación origen almacena este valor y lo transmite como parte de la trama. Cuando la trama es recibida por la estación destino, esta realiza un chequeo idéntico. Si el valor calculado no coincide con el valor en el campo, la estación destino asume que ha sido un error durante la transmisión y entonces descarta la trama completa.

2.1.2.3. ¿Qué es Gigabit Ethernet?

Gigabit Ethernet no es otra cosa que el bien conocido Ethernet, desarrollado hace casi 30 años, pero a velocidades de 1000 Mbps. Es compatible con 100BASE-T Y 10BASE-T, facilitando así la migración. El estándar que lo define es el IEEE 802.3z

Utiliza el mismo formato de trama y la misma tecnología de control de acceso al medio (MAC) que otras tecnologías 802.3, así como idéntica tecnología full-duplex y control de flujos. Como sus predecesores, al operar al nivel 2 del modelo de referencia OSI, complementa los protocolos TCP e IP que trabajan en los niveles 3 y 4, proporcionando comunicaciones fiables entre aplicaciones. Asimismo, como Ethernet y Fast Ethernet, soporta tecnologías y estándares de calidad de servicio (QoS) para priorizar aplicaciones en función de su carácter crítico y tratar adecuadamente el tráfico multimedia.

Las características que se deseaban y se tomaron en cuenta al desarrollar este estándar fueron las siguientes:

- **Compatibilidad con Ethernet y Fast Ethernet:** uno de los aspectos más importantes era que se mantuviera la compatibilidad con las

especificaciones de Ethernet, para así no tener que cambiar todos los programas y protocolos ya implementados, sino poder seguir usando los mismos. Entre los aspectos de Ethernet que se deseaban mantener iguales están: el formato del marco, el tamaño mínimo y máximo de un marco (64 bytes y 1514 bytes) y el protocolo CSMA/CD.

- Se deseaba también que el estándar soportara varios distintos medios físicos, especialmente fibra óptica y cable de cobre. Todas estas características eran deseadas con el objetivo de poder modificar partes de la red sin tener que cambiarla completamente, tener flexibilidad en el diseño de la red, y no tener necesidad de reimplementar o ajustar los protocolos/programas existentes para adaptarlos a la nueva tecnología.

2.1.2.4. Arquitectura del Protocolo Gigabit Ethernet

El estándar Gigabit Ethernet, al igual que los otros estándares existentes de Ethernet, especifica el funcionamiento de las dos capas más bajas del modelo OSI. Estas capas son la capa física y la capa de enlace. Todos los estándares de Ethernet dividen la capa de enlace en dos subcapas: LLC (Link Layer Control) y MAC (Medium Access Control). Para mantener la compatibilidad con Ethernet y Fast Ethernet la capa LLC no se modificó en el nuevo estándar, y a la capa MAC sólo se le hicieron pequeñas modificaciones que serán explicadas mas adelante.

La arquitectura se representa en la siguiente figura:

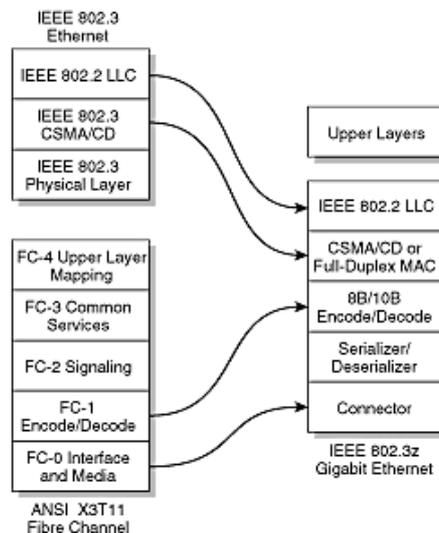


FIGURA 2.5: ARQUITECTURA GIGABIT ETHERNET

2.1.2.4.1. La capa física

En vez de tratar de definir unos estándares desde cero para especificar la capa física, se utilizaron las dos capas inferiores del estándar ANSI X3T11 (Fibre Channel). Fibre Channel es un estándar que ya lleva varios años en vigencia y se realizó con el objetivo de definir vías para comunicar datos a altas velocidades. Al principio se pensó sólo para fibra pero luego se agregó la comunicación por cable de cobre.

La capa FC-0 de Fibre Channel especifica todos los posibles tipos de conectores, aparatos y cables que se pueden utilizar para llegar a ciertas velocidades de transmisión. Es decir, FC-0 define todo lo relativo a la capa física.

La capa FC-1 de Fibre Channel especifica la codificación/decodificación que se tiene que realizar para enviar de manera óptima los datos a través de cada tipo distinto de medio. En el caso de fibra óptica se usa una codificación creada por IBM llamada 8b/10b. Esta codificación toma una secuencia de 8 bits y las transforma en secuencias de 10 bits, cada una de las cuales debe tener una de estas tres formas: 5 ceros y 5 unos, 4 ceros y 6 unos y 6 ceros y 4 unos. La idea es balancear el número de ceros y unos de manera que se elimine la componente DC. Adicionalmente, el esquema de codificación 8b/10b permite enviar un tipo especial de mensajes de control que se utilizan para implementar varias opciones de Gigabit Ethernet, como Carrier Extension y Frame Bursting (serán explicadas más adelante).

Por último, el Serializer/Deserializer es una capa que se agrega para poder serializar la información que llega y adaptarla al esquema de codificación. Por ejemplo para 8b/10b, el Serializer/Deserializer se encarga de juntar todos los bits que llegan en cadenas de 10bits y enviarlas al decodificador.

Con respecto a los tipos de medios físicos que soporta Gigabit Ethernet el estándar 802.3z define las siguientes alternativas:

- **1000BASE-SX**: esta opción, en la que se usan longitudes de onda pequeñas, proporciona enlaces duplex de 275 m usando fibras multimodo de 62,5 μm ó hasta 550 m con fibras multimodo de 50 μm . Las longitudes de onda están en el intervalo comprendido entre 770 y 860 nm.

- **1000BASE-LX:** esta alternativa, en la que se utilizan longitudes de onda mayores, proporciona enlaces duplex de 550 m con fibras multimodo de 62,5 μm ó 50 μm , o de 5 km con fibras monomodo de 10 μm . Las longitudes de onda están entre los 1270 y los 1355 nm.
- **1000BASE-CX:** esta opción, proporciona enlaces de 1 Gbps entre dispositivos localizados dentro de una habitación (o armario de conexiones) utilizando latiguillos de cobre (cables pares trenzados de menos de 25 m con un apantallamiento especial). Cada enlace consiste en dos pares trenzados apantallados, cada uno de los cuales se usa en un sentido.
- **1000BASE-T:** esta opción, utiliza cuatro pares no apantallados categoría 5e ó 6 para conectar dispositivos separados hasta 100 m.

2.1.2.4.2. La capa de Enlace

Como anteriormente se comentó, la capa de enlace se encuentra dividida a su vez en dos subcapas:

2.1.2.4.2.1 Nivel MAC:

Al igual que sus antecesores (Fast Ethernet y Ethernet), en Gigabit Ethernet la capa de control de acceso al medio es la encargada de construir la trama que luego va ser transmitida. Pero la velocidad en la que se transmite dicha trama trae complicaciones que a los otros estándares (en especial Fast Ethernet) no les era de suma importancia.

Las especificaciones a 1000 Mbps utilizan el mismo formato para las tramas y protocolo que el CSMA/CD usando las versiones de IEEE 802.3 a 10 Mbps y 100 Mbps. Se han introducido dos mejoras respecto al esquema CSMA/CD básico en lo que se refiere al funcionamiento de los concentradores:

- **Extensión de la portadora/Carrier Extension:** esta mejora consiste en añadir una serie de símbolos al final de la trama MAC de tal manera que el bloque resultante tenga una duración equivalente a 512 bytes (4096 bits), mucho mayor que los 64 bytes (512 bits) exigidos en el estándar a 10 y 100 Mbps, tal y como se muestra en la siguiente figura:



FIGURA 2.6: CARRIER EXTENSION

Esto es debido a que la máxima distancia a la que se pueden encontrar 2 máquinas conectadas a través de Ethernet (10 Mbps) era de 2500 m lo que obligaba a que la longitud mínima necesaria de una trama para que el emisor se de cuenta que ocurrió una colisión y pueda tomar las acciones pertinentes (CSMA/CD) fuera de 64 bytes. Luego, cuando surgió Fast-Ethernet cuya velocidad era de 100 Mbps, obligó a reducir el tamaño entre las 2 máquinas más lejanas a 250 m porque se decidió mantener el tamaño de la trama mínima en 64 bytes. Ahora, con Gigabit Ethernet, si se dejara el tamaño del slot igual la distancia se reduciría a 25 mts. Esto supone un valor insuficiente para las exigencias del mundo actual. Entonces se prefirió aumentar el tamaño del slot a 512 bytes. El proceso de "rellenar" una trama para que cumpla con los 512 bytes requeridos se conoce como Carrier Extensión/Extensión de la portadora. El objetivo es que la longitud de la trama, es decir, el tiempo de transmisión sea mayor que el tiempo de propagación a 1 Gbps.

- **Ráfagas a tramas/Frame bursting:** el problema que surge al utilizar la extensión de la portadora, es que cuando hay que enviar gran cantidad de tramas pequeñas (~64 bytes) el rendimiento de la red se degrada hasta ser sólo un poco mejor que Fast Ethernet. Algo inaceptable dada la amplia superioridad en tasa de transmisión que Gigabit Ethernet posee.

Este problema se resuelve con una técnica llamada Frame bursting o envío de ráfagas de tramas. Esta funcionalidad permite que se transmitan de forma consecutiva varias tramas cortas (sin superar un límite) sin necesidad de dejar el control de CSMA/CD.

Lo que hace el Frame bursting es establecer un tamaño de ráfaga de 1500 bytes que va a representar la máxima cantidad de información que Gigabit Ethernet puede enviar cada vez que escucha el canal. Por lo tanto si se tiene que enviar una trama que ocupe menos de 512 bytes, él

2.2. Tecnologías para el transporte de voz

A continuación se describen las tecnologías para el transporte de voz que se discuten en el presente proyecto.

2.2.1. Transporte de voz sobre ATM: emulaciones E1

ATM, además de transporte de datos, también nos permite el transporte de voz mediante emulación de circuitos E1. Supone, por lo tanto, otra alternativa más para el transporte de voz a través del *backbone* de la red. Su idoneidad o no idoneidad será discutida más adelante, tal y como se hará con el resto de tecnologías.

Cuando hablamos de un canal E1 nos estamos refiriendo a un canal con 32 intervalos de tiempo, de los cuales uno de ellos es empleado para sincronización y otro para señalización. En estos intervalos de tiempo transmitimos muestras PCM procedentes de las conversaciones que llegan a la centralita formando una trama E1. Podremos transmitir, por lo tanto, simultáneamente hasta 30 conversaciones telefónicas.

La técnica de emulación de circuito consiste en la creación de un canal permanente sobre la red ATM entre un punto origen y otro de destino a una velocidad determinada. Este canal permanente se crea con características de velocidad de bit constante (CBR). En los puntos extremos de la red ATM se disponen interfaces eléctricas adecuadas a la velocidad requerida (E1, V.35, V.11, ...) y los equipos terminales a ellos conectados dialogan transparentemente a través de la red ATM.

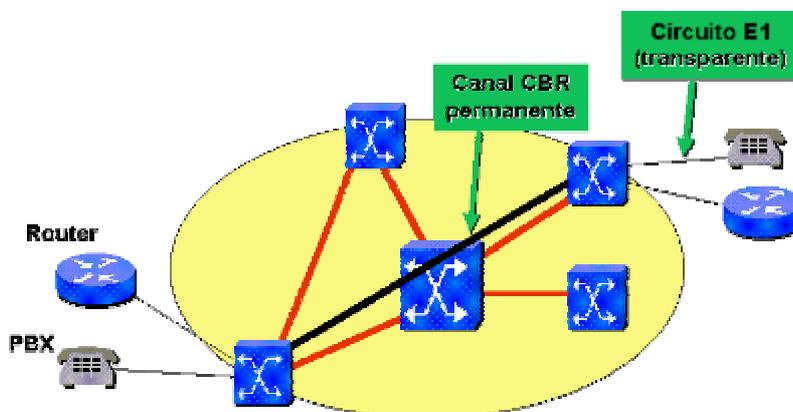


FIGURA 2.8: EMULACIÓN E1 SOBRE ATM

Los datos que envían los DTE en los extremos de la emulación de circuito son transformados en celdas y transmitidos a través del circuito permanente CBR hacia su destino. A la vez que se procede a la transformación de la información en celdas se ejecuta un algoritmo de extremo a extremo que garantiza el sincronismo del circuito. Este conjunto de procedimientos está documentado en el método de adaptación a ATM AAL1.

Mediante la técnica de emulación de circuito una red ATM puede comportarse como una red de transporte basada en la multiplexación en el tiempo (TDM). Este tipo de servicio permite transportar enlaces digitales de centralita, líneas punto a punto, enlaces E1 para codecs, etc. transparentemente.

2.2.2. Voz sobre IP (VoIP)

El objetivo de esta tecnología es claro: empaquetar la voz para que pueda ser transmitida junto con los datos en una red IP. El crecimiento y fuerte implantación de las redes IP, tanto en local como en remoto, el desarrollo de técnicas avanzadas de digitalización de voz y priorización de tráfico, protocolos de transmisión en tiempo real, así como el estudio de nuevos estándares que permitan la calidad de servicio en redes IP, han creado un entorno donde es posible transmitir telefonía sobre IP.

2.2.2.1. ¿Por qué usar redes IP?

Antes de entrar en detalles técnicos de cómo transportar la voz sobre redes IP en vez de sobre las redes tradicionales TDM es importante saber por qué es interesante proceder a este cambio. Más aún teniendo en cuenta la elevada fiabilidad de las actuales redes telefónicas (99.999%), que proporcionan una calidad de audio en las conversaciones bastante aceptable (MOS de 4) y que proporcionan un amplio abanico de servicios adicionales a los usuarios.

Existen dos razones principalmente que pueden motivar el cambio: una económica y otra tecnológica.

Desde el punto de vista económico, la ventaja principal es que el ancho de banda de las redes IP es compartido por todos los paquetes IP (tanto de voz como de

datos), mientras que en las redes TDM necesitamos un circuito dedicado por cada conversación telefónica que se establezca, independientemente de si se está hablando en un momento determinado o no.

El incentivo tecnológico se llama *convergencia*. Es decir, integrar en una misma red varios servicios con lo que ello conllevaría: simplificación tecnológica, una gestión más sencilla, ...

2.2.2.2. El estándar H.323

La base de VoIP es el estándar H.323 del ITU-T y tiene como objetivo asegurar la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes, fijando aspectos tales como la supresión de silencios, codificación de la voz y direccionamiento, y estableciendo nuevos elementos para permitir la conectividad con la infraestructura telefónica tradicional. Este estándar a su vez se apoya en una serie de protocolos que cubren los distintos aspectos de la comunicación:

- Direccionamiento:
 - o RAS: Protocolo de comunicaciones que permite a una estación H.323 localizar a otra estación H.323 a través de un Gatekeeper.
 - o DNS: Servicio de resolución de nombres en direcciones IP con el mismo fin que el protocolo RAS pero a través de un servidor DNS.
- Señalización:
 - o Q.931: Señalización inicial de llamada.
 - o H.225: Control de llamada.
 - o H.245: Protocolo de control para especificar mensajes de apertura y cierre de canales para streams de voz.
- Compresión de voz:
 - o Requeridos: G.711 y G.723
 - o Opcionales: G.728, G.729 y G.722
- Transmisión de voz:
 - o UDP: la transmisión se realiza sobre paquetes UDP, pues aunque no ofrece integridad de los datos, el aprovechamiento del ancho de banda es mayor que en TCP

- o RTP: maneja los aspectos relativos a la temporización, marcando los paquetes UDP con la información necesaria para la correcta entrega de los mismos en recepción.
- Control de la transmisión:
 - o RTCP: se utiliza principalmente para detectar situaciones de congestión de la red y tomar, en su caso, acciones correctoras.

2.2.2.3. Elementos de una red VoIP

Los componentes principales de una red VoIP son los siguientes:

- **Terminales:** requieren el conjunto de protocolos de H.323 y obligatoriamente deben soportar audio. Pueden ser teléfonos IP o incluso PC's.
- **Gatekeeper:** es un elemento opcional en la red, pero cuando está presente todos los demás elementos que contacten dicha red deben hacer uso de él. Su función es la de gestión y control de los recursos de red, de manera que no se produzcan situaciones de saturación de la misma.
- **Gateway:** es elemento esencial en la mayoría de las redes, pues su misión es enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica o RDSI. Podemos considerar al Gateway como una caja que por un lado tiene una interfaz LAN y por el otro uno o varios interfaces para conectar centralitas, teléfono analógicos o para conectarse a la red telefónica básica o a accesos básicos o primarios RDSI.

En la siguiente figura se puede comprobar la función de cada uno de estos elementos:

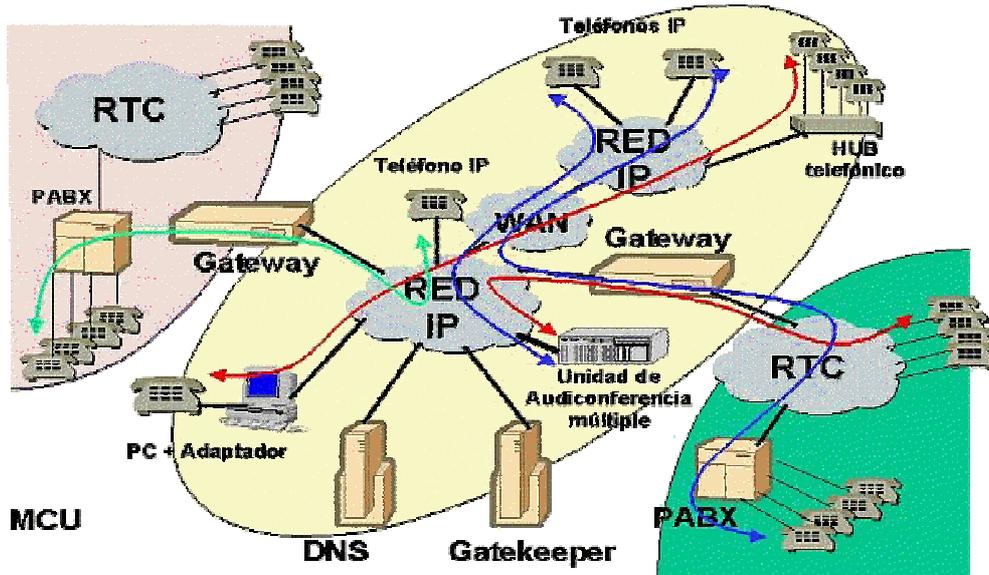


FIGURA 2.9: ELEMENTOS DE UNA RED VOIP

2.2.3. TDM sobre IP (TDMoIP)

Esta tecnología es una variante de voz sobre IP que extiende los circuitos T1, E1, T3 ó E3 a través de las redes conmutadas de datos de una manera simple y transparente.

La gran ventaja que ofrece esta nueva tecnología frente a VoIP sin duda alguna es la posibilidad de mantener las centralitas actuales sin necesidad de modificación alguna gracias a que es transparente a todos los protocolos y señalizaciones. De esta manera se consigue un ahorro económico muy importante. Se puede decir que para las centralitas es "como si nada cambiara". Las funcionalidades del equipamiento existente siguen manteniéndose por lo que para los usuarios de la red el cambio tampoco supondrá una variación en el uso de los servicios telefónicos.

2.2.3.1. Tipos de TDMoIP

Hay dos tipos de variantes de TDMoIP:

- **TDMoIP (CE):** proporciona Emulación de Circuitos E1 sobre IP/Ethernet/MPLS. Es ideal cuando se requiere una latencia muy baja y

calidad de voz muy elevada. Requiere que la red transporte un flujo constante de paquetes de prioridad alta con estricta QoS (para garantizar que el circuito TDM está libre de errores). Es la mejor elección para entornos con un ancho de banda abundante. En TDMoIP (CE) la sincronización de reloj se mantiene, siendo posible extender circuitos TDM sincrónicos sobre redes IP/Ethernet asíncronas.

- **TDMoIP (CV):** es ideal para transportar Voz Comprimida. Se emplea en aquellos entornos donde el ancho de banda está limitado, como por ejemplo redes wireless, conexiones por MODEM, xDSL... ya que soporta detección de actividad de voz (VAD), supresión de silencios y compresión de voz.

2.2.3.2. Esquema de funcionamiento

El esquema del funcionamiento de TDMoIP sería el siguiente:

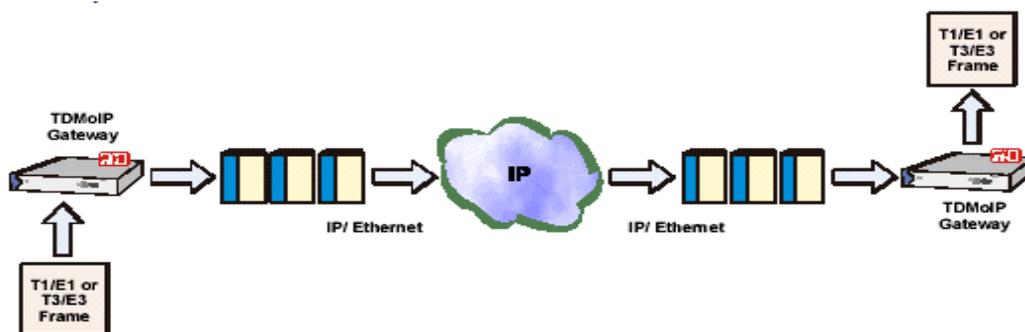


FIGURA 2.10: FUNCIONAMIENTO DE TDMOIP

El Gateway TDMoIP toma el flujo de datos TDM y lo transforma en paquetes IP con su correspondiente cabecera. Los paquetes son posteriormente entregados a la red donde serán encaminados hacia su destino. En el destino se reconstruye el flujo original de bits eliminando las cabeceras IP, concatenando los paquetes y regenerando la señal de reloj.

2.2.3.3. Encapsulación TDMoIP

Para transmitir las tramas E1 por la red IP se les debe añadir una cabecera apropiada. Existen varias posibles soluciones dependiendo del tipo de red a través de la cual vamos a transportar la voz. Así, tendremos diferentes encapsulaciones para

UDP/IP, MPLS o Ethernet. El formato de los paquetes IP, independientemente del tipo de red que los transporta, es el siguiente:

PSN header
Control word
Payload

FIGURA 2.11: FORMATO DE LOS PAQUETES TDMOIP

donde *PSN header* es la cabecera específica para cada tipo de red, *control word* es una palabra de control para evitar errores y *payload* son los datos que hay que transmitir (carga útil). Se da por supuesto que la red de conmutación de paquetes (PSN) es lo suficientemente fiable y de un ancho de banda lo bastante grande como para permitir el transporte de los datos TDM.

Además de las cabeceras anteriormente mencionadas puede aparecer una cabecera RTP (Real Time Transport Protocol) opcional de 12 bytes con el fin de proveer un mecanismo para transmitir los paquetes en tiempo real. En este caso, la cabecera RTP debe preceder a la palabra de control en el caso de las redes Ipv4 ó Ipv6, y en caso de que la red sea MPLS debe ir justo detrás de ésta.

En el Anexo I se adjunta más detalladamente la estructura de cada una de estas cabeceras anteriormente descritas.

2.2.3.4. Señalización OAM

Dado que TDMoIP no es absolutamente fiable debe existir un mecanismo de señalización que proporcione información sobre determinados tipos de problemas en las redes de transmisión o en sus componentes.

2.2.3.4.1. Mensajes de comprobación de conectividad

En la mayoría de las aplicaciones IP un servidor manda información a un dispositivo que previamente la ha solicitado. En TDMoIP la fuente manda una cadena continua de paquetes hacia el destino sin saber si el dispositivo al que se los manda está listo o no.

Este problema puede aparecer cuando un dispositivo falla o se desconecta, o si se ha producido algún problema en la propia red. Debido a esto los routers y dispositivos intermedios pueden inundar la red de paquetes en intento de encontrar un nuevo camino hacia el dispositivo buscado.

La solución a este problema consiste en disminuir significativamente el número de paquetes TDMoIP transmitidos cuando se detecta algún tipo de fallo en la red, volviendo a mandarse a su tasa máxima cuando el problema se haya resuelto. La detección de los fallos y las recuperaciones es posible gracias al intercambio de mensajes de comprobación de conectividad unidireccionales, denominados mensajes OAM. Estos mensajes se envían desde la fuente al destinatario teniendo éste que contestar a todos los mensajes OAM que recibe.

Este mecanismo es útil también durante los procesos de configuración. Sin señalización OAM, uno se debe asegurar de que el dispositivo de destino está listo para recibir paquetes antes de empezar a enviárselos. Mediante el empleo de los mecanismos de conectividad unidireccional un dispositivo configurado esperará hasta que detecte que el dispositivo al que le va a enviar los paquetes está también configurado antes de empezar a propagar los paquetes por la red.

Además de mensajes unidireccionales de comprobación de conectividad el mecanismo de señalización OAM se puede emplear para medir ciertos parámetros de la red, tal y como retrasos, congestión, etc.

2.2.3.4.2. Formato de los paquetes OAM

El formato de los paquetes OAM es el siguiente:

0	15	16	31
PSN-specific layers (CBID=1FFF)			
FORMID	L	R	RES
OAM Msg Type		OAM Msg Code	
Source CBID		Destination CBID	
Source Transmit Timestamp			
Destination Receive Timestamp			
Destination Transmit Timestamp			

FIGURA 2.12: FORMATO DE LOS PAQUETES OAM

Para más información sobre el significado de cada uno de los campos y sus posibles valores consultar el Anexo II.

2.3. Calidad de Servicio (QoS) en redes IP

En este apartado se van a exponer las técnicas comúnmente empleadas por los conmutadores Gigabit Ethernet para ofrecer Calidad de Servicio (QoS) sobre redes IP.

2.3.1. Terminología QoS

A continuación se definirán algunos de los términos que se van a emplear en este apartado al hablar de QoS. Cabe indicar que cuando utilizamos el término *QoS* nos estamos refiriendo al conjunto de mecanismos configurados en los conmutadores destinados a garantizar una cierta calidad de servicio en la transmisión/recepción de la información que los atraviesa.

- **CoS:** es un parámetro de capa 2, cuyo valor puede variar entre cero, para prioridad baja, y siete, para prioridad alta. La cabecera de las tramas IEE 802.1p tienen un campo de Usuario de 1 byte cuyos tres bits menos significativos transportan este parámetro.
- **Layer 3 IP precedence value (capa 3):** la especificación IP en su versión 4 define los tres bits más significativos del campo de 1 byte Type of Service (ToS) de la cabecera IP como IP precedence. Su valor varía entre cero para prioridad baja y siete para prioridad alta.

- **Layer 3 differentiated services code point (DSCP):** el IETF define los seis bits más significativos del campo ToS como el DSCP. El rango de valores posibles para este parámetro varía entre 0 y 63.
- **Clasificación:** selección del tráfico.
- **Marcar:** de acuerdo con la RFC 2475, consiste en establecer un valor del DSCP en un paquete o del CoS en una trama de capa 2.
- **Scheduling:** asignar tráfico a una cola. QoS asigna el tráfico basándose en valores de CoS.

2.3.2. QoS paso a paso

En este apartado veremos cómo trabajan los conmutadores Gigabit Ethernet para implementar la QoS.

El diagrama del proceso completo es el siguiente:

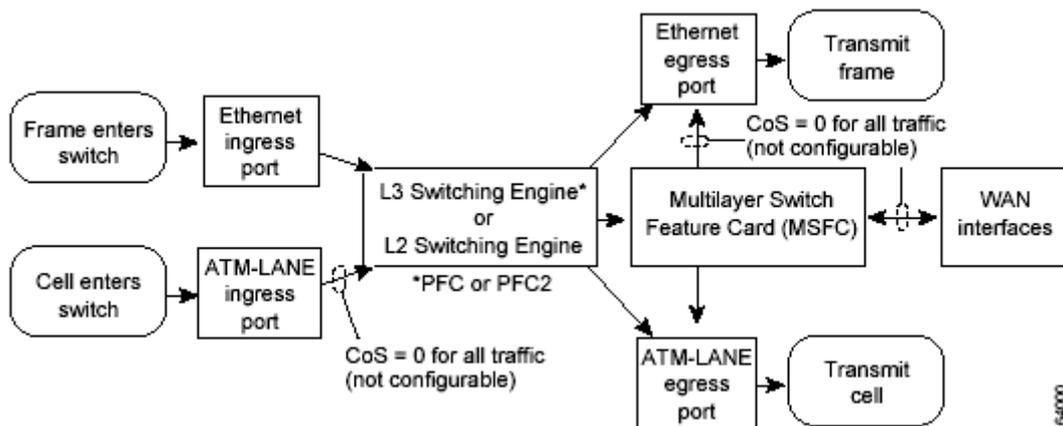


FIGURA 2.13: QOS PASO A PASO

A grandes rasgos, el proceso es el siguiente: las tramas entran en el conmutador por uno de sus puertos. A continuación pasan al *Switching Engine*, que bien lo envía al *MSFC* o bien directamente lo conmuta al puerto de salida. Estos dos elementos son los que le confieren cierta "inteligencia" al conmutador, permitiéndole realizar las conmutaciones en base a parámetros de nivel 2, nivel 3 o nivel 4 y clasificar y marcar las tramas para implementar la QoS de la que hablamos. Finalmente, la trama es transmitida por uno de los puertos del conmutador. Veamos más detenidamente cada uno de estos pasos.

