

DEFINICIÓN DE UN AMBIENTE GRID BASADO EN TECNOLOGÍAS ÓPTICAS



Trabajo de Grado

Marlon Felipe Burbano Fernández
Karen Carolina Cárdenas Latorre

Director: Mg. Giovanni López Perafán

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Departamento de Telecomunicaciones
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones – GNTT
Línea de investigación: Redes y Comunicaciones de Datos

Popayán, 2010

Contenido

	Pág
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
Generalidades de las redes Grid.....	3
1.1 Conceptos generales.....	3
1.1.1 Definición de redes Grid.....	3
1.1.2 Open Grid Service Architecture (OGSA).....	5
1.1.3 El modelo SOA (Service Oriented Architecture).....	7
1.1.4 Organizaciones Virtuales (VO-Virtual Organization).....	7
1.1.5 Proyecto Grid.....	9
1.2 Arquitectura de Grid.....	12
1.2.1 Hacia un modelo en capas.....	12
1.2.1.1 Infraestructura: interfaces de control local.....	13
1.2.1.2 Conectividad: comunicación fácil y segura.....	16
1.2.1.3 Resource: compartición de recursos individuales.....	17
1.2.1.4 Collective: coordinación de múltiples recursos.....	18
1.2.1.5 Aplicación.....	19
1.3 Grid y las redes ópticas.....	20

CAPITULO 2

Generalidades de las tecnologías ópticas más usadas en el contexto actual y análisis de ventajas y desventajas de Grid.....28

Introducción.....	29
2.1 Tecnologías Ópticas.....	30
2.1.1 Fibras ópticas.....	30
2.1.2 SDH/SONET	30
2.1.2.1 NGN SONET/SDH (Next Generation Network SDH).....	32
2.1.2.2. Desventajas y ventajas de SDH/SONET.....	33
2.1.3 Tecnologías de multiplexación óptica.....	35
2.1.3.1 WDM.....	35
2.1.3.1.1 DWDM.....	36
2.1.3.1.2 CWDM.....	37
2.1.3.1.3 OBS.....	37
2.1.3.1.4 OPS.....	39
2.1.3.1.5 Desventajas y ventajas de WDM.....	40
2.1.3.2 OTDM.....	42
2.1.4 Ethernet (Optical Ethernet).....	42
2.1.4.1 GigabitEthernet.....	42
2.1.4.2 10, 40, 100 GigabitEthernet.....	43
2.1.4.3 Carrier Ethernet.....	43
2.1.4.4 Desventajas y ventajas de Ethernet.....	44

2.1.5	ATM.....	46
2.1.6	FTTx.....	48
2.1.6.1	BP ON.....	49
2.1.6.2	GPON.....	49
2.1.6.3	EPON.....	50
2.1.6.4	Desventajas y ventajas de FTTx.....	50
2.1.7	ASON/GMPLS.....	51
2.1.7.1	ASON.....	52
2.1.7.2	GMPLS.....	54
2.2	Resumen de ventajas y desventajas de las tecnologías ópticas.....	56
2.3	Resumen de requerimientos de las redes Grid.....	61
2.4	Tecnologías ópticas según los requerimientos de Grid.....	61
2.5	Combinación de Tecnologías ópticas en busca de soluciones para la red Grid.....	62

CAPITULO 3

Diseño lógico y físico de un ambiente Grid empleando tecnologías ópticas.....64

3.1	Introducción.....	64
3.2	Análisis de los requerimientos de las redes Grid.....	65
3.2.1	Requerimientos de seguridad en las redes Grid.....	66
3.2.2	Requerimientos de escalabilidad en las redes Grid.....	66

3.2.3	Requerimientos de QoS en las redes Grid.....	66
3.2.3.1	Transferencia de archivos grandes entre usuarios o lugares cuyas ubicaciones son conocidas por ambos.....	67
3.2.3.2	Transferencia de grandes archivos anónimos.....	69
3.2.3.3	Pequeños flujos de ancho de banda.....	69
3.2.3.4	Grandes flujos de ancho de banda.....	70
3.2.3.5	Aplicaciones interactivas de bajo ancho de banda en tiempo real.....	71
3.2.3.6	Aplicaciones interactivas con alto ancho de banda en tiempo real.....	72
3.2.3.7	Bajo ancho de banda con usuarios anónimos muy dispersos.....	73
3.2.4	resumen de requerimientos.....	74
3.3	Caracterización de la red existente.....	74
3.3.1	Descripción general.....	74
3.3.2	Topología de la red.....	76
3.4	Diseño lógico.....	78
3.4.1	Modelos lógicos.....	81
3.4.2	Resumen de soluciones de diseño lógico	84
3.5	Diseño físico.....	84
3.5.1	Dispositivos de red.....	85
3.5.2	Resumen de dispositivos.....	87
3.5.3	Modelos Físicos.....	87

3.5.3.1	Primera solución.....	88
3.5.3.2	Segunda solución.....	89
3.5.3.3	Tercera solución.....	90
3.6	Simulaciones.....	91
3.6.1	Primera solución – Simulación con Ethernet.....	93
3.6.2	segunda solución.....	94
3.6.3	Tercera solución – simulación con ATM.....	94
3.6.4	Conclusión de la simulación.....	95

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....97

4.1	Conclusiones.....	97
4.1.1	Conclusiones del proyecto.....	97
4.1.2	Conclusiones de la temática.....	98
4.2	Recomendaciones.....	98

Bibliografía.....i

Lista de tablas

Pág

Capítulo 2

Tabla1. Resumen de las ventajas y desventajas de las tecnologías ópticas.....	56
Tabla 2. Resumen tecnologías ópticas contra requerimientos de redes GRID.....	62

Capítulo 3

Tabla 1. Resumen de requerimientos.....	74
Tabla2. Resumen de las soluciones.....	84
Tabla 3. Resumen de dispositivos para modelos físicos.....	87
Tabla 4. Dispositivos para modelo físico de la primera solución.....	88
Tabla 5. Características de las conexiones para la primera solución.....	88
Tabla 6. Dispositivos para modelos físicos de la segunda solución	89
Tabla 7. Características de las conexiones para la segunda solución.....	89
Tabla 8. Dispositivos para modelos físicos de la tercera solución.....	90
Tabla 9. Características de las conexiones para la tercera solución.....	90
Tabla 10. Tráfico generado por las estaciones de trabajo (Ethernet).....	91

Tabla 11. Retardos	91
Tabla12. Throghput.....	91
Tabla 13. Tráfico generado por las estaciones de trabajo (ATM).....	92
Tabla 14. Retardos	92
Tabla15. Throughput.....	92

Lista de Figuras

	Pág
Capítulo 1	
Figura 1. Entornos Grid.....	6
Figura 2. Organizaciones reales, organizaciones virtuales.....	8
Figura 3. Arquitectura Grid.....	12
Figura 4. La arquitectura en capas de Grid y su relación con la arquitectura Internet Protocol.....	13
Capítulo 2	
Figura 1. Funcionamiento básico de WDM.....	36
Figura 2. Relación entre ASON, GMPLS y OIF.....	51
Capítulo 3	
Figura 1. Red en capas de EMCALI.....	75
Figura 2. Esquema de la topología de la red EMCALI.....	77
Figura 3. Red de Acceso y Core.....	78
Figura 4. Modelo en capas de la red existente.....	79
Figura 5. Diseño lógico general.....	80
Figura 6. Diseño físico de la red.....	85

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de redes que sean capaces de soportar servicios de altas prestaciones y además que permitan la compartición, procesamiento y almacenamiento de grandes volúmenes de información, llevan a considerar a las redes Grid como una excelente alternativa.

Este tipo de solución ya ha sido adoptada en numerosos países, sin embargo para Colombia es un tema relativamente nuevo. Se está trabajando en un proyecto (Grid Colombia) con RENATA, en el cuál se busca hacer una red Grid con varias universidades del país, pero este proyecto a la fecha está en vía de desarrollo.

Debido al servicio que va a ser prestado por este tipo de redes, se requiere de una infraestructura lo suficientemente robusta que le permita satisfacer todas necesidades que presentan estas redes. Así pues la mejor alternativa es una infraestructura óptica, gracias a varias cualidades, entre ellas que presenta bajas pérdidas y gran ancho de banda.

Teniendo ya pues esta opción, es necesario además hacer un análisis de tecnologías ópticas vigentes y ver en qué medida cumplen con los requerimientos de una red Grid, esto con el fin de determinar una adecuada solución que permita hacer de la infraestructura óptica algo eficaz y eficiente.

Basándose en lo anterior, el presente trabajo busca con cada uno de los capítulos exponer la temática Grid organizada de la siguiente forma:

El capítulo 1, contiene los conceptos generales de Grid, sus requerimientos y una relación entre las redes ópticas y las redes Grid.

El capítulo 2, expone algunas de las tecnologías ópticas empleadas en la actualidad con el objetivo de conocer de forma muy breve acerca de cada una ellas y posteriormente señalar cuantos de los requerimientos Grid establecidos son cumplidos.

En el capítulo 3, se presentan ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías expuestas en el capítulo 2, con el fin seleccionar de estas las más convenientes para Grid y finalmente presentar posibles soluciones.

En el capítulo 4, se desarrollan los modelos lógico y físico basados en una red ya existente, para cada una de las soluciones que se presentaron en el capítulo 3, al

igual que los resultados obtenidos en los escenarios de simulación que se realizan a partir de las soluciones ya mencionadas.

En el capítulo 5, están las conclusiones y recomendaciones.

En el anexo A, se encuentra una descripción de los dispositivos que van a ser empleados, considerando tres empresas como proveedores Cisco, Alcatel y Huawei.

En el anexo B, se describe la simulación realizada y se muestran las gráficas de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1

Generalidades de las redes GRID

Introducción

1.1. Conceptos Generales

En el presente capítulo se brinda una visión de las redes Grid, explorando características y necesidades que tienen este tipo de redes. Para tal efecto, se incluye una explicación acerca de la definición de Grid, conceptos básicos, las implicaciones que trae el uso de las mismas, y las capas que conforman su arquitectura. Igualmente se empieza a vislumbrar porque las tecnologías ópticas son adecuadas para estas redes.

El aporte que se busca con este capítulo es realizar una exploración inicial para identificar que es Grid, entender los diferentes conceptos que más adelante serán usados en el proceso de desarrollo de los diseños, y empezar a observar cómo interactúan este tipo de redes en un contexto óptico.

1.1.1. Definición de redes Grid

La perspectiva común que todos tienen respecto a las redes Grid es que son redes que soportan la integración de recursos y la gestión (computadores, redes, datos, archivos, etc.). Pero para construir un sistema integrado, individuos y comunidades deben trabajar de forma coordinada para garantizar que el sistema Grid sea robusto, eficaz y que provea una interoperable gama de servicios que soporten la computación distribuida de gran escala y el manejo de datos de forma adecuada. Aunque las Grid son intrínsecamente distribuidas y heterogéneas, pueden ser vistas por el usuario como un entorno virtual con acceso uniforme a recursos [1].

Se hace necesario en la realización de un entorno Grid de proporcionar soluciones en cuanto a las interfaces entre los sistemas locales Grid y los servicios, para este fin se requiere la ayuda de las tecnologías de redes ópticas. Estas tecnologías son excelentes candidatos para la aplicación de una infraestructura de red escalable que atienda las necesidades emergentes de los servicios de red Grid y de las

aplicaciones distribuidas [30]. Una infraestructura de soporte óptica ofrece la posibilidad de la manipulación del ancho de banda de las portadoras y del sub nivel de las portadoras, proporcionando de este modo una variación en la granularidad, capacidad de soportar una amplia variedad de tráfico, posibilidad de cambio en las características y en la distribución [30], [19].

Aunque se han dado diferentes conceptos acerca de lo que es Grid, algunas que pueden tomarse como referencia para entender en qué consisten este tipo de redes son las siguientes:

- “Grid computacional es una infraestructura software y hardware que proporciona acceso dependiente, consistente, generalizado y económico a capacidades computacionales de altas prestaciones” [2].
- “Distribución de recursos coordinada y resolución de problemas en la dinámica, multi-institucional de las organizaciones virtuales” [3].
- Grid es una tecnología que tiene como objetivo integrar y gestionar recursos y servicios en ambientes dinámicos, distribuidos y heterogéneos [30].
- Grid networking no solo se trata de cuantos bits por segundo se envían. Se trata además de cómo mejorar la experiencia de la red para los usuarios Grid [31].

Posterior a las anteriores definiciones se plantean tres puntos que son importantes a tener en cuenta a la hora de dar un concepto apropiado acerca de Grid y que dan claridad con respecto al panorama que presentan este tipo de redes [3], [4].

1. *La coordinación de los recursos que no está sujeta a un control centralizado.*

La integración y coordinación que una Grid hace en los recursos y en los usuarios que se encuentran en diferentes dominios de control y en diferentes unidades administrativas de la misma o de diferentes empresas. Además de tratar cuestiones de seguridad, políticas, pago, número de miembros, entre otros, que se plantean en estos entornos.

2. *Uso de estándares abiertos, protocolos de propósito general e interfaces.*

Grid está construido para protocolos multipropósito e interfaces que se ocupan de cuestiones fundamentales como autenticación, autorización,

descubrimiento y acceso de recursos. Es por esto importante que los protocolos e interfaces sean de estándares abiertos, para que no se conviertan en un sistema de aplicación específica.

3. *Ofrecer una buena calidad del servicio.*

Una Grid permite a sus recursos ser usados de manera coordinada para ofrecer una calidad del servicio variante, relacionada al tiempo de repuesta, rendimiento, disponibilidad, seguridad y co-asignación de múltiples tipos de recursos para responder a complejas demandas de los usuarios, de modo que la utilidad del sistema combinado es significativamente mayor que el de la suma de sus partes.

En resumen, de los anteriores puntos se puede definir a Grid como un sistema que regula recursos, sin tener un control centralizado por medio de interfaces y protocolos abiertos, cuyo fin es proveer de servicios de altas prestaciones [4].

En la figura1 se muestra de forma general la infraestructura de Grid.

1.1.2. Open Grid Service Architecture (OGSA)

La arquitectura OGSA se ha dado gracias a los esfuerzos de Globus Project (Globus Alliance) donde varios de sus miembros han hecho importantes contribuciones al desarrollo de OGSA y de la comunidad Grid en general. Además de ser un importante punto a tratar en el GGF (Global Grid Forum).

Surge la necesidad de que Grid se estandarice porque Grid necesita que los diversos elementos que hacen parte de su entorno puedan controlarse y gestionarse correctamente como si fueran un solo sistema virtual, aun cuando exista la participación de diferentes proveedores y organizaciones, y además que sea cada vez más segura, robusta y escalable. OGSA permite que los recursos Grid se representen como servicios y se ocupa de esta necesidad mediante la definición de un conjunto de capacidades básicas y comportamientos que direccionan los puntos clave en los sistemas Grid. Estos puntos tienen que ver con servicios tales como la autenticación, políticas, supervisión y negociación de acuerdos de nivel de servicio, gestión y comunicación dentro de las organizaciones virtuales, organización jerárquica de los servicios, supervisión de servicios, integración de recursos, seguridad, etc.

OGSA está basada en los servicios Web y en tecnologías Grid. Y se ha enfocado en un pequeño grupo de elementos básicos, como es la especificación de los servicios Grid (Grid Services) que se encuentran desarrollados dentro de OGSi (Open Grid Service Infraestructure). Esto abarca desde recursos computacionales, almacenamiento de recursos, redes, programas, bases de datos, entre otros que están representados como servicios [28], [8].

Grid sevice, es definido como un servicio web que proporciona un conjunto de interfaces bien definidas y que sigue a convenios específicos. Las interfaces como descubrimiento de dirección, creación de servicio dinámico, gestión del tiempo de vida, notificación y capacidad de control. Las convenciones de nomenclatura y las de actualización [8].

En resumen OGSA tiene por objetivo dar un enfoque común de estandarización y una arquitectura abierta para las aplicaciones basadas en Grid. La idea es estandarizar prácticamente todos los servicios que se encuentran en las aplicaciones Grid especificando un conjunto de interfaces estándar para estos servicios y creando una base común para las soluciones de gestión automática. También busca que las entregas se realicen sin que existan problemas de QoS e integración en las tecnologías de estándares industriales como son web services, soap, xml, etc [28].

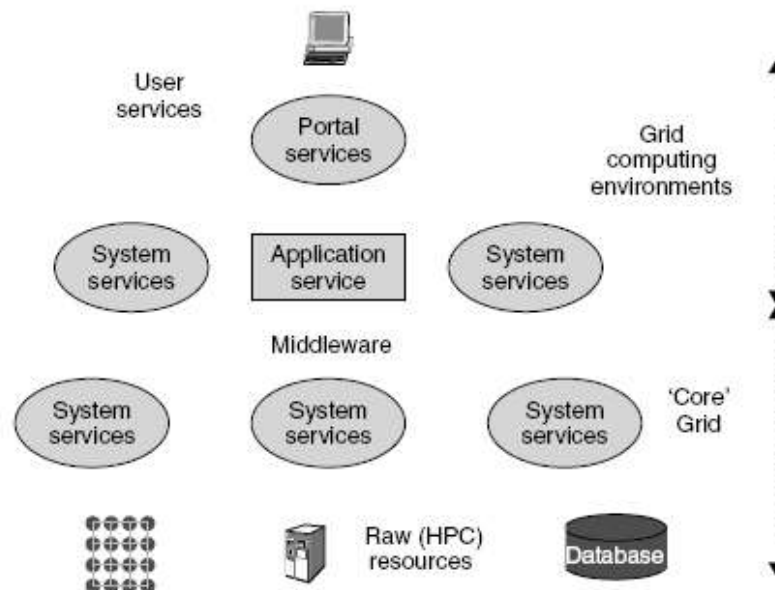


Fig1/Cap1. Entornos grid [F. Berman, G. Fox, T. Hey, *Grid Computing Making the Global Infrastructure a Reality*, Inglaterra: 2003].

1.1.3. El modelo SOA (Service Oriented Architecture)

El estándar más importante para las redes Grid como se menciono anteriormente es OGSA.

OGSA especifica un servicio orientado a la arquitectura (SOA) para Grid, el cual realiza un modelo de un sistema de computación como un conjunto de patrones distribuidos realizados usando las interfaces de Web Service e identificando cuales son los protocolos que se necesitan para invocar estos servicios.

SOA (servicio orientado a la arquitectura) es un paradigma para organización y utilización de capacidades que pueden estar bajo el control de diferentes dominios.

SOA está basado en la evolución de las arquitecturas de middleware tales como CORBA (Common Object Request Broker Architecture - arquitectura común de intermediarios en peticiones a objetos).

SOA Grid es un nuevo enfoque de la infraestructura SOA. Esto proporciona un estado de conocimiento, para la continua disponibilidad de las implementaciones de servicio, datos y procesamiento lógico.

Permite que haya modelos nuevos, simples, y eficientes para una alta escalabilidad de aplicaciones orientadas a servicios que puedan tomar grandes ventajas de servicios de virtualización, arquitecturas que manejan eventos, soporte de dinamismo en recursos y participantes, escalabilidad, robustez y facilidad de adopción [6], [7].

1.1.4. Organizaciones virtuales (VO – Virtual Organization)

Una de las principales cualidades de Grid es la habilidad para formar organizaciones virtuales dinámicamente para acceder a los recursos que necesita en una aplicación particular.

Entonces, una organización virtual es un grupo dinámico de individuos, grupos u organizaciones los cuales definen las condiciones y normas para la compartición de recursos.

Todas las VOs comparten algunas características, incluyendo las de interés común y los requerimientos que pueden variar en tamaño, alcance, duración y estructura. Los miembros de cualquier VO negocian la compartición de recursos basados en las normas y condiciones definidas, y entonces comparten los recursos en la piscina de recursos de las VOs que fue construida.

Uno de los principales desafíos técnicos en Grid es la asignación de usuarios, recursos y organizaciones de diferentes dominios a una VO. Esta tarea incluye la determinación de una definición de mecanismos para encontrar los recursos más apropiados, como la identificación y la aplicación de métodos de aprovechamiento compartido de recursos, la especificación y la aplicación de normas y condiciones para la asignación de miembros, la delegación de seguridad y el control de acceso entre los participantes.

En la siguiente figura (fig 2) se puede observar la representación de algunas organizaciones virtuales que puede clarificar el concepto dado [8], [9].

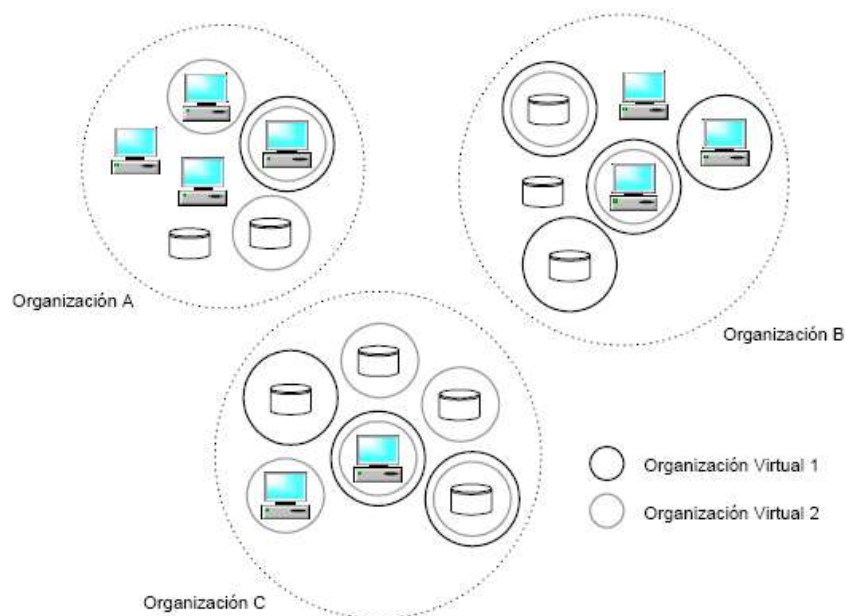


Fig 2/Cap 1. Organizaciones reales (círculos punteados), organizaciones virtuales OVs (se encuentran compuestas por los recursos que se comparten). [S. Bancho, M. Felice, J. González y P. Lavellén, *¿Qué es la computación Grid?*, España: 2004].

1.1.5. Proyectos Grid

Alrededor del mundo se encuentran en desarrollo varios proyectos con Grid especialmente en Europa, Estados Unidos y Japón. Tienen diferentes propósitos, tales como el desarrollo de servicios y de diferentes herramientas.

Estos proyectos han sido seleccionados ya que ayudan a visualizar algunas de las características y de los requerimientos de Grid, además de que han sido escogidos debido a que no son proyectos que abarcan varias áreas científicas y empresariales, sino que además ejemplifican de forma clara la importancia que tienen las redes Grid y su utilidad, por ello es importante tenerlos en cuenta para la consecución del primer objetivo del presente proyecto.

Algunos de los proyectos que han sido relevantes a nivel internacional y algunos que se han desarrollado en el país se mencionan a continuación.

- **Eurogrid:** Es un proyecto fundado por la unión Europea, finalizado en julio de 2004. El objetivo era construir infraestructura de computación de nueva generación para proveer computación intensiva de centenares de terabytes o pentabytes a través de la extensa distribución de comunidades científicas e industriales direccionando los requerimientos específicos de cada comunidad y resaltando los beneficios de usar Grid. Algunas de las aplicaciones de este proyecto se encuentran en áreas como la biomolecular, la meteorología, Aplicaciones CAE (Computer-aided engineering) que consiste en el uso de la información para soportar tareas como diseño, análisis, simulación y manufactura, y aplicaciones HPC (high performance computing) donde se usan avanzadas computadoras para resolver problemas de computación [10].

Una de las aplicaciones con la que cuenta este proyecto es CAE que surge de la necesidad de los ingenieros en el área de la construcción en cuanto a simulaciones que requieren gran capacidad de procesamiento, por lo que se necesita combinar recursos para que tengan el rendimiento suficiente, ayuda entonces a acelerar el diseño y la construcción de sistemas complejos, a reducir las pruebas en cuanto a tiempo y los costos [10].

- **Crossgrid:** este proyecto fue realizado con la colaboración de varios países europeos, con el fin de explotar los componentes y las aplicaciones de Grid

para la simulación y visualización de procedimientos quirúrgicos, soporte para inundaciones, previsión meteorológica, entre otros. Es decir está dirigido a los campos de física, medicina, y geología [27].

Una de las aplicaciones que tiene este proyecto es un sistema para el pre tratamiento vascular en intervenciones y procedimientos quirúrgicos en tiempo real a través de una simulación interactiva de la estructura y el flujo vascular. El desarrollo consiste en una simulación en tiempo real en un ambiente distribuido, en el cual el usuario interactúa en realidad virtual [27].

- **CONDOR:** es un sistema de gestión especializado de tareas distribuidas. Proporciona mecanismo de colas de trabajo, políticas de planificación, sistema de prioridades, vigilancia y gestión de recursos. Condor puede ser usado para construir entornos Grid que cruzan límites administrativos. Condor incorpora muchas de las metodologías y protocolos emergentes de Grid [11].

Condor ha sido útil en áreas como la ingeniería civil, en química, en ciencias del suelo, etc. Y aunque ha sido desarrollado por una universidad son muchos los beneficios que ha traído a diferentes departamentos no solo de la universidad si no de usuarios alrededor de mundo. Un ejemplo de ello es una simulación 3D de transferencia de calor que tardaba mucho tiempo debido al gran flujo de información

- **BioGrid:** (The Biological General Repository for Interaction Datasets) Contiene más de 198000 interacciones de más de seis especies diferentes (material genético, proteínas). Proporciona actualizaciones mensuales de la base de datos. Por tanto como se ve ayuda a algunos estudios en el área de biología y medicina [12].
- **caBIG:** (cáncer Biomedical Informatics Grid) Realizado por el instituto nacional de cáncer con el objetivo de transformar la manera de hacer la investigación acerca del cáncer. La idea es realizar una red que conecte a toda la comunidad de cáncer. Gracias a Grid se presenta la oportunidad de ahorrar recursos y tiempo en el camino hacia nuevos descubrimientos [13].
- **NEES:** (Network for Earthquake Engineering Simulation) Es una red compuesta por 15 instalaciones experimentales, herramientas de colaboración, un repositorio centralizado de datos, y un software de

simulación de terremotos, conectados con una alta velocidad por medio de NEESgrid. Estos recursos proporcionan la forma más avanzada de experimentación y simulación de materiales cuando se presentan eventos sísmicos [14].

Se podrían enumerar para cada uno de estos proyectos, a manera de ejemplos los beneficios de Grid y esbozar mediante los mismos la forma en que los recursos son tratados. Sin embargo se espera, que mediante los ejemplos dados se haya entendido no solo los beneficios que tiene Grid, sino también exista una idea de algunas de las características y requerimientos.

Aunque en Latinoamérica en general, y por supuesto en Colombia, no se tiene un avance tan notorio en Grid, se cuenta con algunos proyectos tales como:

En Colombia se tiene la iniciativa de la formación de **GRID Colombia**, esta cuenta con una base fundamentalmente académica, que tiene como objetivo centralizar los esfuerzos para la creación de una malla computacional, usando las Redes de Tecnología Avanzada (**RENATA**) a escala regional y nacional [15].

Y algunos proyectos que se han desarrollado son:

- **Arquitecturas y modelos de programación en computación grid:** Se realizó en la universidad tecnológica de Pereira, y busca analizar los principales modelos de programación para computación Grid, así como el uso de librerías y frameworks (estructura de soporte, mediante la cual otro proyecto de SW puede ser organizado y desarrollado) que pueden ser adaptados sobre estas arquitecturas. [16].
- **G+ GRILLA COMPUTACIONAL MEDIDA POR AGENTES:** Se realizó en la universidad Pontificia Javeriana. Plantea el modelo G+, el cual se basa en aprovechar las características del paradigma de los agentes [17].

1.2. Arquitectura de Grid

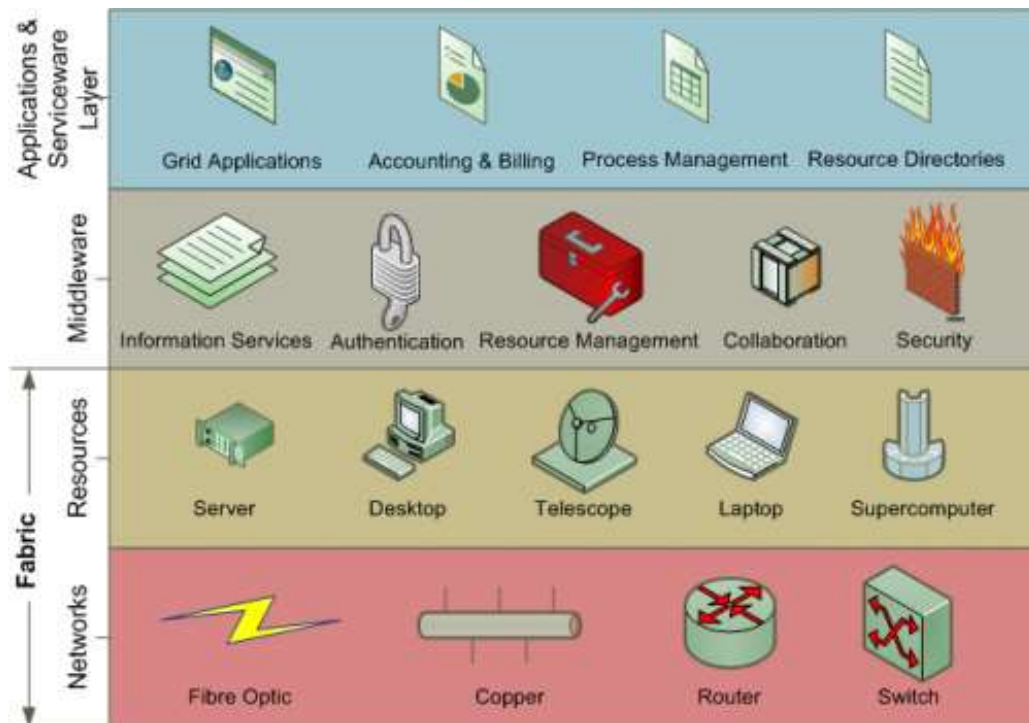


Fig 3/ cap1. Arquitectura Grid [Beacon, *an overview of grid technology*, 2009].

