

**ESTABLECIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE EL ÁREA FUNCIONAL  
DE DESEMPEÑO DE LA ARQUITECTURA TMN, CON EL MODELO OPM.**



**CRISTINA MARCELA GÓMEZ MUÑOZ  
ÁNGELA MARIA VIVEROS EGAS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2009**

**ESTABLECIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE EL ÁREA FUNCIONAL  
DE DESEMPEÑO DE LA ARQUITECTURA TMN, CON EL MODELO OPM.**

**CRISTINA MARCELA GÓMEZ MUÑOZ  
ÁNGELA MARIA VIVEROS EGAS**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director:  
Ing. ALEJANDRO TOLEDO TOVAR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2009**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>ACRÓNIMOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. CONCEPTOS PRINCIPALES DE TMN Y OPM .....</b>	<b>4</b>
1.1. GESTIÓN DE REDES .....	4
1.2. OPM.....	5
1.3. ELECCIÓN DE LA ARQUITECTURA DE GESTIÓN .....	6
<b>2. FUNCIONES DE DESEMPEÑO PERTENECIENTES A LOS NIVELES LÓGICOS DE TMN.....</b>	<b>15</b>
2.1. ÁREA FUNCIONAL DE DESEMPEÑO .....	15
2.2. FUNCIONALIDAD DE LAS CAPAS DE LA LLA.....	18
2.3. ASIGNACIÓN DE LAS FUNCIONES DE DESEMPEÑO DENTRO DE LAS CAPAS DE LA LLA.....	20
2.4. FUNCIONES DE DESEMPEÑO PERTENECIENTES A LA EML Y A LA NML.....	29
<b>3. INTERACCIÓN ENTRE EL MODELO OPM Y LAS FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE TMN .....</b>	<b>32</b>
3.1. OPM .....	32
3.2. ASIGNACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL ESPECTRO OPM EN LAS CAPAS DE ESTE MODELO.....	34
3.3. ESTABLECIMIENTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE OPM Y LOS CONJUNTOS DE FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE TMN PERTENECIENTES A LA EML Y LA NML.....	43
<b>4. CORRESPONDENCIA ENTRE LA ARQUITECTURA FUNCIONAL DE TMN Y LAS FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE LA NML Y LA EML.....</b>	<b>64</b>
<b>5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS... 76</b>	
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 1.</b> Esquema General de la solución propuesta.....	2
<b>Figura 2.</b> Modelo en capas de la Arquitectura TMN [23]. .....	9
<b>Figura 3.</b> Bloques de función de TMN [21]. .....	12
<b>Figura 4.</b> Puntos de referencia entre bloques de función de gestión [21].....	12
<b>Figura 5.</b> Funciones de desempeño de TMN correspondientes a los niveles de Gestión de Red y Gestión de Elementos de Red.....	30
<b>Figura 6.</b> Representación del proceso realizado en el capítulo 2. ....	31
<b>Figura 7.</b> Espectro de Parámetros OPM [8].....	33
<b>Figura 8.</b> Capas del Modelo OPM [1]. .....	34
<b>Figura 9.</b> Parámetros que pertenecen al Monitoreo de la capa de Gestión de Canal.....	35
<b>Figura 10.</b> Parámetros que pertenecen al Monitoreo de la Capa de Calidad de Canal.....	39
<b>Figura 11.</b> Parámetros asignados dentro de cada una de las capas del modelo OPM. ....	43
<b>Figura 12.</b> Conjuntos de funciones de desempeño pertenecientes a la EML y a la NML, que presentan inconvenientes en el establecimiento de la interacción con el modelo OPM.....	49
<b>Figura 13.</b> Representación del problema planteado.....	52
<b>Figura 14.</b> Estructura del Bloque de Procesamiento de la Información.....	53
<b>Figura 15.</b> Procesamiento interno del módulo de minería .....	53
<b>Figura 16.</b> Modelo de gestión propuesto. ....	61
<b>Figura 17.</b> Representación del proceso realizado en el capítulo 3. ....	63
<b>Figura 18.</b> Esquema del procedimiento realizado. ....	74

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Asignación dentro de las capas de la LLA, de los conjuntos de funciones de gestión del Grupo Garantía de Desempeño. ....	21
<b>Tabla 2.</b> Asignación dentro de las capas de la LLA, de los conjuntos de funciones de gestión del Grupo Supervisión del Desempeño. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Asignación dentro de las capas de la LLA, de los conjuntos de funciones de gestión del Grupo Control de la Gestión de Desempeño. ....	25
<b>Tabla 4.</b> Asignación dentro de las capas de la LLA, de los conjuntos de funciones de gestión del Grupo Análisis del Desempeño. ....	27
<b>Tabla 5.</b> Parámetros requeridos para aspectos de tráfico, medidos sobre redes que realizan conversión O/E/O. ....	56
<b>Tabla 6.</b> Parámetros requeridos para aspectos de tráfico medidos sobre redes completamente ópticas. ....	57
<b>Tabla 7.</b> Conjuntos que han sido cumplidos con el Modelo OPM actual, con el propuesto y los que no se deben considerar dentro de este, debido a su enfoque. ....	62
<b>Tabla 8.</b> Relaciones entre bloques de función lógicos expresados como puntos de referencia [21] .....	64
<b>Tabla 9.</b> Interacción entre los conjuntos de funciones de desempeño de la EML y los bloques funcionales. ....	72
<b>Tabla 10.</b> Interacción entre los conjuntos de funciones de desempeño de la NML y los bloques funcionales. ....	73

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro sinóptico 1.</b> Conjuntos de funciones de Garantía de Desempeño ....	<b>16</b>
<b>Cuadro sinóptico 2.</b> Conjuntos de funciones de Supervisión del Desempeño.....	<b>17</b>
<b>Cuadro sinóptico 3.</b> Conjuntos de funciones de Control de la gestión de desempeño .....	<b>17</b>
<b>Cuadro sinóptico 4.</b> Conjuntos de funciones de Análisis del Desempeño .....	<b>18</b>