2.3.2.1. Marcado de la trama entrante, *scheduling* y evitación de la congestión

QoS se basa en los valores de capa 2 del CoS en los puertos de entrada para marcar la trama, llevar a cabo el *scheduling*, evitar congestión y clasificar la trama. No se emplean los parámetros de capa 3 de *IP precedence* ó *DSCP*.

La configuración de cada uno de los puertos Ethernet del conmutador determinan cómo se llevan a cabo estos procedimientos en cada uno de ellos de manera independiente. Existen cuatro modos de configuración basados en la "confianza" que se tenga en la información que llega al puerto:

- Untrusted
- trust-ipprec
- trust-dscp
- trust-cos

2.3.2.1.1. Marcado

Dependiendo de cómo hayamos configurado el puerto tendremos:

- **Untrusted ports:** se marca la trama que se recibe por el puerto con el valor del CoS asignado a dicho puerto (se "desconfía" del valor que llega). En este caso no se implementan mecanismos para evitar la congestión, y las tramas se envían directamente al switching engine.
- **Trusted ports:** cuando una trama 802.1p llega al puerto, se aceptan los tres bits menos significativos del campo de Usuario como valor del CoS. En caso de que la trama que llegue sea de otro formato, se marca el CoS al valor del configurado en el puerto.

2.3.2.1.2. Scheduling

Dependiendo del hardware que escojamos tendremos diferentes tipos de *colas* en los puertos Ethernet del conmutador. Existen dos tipos fundamentales:

- **Strict priority queues** (colas de prioridad estricta): son servidas con preferencia sobre el resto de colas. Si QoS está sirviendo el tráfico de otro tipo de cola, tras recibir un paquete comprueba si hay algo en la strict priority queue y en caso afirmativo suspende el servicio que está realizando para atender a esta cola.
- **Standard queues** (colas estándar): son servidas en caso de que no haya nada en la strict priority queue. Estas colas están caracterizadas por unos umbrales (thresholds), que se emplean para evitar la congestión.

QoS asigna el tráfico a las distintas colas basándose en el valor de CoS. Por defecto, el *switching engine* asigna el tráfico con CoS=5 a la *strict priority queue* (si existe), mientras que el resto del tráfico es asignado a la *standard queue*.

2.3.2.1.3. Evitación de la congestión

Únicamente los puertos que estén configurado como *trust-cos* van a implementar mecanismos destinados a evitar la congestión en los puertos de entrada al conmutador.

Estos mecanismos también se basan en el valor del CoS, y se sirven de los umbrales definidos en las *standard queues*. Hay dos tipos de umbrales:

- **Tail-drop**: en los puertos con colas configuradas de esta forma se admite tráfico de un determinado tipo en la cola de entrada hasta que el umbral asociado a dicho tráfico se sobrepasa. El umbral consiste en un porcentaje de llenado de la cola. Las tramas que lleguen a continuación serán descartadas y, por lo tanto, se perderán. Esta situación se mantendrá hasta que el umbral baje de su máximo.
- **WRED-drop**: en este caso, las tramas de un determinado tipo de tráfico tienen una cierta probabilidad de ser aceptadas en la cola. Para cada tipo de tráfico, y basándose en su CoS, se definen un umbral mínimo y un umbral máximo. En el momento en que la ocupación de la cola sobrepasa el umbral mínimo las tramas del tráfico asociado a ese umbral pueden ser descartadas. La probabilidad de serlo aumenta conforme más nos acercamos al umbral máximo, a partir del cual todas son descartadas.

En la siguiente figura vemos un ejemplo:

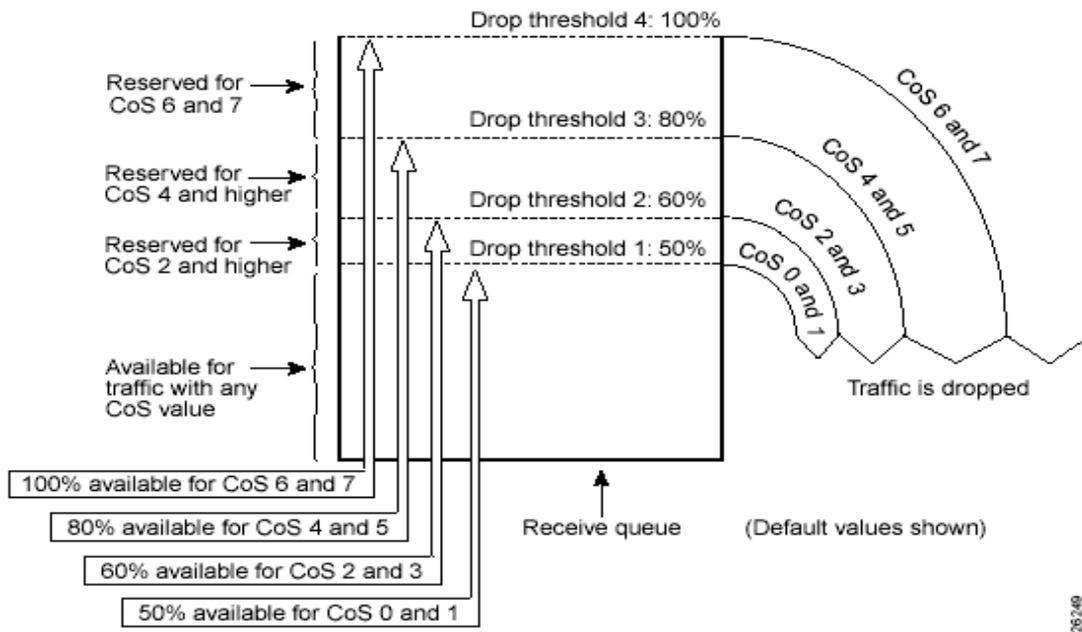


FIGURA 2.14: EJEMPLO DE USO DE UMBRALES PARA EVITAR LA CONGESTIÓN

De todo esto podemos deducir que al tráfico de voz habría que darle la máxima prioridad y ,por lo tanto, encolarlo en una *strict priority queue* con el fin de que sea el primero en ser procesado. Esto es debido a lo altamente sensible que es al retardo y a las pérdidas de paquetes.

2.3.2.1.4. Diagrama de flujo

Estos tres pasos anteriores se pueden englobar en un diagrama de flujo que se presenta a continuación:

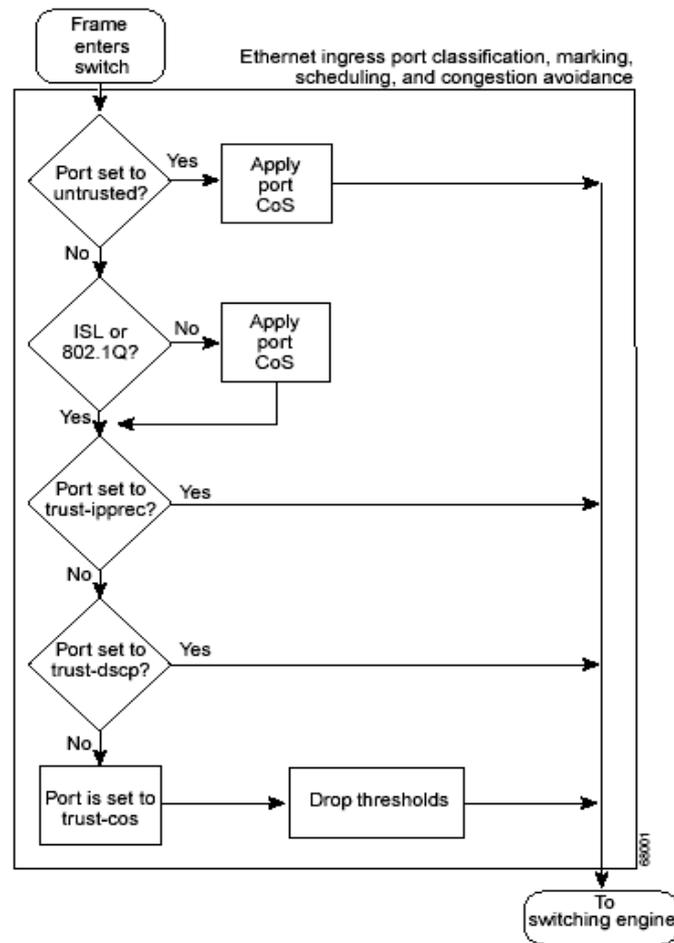


FIGURA 2.15: MARCADO DE LA TRAMA ENTRANTE, SCHEDULING Y EVITACIÓN DE LA CONGESTIÓN

2.3.2.2. Clasificación, marcado y política de ancho de banda en el *switching engine*

Para esta sección vamos a suponer que trabajamos con un *switching engine* de capa 3, que emplea valores de nivel 2, nivel 3 y nivel 4 para llevar a cabo la clasificación del tráfico, así como valores del CoS, del *IP precedence* o del DSCP para el marcado. Las políticas de ancho de banda emplean límites en el ancho de banda para descartar tráfico o marcarlo como *no conforme*.

La clasificación, el marcado y la política de ancho de banda se realizan en base a unas listas de control de acceso (ACLs). El tráfico entrante se compara con las entradas de estas ACLs (ACEs) que contienen criterios de clasificación en base a

parámetros de nivel 2, nivel 3 o nivel 4, así como reglas de marcado y políticas de ancho de banda para el tráfico que se ajuste a estas entradas.

2.3.2.2.1. Clasificación

Durante el procesamiento en el *switching engine*, la prioridad del tráfico, sea del tipo que sea (incluido el tráfico no IP), viene determinada por un valor DSCP interno. QoS obtiene este valor DSCP de diferentes formas dependiendo del *ACE* con el que coincida el tráfico entrante y de la configuración del puerto por el que haya ingresado el tráfico.

QoS emplea ACLs que contienen ACEs. Los ACEs especifican un criterio de clasificación, las reglas de marcado y las políticas de ancho de banda. Cuando llega el tráfico éste se compara con los ACEs de las ACLs hasta que se produce una coincidencia, momento en el cual se dejan de hacer comparaciones. El tráfico, ya clasificado, se marcará y seguirá la política de ancho de banda de acuerdo con lo especificado en el ACE.

Hay tres tipos de ACLs: IP, IPX y MAC. QoS compara cada tipo de tráfico únicamente con su correspondiente ACL. Para nuestro caso, tenemos tráfico IP, por lo que el valor del campo *Ethertype* debe coincidir con 0x0800, valor que le sirve al *switching engine* para compararlo únicamente con la ACL IP. Para cada una de estas ACLs se pueden incluir varios ACEs.

Los criterios de clasificación de nivel 3 para las ACLs IP son:

- Dirección IP origen y su máscara.
- Dirección IP destino y su máscara.
- Valores DSCP (0-63) o de IP precedence (0-7).

Existen diferentes criterios para tráfico de nivel 4 y de nivel 2, pero no vamos a entrar en detalle.

En caso de que el tráfico no coincida con ningún ACE de la ACL correspondiente, éste es clasificado por una *default ACL*, también configurable. Existen del mismo modo una *default ACL* IP, otra IPX y otra MAC.

2.3.2.2.2. Marcado

Las reglas de marcado especifican cómo marcar el tráfico cuando éste coincide con los parámetros de filtrado de un ACE. QoS soporta cuatro reglas de marcado que se especifican con las siguientes palabras clave en los ACE:

- ***Trust-ipprec***: sólo en las ACLs IP. Se ajusta el DSCP con el IP precedence recibido.
- ***Trust-dscp***: sólo en las ACLs IP. Se ajusta el DSCP con el DSCP recibido.
- ***Trust-cos***: se ajusta el DSCP con el valor del CoS recibido en la trama 802.1p o el del puerto de entrada (dependiendo de la configuración del puerto). En el caso de que el tráfico recibido sea de otro tipo, se ajustará el DSCP al valor del CoS del puerto.
- ***dscp***: se marca el tráfico dependiendo de la configuración del puerto:
 - o En el caso de tráfico IP procedente de un puerto de entrada configurado como *trust-dscp*, la palabra clave *dscp* en el ACE indica que el valor del DSCP se debe tomar de los valores DSCP del tráfico recibido. Si el tráfico no es IP, se toma el valor del CoS recibido o del puerto (según esté configurado éste).
 - o En el caso de tráfico IP procedente de un puerto de entrada configurado como *trust-ipprec* la palabra clave *dscp* en el ACE indica que el valor del DSCP se debe tomar de los valores *IP precedence* del tráfico recibido. Si el tráfico no es IP se toma el valor del CoS recibido o del puerto (según esté configurado éste).
 - o Si tenemos tráfico procedente de un puerto configurado como *trust-cos* la palabra clave *dscp* en el ACE indica que el valor del DSCP se debe tomar del CoS recibido o del puerto (según esté configurado éste).
 - o Si el tráfico procede de un puerto configurado como *untrusted* la palabra clave *dscp* en el ACE indica que el valor del DSCP debe ser tomado del indicado en el propio ACE.

QoS emplea unas tablas para obtener el valor DSCP de 6 bits a partir del CoS o del *IP precedence*, que son parámetros de 3 bits.

Cabe recordar que este valor DSCP es un valor interno que emplea el *switching engine* para procesar el tráfico. Posteriormente se asignará a cada tipo de tráfico valores de CoS y de ToS de salida, con los que viajarán a través de la red.

2.3.2.2.3. Políticas de ancho de banda

Se pueden crear estas políticas para indicar límites en la utilización del ancho de banda y se pueden aplicar al tráfico incluyéndolas en los ACEs.

Las políticas emplean un esquema de *token bucket*. Conforme van llegando los paquetes su tamaño en bytes es añadido al *cubo (bucket)*. Cada 0.25 ms un valor igual al *token rate* es extraído del cubo.

Los límites de utilización de ancho de banda se especifican como una tasa media y un tamaño de ráfaga máximo, de manera que la llegada de paquetes debe someterse a estos límites. Los paquetes que no lo cumplan estarán *out-of-profile* (fuera del perfil). En cada política que se establezca se debe indicar si los paquetes que están *out-of-profile* son descartados o por el contrario se les asigna un nuevo valor del DSCP obtenido de unas tablas. A esto último se le denomina *markdown*.

Existen varios tipos de políticas:

- **Microflow:** consiste en aplicar por separado el límite de ancho de banda a cada uno de los tráficos que coincidan con un ACE que contiene una política de este tipo.
- **Aggregate:** se aplican los anchos de banda especificados acumulando todos los flujos que coinciden con un ACE que pose una política de esta clase.
- Con un PFC2, se puede especificar:
 - o *Normal Rate:* los paquetes que excedan esta tasa son *marked down*.

o *Excess Rate*: los paquetes que excedan este limite pueden ser descartados.

Estos procedimientos que hemos visto se pueden agrupar en el siguiente diagrama de flujo:

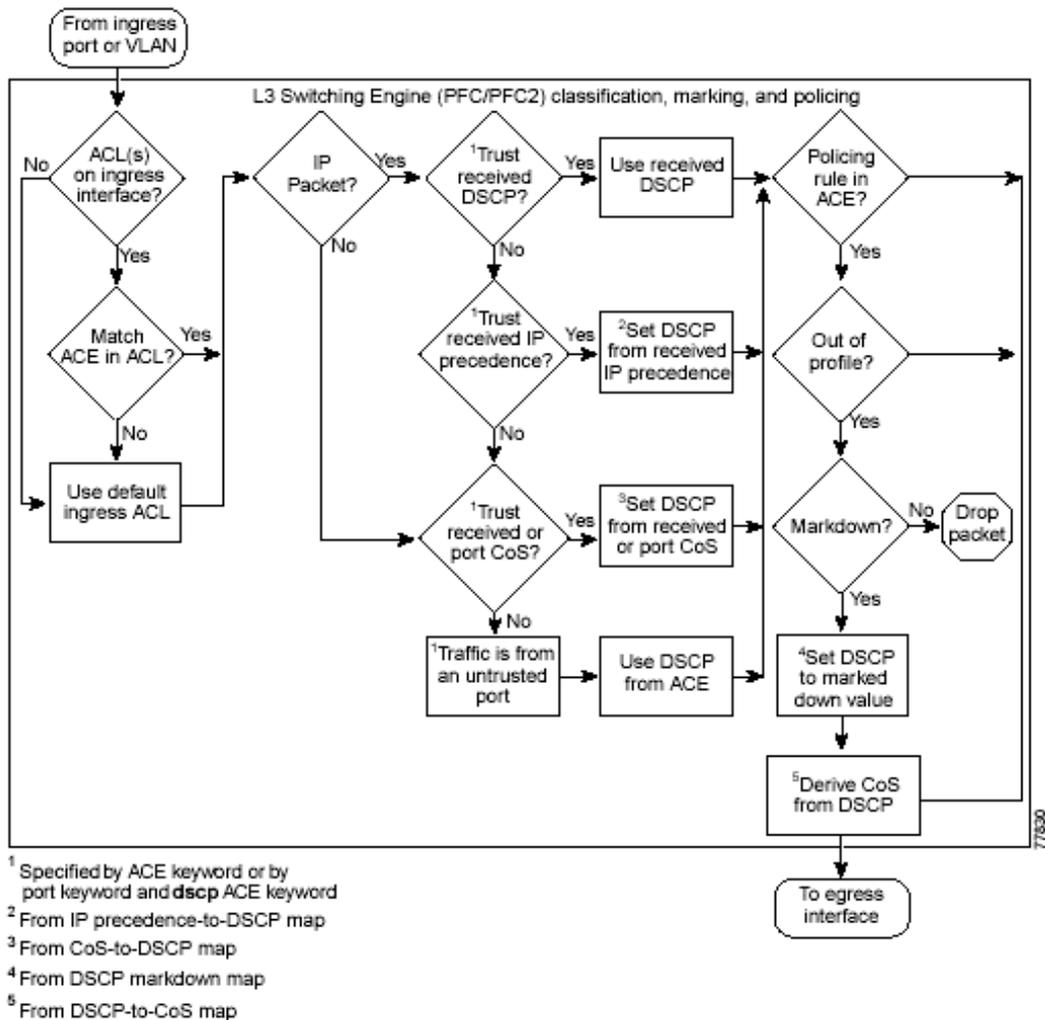


FIGURA 2.16: CLASIFICACIÓN, MARCADO Y POLÍTICA DE ANCHO DE BANDA EN EL SWITCHING ENGINE

2.3.2.3. *Scheduling*,evitación de la congestión y marcado en el puerto de salida

Una vez se ha llevado a cabo el proceso de marcado del tráfico y se ha decidido el puerto por el que se ha de sacar éste, se debe encolar el tráfico en el puerto de salida, evitando congestión y marcándolo para que viaje por la red.

Para el tráfico IP saliente se crea un byte ToS a partir del valor del DSCP interno y se envía al puerto de salida para ser escrito en los paquetes IP. Este proceso se lleva a cabo en el módulo MSFC. Para todo tipo de tráfico de salida se obtiene un valor de CoS a partir de unas tablas de conversión del DSCP interno asociado al tráfico. Este valor es enviado al puerto de salida para llevar a cabo el encolamiento y para ser escrito en las tramas 802.1p.

El tráfico se encola basándose en los valores del CoS, funcionando las colas de transmisión de la misma manera que las de recepción anteriormente expuestas. Dependiendo del hardware escogido tendremos diferentes configuraciones en las colas de transmisión.

2.3.2.3.1. *Scheduling* y evitación de la congestión

Sigue el mismo funcionamiento que ya se explicó. Al igual que en recepción tenemos *priority queues*, a las cuales se asocia el tráfico de mayor prioridad y son las primeras en ser servidas, y las *standard queues*, con sus correspondientes umbrales. Estos umbrales se emplean para evitar congestión en el tráfico transmitido, al igual que los umbrales en las colas de entrada.

2.3.2.3.2. Marcado

Cuando el tráfico es transmitido por el switch, se escribe el byte ToS obtenido a partir del DSCP interno en el tráfico IP. El CoS que fue empleado para encolar el tráfico y para evitar la congestión se copia en las tramas 802.1p.

Los diagramas de flujo que representan estos últimos pasos son los siguientes:

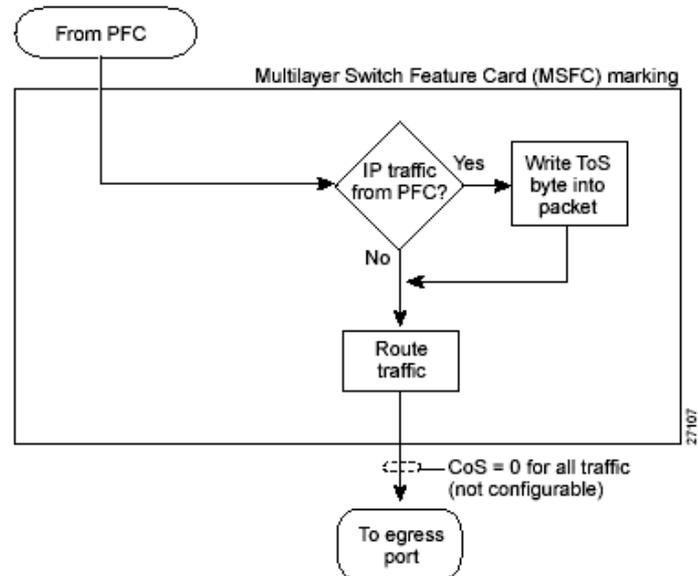


FIGURA 2.17: MARCADO DE LAS TRAMAS IP EN EL MSFC

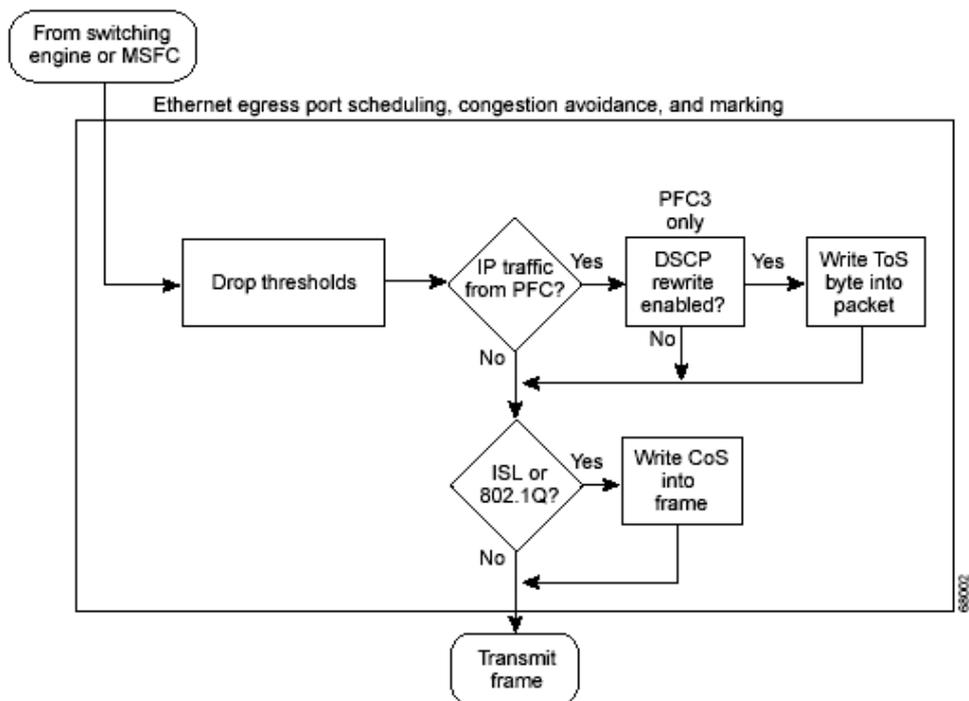


FIGURA 2.18: SCHEDULING, EVITACIÓN DE LA CONGESTIÓN Y MARCADO EN EL PUERTO DE SALIDA

3. Análisis del estado actual de la red

En la actualidad la red troncal del Ayuntamiento de Jerez está compuesta de 21 edificios y aproximadamente 1300 usuarios. Su topología lógica es la de una estrella cuyo centro es Jesytel. Aquí se encuentran los distintos servidores que albergan los recursos empleados por los usuarios. A través de Jesytel se canaliza todo el tráfico de y hacia las distintas Corporaciones Municipales.

En la red de comunicaciones podemos distinguir a su vez dos redes interfunciando: la red de datos y la red de voz. Vamos a continuación a estudiar cada una de ellas por separado.

3.1. La Red de Datos

Para interconectar Jesytel con los distintos edificios de la red troncal se emplea fibra óptica, monomodo y multimodo, como medio de transmisión. Las tecnologías utilizadas son, como anteriormente se indicó ATM a 155 Mbps y Ethernet a 10/100 Mbps.

Cabe indicar que la fibra óptica que compone dicho *backbone* no es por completo propiedad del Ayuntamiento de Jerez sino que parte de ésta se encuentra alquilada a Telefónica. La eliminación de estos tramos de fibra, procediendo a la instalación de otra nueva propiedad municipal, forma parte también del proyecto de nueva red corporativa, así como la sustitución de los tramos de fibra multimodo por tramos de fibra monomodo, más adecuada para la transmisión de Gigabit Ethernet.

Veamos la solución que se adopta para cada una de las tecnologías arriba referidas en la red de datos del Ayuntamiento de Jerez y dónde las encontramos.

3.1.1. Pequeños emplazamientos: tecnología Ethernet

Los edificios a los que se llega a través de tecnología Ethernet, ya sea a 10 ó a 100 Mbps, están directamente unidos a Jesytel a través de fibra óptica y convertidores de fibra a UTP 10/100. El esquema de la conexión sería el siguiente:

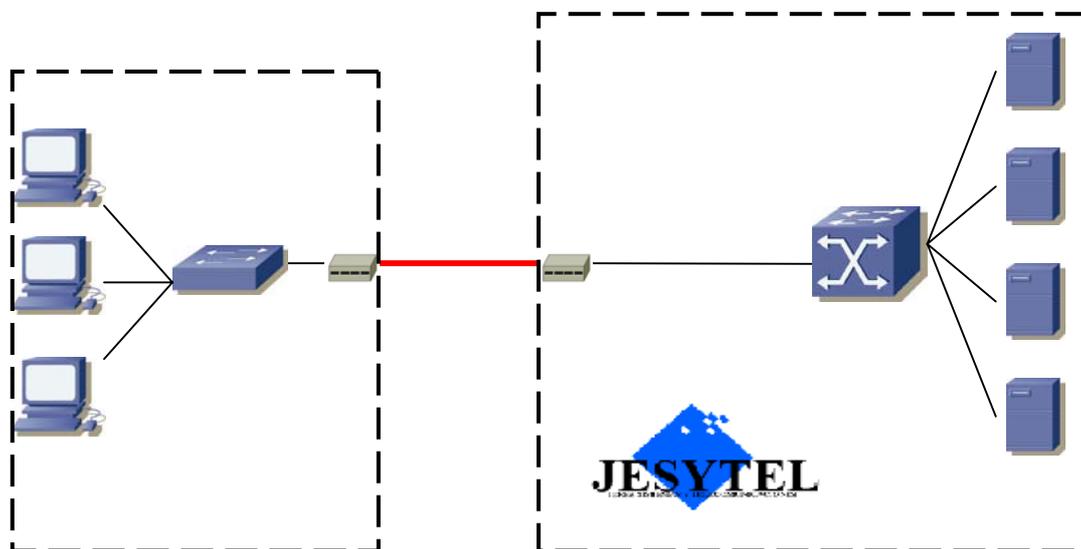


FIGURA 3.1: CONEXIÓN ETHERNET

La información viaja a través de la red en tramas Ethernet, desde que sale de la tarjeta de red de los equipos de los usuarios hasta que llega al conmutador central de Jesytel al cual están conectados los servidores que atienden las peticiones de los usuarios.

La tabla siguiente muestra los edificios conectados mediante tecnología Ethernet:

EDIFICIO	TECNOLOGÍA DE CONEXION
Medio Ambiente	Ethernet 10 Mbps
Emuvijesa	Ethernet 100 Mbps
Cultura	Ethernet 10 Mbps
Área Económica	Ethernet 10 Mbps
Circulación	Ethernet 10 Mbps
Jereyssa – Marinas	Ethernet 10 Mbps
Turismo – c/Paul	Ethernet 10 Mbps
Salón Don Guido	Ethernet 10 Mbps
Biblioteca	Ethernet 10 Mbps
SIPE	Ethernet 10 Mbps

FIGURA 3.2: EMPLAZAMIENTOS CON TECNOLOGÍA ETHERNET

Estas Empresas Municipales no representan un porcentaje elevado del tráfico de datos de la red troncal (aproximadamente un 8%). Es por ello que la solución adoptada en su día para darles servicio fuera Ethernet.

Como se puede observar todos los enlaces excepto uno son a 10 Mbps. El de 100 Mbps es el que conecta Jesytel con Emuvijesa (Empresa Municipal de la Vivienda). Esta empresa está ubicada en un edificio de reciente construcción en el que además se encuentran otras dos empresas municipales más: la Oficina de Rehabilitación del Casco Histórico y Emusujesa (Empresa Municipal del Suelo). Es por ello que, dados los requerimientos de tráfico demandados por estas tres empresas y aprovechando la moderna infraestructura, se decidió dotar a este edificio de una tecnología Ethernet a 100 Mbps.