1.2.1. Hacia un modelo en capas

La comunidad Grid ha convergido hacia un modelo en capas, como se muestra en la figura 3, para el desarrollo del sistema de servicios y software necesarios para integrar los recursos de Grid.

Este modelo define el propósito y las funciones de sus componentes, indicando la forma en que estos componentes interactúan entre sí.

El objetivo principal de la arquitectura es la interoperabilidad entre proveedores y usuarios de recursos, a fin de establecer relaciones de intercambio. Para esta interoperabilidad se requieren de protocolos comunes en cada capa del modelo arquitectónico lo cual lleva a la definición de un protocolo de red. Este protocolo define los mecanismos comunes, interfaces, el esquema y los protocolos para cada capa, en la que los usuarios y los recursos pueden negociar, establecer, administrar y compartir recursos.

Estas capas siguen el principio "hourglass model" (reloj de arena), el reducido cuello del hourglass define un pequeño conjunto de abstracciones y de protocolos

como el HTTP y el TCP (en internet), en la que muchos comportamientos de alto nivel pueden ser asignados (en la parte superior del hourglass), y que a su vez puede asignarse a diferentes tecnologías subyacentes (en la base del hourglass).

Por definición el número de protocolos definidos en el cuello debe ser pequeño. En esta arquitectura el cuello del hourglass se compone de recursos y protocolos de conectividad, los cuales facilitan el intercambio de recursos individuales. Los protocolos en estas capas están diseñados de forma que puedan ser implementados en la parte superior de una gama amplia de tipos de recursos, definidos en la capa de infraestructura y que puedan ser usados a su vez para construir una amplia gama de servicios globales y comportamientos de aplicaciones específicas en la capa Colectiva. [3].

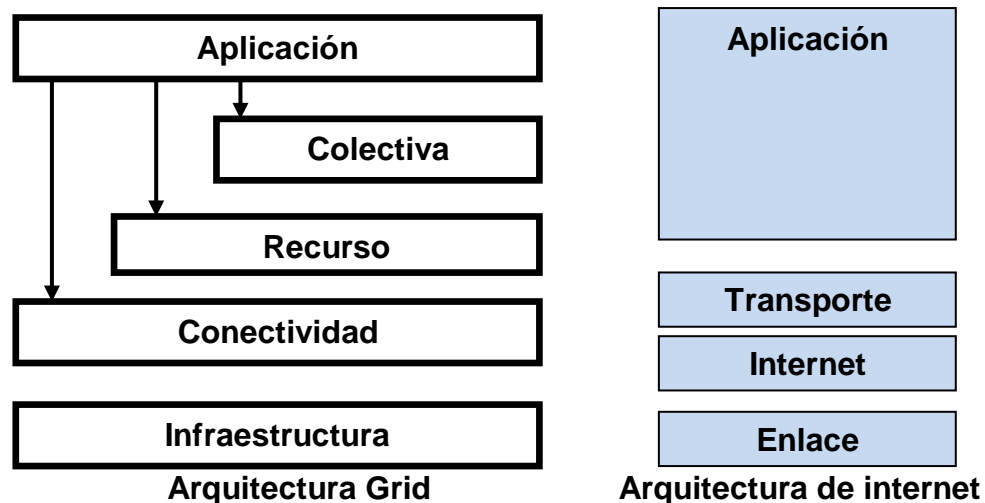


Fig 3/Cap 1. La arquitectura en capas de Grid y su relación con la arquitectura de internet protocol. [I. Foster, C. Kesselman y S. Tuecke, *the anatomy of the Grid*, 2000].

1.2.1.1. Infraestructura: interfaces de control local.

Esta capa es la encargada de proveer los recursos necesarios para el acceso compartido mediante los protocolos de Grid.

Los recursos incluyen normalmente entidades físicas y lógicas. Las entidades físicas son recursos como sistemas de almacenamiento, catálogos, servidores, y recursos de red. Los recursos pueden ser una entidad lógica en el caso de sistemas de archivos distribuidos, equipos clúster y sistemas de bases de datos para almacenar datos estructurados.

Normalmente el mecanismo de Grid permite la gestión de recursos, lo que implica descubrimiento y control. Por lo tanto en esta capa también se incluyen la infraestructura de la red y sus mecanismos de gestión y control.

Es necesario que los recursos implementen mecanismos de investigación que permitan descubrir su estructura, estado, y capacidades por un lado y por otro, es necesario conocer los mecanismos de gestión de recursos que provean una caracterización de las capacidades de un recurso específico [3].

Las principales características que proporciona esta capa son:

- **Recursos computacionales (Computational resources):** Se trata de mecanismos que son requeridos para el monitoreo y el control de la ejecución de procesos. La gestión de mecanismos, permite el control sobre los recursos asignados a procesos, como es la reservación avanzada de mecanismos. Las funciones de descubrimiento son necesarias para determinar las características del hardware y software, así como los estados de información relevantes, tales como el estado actual de carga.
- **Recursos de almacenamiento (Storage resources):** hace referencia a los mecanismos que son necesarios para poner y obtener archivos. Por lo tanto son mecanismos para leer y escribir subconjuntos de un archivo y/o la ejecución remota de selección de datos o reducción de funciones. Los mecanismos de gestión que permiten el control de los recursos asignados a transferencia de datos (espacio, ancho de banda en el disco, ancho de banda de la red, CPU) son útiles, como lo son los mecanismos anticipados de reservación. las funciones de descubrimiento, son necesarios para la determinación de las características de hardware y software así como la información de carga relevante, tales como espacio disponible y ancho de banda utilizado.
- **Recursos de red (Network resources):** Se relaciona con los mecanismos de gestión que proporcionan control sobre los recursos asignados a las transferencias de la red (priorización, reservación). Las funciones de descubrimiento pueden proveer o determinar las características y la carga de la red.

- **Repositorios de código (Code repositories):** Es una forma especializada de recursos de almacenamiento que requiere mecanismos para la gestión de versiones de código fuente y código de objetos, como por ejemplo un sistema de control como CVS (concurrent version system, mantiene el registro de todo el trabajo y de los cambios de fichero que forman un proyecto y que permite que distintos desarrolladores participen).
- **Catálogos (Catalogs):** son una forma especializada de recursos de almacenamiento que requieren de mecanismos para la implementación de catálogos de operaciones de consulta y actualización, como por ejemplo una base de datos relacional.

En resumen, esta capa es importante debido a las funcionalidades que brinda, entre las cuales cabe destacar:

- Ayuda a iniciar los programas y a controlar la ejecución de los procesos. En esta característica, los mecanismos de gestión admiten realizar reserva de recursos.
- Asegura la conexión de los recursos que forman la Grid.
- Permite obtener y entregar los archivos mediante los mecanismos de gestión, los cuales controlan los recursos para dicha transferencia, y también mediante las funciones de interrogación que son las que obtienen la información de cómo se lleva a cabo la utilización de dichos recursos.
- La interrogación, que es otra de las funciones, ayuda a obtener las características de la red y de su tráfico, y los mecanismos de gestión ofrecen un control acerca de cómo deben estar priorizados los recursos de la red [18].

Globus toolkit, fue diseñado principalmente para usar los componentes de infraestructura, pero si no se proveen los medios necesarios en la capa de infraestructura, Globus toolkit hace uso de protocolos adicionales que tienen múltiples aplicaciones (software para estructura de descubrimiento y estado de la información para varios tipos de recursos como computadores, sistemas

operativos, redes y el empaquetamiento de la información para facilitar la aplicación de protocolos de alto nivel, específicamente de la capa de recursos).

Los protocolos usados en este caso para la comunicación, son GSI (Grid Security Infrastructure) para autenticación y autorización [3].

1.2.1.2. Conectividad: comunicación fácil y segura

En esta capa se encuentran los protocolos de comunicación y autenticación que se necesitan para realizar transacciones determinadas en la red Grid.

Los protocolos de comunicación permiten el intercambio de datos con la capa de infraestructura y los protocolos de autenticación sirven para proporcionar a los servicios de comunicación mecanismos seguros de verificación de la identidad de los usuarios y recursos.

Los requerimientos de comunicación incluyen transporte, enrutamiento y nombramiento. Estos protocolos han sido extraídos de la pila del protocolo TCP/IP (IP y ICMP para comunicación, TCP y UDP para transporte y DNS, OSPF, RSVP, etc. Para aplicación).

Para la seguridad, se basan en las normas existentes, muchas de las cuales se desarrollan en el contexto de la suite de protocolos de internet.

A continuación se presentan algunas de las características que deben aplicarse para las soluciones de autenticación:

- **Single Sign On:** Conexión por parte de los usuarios una sola vez, mediante la autenticación, pudiendo de este modo acceder a varios recursos de la red (definidos en la capa de infraestructura) sin que haya más intervención por parte del usuario.
- **Delegación (Delegation):** Un programa del que esté haciendo uso un usuario debe ser capaz de acceder a los recursos para los cuales el usuario está autorizado.
- **Integración con varias soluciones de seguridad local (Integration with various local security solutions):** cada proveedor de recursos puede

emplear cualquier solución de seguridad. Las soluciones de seguridad de Grid deben ser capaces de interactuar con estas soluciones locales.

- **Relación de confianza basada en usuario (User based trust relationships):** para que un usuario pueda usar los recursos de varios proveedores simultáneamente, el sistema de seguridad no necesita que los proveedores de recursos cooperen o interactúen entre sí [3].

1.2.1.3. Resource: Compartición de recursos individuales

Esta capa se basa en los protocolos de comunicación y autorización de la capa de conectividad, esto con el fin de definir unos protocolos (y APIs y SDKs) que permitan una negociación segura, iniciación, monitoreo, control y pago de operaciones de intercambio sobre recursos individuales.

Las implementaciones de los protocolos de esta capa son llamadas funciones de la capa de infraestructura para acceso y control de recursos locales.

Los protocolos de esta capa tienen que ver enteramente con recursos individuales y por lo tanto no se relacionan con las acciones de tipo global.

Los protocolos principales de esta capa son:

- **Information protocol (protocolos de información):** se usan para obtener la información del estado y la estructura del recurso.
- **Managment protocols (protocolos de gestión):** se usan para negociar el acceso a los recursos compartidos, dependiendo del servicio y de la operación que vaya a realizarse. Como los protocolos de gestión deben instanciar las relaciones de compartir, también deben servir como un punto para la aplicación de las políticas, garantizando que las operaciones solicitadas corresponden a las políticas bajo las cuales el recurso va a ser compartido.

Es muy importante tener en cuenta que los protocolos de las capas de recursos y de conectividad forman el cuello del modelo hourglass.

Estos protocolos por tanto, deben ser capaces de capturar los mecanismos fundamentales para compartir a través de diferentes tipos de recursos [3].

1.2.1.4. **Collective: coordinación de múltiples recursos:**

Esta capa contiene protocolos y servicios (y APIs – Application Programming Interface y SDKs - Software Development Kit) que no están asociados a un recurso específico, si no que tienen una naturaleza global e interacciones de captura a través de colecciones de recursos.

Los componentes de la capa colectiva se basan en el cuello del modelo hourglass de la capa de recursos y de conectividad. Estos componentes pueden implementar una amplia variedad de mecanismos para compartir sin que los nuevos requerimientos en los recursos sean compartidos.

Algunas de las funciones de esta capa son:

- **Directory services:** permiten a los participantes de las VO descubrir cuales recursos de las VO existen y sus respectivas propiedades.
- **Co-allocation, scheduling, and brokering services:** permite la asignación de recursos a los participantes de las VO para realizar una actividad específica y la programación de tareas en estos recursos.
- **Monitoring and diagnostics services:** soporte en el monitoreo de los recursos de las VOs por fallas, ataques o detección de intrusos, sobrecarga, etc.
- **Data replication services:** soporte en la gestión del almacenamiento de los recursos de las VO para maximizar el rendimiento de acceso a los datos, respecto a indicadores como tiempo de respuesta, confiabilidad y costo.
- **Grid enabled programming systems:** Permitir a modelos similares ser usados en entornos Grid, usando varios servicios de Grid para direccionar descubrimiento de recursos, seguridad, asignación de recursos, etc.
- **Workload management systems and collaboration frameworks:** Creada para la descripción, uso y gestión de multiples pasos, asíncronos y flujos multi componentes.

- **Software discovery services:** selecciona el mejor software de aplicación y plataforma de ejecución basada en los parámetros del problema que se está resolviendo.
- **Community authorization servers:** sirve para aplicar las políticas que regulan el acceso a recursos, la generación de capacidades que los miembros de la comunidad pueden usar para acceder a los recursos comunitarios. Proporcionan un servicio global de la aplicación de políticas.
- **Community accounting and payment services:** recolecta información acerca del uso de recursos para efectos de contabilidad, pago y limitación del uso de estos por parte de los miembros de la comunidad.
- **Collaborator services:** permite el intercambio coordinado de información dentro de las comunidades de usuarios, si son síncronas o asíncronas.

Esta capa se usa para propósito general en el caso de grandes aplicaciones o para un dominio específico dentro VO específicas. Y los componentes de esta capa pueden ser adaptados según las necesidades específicas de una comunidad de usuarios, de VO, o de un dominio específico, sin olvidar que los protocolos de estos componentes y las APIs, deben estar basados en los estándares establecidos [3].

1.2.1.5. Aplicación

Tiene que ver con las aplicaciones que los usuarios operan en un entorno de VO.

Las aplicaciones pueden ser llamadas por servicios definidos para cualquier capa. En cada capa se encuentran bien determinados los protocolos que permiten acceder a algunos servicios tales como: gestión de recursos, acceso a datos, etc.

Mediante las APIs y SDKs se intercambian mensajes de protocolo con el servicio adecuado, con el fin de realizar las acciones requeridas [3].

1.3. Grid y las redes ópticas

Aunque el concepto de la computación Distribuida y de computación Grid, no sean nuevos, hace algunos años el soporte de las redes era demasiado lento para permitir el uso eficiente de recursos remotos. Algunas de las redes de hoy, con prestaciones mejores en cuanto a ancho de banda y velocidad han hecho posible la aplicación de Grid y de la computación distribuida en general, aunque la actual tecnología utilizada en la red subyacente impone una limitación en la transferencia de cantidades masivas de datos. Además de la carencia de ancho de banda, y la incapacidad para proporcionar formas de conectividad, que hace que no sea muy adecuada para Grid.

De modo que ahora la clave para el desarrollo de las redes Grid, consiste en usar las tecnologías de red que suplan estas limitaciones, determinando además cuáles son los protocolos, y arquitecturas de red que pueden seleccionarse como solución para estos requerimientos.

Los recientes avances en la tecnología Grid han prometido el desarrollo de aplicaciones de usos intensivos. Estos requerirán movimiento de terabytes o incluso de Petabytes de datos. Es así como debido a la constante evolución de las aplicaciones de Grid, se hace necesaria una solución para proporcionar aplicaciones con entornos de red más eficientes, con una infraestructura de red controlada para los usuarios, puesto que dichas aplicaciones necesitan infraestructuras que permitan almacenar una gran cantidad de datos y acceder a recursos computacionales que se encuentran potencialmente disponibles a través de un número de usuarios. De modo que esta solución debería proveer mayor ancho de banda y enlaces dedicados, que son asignados dinámicamente bajo demanda o por la programación de la reserva [19].

Las aplicaciones de Grid pueden diferir en cuanto a la granularidad de los flujos de tráfico y las características de tráfico requeridas, tales como el ancho de banda en las transacciones de datos, el retardo y la pérdida de paquetes. Algunas aplicaciones que requieren un gran ancho de banda son sensibles a la pérdida de paquetes, por lo tanto necesitan de una transmisión de datos fiable. Hay otras que requieren la transferencia de datos a granel para replicas de bases de datos (que es hacer un duplicado de las bases de datos en el disco duro) o balanceo de carga (entendido como la compartición del trabajo que debe ser realizado entre varios

equipos o recursos) y por esta razón la minimización de la pérdida de paquetes es necesaria para incrementar el rendimiento.

Por otro lado, existen otras aplicaciones que requieren tiempo real, lo que implica que solo pueden tolerar un pequeño retardo, y solo en algunos casos se necesita un ancho de banda relativamente pequeño como por ejemplo para VoIP, web, juegos, Etc., pero se requiere de un número potencialmente alto de usuarios. En el caso de las grandes aplicaciones de la computación distribuida que también hacen uso del tiempo real, se necesitan las mismas características, pero con un ancho de banda mayor [24].

Para soportar el alto tráfico de banda ancha, es totalmente necesario incrementar la capacidad de las actuales redes de telecomunicaciones. Estas redes deben estar en la capacidad de transportar el tráfico de las diferentes fuentes. Lo cual quiere decir, que tienen que concentrar y distribuir el tráfico generado por todos los usuarios a través de las redes de acceso.

Hoy en día se utilizan diferentes tecnologías en las redes, basadas en fibra óptica como medio de transmisión. El atractivo de la fibra óptica, y, en particular, de la fibra óptica mono modo, se basa en su baja atenuación, alto ancho de banda, fácil instalación, inmunidad a interferencias, alta seguridad de la señal, aislamiento eléctrico y posibilidad de integración.

Hay que recalcar que el rendimiento de los recursos depende de seleccionar cuidadosamente el tipo y el número de los recursos computacionales usados, en el ancho de banda disponible en la red y la latencia, y en la ubicación y el volumen de entrada y salida de datos.

La intención de esta sección es revisar aspectos críticos de Grid y su relación con las redes ópticas. Para ello se consideran algunos requerimientos de redes como son seguridad, escalabilidad, y otros que tienen que ver con la calidad del servicio prestado como lo son la latencia, throughput, el ancho de banda, la disponibilidad, y el jitter.

Aunque estas características influyen en el diseño de una red Grid, son más específicas dependiendo del tipo de aplicación, y aunque se debe considerar también el número y el tipo de participantes, puede llegarse a unos parámetros generales de los requerimientos antes mencionados que sirvan en el camino de determinar cuáles son las mejores tecnologías de red para Grid.

Para conseguir este fin, a continuación se busca dar una idea de cuál es el comportamiento y como afectan estos requerimientos el buen desempeño en las redes Grid.

- **Seguridad:** tiene que ver con aspectos tales como la autenticación, que es el proceso por el cual una entidad verifica la identidad de otra, los permisos para un usuario particular para el uso de varios recursos, el control de acceso a ciertos datos para garantizar la confidencialidad y para conservar las políticas impuestas, el intercambio entre usuarios, etc.
Si se está hablando de Grid, se da por hecho la compartición de recursos, de modo que es sumamente importante la seguridad y el control que se haga en cada proceso dentro de la red.

La Infraestructura de Seguridad de Grid (GSI) del GGF, califica como aplicación de nivel de seguridad. Como cualquier otro esquema de nivel seguridad, los objetivos verdaderos de seguridad se encuentran extremo a extremo, eliminando así el problema y la vulnerabilidad a la que conllevan los intermediarios en la red. Cuando se haya configurado correctamente, la GSI se puede aplicar sobre cualquier medio de la red, independientemente de su nivel de seguridad.

Los aspectos de seguridad están dados dentro de las capas de Grid de infraestructura, conectividad y recursos. En la capa de infraestructura se dan las tareas de ofrecer los recursos necesarios para el establecimiento de una conexión, a demás en la capa de conectividad, se dan los protocolos encaminadas a la comunicación y autenticación de los usuarios para el empleo de los servicios de Grid y por último la capa de recursos da los protocolos necesarios para la comunicación y autorización de los usuarios.

- **Escalabilidad:** debido a que existen millones de recursos, aplicaciones y servicios que requieren ser monitoreados además de usuarios que solicitan acceder a ellos, debe haber un sistema de supervisión proporcionando una medida de escalabilidad. El desafío de los requerimientos que tienen las aplicaciones de Grid, está asociado con el continuo crecimiento de la demanda. La redes en general y sobre todo las redes Grid deben poder manejar el continuo crecimiento sin que haya pérdida en la calidad del servicio y en la compartición de los recursos.

La puesta en marcha de cada uno de las solicitudes de servicio de alguna manera tiene que ser sincronizada sin desperdiciar los escasos y, por tanto, potencialmente costosos recursos asignados por una solicitud de servicio que tiene que esperar para la asignación de tareas afines. Una posible solución a esto es dada por la capacidad de reserva de recursos por anticipado.

La escalabilidad, se debe tener en cuenta en todas las capas del modelo de Grid, puesto que el crecimiento de la demanda se debe asumir desde todos los aspectos de la arquitectura. En la capa de aplicación, se debe tener en cuenta el ingreso de nuevos usuarios, para el aprovechamiento de el nuevo recurso que ingresa a la red, en la capa colectiva, el ingreso de nuevos usuarios hace que esta capa requiera de actualizaciones para nuevos protocolos de comunicación que puedan emplear los nuevos usuarios, y las capas inferiores con sus tareas deben ofrecer conectividad, comunicación, autorización autenticación y disponibilidad recursos a estos nuevos usuarios de la Grid

- **QoS:** La QoS en una red Grid no debe limitarse en a proveer diferentes prioridades en el buffer, en el límite de retardo, el jitter de red, la protección, la restauración, la latencia y el ancho de banda, debe también proveer servicios variables multicast, aprovisionamiento de magnitud disponible de ancho de banda(estado estable, picos de demanda). Además de considerar otros requerimientos fundamentales, como la distancia de usuario- recurso y recurso-recurso, la ocupación y disponibilidad, la identificación de las prioridades del usuario y las necesidades de seguridad, entre otros aspectos de QoS [21].

La eficiencia en el uso de los recursos es una de las cosas más importantes para un buen desempeño de la red. El objetivo de esta, es la asignación de recursos computacionales a tareas específicas de forma eficiente y justa, al mismo tiempo que se está cumpliendo con los requerimientos de QoS para cada una de las tareas. Para cumplir con un acuerdo de QoS, el gestor de red debe ser capaz de reservar los recursos para la ejecución de tareas específicas, entonces dichos recursos deberían ser asignados a una tarea solo para el periodo de tiempo durante el cual están siendo utilizados realmente, y deberían estar disponibles para otras tareas el tiempo restante.

Un problema que se presenta al momento de cumplir acuerdos de calidad del servicio es cuando las Grids están construidas para comunidades de usuarios que se encuentran geográficamente dispersos, pues algunas aplicaciones y recursos dependerán de la conectividad de la red subyacente proporcionada por el proveedor de servicios de transporte. Existe una alta probabilidad de que los miembros remotos de una organización virtual tengan diferentes proveedores de transporte para su servicio. También es posible que cada localización de la grid tenga diferentes servicios y la capa física diferentes combinaciones de conectividad para el acceso a la red. Esto puede causar inconsistencias extremo a extremo en la Grid, sobre todo fallas [9].

Los requerimientos en calidad de servicio, corresponden a las capas del modelo Grid de infraestructura, conectividad y recursos. La capa de infraestructura, brinda el soporte con sus diferentes entidades lógicas y físicas para que se cumplan con los diferentes requerimientos de calidad, como el ancho de banda, jitter o la disponibilidad. La capa de conectividad ofrece que se cumplan con una comunicación fiable y eficaz, lo que implica que incluya aspectos como throughput y latencias. Y la capa de recursos, con sus tareas de gestión de los recursos existentes, ayuda a que las capas anteriores logren su cometido de ofrecer servicios con calidad.

A continuación los factores que tienen que ver con la QoS:

- **Latencia:** se refiere al retardo o intervalo de tiempo entre la señal enviada y recibida. La UIT da algunas recomendaciones al respecto a que el rango de la latencia debe ser de 0 a 100 microsegundos. Para las redes Grid se hace necesario tener una baja latencia debido a que se necesita que no se vea afectado el rendimiento y la información transmitida.

En Grid dado la gran cantidad de información que es requerida, es imposible evitar la latencia, se presenta un problema cuando se tiene la necesidad de asignar recursos, ya que es difícil de lograr mediante protocolos de reserva de recursos, pues los retardos ocasionados por el canal de transmisión son considerables y hay que tenerlos en cuenta. Estos retardos pueden ser comparables con el tamaño de la ráfaga o con el tiempo de ejecución de las tareas.

Con el fin de reservar los recursos solo el tiempo preciso, la ráfaga de la carga de datos y la ejecución de instrucciones deberían llegar secuencialmente a los recursos. Así es como la comunicación de retardos además de los tiempos de ejecución de tareas, deberían ser incorporados en la programación del trabajo y de esta forma lograr el uso eficiente de recursos.

Por ello la priorización de paquetes es útil al momento de evitar los retrasos debido a las colas.

Se puede evitar que la latencia afecte todas las solicitudes de información, haciendo uso de operaciones que tengan una latencia más previsible y utilizando estas para transferir la información.

- **Throughput:** se trata de nivel de tasa de datos por segundo que pasan a través de un nodo de la red.

Se esperaría tener una alta tasa de datos sobre todo cuando las redes Grid requieren movimiento de datos del orden de los terabytes y Petabytes.

Aunque la carga no es una de las prioridades, es útil para la administración de los recursos, al momento de tener una medida de la variabilidad de la carga en relación con su significado.

Además el administrador de los recursos también debe estar informado de la QoS que el usuario requiere. Esto incluye también en la estimación de la carga de trabajo parámetros tales como:

- Tiempo máximo de realización de las tareas.
- Probabilidad de incumplimiento de este plazo máximo.
- Fiabilidad (tolerancia a fallos).

Las tareas específicas que son importantes para el manejo de recursos incluyen la carga estimada de la tarea. La carga puede ser clasificada dependiendo a que clase del sistema de recursos se está refiriendo:

- Recursos computacionales, la carga de trabajo puede ser medida por el número de bits que tienen que ser transferidos.
- Para recursos de almacenamiento, la carga puede ser medida por el número de bits almacenados y la duración de tiempo por el cual ellos tienen que estar almacenados.

- Recursos de procesamiento, la carga puede ser medida por el número de instrucciones de las tareas.

Ancho de banda: Se necesita de un alto ancho de banda para poder transmitir un gran número de datos por unidad de tiempo, la transmisión de datos entonces se ve limitada por la cantidad de ancho de banda.

Para las redes Grid que necesitan transmitir un alto volumen de información lo ideal es contar con un alto ancho de banda. Para estas altas prestaciones se necesita un ancho de banda mayor a 1Gbps por flujo.

Las capacidades de la red pueden probablemente satisfacer la demanda de las aplicaciones de Grid, pero las capacidades de ofrecer un ancho de banda ilimitado no son siempre ciertas. Hay ciertas limitaciones respecto a los enlaces disponibles, el control de la congestión permite la distribución justa de los cuellos de botella, sin embargo si se considera que en el modelo de grid se asume que los servicios y clientes de diferentes tipos, pueden añadirse o eliminarse en tiempo de ejecución, es apropiado considerar la diferenciación de servicios. Pues en este entorno, la disponibilidad de recursos puede cambiar en cualquier momento, y también nuevos tipos de recursos serían continuamente adheridos de la misma forma que la tecnología más vieja se elimina. De modo que se necesita de un recurso de reservación flexible, escalable y robusto y de un esquema de asignación para manejar cualquier tipo de aplicación, un tipo de red y los requerimientos de los recursos computacionales, además de proveer un paquete para los servicios especializados, esto mediante la diferenciación de servicios (GridDiffServ). Con esto el ancho de banda bajo demanda es posible [22], [23], [5].

- **Disponibilidad:** la confiabilidad de la red es obligatoria para Grid. para que la red se encuentre disponible el tiempo que sea necesario hay que intentar evitar los problemas como congestión a lo largo de la ruta, fallos en el enlace, fallos en los nodos, esto se logra mediante un control previo de rutas alternas, de este modo no solo se evita que se pierda disponibilidad por fallas, sino que además se minimizan los embotellamientos que pueden presentarse [9].

Dado lo anterior, las características que se presentaron en cuanto al desempeño de las aplicaciones de la redes Grid llevan a señalar las tecnologías ópticas como las que presentan cualidades adecuadas para

cumplir con los requisitos que se necesitan para estas redes, ofreciendo no solo una gran capacidad, sino además una baja latencia.