## ACRÓNIMOS

<b>ASE:</b>	<i>Amplified Spontaneous Emisión</i> (Emisión Espontánea Amplificada)
<b>BLA:</b>	<i>Business Level Agreement</i> (Acuerdo de Nivel de Negocio)
<b>CCITT:</b>	<i>International Consultative Committee on Telegraphy and Telephony</i> (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico)
<b>CD:</b>	<i>Chromatic Dispersion</i> (Dispersión Cromática)
<b>CITEDI:</b>	Centro de Investigación y desarrollo de Tecnología Digital
<b>PMD:</b>	<i>Polarization Mode Dispersion</i> (Dispersión por Modo de Polarización)
<b>CMIS:</b>	<i>Common Management Information Services</i> (Servicio de Información de Gestión Común)
<b>CMIP:</b>	<i>Common Management Information Protocol</i> (Protocolo de Información de Gestión Común)
<b>CWDM:</b>	<i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i> (Multiplexación por División de longitud de Onda Espaciada)
<b>DCF:</b>	<i>Data Communication Function</i> (Función de Comunicación de Datos).
<b>DMTF:</b>	<i>Distributed Management Task Force</i> (Grupo de Trabajo de Gestión Distribuida)
<b>DWDM:</b>	<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i> (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa)
<b>EDFA:</b>	<i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i> (Amplificador de Fibra Dopada con Erblio)
<b>EML:</b>	<i>Element Management Layer</i> (Nivel de Gestión de Elementos)
<b>E-OSF:</b>	<i>Element - Operations Systems Function</i> (Función de Sistema de Operaciones de Elemento de red)
<b>ESNR:</b>	<i>Electrical Signal-to-Noise Ratio</i> (Relación Señal a Ruido Eléctrica)
<b>FCAPS:</b>	<i>Fault, configuration, accounting, performance, and security</i> (Fallos, configuración, contabilidad, desempeño y seguridad)
<b>FGNGN:</b>	<i>Focus Group on Next Generation Networks</i> (Grupo Enfocado a Redes de Nueva Generación)
<b>GDMF:</b>	<i>Guidelines for the Definition of TMN Management Functions.</i> (Directrices para la Definición de Funciones de Gestión de la RGT)

<b>GDMO:</b>	<i>Guidelines for Definition of Managed Objects</i> (Directrices para la Definición de Objetos Gestionados)
<b>GMPLS:</b>	<i>Generalized MultiProtocol Label Switching</i> (MPLS generalizado)
<b>GNTT:</b>	Grupo de I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones.
<b>IETF:</b>	<i>Internet Engineering Task Force</i> (Grupo de Tareas de Ingeniería de Internet)
<b>ISMF:</b>	<i>Internet Standard Management Framework</i> (Marco de Referencia de Gestión Estándar de Internet)
<b>ITU:</b>	<i>International Telecommunication Union</i> (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
<b>ITU-T:</b>	<i>Telecommunication Standardization Sector Of ITU</i> (Sector de Telecomunicaciones de la ITU)
<b>ISI:</b>	<i>Inter-Symbol Interference</i> (Interferencia Inter-Simbólica)
<b>ISO:</b>	<i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional para la Estandarización)
<b>KDD:</b>	<i>Knowledge Discovery in Databases</i> (Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos)
<b>LED:</b>	<i>Light-Emitting Diode</i> (Diodo Emisor de Luz)
<b>LD:</b>	<i>Laser Diode</i> (Diodo Láser)
<b>LLA:</b>	<i>Logical Layered Architecture</i> (Arquitectura Lógica por Capas)
<b>MAN:</b>	<i>Metropolitan or Regional Area Networks</i> (Redes Metropolitanas ó de Área Regional)
<b>NE:</b>	<i>Network Element</i> (Elemento de Red)
<b>NEF:</b>	<i>Network Element Function</i> (Bloque de Función de Elemento de Red)
<b>NEL:</b>	<i>Network Element Layer</i> (Nivel de Elemento de Red)
<b>NGN:</b>	<i>Next Generation Networks</i> (Redes de Nueva Generación)
<b>NGNM:</b>	<i>Next Generation Networks Management</i> (Gestión de Redes de Nueva Generación)
<b>NMB:</b>	<i>Business Management Layer</i> (Nivel de Gestión de Negocio)
<b>NML:</b>	<i>Network Management Layer</i> (Nivel de Gestión de Red)
<b>NMS:</b>	<i>Service Management Layer</i> (Nivel de Gestión de Servicios)
<b>N-OSF:</b>	<i>Network - Operations Systems Function</i> (Función de Sistema de Operaciones de Red)
<b>NZDSF:</b>	<i>Non Zero Dispersion Shift Fiber</i> (Fibra de dispersión desplazada con valor no-cero)

<b>MAF:</b>	<i>Management Application Function</i> (Funciones de Aplicación de Gestión)
<b>MD:</b>	<i>Data Mining</i> (Minería de Datos)
<b>MFA:</b>	<i>Management Functional Areas</i> (Áreas Funcionales de Gestión)
<b>MIB:</b>	<i>Management Information Base</i> (Base de Información de Gestión)
<b>MPLS:</b>	<i>MultiProtocol Label Switching</i> (Conmutación de Etiquetas Multi-Protocolo)
<b>OADM:</b>	<i>Optical Add Drop Multiplexer</i> (Multiplexor de Adición/Extracción Óptica)
<b>OIF:</b>	<i>Optical Internetworking Forum</i> (Foro de Interconexión Óptica)
<b>OPM:</b>	<i>Optical Performance Monitoring</i> (Monitoreo de Desempeño Óptico)
<b>OS:</b>	<i>Operations Systems</i> (Sistemas de Operaciones)
<b>OSF:</b>	<i>Operations Systems Function</i> (Función de Sistemas de Operaciones)
<b>OSI:</b>	<i>Open System Interconnection</i> (Interconexión de Sistemas Abiertos)
<b>OSNR:</b>	<i>Optical Signal to Noise Ratio</i> (Relación Señal a Ruido Óptica)
<b>OXC:</b>	<i>Optical Cross Connect</i> (Conector Óptico Cruzado)
<b>PM:</b>	<i>Performance Monitoring</i> (Monitoreo de Desempeño)
<b>PMD:</b>	<i>Polarization Mode Dispersion</i> (Dispersión por Modo de Polarización)
<b>PPM:</b>	<i>Protocol Performance Monitoring</i> (Monitoreo de Desempeño de Protocolo)
<b>PoS:</b>	<i>Packet Over SONET</i> (Paquetes sobre SONET)
<b>PTO:</b>	<i>Public Telecommunication Operators</i> (Operadores de Telecomunicaciones Públicas)
<b>QoS:</b>	<i>Quality of Service</i> (Calidad de Servicio)
<b>RACE:</b>	<i>Research and development in Advanced Communications technology in Europe</i> (Programa Europeo de investigación y desarrollo en tecnologías de Comunicaciones Avanzadas).
<b>RGT:</b>	Red de Gestión de Telecomunicaciones.
<b>R-OADM:</b>	<i>Reconfigurable Optical Add and Drop Multiplexers</i> (OADM Reconfigurables)
<b>SLA:</b>	<i>Service Level Agreement</i> (Acuerdo de Nivel de Servicio).