Esto supuso la necesidad de instalar una electrónica de red adecuada, capaz de soportar este tráfico. La electrónica elegida para este fin fueron los conmutadores 6124 de Alcatel.

3.1.2. Grandes emplazamientos: tecnología ATM

En Jesytel, dado que es el centro de la estrella de la red de comunicaciones, se encuentra el conmutador central ATM, un Alcatel LSS-590. Éste es uno de los principales encargados de que la red funcione adecuadamente. A través de él se distribuye gran parte del tráfico de datos de la Corporación Municipal. Se trata por tanto de un componente crítico de la red, acentuado, si cabe aún más, por el hecho que no existe redundancia. En caso de que este conmutador fallase, la comunicación entre la mayoría de los edificios municipales sería imposible.

En el resto de emplazamientos a los que se llega a través de ATM existen conmutadores de distintos modelos, todos de la marca Alcatel. Estos conmutadores son más o menos grandes dependiendo de las necesidades de cada edificio. La siguiente tabla muestra el equipamiento existente en cada uno de los emplazamientos conectados a través de ATM:

UBICACION	EQUIPAMIENTO
Jesytel	Conmutador ALCATEL LSS-590
GMU Aguas de Jerez Jereyssa – Latorre	Conmutador ALCATEL LSS-550 Conmutador ALCATEL LSS-550 Conmutador ALCATEL LSS-550
Promoción Relaciones Ciudadanas	Conmutador ALCATEL Omnistack 5024 Conmutador ALCATEL Omnistack 5024
Jecomusa Policía Local Infraestructura Bienestar Social	Conmutador ALCATEL Omniaccess 408 Conmutador ALCATEL Omniaccess 408 Conmutador ALCATEL Omniaccess 408 Conmutador ALCATEL Omniaccess 408

FIGURA 3.3: EMPLAZAMIENTOS CON TECNOLOGÍA ATM

La conexión entre el conmutador principal de Jesytel y resto de conmutadores se hace a través de fibra óptica, tanto monomodo como multimodo. El hecho de usar fibra multimodo no supone ningún problema para transmitir a 155 Mbps. No ocurre lo mismo con Gigabit Ethernet que por razones de atenuación se recomienda emplear fibra monomodo. Teniendo en cuenta las distancias con las que estamos trabajando habrá que sustituir los tramos de fibra multimodo por fibra monomodo.

El esquema de conexión en este caso sería el siguiente:

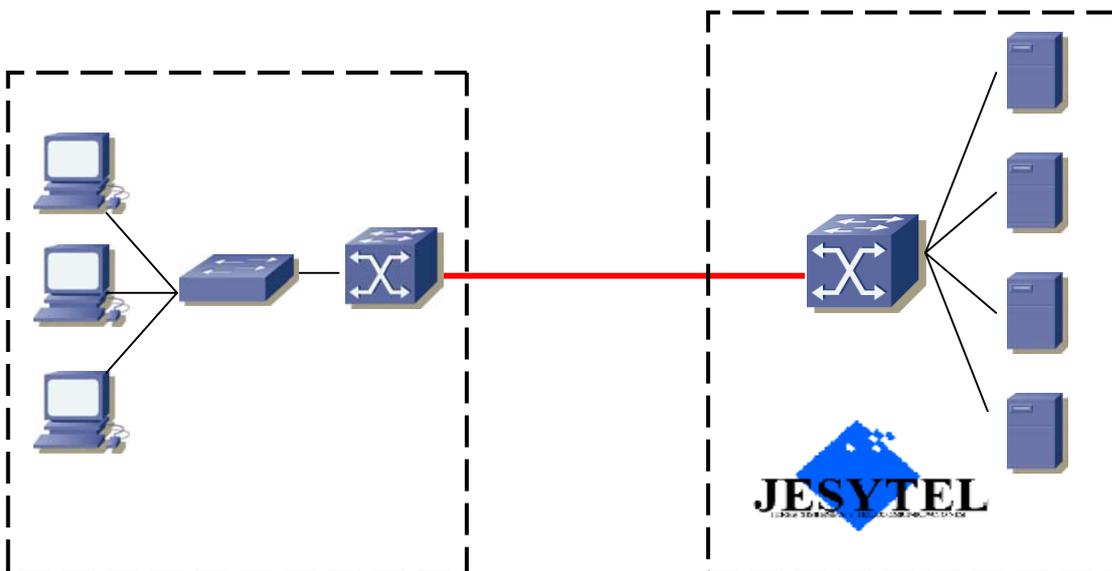


FIGURA 3.4: CONEXIONES ATM

3.1.3. Resumen de infraestructuras y tecnologías empleadas en la troncal

La siguiente tabla resume, para cada uno de los edificios, la infraestructura y la tecnología utilizadas:

EDIFICIO	INFRAESTRUCTURA	TECNOLOGÍA DE CONEXION	EQUIPAMIENTO
Ayuntamiento	Fibra óptica multimodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Jereyssa - Latorre	Fibra óptica multimodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Gerencia Municipal de Urbanismo	Fibra óptica multimodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Aguas de Jerez	Fibra óptica monomodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Policía Local	Fibra óptica monomodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Promoción de la ciudad	Fibra óptica monomodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Jecomusa	Fibra óptica monomodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Infraestructura	Fibra óptica monomodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Medio Ambiente	Fibra óptica monomodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP
Emuvijesa	Fibra óptica multimodo	Ethernet 100 Mbps	Conversor fibra-UTP
Juventud	Fibra óptica monomodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Cultura	Fibra óptica monomodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP
Bienestar Social	Fibra óptica monomodo	ATM 155 Mbps	Conmutador ATM
Área Económica	Fibra óptica multimodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP
Circulación	Fibra óptica multimodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP
Jereyssa – Marinas	Fibra óptica monomodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP
Turismo – c/Paul	Fibra óptica monomodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP
Salón Don Guido	Fibra óptica monomodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP
Biblioteca	Fibra óptica monomodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP
SIPE	Fibra óptica monomodo	Ethernet 10 Mbps	Conversor fibra-UTP

FIGURA 3.5: RESUMEN DE INFRAESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍAS

Los tramos de fibra que no pertenecen a Jesytel son los siguientes:

- Promoción-Jereyssa Marinas
- Promoción-Policía Local
- Jesytel-Infraestructura
- Jesytel-Cultura

3.1.4. Esquema lógico de la red de datos

Una vez visto tanto las tecnologías empleadas para conectar Jesytel con cada uno de los edificios municipales como los medios de transmisión utilizados para este

fin, estamos en disposición de poder mostrar un primer esquema, que representa la topología lógica en estrella de la red. Es el siguiente:

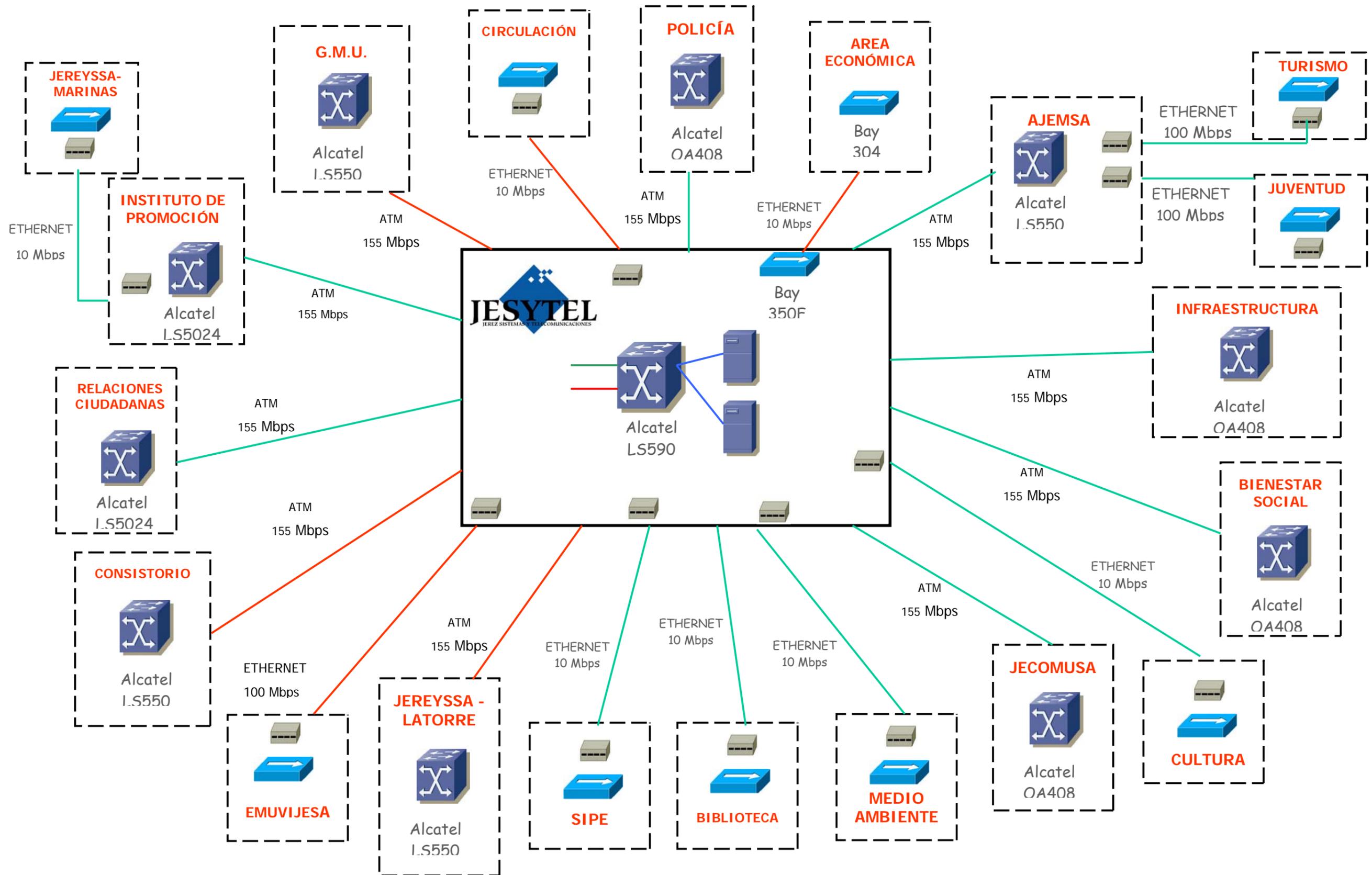


FIGURA 3.6: ESQUEMA LÓGICO DE LA RED DE DATOS

Las leyendas del anterior esquema se presentan a continuación:



FIGURA 3.7: LEYENDAS DEL ESQUEMA LÓGICO

En este esquema podemos apreciar la topología en estrella de la red así como el tipo de enlace que nos encontramos en cada uno de los edificios, refiriéndonos tanto a medio de transmisión como a tecnología empleada.

Una vez dentro de cada edificio, el conmutador principal, en los emplazamientos donde se llegue con ATM, o el conversor de fibra, en aquellos donde se llegue con Ethernet, estará conectados a los hubs y switches departamentales que darán servicio a cada uno de los usuarios del edificio.

En el primero de los casos, cada hub/switch irá conectado por separado a uno de los puertos Ethernet del conmutador ATM. En el segundo de los casos, sólo uno de los hubs/switches irá conectado al único puerto Ethernet que posee el conversor de fibra, por lo que, en caso de que haya más de un hub/switch, estos deberán estar en cascada, tal y como se muestra a continuación:

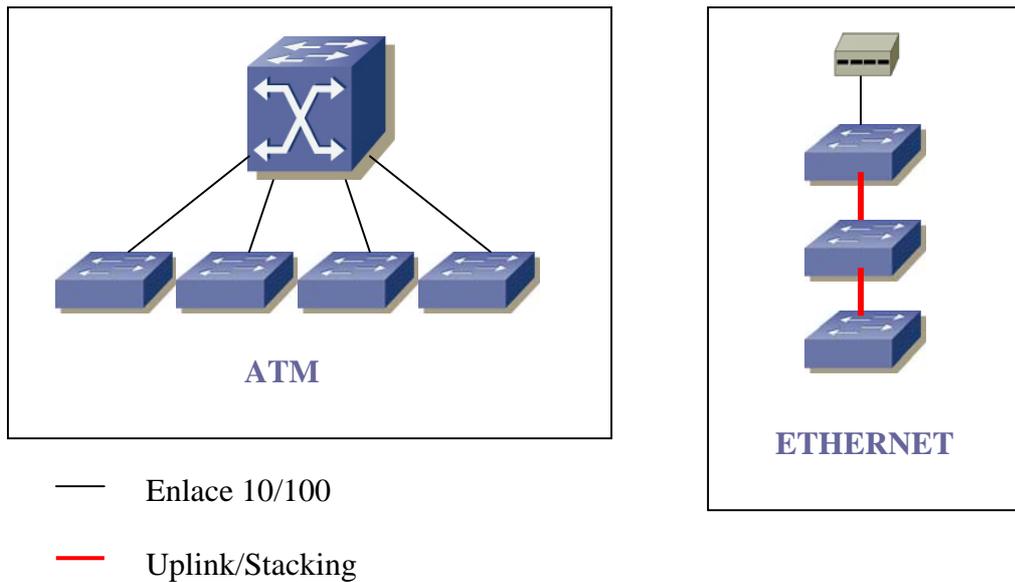


FIGURA 3.8: CONEXIÓN EN EDIFICIOS

3.1.5. Esquema físico de la red de datos

El esquema de conexiones físicas entre los edificios, a través de los diferentes tramos de fibra, se presenta a continuación:

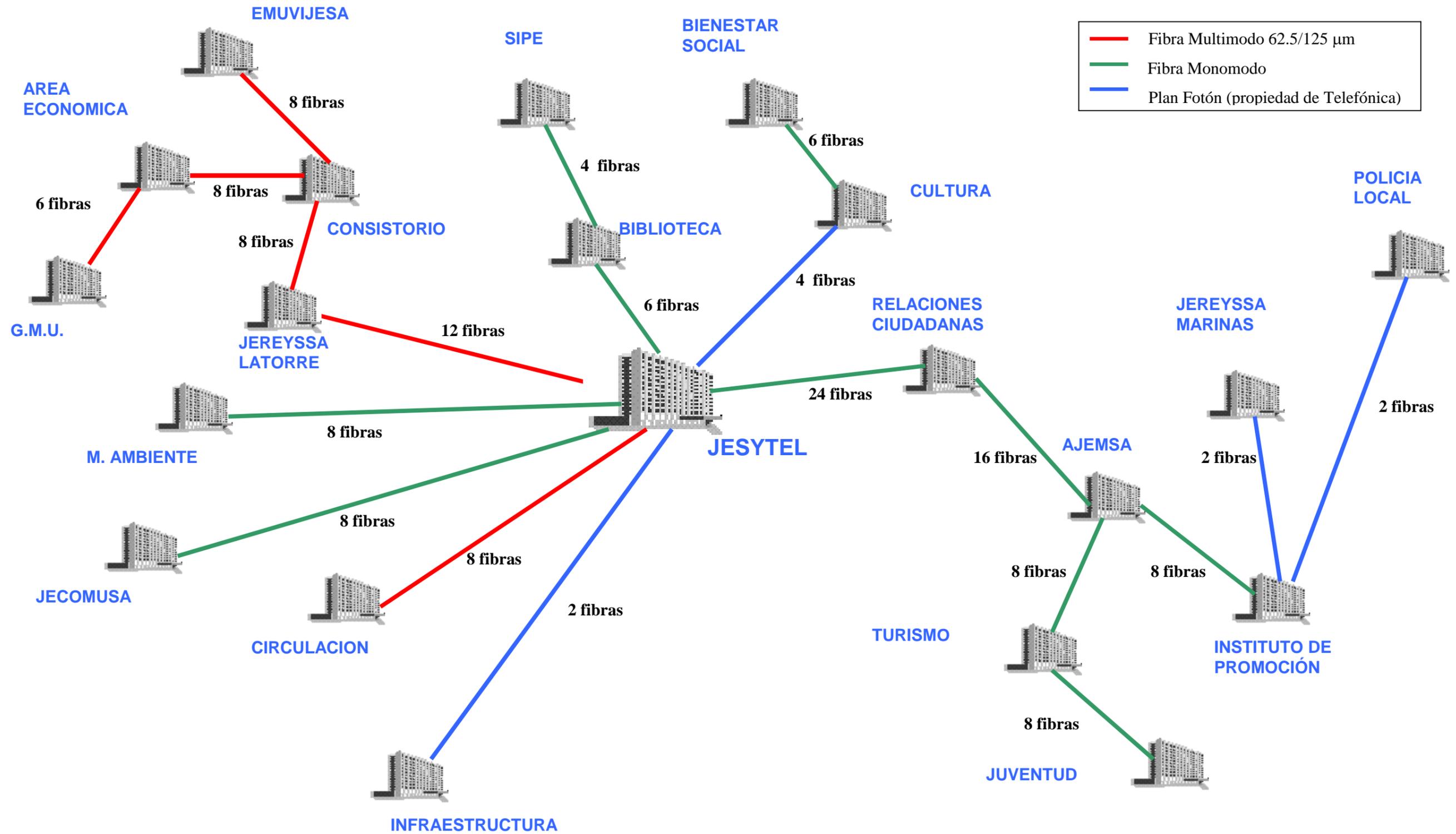


FIGURA 3.9: ESQUEMA FÍSICO DE LA RED DE DATOS

3.2. La red de voz

Funciona de manera conjunta con la red de datos, y se aprovecha de la QoS que ATM garantiza para el transporte de voz.

La red telefónica corporativa está basada en el empleo de centralitas que nos permiten realizar llamadas internas sin necesidad de una conexión con el exterior. Esto permite una reducción importante en la factura telefónica, ya que todas las llamadas que estén dirigidas a teléfonos corporativos tendrán coste cero.

La red telefónica del Ayuntamiento de Jerez está basada en el sistema Ibercom que es un servicio de red privada ofrecido por Telefónica para las comunicaciones de empresa. Soporta simultáneamente comunicaciones de voz, datos e imagen y tiene una estructura totalmente digital. Sus facilidades más populares son las de acceso directo a las líneas de usuario, una numeración especial y una tarificación específica que no cobra las llamadas internas, permitiendo una gestión (limitada) por el propio usuario.

3.2.1. El sistema Ibercom

La infraestructura básica de Ibercom está compuesta por dos partes. Una es la de acceso cuya función es la de proporcionar las líneas de voz y datos a sus usuarios, denominada Red de Acceso Ibercom (RAI), pudiendo estar compuesta de varios Módulos de Red de Accesos Ibercom (MRAI) distribuidos, a los que se conectan todos los terminales correspondientes a los servicios de telecomunicación con los que se desee dotar cada dependencia, y otra, la de interconexión, que está incorporada en la porción de tránsito en las redes públicas, y a la cual se accede a través de un Centro Frontal (CF), que realiza el tránsito entre las RAI a él conectadas.

El equipo de conmutación que atiende el servicio Ibercom es el sistema ASB 501, conocido comercialmente como MD-110 de Ericsson.

El sistema MD-110 es un sistema de conmutación digital de control distribuido con programa de almacenado. Presenta una estructura distribuida con interconexión

radial, componiendo de una serie de armarios idénticos, denominados LIM (Módulos de Líneas), interconectados a través de un armario distinto denominado GS (Sector de Grupo) vía tramas PCM de 32 canales. Se usan estos canales para la transmisión de tráfico y control entre centrales.

Cada LIM es una unidad controlada por microprocesador que puede equiparse con cualquier combinación de circuitos de línea, enlaces y otros órganos de telefonía interconectados a través de un conmutador digital interno. Su sistema de control, se encuentra formado por una configuración de dos procesadores. Un procesador de 32 bits, ejecuta las tareas principales de control del LIM, mientras que el segundo de 16 bits, trabaja como procesador de comunicaciones cuya tarea es la de administrar las comunicaciones directas entre el circuito de control del conmutador, y las interfaces telefónicas.

Las centralitas MD-110 están equipadas con tarjetas especiales, sobre las cuales se crean las extensiones telefónicas, ya sean analógicas o digitales, dependiendo del tipo de tarjeta. Cada tarjeta a su vez posee su propio procesador, el cual controla las funciones particulares de estas, y administra las comunicaciones con el procesador de comunicaciones.

El conmutador de cada LIM es de tecnología completamente digital no bloqueable, utilizando tecnología de Multiplexación por División de Tiempo, de 1024 intervalos de tiempo. La función del conmutador es la de proveer las conexiones de voz y datos, y los caminos de señalización y sincronización entre LIM en la MD110.

Luego en cada LIM es posible conectar todo tipo de combinaciones de interfaces de línea, como ser :

- Conexión a teléfonos analógicos convencionales bajo señalización por pulsos decádicos ó por DTMF, ya sean externos o internos. Siendo posible conectar hasta 640 extensiones analógicas y 256 troncales analógicas por LIM.
- Circuitos digitales internos para la conexión a teléfonos digitales y consolas de operadoras, vía 2 hilos. Es posible conectar hasta 640 extensiones digitales y hasta 4 estaciones de operadora por LIM.

- Circuitos digitales externos de señalización por canal asociado y por canal común, para conectarse con la Red Pública Telefónica. Es posible conectar hasta 3 tramas con señalización por canal asociado (E1) por LIM y hasta 3 tramas con señalización por canal común (DPNSS) por LIM.
- Conexión a Redes de Servicios Digitales Integrados (RDSI), a través de interfaces S0. Es posible conectar hasta 8 Accesos Primarios y 120 Accesos Básicos por LIM.
- Conexiones entre LIM y GS, a través de tramas digitales PCM 30 utilizando protocolos de señalización propietaria, hasta 8 tramas PCM por LIM, y 248 tramas por GS.

3.2.2. Transporte de voz sobre ATM

La voz se transporta desde las distintas centralitas MD-110 hasta Jesytel mediante emulación de circuitos E1 sobre ATM.

La técnica de emulación de circuito consiste en la creación de un canal permanente sobre la red ATM entre un punto origen y otro de destino a una velocidad determinada. Este canal permanente se crea con características de velocidad de bit constante (CBR). En los puntos extremos de la red ATM se encuentran las centralitas, que dialogan transparentemente a través de la red ATM tal y como se muestra en la siguiente figura:

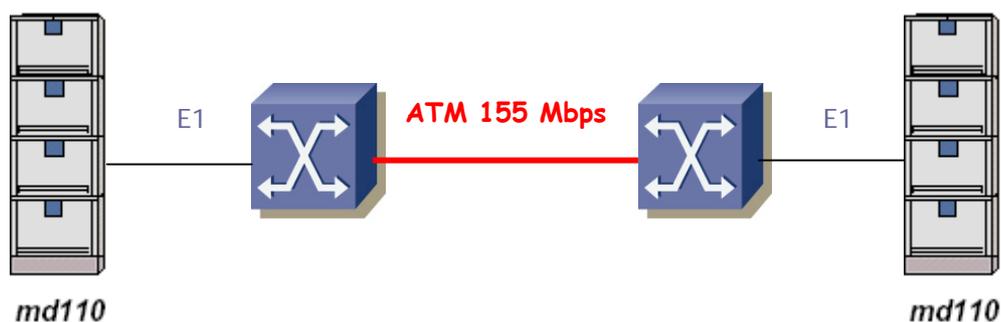


FIGURA 3.10: EMULACIÓN DE E1 SOBRE ATM

Para las centralitas, la conexión es E1 extremo a extremo. No obstante esto no es así ya que hay conexiones ATM a 155 Mbps entre los conmutadores.

Tal y como se explicó en el Apartado 2, antes de todo los conmutadores deben crear el canal de comunicación, negociando con la red los parámetros de servicio que se hayan decidido. En caso de que la red no pueda ofrecerlos la conexión no se lleva a cabo.

Una vez en Jesytel, el tráfico de voz es enviado al GS que se encargará de encaminarlo dependiendo del destino de la llamada.

La extensión de la telefonía desde los edificios donde se localizan las centralitas MD-110 hacia el resto de emplazamientos se lleva a cabo a través de pares de cobre. Las extensiones telefónicas creadas en cada LIM se pueden quedar en los edificios donde se encuentra la centralita o se pueden llevar a otros edificios a través de estos pares de cobre para dar servicio a los usuarios allí localizados.

En la actualidad existen nueve LIMs en la red corporativa municipal. Son los siguientes:

EDIFICIO	EQUIPAMIENTO
Jesytel – LIM 1	48 EXT DIGITALES, 112 EXT ANALOGICAS
Jereyssa – Latorre – LIM 2	8 EXT DIGITALES, 96 EXT ANALOGICAS
Ayuntamiento – LIM 3	40 EXT DIGITALES, 176 EXT ANALOGICAS
GMU – LIM 4	16 EXT DIGITALES, 120 EXT ANALOGICAS
Ajemsa – LIM 5	80 EXT DIGITALES, 144 EXT ANALOGICAS
Policía Local – LIM 6	16 EXT DIGITALES, 48 EXT ANALOGICAS
Jecomusa – LIM 7	16 EXT DIGITALES, 48 EXT ANALOGICAS
Bienestar Social – LIM 8	16 EXT DIGITALES, 48 EXT ANALOGICAS
Infraestructura – LIM 9	16 EXT DIGITALES, 32 EXT ANALOGICAS

FIGURA 3.11: EQUIPAMIENTO DE CENTRALITAS MD-110

El acceso a la red pública de comunicaciones se realiza por medio de seis acceso primarios, localizados en Policía, Ajemsa, Bienestar Social, Consistorio, Jereyssa y G.M.U.

El plan de numeración está diseñado de tal forma que una llamada del exterior dirigida a una determinada extensión no tenga que “entrar” en la red corporativa si no es necesario. Con esto nos queremos referir a que si una llamada va dirigida a un número localizado en un edificio con primario, la llamada debe de entrar por este primario. En caso de que no fuera así, una vez que la llamada entra en la red

corporativa debe ser encaminada hacia la centralita en la que está albergado dicho número, ocupando así innecesariamente uno de los 30 canales de comunicación que existen para que las centralitas se comuniquen entre si.

De ahí la importancia de mantener un cierto criterio a la hora de dotar de extensiones telefónicas a los diferentes LIMs, precisamente para evitar ese tráfico innecesario que pudiera congestionar en un momento dado las comunicaciones de un determinado emplazamiento ya que únicamente pueden darse a la vez 30 llamadas internas en un determinado LIM.

3.2.3. Esquema de la red de voz

A continuación se presenta el esquema lógico de la red de voz:

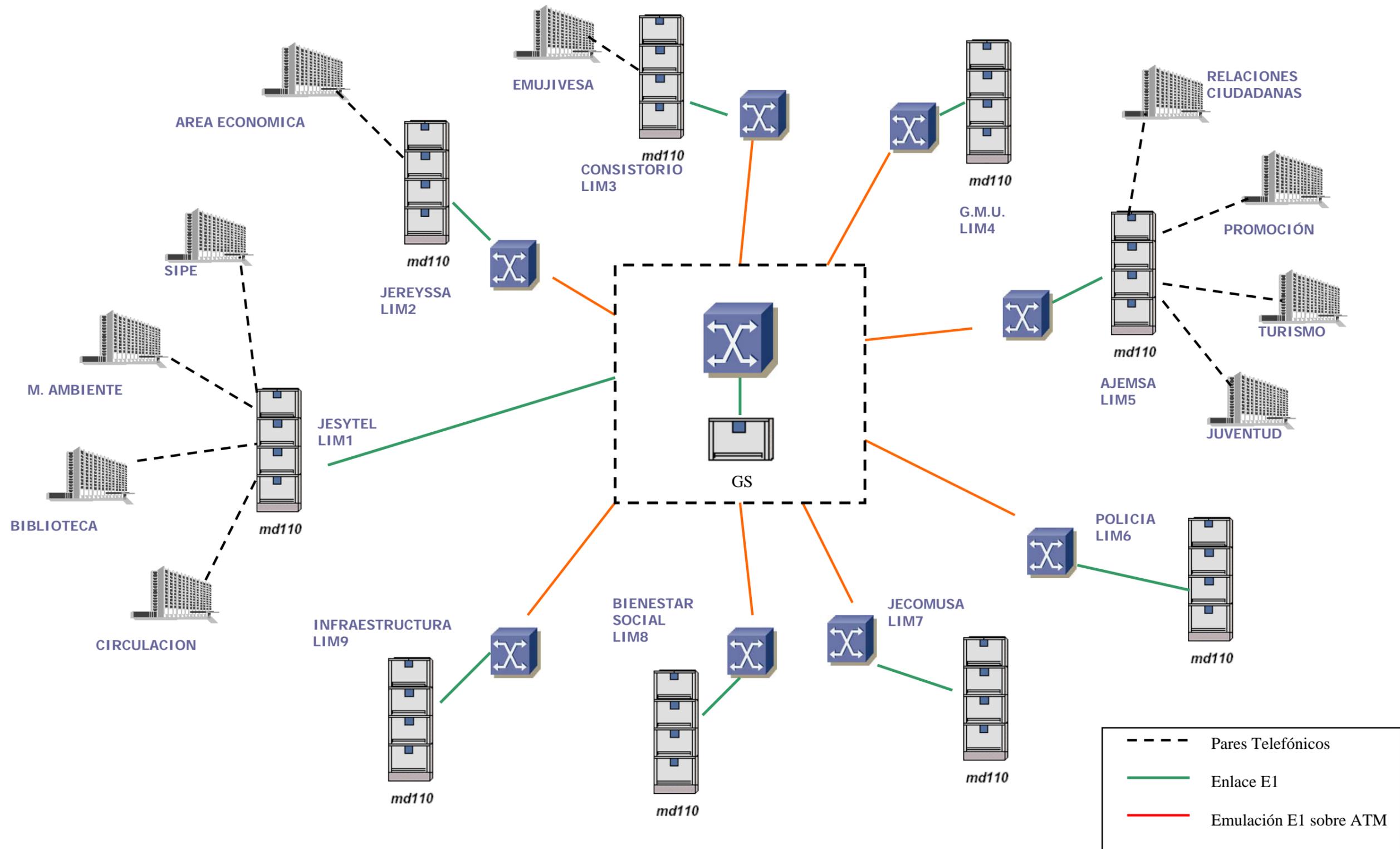


FIGURA 3.12: ESQUEMA DE LA RED DE VOZ

3.3. Justificación del cambio

Una de las máximas a tener en cuenta a la hora de abordar cualquier proyecto, es el por qué de la necesidad de abordarlo. Por qué llevar cabo una serie de cambios, algunos de los cuales para el usuario pueden no ser perceptibles pero que para toda empresa suponen un importante despliegue de medios tanto tecnológicos como humanos.