Hoy en día las tecnologías ópticas soportan rápidas y dinámicas respuestas de ancho de banda, brindando la capacidad de proveer servicios de ancho de banda dinámico, que puede ser controlado por usuarios o aplicaciones individuales. Pero a pesar de las muchas ventajas que presentan para las redes Grid, no hay que olvidar que las redes ópticas deben cumplir con algunos factores:

- Que sea escalable, flexible y con una infraestructura de red reconfigurable.
- Habilidad para soportar una alta capacidad de carga en transferencia de datos.
- Ancho de banda bajo demanda, con capacidades de largos o cortos periodos de tiempo entre diferentes puntos a través de la red.
- Servicios de ancho de banda variable en el tiempo.
- Servicios de longitud de onda y sub longitud de onda (ráfagas, flujos, paquetes ópticos).
- Hardware flexible para dar soporte a una amplia gama de recursos diferentes en la red.
- Alta adaptabilidad en las capas.
- Aumento en la seguridad de la red y la relación con los clientes de la red, a nivel de usuario-red y red-red.
- Capacidad de proveer gestión y control de los recursos distribuidos de la red para las aplicaciones o para los usuarios [24].

Un factor que también hay que tener en cuenta para el análisis que se está realizando es el jitter.

- **Jitter:** Definido como el cambio de la frecuencia de la señal o la distorsión de la fase. Puede afectar a características de la señal tales como amplitud, fase, tamaño del pulso y posición.

Este es un factor bastante significativo para los canales de comunicación. Cuando el jitter se torna excesivo puede causar errores, dando como resultado la perdida de los datos.

Hay algunas formas de contribuir a que no se presente un jitter muy grande, por ejemplo teniendo en cuenta el jitter en el dimensionamiento de los buffers (área para almacenar datos temporalmente y entregarlos a una tasa diferente de la cual fueron recibidos) para aplicaciones que requieren una entrega regular de paquetes como lo son las concernientes a video y a voz. O mediante la determinación de la dinámica de colas en una red donde la variación de los retardos puede vincularse con cambios en la longitud de la cola.

Las medidas de jitter son regularmente hechas en conjunto con las medidas de ruido, ya que el ruido generalmente contribuye a que se presenten situaciones donde hay jitter. Entonces es relevante que el jitter no exceda ciertos límites, dado el caso de Grid donde grandes volúmenes de información son transportados, además de recursos compartidos en tiempo real [20], [25], [23], [26].

Por último y considerando como ya se dijo anteriormente, que la aplicación de una infraestructura óptica es una muy buena elección para el soporte de redes Grid, hay que tener en cuenta que algo importante que influencia la arquitectura de red de una Grid óptica es la elección de la tecnología de conmutación y el formato de transporte. La conmutación óptica ofrece una manipulación en el nivel de la longitud de onda (conmutación de circuitos) y de la sub longitud de onda a través de tecnologías como paquetes ópticos y conmutación de ráfagas, ofreciendo no solamente conmutación de alta granularidad, sino también la capacidad para dar cabida a una amplia variedad de características de tráfico y distribuciones [29].

Con el fin de dar una justificación más clara al uso de tecnologías ópticas, se hace necesario considerar los problemas y beneficios que se enfrentan dichas tecnologías. Posteriormente se hará un análisis más detallado.

CAPÍTULO 2

Generalidades de las tecnologías ópticas más usadas en el contexto actual y análisis de ventajas y desventajas para la red Grid

Este capítulo busca hacer una recopilación de diferentes tecnologías ópticas que son empleadas en la actualidad, describiendo de manera general sus características. Además se establecen algunas ventajas y desventajas de las mismas desde la perspectiva de Grid, esto con el objetivo de realizar la selección de la(s) tecnología(s) que serán propuestas dadas las cualidades que presentan y su compatibilidad con las redes Grid.

Una vez realizada esta exploración, se concluye mostrando de manera breve cuales de los requerimientos planteados en el capítulo 1 son alcanzados por las diferentes tecnologías ópticas, para posteriormente realizar la selección de las tecnologías ópticas que se van a usar en los modelos.

La selección de las tecnologías dada a continuación se realiza tras la recopilación de información de diversas fuentes, que luego de un análisis se puede ver que son las que en la actualidad están siendo más usadas a nivel mundial y por tanto pueden ser tomadas en cuenta como soporte para las redes Grid.

2. Introducción

Según la recomendación ITU-T G805, las redes de comunicaciones deben tener dos funciones amplias. Estas se pueden encontrar en dos grandes grupos funcionales. El grupo funcional de transporte, que es el encargado de transferir cualquier información de telecomunicaciones de uno a otro u otros puntos. Y el grupo de control, que ejecuta diversos servicios y operaciones auxiliares, y también funciones de mantenimiento.

Para este trabajo, el interés se centra en el estudio de las redes de transporte óptico para el caso del grupo funcional de transporte.

La función principal de las redes de transporte es transferir información de usuarios desde una ubicación a otra de forma unidireccional o bidireccional.

Según la recomendación de la ITU-T G872 "ARQUITECTURA DE LAS REDES DE TRANSPORTE ÓPTICAS", las redes de transporte óptico deben estar dotadas de

funcionalidades que contengan transporte, multiplexación, encaminamiento, supervisión y capacidad de supervivencia, pero la tecnología óptica actual tiene limitaciones en lo que respecta a supervisión y evaluación de la calidad de funcionamiento. Para superar estas limitaciones se acude al procesamiento digital [60], [61].

2.1. Tecnologías ópticas

A continuación se harán mención de algunas tecnologías ópticas existentes y sus características más representativas.

2.1.1. Fibras ópticas

La fibra óptica es una guía delgada como tecnología de soporte para las tecnologías que se va a emplear, de un material flexible, compuesto de vidrio u otro material transparente con un índice de refracción alto, con la capacidad de guiar y transmitir luz con muy pocas pérdidas. Está conformada por dos cilindros concéntricos, en el interior se encuentra el núcleo y en el exterior se encuentra el revestimiento o cubierta.

La fibra óptica tiene como ventajas la baja atenuación, gran ancho de banda, tamaño y peso reducido, flexibilidad, disponibilidad de materiales para su fabricación, aislamiento eléctrico entre terminales, ausencia de radiación emitida, inmunidad al ruido eléctrico y en la actualidad su costo se está reduciendo.

2.1.2. SDH/SONET

SDH son las siglas en inglés de Jerarquía Digital Síncrona (Synchronous Digital Hierarchy), SDH es un estándar definido por el sector de estandarización la ITU-T para su uso en todo el mundo y compatible en parte con SONET. SONET (Synchronous optical network) es un estándar concebido por Bellcore y regulado por la ANSI (American National Standardization Institute). Aunque SONET y SDH fueron concebidos originalmente para la transmisión por fibra óptica, existen sistemas radio a tasas compatibles con SONET y SDH. Estas tecnologías son en la actualidad las dominantes en la capa física de transporte de las redes de fibra óptica. El objeto principal de estas tecnologías es el transportar y gestionar gran cantidad y diferentes tipos de tráfico sobre la infraestructura [57].

Estándares ITU-T para SDH

Recomendación UIT-T G.702, Recomendación UIT-T G.703, Recomendación UIT-T G.707, Recomendación UIT-T G.709, Recomendación UIT-T G.781, Recomendación UIT-T G.782, Recomendación UIT-T G.783, Recomendación UIT-T G.803

Estándares ANSI para SONET

ANSI T1.105: SONET, ANSI T1.105.01: SONET, ANSI T1.105.02: SONET, ANSI T1.105.03: SONET, ANSI T1.105.04: SONET, ANSI T1.105.05: SONET, ANSI T1.105.06: SONET, ANSI T1.105.07: SONET, ANSI T1.105.09: SONET, ANSI T1.119: SONET.

Tanto SDH como SONET son un protocolo de transporte y se encuentran ubicados en los niveles 1 y 2 del modelo OSI, basado en la existencia de una referencia temporal común (reloj primario), que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía. Con este mecanismo permiten el transporte de diferentes tipos de tráfico, como voz, video, multimedia y paquetes de datos, mediante la gestión del ancho de banda de la infraestructura de fibra óptica, la capacidad de portar diferentes tipos de tráfico, detectar fallos y recuperar de ellos la transmisión de forma transparente [50], [49].

Las principales características que se encuentran en cualquier sistema de red de transporte SDH o SONET implementadas hasta el día de hoy son:

- Multiplexación digital, que permite que las señales de comunicaciones analógicas sean portadas en formato digital sobre la red.
- Fibra óptica, que es el medio físico comúnmente desplegado en las redes de transporte actuales.
- Esquemas de protección, que aseguran la disponibilidad del tráfico, si ocurriera una falla o una rotura de fibra, el tráfico podría ser conmutado a una ruta alternativa, de modo que el usuario final no sufriera interrupción alguna en el servicio.
- Topologías en anillo, Éstas están siendo desplegadas cada vez en mayor número, puesto que si un enlace se perdiera, hay un camino de tráfico alternativo por el otro lado del anillo.
- Gestión de red, La gestión de estas redes desde un único lugar remoto. Se ha desarrollado software que permite gestionar todos los nodos y caminos de tráfico desde un único computador.

- Y por último, Sincronización, Los operadores de red deben proporcionar temporización sincronizada a todos los elementos de la red para asegurarse que la información que pasa de un nodo a otro no se pierda [57], [50], [71], [64], [65], [67], [40], [35].

2.1.2.1. NGN SONET/SDH (Next Generation Network SDH)

La nueva generación de tecnologías SONET/SDH surge debido a la necesidad de acomodar un gran volumen de tráfico de datos, y dado que estas tecnologías ya se encuentra en uso, han aparecido distintas tecnologías con el fin de emplear la red SDH para el transporte de nuevos tipos de tráfico de datos.

Esto se logra debido a que esta tecnología ha implementado dos técnicas dadas por la UIT para el manejo de datos. Estas son la Concatenación virtual (VCAT), que constituye capacidad de transporte mediante la concatenación de varios VC de menor capacidad que pueden ser enrutados por caminos distintos. Y Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS): Gestión dinámica del ancho de banda de un VC. La concatenación virtual se da en la recomendación UIT-T G707 y la gestión dinámica del ancho de banda se especifican en las recomendaciones de la UIT-T G.7042 y extensiones de G.707 y G.783 [34], [64], [68], [65], [63].

Ventajas

NG SDH/SONET suple algunas de las necesidades que presentaba la forma tradicional de esta tecnología. No se puede decir que se trata de algo completamente diferente, está concebido para tiempo real y un gran ancho de banda. Entre las ventajas que trae consigo cabe destacar:

- Extiende de las redes SDH/SONET aprovechando la capa de red existente 1 e incluyendo tecnologías como VC (virtual concatenation), GFP (Generic framing procedure), LCAS (link capacity adjustment Scheme) [133].
- La Concatenación virtual (VCAT), la cual es una técnica de multiplexación inversa que permite el incremento del ancho de banda en VC-n (contenedores virtuales). [89], [65]. Un incremento de ancho de banda es muy conveniente, cuando se está hablando de aplicaciones Grid, esto se debe a los altos requerimientos que tienen dichas aplicaciones de BW.
- Con el mecanismo de transporte síncrono, cada servicio puede tener retardo predecible y bajo jitter [90]. En la QoS de las aplicaciones Grid estos son factores importantes, de modo que al tener un bajo jitter y un retardo predecible se pueden evitar pérdida de paquetes y degradación de la información.

- El GFP es una técnica de encapsulamiento, ayuda mediante la estructura del frame a la detección y corrección de errores y a proveer una mejor eficiencia del ancho de banda que los procedimientos de encapsulamiento tradicionales [133].
- Se realiza un ajuste del esquema del enlace mediante la adición y remoción dinámica de los miembros VCG (Virtual Concatenation Group) con la ayuda del protocolo LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme). Se aumenta o disminuye el ancho de banda de los contenedores de concatenación virtual con el objeto de cumplir con los requisitos de ancho de banda de la aplicación [65]. Dado a que las aplicaciones Grid son diversas y por lo tanto su ancho de banda es variable dependiendo de cuál sea el tipo de aplicación, entonces la variación en el ancho de banda de los contenedores virtuales sirve en el aprovechamiento de los recursos.
- Permite a los operadores de red introducir nuevas tecnologías dentro de las tradicionales redes SONET/SDH reemplazando solo el elemento de borde. Lo cual trae como ventaja que paquetes TDM y paquetes orientados a servicios puedan ser manejados eficientemente en la misma longitud de onda, que implica mejorar el manejo del ancho de banda y una mejor granularidad además del mantenimiento de las funciones críticas de las tradicionales redes TDM [133].

2.1.2.2. Desventajas y Ventajas de SDH/SONET

Desventajas:

- Presenta algunos problemas de jitter, destacando dos situaciones, cuando se cargan tributarios en las estructuras síncronas, este es denominado “mapping jitter” (mapeo de jitter) y también el que se presenta debido a movimientos del puntero denominado “pointer jitter” (puntero de jitter), el cuál además es la principal causa de dificultades. [79], [63], [80]. Para Grid, el jitter en forma excesiva puede causar errores dando como resultados la pérdida de datos, por lo tanto es relevante que el jitter no exceda ciertos límites en especial en aplicaciones en las cuales se ofrece servicio en tiempo real.
- Respecto al formato de información, la tara (overhead que contiene información como multicanalización, monitoreo de desempeño, estado de la red, rastreo y demás funciones de administración y mantenimiento) es muy grande, y aumenta en caso de que la velocidad también lo haga. Esto puede llevar a una pérdida de eficiencia. [81], [82], [83]. Esta pérdida de eficiencia se puede ver reflejada en cuanto al uso del ancho de banda disponible debido al crecimiento del tamaño al multiplexar.

- Proporciona circuitos punto a punto entre los nodos del anillo. A cada circuito se le asigna una cantidad fija de ancho de banda que es empleada por la conexión, aun cuando no se está usando. Cada asignación fija pone un límite máximo en la ráfaga de la tasa de transferencia de datos de tráfico entre los puntos finales, es una desventaja para el tráfico de datos que es inherente a las ráfagas, dada la limitación que tiene. [84] Debido a los altos requerimientos de ancho de banda por parte de Grid es necesario que se cuente con un mecanismos de dinamismo del ancho de banda. Así, el ancho de banda de una conexión punto a punto podría ser empleado en varias aplicaciones.
- Las redes SDH/SONET están optimizadas para multiplexar señales del orden de 1.5Mbps, 45Mbps, 155 Mbps en el estándar americano y desde 2 Mbps, 34 Mbps, 155 Mbps en el estándar europeo. El problema que causa esta característica es que los nuevos servicios muchas veces no se ajustan, pues las señales y los datos no concuerdan con las tasas establecidas. [85]. Entonces puede darse el caso de que se esté desperdiciando ancho de banda o que se deban utilizar técnicas de compresión o de fragmentación de paquetes lo que puede ocasionar retardos [117].
- SDH/SONET que es diseñada para el transporte de voz resulta menos barata que la utilización de Ethernet que es una tecnología diseñada para datos, dado que SDH/SONET contiene varias funciones para tráfico que converge a IP, lo que hace más cara la conmutación. Además de resultar un poco más compleja y menos flexible en lo que se relaciona con la implementación de nuevos servicios [131], [132].

Ventajas:

- SDH es una tecnología muy extendida a lo largo del planeta con inversiones de capital substanciales, lo que hace que en muchos países sea la tecnología de transporte más utilizada y en muchos casos la única disponible. [129], [130].
- Puede ser usado para el transporte de tráfico de larga distancia, a nivel local y para transportar tráfico de video. [47]. En el caso Grid, uno de los principios es que los emplazamientos y usuarios pueden estar ubicados a grandes distancia, lo que hace que esta característica sea muy útil.
- SONET/SDH tiene la capacidad de monitorizar todas las señales digitales que llegan a los nodos de la red. Esto ayuda a bloquear y detectar posibles fallas en la red. Además de que brinda un ancho de banda adicional para el transporte de señales de alarma con el objetivo de arreglar el problema [86]. En las redes Grid que cuentan con gran cantidad de tráfico, es importante evitar que se presenten fallas y con ello pérdida de la información. Además que con una

buena gestión de fallas se pueden disminuir los costos a de mantenimiento de la red.

- SONET está basado en el principio de la multiplexación síncrona directa (es cuando las señales tributarias se pueden combinar directamente sin que haya etapas de multiplexación intermedia). Lo que implica que haya un ahorro en los costos y en el uso de los equipos, logrando que la red sea mucho más flexible. [47], [87]
- SDH/SONET No solo tiene la capacidad de agregación de varias velocidades, sino además capacidades de QoS, tales como el monitoreo de los elementos de red extremo a extremo, haciendo además la gestión para el tratamiento de fallas presentadas en los enlaces o en los nodos de la red. Es de vital importancia para Grid, que se presente este tipo de ventajas dentro de la red de transporte, porque al implementar ésta diferentes tipos de funcionalidades, requiere que se den diferentes calidades, y también requiere una gestión de lo que se envía a través de la red. [87].
- Las fallas son tratadas mediante la duplicación de circuitos, de cable y si se maneja un alto tráfico se hace duplicando el enlace al igual que los nodos; El enlace que tiene el problema es conducido por medio de el mecanismo de reserva, lo cual debe efectuarse en menos de 50ms (respuesta APS). De esta forma se garantiza que no se va a impedir que la información llegue a su destino. [88], [87]. Puesto que en Grid es muy importante tener una disponibilidad que este dentro de los rangos permitidos, la protección del sistema mediante duplicación de canales y circuitos es un método para garantizarlo.

2.1.3. Tecnologías de multiplexación óptica

En la actualidad, existen varias técnicas de multiplexación que se emplean en el dominio óptico, estas son multiplexación por división de tiempo TDM (Time División Multiplexing), multiplexación por división de espacio SDM (Space División Multiplexing), multiplexación por división de longitud de onda WDM (Wavelength División Multiplexing) y multiplexación por sub-portadora SCM (Sub-Carrier Multiplexing); de las cuales se van a tomar en cuenta por su mayor utilización y mayores prestaciones, WDM y una variación de TDM, que es OTDM (Optical Time División Multiplexing).

2.1.3.1. WDM

WDM (Wavelength Division Multiplexing) es una técnica de multiplexación por longitud de onda, donde se multiplexan varias señales sobre una sola fibra óptica

mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda. Hoy en día, WDM es una de las tecnologías favoritas, debido a las ventajas que ofrece en el uso del ancho de banda. WDM tiene como principal característica, permitir el envío simultáneo de diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra. WDM, reúne las diferentes longitudes de onda para formar la señal que se va a transmitir. En WDM se distinguen típicamente cuatro familias, DWDM de ultra larga distancia, DWDM de larga distancia, DWDM metropolitano y CWDM. La diferencia entre las cuatro es principalmente en los dispositivos ópticos que se emplean, siendo los costosos y complejos los que soportan mayor distancia de transmisión y los que soportan mayor capacidad por canal. La figura 1 muestra los principios básicos de WDM.

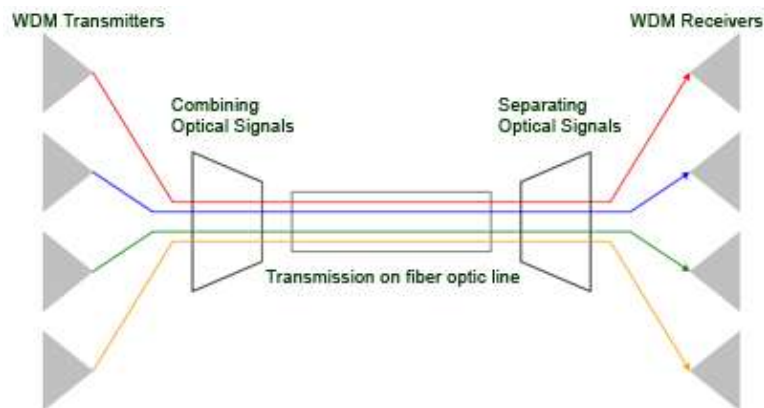


Figura 1/cap2. Funcionamiento básico de WDM (Figura tomada de: STEAL COMMUNICATIONS, <http://www.stealth.net/service/wave>)

En la figura se muestra cuatro fibras que llegan a un multiplexor óptico, cada fibra lleva consigo una longitud de onda distinta. Los cuatro haces se combinan en una sola fibra óptica compartida para el transporte la información. En el otro extremo existe un de multiplexor óptico, el cual separa la combinación de longitudes de onda y se divide en tantas fibras como las que han entrado, enviando por cada fibra una señal que corresponde a las que estaban en un principio [36], [51], [54], [66], [72], [53].

2.1.3.1.1. DWDM

Es común escuchar hablar dentro de esta tecnología el termino convencional de DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Se trata de la multiplexación Densa por División de Longitud de onda, que no tiene ninguna región de operación o condición de implementación adicional a WDM, pero que obedece a la designación de la UIT.

Existen 3 clases de DWDM, como se dijo anteriormente: DWDM de larga, DWDM de ultra larga distancia y DWDM metropolitano. DWDM de larga y DWDM de ultra larga distancia, cuentan con un espaciamiento de frecuencias de 50-100GHz (0,4-0,8nm), para los dos casos tienen un ancho de banda de hasta 40 Gbps y se utilizan hasta 160 longitudes de onda. Para DWDM de larga distancia, se tiene un alcance de 800 km y para DWDM de ultra larga distancia se alcanza hasta 4000 km. En DWDM metropolitano, se tiene un espaciamiento entre frecuencias de 100-200GHz (0,8-1,6nm), se emplean hasta 40 longitudes de onda, se tiene una capacidad en ancho de banda de 10Gbps y se tiene un alcance de hasta 300km [36], [51] [54].

2.1.3.1.2. CWDM (Coarse WDM)

CWDM, es una tecnología cuya característica más atractiva es el bajo costo de los dispositivos ópticos asociados. Es una tecnología que en comparación a DWDM, es menos compleja y limitada en cuanto a capacidad y distancia, pero es de fácil adaptación a las necesidades de empresas y aéreas metropolitanas de corta distancia.

Los sistemas CWDM fueron estandarizadas por la ITU-T en la recomendación ITU-T G.694.2, se basan en una rejilla o separación de longitudes de onda de 2.500 GHz o 20 nm en el rango de 1.270 a 1.610nm logrando así transportar hasta 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo con un ancho de banda máximo de 2.5Gbps y un alcance máximo de 80km. [36], [54].

Dentro de los esquemas de multiplexación óptica, se encuentran OBS (Optical Burst Switching, conmutación óptica por ráfagas) y OPS (optical packet switching, conmutación óptica por paquetes), que son dos tipos de conmutación en el dominio enteramente fotónico.

2.1.3.1.3. OBS

La conmutación óptica por ráfagas, combina la conmutación de paquetes con la conmutación de circuitos ópticos. Esta tecnología busca evitar la conversión óptica-eléctrica eléctrica-óptica que se produce en el paso de los datos a través de cada nodo y que como resultado da cuellos de botella en estos lugares. El funcionamiento de OBS consiste en el envío de varios paquetes que tengan un destino en común a través de una ráfaga. Estas ráfagas operan en el nivel de sub-longitud de onda, y está diseñado para establecimiento y liberaciones de las conexiones de manera dinámica y rápida, para asignar de manera eficiente caminos para las ráfagas entrantes [76], [77].

Desventajas y ventajas

Desventajas

- Usa un camino de reservación por el cual las ráfagas de datos son transmitidas en un tiempo de compensación de retardo (offset time), este método causa problemas de bloqueo debido a la contención de recursos, entonces puede ocurrir que cuando haya contención en nodos intermedios algunas ráfagas sean descartadas. [118], [24]. En aplicaciones de Grid estas pérdidas de ráfagas pueden ocasionar problemas en la prestación de los servicios, como por ejemplo en las aplicaciones de tiempo real degradaciones en la calidad de voz o video, o en el procesamiento de datos.

Ventajas

- Gracias a las ráfagas, que pueden ser definidas como un conjunto contiguo de bytes y paquetes, permite compartir recursos de red con una granularidad más fina a través de cualquier escala de tiempo, logrando de este modo una infraestructura de red adaptable que puede soportar todos los tipos de aplicaciones [119], [24]. Siendo así un buen candidato para implementar una infraestructura de red escalable para direccionar las necesidades de los servicios Grid.
- Puede soportar diferentes tipos de usuarios al reservar el ancho de banda solo para la duración de una ráfaga. A causa de que Grid cuenta con servicios interactivos y dinámicos, es importante que el usuario pueda controlar parámetros de la red como ancho de banda, disponibilidad para el servicio, canales de reserva, entre otros. Al reservarse el ancho de banda solo por el tiempo que dura la ráfaga, se está optimizando el uso de los recursos, al no desperdiciarse y pueden ser usados en más aplicaciones. [119].
- Permite ráfagas de longitud ilimitada, desde pocos bytes a cientos de Gigabytes [24]. Lo cual implica que se puede adaptar a cualquier tamaño de paquete, lo que se puede aprovechar para obtener un mejor rendimiento en redes como Grid, pues no habría necesidad de fragmentar los paquetes en caso de que fueran muy grandes.
- Proporciona una solución rentable para brindar servicios Grid, y una latencia razonable para las aplicaciones de Grid. [120], [121].
- Puede soportar múltiples servicios de tráfico, ofreciendo alta granularidad y alta eficiencia espectral, además de proveer convergencia de tecnologías ópticas y electrónicas [19]. Características que me sirven para garantizar un buen aprovechamiento de la banda y para soportar diversos servicios.

- No requiere reservación de recursos, dado que no impone ningún estricto requerimiento de simetría en las dos direcciones de transmisión [19]. Brinda entonces flexibilidad y puede ayudar a evitar desperdicios de ancho de banda.
- Presenta menores restricciones técnicas que OPS [78]. Lo cual la hace una mejor solución para las aplicaciones Grid.

2.1.3.1.4. OPS

La tecnología de conmutación óptica por paquetes, los datos se transmiten en forma de paquetes ópticos, que al igual que OBS, son transportados sin conversión eléctrica en los nodos intermedios. OPS puede proporcionar asignación dinámica de ancho de banda paquete por paquete, lo que conduce a un alto grado de multiplexación estadística que permite a la red para lograr un mayor grado de utilización. Sin embargo, hay muchos desafíos técnicos para la aplicación de un sistema práctico de la OPS [78].

Desventajas y ventajas

Desventajas

- la contención que se presenta a causa de que más de un paquete está destinado a salir por el mismo puerto de salida al mismo tiempo, esto es denominado bloqueo externo (se presenta en los conmutadores de paquetes ópticos). Una de las soluciones para este problema es el almacenamiento en buffer (problemas con el buffer óptico) [122], [123]. Lo que puede llevar a una pérdida de datos, que es un aspecto que hay que evitar en las redes Grid.
- Los paquetes son de tamaño fijo, debido a los requerimientos de sincronización de los conmutadores de paquetes ópticos [122]. Lo cual traería algunos problemas si se consideran paquetes de diferentes longitudes, que tendrían que ser segmentados al ser más grandes.
- Los requerimientos que tiene de rápido procesamiento de cabecera y estricta sincronización hacen que OPS tenga una implementación compleja y por lo tanto poco práctica para su aplicación en la tecnología actual [78].

Ventajas

- Puede brindar asignación dinámica de ancho de banda de un paquete por cada paquete base, lo cual permite un alto grado de asignación estadística, es decir que permite a la red lograr un mayor grado de utilización cuando el tráfico es variable [78]. Grid maneja un gran volumen de tráfico, que puede resultar variable dependiendo de la aplicación, de modo que esta es una

característica muy favorable cuando de aprovechar los recursos de la red se trata.

- Presenta menor retardo punto a punto y menores pérdidas por contención que OBS, debido a la agregación de paquetes [78].

2.1.3.1.5. Desventajas y ventajas de WDM

Desventajas:

- WDM es sensible a las variaciones de amplitud y a las reflexiones de la señal, por lo cual los requisitos en cuanto a los conectores se refiere deben ser estrictos para impedir este tipo de problemas, por ello requiere equipos terminales separados para cada canal, incluidos un laser y un receptor [91]. Para Grid, como para otro tipo de redes, la complejidad y mantenimiento que conllevan este tipo de equipos puede acarrear altos costos (CAPEX- Capital Expenditure, OPEX- Operational Expenditure) [125], [126].
- La colisión de los pulsos de canales vecinos conlleva a que se produzca una modulación de fase cruzada; Esta es inducida por el jitter y el pulso de distorsión. Como consecuencia de esto la transmisión a distancia no estará libre de errores. Para algunas aplicaciones de Grid, el no tener una transmisión libre de errores, puede implicar graves fallas para las aplicaciones, por ejemplo en la transmisión en tiempo real de video para una aplicación medica, errores en la transmisión podría acarrear graves consecuencias [92], [93].
- Una de las desventajas que tiene WDM es el efecto conocido con el nombre de FWM (Four Wave Mixing), que se produce en el momento en que la luz de dos o más longitudes de onda viajan al mismo tiempo y trae como consecuencia la interferencia con las demás señales, tasa de error binario, atenuación en la potencia de los canales y efectos de diafonía [94], [95]. Lo que puede causar FWM en las aplicaciones Grid es degradación en la señal [24].
- Aunque ayuda a solucionar el problema conocido como cuello de botella electrónico, se presenta una dificultad a la hora de realizar la conmutación de la información que contienen los diferentes canales de longitud de onda sin procesarla electrónicamente de forma transparente [134].
- El enrutamiento en WDM solo se realiza en el nodo de destino. Esto puede ser provechoso o no. Convendría si los flujos de tráfico son iguales a la capacidad del canal óptico, en el caso de sean más pequeños no sería tan conveniente, esto debido a que los nodos intermedios actúan como simples conmutadores [136].