<b>SMFA:</b>	<i>Specific Management Functional Areas</i> (Áreas Funcionales Específicas de Gestión)
<b>SMI:</b>	<i>Structure of Management Information</i> (Estructura de Información de Gestión)
<b>SML:</b>	<i>Service Management Layer</i> (Nivel de Gestión de Servicio)
<b>SMF:</b>	<i>System Management Functions</i> (Funciones de Gestión de Sistema)
<b>SNMP:</b>	<i>Simple Network Management Protocol</i> (Protocolo Simple de Gestión de Red)
<b>TDI:</b>	Tasa de Datos Inyectada
<b>TDC:</b>	Tasa de Datos Inyectada sobre Tasa de Información Garantizada
<b>TF:</b>	<i>Transformation Function</i> (Función de Transformación)
<b>TFF:</b>	<i>Thin Film Filter</i> (Filtros de Película Delgada)
<b>TIG:</b>	Tasa de Información Garantizada
<b>TMN:</b>	<i>Telecommunication Management Network</i> (Red de Gestión de Telecomunicaciones)
<b>TSP:</b>	<i>Telecommunication Service Providers</i> (Proveedores de Servicios de Telecomunicaciones)
<b>VPN:</b>	<i>Virtual Private Networks</i> (Redes Privadas Virtuales)
<b>WBEM:</b>	<i>Web-Based Enterprise Management</i> (Gestión de Empresa basada en Web)
<b>WDM:</b>	<i>Wavelength Division Multiplexing</i> (Multiplexación por División de Longitud de Onda)
<b>WSF:</b>	<i>Workstation Function</i> (Función de Estación de Trabajo)

## INTRODUCCIÓN

La fibra óptica está presente total o parcialmente en cualquier sistema de comunicación, como respuesta al crecimiento acelerado de tráfico y a las exigencias de los usuarios, que crean la necesidad de incrementar la capacidad de las redes, tanto en términos de velocidad, como en cobertura geográfica y ancho de banda. Así mismo, la demanda de servicios está provocando la migración de una red de fibra óptica tradicional, a una red óptica de banda ancha multiservicio, en la que tecnologías como la Multiplexación por División de Longitud de Onda (*Wavelength Division Multiplexing* WDM) desempeñan un papel relevante, pues permiten el despliegue de una nueva generación de aplicaciones y servicios para llegar al usuario final, generando para él los mayores beneficios posibles. Estas aplicaciones junto con la creciente demanda de calidad, exigen un monitoreo y control estricto, lo que ha motivado el desarrollo de sistemas de gestión que permiten además de lo anterior, mejorar las condiciones de la red y hacer viable su expansión.

Dentro del monitoreo óptico, la supervisión del desempeño, para lo cual fue desarrollado el modelo de referencia Monitoreo de Desempeño Óptico (*Optical Performance Monitoring*, OPM), efectúa un papel fundamental en el despliegue y futura evolución de la industria óptica. Este modelo, que está definido para redes WDM, es una alternativa potencial para mitigar complicaciones como el control de componentes activos e identificación y estimación del buen funcionamiento del canal, determinando las degradaciones de la red a través de métodos simples. El problema que se presenta, es que existen muchos interrogantes a cerca de la información de supervisión que debe pasar a través de las redes WDM, de tal forma que se garantice que se tiene la información requerida y se evite la congestión producida por información innecesaria. Para dar solución a este inconveniente, en [1] se plantea que se debe definir una clara relación de OPM con los sistemas de gestión de red y gestión de elementos de red, para lo cual se hace necesario encontrar un modelo de gestión, que permita establecer la relación mencionada. En consecuencia, la Red de Gestión de Telecomunicaciones (*Telecommunication Management Network* TMN) adquiere interés, puesto que está definido por un número de estándares establecidos con la cooperación de un amplio rango de instituciones reconocidas a nivel mundial, para vigilar y controlar las redes de telecomunicaciones; y principalmente porque su arquitectura en niveles incluye la gestión de elementos de red (en la capa más baja), seguida por la gestión de red.

Este trabajo de grado plantea una salida al problema mencionado a través de un proceso representado gráficamente y de manera general en la Figura 1. En ella se observa que de la gestión de fallas, de configuración, de contabilidad, de calidad de funcionamiento o desempeño y de seguridad (Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security, FCAPS), es el área funcional de desempeño la que se relaciona con los niveles de gestión

de red y de elementos de red de la arquitectura lógica de TMN. Por otra parte, se aprecia que se clasifican los parámetros de OPM dentro de las 3 capas de éste modelo, para establecer la correspondencia entre estas y las funciones de desempeño definidas en los respectivos niveles de TMN. Por último, puede notarse que se determina la interacción entre las funciones de desempeño relacionadas, con la arquitectura funcional de TMN.