En el caso que nos ocupa es indudable el crecimiento de la red corporativa municipal de un tiempo a esta parte, que ha pasado en cinco años de tener unos 800 usuarios a tener en la actualidad unos 1300.

Este hecho se acentúa aún más si tenemos en cuenta que actualmente hay en construcción nuevos edificios que albergarán más oficinas municipales. Este es el caso del nuevo Centro de Formación, con capacidad para unos 200 usuarios, y del Cuartel de San Agustín, con capacidad para unos 300 usuarios.

Del mismo modo las aplicaciones empleadas por estos usuarios han ido evolucionando con el paso del tiempo, siendo las consultas a las bases de datos alojadas en los servidores de Jesytel cada vez más frecuentes y con requerimientos de trasvase de información más grandes.

Esto plantea la necesidad de nuevas alternativas para seguir ofreciendo los servicios que hasta ahora se han venido dando con las mismas garantías.

Si bien es cierto que la fiabilidad de la actual red ATM ha quedado demostrada durante el tiempo que lleva instalada, los 155 Mbps de ancho de banda que ofrece comienzan a quedarse cortos sobre todo para determinadas aplicaciones que demandan un elevado ancho de banda para el trasvase de ficheros de gran tamaño, como son el caso de los programas SmallWorld y Microstation utilizados para la confección y diseño de planos.

El espíritu de constante mejora nos lleva de esta forma a plantearnos la necesidad de mejorar las comunicaciones de datos, dotando a la red de un mayor ancho de banda con la consecuente mejora en la velocidad de ejecución de los procesos.

Por otra parte una de las principales características de una red de comunicaciones debe ser un tiempo de disponibilidad elevado. En este sentido, la tecnología actual de la red ha cumplido con creces este objetivo, con sólo dos caídas críticas del sistema en los cinco años de funcionamiento ininterrumpido. No obstante nos enfrentamos a una situación en la que los componentes fundamentales del backbone de la red, es decir, los conmutadores ATM de Alcatel, están descatalogados, con el consecuente riesgo que ello conlleva en caso de aparición de cualquier problema.

La sustitución de estos conmutadores por otros nuevos nos lleva a plantearnos si es conveniente seguir confiando en ATM, que tan buenos resultados ha dado, sacrificando otros aspectos como velocidad o coste, o por el contrario afrontar una migración a una nueva tecnología, pasando a emplear Gigabit Ethernet, una tecnología relativamente nueva pero que ofrece unas velocidades mayores que las que pueda ofrecer ATM y a un precio más competitivo.

Es por ello que se plantea un cambio en la red cuyos objetivos son, tal y como se ha dicho anteriormente, aumentar la capacidad de la misma para adaptarla a los nuevos requerimientos de los usuarios y renovar la electrónica de red obsoleta que se posee, al mismo tiempo que se prepara la red para el más que probable crecimiento del tráfico demandado.

Veamos qué tecnologías de las expuestas al comienzo del documento se han escogido para dar solución tanto a la red de datos como a la red de voz y la justificación de estas elecciones.

3.3.1. Discusión de las tecnologías para la red de datos

De las dos tecnologías citadas como las candidatas para transportar los datos sobre el *backbone* de la red corporativa, la elección para el presente proyecto es Gigabit Ethernet, frente a la otra posible alternativa que es ATM.

Ambas intentan solucionar el problema de la congestión ofreciendo anchos de banda elevados. También ofrecen QoS para lo cual diferencian el tipo de tráfico que atraviesa la red. No obstante la forma en que ambos abordan el problema es bastante diferente, tal y como ya se vio anteriormente.

3.3.1.1. ATM vs. Gigabit Ethernet

Una vez que hemos decidido que se debe abordar una mejora en la red, ésta pasa por dos posibles soluciones: migración hacia ATM 622 Mbps, o migrar a Gigabit Ethernet.

La primera ventaja que se puede apreciar de Gigabit Ethernet frente a ATM es la velocidad que ofrece, sensiblemente superior. El ancho de banda de 1 Gbps ofrecido por Gigabit Ethernet es más que suficiente para cubrir las necesidades que la corporación municipal del Ayuntamiento de Jerez tiene hoy en día. La posibilidad de incrementar la velocidad a 10 Gbps es ya hoy una realidad por lo que en un futuro, en caso de posible congestión, la escalabilidad está garantizada.

Si bien es cierto que la velocidad ofrecida por ATM a 622 Mbps también podría ser suficiente para las necesidades que hoy existen, la diferencia de precio que existe entre los puertos ATM y los puertos Gigabit Ethernet hacen que nos decantemos por estos últimos, ya que resultan entre 2 y 3 veces más baratos que los primeros. Por tanto, tenemos más velocidad a menor precio.

Gigabit Ethernet ofrece asimismo sencillez y resistencia, tal y como han demostrado sus tecnologías predecesoras Ethernet y Fast Ethernet, siendo totalmente compatibles con ellas. El hecho de que sea una tecnología no orientada a conexión contrasta con la complejidad que presenta ATM, que al ser orientada a conexión debe emular las conexiones Ethernet entre las LAN, no orientadas a conexión, así como proporcionar conversiones de tramas a celdas ATM.

Otro de los inconvenientes de ATM es la pérdida de eficiencia debido a la conversión que se debe llevar a cabo en los conmutadores, transformando las tramas Ethernet en celdas ATM y realizando la operación inversa en el destino. Por el contrario,

Gigabit Ethernet emplea el mismo formato de tramas de las LANs actualmente instaladas, por lo que no necesita llevar a cabo la segmentación y reensamblado que tiene lugar con ATM. Del mismo modo, al ser una tecnología no orientada a conexión la complejidad añadida por ATM debido a la señalización y a los protocolos de control desaparece.

Sin duda alguna el punto fuerte de ATM frente a Gigabit Ethernet es la QoS, permitiendo una reserva de ancho de banda específico para determinado tipo de tráfico crítico, como por ejemplo la voz. Estos mecanismos de QoS son inherentes a ATM, mientras que en Gigabit Ethernet tenemos que buscar métodos alternativos para garantizarla. Una de las piezas fundamentales para garantizar QoS en Gigabit es el ancho de banda. Dado que el ancho de banda ofrecido por esta tecnología es muy grande la probabilidad de congestión de la red, y por tanto de pérdida o retardo de tráfico de voz, es bastante pequeño. No obstante se han desarrollado técnicas encaminadas a garantizar un servicio diferenciado al tráfico que por su naturaleza pueda resultar más crítico. Estas técnicas están basadas en priorizar el tráfico crítico a través de los conmutadores que serán capaces de reconocer y marcar este tráfico para que sea tratado de manera preferente frente al resto de tráfico. Para ello se implementan colas y Listas de Control de acceso en los conmutadores, todo ello unido a políticas de marcado y de ancho de banda, tal y como más adelante se explicará. Es por esto que la QoS no representa un problema en Gigabit Ethernet, siempre y cuando se lleve a cabo la clasificación del tráfico de manera apropiada. No obstante ATM sigue llevando ventaja a Gigabit Ethernet en este tema en cuanto a reserva de ancho de banda se refiere. No obstante, debido al sobredimensionamiento de la red no debe representar problema alguno para Gigabit Ethernet ya que siempre habrá ancho de banda disponible para las aplicaciones críticas.

Por último, pero no por ello menos importante, debemos tener en cuenta las realidades del mercado donde la demanda de puertos Gigabit Ethernet supera con creces la de ATM. Esto, unido a la disminución de los precios de los puertos Ethernet frente a los de ATM ocasiona que Gigabit Ethernet sea en la actualidad la tecnología preferida por las empresas para implementar su *backbone* de red. Como consecuencia, las principales empresas dedicadas a ofrecer soluciones de red están orientando sus esfuerzos en la mejora de sus productos Gigabit Ethernet, llevando a esta tecnología a ser el referente en un futuro no muy lejano.

Por todo lo expuesto anteriormente podríamos catalogar a Gigabit Ethernet como la *tecnología del futuro*, desbancando a ATM como principal tecnología para transportar datos a alta velocidad en los backbones de red.

Gigabit Ethernet no sólo es capaz de ofrecer un servicio similar a ATM sino que en algunos casos lo supera. Si bien es cierto que ATM lo supera en riqueza de funcionalidades, éstas se ofrecen a costa de una elevada complejidad a lo que se añade un precio sensiblemente superior. Por el contrario, la simplicidad ofrecida por Gigabit Ethernet, junto con el hecho de ser la tecnología en la que los fabricantes centran sus esfuerzos, la convierten en la solución ideal para dar servicio al backbone de la red corporativa.

3.3.2. Discusión para el transporte de la voz

Existen varias soluciones para dar servicio a la red de voz una vez se ha decidido que va a ser Gigabit Ethernet la tecnología elegida para el transporte de datos. De ellas, TDMoIP es la elegida para el transporte del tráfico de voz a través de la red.

A continuación se justifica esta elección a través de las siguientes comparativas:

3.3.2.1. TDMoIP vs ATM

Una solución posible pasa por el mantenimiento de la actual red ATM para el transporte de la voz, funcionando de manera “paralela” a la red de datos Gigabit Ethernet. Esto supondría una ventaja desde el punto de vista de la sencillez de la migración ya que únicamente la red de datos se vería afectada. Además, la fiabilidad de esta tecnología, así como la calidad de servicio que ofrece para el transporte de la voz, han quedado demostradas durante los cinco años que lleva en funcionamiento.

No obstante esta solución plantea varios inconvenientes importantes.

En primer lugar el mantenimiento de un equipamiento obsoleto, con los riesgos que ello conlleva en caso de avería de alguno de los componentes ya que cada vez serán más costosos los recambios así como complicado encontrarlos. La opción de sustituir este equipamiento por otro más moderno no compensa desde el punto de vista económico ya

que sería invertir en tecnología ATM (ya de por sí bastante cara) para aprovechar únicamente el transporte de voz a través de la emulación de circuitos E1 que esta tecnología proporciona, desaprovechando el resto de ancho de banda. En la solución de datos se explica por qué no se elige ATM para el transporte de los datos.

Por otro lado, otro de los inconvenientes que se plantean es el requerimiento de una infraestructura de comunicaciones dedicada ya que se necesitará un par de fibras por cada enlace ATM que conecte cada uno de los conmutadores localizados en los edificios equipados con centralitas MD-110 con el conmutador central de Jesytel. Este par de fibras estará exclusivamente dedicado al transporte de tráfico de voz. Esto supone una inversión económica importante ya que ,aparte de estas fibras, serán necesarias otras dedicadas al transporte de los datos sobre Gigabit Ethernet.

Como se puede deducir de lo anteriormente expuesto la elección de esta solución para el transporte de voz no es la más apropiada, no tanto desde el punto de vista tecnológico (ya que como se comentó anteriormente el transporte de voz sobre ATM proporciona una calidad de servicio y una fiabilidad muy buenas), como desde el punto de vista económico. La inversión que hay que realizar en materia de infraestructura es importante así como también lo es el mantenimiento de un equipamiento obsoleto, por no hablar de la adquisición de nuevo equipamiento de red ATM única y exclusivamente dedicado al transporte de voz.

Asimismo estaríamos hablando de la existencia de dos redes independientes, una para el transporte de voz y otra para el de datos, con lo cual nos habríamos alejado del concepto de red de servicios integrados, en la cual convergieran ambos tráficos, que habíamos planteado en un principio como uno de los objetivos del proyecto.

Desde el punto de vista de los servicios ofrecidos TDMoIP proporciona la mayoría de los que ATM ofrece, con la importante salvedad de la QoS, para la cual hay que buscar otras maneras de implementarla.

Por otro lado TDMoIP es mucho más simple, barato y más eficiente que ATM, y lo que es más importante, se puede transportar a través de redes IP y Ethernet. TDMoIP es más eficiente que ATM ya que se puede configurar el tamaño de la carga útil a transmitir

y, por tanto, el porcentaje de cabecera que va a atravesar la red, mientras que en ATM, el tamaño de la carga útil es fijo e igual a 48 bytes, por lo que el porcentaje de cabecera es mucho mayor.

3.3.2.2. TDMoIP vs VoIP

Si comparamos TDMoIP con VoIP podemos ver muchas similitudes. Por ejemplo, ambos son protocolos en tiempo real que utilizan UDP/IP (y no TCP/IP) porque no pueden afrontar el retardo añadido debido a las retransmisiones.

La principal ventaja de TDMoIP sobre VoIP es la simplicidad. Así, mientras TDMoIP es transparente a protocolos y señalizaciones, transportando la señalización de forma transparente a través de la red, VoIP debe comprenderlos y convertirlos a sus propios protocolos, con las posibles dificultades que puede conllevar, sobre todo de incompatibilidad.

Otro problema que presenta VoIP es que no es transparente a la señalización y a los protocolos de voz empleados por los diferentes fabricantes para transportar el tráfico de voz entre sus centralitas. Debido a esto presenta ciertas incompatibilidades y problemas a la hora de llevar a cabo la conversión de estos protocolos de señalización al suyo propio, por lo que determinadas centralitas pueden ser no válidas para esta tecnología. En el proyecto que nos ocupa, el problema va más allá, ya que la actual versión de las centralitas MD-110 no soporta VoIP, por lo que en caso de inclinarnos por esta solución habría que llevar a cabo una importante inversión en nuevo equipamiento de centralitas compatibles con VoIP.

TDMoIP soporta el equipamiento existente, por lo que la inversión realizada por las empresas en centralitas se conserva. VoIP está más orientado a redes de nuevo diseño, en las que el equipamiento a adquirir será compatible con esta tecnología, ya que la compleja señalización de VoIP ocasiona que los gateways no sean compatibles con todos los modelos de centralitas del mercado.

Desde el punto de vista práctico, VoIP es una tecnología más orientada hacia aquellos entornos en los que la mayoría de las llamadas telefónicas deben salir hacia la RTC, como por ejemplo empresas con sedes en distintas ciudades o países, con el

consecuente gasto telefónico que ello conlleva. Este gasto telefónico podría disminuir considerablemente si, en lugar de hacer las llamadas a través de la red telefónica tradicional, se hacen a través de una red IP (como por ejemplo, Internet). Este no es nuestro caso de estudio ya que nosotros estamos buscando una solución para interconectar centralitas que ya tienen una conexión IP entre ellas a través de la LAN corporativa por lo que las llamadas entre extensiones corporativas no deben salir hacia la RTC.

Es por ello, y debido también a la elevada inversión económica que habría que acometer para sustituir tanto las actuales centralitas por otras compatibles con VoIP, como los actuales terminales telefónicos tradicionales por los modernos terminales IP, por lo que esta solución queda descartada como tecnología para el transporte de la voz, siendo TDMoIP la tecnología elegida para este fin.

4. Nueva solución de red

Como ya se apuntó anteriormente, la solución que en el presente proyecto se aborda pasa por la sustitución de las tecnologías ATM y Ethernet presentes en el *backbone* de la red por tecnología Gigabit Ethernet. En apartados anteriores ya se expuso el funcionamiento básico de cada tecnología. En ellos se pudo apreciar las notables diferencias que existen entre ambas.

La nueva propuesta debe ofrecer una solución para el transporte del tráfico tanto de voz como de datos sobre el nuevo *backbone* de red Gigabit Ethernet. A continuación se exponen por separado ambas soluciones.

4.1. Red de transporte

La principal revolución en el diseño de la nueva red de datos va a radicar en el hecho de que vamos a tener redundancia en el *backbone* de la red, gracias a la instalación de dos conmutadores centrales simétricos y redundantes en Jesytel. De esta forma, en caso de caída de uno de ellos o de alguno de sus componentes, el tráfico se recuperará de forma prácticamente instantánea y automática por parte del otro.

El esquema simplificado de la nueva red de datos será por lo tanto el siguiente:

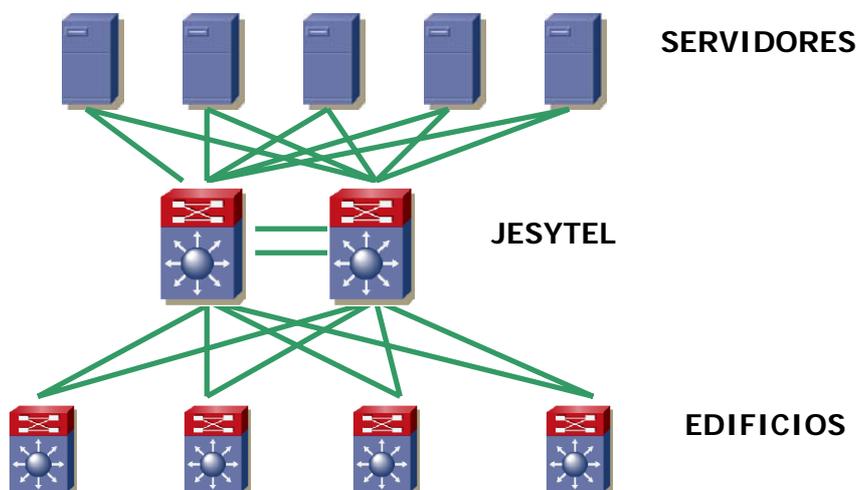


FIGURA 4.1: NUEVA SOLUCIÓN DE RED

La idea es que cada conmutador central de cada uno de los edificios pueda conectarse de forma dual a ambos conmutadores centrales de Jesytel, de tal forma que en caso de caída de un enlace el tráfico se restablezca por el otro. Para ello dichos equipos deben poder disponer de doble adaptador de red y de un sistema operativo que gestione el balanceo o redundancia carga entre ambos. En el que caso que no lo sea posible se deben prever puertos suficientes en el conmutador de backup para realizar el cambio a mano.

Veamos a continuación la electrónica de red escogida para llevar a cabo este proyecto.

4.1.1. Electrónica de red

La solución para la red de datos Gigabit Ethernet pasa por la sustitución de los actuales conmutadores Alcatel, basados en la tecnología ATM, del *backbone* por nuevos conmutadores de la marca Cisco, con puertos Ethernet y Gigabit Ethernet. El cambio no sólo afectará al *backbone* de la red sino que también se acometerá la sustitución de la electrónica de red de los armarios de cableado de todos los edificios, sustituyendo los actuales hubs y swtches exclusivamente por conmutadores Cisco, todos del mismo modelo, homogeneizando así la electrónica de red. Del mismo modo se eliminará el tráfico de broadcast innecesario introducido por los hubs disminuyendo así las posibilidades de congestión de la red.

Para sustituir la actual electrónica de red se han elegido conmutadores de la marca Cisco Systems. Esta elección se ha realizado en base a la amplia gama de modelos que presenta así como la elevada calidad y fiabilidad de sus componentes, contrastado por la confianza que muchos otros clientes por todo el mundo han depositado en ellos, con una cuota de mercado del 80% y siendo el mayor fabricante mundial de routers y switches.

Los switches escogidos se encuentran encuadrados dentro de la familia *Catalyst*. Se trata de una completísima línea de switches de alto rendimiento, con modelos destinados tanto a los armarios de cableado como al *backbone* de la red. En particular se ha escogido la familia 3750 para los armarios de cableado y la familia 6500 para el

backbone. Estos modelos así como los módulos empleados en cada uno de ellos se detallan a continuación.

4.1.1.1. Catalyst 3750

La serie Catalyst 3750 es una nueva solución de Cisco que mejora el rendimiento de las LAN gracias a la innovadora *Stackwise Technology* que incorporan. Esta tecnología permite crear una pila de hasta 9 switches conectados a través de cables especiales a una velocidad de 32 Gbps. formando una única unidad lógica, funcionando con una dirección IP única a todos ellos.

La pila es gestionada por un switch maestro, elegido automáticamente de entre uno de los switches que la forman. Este switch crea y actualiza las tablas de enrutamiento de los demás switches, detectando asimismo si alguno de ellos cae o si se elimina o añade alguno más a la pila.

En caso de que el maestro sea el que caiga los demás switches son capaces de detectarlo y se procede a la elección de un nuevo maestro, con lo que la resistencia y disponibilidad de la pila es muy elevada.

Los modelos que emplearemos en el diseño de la nueva red serán los siguientes:

- 3750G-24T, con 24 puertos Ethernet 10/100/1000
- 3750G-24TS, con 24 puertos Ethernet 10/100/1000 y 4 uplinks SFP. Estos uplinks SFP son interfaces de fibra modulares, que los emplearemos en aquellos emplazamientos que actualmente están conectados a través de convertidores de fibra-UTP, eliminando así la conversión de medios. El modelo de SFP empleado será 1000Base-LX/LX para fibra óptica monomodo.

Dependiendo de las necesidades de puertos conmutados harán falta distinto número de switches en cada uno de los emplazamientos. A continuación se detalla el modelo y número de unidades necesarias en cada uno de ellos:

EDIFICIO	MODELO	UNIDADES
Ajemsa	3750G-24T	4
Turismo C/Paúl	3750G-24TS	1
Juventud	3750G-24TS	1
Infraestructura	3750G-24T	2
Bienestar Social	3750G-24T	3
Cultura	3750G-24TS	1
Jecomusa	3750G-24T	5
Medio Ambiente	3750G-24TS	1
	3750G-24T	1
Biblioteca	3750G-24TS	1
	3750G-24T	1
SIPE	3750G-24TS	1
	3750G-24T	1
Jereyssa Latorre	3750G-24T	5
Área Económica	3750G-24TS	1
	3750G-24T	2
Emuvijesa	3750G-24TS	1
	3750G-24T	2
Consistorio	3750G-24T	8
Relaciones Ciudadanas	3750G-24T	2
Promoción	3750G-24T	4
Jereyssa las Marinas	3750G-24TS	1
G.M.U.	3750G-24T	7
Circulación	3750G-24TS	1
Policía Local	3750G-24T	3

FIGURA 4.2: EQUIPAMIENTO CATALYST 3750 NECESARIO

4.1.1.2. Catalyst 6500

La familia Catalyst 6500 es la solución ideal para el *backbone* de la red, dada su elevada densidad de puertos, su fiabilidad y rendimiento, así como las posibilidades de ampliación que presenta. Diseñado para el funcionamiento en las actuales redes Gigabit Ethernet está dotado de mecanismos destinados a ofrecer QoS, gracias a una clasificación inteligente del tráfico que lo atraviesa basada en prioridades, permitiendo la convergencia

eficaz de las redes de voz y datos en una única red, tal y como se verá en apartados posteriores.

Se instalarán dos modelos de la familia 6500: el 6509, que serán los que se instalarán en Jesytel y con 9 slots de capacidad, y el 6506, que se instalará en el resto de dependencias y con 6 slots disponibles. Dependiendo de las necesidades de puertos conmutados de cada uno de los edificios y su conectividad, estos chasis irán equipados con un número y modelo distinto de tarjetas.

4.1.1.2.1. Catalyst 6506

Las tarjetas empleadas en estos modelos son las siguientes:

- Módulo de 16 puertos Ethernet 10/100/1000 (WS-X6516-GE-TX), para los uplinks con los conmutadores 3750 y los Gateways TDMoIP.
- Módulo de fibra de 8 puertos GBIC 1000Base-X (WS-X6408A-GBIC). Los GBICs (Gigabit Interface Converters) son módulos independientes, que se conectan a los puertos de esta tarjeta de según las necesidades que se tengan de puertos de fibra. En nuestro caso emplearemos el modelo de GBIC WS-G5486, 1000Base-LX/LH, capaz de transmitir a 10 Km sobre fibra óptica monomodo de 1300 nm. Estos módulos conectarán los 6506 con los 6509 así como con 3750 localizados en otros emplazamientos y con conectividad a través de fibra con el 6506 (básicamente los que actualmente están funcionando con conversores de fibra-UTP).
- Supervisor Engine 2 (WS-X6K-S2-MSFC2). Este módulo incluye:
 - o *PFC2*, que identifica y clasifica el tráfico aplicando los niveles de QoS y políticas de seguridad apropiadas tal y como han sido definidas en las ACLs por el administrador del sistema. También se encarga de evitar que aplicaciones no autorizadas entren en la red.
 - o MSFC, que actúa como motor de enrutamiento de nivel 3.

Dado que en ninguno de los emplazamientos se necesitan más de 16 puertos Ethernet en estos conmutadores (ya que como máximo vamos a utilizar 9 en Consistorio dadas las necesidades de conmutadores 3750 vistas anteriormente), todos los

conmutadores irán equipados con una tarjeta de las anteriormente expuestas. Lo único que variará será la necesidad de módulos GBICs, dado que en aquellos sitios con enlaces de fibra hacia emplazamientos con 3750 con módulo de fibra se necesitarán más interfaces GBICs. Las necesidades se exponen a continuación:

EMPLAZAMIENTO	MÓDULOS GBIC
Jereyssa Latorre	2
G.M.U.	2
Ajemsá	4
Promoción	3
Relaciones Ciudadanas	2
Jecomusa	2
Policía Local	2
Infraestructura	2
Bienestar Social	2

FIGURA 4.3: MÓDULOS GBIC NECESARIOS

4.1.1.2.2. Catalyst 6509

Este conmutador será el centro de la estrella de la red de comunicaciones. Habrá dos de ellos instalados en Jesytel de forma que funcionen de manera redundante. Dado que deberá soportar tanto las conexiones de fibra procedentes de cada uno de los emplazamientos como las conexiones con los servidores localizados en Jesytel las necesidades de puertos conmutados será mayor que en los conmutadores 6506 vistos anteriormente.

Los módulos empleados por cada uno de los 6509 serán:

- 1 Módulo de 48 puertos Ethernet 10/100/1000 (WS-X6748-GE-TX), para conexión con servidores, switches departamentales y GS.
- 2 Módulos de fibra de 16 GBICs, empleando el mismo modelo de GBIC que en el caso de los 6506.

- Supervisor Engine 2 (WS-X6K-S2-MSFC2), que se encargará, al igual que en el resto de Catalyst de la diferenciación del tráfico y el enrutamiento de nivel 3.

Cabe indicar que todos los conmutadores de la serie 6500 van dotados con fuentes de alimentación redundantes.

Veamos a continuación cómo queda el nuevo esquema lógico de la red con los nuevos conmutadores que hemos descrito anteriormente.