Ventajas:

- Para solucionar los errores que genera el jitter en los datos, WDM tiene una etapa donde se vuelve a modular, empleando un reloj de recuperación y regeneración de la etapa. Este ayuda para disminuir el jitter de la señal entrante. Esta etapa de corrección de errores de WDM, brinda a Grid la entrega de datos con muy pocos o sin errores [96].
- La capacidad de transmisión puede incrementarse de forma modular agregando longitudes de onda adicionales que van aumentando la capacidad necesaria. Según experimentos realizados ya se ha obtenido con WDM una capacidad de 10.24 Tb/s para una distancia de 100 Km para 276 canales y 3.73 Tb/s a una distancia de 11.000 Km.
Además del crecimiento, empezando por una conexión punto a punto hasta la expansión a nodos adicionales donde sea necesario el ancho de banda. [93], [97]. Debido a su naturaleza, Grid debe ser escalable y permitir el ingreso de nuevos usuarios. Esta característica de WDM, ayuda a Grid en cuanto a escalabilidad y crecimiento de la red.
- Los sistemas WDM pueden diseñarse como sistemas transparentes, ya que soportan diferentes rangos de protocolos de transparencia los cuales no necesitan protocolos de conversión, esto permite llevar las diferentes longitudes de onda a diferentes tasas de bit y a diferentes formatos de protocolo, además de ser una buena forma para el almacenamiento de tráfico de redes [98]. Los servicios de Grid, son muy diversos, y debido a esto, que el transporte de los datos sea transparente, es una gran ventaja para la flexibilidad en la transferencia de datos y en la disminución de la posible latencia [120].
- WDM ha ayudado a satisfacer algunas de las necesidades que se presentan en redes MAN, debido a la demanda de ancho de banda que las nuevas aplicaciones conllevan, esto principalmente en las redes SAN y en la migración de SONET[99]. Debido a que algunas de las tareas de Grid, se basan en transferencias de altas tasas tráfico, es de gran importancia que la red tenga la capacidad suficiente para el transporte de tráfico con estas características.
- Ayuda a compensar la limitación conocida como cuello de botella electrónico que ocurre cuando hay un canal de un gran ancho de banda, mientras que la conmutación en los nodos solo permite unos pocos gigabits por segundo. Esto lo logra mediante la división del ancho de banda en canales de transmisión de menor capacidad [134]. Es importante considerando que se espera que para una red Grid los canales puedan tener un elevado ancho de banda y así soportar los servicios se ofrecen.

2.1.3.2. OTDM

OTDM (optical time división multiplexing), es una tecnología basada en el estándar TDM (time división multiplexing), multiplexación por división de tiempo, el cual a cada canal de transmisión de datos se le asigna una fracción de tiempo dentro del medio de transporte de la información. OTDM nace para incrementar las capacidades de los sistemas TDM, alcanzando velocidades hasta de 1Tb/s, lo cual lo logra intercalando datos de distintos canales, formando una cadena de datos de mayor velocidad [39], [41].

Debido a que esta tecnología está actualmente en regulación, no se va a tener en cuenta para el análisis de ventajas y desventajas.

2.1.4. Ethernet (Optical Ethernet)

Ethernet ha sido la tecnología LAN de mayor éxito, en gran medida, debido a la simplicidad de su implementación, cuando se la compara con otras tecnologías. Ethernet también ha tenido éxito porque es una tecnología flexible que ha evolucionado para satisfacer las cambiantes necesidades y capacidades de los medios.

Las modificaciones a Ethernet han resultado en significativos adelantos, desde la tecnología a 10 Mbps usada a principios de principios de los 80. El estándar de Ethernet de 10 Mbps no sufrió casi ningún cambio hasta 1995 cuando el IEEE anunció un estándar para Fast Ethernet de 100 Mbps. En los últimos años, un crecimiento aún más rápido en la velocidad de los medios ha generado la transición de Fast Ethernet (Ethernet Rápida) a Gigabit Ethernet (Ethernet de 1 Gigabit). En la actualidad, una versión de Ethernet aún más rápida, Ethernet de 10 Gigabits (10 Gigabit Ethernet), se halla fácilmente en el mercado e inclusive, versiones más rápidas están en desarrollo.

2.1.4.1. Gigabit Ethernet

También conocida como **GigE**, es una ampliación del estándar Ethernet de la IEEE 802.3ab y 802.3z que consigue una capacidad de transmisión de 1 Gigabit por segundo, correspondientes a unos 1000 Megabits por segundo de rendimiento.

El principal atractivo de Gigabit Ethernet reside, precisamente, en basarse en una tecnología tan convencional como Ethernet.

Gigabit Ethernet representa la transmisión a través de medios ópticos y de cobre. El estándar para 1000BASE-X, IEEE 802.3z, especifica una conexión full duplex de 1 Gbps en fibra óptica. El estándar para 1000BASE-T, IEEE 802.3ab, especifica el uso de cable de cobre balanceado de Categoría 5, o mejor.

Las 1000BASE-TX, 1000BASE-SX y 1000BASE-LX utilizan los mismos parámetros de temporización, usan un tiempo de bit de 1 nanosegundo. La trama de Gigabit Ethernet presenta el mismo formato que se utiliza en Ethernet de 10 y 100-Mbps. Según su implementación, Gigabit Ethernet puede hacer uso de distintos procesos para convertir las tramas a bits en el cable.

Las diferencias entre Ethernet estándar, Fast Ethernet y Gigabit Ethernet se encuentran en la capa física. Debido a las mayores velocidades de estos estándares recientes, la menor duración de los tiempos de bit requiere una consideración especial. Como los bits ingresan al medio por menor tiempo y con mayor frecuencia, es fundamental la temporización.

2.1.4.2. 10, 40, 100-Gigabit Ethernet

10-Gigabit Ethernet (10GbE) es el más reciente y más rápido de los estándares Ethernet. IEEE 802.3ae define una versión de Ethernet con una velocidad nominal de 10 Gbit/s, diez veces más rápido que Gigabit Ethernet.

El estándar 10-gigabit Ethernet contiene siete tipos de medios para LAN, MAN y WAN. Ha sido especificado en el estándar suplementario IEEE 802.3ae, y será incluido en una futura revisión del estándar IEEE 802.3.

Con un formato de trama y otras especificaciones compatibles con estándares anteriores, 10GbE puede proporcionar mayores prestaciones a necesidades de ancho de banda que son interoperables con la infraestructura de red existente.

40 y 100-Gigabit Ethernet, en la actualidad son tecnologías que se encuentran en desarrollo por la IEEE, estas tecnologías pretenden la interoperabilidad de las redes Ethernet, dentro del esquema de una red de alta capacidad y gran ancho de banda para soportar los múltiples servicios de hoy en día como video stream o voz sobre IP. Estas tecnologías se están desarrollando bajo el estándar IEEE 803.3ba. [32], [38], [48], [52].

2.1.4.3. Carrier Ethernet

Carrier Ethernet, también conocido como Ethernet de Área Metropolitana, se define por ser los mecanismos de transporte Ethernet de alta velocidad para

redes metropolitanas, sin embargo, esta tecnología no se enmarca solo dentro de este campo de aplicaciones, sino que también tiene prestaciones hasta el usuario final. La tecnología Carrier Ethernet ofrece tres atributos que la hacen bastante atractiva como solución de una infraestructura óptica. La primera característica es el bajo costo, la segunda se refiere a la robustez y la tercera característica está dada por la facilidad de gestión que posee la tecnología [74], [75].

Ventajas

- Es idóneo cuando se trabaja con aplicaciones críticas, debido a su alto rendimiento y a que presenta una baja latencia, además de brindar un servicio consistente. Grid presenta varias aplicaciones que podrían considerarse como críticas debido a los recursos que necesitan. [124].
- Es flexible, escalable y menos costosa. Gracias a su flexibilidad puede ofrecer una selección altamente granular de ancho de banda, además de interfaces de los estándares fast Ethernet y Gigabit Ethernet (como la tasa de datos). [124], [75].
- Por medio de etiquetas en los frames Ethernet de los clientes, carrier Ethernet puede permitir a diferentes usuarios emplear la misma infraestructura Ethernet sin correr riesgos de seguridad [75]. Siendo un aspecto beneficioso en términos económicos.
- Carrier Ethernet Puede brindar CoS (Clase de servicio) mediante un campo en el paquete de control, que sirve para indicar la prioridad de un frame y por ende de la clase de servicio. [75]. Lo cual permite dar prioridades de entrega del tráfico.
- Requiere 50 ms o menos de tiempo de recuperación, cuando algún problema ocurre, además de detección y recuperación de errores sin afectar a los usuarios, características por las cuales se puede catalogar como fiable [74], [127]. Beneficioso para cualquier tipo de aplicaciones, sobre todo cuando se trata de aplicaciones en tiempo real.

2.1.4.4. Desventajas y ventajas de Ethernet

Desventajas

- Los mecanismos de seguridad con los que cuenta no son suficientes en una red WAN, puesto que Ethernet está pensada para redes LAN en las cuales no se maneja un número tan grande de usuarios. Esto es una gran falencia que puede afectar a la Grid, debido a que uno de los principales requerimientos de esta es la seguridad, con tareas como autenticación, acceso y control en los usuarios y empleo de políticas para el empleo de los datos [102]. Sin embargo

una alternativa que ha sido usada para solucionar este problema es carrier Ethernet [137].

- En principio Ethernet fue orientado hacia el tráfico de datos, por lo cual trabaja mejor cuando se trata de este tipo de tráfico que cuando trata del tráfico de voz y video en tiempo real. [103]. Para Grid, diferentes servicios se deben presentar en tiempo real, lo cual implica poca calidad de estos al ser prestados por Ethernet.
- La conmutación de paquetes produce retardos variables, además no se pueden entregar tasas de bit específicas o limitar el jitter, lo que ocasiona que no se pueda ofrecer una buena QoS [104]. Algunos de los servicios de Grid, no son tolerables a retardos y requieren QoS, lo cual sería un gran impedimento para la eficiencia de la Grid, al no poder brindar los requerimientos deseados.
- Puesto que los mecanismos de operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento (OAM&P) fueron diseñados en ethernet para el manejo de redes pequeñas, no son suficientes para el manejo de una red WAN, donde hay que tener en cuenta factores tales como la distribución geográfica, el direccionamiento para que la red funcione de forma eficiente [102]. En Grid, donde muchos de los servicios están diseñados para compartir recursos desde sitios dispersos geográficamente, los cuales serian afectados con este tipo de falencias.

Ventajas

- Es una tecnología económica de implementar no solo en cuanto a equipos se refiere, sino además en el mantenimiento debido a la simplicidad en el diseño, debido a los estándares gracias a los cuales es tan fácil implementar el protocolo Ethernet en cualquier tipo de topología de red ya lo largo de todo el camino de la portadora de red hasta el suscriptor [106].
- Debido a que continuamente ha aumentado su capacidad de manejar un mayor número de grandes topologías de red (teniendo en cuenta su limitante para las redes WAN), además de su incremento en el ancho de banda, es correcto decir que una de sus cualidades corresponde a la escalabilidad, además de evitar los cuellos de botella. (para el caso de Gigabit Ethernet), [107], [106]. Grid, tiene como uno de sus requisitos ser escalable, cosa que con la flexibilidad de Ethernet se puede lograr de manera fácil. Por otro lado, Grid, en algunas de sus aplicaciones, puede manejar altas cargas de tráfico, lo que podría ocasionar cuellos de botella, pero debido a la capacidad de Ethernet, estos se pueden evitar.

- Puesto que Ethernet presenta un buen rango de ancho de banda (Gigabit ethernet) (1 Gbps - 10 Gbps), ha sido frecuentemente usada por las redes LAN, pudiendo soportar las demandas de ancho de banda sin problemas. [102] [107]. Como ya se ha venido diciendo, las Grid, pueden presentar requerimientos de alto ancho de banda, cosa que es suplida por Ethernet.
- Se puede usar optical Ethernet para extender Gigabit Ethernet a redes MAN y WAN, además de que puede ser usado como proveedor de servicios y no tener las limitaciones de distancia [105]. Grid, comparte recursos en entornos que pueden estar ubicados geográficamente dispersos, al ser Ethernet una tecnología que cada vez no depende de la distancia para su establecimiento, se convierte en una buena solución para las redes Grid.
- Para 10Gigabit Ethernet los protocolos de detección de colisiones son innecesarios debido a que se cuenta con un canal half-duplex [108]. Un canal half dúplex no solo ayuda a que no se presenten colisiones si no por ende a que se disminuyan las pérdidas de paquetes, lo cual representa una ventaja para Grid.

2.1.5. ATM

ATM es el modo de transferencia asincrónico (Asynchronous Transfer Mode), que es una tecnología que mediante el empleo de hardwares, software y medios de conexión permite comunicaciones de un gran ancho de banda, gran eficacia y criterios de calidad de servicio. En ATM, se utiliza el concepto de celdas pequeñas de longitud fija para estructurar y empaquetar los datos para las transferencias. Al utilizar celdas, ATM asegura que las conexiones pueden negociarse y administrarse sin que ninguno de los tipos de datos o conexiones puedan apropiarse en exclusiva de la trayectoria de transferencia. El diseño de los dispositivos que se comunican de forma asincrónica no está relacionado con su capacidad para enviar y recibir información a una determinada velocidad de transmisión. En su lugar, el emisor y el receptor negocian la velocidad a la que se comunicarán, de acuerdo con las limitaciones físicas del hardware y la capacidad de mantener un flujo fiable de información a través de la red. ATM es estandarizado por tres grupos diferentes. ATM forum, el IETF y la UIT-T. ATM forum es un grupo internacional sin ánimo de lucro formado por fabricantes de hardware ATM, programadores de software de redes y proveedores de servicios de red, dividido en grupos de trabajo que desarrollan y revisan las especificaciones para ATM (en la actualidad la pagina web de ATM fórum ha sido reemplazado con IPMPLS forum). Dentro del IETF, el grupo de trabajo IP sobre ATM del IETF ha desarrollado estándares para el tráfico IP en redes ATM. La UIT-

T ha desarrollado B-ISDN y SONET para servicios de transporte de banda ancha [33], [42], [44].

Desventajas y Ventajas de ATM

Desventajas

- El formato de una celda ATM es muy simple, cada celda consta de 53 bytes, donde existen 5 bytes de cabecera y 48 bytes para información del usuario (payload). Las celdas son transmitidas serial mente y se propagan en estricta secuencia numérica a través de la red. La simplicidad de esta tecnología, puede presentar inconvenientes dentro de la gestión y control que se debe tener con la Grid. El campo GFC (Control de Flujo Genérico, Generic Flow Control, 4 bits), el estándar originariamente reservó este campo para labores de gestión de tráfico, pero en la práctica no es utilizado, en ocasiones se emplea para extender el campo VPI a 12 bits. La QoS se realiza mediante la activación de un bit, que simplemente le da prioridad a la celda, pero no brinda las suficientes opciones que se puedan requerir en Grid. También el tamaño no flexible del espacio de payload (48 bytes) donde se encuentra la información, hace que esta deba ser empaquetada en las celdas fijas, lo que puede afectar la transparencia de la información al tener que ser manipulada para que adaptarse al tamaño de la celda.
- La tercera capa, ATM adaptation layer (AAL), es la capa más alta del protocolo ATM, esta es la encargada de separar los protocolos de las capas superiores y la capa ATM. La principal función de la capa de adaptación es la de arreglar los datos de los usuarios para que sea empaquetada dentro de las celdas en los 48 bytes de carga útil. La AAL juega un rol clave en el manejo de múltiples tipos de tráfico para usar la red ATM, y es dependiente del servicio. Su trabajo es adaptar los servicios dados por la capa ATM a aquellos servicios que son requeridos por las capas más altas, es decir, su propósito principal es resolver cualquier disparidad entre un servicio requerido por el usuario y atender los servicios disponibles del ATM layer. La dependencia del tipo de servicio, con el tráfico enviado por la red, hace que para Grid, no se brinde la suficiente transparencia para el transporte de la información. A pesar de que la capa AAL, con sus diferentes variantes, ofrece muchas adaptaciones para distintos protocolos de transporte, la capa de adaptación, implica una manipulación información, debido a que requiere que se adapte esta a la celda de ATM, lo que involucra que si se requiere manejar aplicaciones de extremo a extremo, pueda afectar su contenido.

- Los comités de estándares han definido dos tipos de cabeceras ATM, la cabecera UNI, User-to-Network Interface, que es un modo nativo de interfaz ATM, el cual define la interfaz entre el equipo del cliente; y La NNI, Network to Network Interface, que define la interface entre los nodos de la redes o entre redes. Esto implica que el trafico debe ser procesado cada vez que se pase de la interfaz de usuario a la interfaz de red [42], [44]. Para Grid, la seguridad se debe manejar de extremo a extremo, para evitar que intermediarios puedan tener manipulación de la información, por tanto el procesado de la información cada vez que se atravesase una interfaz, podría perjudicar la seguridad en Grid.
- Es una tecnología que actualmente está terminando su ciclo de vida, aunque aún es empleada debido a que varias infraestructuras de red a nivel mundial son ATM [128].

Ventajas

- La capa física (Physical Layer), define las interfaces físicas con los medios de transmisión y el protocolo de trama, donde ATM es independiente del transporte físico. Al ser los paquetes ATM independientes de la tecnología de transporte, logran que Grid tenga transparencia respecto al medio por el cual se va a enviar la información.
- Las celdas ATM pueden ser transportadas en redes SONET (Synchronous Optical Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), T3/E3, TI/EI o aún en modems de 9600 bps. Para Grid, tener versatilidad dentro de las tecnologías y las velocidades de transporte es una característica que permitiría el empleo de una sola tecnología de transporte dentro de la red, lo que simplificaría de gran manera el manejo y control de esta.
- La segunda capa, la capa ATM define la estructura de la celda y cómo las celdas fluyen sobre las conexiones lógicas en una red ATM, esta capa es independiente del servicio [42], [44]. Grid tiene diversos servicios, y ATM, logra que se pueda transmitir la información de manera independiente del tipo de tráfico que se halla establecido para ser enviado.

2.1.6. FTTx

Los sistemas FTTx (fiber to the X), son la generalización de los sistemas de fibra óptica pasivos. Los sistemas FTTx, existen diferentes arquitecturas de red para los sistemas de acceso óptico. Los diferentes sistemas son FTTH (*Fiber-To-The-Home*) - La señal óptica llega al interior de la residencia, a través de una fibra exclusiva. FTTB (*Fiber-To-The-Building*) - La señal óptica llega a una sala de equipos ubicada en el edificio de atención, donde se realiza la conversión de la señal óptica a eléctrica. A partir de este punto, la señal se interconecta a la propia

red metálica de telefonía existente a través de un equipo adecuado o a una red propia de cableado estructurado. FTTH (*Fiber-To-The-Apartment*) – a diferencia de la anterior, la señal óptica transmitida por la prestadora de servicios pasa por un splitter óptico ubicado en la sala de equipos del edificio de atención, dividiéndose y transmitiéndose individualmente a cada departamento/oficina.

PON, es la sigla en inglés de redes ópticas pasivas, (*Passive Optical Network*), las cuales tienen como su principal objeto, eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente, incluyendo en lugar de estos, componentes ópticos pasivos (divisores ópticos pasivos) para guiar el tráfico de la red [62], [46], [55].

Las tecnologías PON, tienen su regulación basadas en la recomendación de la ITU-T G.983, ITU-T G.984 y el estándar IEEE 802.3ah

2.1.6.1. BPON

La recomendación ITU-T G.983 describe una red de acceso flexible de fibra óptica que puede soportar los requisitos de ancho de banda de los servicios de banda estrecha y de banda ancha. Describe sistemas con velocidades de línea en sentido descendente de 155,52, 622,08 y 1244,16 Mbit/s, y velocidades nominales de línea en el sentido ascendente de 155,52 y 622,08 Mbit/s. Se describen tanto los sistemas simétricos como los asimétricos. La Recomendación propone los requisitos y especificaciones de capa física para la capa dependiente de los medios físicos, la capa TC y el protocolo de determinación de distancia de una red óptica pasiva de banda ancha basada en ATM-PON (APON) [70].

2.1.6.2. GPON

La recomendación ITU-T G.984 describe una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de ancho de banda de los servicios para empresas y particulares y abarca sistemas con velocidades de línea nominales de 1,2 Gbit/s y 2,4 Gbit/s en sentido descendente (hacia el destino) y de 155 Mbit/s, 622 Mbit/s; 1,2 Gbit/s y 2,4 Gbit/s en sentido ascendente (hacia el origen). Se describen sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits (GPON, *gigabitcapable passive optical network*) simétricos y asimétricos (ascendentes/descendentes). Además, se proponen las características generales de los sistemas GPON basándose en las necesidades de servicio de los operadores. Esta Recomendación tiene por objeto mejorar el sistema descrito en la Rec. UIT-T G.983.1 para lo cual se examina de nuevo el servicio de soporte, las políticas de seguridad, las velocidades de bit nominales, etc. Para garantizar la máxima continuidad de los sistemas y la infraestructura de fibra óptica existentes,

en esta Recomendación se mantienen algunos de los requisitos de la Rec. UIT-T G.983.1. [69].

2.1.6.3. EPON

La Recomendación IEEE 802.3ah introduce el concepto de Ethernet Passive Optical Networks (EPONs, redes ópticas pasivas Ethernet o Ethernet PON), en la que en una topología de red punto multipunto (P2MP) se ejecuta con divisores ópticos pasivos, junto con la fibra óptica. Además, un mecanismo de red de Operaciones, Administración y Mantenimiento (OAM) se incluye para facilitar el funcionamiento de la red y resolución de problemas. Esta recomendación se propone para Ethernet 10GBASE-X, 100GBASE-X, 10GBASE-R, 10GBASE-W, y 10GBASE-X. La principal característica es que transporta tráfico proveniente de una red Ethernet en lugar del clásico tráfico ATM. Se optimiza el tráfico IP, se mejora la seguridad y soporta mayores velocidades de transmisión de datos [45], [46].

2.1.6.4. Desventajas y ventajas de FTTx

Desventajas

- FTTx tanto en su instalación y en mantenimiento es una solución muy costosa, lo cual incrementaría los costos de los usuarios finales, dejando la prestación de este servicio fuera del alcance. Aunque es muy probable que estos costos se reduzcan al convertirse en una tecnología común.
- En el empleo de tecnologías xPON, la capacidad de la fibra no es dedicada, es compartida, por lo tanto el ancho de banda no es dedicado, sino multiplexado en una misma fibra en los puntos de acceso de red de los usuarios. Lo que implica que no se tenga un ancho de banda definido, sino que dependa netamente a los usuarios que estén haciendo uso de la red en un determinado momento, lo que implica que los usuarios de la Grid, no siempre puedan tener toda la capacidad de ancho de banda a su disposición [46].

Ventajas

- FTTx integra los servicios de voz, video y datos a través de un cable de fibra óptica con un gran ancho de banda hasta el hogar o el edificio. Con el incremento de las prestaciones en las tecnologías de último kilómetro, se puede lograr que los usuarios de Grid, tengan un servicio con mayor eficiencia.

- FTTx es superior para la transmisión señales permitiendo una alta tasa de transferencia de datos prácticamente con un ilimitado ancho de banda. Esto abre la puerta a una mejor velocidad de Internet, video streaming, voz sobre IP y otras aplicaciones exigentes que puede presentar Grid.
- Esta tecnología permite deshacer el cuello de botella generado por el cambio de fibra óptica empleado en el Backbone y las líneas de cobre o cable coaxial empleado en el acceso de último kilómetro.
- Los dispositivos xPON, soporta diferentes tecnologías, con EPON, APON, GPON. Además al basarse en líneas pasiva, es una solución bastante económica en comparación a las tecnologías de fibra activas, dándose como una solución muy viable de último kilómetro, que brinda para los usuarios de Grid gran capacidad para el transporte de la información [113], [109], [112], [110], [46].

2.1.7. ASON/GMPLS

ASON (Automatic Switched Optical Network) es un tipo de arquitectura de red definida por la ITU-T en la recomendación G.8080. Esta recomendación define diferentes interfaces que se emplean para el control de la red óptica.

GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) es un estándar del IETF (Internet Engineering Task Force) el cual define diferentes protocolos para enrutamiento, auto descubrimiento de topología y señalización.

Ambos estándares son usados para generar acuerdos de implementación bajo otro organismo llamado OIF (Optical Interworking Forum). [58], [47] la figura 3 muestra la relación entre los tres estamentos.

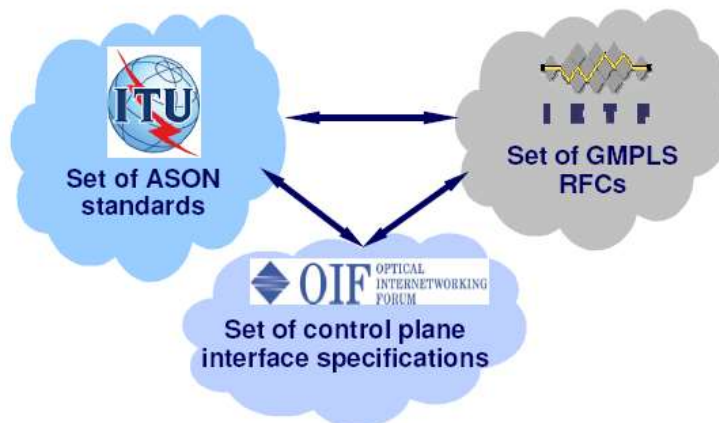


Figura 3/cap 2. Relación entre ASON, GMPLS y OIF (Figura tomada de <http://oiforum.com/public/downloads/060322-ASON-GMPLS InterDomainInterfaces-final.pdf>)

2.1.7.1. ASON

Redes ópticas con conmutación automática ASON. Sus características se definen por las recomendaciones de la UIT-T G.8080, UIT-T G.7713, UIT-T G.7714 y UIT-T G.7715. Esta tecnología se ha venido desarrollando, frente a la demanda de generar una definición completa de redes de transporte que proporcione conmutación automática, incluyendo los planos de gestión y de control.

ASON es una arquitectura que define los componentes del plano de control de las redes ópticas y la relación que existe entre estos, identificando cuales de estos tienen lugar a través de fronteras entre los diferentes equipos para el empleo de protocolos estandarizados.

El plano de control definido en la recomendación de la UIT, tiene como propósito facilitar la configuración rápida y eficaz de la conexiones dentro de una red de capa de transporte para el soporte de conexiones conmutadas y de conexiones permanentes programables, otra finalidad de ASON es la reconfiguración o modificación de conexiones que soportan llamadas ya establecidas y la realización de funciones de restauración [68], [58], [47], [59].

Desventajas y ventajas de ASON

Desventajas

- El plano de control, se desarrolla dependiendo del contexto de la red de transporte, así como de la heterogeneidad multidimensional de las redes, lo que conlleva a la necesidad de un soporte arquitectural. La falta de independencia entre el plano de control y el plano de transporte, puede introducir complicaciones en el tráfico empleado por Grid, que requiere que el transporte se haga de manera transparente.
- El plano de control soporta los servicios de conexión mediante el aprovisionamiento automático de conexiones de transporte extremo a extremo a través de uno o varios dominios. Esto exige una perspectiva tanto de servicio como de conexión. La perspectiva de servicio, para soportar el aprovisionamiento de servicios de extremo preservando la calidad de la independiente de las distintas empresas involucradas y la perspectiva de conexión, para aprovisionar automáticamente conexiones de la "capa de trayecto" que se extienden a uno o más dominios.

La información relativa al estado de la conexión (por ejemplo, fallas y calidad de la señal) es detectada por el plano de transporte y proporcionada al plano de control.

Para Grid se requiere una gestión en el servicio eficiente y sencilla, con mecanismos de seguridad y políticas fáciles de implementar, lo que conlleva a que la gestión que se brinda con ASON, puede ocasionar problemas en la Grid, debido a su complejidad.

Ventajas

- La tecnología ASON, brinda a los proveedores de servicios un gran control de sus redes, proporcionando una estructura de comunicaciones rápida y fiable. Para Grid, el tener control sobre la red, se ve reflejado en la necesidad de una gestión confiable y eficaz.
- La implementación de ASON sobre las redes Grid, se propone por medio de dos modelos, un modelo superpuesto y un modelo integrado. En el primero el plano de control de ASON es independiente de la capa óptica, y en el modelo integrado, se da para Grid información detallada de la topología y los protocolos del plano de control.
La ventaja del primer modelo es la independencia que se da al plano de control de la red óptica, lo que da transparencia a la Grid.
El segundo modelo, a pesar de la dependencia de Grid frente al plano de control, brinda la posibilidad de obtener información del plano de control, y así establecer una programación para el envío de la información.
- Soporta diferentes tecnologías, satisface diferentes necesidades comerciales y da una distribución diferente de las funciones. Para Grid, la transparencia en el transporte de la información es de gran importancia, y se logra con ASON, al soportar diferentes tecnologías.
- El plano de control ASON consta de diversos componentes que suministran funciones específicas, que incluyen la determinación de ruta y señalización. Dichos componentes se describen en términos que no imponen restricciones a la forma en que estas funciones se combinan y se reúnen en lotes.
Como se dijo anteriormente, debido a que para Grid, es necesaria la transparencia en la prestación de los servicios, el hecho de no imponer restricciones en el tratamiento de la información, ayuda a este cometido.
- Las redes ASON ofrecen una definición de un plano de control para administrar eficientemente los recursos de red. Brindan información pormenorizada de la gestión de averías o la correspondiente a la supervisión de la calidad de funcionamiento que es transportada dentro del plano de transporte y a través del plano de gestión.

No solo para Grid, sino para la gestión de cualquier red, es de gran importancia tener información del comportamiento de la red, para poder realizar sobre estas mejoras y estudiar otros parámetros de esta como la eficiencia, utilización, entre otros [43], [111], [58], [47], [59], [115], [116].