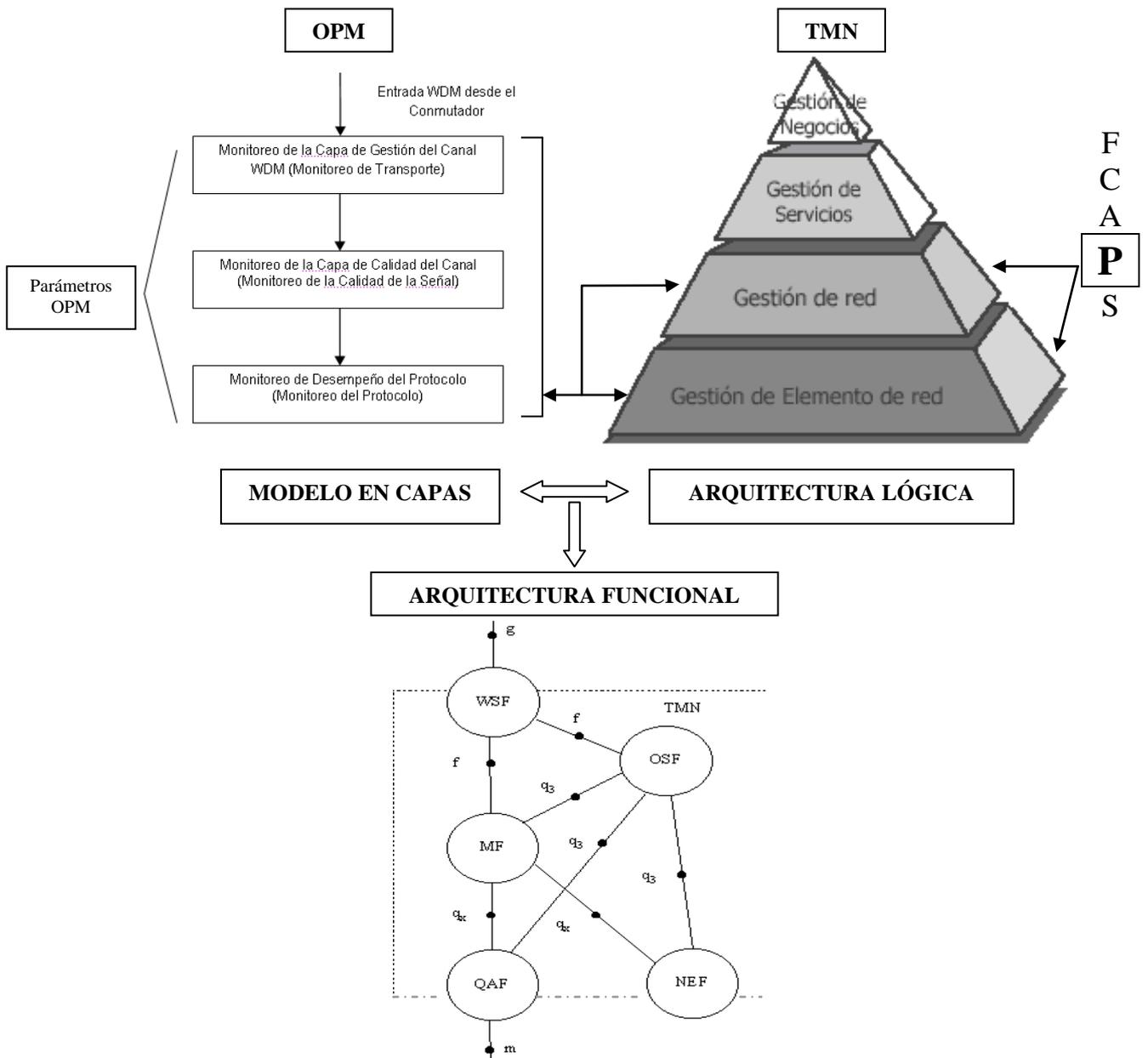


Figura 1. Esquema General de la solución propuesta.

En este contexto, el presente proyecto, enmarcado en la línea de comunicaciones ópticas del Grupo de Investigación y Desarrollo (I+D) de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones (GNTT), se constituye en un paso importante para mejorar el monitoreo de desempeño óptico, a través del establecimiento de la relación de TMN con el modelo OPM.

Este documento consta de 5 capítulos, cuyo contenido se describe a continuación:

El **Capítulo 1** contiene las nociones del modelo OPM, un análisis de las principales arquitecturas de gestión y los conceptos fundamentales de TMN, con los cuales se justifica la elección de esta última para realizar la interacción con OPM.

En el **Capítulo 2** se incluyen los fundamentos de las funciones de desempeño definidas por el estándar TMN y su asignación en los niveles de Gestión de Red y Gestión de Elementos de Red de la arquitectura lógica.

El **Capítulo 3** expone inicialmente las definiciones de cada uno de los parámetros de OPM y los conceptos relacionados con su modelo en capas, con los cuales se lleva a cabo la correspondencia entre estos. Luego contiene el establecimiento de la relación de las funciones de desempeño correspondientes, con el modelo OPM.

El **Capítulo 4** abarca los conceptos de la arquitectura funcional de TMN que se tienen en cuenta para establecer la relación entre los bloques que ésta define y las funciones de desempeño clasificadas.

En el **Capítulo 5** se consigna una serie de conclusiones, recomendaciones y perspectivas a futuro, obtenidas del desarrollo del proyecto.

## 1. CONCEPTOS PRINCIPALES DE TMN Y OPM

Para dar solución al problema identificado se debe establecer la relación entre OPM y un sistema de Gestión de Red y de Elementos de Red. Con esta finalidad, se exponen de forma general las nociones de OPM y se consigna un análisis de los principales modelos de gestión de red, realizado con la intención de justificar la elección de TMN, como el modelo más adecuado para establecer la relación mencionada. Para llevar a cabo este análisis, se han considerado las generalidades de los principales modelos de gestión y se ha profundizado en aspectos de TMN, como su definición, las arquitecturas que la conforman y las áreas funcionales en las cuales se orienta su gestión, conceptos que además de justificar por qué es la arquitectura elegida, se constituyen en una base para el desarrollo de este trabajo.

### 1.1. GESTIÓN DE REDES

La *Gestión de red* se define como el conjunto de actividades dedicadas al monitoreo y control de los recursos de telecomunicaciones con el fin de evitar que la red llegue a funcionar incorrectamente degradando sus prestaciones [2]. El monitoreo se refiere a la observación y análisis del estado y del comportamiento de los recursos gestionados, mientras que el control es la parte encargada de modificar parámetros e invocar acciones en estos recursos. Para los sistemas de gestión que se basan en el paradigma Gestor- Agente, el monitoreo consta de 4 fases. La primera consiste en la definición de la información de gestión que se va a monitorear. La segunda se refiere al acceso a esta información, para lo cual existen aplicaciones que utilizan los servicios ofrecidos por un gestor, permitiendo acceder a los datos de monitoreo mantenidos por un agente. La tercera fase se refiere al diseño de políticas de monitorización, dentro del cual se pueden presentar dos tipos de comportamiento: el de sondeo, en el cual el gestor pregunta periódicamente a los agentes por los datos, o el de informe de eventos<sup>1</sup>, donde los agentes por su propia iniciativa, informan a los gestores. La última fase, que consiste en el procesado de la información de monitoreo, se considera la etapa más importante dentro del mismo, porque permite a partir del análisis realizado, concluir como se deben controlar los recursos de la red [3], [4].