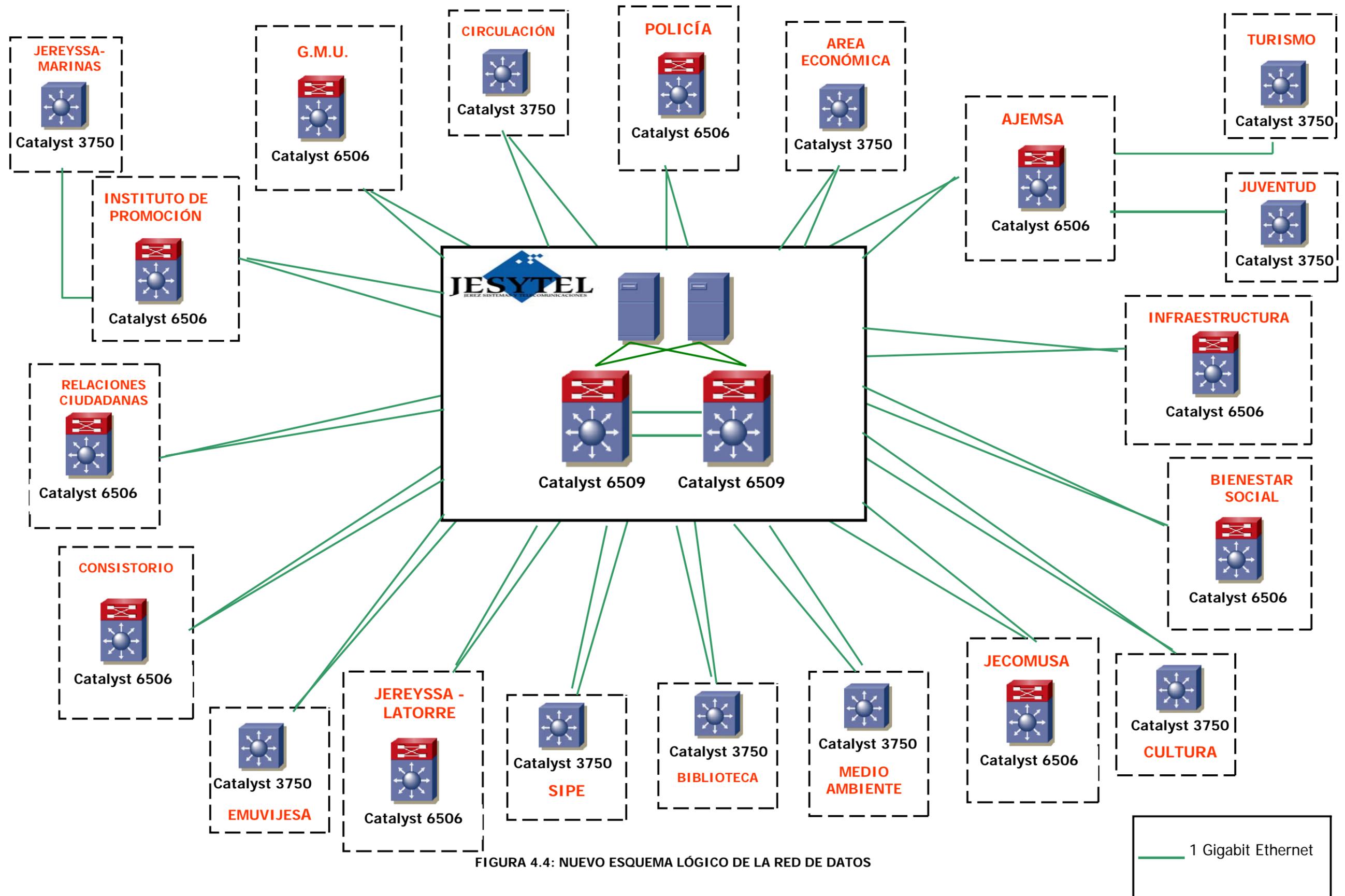


FIGURA 4.4: NUEVO ESQUEMA LÓGICO DE LA RED DE DATOS

Hasta aquí hemos visto las necesidades en materia de electrónica de red requeridas para llevar a cabo la migración a Gigabit Ethernet. Como ya se comentó anteriormente gracias a esta unificación de criterios se consigue homogeneizar la red, eliminando los hubs y consecuentemente tráfico de broadcast innecesario, mejorando así el aprovechamiento del ancho de banda disponible.

4.1.2. Sistema de gestión

El sistema de gestión escogido para la red de datos es el Cisco Lan Management Solution (LMS) en su versión 2.2. El software LMS proporciona una serie de aplicaciones para configurar, administrar, monitorizar y resolver los problemas de una red formada por dispositivos Cisco. De esta manera se puede administrar la red de una manera cómoda y eficaz, al englobar esta solución todas las posibles necesidades que puedan plantearse.

La versión de LMS escogida incluye los siguientes componentes:

- ***CiscoWorks Common services 2.2:*** Proporciona un software y servicios comunes para otros productos LMS. Gracias a éste componente pueden monitorizarse problemas, gestionar dispositivos y monitorizar la red. En él se incluye el CiscoView 5.5A, que es una herramienta gráfica de gestión.
- ***Resource Manager Essentials 3.5:*** Gestiona el inventario y el cambio de dispositivos de red. Permite una visualización de la disponibilidad de la red así como un análisis de logs.
- ***Campus Manager 3.3:*** Gracias a este elemento se pueden obtener gráficamente la topología de la red así como información sobre los usuarios finales.
- ***Device Fault Manager 1.2:*** Monitoriza problemas en tiempo real y determina la causa de posibles fallos en los dispositivos de red Cisco. Avisa al administrador del sistema en caso de problemas en algún dispositivo o de condiciones críticas en la red a través de e-mail u otros medios. Posee un histórico accesible al administrador donde se almacenan los fallos y problemas de la red que se van detectando.
- ***NetScout nGenius Real-Time Monitor 1.4 (RTM):*** Gestiona y monitoriza el tráfico de paquetes a través de la red, así como el tráfico de protocolos y

aplicaciones. Proporciona herramientas para monitorizar y solucionar problemas relacionados con umbrales de tráfico.

El LMS será instalado en un servidor funcionando bajo Sistema Operativo Windows, pudiendo ser accedido directamente desde el servidor o pudiendo instalar máquinas clientes que accedan a él.

4.1.3. Mejoras en las infraestructuras de cableado

Las modificaciones que se van a abordar en materia de cableado persiguen varios objetivos:

- En primer lugar, dotar al backbone de la red de una infraestructura de fibra óptica exclusivamente monomodo, con el fin de conseguir mayores distancias de transmisión sobre Gigabit Ethernet
- En segundo lugar ampliar el número de fibras existentes, necesario para llevar a cabo la conectorización redundante de los conmutadores 6506 con los 6509 de Jesytel.
- Por otro lado, se pretende sustituir los tramos de fibra pertenecientes a Telefónica, de manera que toda la infraestructura de fibra sea propiedad de Jesytel.
- Por último se abordarán mejoras de cableado en aquellos edificios que así lo requieran, con objeto de que no sea el cableado un cuello de botella que reduzca el aprovechamiento de la velocidad de transmisión que la tecnología de red instalada nos ofrece.

4.1.3.1. Modificaciones en la infraestructura de fibra

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el nuevo esquema físico de la red de datos, con los tres primeros puntos anteriores ya solucionados, quedaría de la siguiente forma:

Como se puede observar se han realizado varias modificaciones con respecto al esquema presentado con anterioridad. Las modificaciones introducidas han sido:

- Sustitución de los tramos de fibra multimodo por fibra monomodo.
- Adición de fibras en cada uno de los tramos.
- Sustitución de los tramos de fibra correspondientes al Plan Fotón, propiedad de Telefónica, por tramos de fibra propiedad de Jesytel. Estos tramos se corresponden con:
 - o Jesytel-Cultura (1570 m)
 - o Promoción-Jereyssa Marinas (1200 m)
 - o Promoción-Policía Local (2100 m)
 - o Jesytel-Infraestructura (2200 m)

Cabe indicar que se han tirado más fibras de las que existían en un principio por si en un futuro fueran necesarias.

4.1.3.2. Mejoras en cableados de edificios

Con respecto a los cableados estructurados de los edificios que se deben modificar cabe indicar que los nuevos cableados instalados serán realizados con cableado de categoría 6, dotando a estos edificios de esta manera de una infraestructura de cableado preparada para soportar nuevas necesidades futuras.

Los edificios en los que se debe abordar esta actuación son los siguientes:

- **Área Económica:** posee el único cableado que queda de categoría 3 en las dependencias municipales. Es necesario llevar a cabo una actuación completa, instalando un nuevo armario de cableado además de recablear por completo el edificio.
- **Bienestar Social:** Rosetas sin rotular y malas conexiones con edificios adyacentes.

4.2. Integración de la voz

Como ya se ha comentado en varias ocasiones, la solución de voz pasa por la convergencia entre la red de datos y la de telefonía. Para ello se empleará la tecnología *TDMoIP (Time División Multiplexing over the Internet Protocol)* cuyos fundamentos se explicaron en apartados anteriores. Las razones de la elección de esta tecnología también fueron expuestas anteriormente.

Para llevar a cabo la migración a esta tecnología únicamente será necesario introducir unos dispositivos que se encargarán de convertir el tráfico TDM proveniente de la centralita en paquetes IP (con su correspondiente esquema de direcciones IP) para transmitirlos a través de la red de datos. Estos dispositivos no son más que unos Gateways, que por un lado tendrán una interfaz E1 que se conectará a la centralita y por otro una interfaz Ethernet que se conectará a un switch Gigabit Ethernet. El tráfico original será regenerado en el destino, transformándose los paquetes IP de nuevo en tráfico TDM que será entregado a la centralita.

Gracias a esta tecnología se podrán conectar las centralitas MD-110 a través de *emulaciones* de circuitos E1 sobre Ethernet (Gigabit Ethernet en nuestro caso), supliendo así a las actuales emulaciones sobre ATM de una forma sencilla.

Tanto para las centralitas como para el GS el funcionamiento no varía, ya que seguirán manejando tráfico TDM, por lo que el encaminamiento de las llamadas seguirá haciéndose a través de ellas.

En nuestro caso emplearemos la solución TDMoIP (CE) ya que nuestro entorno de trabajo es un backbone Gigabit Ethernet de fibra por lo que las limitaciones de ancho de banda son bastante escasas. A partir de ahora cuando hablemos de TDMoIP nos referiremos siempre a TDMoIP (CE).

4.2.1. Aspectos a tener en cuenta en la implementación

Los parámetros más influyentes en el comportamiento de una transmisión de voz son los siguientes:

- **Calidad de Servicio:** TDMoIP no proporciona mecanismos que aseguren calidad de servicio por lo que los switches a través de los cuales circulan las tramas TDMoIP deben poderse configurar de forma que éstas tengan prioridad sobre cualquier otro tipo de tráfico.
- **Retardos de los paquetes:** una red IP no asegura el retardo de un paquete. Actualmente, solamente a través del control y gestión global extremo a extremo, y la disponibilidad de suficiente ancho de banda así como la tecnología de switching-routing necesaria, es posible asegurar unos niveles de retardo máximos. La recomendación G.114 definida en 1996 recomienda que el límite en un canal unidireccional de voz sea de 400 ms.
- **Jitter:** es muy dependiente del retardo de los paquetes y consiste en el tiempo de variación en la llegada de éstos. Como la regeneración de la señal de voz en el receptor es un proceso síncrono, necesita disponer de un bloque de voz de manera periódica. Sin embargo, por las variaciones del retardo, el flujo de paquetes recibido carece de la sincronía necesaria. Para evitarlo se utiliza un buffer amortiguador en el receptor que almacena los paquetes por orden de llegada extrayéndolos de manera síncrona. El tamaño de este buffer puede ser fijo o dinámico.
- **Pérdida de paquetes:** al estar basados en una transmisión no fiable las pérdidas de paquetes (UDP) si existe congestión o problemas en la transmisión pueden llegar a ser importantes. Deben proveerse mecanismos para interpolar paquetes de relleno en caso de pérdida para que no se pierda el sincronismo de las tramas. El contenido de estos paquetes debe de ser tal que no afecte demasiado a la comunicación (puede ser incluso un paquete vacío).
- **Sincronismo:** las redes TDM son síncronas por naturaleza, por lo que hay que proporcionar de alguna forma una señal de reloj. Hay dos formas de solucionar el problema. La primera de ellas consiste en transmitir el timeslot de sincronización de la trama TDM a través de la red IP como si fuera un

timeslot más. La segunda consiste en emplear un reloj externo conectado a los dispositivos TDMoIP.

La manera de abordar cada uno de estos problemas se detalla más adelante, describiéndose los parámetros influyentes en la configuración de los equipos así como sus valores correspondientes.

4.2.2. Hardware empleado

La solución para la red de voz de la red corporativa pasa por instalar un gateway TDMoIP en cada uno de los edificios donde tengamos una centralita MD-110. Estos gateways irán conectados a las MD-110 a través de un enlace E1 y al switch central del edificio a través de un enlace Ethernet.

En nuestro caso emplearemos los siguiente modelos de gateways de RAD:

- Para los emplazamientos con centralitas usaremos el ***Ipmux-1***, que posee una interfaz E1 que se conecta a la centralita, y una interfaz Ethernet 10/100 full-duplex que se conecta al switch.
- Para Jesytel emplearemos un ***Ipmux-16*** con 1 módulo de 8 interfaces E1, que se conectarán al GS y serán cada uno de los circuitos E1 que provienen de cada una de la 8 centralitas (la de Jesytel se conectará directamente al GS, sin necesidad de pasar por el Gateway). La interfaz Ethernet 10/100 full-duplex que posee se conectará al switch central de Jesytel.

Los edificios donde nos encontramos centralitas MD-110, y por lo tanto donde tendremos que instalar ***Ipmux-1*** son los siguientes:

- Consistorio
- G.M.U.
- Jereyssa
- Ajemsa
- Jecomusa
- Policía Local

- Bienestar Social
- Infraestructura

El nuevo esquema de la red de telefonía se muestra a continuación:

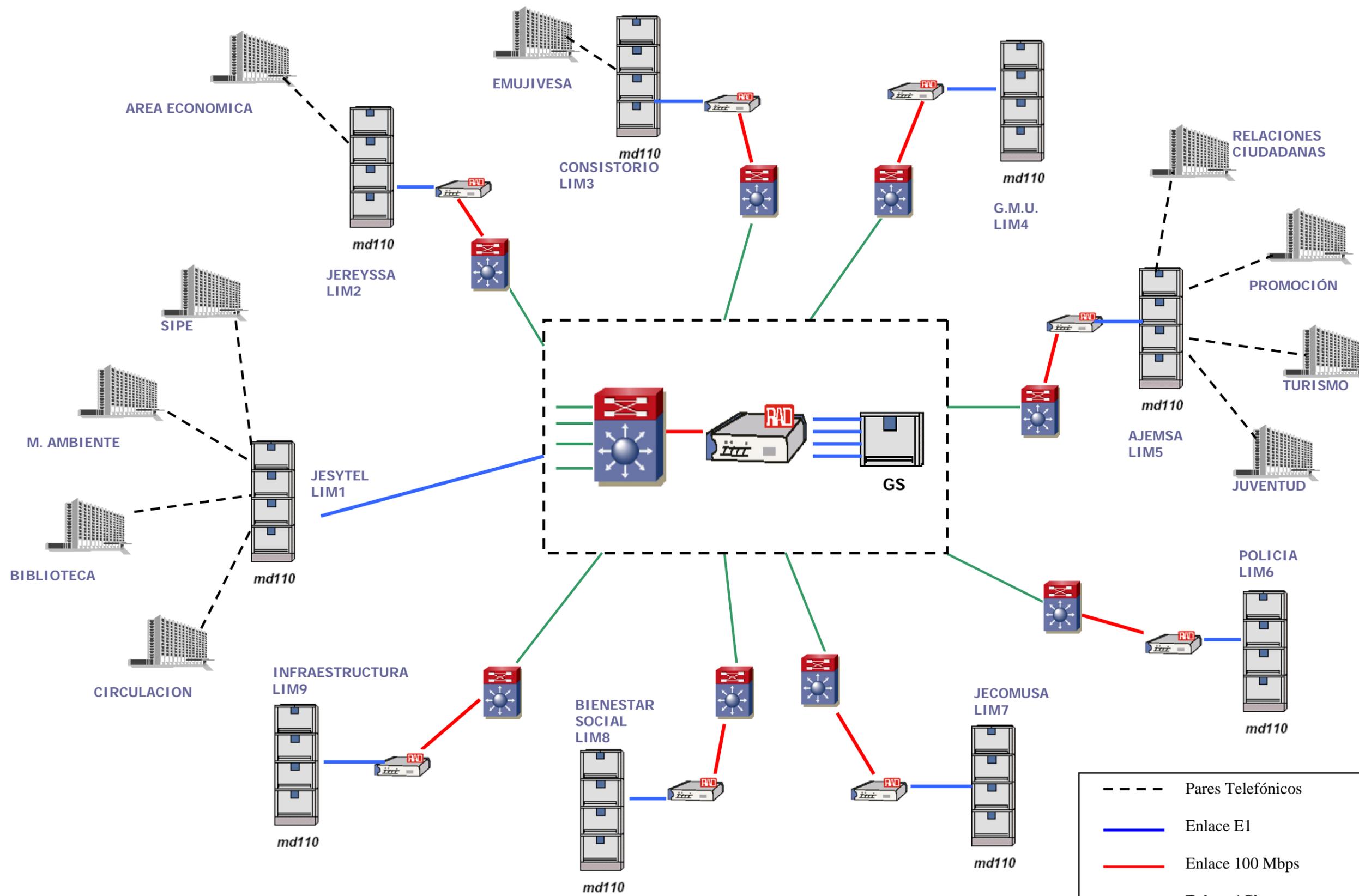


FIGURA 4.6: NUEVO ESQUEMA DE LA RED DE VOZ

---	Pares Telefónicos
—	Enlace E1
—	Enlace 100 Mbps
—	Enlace 1Gbps

Para el correcto funcionamiento del sistema debemos configurar cada uno de los dispositivos TDMoIP que forman parte del mismo. Debemos de fijar los parámetros que anteriormente se han expuesto al hablar de la estructura de los paquetes TDMoIP, de forma que el sistema se comporte de la manera que nosotros deseamos.

Para ello, RAD ha desarrollado un sistema de gestión para TDMoIP denominado *RADview-SC/TDMoIP*, que nos permite configurar de forma remota los dispositivos, así como hacer comprobaciones del estado de los mismos y de los circuitos establecidos.

Para ver la configuración que se debe llevar a cabo en sobre cada uno de los dispositivos TDMoIP que se van a instalar en la red, consultar el Anexo III.

4.2.3. VLANs

Con el fin de proporcionar un mecanismo para aislar el tráfico de la red de voz del de la red de datos crearemos una Virtual Lan (VLAN) formada por los Gateways TDMoIP que componen la red de voz. De esta manera evitaremos que posible tráfico de broadcast procedente de algún dispositivo de la red de datos se propague a los dispositivos de la red de voz, aislando de esta manera ambas redes.

Para ello, en primer lugar debemos configurar los puertos a los que están conectados los Gateways TDMoIP para que estén todos ellos dentro de la misma VLAN.

Una vez hecho esto debemos configurar el VTP (VLAN Trunking Protocol), que es el protocolo mediante el cual los switches se van a pasar la información referente a las VLANs. Tenemos que configurar el puerto de conexión entre los distintos switches como puerto de *trunking*, para que las VLANs funcionen correctamente. Las tramas que atraviesan el enlace *trunk* son encapsuladas y se les coloca una etiqueta indicando la VLAN a la que pertenecen. El VTP que elegiremos en nuestro caso será 802.1Q.

4.3. Gestión de QoS en la red de transporte

A continuación veremos los criterios y la configuración que se van a llevar a cabo en los conmutadores Cisco de la serie 6500 escogidos para el backbone de la red. Esta

configuración se llevará a cabo teniendo en cuenta la política que siguen estos equipos para clasificar y marcar el tráfico explicada en el apartado 2.3 del presente proyecto.

Como ya se comentó anteriormente, una de las principales desventajas que presenta Gigabit Ethernet frente a ATM es la QoS. Así, mientras ATM es capaz de garantizar un ancho de banda dedicado para un determinado tipo de tráfico, Gigabit Ethernet tiene que emplear técnicas orientadas a garantizar esta calidad de servicio mediante la implementación de diferentes procedimientos en los conmutadores. El empleo de estas técnicas no *garantiza* una calidad de servicio tal y como se entiende en ATM, con una reserva de ancho de banda específica, sino que se basa en prioridades y colas que dan preferencia al tráfico más crítico, todo ello soportado por una red con un ancho de banda sobredimensionado para garantizar que no “nos quedamos” sin ancho de banda para las aplicaciones críticas en caso de congestión de la red.

Es por ello, y dado que hemos escogido Gigabit Ethernet como la tecnología encargada de dar servicio al *backbone* de la red corporativa, por lo que debemos buscar alguna solución a este problema.

En nuestro caso, la implementación de la QoS irá destinada a darle la máxima prioridad al tráfico de voz que por su naturaleza es el más sensible a retardos y a pérdidas de paquetes. Es por ello por lo que debemos garantizar una entrega del tráfico de voz de una forma rápida y eficaz, poco sensible a posibles congestiones de la red.

Para ello configuraremos los puertos de los conmutadores Cisco Catalyst 6500 conectados a los Gateways TDMoIP de forma que el tráfico que llegue por ellos sea tratado con la mayor prioridad posible. Del mismo modo, el tráfico que llegue a estos conmutadores a través de los enlaces de fibra y con destino los Gateways debe ser servido siempre con preferencia sobre el resto de tráfico.

4.3.1. Hardware empleado

En primer lugar, vamos a recordar el hardware con el que estamos trabajando, viendo las características del equipamiento en referencia al número de colas y el tipo de las mismas, así como el tamaño de los buffers por puerto.

4.3.1.1. Cisco Catalyst 6509

Es el conmutador que se encuentra en Jesytel y centro de la estrella de comunicaciones. A él van conectados el resto de los conmutadores centrales de cada uno de los edificios. Equipado con:

- 1 módulo Ethernet 10/100/1000 RJ-45 de 48 puertos, al cual van conectados los switches departamentales de Jesytel, los servidores, y el Gateway Ipmux-16. Posee la siguiente configuración de colas por puerto:
 - o Tx-1p3q8t, es decir, en transmisión presenta una *strict-priority queue*, y 3 *standard-queue*, cada una de las cuales tiene 8 umbrales *WRED* configurables, y con 1.3 Mb de buffer por puerto.
 - o Rx-1q8t, es decir, una *standard-queue* con 8 umbrales de tipo *WRED* y 1.3 Mb de buffer por puerto.
- 2 módulos de fibra 1000Base-X GBIC de 16 puertos, con Gigabit Interface Converters (GBICs) 1000Base-LX/LH de fibra monomodo. La configuración de los puertos es:
 - o Tx-1p2q2t, una *strict priority-queue* con dos *standard-queues* cada una de ellas con dos umbrales *WRED* configurables, y 512 Kb de buffer por puerto.
 - o Rx-1p1q4t, una *strict priority-queue* más una *standard-queue* con cuatro umbrales *WRED* configurables, y 512 Kb de buffer por puerto.

4.3.1.2. Cisco Catalyst 6506

Son los conmutadores elegidos como conmutadores centrales de cada uno de los edificios. Van equipados con:

- 1 módulo Ethernet 10/100/1000 RJ-45 de 16 puertos, al cual van conectados los switches departamentales y el Gateway Ipmux-1 (donde exista centralita MD-110). Su configuración es:
 - o Tx-1p2q2t, una *strict priority-queue* con dos *standard-queues* cada una de ellas con dos umbrales *WRED* configurables, y 512 Kb de buffer por puerto.

- o Rx-1p1q4t, una *strict priority-queue* más una *standard-queue* con cuatro umbrales *WRED* configurables, y 512 Kb de buffer por puerto.
- 1 módulo de fibra 1000Base-X GBIC de 16 puertos, con Gigabit Interface Converters (GBICs) 1000Base-LX/LH de fibra monomodo. La configuración de los puertos es:
 - o Tx-1p2q2t, una *strict priority-queue* con dos *standard-queues* cada una de ellas con dos umbrales *WRED* configurables, y 512 Kb de buffer por puerto.
 - o Rx-1p1q4t, una *strict priority-queue* más una *standard-queue* con cuatro umbrales *WRED* configurables, y 512 Kb de buffer por puerto.

Cabe indicar que todos ellos, tanto los 6506 como el 6513, van equipados con un *supervisor engine 2*, con *PFC2* y *MSFC2*, tal y como ya se comentó, y sin los cuales no sería posible la implementación de QoS.

4.3.2. Configuración de los puertos de los conmutadores

En el proyecto que nos ocupa sobre la red de Jesytel vamos a configurar los conmutadores Cisco Catalyst de la serie 6500 que forman el *backbone* de la red para que el tráfico de voz que los atraviesa sea servido con la máxima prioridad. Los Catalyst 3750 no los vamos a configurar, ya que a través de ellos no van a circular paquetes que transporten tráfico de voz al ir los gateways TDMoIP conectados directamente a los Catalyst 6500.

Resumiendo, nos vamos a encontrar con 3 tipos de configuraciones para los puertos de los conmutadores. Vamos a llamarlas *tipo A*, *tipo B* y *tipo C*:

- **Tipo A:** es la configuración de los puertos conectados directamente a los Gateways TDMoIP. El tráfico que llegue a estos puertos o con destino a ellos debe ser servido con la máxima prioridad, ya que se trata de tráfico que transporta exclusivamente información de voz.
- **Tipo B:** es la configuración de los puertos conectados a los Catalyst 3750, que van a transportar tráfico de datos, por lo que la prioridad que le daremos

será menor al ser menos sensible a los retardos. En principio no vamos a distinguir prioridades según el tipo de tráfico de datos.

- **Tipo C:** es la configuración de los puertos de fibra que unen los conmutadores de los edificios con el central de Jesytel. A través de estos puertos llega tráfico tanto de voz como de datos, por lo que tendremos que diferenciarlo y darle preferencia a la voz.

Veamos en el siguiente esquema dónde se dan estas configuraciones:

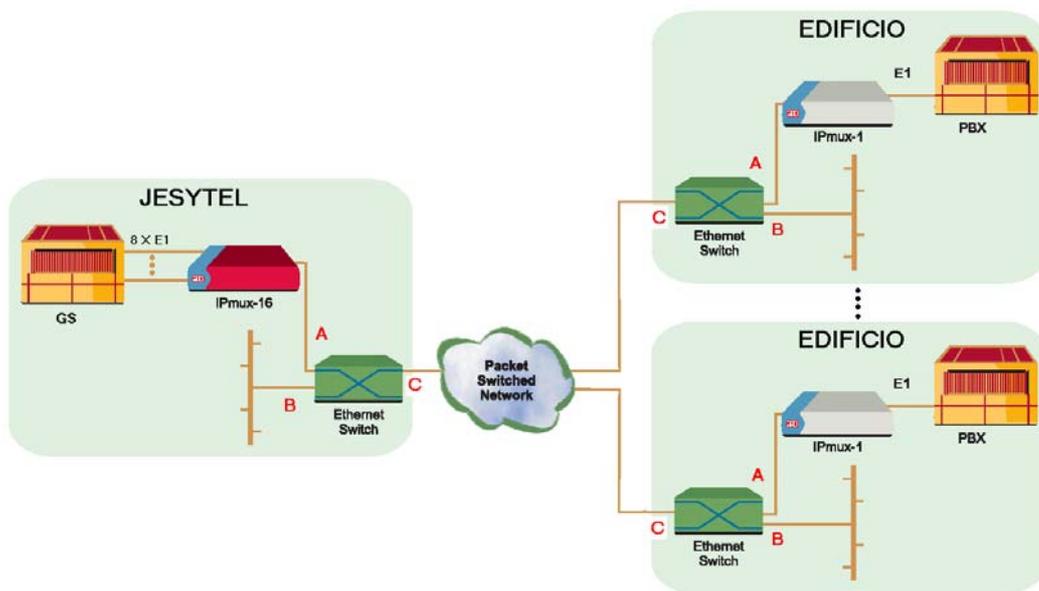


FIGURA 4.7: ESQUEMA DE INTERFACES DONDE CONFIGURAR QOS

Para ver como se configurarían cada uno de estos interfaces en los Catalyst 6500 consultar Anexo V.

5. Planificación de la migración

5.1. Fase I

En esta primera fase lo que haremos será configurar *off-line* los switches que vamos a utilizar, tanto los 3750 como los 6500. Tendremos que configurar parámetros básicos de funcionamiento tales como direcciones IP, VLANs, configuración de los puertos...

Una vez hecho esto, instalaremos los switches en sus nuevas ubicaciones interconectándolos entre ellos y sin conectar a ningún usuario, con el objetivo de comprobar su correcto funcionamiento inicial y que no vienen con defectos importantes como por ejemplo alguna fuente de alimentación en mal estado. La situación tras esta primera fase sería la siguiente:

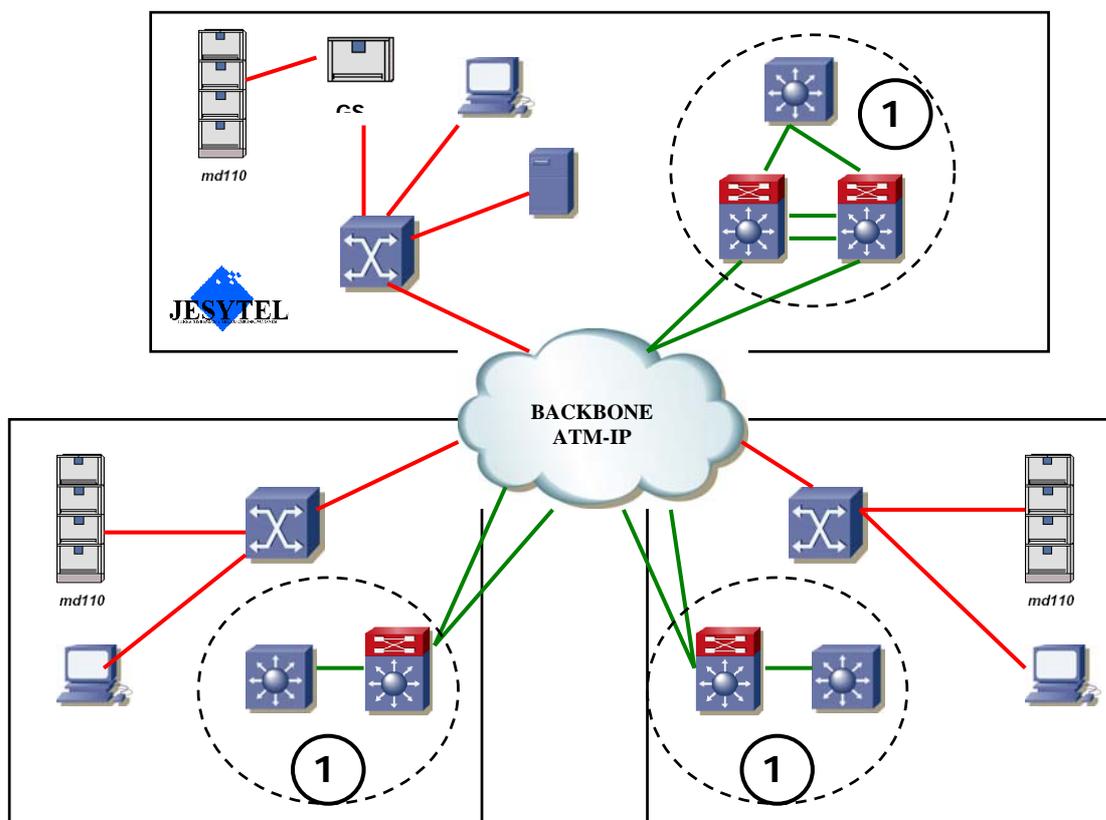


FIGURA 5.1: FASE I DE LA MIGRACIÓN

5.2. Fase II

Una vez instalados los switches y comprobado su correcto funcionamiento inicial pasaremos a conectar a un reducido grupo de usuarios a uno de los Catalyst 3750. Aparece en este punto un tema importante, que no es otro que la interconexión de los dos mundos que van a coexistir durante la migración: ATM y Gigabit Ethernet. Para que estos usuarios que hemos migrado a los nuevos conmutadores no queden aislados, debemos conectar el conmutador central ATM de Jesytel al 6513, de manera que los usuarios conectado a los switches Gigabit tengan acceso a los servidores, aún conectados al mundo ATM, y al resto de usuarios.