2.1.7.2. GMPLS

El control y la inteligencia de red de transporte residen en el estándar GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching), este es un protocolo, que se extiende del protocolo MPLS (Multiprotocol Label Switching)

MPLS fue estandarizado por el IETF (*Internet Engineering Task Force*) en la RFC 3031. Su objetivo inicial era proporcionar algunas de las características de las redes orientadas a conexión a las redes no orientadas a conexión, permitiendo así sobre una red IP ofrecer todo tipo de servicios.

Básicamente, MPLS combina las ventajas del encaminamiento inteligente de nivel 3 con la rápida conmutación de nivel 2, utilizando para ello la conmutación de paquetes por una pequeña etiqueta de longitud fija; consiguiendo, de este modo, un mayor rendimiento en el transporte de paquetes IP. Dicha etiqueta es asignada al paquete basándose en su dirección de destino, los parámetros de tipo de servicio, la pertenencia a una red privada virtual, o siguiendo otro criterio.

GMPLS, (*MultiProtocol Label Switching*) se encuentra entre los niveles 2 y 3 del modelo OSI. Es una evolución de MPLS del IETF y de O-UNI (*Optical User-Network Interface*) del OIF (*Optical Interface Forum*). Soporta no sólo la conmutación de paquetes, sino también la conmutación en el tiempo, en longitud de onda y de fibras ópticas. Para ello, GMPLS extiende ciertas funciones base del tradicional MPLS y le suma nuevas funcionalidades. GMPLS, soporta etiquetas generalizadas G-LSP (*Generalized Label Switched Path*), que se emplean dentro de los protocolos de encaminamiento y señalización para realizar la distribución de etiquetas, la ingeniería del tráfico, y la protección y restauración de enlaces.

GMPLS ofrece un panel de control único e integrado y extiende la disponibilidad de recursos y gestión del ancho de banda a lo largo de todas las capas de la red. Está diseñado para soportar diferentes tipos de tráfico de forma simultánea, por lo cual las redes podrían tener escalabilidad y simplicidad. GMPLS ofrece actualmente a los operadores de red, es una rápida provisión de servicios de cualquier tipo, en cualquier momento, con cualquier calidad de servicio, con cualquier grado de disponibilidad, y con cualquier destino [58], [48], [73], [47], [56].

Desventajas y Ventajas de GMPLS

Desventajas

- Puesto que en GMPLS, a diferencia de MPLS, las etiquetas están directamente relacionadas con los elementos y recursos físicos de la red, puede haber conflictos durante el establecimiento del LSP. Un LSP es el nombre genérico que se le da a un camino MPLS, es decir, del túnel MPLS establecido entre los extremos de forma unidireccional. El conflicto en el transporte de la información, puede ocasionar graves problemas dentro de las redes Grid, al no poderse establecer una conexión, se puede perder información y puede ocasionar conflictos en la gestión de la red al no establecer conexiones correctamente.
- El empleo de tecnologías ópticas como WDM, implica tener un número de enlaces paralelos entre dos nodos, lo que obliga hacer ciertas adaptaciones en el plano de control MPLS para que pueda ser empleado en GMPLS. Para solucionar este problema, se ha introducido la posibilidad de que múltiples enlaces puedan ser combinados en un único enlace agrupado y de establecer enlaces no numerados, y se ha definido nuevo protocolo de señalización denominado LMP (Link Management Protocol).

Un protocolo de gestión que solo se emplea en GMPLS, puede afectar la transparencia con que se debe prestar la gestión dentro de Grid.

Ventajas

- Utilizando conmutación de paquetes, con una pequeña etiqueta de longitud fija, GMPLS consigue un mayor rendimiento en el transporte de paquetes. Dicha etiqueta es asignada al paquete basándose en su dirección de destino, en los parámetros de tipo de servicio, en la pertenencia a una red privada virtual, o siguiendo otro criterio.
En Grid, un mayor rendimiento en el transporte implica una mejora sustancial en los servicios prestados, a demás de que se puede conseguir una mejor gestión mediante la diferenciación de servicios por medio de la etiqueta.
- GMPLS permite realizar ingeniería de tráfico, cursar tráfico con diferentes parámetros de calidad de servicio, y crear redes privadas virtuales.
En Grid, es de gran importancia tener estas características, debido al gran volumen de tráfico que puede llegar a manejar, así como las prioridades que necesitan darse a los diferentes servicios prestados.
- GMPLS posibilita controlar la etiqueta de forma explícita, es decir el LSR (Label Switching Router) entrante o el administrador de la red es capaz de especificar las etiquetas a utilizar en todo el trayecto óptico en una o en las

dos direcciones del flujo, lo que posibilita también el establecimiento de LSP (Label Switched Path) bidireccionales simétricos utilizando el mismo intercambio de mensajes que se requiere en el establecimiento de LSP unidireccionales, reduciendo así el tiempo de establecimiento y la sobrecarga de señalización.

El monitoreo de los paquetes enviados a través de la red, por medio de GMPLS puede ser una característica que permita mejorar la eficiencia y la seguridad de Grid al tener control sobre las etiquetas que se manejen.

- GMPLS mediante el protocolo de señalización LMP, logra mantener la conectividad del canal de control, verificar la conectividad física del enlace de datos, correlacionar adecuadamente la información del enlace, localizar y notificar fallos, y autenticar los mensajes recibidos.

Para Grid, la gestión es de gran importancia, y GMPLS brinda la posibilidad de una gestión amplia, tanto en el tráfico, como en la red misma, característica que puede ser empleada por Grid.

- GMPLS ofrece un panel de control único e integrado y extiende la disponibilidad de recursos y gestión del ancho de banda a lo largo de todas las capas de la red.

Está diseñado para soportar diferentes tipos de tráfico de forma simultánea, por lo cual las redes podrían tener escalabilidad y simplicidad. GMPLS ofrece actualmente a los operadores de red una rápida provisión de servicios de cualquier tipo, en cualquier momento, con cualquier calidad de servicio, con cualquier grado de disponibilidad, y a cualquier destino [58], [56], [114], [47].

2.2. Resumen de las ventajas y desventajas de las tecnologías ópticas

<i>Tecnología</i>	<i>Desventajas</i>	<i>Ventajas</i>
<i>SDH-SONET</i>	<p>Problemas de jitter.</p> <p>La tara es muy grande, y aumenta en caso de que la velocidad también lo haga.</p> <p>Proporciona circuitos punto a punto entre los nodos del anillo. A cada circuito se le asigna una cantidad fija de ancho de banda que es empleada por la conexión, aun cuando no se está usando.</p> <p>Algunos de los nuevos servicios muchas veces no se ajustan a velocidades que se manejan en estas tecnologías, pues las señales y los datos no concuerdan con las tasas establecidas.</p>	<p>Es una tecnología muy extendida a lo largo del planeta con inversiones grandes de capital.</p> <p>Puede ser usado para el transporte de tráfico de larga distancia, a nivel local y para transportar tráfico de video.</p> <p>Una parte del ancho de banda es dedicado para la administración avanzada de la red y para características de mantenimiento.</p> <p>Pueden usarse para transportar señales de otras tecnologías de red ópticas gracias a que su estructura es escalable.</p>

	<p>Resulta menos barata que la utilización de Ethernet, debido a que su conmutación es más cara.</p>	<p>Hay un ahorro en los costos y en el uso de los equipos, logrando que la red sea mucho más flexible.</p> <p>No solo tiene la capacidad de agregación de varias velocidades, sino además capacidades de QoS, tales como el monitoreo de los elementos de red extremo a extremo, haciendo además la gestión para el tratamiento de fallas presentadas en los enlaces o en los nodos de la red.</p> <p>Las fallas son tratadas mediante la duplicación de circuitos, de cable y si se maneja un alto tráfico se hace duplicando el enlace al igual que los nodos.</p> <p>Next generation SDH/SONET: la concatenación virtual en esta tecnología permite el incremento del ancho de banda. El GFP ayuda en la detección y corrección de errores y a proveer una mejor eficiencia de ancho de banda. Next generation SDH/SONET ofrece un Retardo predecible, bajo jitter y Flexibilidad en el ancho de banda de los contenedores. Aprovecha tecnologías como VC, GFP, LCAS para extender las redes SDH/SONET. Permite introducir nuevas tecnologías dentro de las redes tradicionales SDH/SONET reemplazando solo el elemento de borde.</p>
<p><i>WDM</i></p>	<p>WDM es sensible a las variaciones de amplitud y a las reflexiones de la señal.</p> <p>La colisión de los pulsos de canales vecinos conlleva a que se produzca una modulación de fase cruzada; Esta es inducida por el jitter y el pulso de distorsión.</p> <p>El efecto conocido con el nombre de FWM que trae como consecuencia la interferencia con las demás señales, tasa de error binario, atenuación en la potencia de los canales y efectos de diafonía.</p> <p>Se presenta dificultad a la hora de realizar la conmutación de la información que contienen los diferentes canales de longitud de onda.</p> <p>El enrutamiento solo se realiza en el nodo de destino, causando problemas si los flujos de</p>	<p>WDM tiene una etapa donde se vuelve a modular, empleando un reloj de recuperación y regeneración de la etapa que puede ayudar en cuanto al jitter de la señal entrante.</p> <p>La capacidad de transmisión puede incrementarse de forma modular agregando longitudes de onda adicionales que van aumentando la capacidad necesaria.</p> <p>Los sistemas WDM pueden diseñarse como sistemas transparentes, ya que soportan diferentes rangos de protocolos de transparencia los cuales no necesitan protocolos de conversión.</p> <p>WDM ha ayudado a satisfacer algunas de las necesidades que se presentan en redes MAN, debido a la demanda de ancho de banda que las nuevas aplicaciones</p>

	<p>tráfico son de diferente capacidad que el canal óptico.</p> <p>OBS: debido a la contención de recursos, algunas ráfagas pueden ser descartadas.</p> <p>OPS: sus requerimientos hacen que su implementación sea compleja y poco práctica en su aplicación en tecnologías actuales. Presenta contención que puede llevar a la pérdida de paquetes y tiene problemas con los buffers ópticos.</p>	<p>conllevar.</p> <p>Compensa la limitación conocida como cuello de botella electrónico, mediante la división de ancho de banda en canales de transmisión de menor capacidad.</p> <p>Next Generation WDM: puede soportar más de 80 longitudes de onda en una sola fibra. Se pueden tener servios SAN y GBEthernet de forma transparente. Ofrece transmisión bidireccional en una sola fibra. Logra el transporte de más de 10Gbps en largas distancias.</p> <p>OBS: Permite compartir recursos de red con una granularidad más fina en cualquier escala de tiempo. Puede soportar diferentes tipos de usuario al reservar el ancho de banda solo para la duración de una ráfaga. Permite ráfagas de longitud ilimitada. Proporciona una solución rentable y una latencia razonable para Grid. Alta granularidad y alta eficiencia espectral. No requiere reservación de recursos. Presenta menos restricciones técnicas que OPS</p> <p>OPS: presenta menor retardo punto a punto y menores pérdidas por contención que OBS. Puede brindar asignación dinámica de ancho de banda por paquete.</p>
<p><i>Ethernet</i></p>	<p>Los mecanismos de seguridad con los que cuenta no son suficientes en una red WAN, sin embargo puede solucionarse esto mediante la utilización de Carrier Ethernet.</p> <p>En principio Ethernet fue orientado hacia el tráfico de datos, por lo cual trabaja mejor cuando se trata de este tipo de tráfico que cuando trata del tráfico de voz y video en tiempo real.</p> <p>La conmutación de paquetes produce retardos variables, además no se pueden entregar tasas de bit específicas o limitar el jitter, lo que ocasiona que no se pueda ofrecer una buena QoS</p> <p>Puesto que los mecanismos de operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento fueron diseñados en ethernet para el manejo de redes pequeñas,</p>	<p>Es una tecnología económica de implementar no solo en cuanto a equipos se refiere, sino además en el mantenimiento debido a la simplicidad en el diseño</p> <p>Una de sus cualidades corresponde a la escalabilidad, además de evitar los cuellos de botella. (para el caso de Gigabit Ethernet) pudiendo soportar las demandas de ancho de banda sin problemas</p> <p>Se puede usar optical Ethernet para extender Gigabit Ethernet a redes MAN y WAN, además de que puede ser usado como proveedor de servicios y no tener las limitaciones de distancia</p> <p>Para 10Gigabit Ethernet los protocolos de detección de colisiones son innecesarios</p>

	no son suficientes para el manejo de una red WAN	Carrier Ethernet: tiene un alto rendimiento, presenta baja latencia y brinda un servicio consistente. Es flexible, escalable y menos costosa. Permite el uso a diferentes usuarios de la misma infraestructura Ethernet. Ofrece CoS. Detección y recuperación de errores sin afectar a los usuarios. 50 ms de tiempo de recuperación. Beneficioso para cualquier clase de aplicaciones, sobre todo las de tiempo real.
ASON	<p>El plano de control, se desarrolla dependiendo del contexto de la red de transporte, así como de la heterogeneidad multidimensional de las redes, lo que conlleva a la necesidad de un soporte arquitectural</p> <p>El plano de control soporta los servicios de conexión mediante el aprovisionamiento automático de conexiones de transporte extremo a extremo a través de uno o varios dominios. Esto exige una perspectiva tanto de servicio como de conexión</p>	<p>La tecnología ASON, brinda a los proveedores de servicios un gran control de sus redes, proporcionando una estructura de comunicaciones rápida y fiable.</p> <p>Para redes Grid, ASON se propone por medio de dos modelos, un modelo superpuesto y un modelo integrado, que traen consigo diferentes ventajas dependiendo de que se necesite.</p> <p>Soporta tecnologías diferentes, satisfacer necesidades comerciales diferentes y da una distribución diferente de las funciones.</p> <p>Los componentes del plano de control se describen en términos que no imponen restricciones.</p> <p>Ofrece una definición de plano de control para administrar eficientemente los recursos de red. Información de la gestión de averías y supervisión de funcionamiento.</p>
GMPLS	<p>Puesto que en GMPLS las etiquetas están directamente relacionadas con los elementos y recursos físicos de la red, puede haber conflictos durante el establecimiento del LSP</p> <p>El empleo de tecnologías ópticas como WDM, implica tener un numero de enlaces paralelos entre dos nodos, lo que obliga hacer ciertas adaptaciones en el plano de control MPLS para que pueda ser empleado en GMPLS.</p>	<p>GMPLS consigue, un mayor rendimiento en el transporte de paquetes</p> <p>GMPLS permite también realizar ingeniería de tráfico, cursar tráfico con diferentes calidades de servicio, y crear redes privadas virtuales.</p> <p>Utilizando conmutación de paquetes, con una pequeña etiqueta de longitud fija, GMPLS consigue un mayor rendimiento en el transporte de paquetes.</p> <p>GMPLS mediante el protocolo de señalización LMP logra mantener la conectividad del canal de control, verificar la conectividad física del enlace, localizar y notificar fallos y autenticar los mensajes recibidos.</p>

		<p>GMPLS mediante el protocolo de señalización LMP, logra mantener la conectividad del canal de control, verificar la conectividad física del enlace de datos, correlacionar adecuadamente la información del enlace, localizar y notificar fallos, y autenticar los mensajes recibidos</p> <p>GMPLS ofrece un panel de control único e integrado y extiende la disponibilidad de recursos y gestión del ancho de banda a lo largo de todas las capas de la red</p>
<i>FTTx</i>	<p>FTTx tanto en su instalación y en mantenimiento es una solución muy costosa</p> <p>En el empleo de tecnologías xPON, la capacidad de la fibra no es dedicada, es compartida, por lo tanto el ancho de banda no es dedicado, sino multiplexado en una misma fibra en los puntos de acceso de red de los usuarios</p>	<p>FTTx integra los servicios de voz, video y datos a través de un cable de fibra óptica con un gran ancho de banda hasta el hogar o el edificio</p> <p>FTTx es superior para la transmisión señales permitiendo una alta tasa de transferencia de datos prácticamente con un ilimitado ancho de banda.</p> <p>Esta tecnología permite deshacer el cuello de botella generado por el cambio de fibra óptica empleado en el Backbone y las líneas de cobre o cable coaxial empleado en el acceso de último kilómetro.</p> <p>Los dispositivos xPON, soporta diferentes tecnologías, con EPON, APON, GPON.</p>
<i>ATM</i>	<p>El formato de una celda ATM es muy simple</p> <p>La tercera capa, ATM adaptation layer (AAL), juega un rol clave en el manejo de múltiples tipos de tráfico para usar la red ATM, y es dependiente del servicio.</p> <p>El tráfico debe ser procesado cada vez que se pase de la interfaz de usuario a la interfaz de red</p> <p>Está terminando su ciclo de vida, aunque siendo usada pues varias infraestructuras a nivel de red son ATM.</p>	<p>ATM es independiente del transporte físico</p> <p>Las celdas ATM pueden ser transportadas en redes SONET (Synchronous Optical Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), T3/E3, TI/EI o aún en modems de 9600 bps.</p> <p>la capa ATM define la estructura de la celda y cómo las celdas fluyen sobre las conexiones lógicas en una red ATM, esta capa es independiente del servicio</p>

Tabla 1/Cap 2. Resumen de las ventajas y desventajas de las tecnologías ópticas.

2.3. Resumen requerimientos de las redes Grid

Seguridad: este requerimiento se encarga de acciones de autenticación de usuarios, permisos, acceso a datos, confidencialidad, garantía de confidencialidad y cumplimiento de políticas impuestas en la Grid.

Escalabilidad: este requerimiento se refiere a la capacidad de la red de adoptar crecimiento generado por la demanda, el cual debe permitir seguir manejando la misma calidad de servicios y la compartición de recursos.

QoS: la calidad en el servicio en las redes Grid, hace referencia a las características que dan a la red un uso eficiente de los recursos y justo para los usuarios de acuerdo a acuerdos de calidad. Las principales características que se emplean para medir la calidad de servicio para redes Grid, o en otras redes, se muestran a continuación.

- **Latencia:** retardo o intervalo de tiempo entre la señal enviada y recibida.
- **Throughput:** nivel de tasa de datos por segundo que pasan a través de un nodo de la red.
- **Ancho de banda:** es la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo.
- **Disponibilidad:** La disponibilidad de la red es el porcentaje de tiempo que el servicio es ofrecido a un lugar dado con la calidad requerida.
- **Jitter:** Definido como el cambio de la frecuencia de la señal o la distorsión de la fase. Puede afectar a características de la señal tales como amplitud, fase, tamaño del pulso y posición

2.4. Tecnologías ópticas según los requerimientos de GRID

De acuerdo al estudio realizado de las diferentes tecnologías, con sus respectivas ventajas y desventajas, a continuación se muestra con cuales de los requerimientos planteados se cumplen dichas tecnologías.

La tabla 2 muestra los requerimientos que se cumplen para las diferentes tecnologías vistas anteriormente.

	Seguridad	escalabilidad	QoS				
			Latencia	Throughput	Ancho de banda	disponiboilidad	jitter
SDH/SONET	X	X	X	X	X	X	X
WDM	X	X	X	X	X	X	X
ETHERNET		X	X	X	X	X	X
ASON/GMPLS	X	X					
PON			X	X	X	X	X
ATM	X		X	X	X	X	X

Tabla 2/cap2. Resumen tecnologías ópticas contra requerimientos de redes GRID

2.5. Combinación de tecnologías ópticas en busca de soluciones para la red GRID

De acuerdo a las características presentadas, y a las ventajas y desventajas que se dan, se realizara una serie de combinaciones de las tecnologías ópticas que se emplearan como soporte para la red Grid propuesta en este trabajo.

La selección de estas tecnologías obedece al hecho de que cada una cumple en primera medida con parte de los requisitos de las redes Grid, logrando en conjunto una buena solución. En segunda instancia la tendencia actual en el desarrollo de redes tiende a simplificar la infraestructura que se maneja en estas por medio de la convergencia. Por tal motivo, la selección de tecnologías dada a continuación tiende hacia el empleo de pocas tecnologías. En tercera medida, también obedece a un criterio de Simplicidad, para que reducir la complejidad en los modelos y de la simulación sin que sea un impedimento para que las soluciones se puedan implementar en un ambiente real.

De acuerdo a estos criterios, son seleccionadas las siguientes tecnologías, SDH/SONET, WDM, Ethernet, GMPLS, FTTx Y ATM. Se descarta solamente ASON, debido a que esta está diseñada principalmente para converger diferentes tecnologías ópticas, lo que en este caso no es necesario al converger a pocas tecnologías.

Con base a lo anterior, se ofrecen 3 diferentes soluciones que abarcan en conjunto todos las partes de la red, con las que se espera que suplan con las necesidades de las redes Grid:

Primera selección: Ethernet, GMPLS, Carrier Ethernet y EPON.

Segunda selección: Ethernet, GMPLS, SDH, WDM y EPON.

Tercera selección: ATM, WDM, SDH, GMPLS y APON

SDH/SONET, Carrier Ethernet y WDM, son tecnologías que se emplean para el transporte y conmutación de datos.

APON y EPON son empleadas para el acceso de los usuarios.

ATM y Ethernet, son tecnologías que se emplean a lo largo de toda la red, muy convenientes para el Core.

GMPLS, es una tecnología para gestión y administración de la red.

CAPITULO 3

Diseño Lógico y Físico de un ambiente GRID empleando tecnologías ópticas

3.1. Introducción

Este capítulo presenta el desarrollo de una propuesta de diseño lógico y físico para un ambiente Grid. Se expondrán con este fin los requerimientos de las redes Grid con base a diversos ejemplos de aplicaciones Grid. Estos requerimientos serán tomados como los objetivos del diseño de la red para el desarrollo de los modelos lógicos y físicos, con tres posibles soluciones de red. Estas soluciones posteriormente serán simuladas para ver el comportamiento frente a los requerimientos antes propuestos.

Para el análisis de los requerimientos, la caracterización de la red existente y el desarrollo de los modelos se usará la metodología Cisco Top Down Network Desing Second Edition [138]. Esta metodología brinda de forma detallada, simple y explícita unos parámetros importantes a seguir para el diseño de una red que sea eficiente y fiable.

La metodología consta de cuatro partes para su desarrollo. El primer paso que presenta la metodología, es el “análisis de las necesidades y objetivos de su cliente”, en esta parte se comienza con la identificación de los objetivos, requerimientos técnicos y restricciones del negocio. Luego, se lleva a cabo la caracterización de la red existente, que incluye la arquitectura y desempeño de los segmentos de red encontrados. Y por ultimo en esta etapa de la metodología, se hace un análisis del tráfico de la red, incluyendo el flujo y la carga de tráfico, comportamiento de los protocolos y la calidad del servicio requerido.

La segunda parte es el “diseño lógico de la red”, donde se desarrolla una topología de red. Dependiendo del tamaño y características de tráfico de la red, la topología puede ser simple o compleja, requiriendo de jerarquía y modularidad. Durante esta fase, se realiza el modelo de direccionamiento y se selecciona los protocolos de conmutación y enrutamiento. El diseño lógico incluye aspectos sobre la planeación de la seguridad, el diseño de gestión de la red y una investigación inicial de los servicios que brindan los proveedores de servicio y los requerimientos de acceso remoto.

La tercera parte de esta metodología, corresponde al “diseño físico de la red”, en esta parte, se especifican las tecnologías y productos para la realización del modelo lógico. La red física comienza cuando la selección de tecnologías y dispositivos para la red, incluyendo el cableado.

Y por último la cuarta parte de la metodología top down es “evaluación, optimización y documentación de su diseño de red”, donde se construye un prototipo o un piloto, se optimiza el diseño de red y se documenta el trabajo realizado. Si surgen problemas en esta parte, se puede actualizar el diseño y solucionarlos.

Para el presente documento solo se han tenido en cuenta algunos de estos, tales como la identificación de las necesidades y objetivos del cliente (análisis de las necesidades de grid), diseño lógico de la red (Diseño de una topología de red, Estrategias de seguridad de la red, estrategias de administración de la red), Diseño físico (selección de tecnología y dispositivos), y la parte final de testeo (mediante un previo análisis y posteriormente una simulación).

En la medida de que se presentan los requisitos de la red, la metodología top down, sugiere comenzar el diseño de red, ya sea desde un principio, sin contar con una red, o con la caracterización de una red existente.

Para el caso del presente trabajo, se parte de una red ya existente. Se trata de la red de las Empresas Municipales de Cali, EMCALI. Esta red, se encuentra instaurada en la ciudad de Cali (Valle - Colombia), y se tomara como ejemplo de una red que en la actualidad se encuentra en funcionamiento, y de cómo se puede converger esta para cumplir con los requerimientos y prestar los servicios que Grid conlleva.

3.2. Análisis de los requerimientos de las redes Grid

En los capítulos 1 y 2 se han expuesto los parámetros de las redes Grid que van a ser tenidos en cuenta para el presente trabajo, en resumen estos son escalabilidad, seguridad y QoS. Aquí se especifican dichos requerimientos, que se tomarán como objetivos del negocio, necesarios como primer paso para el desarrollo de los modelos lógico y físico como se expresa en la metodología que se está usando[138].

3.2.1 Requerimientos de Seguridad en las redes Grid

La seguridad, es para las redes uno de los aspectos más importantes a diseñar, puesto que las amenazas internas y externas de la red, requieren que se les preste la atención necesaria, sin entorpecer las prestaciones de los servicios de la Red [138].

En Grid según Global Grid Forum, los aspectos de seguridad se ejecutan de extremo a extremo, para evitar la vulnerabilidad que se presenta en el paso por intermediarios. En los requerimientos de seguridad, Global Grid Forum refiere estos a las técnicas y operaciones de seguridad en los entornos Grid, con aplicaciones de autenticación, autorización, privacidad, confidencialidad, auditorias, firewalls, establecimientos de obligaciones, establecimiento de políticas y las dinámicas de escalabilidad y gestión de todos los aspectos anteriores [139].

La integridad y la confiabilidad de los mensajes y de los paquetes almacenados son también parámetros de seguridad, que pueden ser impuestos a algunas aplicaciones desde el punto de vista de los usuarios. La integridad se refiere a que los datos no sean alterados desde el momento en que son enviados hasta cuando son recibidos. Por su parte la confidencialidad se refiere a que solamente el que transmite y el receptor de destino puede comprender los datos enviados.

Para las políticas de autorización de cada recurso, un usuario puede necesitar establecer cómo será el acceso a un recurso antes de usarlo al igual que un agente de programación necesita conocer si un acceso es correcto respecto al recurso. [181]

3.2.2. Requerimientos de Escalabilidad en las redes Grid

Las redes Grid, debido a su naturaleza de entorno colaborativo, deben abordar nuevos usuarios que deseen unirse a esta y la implementación de nuevos servicios. La forma en que se realiza este proceso de escalabilidad, es mediante la reserva de recursos para nuevos usuarios y nuevos servicios, así como la facilidad de incrementar los recursos ya existentes [140].

3.2.3. Requerimientos de QoS en las redes Grid

Las red Grid, tienen requerimientos de QoS tomados en cuenta para su buen desempeño como se había dicho anteriormente (latencia, throughput, ancho de banda, disponibilidad y jitter).

Debido que no hay documentación de los valores de los requerimientos de QoS seleccionados, estos se tomaran de acuerdo a las aplicaciones. Los

requerimientos de la red Grid en cuanto a QoS se refiere, estan reflejados en las aplicaciones, que de acuerdo a Global Grid Forum, son clasificadas en:

- Transferencia de archivos grandes entre usuarios o lugares cuyas ubicaciones son conocidos por ambos (Large file transfer between users or sites who are known to each other).
- Transferencia de grandes archivos anónimos (Anonymous large file transfers).
- Pequeños flujos de ancho de banda (Small bandwidth streams).
- Grandes flujos de ancho de banda (Large bandwidth streams).
- Aplicaciones interactivas de bajo ancho de banda en tiempo real (Low bandwidth real time interactive) por ejemplo web, gaming, VoIP, etc
- Aplicaciones interactivas con alto ancho de banda en tiempo real (High bandwidth real time interactive) por ejemplo Grandes aplicaciones de computo distribuidas.
- Bajo ancho de banda con usuarios anónimos muy dispersos (Low bandwidth widely dispersed anonymous users) por ejemplo páginas web [24].

3.2.3.1. Transferencia de archivos grandes entre usuarios o lugares cuyas ubicaciones son conocidos por ambos:

Las siguientes aplicaciones que se consideran para grandes transferencias de archivos:

- Transferencia, compartición y acceso a archivos
- Acceso y actualización de bases de datos
- Software colaborativo
- Imágenes medicas
- Video Bajo Demanda(VoD)
- Programación de video multicast
- Supervisión y seguridad con cámaras de video
- Diseño asistido por computadora
- Imágenes documentales
- Control de inventarios y transporte
- Mensajería unificada
- Emulación de terminal

- Comercio Electrónico
- Modelos Financieros
- Fabricación asistida por computador
- procesos de control y fabricación
- Configuración remota de descargas
- Copia de seguridad de la red
- Distribución de Software
- Reportes de Gestión [138].

En las aplicaciones que involucran grandes transferencias de archivos, un ejemplo de Grid representativo esta dado con el LHC (gran colisionador de hadrones (partículas subatómicas con alta energía)) con los experimentos Atlas, CMS, Alice, LHCf y TOTEM; los cuales requieren gran cantidad de transferencia de datos. El flujo de datos que debe tener esta gran red requiere de transporte eficiente y determinista de 10-100 TeraByte de datos. Para transportar 100 terabytes de datos se requiere un throughput de 10 Gbit / s para la entrega en 24 horas [24], [141].