Es preciso aclarar que en el desarrollo del proyecto se hace referencia a la parte de gestión concerniente al monitoreo, puesto que es esta la que se relaciona con la orientación del modelo OPM.

---

<sup>1</sup>Según el diccionario de la ITU-T, un "evento" consiste en un hecho instantáneo que cambia de forma temporal o persistente, el estado global de un objeto. Permite funciones de vigilancia, supervisión y medición del desempeño.

## 1.2. OPM

El desarrollo de este trabajo de grado se enmarca en varios aspectos, que en su mayoría surgen de OPM por ser el punto de partida en la identificación del problema a resolver y que en conjunto constituyen el contexto sobre el cual se va a llevar a cabo este proyecto.

En primer lugar, OPM se creó como una alternativa viable de supervisión de la señal de información del canal óptico y del nuevo conjunto de componentes de red que el despliegue de WDM trajo consigo, los cuales introducen un subnivel en la red que merece ser supervisado constantemente para garantizar el tráfico libre de errores.

Por otra parte, OPM se diseñó con el fin de monitorear, no de controlar. Además, se ocupa exclusivamente del área de desempeño de las FCAPS, como lo indica su acrónimo.

Un último aspecto a tener en cuenta, es que WDM puede trabajar con varios protocolos en las capas más altas del modelo OSI para dar soporte a tráfico IP, es así como en la actualidad se emplean redes como IP/ATM/SDH/WDM, IP/Ethernet/SDH/WDM, IP-MPLS/SDH/WDM y muchas otras que surgen de las posibles combinaciones de los protocolos existentes, que originan arquitecturas de cuatro niveles. Sin embargo, el desarrollo de este proyecto no se restringe a redes que emplean estas arquitecturas, puesto que se pretende ir un paso más allá en la evolución de las mismas, al tener en cuenta que las mencionadas tienen muchas funcionalidades redundantes y no están optimizadas para el transporte de tráfico IP y que por tal razón, varios proveedores y organizaciones de normalización han propuesto nuevas arquitecturas de protocolos para el funcionamiento de IP a través de la capa óptica, como es el caso de IP/SDH/WDM, de IP/GbE/WDM y un paso más allá, el empleo de IP/WDM [5], [6]. El Anexo A muestra de manera detallada el empleo de la tecnología WDM y los aspectos relacionados con este tema.

De esta forma, el contexto dentro del cual se va a desarrollar este proyecto es una red WDM, que indiferentemente del o los protocolos con los que trabaje, requiera de la monitorización de desempeño, razón de ser del modelo OPM.

En [7], el Foro de Interconexión Óptica (*Optical Internetworking Forum*, OIF) define monitoreo de desempeño óptico como “*el proceso de continua recolección, análisis y presentación de todos los datos de desempeño asociados con una entidad<sup>2</sup> de transmisión*”. El tema de OPM ha sido discutido en la literatura desde los años 90 y el término en si mismo ha tomado múltiples definiciones, es así como OPM también está ligado a la

---

<sup>2</sup> El término “entidad”, de acuerdo al diccionario de la ITU-T, hace referencia a una parte, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que puede considerarse individualmente.

siguiente definición, “*Monitoreo de la capa física con el propósito de determinar el buen funcionamiento de la señal en el dominio óptico*” [1]. Existen dos tipos de OPM conocidos como OPM avanzado y convencional, los cuales se diferencian por la capacidad adicional que tiene el primero de monitorear características digitales de la señal óptica [1], [8].

El Modelo de Referencia OPM, consta de tres capas explicadas a profundidad en el capítulo 3: El Monitoreo de Transporte, que involucra una determinación de las características del dominio óptico esenciales para el transporte y la gestión del canal a nivel de la capa WDM, el Monitoreo de la Calidad de la Señal, que actúa sobre una sola longitud de onda y realiza medidas sensitivas de transición de señal y el Monitoreo del Protocolo, que involucra la supervisión de la información del protocolo de datos y del Monitoreo Desempeño del Protocolo (*Protocol Performance Monitoring, PPM*) [1].

Por otro lado, el amplio espectro de OPM, incluye un gran número de parámetros que describen la transmisión a través de un enlace de fibra óptica, los cuales pueden afectar la calidad de la señal. Sin embargo es preciso aclarar, que de acuerdo con [9] estos se dividen en: “Degradaciones ópticas” y “Parámetros de Monitoreo óptico”. En el transcurso de este documento el término “*parámetros*” hace referencia a la unión de estas dos divisiones. La totalidad de parámetros que se deben supervisar, se puede clasificar en tres categorías: el monitoreo de la pérdida de señal, el monitoreo de la alineación de la señal y el monitoreo de la calidad de señal [10]. Cada una de estas categorías junto con los conceptos que encierran, serán tratados en el capítulo 3.

### 1.3. ELECCIÓN DE LA ARQUITECTURA DE GESTIÓN

El notable crecimiento de las redes y las diferentes tecnologías que se han incorporado en ellas, requieren una gestión heterogénea, que contribuya a la coexistencia de sistemas de diversa naturaleza. Sin embargo, este tipo de gestión presenta algunos problemas fundamentales, como son, la necesidad de que los encargados de administrar la red tengan un profundo conocimiento a cerca de todos los sistemas que vayan a utilizar, la incompatibilidad entre datos de gestión, procedimientos, protocolos de comunicación con funcionalidad similar y la posible duplicidad e inconsistencia de la información almacenada en las bases de datos.

Con el fin de mitigar estos inconvenientes, diferentes organismos de estandarización de las telecomunicaciones han definido algunos modelos de gestión de red integrada, pretendiendo lograr la interconexión de los recursos de telecomunicaciones y las aplicaciones de gestión de red, independiente del proveedor que los suministre [11], [12]. Es así como el Grupo de Tareas de Ingeniería de Internet (*Internet Engineering Task Force, IETF*), desarrolló el Modelo de Gestión Estándar de Internet (*Internet Standard Management Framework, ISMF*), que proporciona una manera

sistemática de supervisar y administrar una red informática, haciendo uso del Protocolo Simple de Gestión de Red (*Simple Network Management Protocol*, SNMP) [13]. Dado que el nivel de seguridad proporcionado por la versión original de este protocolo no era el adecuado para las necesidades actuales, este evolucionó a través de tres versiones; sin embargo, las dos últimas, desarrolladas para eliminar este inconveniente, requieren una configuración del sistema de mayor dificultad. La ISMF se ha dedicado a la implementación de protocolos de gestión y no se preocupó por la creación de arquitecturas, hasta que descubrió que estos sólo podrían tener un soporte suficiente si se introducía una arquitectura modular; lo cual se reflejó en la implementación de una sencilla arquitectura para SNMPv3 [14].