Nos encontramos en este punto con una limitación importante, ya que el conmutador ATM de Jesytel no posee puertos Gigabit. Debido a esto ambos mundos estarán unidos por un enlace de 100 Mbps. Esto puede suponer un cuello de botella importante hasta que se migren los servidores desde el conmutador ATM al Catalyst 6513. Veamos cuál sería la situación de la red tras esta segunda fase:

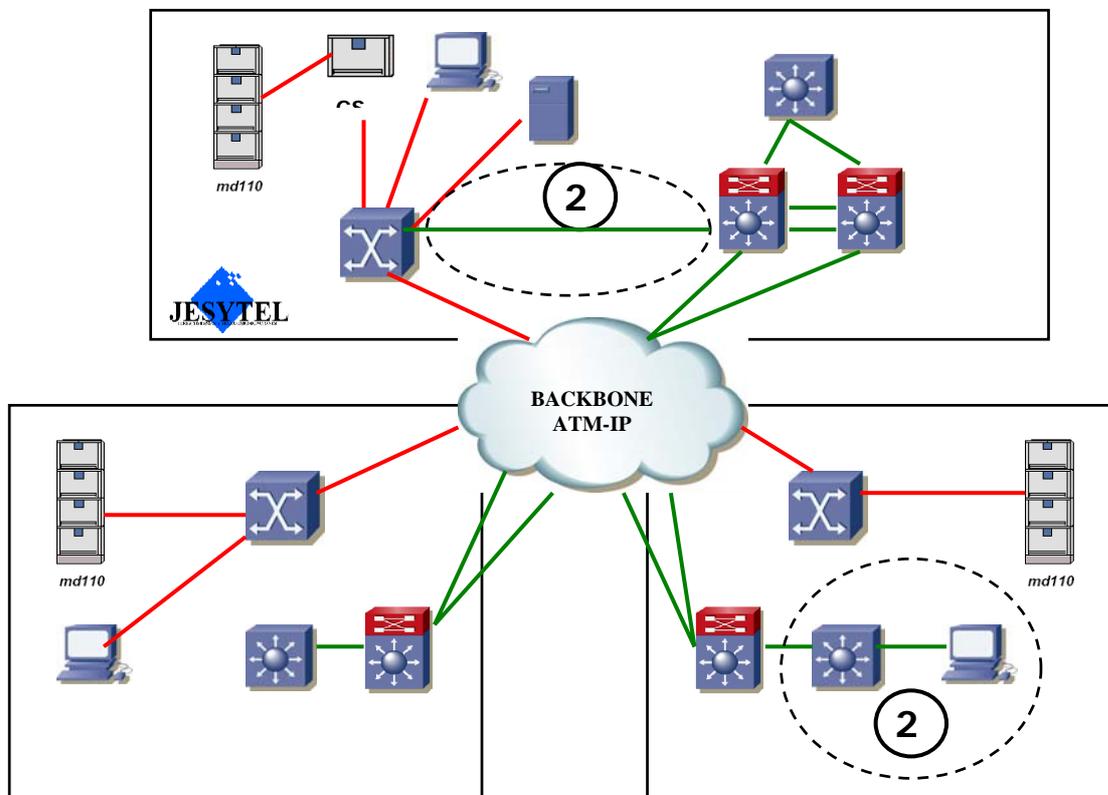


FIGURA 5.2: FASE II DE LA MIGRACIÓN

5.3. Fase III

Si hasta este punto todo ha ido correctamente se procederá a la migración progresiva del resto de usuarios a los nuevos conmutadores Gigabit. Del mismo modo, debemos llevar a cabo la migración de los servidores, siendo esta una tarea crítica dado que durante la migración no debe haber ninguna tarea en ejecución en ellos. Una vez realizado este cambio, la red de datos estaría totalmente migrada a la nueva tecnología. La situación de la red se ve reflejada en la siguiente figura:

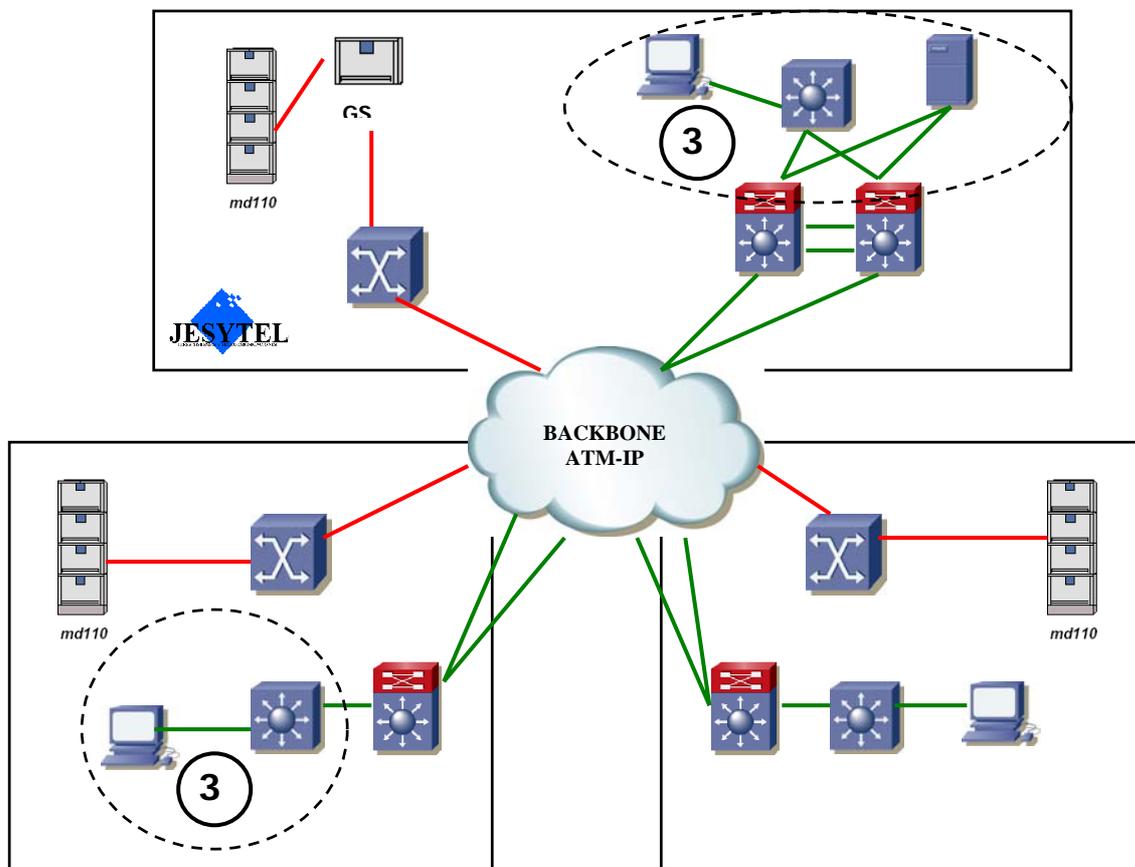


FIGURA 5.3: FASE III DE LA MIGRACIÓN

5.4. Fase IV

Llegados a este punto nos encontramos con dos redes interfunciando: la red de datos, viajando a través de los nuevos conmutadores Gigabit Ethernet, y la red de voz,

aún funcionando a través de las emulaciones de los circuitos E1 sobre ATM. Esto podemos observarlo en la figura anterior.

Por tanto, en esta fase, al igual que en la primera, tras configurar los Gateways TDMoIP los instalaremos en sus nuevas ubicaciones y los conectaremos a los Catalyst 6500, comprobando así su correcto funcionamiento y direccionamiento IP. Veámoslo en la siguiente figura:

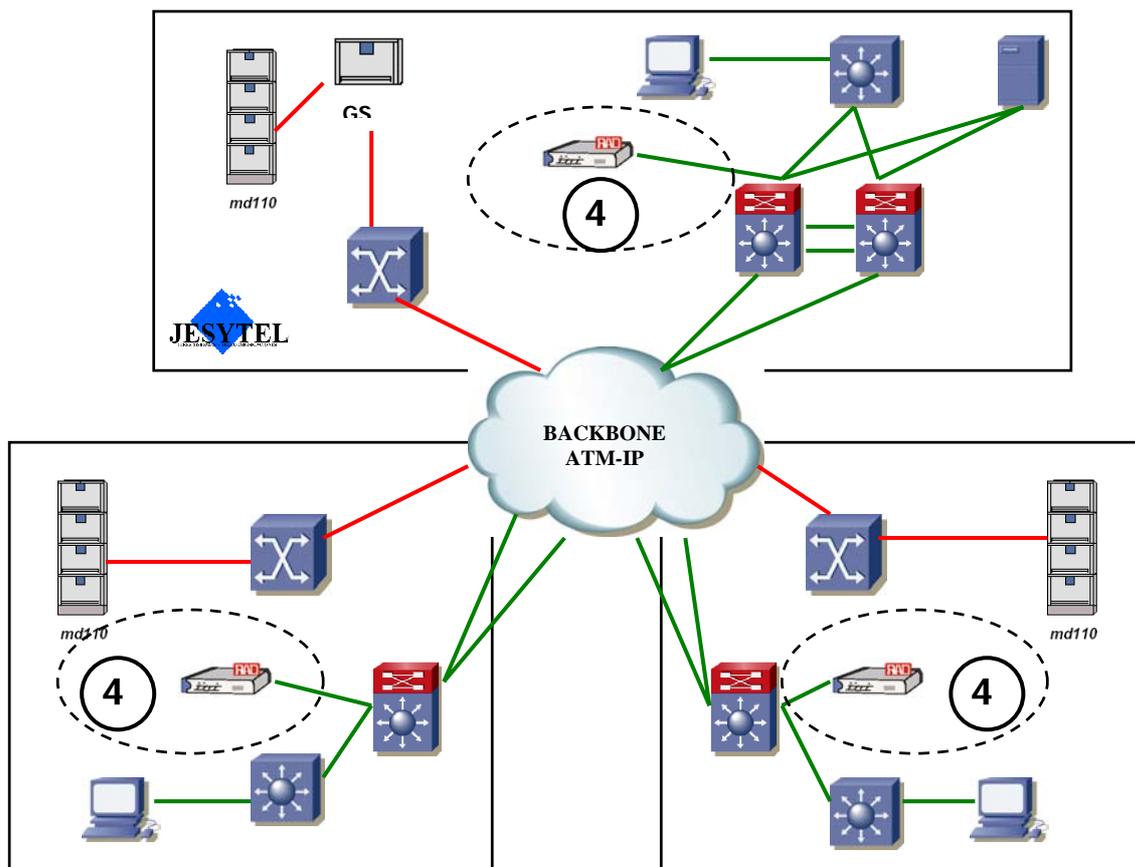


FIGURA 5.4: FASE IV DE LA MIGRACIÓN

5.5. Fase V

Una vez nos hemos cerciorado del correcto funcionamiento de los Gateways TDMoIP pasaremos a migrar una de las centralitas a esta tecnología.

Para ello conectaremos una de las centralitas a su Gateway Ipmux-1, y en Jesytel conectaremos el Gateway Ipmux-16 al GS. Debemos tener cuidado en este punto, ya que hay que conectar el puerto del Ipmux-16 que hemos configurado como entrada/salida de la centralita que estamos migrando al puerto del GS al que anteriormente estaba conectado el enlace que procedía de dicha centralita a través del conmutador ATM. De este modo para el GS es como si nada cambiara, ya que le sigue llegando por el mismo puerto un canal E1 procedente de la misma centralita. Para la centralita, del mismo modo, todo sigue igual, ya que en vez de estar conectada al conmutador ATM está conectada al Gateway Ipmux-1.

La red presentaría el siguiente aspecto:

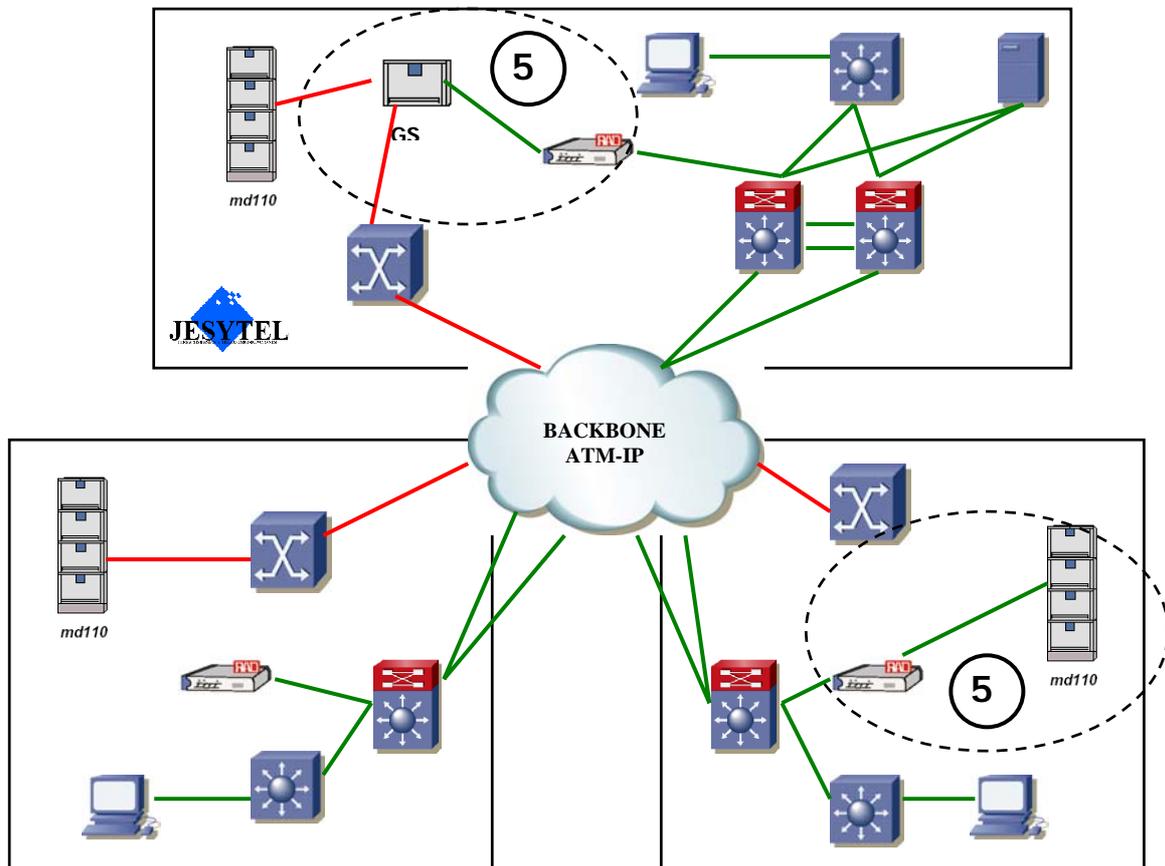


FIGURA 5.5: FASE V DE LA MIGRACIÓN

5.6. Fase VI

Si todo funciona correctamente procederemos a la migración del resto de centralitas y del GS, quedando de esta forma concluida la migración de la red de voz a la nueva red y por tanto finalizado el proceso de migración de la antigua red ATM a la nueva red Gigabit Ethernet. La situación final será la siguiente:

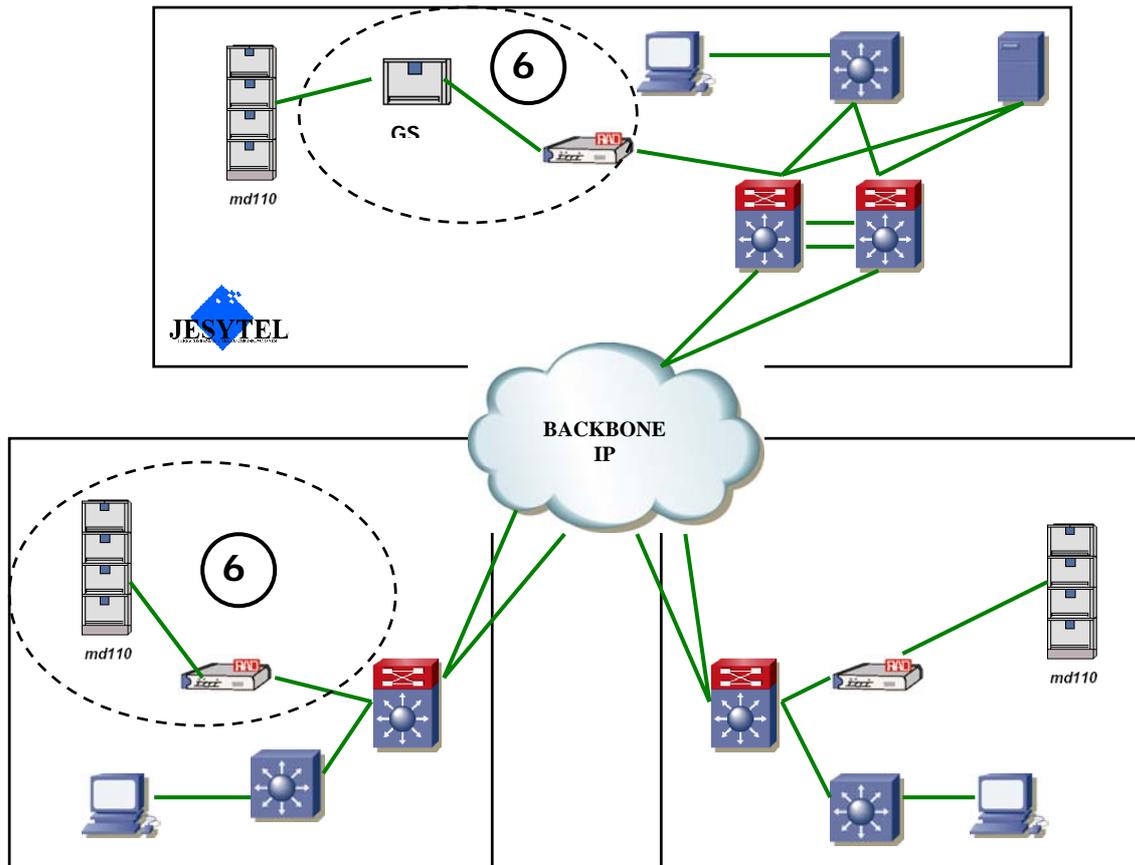


FIGURA 5.6: FASE VI DE LA MIGRACIÓN

5.7. Cronograma

A continuación se presenta el cronograma asociado a los tiempos de ejecución de las distintas fases del proyecto:

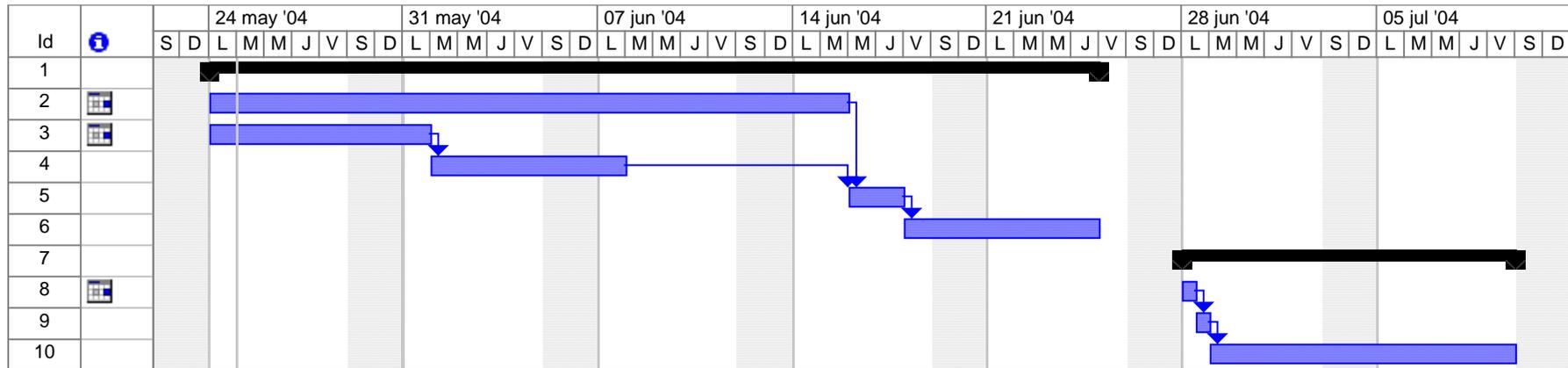


FIGURA 5.7: CRONOGRAMA FASES I Y II

Id	NOMBRE DE TAREA	DURACIÓN	COMIENZO	FIN
1	FASE I	24 días	24/05/04	24/06/04
2	Instalación de los nuevos tramos de fibra	17 días	24/05/04	15/06/04
3	Configuración off-line de los conmutadores Catalyst	6 días	24/05/04	31/05/04
4	Instalación de los Conmutadores configurados	5 días	01/06/04	07/06/04
5	Conexión de los nuevos Conmutadores	2 días	16/06/04	17/06/04
6	Prueba	5 días	18/06/04	24/06/04
7	FASE II	10 días	28/06/04	09/07/04
8	Conexión conmutadores centrales	0,5 días	28/06/04	28/06/04
9	Conexión de algunos equipos a la nueva red Gigabit Ethernet	0,5 días	28/06/04	28/06/04
10	Prueba	9 días	29/06/04	09/07/04

FIGURA 5.8: DESCRIPCIÓN FASES I Y II

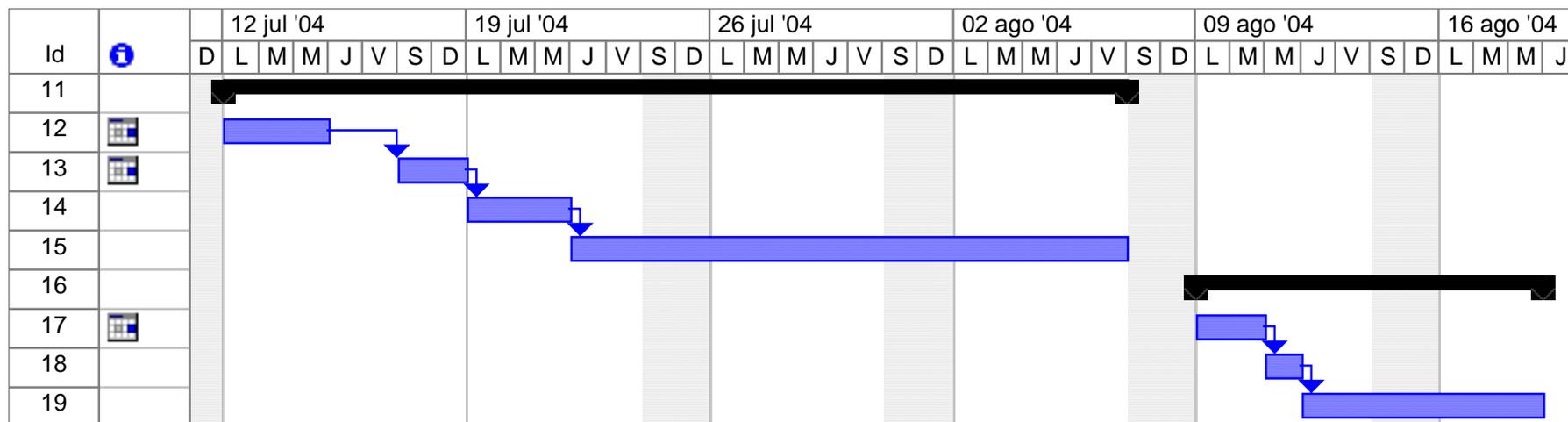


FIGURA 5.9: CRONOGRAMA FASES III Y IV

Id	NOMBRE DE TAREA	DURACIÓN	COMIENZO	FIN
11	FASE III	22 días	12/07/04	06/08/04
12	Migración progresiva de equipos a la nueva red Gigabit Ethernet	3 días	12/07/04	14/07/04
13	Migración de los servidores a los nuevos conmutadores Gigabit	2 días	17/07/04	18/07/04
14	Fin de migración de equipos a la red Gigabit Ethernet	3 días	19/07/04	21/07/04
15	Prueba	12 días	22/07/04	06/08/04
16	FASE IV	8 días	09/08/04	18/08/04
17	Configuración off-line de los Gateways TDMoIP	2 días	09/08/04	10/08/04
18	Instalación de los Gateways TDMoIP	1 día	11/08/04	11/08/04
19	Prueba	5 días	12/08/04	18/08/04

FIGURA 5.10: DESCRIPCIÓN FASES III Y IV

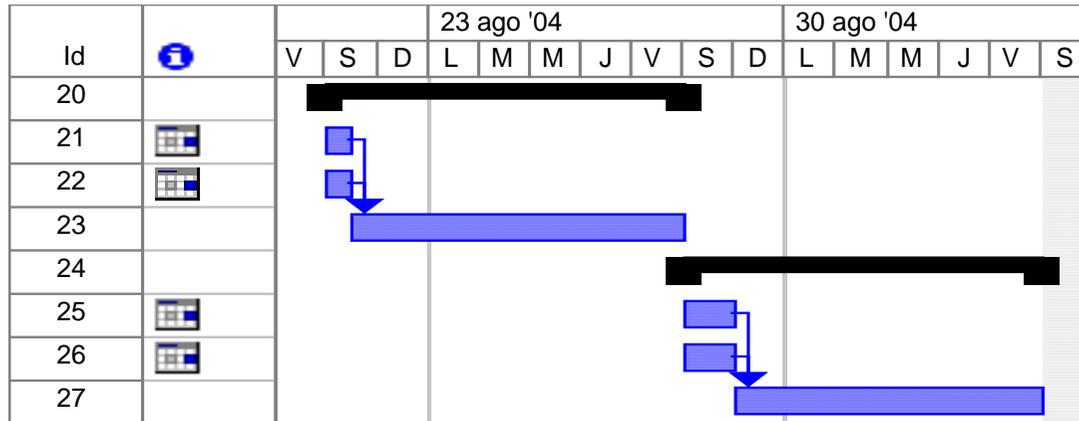


FIGURA 5.11: CRONOGRAMA FASES V Y VI

Id	NOMBRE DE TAREA	DURACIÓN	COMIENZO	FIN
20	FASE V	7 días	21/08/04	27/08/04
21	Conexión del GS con IPMux-16	0,5 días	21/08/04	21/08/04
22	Migración de una de las centralitas a TDMoIP	0,5 días	21/08/04	21/08/04
23	Prueba	6,5 días	21/08/04	27/08/04
24	FASE VI	7 días	28/08/04	03/09/04
25	Conexión del resto de enlaces del GS con IPMux-16	1 día	28/08/04	28/08/04
26	Migración del resto de centralitas a TDMoIP	1 día	28/08/04	28/08/04
27	Prueba	6 días	29/08/04	03/09/04

FIGURA 5.12: DESCRIPCIÓN FASES V Y VI

6. Presupuesto

Una vez vistos los requerimientos para llevar a cabo el proyecto de migración, se presenta el siguiente presupuesto en el que se detallan todos los elementos necesarios así como el coste total del proyecto:

6.1. Infraestructuras de comunicaciones

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO
Fibra óptica monomodo	8870 m	135000 euros
Reforma cableados de edificios		22500 euros

FIGURA 6.1: PRESUPUESTO INFRAESTRUCTURAS DE COMUNICACIONES

6.2. Hardware de datos

DISPOSITIVO	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Cisco Catalyst 6509	2	11000 euros	22000 euros
Cisco Catalyst 6506	9	8000 euros	72000 euros
Cisco Catalyst 3750G-24T	26	4000 euros	104000 euros
Cisco Catalyst 3750G-24TS	10	4500 euros	45000 euros
Módulo de 16 puertos Ethernet 10/100/1000	10	2000 euros	20000 euros
Módulo de 48 puertos Ethernet 10/100/1000	2	6500 euros	13000 euros
Módulo de fibra de 8 puertos GBIC	9	3500 euros	31500 euros
Módulo de fibra de 16 puertos GBIC	2	6000 euros	12000 euros
SFP fibra óptica monomodo	10	200 euros	2000 euros
GBIC fibra óptica monomodo	80	200 euros	16000 euros
Supervisor Engine 2	12	10000 euros	120000 euros

FIGURA 6.2: PRESUPUESTO HARDWARE DE DATOS

6.3. Hardware TDMoIP

DISPOSITIVO	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Gateway Ipmux-16	1	20000 euros	20000 euros
Gateway Ipmux-1	8	1500 euros	12000 euros

FIGURA 6.3: PRESUPUESTO HARDWARE TDMOIP

6.4. Software de gestión

SOFTWARE	PRECIO
RADview-SC-TDMoIP	8000 euros
Cisco LMS	12000 euros

FIGURA 6.4: PRESUPUESTO SOFTWARE DE GESTIÓN

6.5. Total Proyecto

Total Infraestructuras de comunicaciones:	157500 euros
Total Hardware de datos:	457500 euros
Total Hardware TDMoIP:.....	32000 euros
Total Software de Gestión:	20000 euros
Instalación, configuración y puesta en marcha:	9000 euros
<u>TOTAL:</u>	<u>676000 euros</u>

7. Conclusiones y líneas de avance

7.1. Conclusiones

A lo largo del proyecto se han propuesto una serie de alternativas encaminadas a la migración de la tecnología de la actual red de comunicaciones del Ayuntamiento de Jerez. La necesidad de la migración ya quedó expuesta en apartados anteriores, por lo que ante el requerimiento de un cambio, en este proyecto se ha optado por una solución que, aunque evidentemente no es la única, sí puede ser la mejor de acuerdo a una serie de puntos de vista que ofrecemos a continuación.