Para la transferencia de archivos que tienen que ver con estas aplicaciones, al no ser aplicaciones de tiempo real, la latencia y el jitter, no son de gran valor para la calidad de estos servicios, puesto que la importancia es que los archivos lleguen a su destino. La latencia y el jitter generalmente tienen prioridad en aplicaciones en tiempo real.

En cuanto al throughput, las redes Grid (tomando como referencia las aplicaciones dadas) requieren enviar aproximadamente 10Gbits por segundo libre de errores.

El ancho de banda para estas aplicaciones, tiene que ver con la tecnología empleada. Y debe ser mayor que el throughput. Si se supone que se entregan los paquetes transmitidos en un 90% libre de errores, se necesita un ancho de banda de aproximadamente 11 Gbits por segundo o mayor (para el ejemplo anterior).

La disponibilidad para este tipo de aplicaciones puede que no sea muy alta, debido a que los datos no requieren una hora fija de transmisión, pero esto no debe entorpecer la tarea del envío de datos, por tanto para estas aplicaciones, una disponibilidad, entre 98 y 99 por ciento está bien para este tipo de aplicaciones.

3.2.3.2. Transferencia de grandes archivos anónimos:

La transferencia de archivos anónimos hace referencia básicamente a las aplicaciones, para compartir información entre los usuarios. Generalmente se da en la transferencia de datos, documentos, sonido y video, donde se requiere que transferir grandes cantidades de información. Una aplicación esta dado en los servidores FTP, que no requieren identificación de usuario para su acceso [142], [24].

Al Igual que en el caso anterior (Transferencia de archivos grandes entre usuarios o lugares cuyas ubicaciones son conocidos por ambos), estos archivos no son afectados por la latencia ni por el jitter. El throughput depende básicamente de la permanencia en la red de las partes de las cuales se está haciendo la transferencia, así mismo la disponibilidad debe ser alta, mas no es crítica para estas aplicaciones, por lo tanto una disponibilidad entre el 98 y 99% del tiempo se puede aceptar para este tipo de aplicaciones. La velocidad como tal de la transferencia depende de la simetría del ancho de banda y el tamaño de este entre las partes, y específicamente en el ancho de banda del acceso a la red, por lo tanto el rendimiento de la transferencia de archivos está ligado con el ancho de banda disponible tanto para descargar como para subir archivos. Entre mayor sea el ancho de banda, mayor capacidad se tendrá para la transferencia de archivos. Una conexión de 1.5 Megabits por segundo o superior seria adecuada accesible para este tipo de servicios [143].

Para Grid, existe la herramienta que permite compartir archivos específicamente para los usuarios de la red, que es la herramienta GridFTP [143].

3.2.3.3. Pequeños flujos de ancho de banda:

Las aplicaciones que requieren de pequeños flujos de ancho de banda se caracterizan porque no consumen tantos recursos de la red, como las aplicaciones que necesitan un gran ancho de banda o tiempo real. Estas aplicaciones pueden clasificarse:

- Correo Electrónico (Electronic mail, sin archivos adjuntos)
- Buscador Web (Web browsing)
- Calendario (Calendar)
- Internet o intranet fax
- Órdenes de Venta (Sales order entry)

- Seguimiento de Ventas (Sales tracking)
- Publicaciones Web (Web publishing)
- Directorio en línea (Online directory)
- Educacion a Distancia (Distance learning)
- Autenticación y autorización de usuarios (User authentication and authorization)
- Nombramiento de host y resolución de nombres (Host naming and name resolution)
- Direccionamiento de host dinamico (Dynamic host addressing)
- Arranque remoto (Remote booting)
- Servicio de directorio (Directory services) [138], [24].

Estos servicios al no ser en tiempo real, son muy tolerables a la latencia, requieren de un throughput bajo, debido a que la cantidad de datos a transmitir en ellos es muy poca, igualmente requieren de muy poco ancho de banda, fácilmente pueden funcionar con el ancho de banda mínimo, 64 kbits por segundo, pero al ser servicios muy básicos, requieren de una buena disponibilidad, 99% o superior.

3.2.3.4. Grandes flujos de ancho de banda:

Algunas de las aplicaciones que se encuentran en esta clasificación son:

- acceso a bases de datos y actualizaciones
- video multicast
- video bajo demanda (VoD)
- control y envío de inventario
- Diseño asistido por computadores (CAD – computer aided desing)
- backup remoto
- terminal de emulación

Las aplicaciones que requieren de grande flujos de ancho de banda, por lo general son aplicaciones que necesitan transportar una gran cantidad de datos.

El ancho de banda es relativo a la aplicación usada, pero puede encontrarse en el orden de los 100Gbps o incluso del orden de los terabytes o petabytes si se trata de aplicaciones que involucren computación distribuida [24], [144].

La latencia también depende a qué tipo de aplicación se está haciendo mención, de esta forma, hay variación entre audio, video y texto. En este caso donde no se

trabaja en tiempo real la latencia es menos relevante, aunque no por esto va a dejar de tenerse en cuenta [145].

Los problemas de jitter vienen a afectar en buena medida a los datos que son transportados, esto se presenta por la diferencia que hay entre las latencias de dos paquetes que se encuentran en el mismo flujo de datos.

Un buen servicio presenta una medida de jitter de aproximadamente 20ms o menos.

Para una aplicación que no involucra tiempo real una de las mayores preocupaciones tiene que ver con que los datos lleguen al destino y en caso de que se presenten errores, hacer retransmisiones. [146], [147].

Un gran ancho de banda no garantiza que haya un buen throughput, con cual no se está diciendo que no hay que considerarlo, pues el throughput está ligado al ancho de banda existente. No obstante existen más agentes que llegan a afectar su condición tales como la distancia, la pérdida de paquetes y el tamaño de la ventana. Las pérdidas de los paquetes tienen un porcentaje desde 0.1 a 1, de 2 a 4 o el peor de los casos que es de 3 a 5, lo cual ocasiona degradación del throughput efectivo. Si se llega a sobrepasar del 1% las pérdidas se vuelven intolerables [148].

Para cualquier aplicación que implique o no tiempo real, una disponibilidad ideal implica al menos el 99,999% del tiempo con la que solo estaría indisponible 5 minutos por año, los valores por debajo del 97% es inaceptable pues implica demasiado tiempo sin prestación del servicio [138], [149].

3.2.3.5. Aplicaciones interactivas de bajo ancho de banda en tiempo real:

- Web browsing, páginas web
- Juegos online
- Internet o intranet VoIP
- Telemetría
- Terminal remoto
- Seguridad y cámaras de video
- Videoconferencia (comúnmente usada)
- Comercio electrónico (pagos online)
- Aprendizaje a distancia

Estas son aplicaciones en las cuales el consumo de ancho de banda no es tan grande, debido a que el volumen de información no lo requiere o a que no necesita tanta prioridad.

Aunque como en todos los casos la latencia tiene que ver con las aplicaciones, para aplicaciones como juegos online se presentan latencias de entre 100 a 1000 ms un RTT (Round Time Trip) contando con de 130 ms aprox, en texto de 100ms, para audio y video un promedio de 400ms. Dado que se está trabajando en tiempo real la latencia se convierte en un factor importante, pues afecta la calidad del servicio que se está brindando. Una de las consecuencias que podría traer consigo la disminución de la latencia está relacionada con el aumento de la transmisión redundante. [150], [145].

Para el jitter también se presentan diferentes valores de jitter máximos que pueden soportarse según la aplicación de tiempo real, estos son por ejemplo tomando en cuenta el rendimiento de un nodo grid, para audio 60 ms y para video 30ms. El jitter es manejado con buffers en los nodos finales, los paquetes que llegan atrasados se mueven rápidamente a través de este buffer para que puedan llegar a tiempo, depende de los buffers el tiempo máximo de jitter, este puede ser aproximadamente de 40 ms o menor de 50ms para servicio triple play, por lo cual los paquetes que llegan después de este tiempo son descartados y con esto se presente degradación de la calidad en el servicio [145], [142], [147].

El throughput afecta de igual manera tanto a aplicaciones que trabajen con tiempo real como las que no, aunque para las aplicaciones de tiempo real existe mayor urgencia de que no haya pérdidas de datos.

Para un bajo ancho de banda el throughput es menor que en los casos que de las aplicaciones que cuentan con un ancho de banda mayor, debido a que el throughput debe estar por debajo del ancho de banda máximo, esto se presenta principalmente por las cabeceras (de señalización y control) y por las retransmisiones.

3.2.3.6. Aplicaciones interactivas con alto ancho de banda en tiempo real:

- Imágenes médicas
- TV de alta definición
- Videoconferencia (en casos médicos o multicast)
- Video multicast

- Modelamiento financiero (bolsa)

Se presentan características similares al caso anterior, aunque aquí se maneja un mayor flujo de tráfico, por tanto son aplicaciones que requieren de un tratamiento mejor, evitando que en cualquier momento pueda perderse la información o cualquier retardo superior al límite aceptable.

Al igual que en el caso de las aplicaciones de gran ancho de banda que no son en tiempo real, aquí también se necesita un ancho de banda del orden de los 100Gbps hasta los Petabits, dado se necesita transportar un gran volumen de o tener un buen tiempo de respuesta. Las aplicaciones como las que tienen que ver tratamientos o exámenes médicos online, deben ser muy precisos y eficientes.

Para una empresa que presta servicios de voz y video en tiempo real, se tienen por ejemplo los siguientes objetivos en cuanto a jitter y latencia para garantizar una buena prestación del servicio. Los paquetes perdidos deben ser menores al 0.1%, la latencia deben ser menores o iguales a 100ms, el jitter menor a 40 ms. Después de que la latencia alcanza 200 ms los retardos se vuelven considerables para las partes, presentándose problemas de interrupciones e imposibilitando el flujo de una conversación normal. Como este retardo es solo una parte de la red, se debe garantizar que toda la red tenga una latencia menor a 100 ms, para lograr que en esta interacción de servicios las partes tengan menos de 200 ms de retardos y con ello garantizar una buena prestación del servicio. La latencia varía entre 20 ms y 200 ms [142], [147].

3.2.3.7. Bajo ancho de banda con usuarios anónimos muy dispersos

Este tipo de aplicaciones son empleadas por usuarios remotos, que deben tener acceso a la red Grid, pero no requieren mucho ancho de banda, a demás de que no requieren autenticación para acceder a las aplicaciones. Básicamente son aplicaciones web. Estas no son afectadas por la latencia ni el jitter, puesto que no son aplicaciones en tiempo real, requieren muy bajo throughput y ancho de banda, que pueden ser con acceso básico de 64Kbits por segundo o mayor, pero si requieren una buena disponibilidad 99% o superior, puesto que son servicios básicos.

La metodología top-down de cisco, determina que en un principio se debe establecer un análisis de los requerimientos de la red. Para ello, es necesario especificar que servicios y aplicaciones debe soportar dicha red.

Hasta este punto, se han establecido los requisitos que deben soportar las redes Grid.

3.2.4. Resumen de requerimientos:

La tabla 1, resume los requerimientos más críticos que tienen los servicios de las redes Grid.

Seguridad	Escalabilidad	QoS			
		Latencia	Throughput	Ancho de banda	disponibilidad
Autorización, privacidad, confidencialidad, auditorias, firewalls, establecimientos de obligaciones, establecimiento de políticas y dinámicas de escalabilidad y gestión de todos los aspectos anteriores.	Reservación de recursos para nuevos usuarios y nuevos servicios y facilidad de incrementar los recursos ya existentes	100 a 1000 ms Juegos 100ms texto ≤100ms audio ≤100ms video Jitter max<40 ms Jitter ideal:20 ms	Un 99% del ancho de banda total	1.5 Mbps en el acceso de usuario final 40 -100 Gbps en el core	99.999%

Tabla 1/cap 3. Resumen de requerimientos

3.3. Caracterización de la red existente

Para el caso del presente trabajo, se parte de una red ya existente. Se trata de la red de las Empresas Municipales de Cali, EMCALI. Esta red, se encuentra instaurada en la ciudad de Cali (Valle - Colombia), y se tomara como ejemplo de una red que en la actualidad se encuentra en funcionamiento, y de cómo se puede converger esta para cumplir con los requerimientos y prestar los servicios que Grid conlleva.

Las especificaciones técnicas detalladas de la red mencionada, se encuentran en el documento [151].

3.3.1. Descripción General

EMCALI cuenta con 50000 líneas de banda ancha, distribuidas entre 3 anillos, donde cada switch de borde debe soportar 3125 conexiones. El primer anillo (anillo norte y occidente) contiene 7 switches de borde y contiene 21875 líneas. El anillo oriente contiene 4 switches de borde y 12500 líneas. Y por último el anillo sur contiene 5 switches de borde y 15625 líneas.

La red de EMCALI cuenta con un diseño en capas. Sus componentes son la capa de acceso, la capa de core, la capa de control y la capa de servicios como se ilustra en la figura 1:

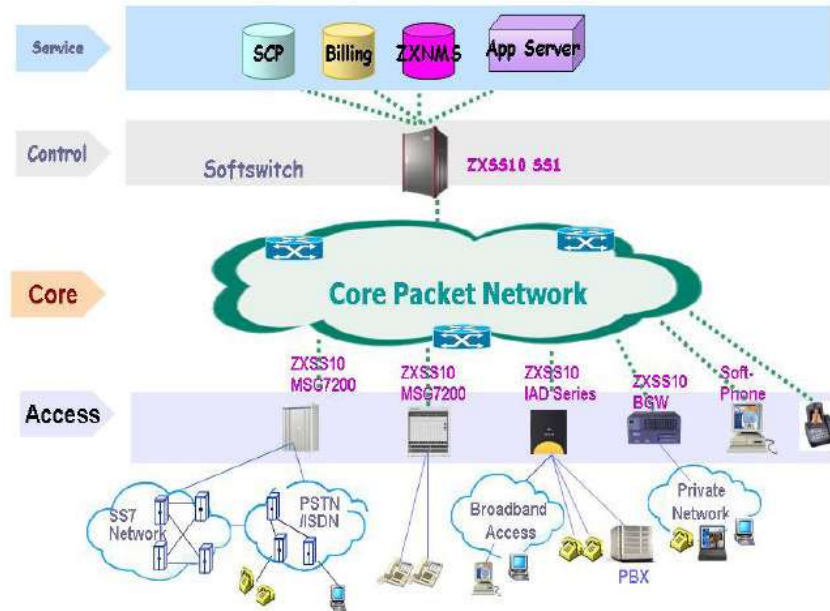


Fig 1/ cap 3. Red en capas de EMCALI [Oferta pública con aviso en prensa, No. OPP-GUENT-031-2007 PLIEGO DE CONDICIONES, EMCALI EICE-ESP].

- **Capa de Acceso:**

La componen varias partes de la red como son:

La capa de acceso está compuesta por la UAM (unidad de acceso multiservicios) y por una red de acceso que brindan transporte de la información generada o recibida por los usuarios hacia o desde el core de la red.

Las Unidades de Acceso Multiservicios (UAM) que pueden brindar servicios de: telefonía convencional, RDSI, Accesos de banda ancha XDSL y accesos ethernet. Estas UAM se conectan a la red de acceso.

Red de acceso, conformada por tres anillos con switches de nivel 3 enlazados por fibra óptica con capacidad de 10 Gbps cada uno. La red de acceso conectan las UAM, clientes con acceso ethernet, redes LAN y otras redes.

La capa de acceso, también está conformada por una red PSTN y una red GSM, pero para este caso de estudio no se van a tener en cuenta debido a

que el objeto es brindar una infraestructura óptica, y estas redes están conformadas por una red con cables de cobre, para el caso de la PSTN, y una red inalámbrica para el caso de la red GSM.

- **Capa del núcleo (Core)**

Núcleo IP/MPLS conformada por tres nodos que reciben el tráfico de la red de acceso, del nodo ISP, de la red ATM y de otras redes.

- **Capa de Control**

Como parte de control, la red multiservicios está provista de dos softswitches los cuales realizan el control de las llamadas y la prestación de los servicios. Cada uno controla el 50 % del tráfico y en caso de falla uno de los dos puede asumir toda la carga de la red.

- **Capa de servicios**

Se compone de:

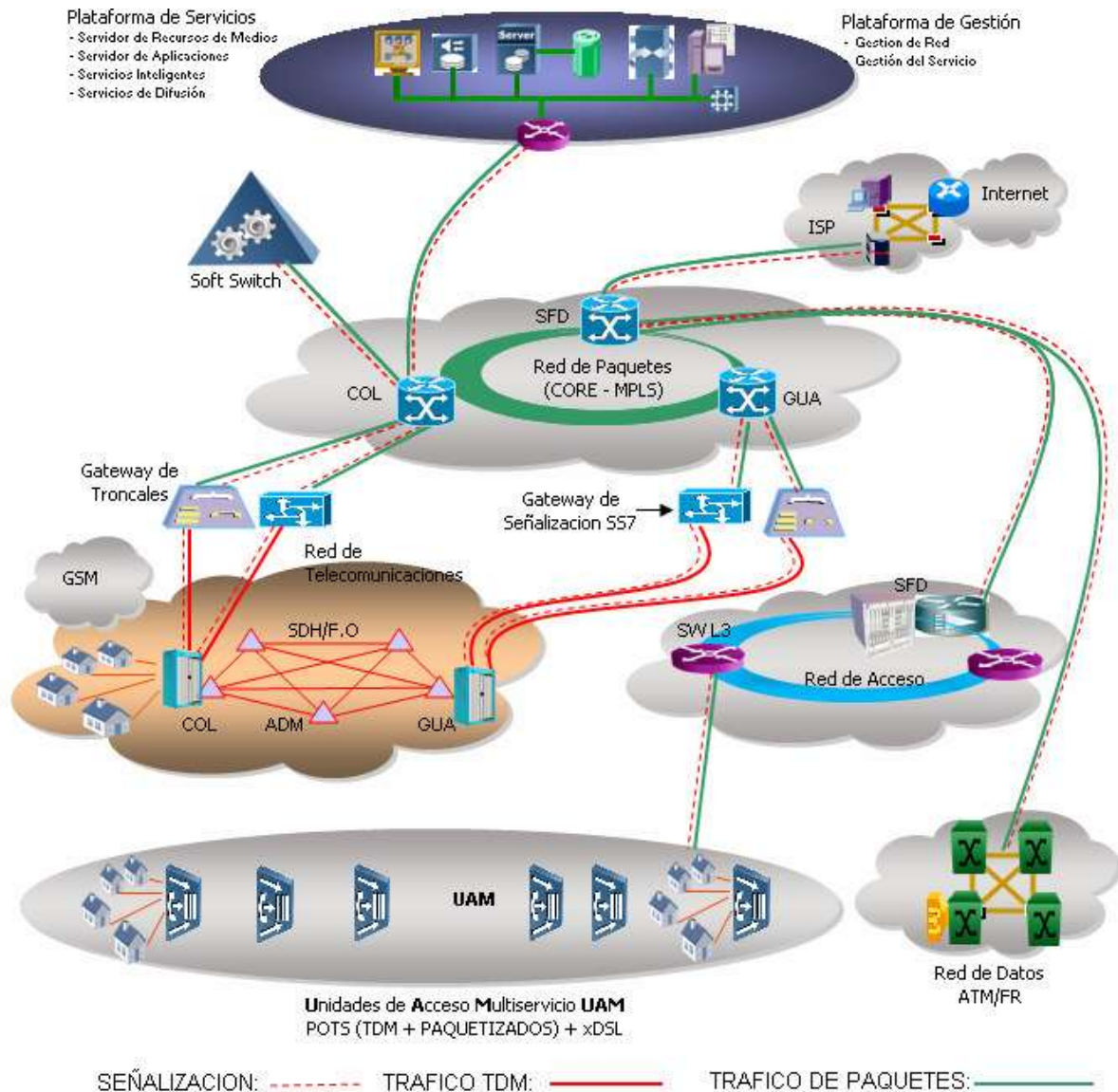
Sistema ZXUP10 [182] que unifica las plataformas de Prepago, Mensajería Unificada, Servicios de Red Inteligente y correo de VOZ.

Plataforma de IPTV para 13.000 clientes que cuenta con un sistema de soporte Middleware ZXBIV, un sistema de cabecera con codificador ZXBIV EC1216V de 80 canales que soporta codificación MPEG-4 AVC y H.264.

Adicionalmente, la red Multiservicios cuenta con una plataforma única de gestión ZXNM01, desde la cual se pueden gestionar todos los elementos de la red.

3.3.2. Topología de la red

De acuerdo a la metodología de Cisco, esta puede ser jerárquica o plana, en la red de EMCALI se presenta una topología jerárquica (en capas), la cual permite una planeación con mayor precisión en cada capa de la jerarquía y esto trae como ventaja reducir el desperdicio de ancho de banda [138].



Esquema de Interconexión de la Red para 140.032 Líneas POTS y 13,000 Puertos XDSL

Fig 2/cap 3 Esquema de la topología de la red EMCALI [Oferta pública con aviso en prensa, No. OPP-GUENT-031-2007 PLIEGO DE CONDICIONES, EMCALI EICE-ESP].

La siguiente figura muestra la red de acceso y el core de la red:

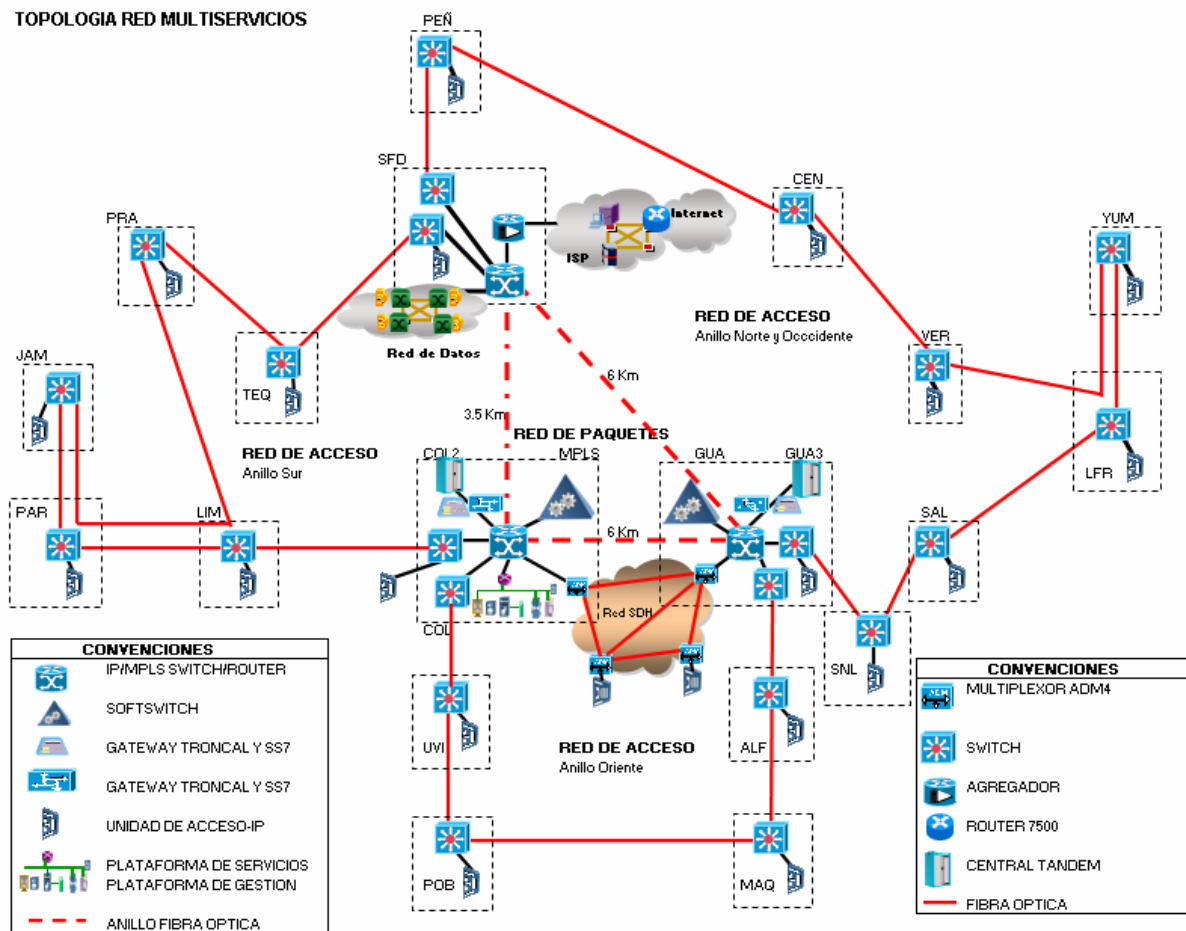


Fig 3/cap 3 Red de Acceso y core [Oferta pública con aviso en prensa, No. OPP-GUENT-031-2007 PLIEGO DE CONDICIONES, EMCALI EICE-ESP].

3.4. Diseño lógico

La metodología top down, incluye la realización de un modelo lógico de red, que puede ser simple o complejo y que necesita de jerarquía y modularidad. Se enfocan en el diseño de una red jerárquica (diseño de redes escalables usando capas) que debe entregar una topología de red de partes modulares, y donde se muestra la diferentes relaciones que existen entre los módulos.

Aunque se han venido estudiando desde capítulos anteriores, en el modelo lógico, se comienza la exploración de las tecnologías pueden servir como solución para cumplir con los requerimientos de la red.

De la red de EMCALI caracterizada anteriormente, se va a tener en cuenta como factor importante el modelo en capas, el cual es la guía para la realización del modelo lógico. El punto de partida es la definición de una infraestructura óptica capaz de soportar las aplicaciones que sobre Grid se puedan presentar, llevando a cabo esta infraestructura mediante modificaciones sobre la red de EMCALI.

Los diseños lógicos, están encaminados a la realización de modelos que puedan establecer una solución para los requerimientos de Grid. En este trabajo, se brindaran tres soluciones como modelos, estos modelos se presentan según los análisis realizado en los capítulos anteriores, y en donde se busca convergencia hacia una sola tecnología.

En estos modelos se tendrá en cuenta la capa de acceso, el core, la red de transporte y la capa de control. Las soluciones están basadas en el modelo en capas dado por la red EMCALI, donde en cada capa se realizaran cambios con el fin de adecuarla para el soporte de las redes Grid. La figura 4 muestra las capas a las que se realizara las sustituciones pertinentes.

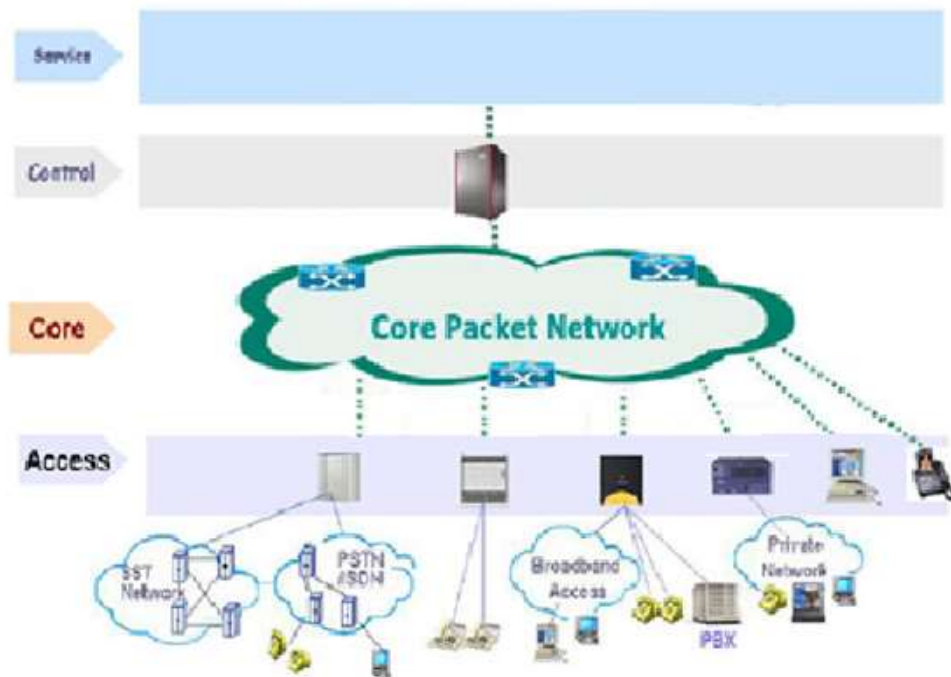


Fig 4/ cap 3 Capas a tener en cuenta del modelo en capas de la red existente

Debido a que la capa de servicios no hace parte como tal de una infraestructura de transporte óptico, no se toma en cuenta para la realización de este trabajo.

Aunque no hay que olvidar que esta corresponde a un elemento importante de la red, que brinda soporte a la infraestructura óptica y que tiene tareas de prestación de los servicios.

Para los modelos lógicos, se hará un marco general de las capas que ya existen en la red que se muestra en la figura 5. Este marco corresponde a la relación que existe entre las capas de acceso, core, control y servicios. Dentro de cada uno de estas capas, para los modelos lógicos, se establece una tecnología o las diferentes tecnologías que puedan suplir con las funciones de cada capa.