Por otra parte, el modelo ISMF no incluye en los estándares aspectos como, la definición de las propias aplicaciones de gestión, el mecanismo concreto utilizado en el diálogo del agente con los recursos a los que representa, los detalles de implantación, entre otros [15], [16].

Al igual que el IETF, la Organización Internacional para la Estandarización (*International Organization for Standardization*, ISO), generó el modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (*Open System Interconnection*, OSI), que a pesar de tener poca aceptación práctica, incluye conceptos que tienen plena vigencia y son la base para otras soluciones de gestión, como TMN [11]. Esta última fue planteada por el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (*International Consultative Committee on Telegraphy and Telephony*, CCITT), que luego se convirtió en la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*International Telecommunication Union*, ITU). Puesto que inicialmente la colaboración entre la ITU/CCITT y la ISO no era mucha, el modelo OSI no había tenido mucho impacto sobre TMN, sin embargo cuando estos grupos empezaron a cooperar se incluyeron las principales ideas de gestión OSI dentro de la filosofía que maneja TMN. Luego, el trabajo relacionado con estos modelos empezó a realizarse conjuntamente en el Forum de Telegestión (*Telemangement Forum*, TMF) [14]. Por lo anterior, TMN tiene mucha similitud con OSI, no obstante, la primera fue pensada para su proyección a futuro y por ello, los servicios de gestión OSI se pueden considerar como un subconjunto de la misma [12].

Por otra parte, TMN es un modelo genérico, es decir, puede servir como referencia para cualquier sistema de gestión, lo que se convierte en una de sus grandes ventajas; además, se ha concentrado en la especificación de arquitecturas de gestión [14] y se encuentra totalmente definido por un número de estándares conceptualizados considerando requerimientos modernos y establecidos con la cooperación de un amplio rango de instituciones reconocidas a nivel mundial [17].

Otro organismo reconocido que se ha interesado en esta temática, es el Grupo de Trabajo de Gestión Distribuida (*Distributed Management Task Force*, DMTF), quien ha propuesto un conjunto básico de normas que componen la solución denominada, Gestión de Empresa basada en Web

(*Web-Based Enterprise Management, WBEM*) [18], creada con el fin de unificar la gestión de entornos de computación distribuida, lo cual restringe su uso, estando disponible sólo para sistemas de este tipo de entornos [19].

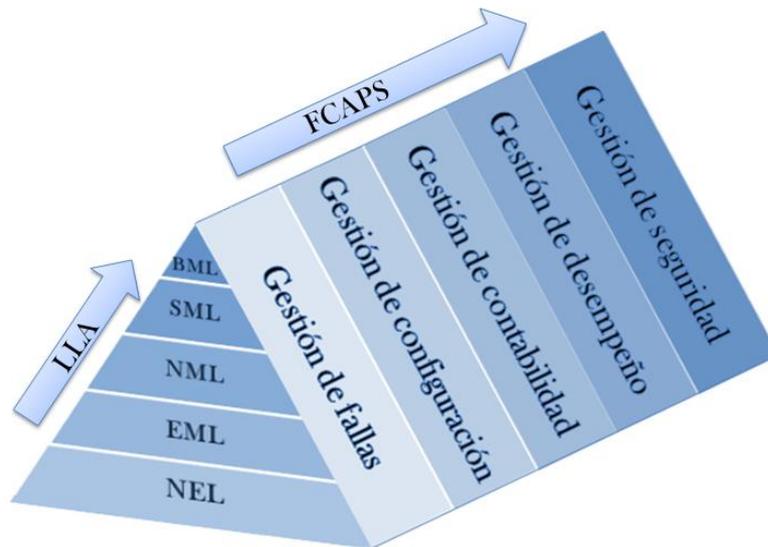
De igual forma, pensando en la evolución que están presentando las redes, el Grupo Enfocado a Redes de Nueva Generación (*Focus Group on Next Generation Networks, FGNGN*) perteneciente al sector de Telecomunicaciones de la ITU (*International Telecommunication Union - Telecommunications standardization sector, ITU-T*), está desarrollando una solución denominada Gestión de Redes de Nueva Generación (*Next Generation Networks Management, NGNM*), que incluye la definición de las funciones de gestión para recursos y servicios de las Redes de Nueva Generación (*Next Generation Networks, NGN*), de tal forma que permitan al operador administrar la red y proveer servicios con la calidad, seguridad y confiabilidad esperadas [12]. Por la naturaleza heterogénea de una NGN, en la cual coexisten redes fijas, inalámbricas y móviles, se requieren algunas áreas de gestión adicionales, que la NGNM ha definido como gestión de movilidad, gestión de cliente y gestión de terminal. Por este enfoque se dice que este modelo está orientado al servicio [20]. Mientras tanto, como se expone en [12], el FGNGN está actuando como coordinador e intermediario en el trabajo, los planes y el progreso de los diversos estándares relacionados que están siendo desarrollados, dado que este modelo de gestión está fragmentado entre diversas organizaciones de estandarización y no está completamente definido.

La información expuesta anteriormente, de lo que hasta ahora ha sido el desarrollo de diferentes esquemas de gestión de red, permite considerar a TMN como la arquitectura, que por su enfoque y por ser la única que es aplicable a cualquier sistema de gestión, presenta mayores afinidades con los objetivos del proyecto, por lo tanto, se convierte en una alternativa interesante para el desarrollo del mismo. Por ello, a continuación se exponen con mayor profundidad los aspectos relevantes de este tema.