Sin duda alguna, una de los principales ventajas de la solución propuesta nos la encontramos en el desembolso económico, un factor decisivo hoy en día para la mayoría de las empresas que deciden abordar cualquier tipo de proyecto. El reducido coste de la solución de red, tanto desde el punto de vista de los datos, con Gigabit Ethernet, como desde el punto de vista de la voz, con TDMoIP, convierten a esta alternativa como una de las más baratas, frente a otras soluciones como ATM o VoIP.

Desde el punto de vista tecnológico, nos encontramos con que Gigabit Ethernet es la tecnología que se está imponiendo actualmente en el mercado de las comunicaciones de red frente a otras como ATM. Esto asegura que los principales fabricantes van a encaminar sus esfuerzos hacia el desarrollo de nuevas herramientas y equipos de red basados en esta tecnología, que permitan una posterior sustitución de los actuales de una manera sencilla y cómoda, así como una adición de nuevo equipamiento en caso de crecimiento de la red sin ningún tipo de problemas.

Otro punto importante es el incremento de ancho de banda que se consigue con la solución propuesta, no sólo frente al ancho de banda actual de 155 Mbps, sino también frente a otras posibles soluciones como ATM a 622 Mbps. Con Gigabit Ethernet nos aseguramos un ancho de banda capaz de satisfacer las demandas de los usuarios durante muchos años, amortizando sin ninguna duda la inversión realizada sin ningún tipo de problema.

Otra razón atractiva que se deriva del presente proyecto es la sencillez que plantea la migración, sobre todo desde el punto de vista de la voz. Frente a una solución más compleja de VoIP, TDMoIP ofrece una solución sencilla a la misma vez que económica. El mantenimiento de las actuales centralitas MD-110, asegurando así las inversiones realizadas en ellas, es un punto a favor de esta tecnología frente a VoIP, que plantea la necesidad de un cambio de éstas. Y no es sólo el reducido coste sino también lo simple que resulta su incorporación a la red, coexistiendo sin ningún tipo de problemas con Gigabit Ethernet y aprovechando las ventajas de las comunicaciones IP.

El empleo de conmutadores Cisco en toda la red, unificando así modelos y fabricante, es una garantía de resistencia y eficacia de red. Frente a otros modelos que pudieran resultar más baratos, Cisco ofrece una gama de productos altamente fiables y con unas garantías excelentes. Esto unido al amplio abanico de modelos que ofrece lo convierte en el referente a la hora de fabricar dispositivos de red. Es por ello que compensa sin duda alguna el desembolso que se realiza en estos aparatos, garantizando la inversión por muchos años.

La priorización de tráfico que se puede implementar en estos conmutadores, permite que las comunicaciones de voz se vean afectadas por el hecho de que Gigabit Ethernet, al contrario que ATM, no ofrezca de por sí calidad de servicio. Esta diferenciación de tráfico unida al amplio ancho de banda que Gigabit Ethernet ofrece, garantiza que la voz no sufrirá deterioro en su viaje a través de la red.

Todo esto junto con la mejora de las infraestructuras de red, con los nuevos tendidos de fibra óptica así como el recableado de algunos edificios, convierte a la red de comunicaciones del Ayuntamiento de Jerez en un modelo a seguir para otras muchas entidades, adoptando así las tecnologías más avanzadas puestas al servicio de la corporación municipal y por lo tanto de todos los ciudadanos de Jerez.

7.2. Líneas de avance

Como líneas de avance más importantes susceptibles de ser estudiadas e implantadas en un futuro, podemos destacar las siguientes:

- Aunque TDMoIP sea la solución adoptada para la red de voz, está claro que es VoIP la tecnología sobre la que la mayoría de las empresas están centrando sus esfuerzos. Es por ello que, en un futuro, Ericsson desarrolle una tarjeta compatible con el estándar VoIP. De hecho se anuncia que para la versión de Ibercom BC-14 (actualmente estamos en BC-12) la comunicación entre centralitas MD-110 a través de VoIP ya será posible. Es por ello que puede ser interesante la adopción de este estándar para dar servicio de voz a la red municipal, ya que una vez Erisson desarrolle las tarjetas necesarias no sería necesario sustituir las actuales centralitas.
- En el presente proyecto nos hemos centrado en el backbone de la red. Otro estudio interesante sería ver cómo podríamos mejorar la comunicación con las oficinas externas, actualmente conectadas a través de ADSL, en la parte de datos, y con centralitas DKDA de Telefónica, por la parte de voz. Una posible mejora consistiría en la sustitución de estas pequeñas centralitas por otras más modernas que soporten VoIP, como las del fabricante Nortel, mejorando así las comunicaciones de voz sobre todo si se implementa en un futuro VoIP en el backbone de la red.

ANEXOS

Anexo I: Campos de la cabecera TDMoIP

En el presente Anexo se describen detalladamente los campos de la cabecera TDMoIP.

Palabra de Control TDMoIP

La palabra de control, de 32 bits, debe aparecer en todos los paquetes TDMoIP. Su formato se presenta en la siguiente figura:

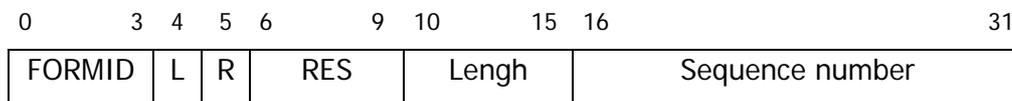


FIGURA A.1: FORMATO DE LA PALABRA DE CONTROL DE TDMOIP

Donde:

- **FORMID**: Identificador de formato (4 bits). Es un campo opcional que especifica el formato de la carga útil (de los datos TDM). Si no se usa debe ser puesto a cero. Los valores que puede tomar son los siguientes:

1100 AAL1 sin estructura
1101 AAL1 estructurado
1110 AAL1 estructurado con CAS
1001 AAL2
1111 HDLC

- **L**: cuando está activo, indica que la fuente ha detectado un error de la capa física de TDM, por lo que la carga útil del paquete puede ser no significativa. Si se rectifica el error, el bit L debe ser limpiado.
- **R**: si está activo, indica que la fuente no está recibiendo paquetes en su puerto de recepción TDMoIP. Puede indicar una situación de congestión o de fallo relacionados con otra red. El bit R se debe poner a 1 tras un número preconfigurado de paquetes no recibidos, y reseteado una vez se vuelven a recibir.

- **RES:** reservados y deben ser puestos a cero.
- **Length:** indica la longitud del paquete IP (palabra de control más carga útil).
- **Sequence number:** proporciona un mecanismo para detectar una posible pérdida de paquetes.

Cabecera de red

Proporciona una encapsulación específica para cada tipo de red IP. Nosotros nos quedamos con la de UDP/IP, que es la que se va a implementar. Su formato es el siguiente:

0	3	4	7	8	15	16	18	19	31
IPVER		IHL		IP TOS			Total Length		
Identification						Flags		Fragment Offset	
Time to Live			Protocol			IP Header Checksum			
Source IP Address									
Destination IP Address									
VER		CBID				Destination Port Number			
UDP Length						UDP Checksum			
RTV	P	X	CC	M	PT			RTP Sequence Number	
Timestamp									
SSRC identifier									

FIGURA A.2: CABECERA UDP/IP

Las cinco primeras filas constituyen la cabecera IP; las dos siguientes la cabecera UDP; de la ocho a la diez es la cabecera opcional RTP. A continuación vendrían la palabra de control y la carga útil. Veamos a qué corresponden cada uno de los campos:

- **IPVER (4 bits):** es el número de la versión del protocolo IP.
- **IHL (4 bits):** la longitud, en palabras de 32 bits, de la cabecera IP (IHL=5)
- **IP TOS (8 bits):** es el tipo de servicio IP.
- **Total length (16 bits):** longitud en octetos de la cabecera más los datos.
- **Identification (16 bits):** campo de identificación de fragmentación IP.

- **Flags (3 bits):** son las flags de control IP, y se debe poner a 010 para evitar fragmentación.
- **Fragment FOCET (13 bits):** indica el fragmento del datagrama que no es usado por TDMoIP.
- **Time to Live (8 bits):** el tiempo de vida del datagrama.
- **Protocol (8 bits):** debe ser puesto a 0x11 para indicar UDP.
- **IP header checksum (16 bits):** un checksum para la cabecera IP.
- Source IP address (32 bits): dirección IP de la fuente.
- Destination IP address (32 bits): dirección IP del destino.
- **VER (3 bits):** versión de TDMoIP. Si se usa RTP, VER=011; si no se usa, VER=001.
- **CBID (13 bits):** identifica el número de puerto de la fuente.
- **Destination port number (16 bits):** debe ser 0x085E (2142), el número de puerto de usuario asignado para TDMoIP por la IANA (Internet Assigned Numbers Authority).
- **UDP length (16 bits):** la longitud en octetos de la cabecera UDP más los datos.
- **UDP checksum:** checksum para la cabecera UDP/IP más los datos.

Ethernet

El paquete TDMoIP descrito anteriormente, es encapsulado a continuación en una trama Ethernet, para lo cual se le añade una cabecera con las direcciones MAC de los dispositivos origen y destino. Tras la trama TDMoIP se adjuntarán 4 octetos de comprobación de trama.

Esta trama se transmitirá a los switches Gigabit Ethernet, que se encargarán de conmutarla a través de la red.

Formato de la carga útil TDMoIP

El formato de la carga útil TDMoIP va a depender del protocolo que empleemos para encapsular la trama TDM.

TDMoIP utiliza el protocolo AAL1, de tasa de transmisión constante, para emulación de circuitos mientras que usa AAL2, de tasa variable, para emulación de lazo. Adicionalmente, se define un tercer modo especial para transportar señalización CCS basada en HDLC.

Aunque originalmente fueron desarrollados para adaptar varios tipos de datos al rígido formato de ATM, estos mecanismos son soluciones generales para resolver el problema de transportar datos con anchos de banda constantes o variables a través de una red de paquetes.

Nosotros emplearemos *AAL1 no estructurado*, que encapsula la trama TDM tal y como le llega de la centralita, sin distinguir entre los distintos *timeslots* que la componen. Este protocolo está recomendado para el transporte de voz de una manera eficiente. A diferencia del *AAL1 no estructurado*, el *AAL1 estructurado* lo que hace es encapsular N timeslots de los 30 que componen el canal E1. Este último se suele emplear para crear varios canales virtuales lógicos a través de un mismo canal físico. Por tanto, tendremos que configurar nuestros gateways TDMoIP para que funcionen con este protocolo.

La carga útil en AAL1 está formada por entre 1 y 30 subtramas de 48 octetos. El número de subtramas es configurable, y se deberá elegir de forma que el retardo ocasionado al crear la carga útil no sea significativo. Al aumentar el número de subtramas disminuiríamos el número de cabeceras que hay transmitir, pero tendremos que esperar más para completar la trama con los datos procedentes de la centralita. Hay que llegar por tanto a un compromiso entre estos dos parámetros. El formato de la trama TDMoIP será el siguiente:



FIGURA A.3: AGRUPACIÓN DE SUBTRAMAS EN EL PAQUETE TDMOIP

El primer octeto de cada subtrama de 48 octetos es en una secuencia de control de errores. Para *AAL1 sin estructura* los 47 octetos restantes contienen 376 bits procedentes de la cadena TDM. La trama E1 está formada por 256 bits, por lo que en cada subtrama caben 1 trama E1 y 15/32 de la siguiente.

La estructura de la palabra de control es la siguiente:

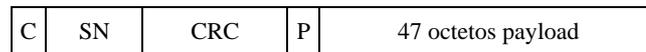


FIGURA A.4: ESTRUCTURA DE LA PALABRA DE CONTROL TDMOIP

Donde:

- **C (1bit)**: si su valor es 1, indica la existencia de un puntero.
- **SN (3 bits)**: número de secuencia. Se incrementa de subtrama a subtrama.
- **CRC (3 bits)**: código de redundancia cíclico sobre SN y C.
- **P (1 bit)**: bit de paridad.

Para evitar la pérdida de sincronización en caso de pérdida de tramas, periódicamente, cada 2 subtramas y en una cuyo SN sea impar, se añade un puntero que indica el primer *timeslot* de la siguiente trama E1 que se va a transportar. Este puntero, de 8 bits, se coloca a continuación del primer octeto de cada subtrama de 48 octetos de la trama TDMoIP, y va protegido en su bit menos significativo por un bit de paridad.

Anexo II: Formato de los paquetes OAM

En el presente Anexo se describen los campos de los paquetes de señalización OAM, que recordamos tiene la siguiente estructura:

0	15	16	31
PSN-specific layers (CBID=1FFF)			
FORMID	L	R	RES
OAM Msg Type		OAM Msg Code	OAM Sequence Number
Source CBID		Service specific information	
Source Transmit Timestamp		Destination CBID	
Destination Receive Timestamp			
Destination Transmit Timestamp			

FIGURA A.5: PAQUETE OAM

La cabecera específica de la red es la misma que la que anteriormente se describió para los paquetes TDMoIP, con la excepción del CBID que es igual a 1FFF. El resto de campos se describe a continuación:

- **FORMID, L, R** son los mismos que los del circuito que se está testeando.
- **Length**: es la longitud en bytes del paquete OAM.
- **OAM sequence number (16 bits)**: se usa como identificador único del mensaje OAM. Se incrementa en los mensajes de petición de comprobación y se mantiene igual en el de respuesta.
- **OAM Msg type (8 bits)**: indica la función del mensaje. Puede ser:
 - o 0, para mensaje de petición de comprobación.
 - o 8, para mensaje de respuesta.
- **OAM Msg Code (8 bits)**: se usa para transportar información relacionada con el mensaje, y su interpretación depende del tipo de mensaje. Para tipo 0 (petición) los códigos definidos son:
 - o 0, para validar la conexión.
 - o 1, no validar conexión.
 Para tipo 8 (respuesta) los códigos disponibles son:

- o 0, petición válida.
- o 1, petición no válida (error de configuración).
- **Service specific information (16 bits):** este campo se puede usar para que los dispositivos intercambien información. Si no se usa debe ser puesto a cero. Su interpretación depende del campo FORMID. Para AAL1 se define el siguiente formato:

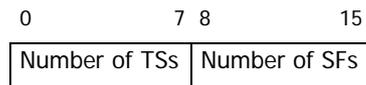


FIGURA A.6: CAMPO SERVICE SPECIFIC INFORMATION

Donde:

- o Number of TSs (8 bits): es el número de *timeslots* que son transportados.
- o Number of SFs (8 bits): es el número de subtramas AAL1 (de 48 octetos) por paquete.
- **Source CBID (16 bits):** identifica al circuito que se chequea de forma única, tal y como lo etiquetó el dispositivo origen.
- **Destination CBID (16 bits):** identifica al circuito que se chequea de forma única, tal y como lo etiquetó el dispositivo destino.
- **Source Transmit Timestamp (32 bits):** representa el instante en el que la fuente emitió el mensaje de petición en unidades de 100 microsegundos. Este campo y los siguientes solamente aparecen si se está midiendo el retardo.
- **Destination Receive Timestamp (32 bits):** representa el instante en el que el destino recibió el mensaje de petición en unidades de 100 microsegundos.
- **Destination Transmit Timestamp(32 bits):** representa el instante en el que el destino transmitió el mensaje de respuesta en unidades de 100 microsegundos.

Anexo III: Configuración de los Gateways

TDMoIP

En este Anexo veremos como se deben configurar los Gateways TDMoIP mediante el programa de gestión RADView-SC/TDMoIP, así como la instalación de éste.

Instalación del software

La instalación del software se puede llevar a cabo tanto en un PC funcionando bajo Windows XP como en un servidor bajo Unix HPOV. El sistema de gestión permite ser configurado en modo servidor o en modo cliente, de manera que por ejemplo podemos tener una máquina bajo Unix funcionando como servidor y la aplicación cliente corriendo en una máquina bajo Windows, de tal manera que el esquema quedaría de la siguiente manera:

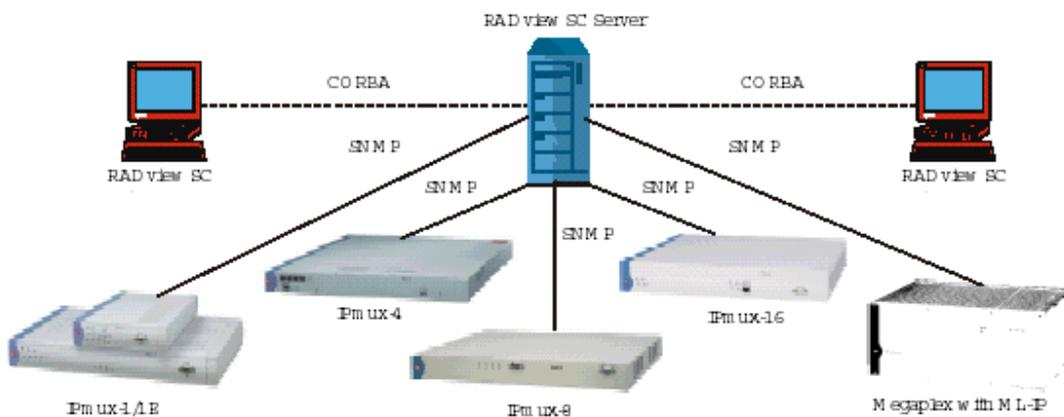


FIGURA A.7: RADVIEW-SC-TDMOIP

Una vez instalado el software, éste tendrá que reconocer los dispositivos TDMoIP gestionables que existen en la red. Una vez descubiertos los dispositivos saldrá una pantalla similar a ésta:

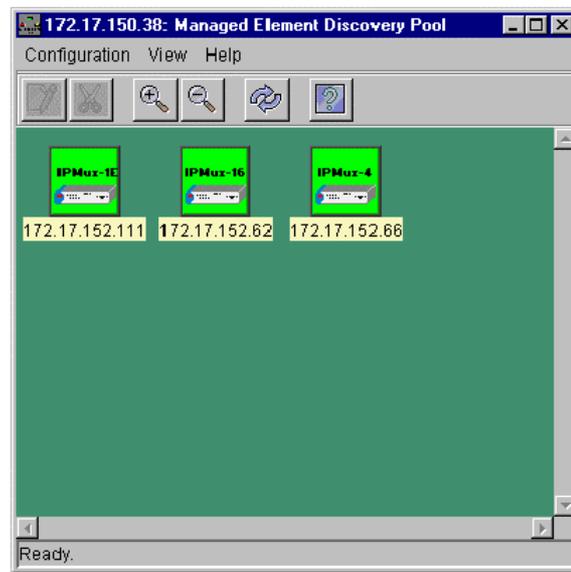


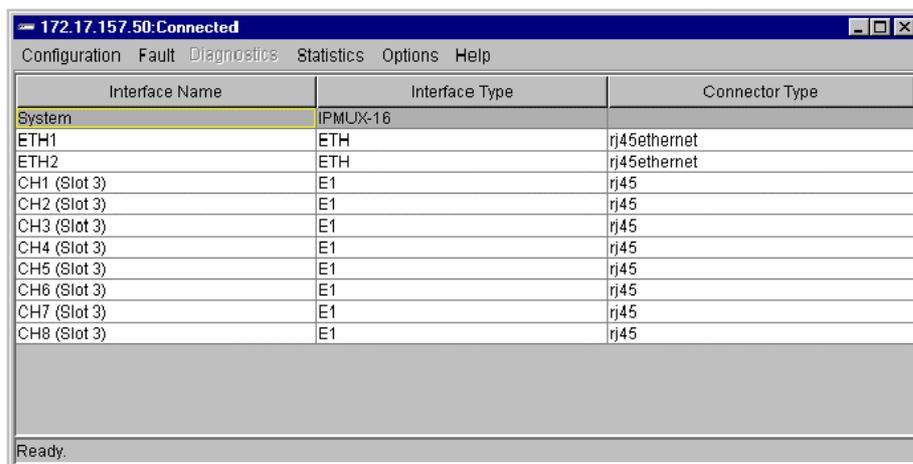
FIGURA A.8: DESCUBRIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS TDMOIP

A continuación habrá que configurar dichos dispositivos así como los circuitos que se establecen entre ellos. Es importante destacar que habrá que asignarle a los gateways una dirección IP fija (ya que la primera que se les asigna es por DHCP), de forma que en todo momento cada uno de ellos sepa dónde tiene que enviar los paquetes TDMoIP.

Ipmux-16

El elemento central de nuestra red TDMoIP es un gateway Ipmux-16 localizado en Jesytel. A través del interfaz Ethernet 10/100 le llegan multiplexados los distintos circuitos E1, procedentes de cada una de las centralitas MD-110, en paquetes TDMoIP. El Ipmux-16 tendrá que sacar cada uno de estos circuitos E1 por uno de los 8 interfaces E1 que posee conectados con el GS, cada uno por el suyo, cerrándose así el circuito lógico que conecta el GS con cada una de las centralitas.

El sistema de gestión caracteriza al Ipmux-16 de la siguiente forma:



Interface Name	Interface Type	Connector Type
System	IPMUX-16	
ETH1	ETH	rj45ethernet
ETH2	ETH	rj45ethernet
CH1 (Slot 3)	E1	rj45
CH2 (Slot 3)	E1	rj45
CH3 (Slot 3)	E1	rj45
CH4 (Slot 3)	E1	rj45
CH5 (Slot 3)	E1	rj45
CH6 (Slot 3)	E1	rj45
CH7 (Slot 3)	E1	rj45
CH8 (Slot 3)	E1	rj45

FIGURA A.9: CARACTERIZACIÓN IPMUX-16

Cada uno de los canales E1 vienen identificados por CHx, mientras que los interfaces Ethernet por ETHx.

Tenemos que asignarle al dispositivo una dirección IP fija, de forma que todos los demás dispositivos TDMoIP sepan adónde deben enviar los paquetes TDMoIP. Pinchando sobre el Ipmux-16 nos saldría:

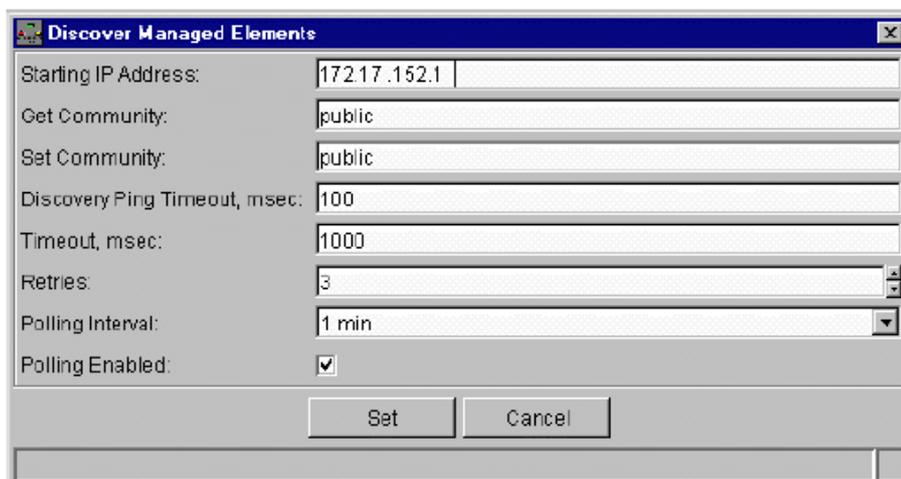


FIGURA A.10: CONFIGURACIÓN IPMUX-16

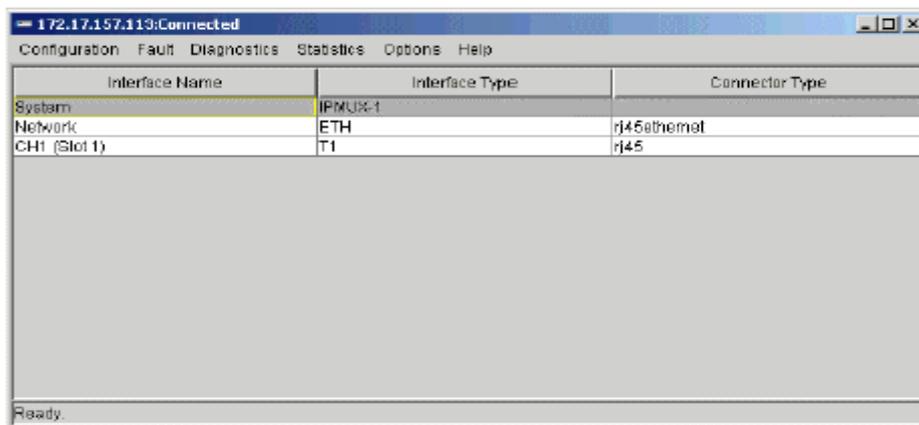
pantalla que nos permite configurar la dirección IP del dispositivo.

Tal y como se comentó anteriormente, uno de los problemas que planteaba TDMoIP era el sincronismo. Había dos formas de conseguirlo. Nosotros emplearemos la

opción *Adaptive*, que consiste en transportar la señal de reloj a través de la red IP para luego recuperarla en el dispositivo destino. Eso debemos configurarlo en los gateways. Del mismo modo, debemos configurar el modo *no estructurado* de transmisión, que recordamos que consistía en encapsular la trama E1 al completo, sin distinguir entre *timeslots*.

Ipmux-1

El Ipmux-1 viene caracterizado por los siguientes interfaces:

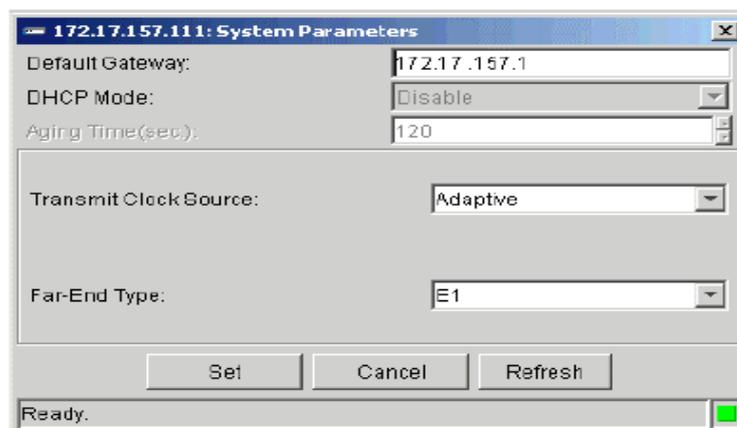


Interface Name	Interface Type	Connector Type
System	IPMUX-1	
Network	ETH	rj45ethernet
CHI (Slot 1)	T1	rj45

Ready.

FIGURA A.11: CARACTERIZACIÓN IPMUX-1

Al igual que al Ipmux-16, a cada uno de los Ipmux-1 debemos darle una dirección IP fija. Para ello haremos lo mismo que en el caso anterior. También debemos configurar el dispositivo para que recupere la señal de reloj de los paquetes TDMoIP que le llegan a través del interfaz Ethernet (*Adaptive Mode*):



172.17.157.111: System Parameters

Default Gateway: 172.17.157.1

DHCP Mode: Disable

Aging Time(sec): 120

Transmit Clock Source: Adaptive

Far-End Type: E1

Set Cancel Refresh

Ready.

FIGURA A.12: CARACTERIZACIÓN IPMUX-1

Modo de funcionamiento

TDMoIP tiene dos modos de funcionamiento: el modo *mesh* (ó *malla*) y el modo normal. En el primero de ellos, se puede establecer un circuito ente cualquier par de nodos de la red. En el segundo, tenemos una topología punto-multipunto, donde los circuitos se establecen entre una oficina principal y las remotas, que es lo que nosotros queremos implementar.