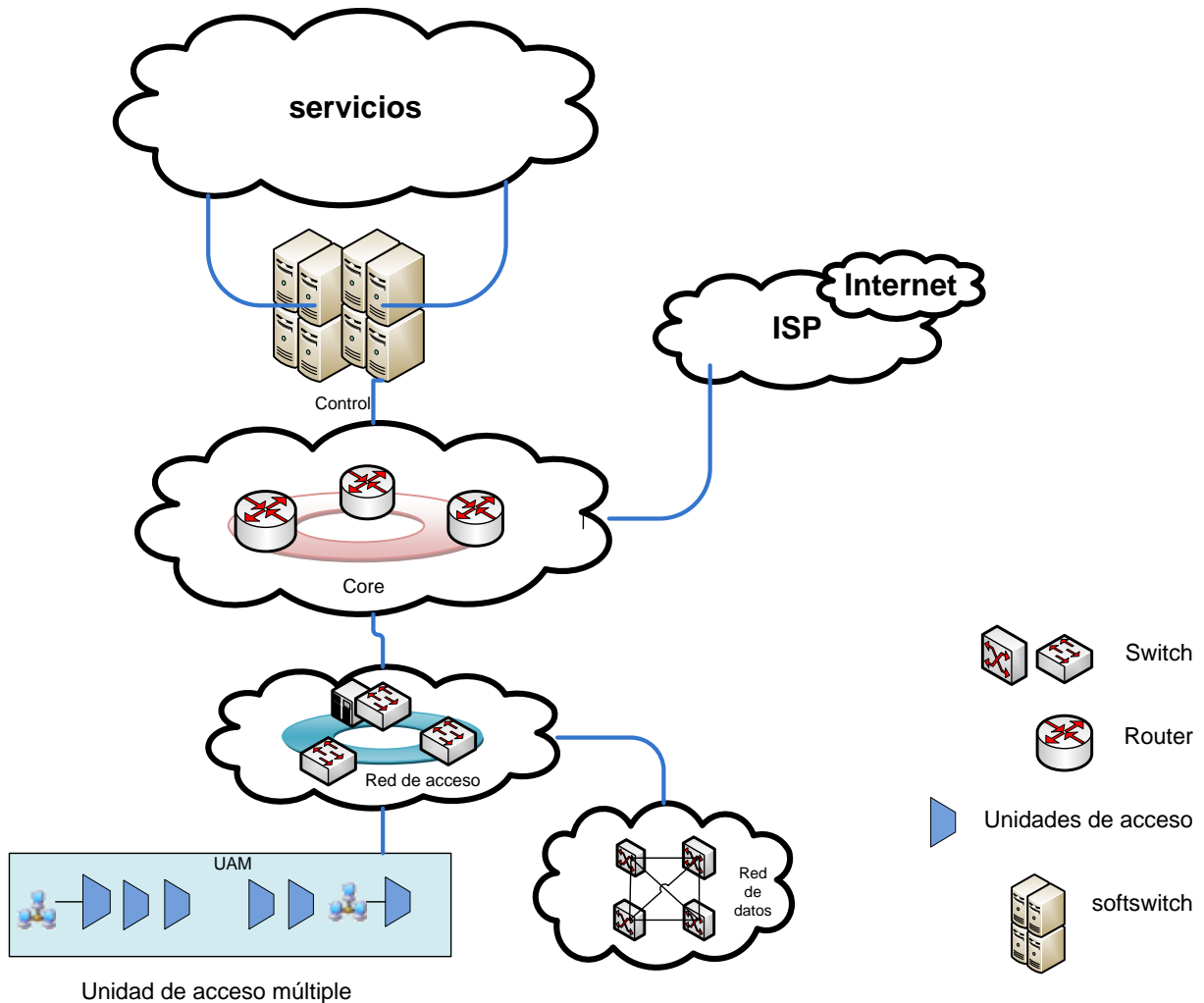


Fig 5 / cap 3 Diseño lógico general

3.4.1. modelos lógicos

A continuación se presentan algunos modelos lógicos, los cuales son el resultado de los análisis de las tecnologías ópticas y de los requerimientos de las redes Grid que se han dado en capítulos anteriores. En los cuales se realiza una selección de tecnologías para cada solución, en base a las ventajas y desventajas que se dan en el capítulo tres. Las soluciones están basadas en convergencia hacia pocas tecnologías en cada modelo, para la reducción de la complejidad de la red. Su objeto principal es que estos modelos sean capaces de soportar los requerimientos que dan los servicios de la red Grid de forma eficiente.

Debido a que las soluciones que se proponen en este trabajo tienden a la convergencia del empleo de pocas tecnologías, las tecnologías ASON no tendría cabida, puesto que su objeto principal es conformar un plano de control para diferentes tecnologías ópticas, por lo tanto se decide realizar las tareas de control con tecnologías GMPLS, que con sus numerosas ventajas puede lograr un control satisfactorio para la red Grid.

PRIMERA SOLUCION:

Solución basada en Ethernet, GMPLS, Carrier Ethernet, y EPON

Esta solución, está basada en la tendencia hacia una solución de infraestructura basada en tecnologías Ethernet. Esto en la medida que la mayoría del tráfico se origina en tramas Ethernet, lo que lleva a pensar de que una solución basada netamente en esta tecnología, puede brindar todas las características que la red Grid necesita sin necesidad de realizar cambios en los protocolos. Otra ventaja de Ethernet, el tamaño variable de la trama, la cual da flexibilidad a los servicios dados brindados por Ethernet, lo que también da la ventajas en la seguridad debido a que los paquetes generados por grid, pueden ser mapeados en las tramas de tamaño variable, evitando que estos sean fragmentados permitiendo que se brinde seguridad de extremo a extremo.

- Capa de acceso:

Esta solución se presenta mediante un acceso con FTTx, mediante tecnologías EPON, la cual permite un tráfico Ethernet, lo que implica que la UAM, no tenga funciones de conversión de protocolos, y por lo tanto aumenta la eficiencia de la red al entregar el tráfico al core en un mismo protocolo.

- Capa de core:

El core estará basado al igual que el acceso en tráfico Ethernet. Esto como se dijo anteriormente, permite consolidar la eficiencia, al no tener los dispositivos realizar tareas de Gateway, puesto que el tráfico se seguirá manejando con la misma tecnología Ethernet. Debido al alto volumen de tráfico que se debe manejar en el core, el protocolo que se debe manejar es Giga Bit Ethernet, con sus diferentes versiones, bien sea 1, 10 o 40 Giga Bit Ethernet, con perspectiva de emplear 100 Giga Bit Ethernet cuando este sea estandarizado.

- Capa de control:

El control se debe ejercer mediante un protocolo que me brinde mecanismos de calidad de servicio, siendo GMPLS la solución más viable puesto que ofrece por medio de las etiquetas un gran control que debe ser aprovechado por las redes Grid.

- Red de transmisión:

Para la transmisión, se hace empleo de Carrier Ethernet Transport, el cual es el encargado del transporte de los datos a través de la red, con la ventaja de que emplea protocolo Ethernet para el transporte, lo que implica menor procesamiento al no tener que realizar tareas de conversión o combinación de protocolos.

SEGUNDA SOLUCIÓN:

Se basa en las tecnologías ETHERNET, GMPLS, SDH, WDM, EPON.

- Capa de acceso:

La capa de acceso se basa en tecnologías EPON, la cual está basado en tráfico Ethernet, que permite manejar este tráfico desde el acceso del usuario y por lo tanto manejar el mismo tipo de tráfico a través de toda la red.

- Capa de núcleo (core):

En este caso, se emplea Ethernet en sus diferentes versiones para cumplir con la capacidad que requiere las redes Grid, en este caso se trabaja con el mismo la misma tecnología que en el acceso.

- Capa de Control:

Para el control de la red, se realiza por medio de GMPLS, que igual que el caso anterior brinda un excelente control por medio de sus etiquetas que

ofrecen eficiencia en la calidad en los diversos tráficos que se pueden presentar en la red Grid.

- Red de Transporte:

Se opta para el transporte en una combinación de SDH con WDM, y para el envío se emplea OBS para obtener una gran capacidad y eficiencia en la red.

TERCERA SOLUCION:

Solución basada en ATM, WDM, GMPLS, SDH y APON.

La red de datos de Emcali, está basada en tecnologías ATM, del mismo modo, la red de transporte tiene instauradas tecnologías SDH. En este caso, se toma en cuenta las tecnologías de la red existente para que al realizar un aumento de la capacidad de esta con WDM en el transporte y APON en el acceso, se pueda llegar a la capacidad de transporte que requiere la red Grid.

- Capa de acceso:

Esta solución se basa en tecnologías ATM. Para el acceso se emplea tecnologías FTTx, con APON, la cual maneja celdas ATM.

- Capa core:

Para este caso, en el core se emplearan tecnología ATM, las cuales tiene la ventaja de ser transparentes y encapsular a todo el tráfico que ingrese al core, a demás que las celdas ATM, pueden transportar cualquier tipo de tráfico.

- Capa de Control:

GMPLS ofrece el control por medio de etiquetas que requiere la red GRID, por lo tanto es la solución que se presenta para este tipo de aplicaciones.

- Red de Transporte:

La red de transporte para este caso se da con las tecnologías SDH combinada con tecnologías WDM para incrementar la potencia de la red. Dentro de WDM, se establece como tecnología para el envío de la información OBS

3.4.2. Resumen de soluciones del diseño lógico:

	Capa de acceso	Capa de núcleo	Capa de control y gestión	Red de transporte
Primera solución	EPON	ETHERNET	GMPLS	CARRIER ETHERNET
Segunda solución	EPON	ETHERNET	GMPLS	SDH-WDM-OBS
Tercera solución	APON	ATM	GMPLS	SDH-WDM-OBS

Tabla 2/cap3. Resumen de las soluciones.

3.5. Diseño Físico

Aquí, se enmarcarán los dispositivos que serán empleados en cada capa de la red, y se hará una descripción de cada solución.

La topología para el modelo físico de red se encuentra en el esquema de la figura 6, este muestra como estará desplegada físicamente la red, y en que partes de la red se encuentran los diferentes dispositivos que se van a emplear.

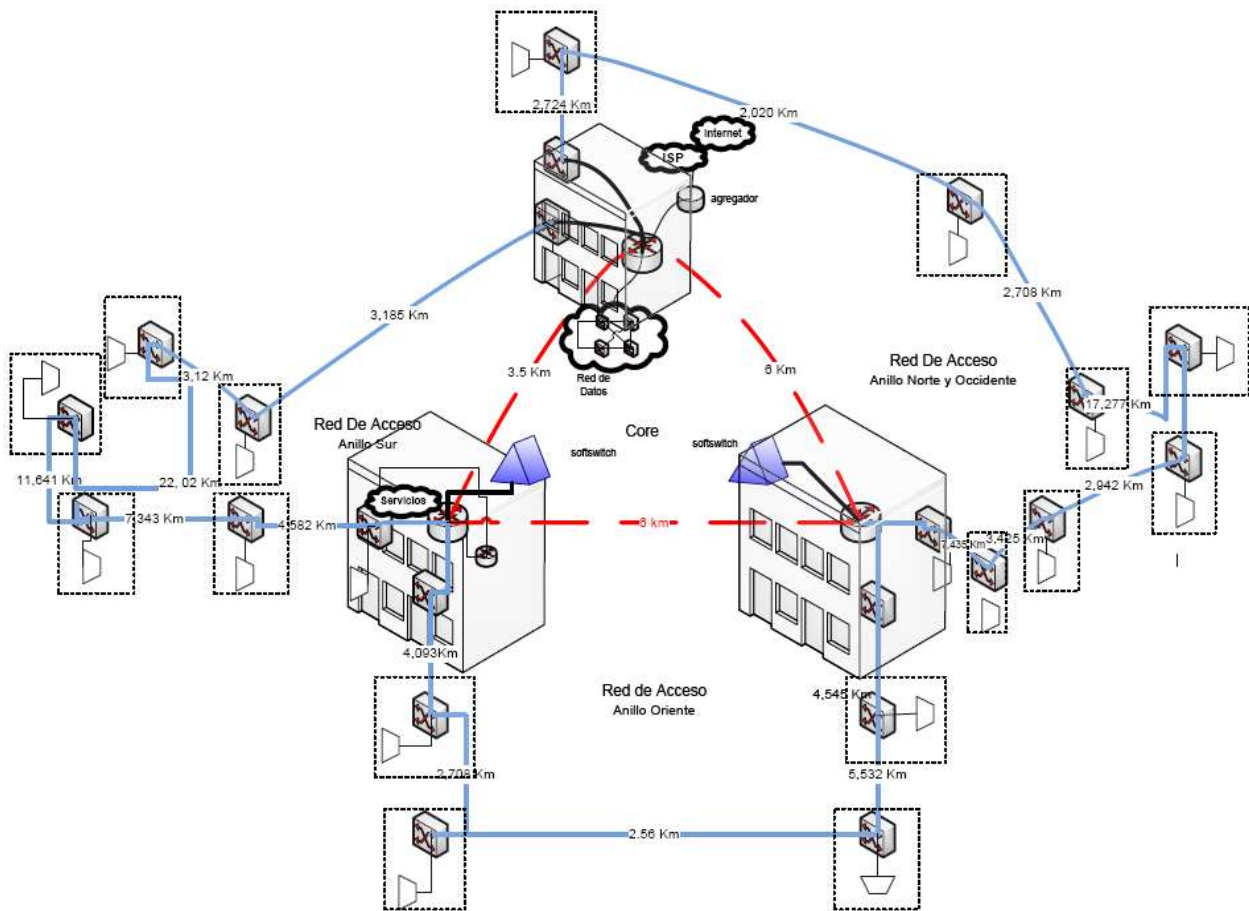


Fig 6/cap 3. Diseño Físico de la red

En la figura 6 se muestra el modelo físico de la red. Para la implementación de las soluciones propuestas anteriormente se van a buscar dispositivos que se adapten según las necesidades.

3.5.1. Dispositivos de red

La red de EMCALI presenta la siguiente configuración de dispositivos. Esta configuración se mantendrá como configuración base para los modelos físicos de la red, realizando las sustituciones correspondientes de los dispositivos para hacer los cambios necesarios para que la red pueda soportar los requerimientos de Grid.

Core:

- 3 routers: (de capa 3) que van a ser los encargados de recibir el tránsito proveniente de la red de acceso. Además a través de uno de estos,

conectado al nodo de internet de Emcali, se interconecta con Bogotá (Eutelco) y Medellín (EPM).

- Un Agregador: para el manejo del tráfico de internet de los usuarios de la UAM.
- 6 switches: Conectados a los anillos de acceso de la red.

Capa de control:

- 2 softswitch: Cada uno de ellos controla la mitad del tráfico de paquetes y la prestación de servicios prestados a los clientes conectados a la red de paquetes. Si uno de ellos llega a presentar fallas, el otro asume el control total.

Red de acceso:

- 3 anillos de switches: (Nivel 3) Anillo Sur: 5 switches, Anillo Oriente: 4 Switches, Anillo norte y Occidente: 7 switches. (acompañados por unidades de acceso).
- Switches de Borde.
- Dispositivos de acceso de los usuarios

Los dispositivos antes mencionados, sin incluir los dispositivos del usuario, se tendrán en una disposición de equipos de 1+1, con uno de ellos en stand by. También para las conexiones, se aplica esta configuración.

Para los enlaces de fibra, se emplearán anillos bidireccionales para que en caso de daños en los enlaces se pueda crear rápidamente una ruta en sentido contrario al anillo y así establecer conexión. Estas medidas, junto a un permanente monitoreo y mantenimiento preventivo de los equipos y enlaces, logran que la disponibilidad sea alta. Lo suficiente para cumplir con los requerimientos de Grid, (99.999%).

Los dispositivos a emplear, para no expandir mucho la búsqueda son tomados de tres proveedores que son CISCO, HUAWEI y ALCATEL

Los dispositivos están descritos en el Anexo A con mayor detalle.

A continuación, se muestra el resumen los dispositivos que se van a emplear en las diferentes capas de la red.

3.5.2. RESUMEN DISPOSITIVOS:

	ACCESO			CORE	TRANSPORTE
	USUARIO	BORDE	ACCESO		
CISCO	CISCO Prisma D-PON	Cisco Catalyst 5500 (ATM)	Cisco Catalyst 4900 (Ethernet)	Cisco 7200 (MPLS-Ethernet)	módulos de transmisión WDM
		Cisco Catalyst 3750 (Ethernet-MPLS)	Cisco Catalyst 3750 (Ethernet-MPLS)	Cisco catalyst 6500 (MPLS-Ethernet)	
			Cisco Catalyst 4500 (Ethernet)	cisco 7600 (MPLS)	
			catalyst 8500 (ATM)	catalyst 8500 (ATM)	
ALCATEL	7342 ISAM FTTU system	7342 ISAM FTTU system (Ethernet-MPLS)	switch multiservicios CBX 3500® (ATM-MPLS)	Alcatel-Lucent 1675 Lambda Unite MultiService (Ethernet)	Metro WDM Systems
		Alcatel 7250 (MPLS)	Alcatel-Lucent 7450 Ethernet Service Switch (Ethernet-MPLS)	CBX 500® Multiservice WAN Switch (ATM-MPLS)	
		Alcatel 7470 (ATM)	CBX 500® Multiservice WAN Switch (ATM-MPLS)		
HUAWEI	serie OT920-E	S2000 – HI switches (Ethernet)	Quidway S5300 (Ethernet)	Quidway® s6500 (Ethernet)	
		Quidway S7800 (Ethernet-MPLS)	Quidway® CX380 MSP (MPLS)	Quidway® S8500 (MPLS)	
				Quidway® S9300 (MPLS-Ethernet)	

Tabla 3/cap3. Resumen dispositivos para modelos físicos [152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180]

3.5.3. Modelos físicos

Los modelos físicos, están basado en el modelo físico general que se da en la figura 7 de este capítulo. A continuación describe que tecnologías pueden ser empleadas para cada solución por los proveedores que se mencionaron anteriormente.

3.5.3.1. PRIMERA SOLUCION:

Ethernet, GMPLS, Carrier Ethernet, e EPON





	ACCESO			CORE	TRANSPORTE
	USUARIO	BORDE	ACCESO		
					Carrier Ethernet
CISCO	CISCO Prisma D-PON	Cisco Catalyst 3750 (Ethernet-MPLS)	Cisco Catalyst 4900 (Ethernet)	Cisco 7200 (MPLS-Ethernet)	
			Cisco Catalyst 4500 (Ethernet)	Cisco catalyst 6500 (MPLS-Ethernet)	
ALCATEL	7342 ISAM FTTU system	7342 ISAM FTTU system (Ethernet-MPLS)	Alcatel-Lucent 7450 Ethernet Service Switch (Ethernet-MPLS)	Alcatel-Lucent 1675 Lambda Unite MultiService (Ethernet)	
HUAWEI	serie OT920-E	S2000 – HI switches (Ethernet)	Quidway S5300 (Ethernet)	Quidway® s6500 (Ethernet)	
				Quidway® S9300 (MPLS-Ethernet)	

Tabla 4/ cap3. Dispositivos para modelo físico de la primera solución.

Características de las conexiones:

CONEXIÓN	CAPACIDAD
Usuario – Sw de Borde	10-100 Mbps
Sw de Borde – Sw de Borde	10Gbps
Sw de Borde – Sw de acceso	10Gbps
Sw de acceso – Sw de Core	10Gbps
Sw de core – Sw de Core	40Gbps (3 canales)

Tabla 5/cap3. Características de las conexiones para la primera solución

Esta solución está encaminada hacia el empleo de Ethernet, puesto que brinda diferentes posibilidades para todos los campos de la red.

3.5.3.2. SEGUNDA SOLUCIÓN:

Se basa en las tecnologías ETHERNET, GMPLS, SDH, WDM, EPON.




	ACCESO			CORE	TRANSPORTE SDH-WDM	
	USUARIO 	BORDE 	ACCESO 			
CISCO	CISCO Prisma D-PON	Cisco Catalyst 3750 (Ethernet-MPLS)	Cisco Catalyst 3750 (Ethernet-MPLS)	Cisco 7200 (MPLS-Ethernet)	módulos de transmisión WDM	
				Cisco catalyst 6500 (MPLS-Ethernet)		
				cisco 7600 (MPLS)		
ALCATEL	7342 ISAM FTTU system	7342 ISAM FTTU system (Ethernet-MPLS)	switch multiservicios CBX 3500® (ATM-MPLS)	CBX 500® Multiservice WAN Switch (ATM-MPLS)	Metro WDM Systems	
			Alcatel 7250 (MPLS)			Alcatel-Lucent 7450 Ethernet Service Switch (Ethernet-MPLS)
			CBX 500® Multiservice WAN Switch (ATM-MPLS)			
HUAWEI	serie OT920-E	Quidway S7800 (Ethernet-MPLS)	Quidway® CX380 MSP (MPLS)	Quidway® S8500 (MPLS)		
				Quidway® S9300 (MPLS-Ethernet)		

Tabla 6/cap3. Dispositivos para modelo físico de la segunda solución

CONEXIÓN	CAPACIDAD
Usuario – Sw de Borde	10-100Mbps
Sw de Borde – Sw de Borde	10 Gbps (STM-64)
Sw de Borde – Sw de acceso	10 Gbps (STM-64)
Sw de acceso – Sw de Core	10 Gbps (STM-64)
Sw de core – Sw de Core	40 Gbps (STM-256) (3 canales)

Tabla 7/cap3. Características de las conexiones para la segunda solución.

La tercera solución, es basada en Ethernet, Salvo que el transporte se realiza sobre WDM y SDH

3.5.3.3. TERCERA SOLUCION:

Solución basada en ATM, WDM, GMPLS, SDH y APON





	ACCESO			CORE	TRANSPORTE SDH-WDM
	USUARIO	BORDE	ACCESO		
					
CISCO	CISCO Prisma D-PON	Cisco Catalyst 5500 (ATM)	catalyst 8500 (ATM)	catalyst 8500 (ATM)	módulos de transmisión WDM
ALCATEL	7342 ISAM FTTU system	Alcatel 7470 (ATM)	switch multiservicios CBX 3500® (ATM-MPLS)	Alcatel-Lucent 1675 Lambda Unite MultiService (Ethernet)	Metro WDM Systems
				CBX 500® Multiservice WAN Switch (ATM-MPLS)	
			CBX 500® Multiservice WAN Switch (ATM-MPLS)		

Tabla 8/cap3. Dispositivos para modelo físico de la tercera solución

CONEXIÓN	CAPACIDAD
Usuario – Sw de Borde	10-100Mbps
Sw de Borde – Sw de Borde	10 Gbps (STM-64)
Sw de Borde – Sw de acceso	10 Gbps (STM-64)
Sw de acceso – Sw de Core	10 Gbps (STM-64)
Sw de core – Sw de Core	40 Gbps (STM-256) (3 canales)

Tabla 9/cap3. Características de las conexiones para la tercera solución.

Está encaminada a empleo de ATM, esta solución brinda un manejo de paquetes ATM a lo largo de la red. Para potencializar el transporte y la capacidad de la red SDH, esta se combinará con WDM.

3.6. Simulaciones:

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la simulación para dos soluciones, la primera y la tercera. La segunda solución, es una solución que pretende combinar tecnologías Ethernet con transporte SDH-WDM, cosa que no es posible de realizar con el simulador escogido. Estos se realizaron como se menciona en el Anexo B con el simulador Opnet IT Guru versión académica.

- **SIMULACION CON ETHERNET (PRIMERA SOLUCION):**

La primera simulación corresponde a la simulación que se realiza bajo los parámetros de la primera solución, cuya característica corresponde a basarse en tecnologías Ethernet.

Trafico generado por cada estación de trabajo:

La tabla 10, resume el tráfico máximo generado por los distintos servicios que se corrieron en la simulación, este se da en el máximo de bytes que se genera en el envío del tráfico para la simulación con Ethernet.

Tipo de trafico	Tráfico generado (max-bytes)
Bases de Datos	45000
Email	8000
FTP	42000
HTTP	6000
Login Remoto	115
Voz	16000
Video	---

Tabla 10/cap3. Tráfico generado por las estaciones de trabajo.

Retardos en Ethernet:

La tabla11 muestra los valores de retardo entre el menor al mayor medidos en segundos con la simulación de Ethernet.

Tipo de trafico	Retardo (segundos)
Retardo Ethernet	De 0,000025 a 0.000155

Tabla11/cap3. Retardos.

Throughput en Ethernet:

La tabla 12, muestra los valores de throughput que se presentan entre los switches a lo largo de la red.

Throughput entre:	Valor máximo en Bits
Switch Borde – Switch Borde	250000
Switch Acceso – Switch Borde	250000

Switch Acceso – Switch Core	380000
-----------------------------	--------

Tabla12/cap3. Throughput.

- **SEGUNDA SOLUCION:**

No es posible simularla con este software.

- **SIMULACION CON ATM (TERCERA SOLUCION):**

Esta simulación corresponde a las características de la tercera simulación, la cual tiende a tecnologías ATM.

Trafico generado por cada estación de trabajo:

La tabla 13, resume el tráfico máximo generado por los distintos servicios que se corrieron en la simulación, este se da en el máximo de bytes que se genera en el envío del tráfico para la simulación con ATM.

Tipo de trafico	Trafico generado (max-bytes)
Bases de Datos	50000
Email	9000
FTP	35000
HTTP	5000
Login Remoto	100
Voz	16000
Video	---

Tabla 13/cap3. Tráfico generado por las estaciones de trabajo.

A continuación en la tabla 14, se muestra los valores de retardo en la simulación con ATM, medidos en segundos, del menor al mayor valor.

Retardos en ATM:

Tipo de trafico	Retardo (segundos)
Retardo en AAL5	De 0,0001 a 0,000275
Retardo en la celdas ATM	De 0,0001 a 0,0003

Tabla14/cap3. Retardos.

La table 15, muestra los valores de throughput entre los switches de la red dados por la simulación con ATM

Throughput en ATM:

Throughput entre:	Valor máximo en Bits
Switch Borde – Switch Borde	175000

Switch Acceso – Switch Borde	100000
Switch Acceso – Switch Core	200000

Tabla 15/cap3. Throughput.

Las dos simulaciones planteadas están por debajo de los valores, debido al número de estaciones de trabajo que tuvieron que ser usadas (número menor) y a que no se está incluyendo ni el tráfico de voz, ni al tráfico de video. De modo que los valores van a ser comparados y confrontados con los valores que se brindan en las soluciones para determinar las prestaciones de cada red.

Los resultados podrán encontrarse en el Anexo B.

3.6.1. Primera solución – Simulación con Ethernet

El tráfico generado por cada estación de trabajo depende del servicio que soporte, vemos así que para el acceso que se propone (de 1,5 Mbps), cada tráfico ocupa un porcentaje de este de la siguiente forma:

Trafico de Bases de datos,	45000 bytes,	24% del canal
Trafico de Email,	8000 bytes,	4,26% del canal
Trafico de FTP,	42000 bytes,	22,4% del canal
Trafico de HTTP,	6000 bytes,	2,8% del canal
Trafico de login remoto,	115 bytes,	0,00613% del canal
Trafico de voz,	16000 bytes,	8,5% del canal

Para un tráfico total de 117115 bytes, que ocupan un 62.5% del canal de acceso del usuario (sin incluir tráfico de video). Este valor es considerado como el valor crítico (se le denominara usuario crítico), donde sería el máximo tráfico que podría generar un usuario con todos los servicios corriendo.

Dado que los switches de borde deben soportar un total de 3125 líneas, si se considera que todos los usuarios de estas líneas generan trafico critico (117115 bytes), todo este tráfico suma un total de 365984375 bytes (349.03 Mbytes). Para el los switches de borde se consideran conexiones de 10Gbps, por lo que si se envía todo este tráfico por el canal, se tendrá que se ocupa un 29% del canal.

Entre los switches de borde y switches de borde, switches de borde y switches de acceso y entre switches de acceso y core, existen conexiones, se propone una conexión de 10Gbps. El número de usuarios críticos que pueden saturar el canal de 10Gbps es de 10673 usuarios. Recordando la distribución de usuarios, observamos que el anillo norte y occidente, tiene un total de 21875 líneas, el anillo oriente tiene 12500 líneas y por ultimo el anillo sur tiene 15625 líneas. Por lo tanto,

para el anillo norte u occidente puede cumplir con el 48% de usuarios generando tráfico crítico. Para el anillo oriente se puede cumplir con el 85% de los usuarios generando tráfico crítico y para el anillo sur, se puede cumplir con el 68% de usuarios generando tráfico crítico, sin tener en cuenta las aplicaciones de video.

Se proponen conexiones de 40Gbps para conectar los dispositivos de core. El caso más crítico sería cuando en los 3 anillos se genere tráfico máximo que se puede enviar, que sería de 10Gbits por anillo, lo que daría un total de 30Gbits de tráfico a través del core, donde los 10Gbits que restan, están disponibles para la escalabilidad de la red.

3.6.2. Segunda solución

Debido a las limitaciones del simulador en cuanto a emplear diversas tecnologías, no se permite la combinación de tráfico Ethernet en canales SONET, que son los que caracterizan a la segunda solución. Aunque en la realidad es posible efectuar esta combinación, con dispositivos para encapsular este tipo de tráfico dentro de SDH/SONET.