Para proporcionar una gestión integrada de redes y servicios de telecomunicaciones en un ambiente multiproveedor y para facilitar el desarrollo de entornos de gestión distribuidos y heterogéneos, requisitos de los operadores de telecomunicaciones públicas (*Public Telecommunication Operators, PTO*) y de los proveedores de servicios de telecomunicaciones (*TSP, Telecommunications Service Providers*), se ha creado el modelo de TMN, cuyo concepto básico se funda, tal como se presenta en [21], en “*proporcionar una arquitectura organizada a fin de conseguir la interconexión entre diversos tipos de sistemas de operaciones (Operations Systems, OS) y/o equipos de telecomunicaciones para el intercambio de información de gestión utilizando una arquitectura convenida y con interfaces normalizadas, incluidos protocolos y mensajes*”. Este modelo se basa en el paradigma gestor-agente y en el enfoque orientado a objetos. La información de gestión intercambiada entre un gestor y un agente, se expresa en términos de un conjunto de operaciones de gestión y notificaciones, las cuales se realizan a través del servicio de información de gestión común (*Common*

*Management Information Services*, CMIS) y del protocolo de información de gestión común (*Common Management Information Protocol*, CMIP). El CMIS define todos los servicios disponibles para la gestión y el CMIP define el protocolo con el que los servicios recopilan la información.

TMN describe un modelo en capas que se compone de dos dimensiones, como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Modelo en capas de la Arquitectura TMN [23].

Para el plano horizontal, se tiene una estructura de 5 niveles denominados Nivel de Elemento de Red (*Network Element Layer*, NEL), Nivel de Gestión de Elemento (*Element Management Layer*, EML), Nivel de Gestión de Red (*Network Management Layer*, NML), Nivel de Gestión de Servicios (*Service Management Layer*, SML) y Nivel de Gestión de Negocio (*Business Management Layer*, BML). Estos se definen para tratar la complejidad de la gestión de las telecomunicaciones mediante la división de las funcionalidades de gestión en capas lógicas. Cada capa, excepto la primera, que incluye información física de la red, refleja aspectos particulares de gestión e implica el agrupamiento de información de gestión [21]. A esta estructura que hace parte de la arquitectura funcional de TMN, se le denomina Arquitectura Lógica por Capas (*Logical Layered Architecture*, LLA). En ella, además de organizar las funciones en capas lógicas, se describe las relaciones entre las mismas.

En el plano vertical, se encuentran cinco categorías de servicios denominadas Áreas Funcionales Específicas de Gestión, (*Specific Management Functional Areas*, SMFA) [22], más conocidas como FCAPS, que corresponden a las áreas funcionales que TMN toma del modelo OSI. Es importante mencionar que en [25], la palabra "*Performance*" es tomada como "calidad de funcionamiento", para el desarrollo de este trabajo de grado y a lo largo del documento se tomará como "*desempeño*". A continuación se muestra una síntesis de las FCAPS, elaborada con base en [17]. Si es de interés del lector profundizar en este tema, puede remitirse a

[25], donde se clasifica las funciones de gestión de red dentro de cada una de estas áreas y se explican en detalle.

- **Gestión de Desempeño:** Provee funciones para evaluar el comportamiento del equipamiento de telecomunicaciones, la efectividad de la red y/o Elemento de Red<sup>3</sup> (*Network Element*, NE) y para generar reportes de los mismos. Puede involucrar la medición de la intensidad del flujo de datos (tráfico) a lo largo de las diferentes rutas de la red, coleccionando, evaluando y mostrando los datos medidos, así como también la determinación de índices de eficiencia y el cálculo del análisis de tendencia. Con la información recolectada y evaluada en este proceso, se puede establecer el nivel de carga de tráfico y se puede determinar si una red dada, cumple con los requerimientos de desempeño necesarios. Así por ejemplo, si ocurre alguna congestión, las rutas de red sobrecargadas pueden ser aliviadas por una reconfiguración de sistema ó por alteración de la estrategia de ruteo actual. La intervención automática en la operación de la red puede ser ejecutada por el Sistema de Gestión de Red.
- **Gestión de Fallas:** Denominada también, gestión de mantenimiento, es un conjunto de funciones que habilitan la detección, aislamiento y corrección de operaciones anormales en la red de telecomunicaciones y su ambiente. Su propósito es detectar y registrar eventos que han ocurrido en diferentes partes de la red, luego establecer la causa de estos eventos con el mayor grado de detalle y seguridad. Todo ello apuntado a detectar los errores y a repararlos en el tiempo más corto posible.
- **Gestión de Configuración:** Proporciona funciones para proveer datos a los NEs y para recolectar, operar, controlar e identificar datos de los mismos. Esta área incluye dos funciones esenciales lógicamente diferentes: la gestión de configuración estática y la dinámica. La primera, involucra la asignación de la red ó de los NEs, así como también, el registro, indicación, muestra, reporte de la topología de la red y el listado del equipamiento de red conjuntamente con sus parámetros de sistema. La segunda, involucra el establecimiento de las rutas actuales para las interconexiones requeridas.
- **Gestión de Contabilidad:** Es un conjunto de funciones que habilita la medición del uso del servicio de red y la determinación del costo de dicho uso. Esta área provee facilidades para recolectar registros de contabilidad y establecer parámetros de tarifación para la utilización del servicio. En el campo de la gestión de contabilidad, se miden el tiempo y otras características del acceso de red de usuario y se calculan los datos necesarios para cobrar el servicio.

---

<sup>3</sup> Un "Elemento de Red" se considera un concepto arquitectural que representa el equipo (o grupos/partes del equipo) de telecomunicaciones y equipos de soporte, que permiten ser gestionados [21].

- **Gestión de Seguridad:** Involucra el establecimiento de clases de autenticación, el chequeo de autorización de usuarios para acceder a la red, el control de contraseñas y la toma de otras posibles medidas para prevenir el acceso no autorizado a la red. Dependiendo de los requerimientos específicos establecidos en una red, las funciones contenidas dentro de la gestión de seguridad, pueden diferir de aplicación a aplicación.

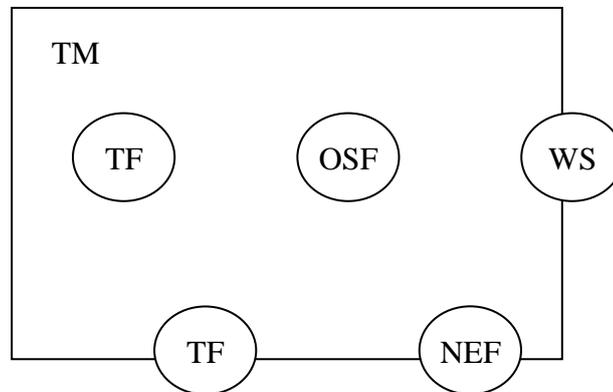
Todas las FCAPS involucran dentro de la gestión de red, tanto el control como el monitoreo de los recursos de telecomunicaciones, sin embargo, por las funciones que tienen a su cargo las áreas de Desempeño, Fallas y Contabilidad, estas poseen mayor orientación hacia el monitoreo y las áreas de Seguridad y Configuración, hacia aspectos correspondientes al control [26].