El esquema de conexión se muestra en la siguiente pantalla:

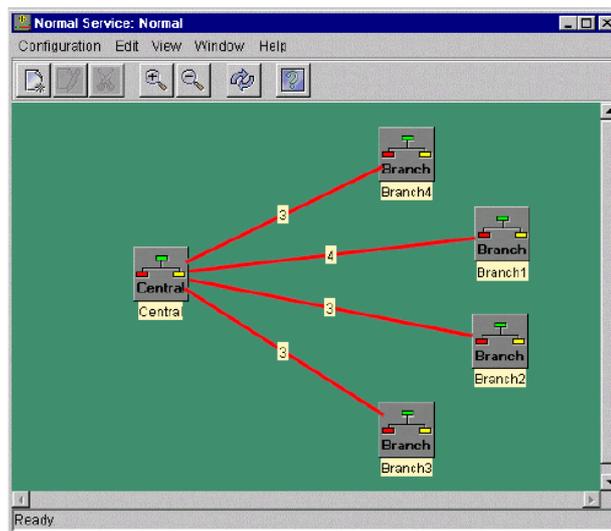


FIGURA A.13: FUNCIONAMIENTO *NORMAL*

El nodo central se corresponde con Jesytel, donde tenemos el Ipmux-16, mientras que en las oficinas remotas tenemos los Ipmux-1.

A continuación , lo que se debe hacer es configurar cada uno de los circuitos que componen las red TDMoIP. Para ello debemos indicar los dispositivos origen y destino, así como las características del circuito. La pantalla de configuración es la siguiente:

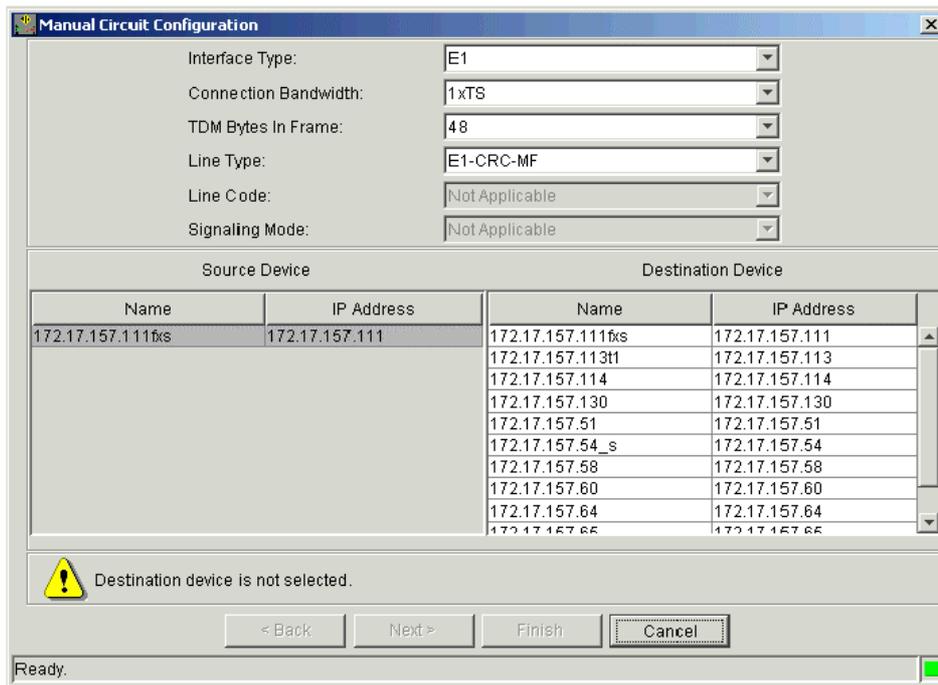


FIGURA A.14: CREACIÓN DE LOS CIRCUITOS TDMoIP

Nosotros configuraremos:

- Interface Type: E1
- Connection Bandwidth: 31xTs, ya que vamos a transmitir todos los timeslots de cada circuito E1.
- TDM bytes in frame: éste es un parámetro importante. Con él seleccionamos el número de subtramas de 48 octetos que van en el payload de cada paquete TDMoIP. Valor que, como ya se indicó anteriormente, es configurable con el fin de disminuir el porcentaje de cabecera que atraviesa la red IP, agrupando más cantidad de información de carga útil por cada paquete IP. El máximo número de subtramas que podemos incluir por cada paquete TDMoIP es 30. En nuestro caso son 30 subtramas, tal y como se puede deducir del desarrollo planteado en el Anexo IV.
- Line Type: se refiere al formato de la carga útil, que para nosotros dijimos que iba a ser sin estructura, por lo que elegiremos unframed.

Una vez definidos estos parámetros del circuito, debemos indicar los canales que se emplearán de cada dispositivo. Así, para los *Ipmux-1* únicamente tenemos un canal

(CH1), pero debemos especificar cuál de ellos es el que se va a emplear en el *Ipmux-16* para cada circuito (CH1....CH8). La tabla de circuitos para la red de Jesytel quedaría de la siguiente forma:

CIRCUITO	IP ORIGEN	CH ORIGEN	IP DESTINO	CH DESTINO
Consistorio-Jesytel	172.16.18.121	CH1	172.16.18.120	CH1
Jereyssa-Jesytel	172.16.18.122	CH1	172.16.18.120	CH2
G.M.U.-Jesytel	172.16.18.123	CH1	172.16.18.120	CH3
Ajemsa-Jesytel	172.16. 18.124	CH1	172.16.18.120	CH4
Jecomusa-Jesytel	172.16. 18.125	CH1	172.16.18.120	CH5
Policía-Jesytel	172.16. 18.126	CH1	172.16.18.120	CH6
B.Social-Jesytel	172.16. 18.127	CH1	172.16.18.120	CH7
Infraestructura-Jesytel	172.16. 18.128	CH1	172.16.18.120	CH8

FIGURA A.15: TABLA DE CIRCUITOS CREADOS

Otro parámetro importante a tener en cuenta es el tamaño del *jitter buffer*, que dado que la red sobre la que se va a montar TDMoIP es una red de fibra óptica monomodo, la el retardo que puede introducir es muy pequeño, y por lo tanto la variación de este casi inapreciable. Debido a esto elegiremos un *jitter buffer* pequeño, de 370 μ s, un valor inapreciable para el oído humano y que es suficiente para garantizar una buena comunicación. Estos parámetros, junto con otros más se configurar en la siguiente ventana:

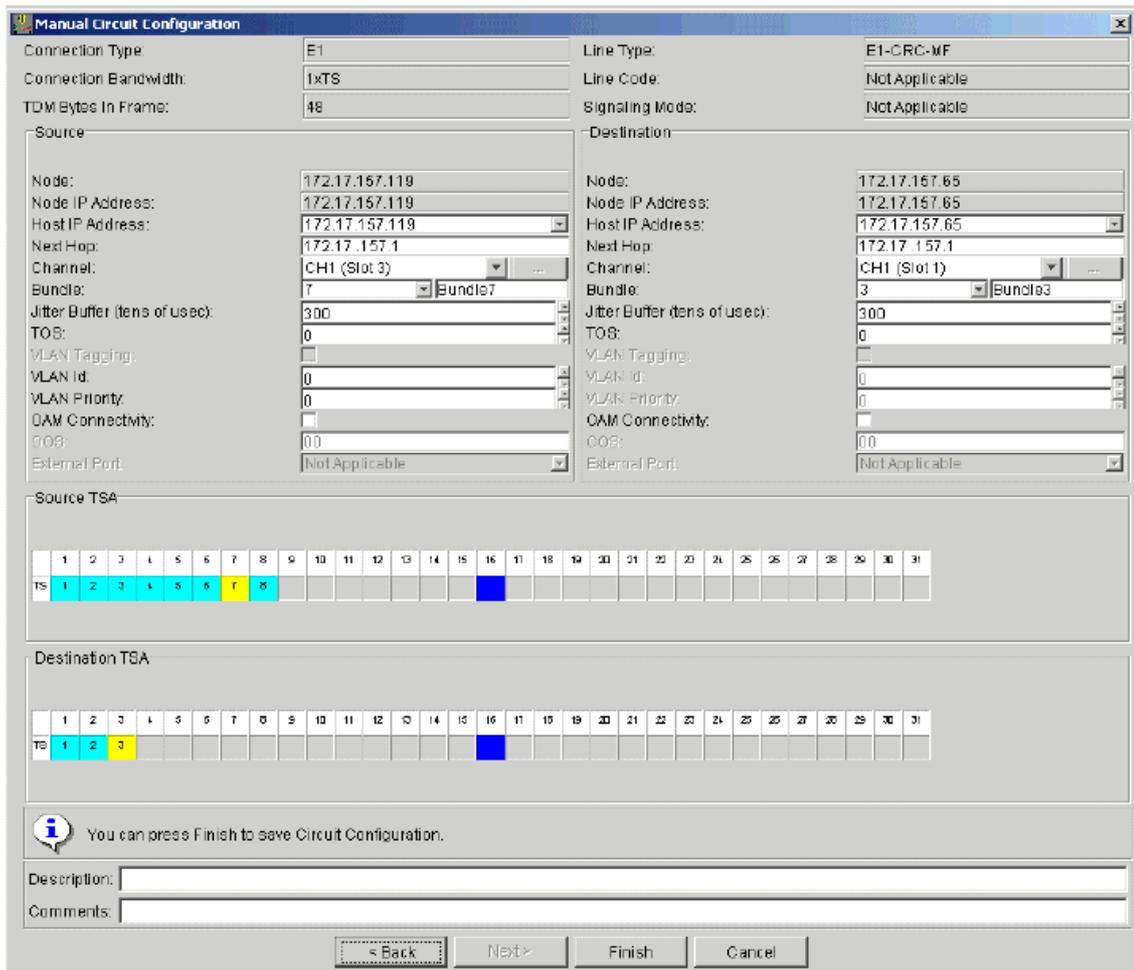


FIGURA A.16: CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS TDMOIP

Como se puede observar ya aparecen los parámetros que hemos configurado en el paso anterior, tales como tipo de conexión, dispositivos origen y destino, etc. De esta pantalla nos interesa especialmente:

- Host IP address: es la misma dirección que Node IP address para el Ipmux-1, pero puede ser distinta para el Ipmux-16.
- Next Hop: se corresponde con la dirección IP del default gateway, que en nuestro caso sería el mismo para todos los dispositivos al no existir subnetting.
- Channel: es el interfaz E1 del dispositivo que se va a utilizar en el circuito que se está configurando.

- Bundle: este es un parámetro que no nos afecta, ya que se emplea en el modo estructurado. Mediante los bundles definimos los timeslots de la trama E1 que se van a transmitir conjuntamente en el mismo paquete y con una determinada dirección IP destino.
- Jitter buffer: es el tamaño del buffer que anteriormente se ha comentado.

Con esto ya tendríamos configurados los circuitos E1 que conectan las centralitas entre sí a través del GS. El resto del trabajo, es decir, el encaminamiento de las llamadas, las funciones especiales como desvíos, llamadas en espera, etc. sigue realizándose igual, tanto en el GS como en las propias centralitas, por lo que en ellos no hay que modificar nada.

Aparte de estas funciones, el programa de gestión presenta otras muchas utilidades tales como monitorización de circuitos y detección de caídas de éstos, actualizaciones automáticas vía FTP, generación de estadísticas de tráfico, etc., pero que no se van aquí a comentar ya que no son objeto del presente proyecto.

Anexo IV: Cálculo del número de subtramas incluidas en un paquete TDMoIP

En este anexo se discutirá cuál es el valor apropiado de subtramas de 48 octetos que debemos incorporar en cada paquete TDMoIP para conseguir un funcionamiento óptimo del sistema. Para ver cuál es el valor adecuado seguimos el siguiente razonamiento:

Según la recomendación G.114 de la UIT-T, el valor máximo de retardo en un canal unidireccional de voz debe ser de 400 ms. Suponiendo que el retardo de transmisión a través de la red de fibra es aproximadamente nulo, vamos a imponer que el retardo debido a la construcción de la carga útil del paquete TDMoIP no sea mayor de 200 ms., proporcionando así un margen lo suficientemente amplio para que el retardo total, en el cual debemos incluir el retardo originado por la inserción de las cabeceras más el propio de procesamiento de las centralitas, no sea mayor que estos 400 ms. El esquema de cada circuito es:

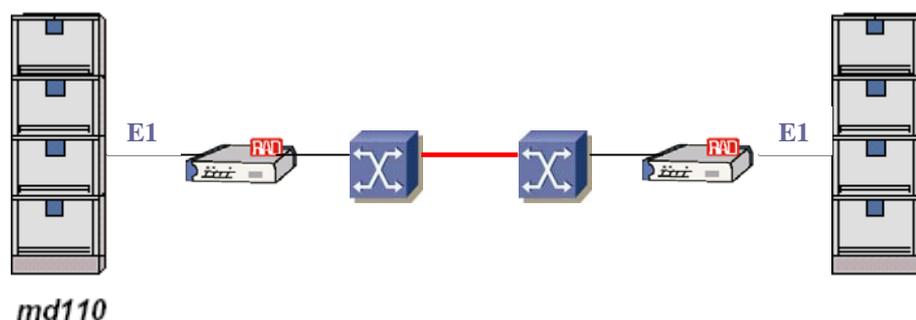


FIGURA A.17: ESQUEMA CIRCUITO TDMOIP

Las PBX (o el GS cuando proceda) entregan a los gateways TDMoIP un flujo de 2.048 Mbps por el enlace E1. Debemos ver cuánto tiempo se tardaría en rellenar una subtrama de 48 octetos (o mejor dicho 376 bits, ya que el primer octeto es de control) con este flujo de bits. Si hacemos la proporción obtenemos que para rellenar estos 376 bits necesitamos 183.59 μ s., un tiempo muy bajo.

Si aprovechamos las 30 subtramas de 48 octetos que podemos introducir en un paquete TDMoIP, obtenemos que el tiempo para montar el *payload* sería de 5.507 ms., por lo que estaríamos muy por debajo del valor que estamos buscando, consiguiendo así un retardo más que aceptable.

Por tanto, y con el objeto de disminuir el tráfico debido a las cabeceras de los paquetes TDMoIP incluiremos 30 subtramas por paquete, por lo que este parámetro de configuración lo pondremos a 1440 (número de bytes por paquete).

Anexo V: Configuración de QoS en Catalyst 6500

En este Anexo se describe como configurar QoS en cada uno de los interfaces descritos en el apartado 4.3.

Configuración interfaces *Tipo A*

Es la de los puertos de los módulos Ethernet 10/100/1000 RJ-45 de los Catalyst 6500 conectados a los Gateways TDMoIP. Como el único tráfico que va a atravesar estos puertos va a ser tráfico de voz, no va a hacer falta implementar prioridades en las colas, ni en las de entrada ni en las de salida, ya que todo el tráfico que llegue va a ser servido automáticamente, sin distinción, al ser todo del mismo tipo.

Lo que sí hay que darle es prioridad sobre el resto del tráfico de datos que llega al conmutador por los demás puertos. Esta prioridad habrá que implementarla en los puertos de fibra, donde ambos tráfico se multiplexan, a partir del valor del DSCP interno que asignemos a cada tipo de tráfico.

Para configurar los conmutadores, vamos a utilizar la interfaz de línea de comandos (CLI), para lo cual entramos directamente en el switch (en su IOS).

Lo primero que tendremos que hacer, y esto es independiente del tipo de configuración que estemos realizando, es habilitar la QoS en el conmutador, por lo que desde la consola de administración haremos:

```
Console> (enable) set qos enable  
QoS is enabled.  
Console> (enable)
```

A continuación, tenemos que configurar el *trust-state* del puerto. Debido a la configuración que hemos realizado en los Gateways TDMoIP, los paquetes que nos llegan procedentes de ellos no vienen marcados con un valor adecuado del CoS ni del ToS, ya que preferimos llevar a cabo todo el proceso de QoS en los conmutadores. Por lo tanto, la

configuración adecuada para el puerto es *untrusted*, asignándole posteriormente a este tráfico la máxima CoS (7). El tráfico será a continuación llevado al *switching engine*. Para configurar lo anteriormente expuesto tendríamos que hacer:

```
Console> (enable) set port qos 1/1 trust untrusted  
Port 1/1 qos set to untrusted  
Console> (enable) set port qos 1/1 cos 7  
Port 1/1 qos cos set to 7  
Console> (enable)
```

Reseñar que *port qos 1/1* se refiere al *slot 1*, puerto 1. Esto puede cambiar en función de dónde conectemos el Gateway TDMoIP (suponemos que lo tenemos conectado al puerto 1 del módulo instalado en el *slot 1* del switch).

Lo siguiente que debemos hacer es crear una ACL IP, con dos ACEs de tal manera que verifique si la dirección IP origen o la dirección IP destino es la del *Ipmux-16*. Con esto nos aseguramos que si el tráfico va o proviene de esa dirección IP, se trata de tráfico de voz. En el ACE incluiremos la *keyword dscp*, de tal manera que, tal y como se explicó, al provenir el tráfico de un puerto configurado como *untrusted*, el valor del DSCP interno se ajustará al indicado en el ACE, y por lo tanto configurado por el usuario. Evidentemente, el valor que le vamos a dar es el máximo (63). En este caso no vamos a configurar políticas de ancho de banda.

El comando sería el siguiente:

```
set qos acl ip acl_name dscp 63 dir_ip_Ipmux-16 any ip_mask  
set qos acl ip acl_name dscp 63 any dir_ip_Ipmux-16 ip_mask
```

Con el primero de ellos, estamos creando un ACE que comprueba si la dirección origen es la del *Ipmux-16*, independientemente de la dirección de destino. El segundo de ellos, lo que hace es comprobar si la dirección del *Ipmux-16* es la dirección destino. Como se puede observar es una ACL IP y ponemos el valor del DSCP interno a 63.

Una vez creada la ACL, tenemos que asociarla a su correspondiente puerto como ACL de entrada, para lo cual hacemos:

```
Console> (enable) set qos acl map acl_name 1/1 input  
ACL acl_name is successfully mapped to port 1/1 on input side.  
Console> (enable)
```

Por último, lo que nos queda es asociar el DSCP interno con un valor de CoS. El ToS será mapeado automáticamente a partir de este DSCP. Para ello hacemos lo siguiente:

```
Console> (enable) set qos dscp-cos-map 63:7  
QoS dscp-cos-map set successfully.  
Console> (enable)
```

Con lo que estamos configurando que al valor DSCP interno de 63, le corresponde un CoS de 7. Este valor del CoS, tal y como se explicó, es empleado posteriormente para las prioridades de transmisión, por lo que estamos configurando que el tráfico de voz tenga la máxima prioridad a la hora de abandonar el conmutador.

Con esto ya tendríamos configurados los puertos de los Catalyst 6500 conectados a los Gateways TDMoIP para darle la mayor prioridad posible al tráfico de voz que entra por ellos. Veamos a continuación el resto de configuraciones.

Configuración interfaces *Tipo B*

Es la de los puertos de los módulo 10/100/1000 RJ-45 de los conmutadores Catalyst 6500 que no están conectados a un Gateway TDMoIP. A través de ellos circula tráfico de datos, y por lo tanto poco prioritario en comparación con el tráfico de voz, ya que no es tan sensible a retardos como éste. En principio no distinguiremos entre diferentes tipos de tráfico de datos, aunque los Catalyst 6500 permiten una distinción incluso a nivel 4. Nos limitaremos a clasificarlo todo como tráfico de datos en general.

Si nos fijamos bien, nos damos cuenta de que la configuración de este tipo de puertos va a ser prácticamente igual que la *Tipo A*, ya que únicamente tenemos una clase de tráfico (tráfico de datos), con la salvedad que a este tráfico le vamos a dar una prioridad más baja que al de voz.

Por tanto, la primera diferencia vendrá a la hora de definir el CoS del puerto, el cual lo seguiremos marcando como *untrusted*:

```
Console> (enable) set port qos 1/2 trust untrusted  
Port 1/2 qos set to untrusted  
Console> (enable) set port qos 1/2 cos 4  
Port 1/2 qos cos set to 4  
Console> (enable)
```

Con lo que hemos ajustado el CoS a 4 (podíamos haber cogido cualquier otro valor inferior a 7). Nótese que hemos variado ahora el puerto que estamos configurando (ahora es el 1/2).

A la hora de crear la ACL ya no tenemos una única dirección IP origen ni destino. Por ello crearemos un ACE genérico, incluyendo la palabra clave *any* donde tengamos que poner la dirección IP origen y destino. El *dscp* especificado en el ACE será 39 (el correspondiente a un CoS=4). A continuación asignaremos esta ACL a los puertos que sea necesario:

```
Console> (enable) set qos acl ip acl_name dscp 39 any any ip_mask  
Console> (enable) set qos acl map acl_name 1/2 input  
ACL acl_name is successfully mapped to port 1/2 on input side.  
Console> (enable)
```

Por último mapearemos el valor del DSCP interno en el CoS de salida:

```
Console> (enable) set qos dscp-cos-map 39:4  
QoS dscp-cos-map set successfully.  
Console> (enable)
```

Si el tráfico es a continuación enviado a un puerto *Tipo C*, le será dada una menor prioridad de salida que al tráfico de voz procedente de los puertos *Tipo A*, que será enviado con mayor prioridad.

Configuración interfaces *Tipo C*

Es la configuración de los puertos de fibra de los conmutadores Catalyst 6506 que estén conectados por algún otro puerto a un Gateway TDMoIP, y la de los puertos de

fibra del Catalyst 6513 que enlacen éste con los conmutadores 6506 anteriormente indicados. A estos puertos llegará tráfico tanto de voz como de datos.

La primera diferencia importante que encontramos con las otras configuraciones es que el tráfico que llega a estos puertos ya viene marcado con una CoS y un ToS en los cuales podemos "confiar", ya que provienen de puertos ya configurados adecuadamente. No los configuraremos por tanto como *untrusted* sino como *trust-ipprec*, con lo que el *switching engine* trabajará con el valor del ToS recibido:

```
Console> (enable) set port qos 2/1 trust trust-ipprec  
Port 2/1 qos set to trust-ipprec
```

Vemos que hemos cambiado también de *slot*, ya que es un módulo de fibra, distinto de los Ethernet RJ-45 configurados en anteriores apartados.

El tráfico de voz llega con un CoS=7 (tal y como hemos explicado en la configuración *Tipo A*), y debe ser enviado a la *strict priority queue* que poseen los puertos de fibra en recepción. Mientras haya tráfico en esta cola, éste será servido con preferencia sobre el resto. Garantizamos así que el tráfico de voz es atendido antes que el de datos y con prioridad sobre éste, de tal forma que si se está sirviendo al tráfico de datos y llegan paquetes transportando información de voz, se deja de servir a los de datos. El tráfico de voz, conforma va llegando es introducido en la *standard queue* de recepción. Al haber únicamente un tipo de tráfico de llegada, éste ocupará la cola y el límite para descartar tráfico será el 100%. Esto lo configuramos:

```
Console> (enable) set qos wred 1p1q4t rx queue 1 10 30 60 100  
Console> (enable) set qos map 1p1q4t rx 1 4 cos 4  
Console> (enable) set qos map 1p1q4t rx 2 cos 7
```

con lo que estamos configurando los umbrales de la cola 1 de recepción (la *standard queue*) al 10%, 30%, 60% y 100% (por ejemplo) y asignando el tráfico con CoS=4 a la cola de recepción 1, al umbral 4 (100%). Si tuviéramos tráfico con otros CoS los asignaríamos al resto de umbrales. Por otro lado, estamos asignando a la cola 2 (*strict priority queue*) el tráfico con CoS=7 (el tráfico de voz).

Para clasificar el tráfico, crearemos unos ACE de tal forma que si la dirección origen o destino del tráfico es la del *Ipmux-16*, entonces se trata de tráfico de voz, mientras que si es otra cualquiera se trata de tráfico de datos. Para ello hacemos:

```
Console> (enable) set qos acl ip acl_name trust-ipprec dir_ip_Ipmux-16 any ip_mask
Console> (enable) set qos acl ip acl_name trust-ipprec any dir_ip_Ipmux-16 ip_mask
Console> (enable) set qos acl ip acl_name trust-ipprec any any ip_mask
```

Con las dos primeras condiciones clasificamos el tráfico que tiene dirección origen o dirección destino el *Ipmux-16*, respectivamente. Si el tráfico no se ajusta a ninguna de estas dos condiciones, entonces cumple la tercera. No se nos debe olvidar asignar estas ACLs a los puertos de fibra:

```
Console> (enable) set qos acl map acl_name 2/1 input
ACL acl_name is successfully mapped to port 2/1 on input side.
Console> (enable)
```

Al haber incluido la palabra clave *trust-ipprec* en los ACEs, el valor DSCP interno se obtiene a partir del valor del *IP precedence* recibido, que es 7 para el tráfico de voz y 4 para el de datos. El valor del DSCP interno se obtendrá mapeando los valores del *IP precedence*, para lo cual lo configuramos de la siguiente manera:

```
Console> (enable) set qos ipprec-dscp-map 7 15 23 31 39 47 55 63
QoS ipprec-dscp-map set successfully.
Console> (enable)
```

De tal manera que un *IP precedence* de 0 se mapea en un DSCP de 7, un *IP precedence* de 1 se mapea en un DSCP 15 y así sucesivamente. Por lo tanto, tendremos DSCP=63 para el tráfico de voz, y DSCP=39 para el de datos, de acuerdo al valor del *IP precedence* que transportan.

Para implementar prioridades en las colas de transmisión, debemos emplear valores del CoS, por lo que debemos configurar cómo se mapean los valores del DSCP en CoS. Se hace de la misma manera que el *Tipo B*:

```
Console> (enable) set qos dscp-cos-map 39:4 63:7
QoS dscp-cos-map set successfully.
Console> (enable)
```

Una vez hecho esto configuramos las colas de transmisión para que el tráfico de voz, con CoS=7 utilice la *strict priority queue* (cola número 3) y el tráfico de datos, con CoS=4 una de las dos *standard queues* que hay (por ejemplo la 2), configurada al igual que la de entrada para que sólo si la ocupación es del 100% se descarte tráfico:

```
Console> (enable) set qos wred 1p2q2t tx queue 2 50 100
Console> (enable) set qos map 1p2q2t tx 2 2 cos 7
Console> (enable) set qos map 1p2q2t tx 3 cos 7
```

Bibliografía

- Academia de Networking de Cisco Systems, "Guía del Primer Año", Cisco Press.
- Merilee Ford, H. Kim Lew, Steve Spanier, Tim Stevenson, "Tecnologías de interconectividad de Redes", Prentice Hall.
- R. Shashoua, R. Insler, M. Anavi, IETF: draft-anavi-tdmoip-06.txt "TDM over IP".
- "Gigabit Ethernet and ATM, a Business Perspective", Nortel Networks.
- "Catalyst 6500 Series Switch Software Configuration Guide", Cisco Systems.
- "ATM to Gigabit Ethernet: Migration Strategies for the Enterprise", Extreme Networks.
- RFC 3311 (SIP, Session Initiation Protocol).
- IEE: 802.1Q "Virtual LANs".
- RFC 2705 (Media Gateway Control Protocol, October 1999).
- "RAD-View-SC/TDMoIP User's Manual", RAD Data Communications.
- Yaakov Stein, Eitan Schwartz, "Circuit Extension over IP: The Evolutionary Approach to Transporting Voice and Legacy Data over IP Networks", RAD Data Communications.
- Eitan Schwartz, "TDMoIP vs. VoIP, Matching Technology to Requirements", RAD Data Communications.
- "Technology 101 TDMoIP", RAD Data Communications.
- ITU-T: G.823 "The Control of Jitter and Wander which are based on the 2048 kbit/s Hierarchy".
- Yaakov Stein, Brian Stroehlein, "Taking an Inside Look at TDMoIP: A Tutorial", [URL:http://www.eedesign.com/story/OEG20030326S0012](http://www.eedesign.com/story/OEG20030326S0012)
- "Descripción técnica detallada sobre Voz sobre IP", [URL:http://www.monografias.com](http://www.monografias.com)
- Juan Carlos Restrepo, "Telefonía en redes de datos".
- "Voz sobre IP", [URL:http://www.adatel.es/voz_ip.htm](http://www.adatel.es/voz_ip.htm)
- "IP Telephony Design Guide", Alcatel.

- "Managed Migration to IP Telephony in a PBX Environment", Intel Communications.
- "Ensuring QoS for TDMoIP", RAD Data Communications.
- "Cisco Catalyst 3750 Series Switch Data Sheet", Cisco Systems.
- "Understanding ACLs on Catalyst 6500 Series Switches", Cisco Systems.
- "Buffers, Queues and Thresholds on Cisco Catalyst 6500 Series Ethernet Modules", Cisco Systems.
- "Catalyst Switching Solutions for Campus Networks", Cisco Systems.
- James J. Rohacik, "ATM vs. Gigabit Ethernet, Costs and Performance considerations".
- Isabel Román Martínez, "Tema 9: El reto de la banda ancha", apuntes de Arquitectura de Redes Sistemas y Servicios, 2º Ing. Telecomunicación, ESI Sevilla.
- "Cisco IOS on the Catalyst 6500 Series for Multiple Enterprise Topologies and Service Provider Core and Data Center Environments", Cisco Systems.
- Susana Gutiérrez Caballero, Nuria López Manchado, "Gigabit Ethernet".
- J. Carlos López Ardao, "Provisión de QoS en redes IP".
- Howard Frazier, Howard Johnson, "Gigabit Ethernet: from 100 to 1000 Mbps".