3.6.3. Tercera solución – Simulación con ATM

Al igual que en el caso anterior, el tráfico generado por cada estación de trabajo depende del servicio que soporte, vemos así que para el acceso que se propone (de 1,5 Mbps), cada tráfico ocupa un porcentaje de este de la siguiente forma:

Trafico de Bases de datos,	50000bytes,	26,6% del canal
Trafico de Email,	9000 bytes,	4,8% del canal
Trafico de FTP,	35000 bytes,	18.6% del canal
Trafico de HTTP,	5000 bytes,	2,6% del canal
Trafico de login remoto,	100 bytes,	0,053% del canal
Trafico de voz,	16000 bytes,	8,5% del canal

Para un tráfico total de 115100 bytes, que ocupan un 61.3% del canal de acceso del usuario (acceso de 1,5Mbps,). Este valor es considerado como el valor crítico (se le denominara usuario crítico), donde sería el máximo tráfico que podría generar un usuario con todos los servicios corriendo.

Dado que los switches de borde deben soportar un total de 3125 líneas, si se considera que todos los usuarios de estas líneas generan tráfico crítico (115100 bytes), todo este tráfico suma un total de 359687500 bytes (343.02 Mbytes). Para los switches de borde se consideran conexiones de STM 64 (10Gbps), por lo que

si se envía todo este tráfico por el canal, se tendrá que se ocupa un 28,8% del canal.

Entre los switches de borde y switches de borde, switches de borde y switches de acceso y entre switches de acceso y core, existen conexiones, se propone una conexión de STM 64 (10Gbps). El número de usuarios críticos que pueden saturar el canal de 10Gbps es de 10860 usuarios. Recordando la distribución de usuarios, observamos que el anillo norte y occidente, tiene un total de 21875 líneas, el anillo oriente tiene 12500 líneas y por último el anillo sur tiene 15625 líneas. Por lo tanto, para el anillo norte u occidente puede cumplir con el 49% de usuarios generando tráfico crítico. Para el anillo oriente se puede cumplir con el 86% de los usuarios generando tráfico crítico y para el anillo sur, se puede cumplir con el 69% de usuarios generando tráfico crítico, sin tener en cuenta las aplicaciones de video.

Se proponen conexiones de STM 256 (40Gbps) para conectar los dispositivos de core. El caso más crítico sería cuando en los 3 anillos se genere tráfico máximo que se puede enviar, que sería de 10Gbits por anillo, lo que daría un total de 30Gbits de trafico a través del core, donde los 10Gbits que restan, están disponibles para la escalabilidad de la red.

3.6.4. Conclusión de la simulación

Se observa gracias a los resultados de las simulaciones planteadas, que la mejor alternativa de la dos es Ethernet, dado que bajo estas condiciones brinda mejores prestaciones que la solución con ATM, puesto que genera mejores valores tráfico y un mayor throughput entre nodos y menores retardo que la simulación de ATM. En condiciones de manejo de trafico Critico, las dos tendrían un rendimiento muy similar, pero otro factor que se incluiría debe ser que ATM es una tecnología que ya está terminando su ciclo de vida.

Aunque falta observar cómo afectaría la simulación al aplicar WDM, tanto en las soluciones con Ethernet como en ATM, así mismo ver como se afecta el tráfico al incluir GMPLS (estas simulaciones pueden ser soportadas por el simulador Opnet pero en la versión comercial, la cual tiene un módulo MPLS y un paquete WDM Guru).

Respecto a la segunda solución planteada que es una combinación de SDH y Ethernet, físicamente se puede realizar, puesto que existen dispositivos para encapsular trafico Ethernet en interfaces STM, aunque no pudo ser simulada

debido a que son tecnologías que no están disponibles en el simulador, pero debido a este procesamiento, se espera que sus prestaciones sean un poco más bajas que las de la primera solución.

Aunque se tienen valores del canal sobredimensionados (se usa una pequeña parte del canal), esto puede ser usado en la escalabilidad de la red.

Se observa que el Throughput, ancho de banda y retardo cumplen con los valores necesarios para Grid en ambos casos, aunque sin olvidar que el desempeño es mejor en Ethernet.

CAPITULO 4

Conclusiones y recomendaciones

4.1.1. Conclusiones del proyecto:

- Paradigmas como Grid o Cloud son el futuro en lo que se refiere a la supercomputación debido a sus excelentes cualidades de procesamiento y almacenamiento de información, por esto es necesario analizar cuidadosamente cuales son los requerimientos (seguridad, escalabilidad y calidad de servicio en lo que se refiere a latencia, throughput, ancho de banda, disponibilidad y jitter) y necesidades que tienen para que puedan trabajar correctamente.
- Las tecnologías ópticas demostraron tener un buen desempeño en cuanto al cumplimiento de los requerimientos que fueron analizados de las redes Grid, por lo que, aunque no son la única alternativa a nivel de infraestructura que podrían tener estas redes, si son muy adecuadas para dar el soporte deseado.
- Hoy en día la tendencia es hacia la convergencia de una sola tecnología, esto no implica que una buena combinación de tecnologías no brinde una fórmula eficaz para conseguir en la fibra el rendimiento necesario para cumplir con los requerimientos de las redes Grid.
- Para la escogencia de soluciones de la red Grid planteada, fue útil tener en cuenta criterios como lo son cumplir con los requerimientos de Grid, convergencia hacia el empleo de pocas tecnologías y simplicidad de la red.
- En el diseño o implementación de una red, es muy importante seguir una metodología. Aunque no se encuentran muchas actualmente, una buena alternativa es la metodología de cisco Top-Down, debido a que es bastante clara en los pasos que se deben seguir.
- Aunque las tres soluciones planteadas para infraestructura cumplen con los requisitos establecidos para Grid, vale la pena resaltar que según los resultados obtenidos con el análisis que se realizó y la simulación, la mejor solución es la que converge hacia Ethernet, es decir, la primera solución.

4.1.2. Conclusiones de la temática

- Las redes Grid han tenido buena acogida y son muy atractivas para los diferentes estamentos que tienen necesidades de intercambio y procesamiento de información. Esto se debe a que proporcionan diferentes posibilidades como lo son la capacidad de compartir el tiempo de procesamiento de determinada tarea e intercambio de grandes volúmenes de información, el empleo de software remoto, el acceso a bases de datos, aplicaciones de video, audio, imágenes incluso en tiempo real, y en general servicios que pueden ser manejados desde entornos remotos y ubicados en diferentes regiones geográficas.
- La fibra óptica hoy por hoy, junto a las tecnologías que son empleadas para el empaquetamiento y transporte de datos, representan la forma más eficiente y de mayor capacidad que existe para transportar información, y su crecimiento no solamente afecta el core de las redes, sino que está atravesando toda la red hasta llegar al usuario final con todos sus beneficios.
- Para la creación u optimización de una red es preciso seguir una metodología, la cual sirve como guía para lograr que el estudio y análisis previo que exige esta tarea esté enfocado en la realidad de la red sobre la cual se trabaja, y de esta forma se puedan suplir las necesidades de la red en cuestión.

4.2. Recomendaciones:

- Actualmente en Colombia, el proyecto GRID COLOMBIA, pretende realizar una Grid computacional para compartir recursos entre las principales universidades del país. Sería importante que la Universidad del Cauca, participara de forma más activa en la realización de este proyecto, puesto que puede traer varios beneficios.
- Las redes Grid gozan de gran relevancia, puesto que en ellas se encuentra el futuro de la generación, procesamiento, y almacenamiento de información. La computación distribuida está creciendo a pasos agigantados, y en un futuro próximo, para ser profesionales más competitivos se deberá tener algunos conocimientos en este campo. Sería bueno que el estudio de este tipo de aplicaciones se incluya dentro del plan de estudios del programa de la facultad.

- Las simulaciones para este tipo de trabajos se hacen complicadas, ya que requieren bastante tiempo para el estudio de las diferentes opciones que existen, además en ocasiones es engorroso, debido a que las versiones libres de los software de simulación son insuficientes para los requerimientos o son de gran complejidad desde su instalación hasta su uso, por lo tanto se hace necesario que la Universidad adquiriera un software para la simulación de redes ópticas y otro tipo de redes, que sea de fácil aprendizaje, que involucre niveles más altos que la capa física y permita simular diferentes tipos de tecnologías ópticas.
- Como trabajo futuro se puede realizar el establecimiento y pruebas del middleware de Grid dentro de la red de la universidad del Cauca, para explorar las aplicaciones y las posibilidades que tiene este software.

Bibliografía

- [1] F. Berman, G. Fox, T. Hey, *Grid Computing Making the Global Infrastructure a Reality*, Inglaterra: 2003, capítulo *present and future*.
- [2] I. Foster, C. Kesselman, *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*, 1999
- [3] I. Foster, C. Kesselman y S. Tuecke, *The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations*, International Journal of Supercomputer Applications, 2001.
- [4] I. Foster, *What is the Grid? A Three Point Checklist*, Argonne National Laboratory & University of Chicago, Julio de 2002.
- [5] Grupo de trabajo OGSA de Global Grid Forum, *The open Grid Service Architecture, version 1.0*, enero de 2005.
- [6] David Chappell y Davis Berry, *next generation Grid enables SOA*, 2008.
- [7] Michael di Stefano, *distributed data management for Grid computing*, New Jersey, Canada: 2005.
- [8] I. foster, C. kesselman, J. M. Nick y S. Tuecke, *the physiology of the grid*, 2002.
- [9] Grid High Performance Networking Research Group, *Networking Issues for Grid Infrastructure*, 2004.
- [10] EGEE, European Union, “Eurogrid the testbed for European Grid computing”, Julio de 2004, disponible en <http://www.eurogrid.org/>.
- [11] Condor Research Project - Universidad de Wisconsin-Madison (UW-Madison), “Condor”, disponible en <http://www.cs.wisc.edu/condor/>
- [12] National Institute of health, Bioscience for the future, disponible en <http://www.thebiogrid.org/>
- [13] national cancer institute, “caBIG”, disponible en <https://cabig.nci.nih.gov/>
- [14] The National Science Foundation, “NEES”, disponible en http://www.nees.org/About_NEES/
- [15] Grid Colombia, disponible: <http://urania.udea.edu.co/grid-colombia/index.php>, 2006.
- [16] G. A. Isaza y N. D. Duque Méndez, *Arquitecturas y modelos de programación en computación grid*, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.
- [17] J. Morales, D. de la Peña y E. Gonzales, *G+ Grilla computacional medida por agentes*, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2008.

- [18] J.J. Escudero Garzás, *Grid e IPv6*, Madrid: Universidad Carlos III Doctorado en Tecnologías de las Comunicaciones / Integración de Redes y Servicios, 2003.
- [19] D. Simeonidou, R. Nejabati y M. J. O'Mahony, *An optical network infraestructura suitable for global Grid computing*, Terena: 2004.
- [20] IEC(international engineering consortium), *making sense of next generation optical networks*, 2006
- [21] Open Grid Forum, *Grid Optical Burst Switched Networks*, 2008.
- [22] GGF performance working group, *A grid monitoring architecture*, 2002.
- [23] Global Grid Forum, *Grid Schedulling dictionary of terms and keywords*, 2002.
- [24] Global Grid Forum, *Optical network infraestructure for Grid*, GFD-I.036, 2004.
- [25] A. J. Wells, *Grid database design*, 2005.
- [26] GGF network measurements working group, *A Hierarchy of Network Performance Characteristics for Grid Applications and Services*, 2004.
- [27] Cyfronet, "The cross project", 2002, disponible en <http://www.eu-crossgrid.org/project.htm>
- [28] OGSA-WG, *Open Grid services architecture- a road map*, 2003.
- [29] Global Grid Forum, *optical network infraestructure*, 2003.
- [30] G. Zervas, R. Nejabati y D. Simeonidou, *Grid-empowered Optical Burst Switched Network: Architecture, Protocols and Testbed*, 2007.
- [31] I. Foster, *The Network is the Grid?*, NetworkWorld: 2005.
- [32] "Ethernet", [on line], disponible en <http://www.textoscientificos.com/redes/Ethernet>; [textoscientificos.com](http://www.textoscientificos.com); 2006
- [33] Microsoft Corporation, "Microsoft TechNet",[on line], disponible en <http://technet.microsoft.com/es-es/library/cc787792.aspx>, 2009
- [34] "SDH Next Generation", *W-onesys*, [on line] <http://www.w-onesys.com/esp/aplicaciones.php?id=3>, 2009
- [35] "SONET / SDH Technical Summary", TechFest.com, [on line] <http://www.techfest.com/networking/wan/sonet.htm>, 2002
- [36] A. Gonzales, *Redes, Protocolos y Estándares*, 2009
- [37] Furukawa, Access Advantagetm Systems, *Solución FTTx a prueba de futuro*, 2007
- [38] B. Weisinger, *Road to 100G Alliance, Ethernet Alliance*, 2008
- [39] C Simoni, *Fibras Opticas Aplicaciones en redes de Telecomunicaciones y Broadcasting*, SERPROTEL Capacitacion Tecnologica Avanzada, 2008
- [40] E. Martínez Martínez, *Redes de Alta velocidad SDH/SONET*, Revista Red; 2003

- [41] H. G. weber, R Ludwing, *ultra-high-speed OTDM transmission technology*, Optical Fiber Telecommunications V, 2008
- [42] H. K. Lew, S. Spanier, T. Stevenson, M. Ford, *Internetworking Technologies Handbook*, Cisco Systems: Books, 2003
- [43] H.M. Foisel, *Optical Internetworking Forum / OIF: ASON/GMPLS Inter-Domain Interfaces, Integration of Control and Data Plane Functions*, Optical Interworking Forum, Deutsche Telekom 2008.
- [44] I. D. Cruz Prada, *ATM Modo de Transferencia Asíncrona*, 2004
- [45] IEEE, *Ethernet in the First Mile*, IEEE 802.3ah, 2004
- [46] J Infiesta Saborit, *Información tecnológica y energías renovables*, Fabila, 2008
- [47] J. C. Francoy, B. Ortega Tamarit, *Redes ópticas*, Universidad Politécnica de Valencia, 2006
- [48] J. D'Ambrosia, D. Stauffer, C. Cole, *Paving the Way for 100 Gigabit*, Ethernet Alliance, 2008
- [49] J. Germano, *Sonet*, 2001
- [50] J. M. Domínguez Picazo, *Jerarquía Digital Síncrona (SDH)*, 2004
- [51] L. G. Sienra, *WDM. Una Tecnología con Fibra, cinit*, 2001
- [52] L. T. Rodríguez, *Gigabit Ethernet*, 2007
- [53] L.G. Sienra, *WDM con fibra*, satellite CATV News, 2007
- [54] R. J. Millán Tejedor, *Qué es CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)*, 2006
- [55] R. J. Millán Tejedor, *GPON (Gigabit Passive Optical Network)*, BIT nº 166, COIT & AEIT, 2007
- [56] R. J. Millán Tejedor, *Integración de redes ópticas e IP con GMPLS*, Comunicaciones World nº 172, IDG Communications S.A; 2002
- [57] R. J. Millán Tejedor, *La tecnología líder del transporte óptico: SDH*, IDG Communications S.A., Comunicaciones World, nº 156, 2001
- [58] R. Yañez de la Rivera, *Redes Ópticas Inteligentes*, 2006
- [59] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Arquitectura de la red óptica con conmutación automática*, UIT-T G 8080/ Y 1304, 2006
- [60] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Arquitectura de las redes de transporte ópticas*, UIT-T G 872, 2001
- [61] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Características de los cables de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 μm para la red de acceso óptico*,UIT-T G 651.1, 2007
- [62] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Características de las fibras y cables ópticos monomodo*, UIT-T G 652, 2006

- [63] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona*, UIT-T G 783, 2006
- [64] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas*, UIT-T G 703, 2001
- [65] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Esquema de ajuste de la capacidad del enlace para señales concatenadas virtuales*, UIT-T G 7042 / Y 1305, 2006
- [66] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos*, UIT-T G 692, 1998
- [67] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Interfaces para la red de transporte óptica*, UIT-T G 709 / Y1331, 2006
- [68] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona*, UIT-T G 707 / Y1322, 2000
- [69] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales*, UIT-T G 984.1, 2008
- [70] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas*, UIT-T G 983.1, 2006.
- [71] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Velocidades binarias de la jerarquía digital*, UIT-T G 702, 1988.
- [72] W. Grote, C. Henry, R. Olivares y F. Saavedra, *Desarrollo de una red experimental IP/WDM*, 2007.
- [73] X. Hesselbach, M. Huerta, O. Calderón, *Introducción a las tecnologías MPLS, MPλS y GMPLS*, Universidad Politécnica de Catalunya
- [74] Ciena, *Analysis and Benefits of Carrier Ethernet in Metro Networks*, 2009.
- [75] G. Held, *Carrier Ethernet: Providing the Need for Speed*, Taylor & Francis Group, LLC, 2008.
- [76] M. De Leenheer, C. Develder, F. De Turck, B. Dhoedt, P. Demeester, *Erlang Reduced Load Model for Optical Burst Switched Grids*, Dept. of Information Technology – IBBT Ghent University, 2009.
- [77] M. De Leenheer, E. Breusegem, J. Cheyns, P. Thysebaert, B. Volckaert, F. De Turck, B. Dhoedt, P. Demeester, *Optical Burst Switching for Consumer Grids*, *intec*, Ghent University, 2009.
- [78] A. Garg, R. Kaler, *Performance Analysis of Optical Burst Switching High - Speed Network Architecture*, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.7 No.4, 2007.
- [79] trend communications, *Combined jitter test for SDH/SONET*

- [80] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)*, ITU-T Rec. O.172, 1997.
- [81] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Sub STM-0 network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)*, ITU-T rec G.708, 1999
- [82] L. Sanchez, A. Rodriguez y T. Lopez, *Jerarquía digital síncrona SDH*, Universidad Yacambu, Venezuela
- [83] C. A. García, *Análisis de la tecnología Ip sobre WDM*, Valdivia: 2006.
- [84] technews, *building high-ethernet functionality into SDH: An introduction*, mayo de 2007.
- [85] C. Bohm, *Solving QoS bottleneck in video and triple play networks*, septiembre de 2008
- [86] Ercoa, *Aspectos relativos a las redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH*, 2007.
- [87] E. Herrera, *tecnologías y redes de transmisión de datos*, 2003.
- [88] ITU-T, *Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona* ITU-T rec.G.803, 2001.
- [89] J. M. Caballero y F. Hens, *Next Generation SDH/SONET: bandwidth management with LCAS*, 2005.
- [90] Net Insight, *terrestrial and broadcast and media network solutions*
- [91] L. Rosinski, *Fiber Optics encoders*, 1992
- [92] V. Mikhailov, H. J. Thiele, R. I. Killey and P. Bayvel, *Experimental investigation of collision-induced timing jitter and pulse distortion in WDM return-to-zero dispersion-managed systems*, 2000
- [93] G. P. Agrawal, *Lighthwave technology*, 2005
- [94] S. Dixit, *Ip over WDM*, 2003
- [95] G. Kaur, M. L. Singh, *Effect of four wave mixing in WDM optical fibre systems*, india: 2007.
- [96] Agilent technologies, *Introducing to BER testing of WDM systems*, 1997
- [97] v. Kornev, *Desing the transmission layer*, 2006.
- [98] C. illmer, *WDM system fashion next-generation SAN*, 2005
- [99] N. K. Dutta, M. Fujiwara, *WDM technologies*, 2004
- [100] J. Nevelle, *seeing the light – WDM for gigabit speed services*, 2009.
- [101] Tellabs, *Integrate next generation WDM transport*, nota de aplicación, 2005.
- [102] G. Gored y E. Erlich, *Ethernet in the wide area network*, 2001.
- [103] P. Bedell, *Gigabit ethernet for metro area networks*, 2003.
- [104] M. Demyttenaere y S. Legault, *Quality of service for Ethernet*, 2005.
- [105] M. O. Sadiku, *optical and wireless communications*, 2002.

- [106] T. Larsen, *advantage Ethernet*, European communications, 2004.
- [107] L. Harper, *benefits of Gigabit Ethernet*, 2009.
- [108] 10gea, *10 Gigabit Ethernet technology overview*, 2002.
- [109] FTTH FORUM, *Fiber To The Home* [on line] disponible en <http://www.ftthforum.net/es/links.php>, 2009.
- [110] Furukawa, *Solución FTTx a prueba de futuro*, Access Advantagem Systems, 2007.
- [111] H. M. Foisel, *ASON-GMPLS Control Planes Overview*, Optical Interworking Forum, 2008.
- [112] PennWell, *FFTH Resource Center*, [on line] disponible en http://lw.pennnet.com/articles/fttx_home.cfm, lightwave, 2009.
- [113] Wisegeek, *What is FFTH?*, [on line] disponible en <http://www.wisegeek.com/what-is-ftth.htm>, 2003
- [114] X. Hesselbach, M. Huerta, O. Calderón, *Introducción a las tecnologías MPLS, MPAS y GMPLS*, Universidad Politécnica de Catalunya.
- [115] D. Mei - J. Wang - Y. Jin - Y. Wang - W. Guo - W. Sun, *A Model of Service Interface for Grid over ASON*, Shanghai Jiao Tong University, China
- [116] E. Escalona, J. Perelló, S. Spadaro, J. Comellas, G. Junyent, S. Figuerola, *Experimental Optical Grid Interface for ASON/GMPLS Service Oriented Networks*, Optical Communications Group, universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España
- [117] Global Grid Forum, *A Hierarchy of Network Measurements for Grid Applications and Services*, 2002.
- [118] H. Song, Sang-Il Lee, and C. Hyun Youn, *Cost Model Based Configuration Management Policy in OBS Networks*, 2005.
- [119] AIT, *Grid Network Design*, 2006
- [120] ADVA optical networking, *Optical Network for cloud and Grid computing*, 2009.
- [121] Y. Chen, W. Tang, y P. K. Verma, *Latency in Grid over Optical Burst Switching with Heterogeneous Traffic*, 2007.
- [122] L. Xu, H. G. Perros, y G. Rouskas, *Techniques for Optical Packet Switching and Optical Burst Switching*, 2001.
- [123] J. Bowers, E. Burmeister, D. Blumenthal, *Optical Buffering and Switching for Optical Packet Switching*, 2006.
- [124] Voice&Data, *Carrier Ethernet*, 2008.
- [125] Ozgur Aytar, *Demystifying Opex & Capex Budgets: A pyramid research study*, 2007.
- [126] C. Dowalt, *The world of OPEX and CAPEX*, 2008.

- [127] J. Hawkins, *Carrier Ethernet Ready for Prime Time: Five Things to Consider*, 2007.
- [128] J. Alba, *Tecnologías de Redes privadas Virtuales*, 2004.
- [129] D. Martínez, *tecnología NG-SDH*, 2008.
- [130] R. Millán, *la tecnología líder de transporte óptico*, 2001.
- [131] Ercoa, *factores que condicionan el escenario futuro de las redes ópticas*, 2007.
- [132] T. Robles, D. Iarrabeiti, *Internet del futuro: visión y tecnologías implicadas*, 2009.
- [133] W. Habisreitinger, *Next generation SONET/SDH- Technologies and applications*, 2007.
- [134] R. Aparicio, B. García y P. Pavón, *planificación de redes troncales de conmutación óptica transparente*, 2008.
- [136] J. Ayala, J. Conesa, J. Comellas y G. Junyent, *Simulación del comportamiento de redes de transporte ópticas*, 2007.
- [137] J. Sauer, *Carrier Ethernet nears MAN/WAN tipping point*, 2007.
- [138] P. Oppenheimer, *Top-Down Network Design Second Edition*, CISCO, 2004.
- [139] Open Grid Forum, OGF Areas and Groups, [on line], disponible en http://www.ggf.org/gf/group_info/areasgroups.php?area_id=7, 2009.
- [140] D. Cestari, *Grid Computing*, [on line], disponible en <http://www ldc.usb.ve/~yudith/docencia/ci-4822/gridcomputing.pdf>
- [141] portalhispanos.com, Atlas, CMS, Alice, LHCf y TOTEM: LHC Experiments [on line], disponible en <http://portalhispanos.com/ciencia/?p=72>, 2009.
- [142] Polycom, *Supporting Real-time Traffic Preparing Your IP Network for Video Conferencing*, 2006
- [143] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Nacimiento de la banda ancha - Preguntas formuladas con frecuencia*, [on line], disponible en <http://www.itu.int/osg/spu/publications/birthofbroadband/faq-es.html>, 2003
- [144] H. Takahashi, M. Takizawa, S. Kobayashi, O. Kamatani, y O. Ishida, *Achieving Large Bandwidth by Leveraging Parallelism in End-Hosts and Networks*, 2008.
- [145] I. Judson, *Access Grid Node Minimum Requirements*, 2002.
- [146] K. Dooley, *Desing large scale LANs*, 2002.
- [147] J. Anuskiewicz, *Measuring jitter accurately*, 2008.
- [148] P. Sevcik y R. Wetzel, *Improving Effective WAN Throughput for Large Data Flows*, 2008.
- [149] T. Szigeti, C. Hattingh, *end to end QoS network desing*, 2005.

- [150] A. Petlund, K. Evensen, P. Halvorsen y G. Griwodz, *Improving application layer latency for reliable thin-stream game traffic*, 2008.
- [151] Oferta pública con aviso en prensa, No. OPP-GUENT-031-2007 PLIEGO DE CONDICIONES, Emtel EICE-ESP.
- [152] CISCO, Cisco Prisma D-PON, [on line] disponible en <http://www.cisco.com/en/US/products/ps10444/index.html>, 2009
- [153] CISCO-Data Sheet, Prisma D-PON System ONT and Upstream Receiver - 7017049, 2009
- [154] CISCO-Data Sheet, Prisma D-PON System Optical Passives for PON – 7017620, 2009
- [155] CISCO-Data Sheet, Prisma D-PON System 1550 nm Downstream Transmitter and EDFA - 7016765, 2009
- [156] Alcatel-Lucent, Alcatel-Lucent 7342 Intelligent Service Access Manager (ISAM) Fiber to the User (FTTU), 2009.
- [157] Cisco Systems, Cisco Catalyst **3750** Series Switches - data sheet, 2004.
- [158] Huawei technologies, Quidway® S2000-HI Series Intelligent Access Switches, 2006
- [159] HUAWEI, OT920-E, [on line], disponible en <http://www.huawei.com/products/terminal/products/view.do?id=102>, 2009
- [160] Cisco Systems, Sistema de conmutación Catalyst 5500,
- [161] Huawei technologies, Quidway S7800series Carrier-class Switches overview,
- [162] Alcatel-Lucent, Alcatel-Lucent 7342 Intelligent Service Access Manager (ISAM) Fiber to the User (FTTU), 2007.
- [163] Alcatel, Alcatel 7470, 2000.
- [164] Alcatel- lucent, *Alcatel-Lucent 7250 SAS SERVICE ACCES SWITCH*, 2008.
- [165] CISCO, Cisco Catalyst 4900, [on line], disponible en <http://www.cisco.com/en/US/products/ps6021/index.html>, 2009.
- [166] Cisco, Cisco Catalyst 3750 Metro Series Switches, [on line] disponible en <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/switches/ps5532/index.html>, 2009
- [167] Cisco, Cisco catalyst 3750, data sheet, 2009.
- [168] CISCO, Cisco Catalyst 4500 Series Switches, [On line] disponible en http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps4324/product_data_sheet09186a008033a3bd.html, 2009
- [169] CISCO, Cisco Catalyst 8500 Series Multiservice Switch Routers, [on line] <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/switches/ps718/index.html>

- [170] ALCATEL-LUCENT, CBX 3500® Multiservice Edge Switch, [on line], disponible en http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/products/detail?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000021.xml, 2009.
- [171] ALCATEL-LUCENT, Alcatel-Lucent 7450 Ethernet Service Switch, [on line] disponible en http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/products/detail?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000418.xml, 2009
- [172] ALCATEL-LUCENT, CBX 500® Multiservice WAN Switch, [on line], disponible en http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/products/detail?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000022.xml, 2009.
- [173] HUAWEI, Quidway® S5300 Series Carrier-Class Gigabit Ethernet Switches Overview, [on line] disponible en <http://www.huawei.com/products/datacomm/detailitem/view.do?id=4550&rid=2977>, 2009.
- [174] HUAWEI, Quidway® CX380 Metro Services Platform, [ON LINE], disponible en <http://www.huawei.com/products/datacomm/detailitem/view.do?id=4012&rid=2375>, 2009.
- [175] CISCO, Cisco Catalyst 6500 serie switches, video Data Sheet, [on line], disponible en <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/switches/ps708/index.html>, 2009.
- [176] CISCO, Cisco 7600 Series Routers, Video Data Sheet, [on line], disponible en <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/routers/ps368/index.html>, 2009.
- [177] ALCATEL-LUCENT, Alcatel-Lucent 1675 Lambda Unite MultiService Switch, [on line], disponible en http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/products/detail?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000043.xml, 2009.
- [178] HUAWEI, Quidway® S6500 Series High-end Multi-service Switch Overview, [on line], disponible en <http://www.huawei.com/products/datacomm/detailitem/view.do?id=960&rid=69>, 2009.

- [179] HUAWEI, Quidway® S8500 switch series Overview, [on line],
disponible en
<http://www.huawei.com/products/datacomm/detailitem/view.do?id=958&rid=70>, 2009.
- [180] HUAWEI, Quidway- S9300 Series Terabit Routing Switch, [on line],
disponible en
<http://www.huawei.com/products/datacomm/catalog.do?id=3095>, 2009
- [181] Marty Humphrey, Mary R. Thompson, Security Implications of Typical
Grid Computing Usage Scenarios, 2000
- [182] ZTE, *A Unified Service Platform: ZXUP10*, 2004