En lo concerniente a la arquitectura general de TMN, se consideran tres aspectos básicos que pueden ser tratados por separado para planificar y diseñar una TMN [26]. Estos son:

- *La arquitectura de información*, basada en un planteamiento orientado a objetos, proporciona el fundamento de aplicación de los principios de gestión de sistemas OSI a los principios de TMN. Para ello, se establece una correspondencia entre los principios de gestión de sistemas OSI y del directorio X.500, por un lado y los principios TMN por otro, luego se expanden los primeros para adecuarlos al entorno TMN cuando sea necesario.
- *La arquitectura física* describe interfaces realizables y ejemplos de componentes físicos que integran TMN.
- *La arquitectura funcional*, describe la distribución apropiada de funcionalidad de gestión de TMN. La implementación de cualquiera de estas funcionalidades, se puede describir en términos de cuatro elementos fundamentales que estructuran esta arquitectura: los bloques de función, los puntos de referencia, las funciones de aplicación de gestión (*Management Application Function*, MAF) y los conjuntos de funciones de gestión de TMN, representados por las FCAPS.

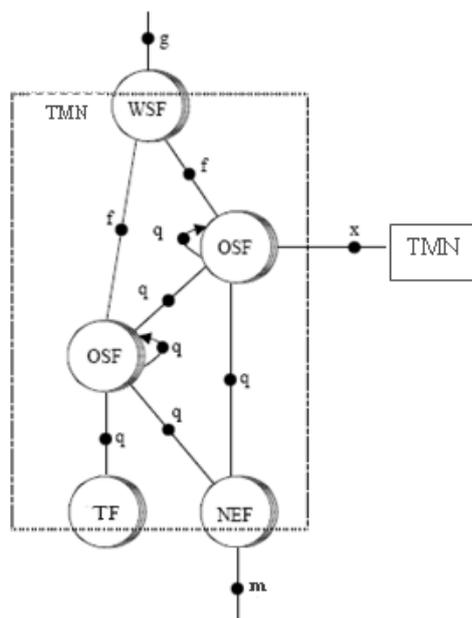
Un bloque de función es la unidad funcional más pequeña que se puede desplegar. Dentro de TMN intervienen distintos tipos de bloques conocidos como Función de Sistema de Operaciones (*Operations Systems Function*, OSF), Función de Elemento de Red (*Network Element Function*, NEF), Función de Estación de Trabajo (*Workstation Function*, WSF) y Función de Transformación (*Transformation Function*, TF); la transferencia de información entre ellos se realiza mediante la función de comunicación de datos (*Data Communication Function*, DCF) y a través de los puntos de referencia.

La figura 3 muestra los tipos de bloques, destacando que sólo las funciones que intervienen directamente en el proceso de gestión son parte de una TMN, por lo tanto, algunos están parcialmente dentro y parcialmente fuera de esta, pues también actúan más allá de sus fronteras funcionales.



**Figura 3.** Bloques de función de TMN [21].

Las interacciones entre un par de bloques de función particular se representan a través de un punto de referencia, por lo tanto se constituyen en fronteras entre ellos. Existen tres clases de puntos de referencia en términos de TMN, que se denominan “q”, “f” y “x”, adicionalmente se consideran dos clases de puntos de referencia no-TMN, que son “g” y “m”. Lo anterior se puede apreciar en la figura 4.



**Figura 4.** Puntos de referencia entre bloques de función de gestión [21].

Es importante recalcar que gracias a las diferentes investigaciones desarrolladas con el fin de integrar TMN con SNMP<sup>4</sup>, se obtuvo un bloque de

<sup>4</sup> Los trabajos mas importantes que se realizaron, estuvieron a cargo de grupos fundados por el programa Europeo de investigación y desarrollo en tecnologías de Comunicaciones

gestión denominado Función de Adaptador Q (*Q Adaptor Function*, QAF) QAF, el cual permitió la interacción entre el punto de referencia q y el m, teniendo en cuenta que el primero implementa la pila de protocolos de gestión OSI y el segundo la de Internet. Además, con el QAF se logró la traducción del modelo de información de TMN, que usa las directrices para la Definición de Objetos Gestionados (*Guidelines for Definition of Managed Objects*, GDMO), a la estructura de información de gestión (*Structure of Management Information*, SMI) de Internet y viceversa. Con esto se amplió la funcionalidad de TMN, logrando una interacción con otras redes que no lo implementan. Dada la evolución de los estándares, las funciones del QAF sufrieron ciertas modificaciones y fueron incluidas junto con la Función de Mediación (*Mediation Function*, MF)<sup>5</sup>, dentro del TF.

Si es de interés del lector profundizar en los aspectos relacionados con las arquitecturas que conforman TMN, puede consultar en [21].

Otro aspecto significativo de TMN, es que a lo largo del tiempo se han ejecutado varios trabajos con base en esta arquitectura, los cuales muestran algunas de sus ventajas. El proyecto NOMOS realizado por el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Sevilla y Sevillana de Electricidad, reemplazó técnicamente un antiguo mecanismo de supervisión de telecomunicaciones por un sistema de gestión, adoptando las normas TMN disponibles en ISO e ITU-T para la definición de gestión y de las funciones [27]. Hacia el año 2000, el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI) de Tijuana México, desarrolló una metodología de gestión de desempeño para MPLS aplicando el modelo de gestión TMN. La propuesta se basó en el esquema de descomposición de servicios y la identificación de las capas lógicas con sus elementos y componentes de función [28].

A nivel regional se llevó a cabo el diseño e implementación de una herramienta de Gestión CORBA/SNMP para evaluar el desempeño del enrutador "OLIMPO" de la Universidad del Cauca bajo la perspectiva TMN [29], y más recientemente dentro de esta misma institución, se efectuó un análisis multinivel de la calidad de servicio y su relación con la arquitectura TMN, donde se obtuvieron relaciones en las arquitecturas física y funcional, incluyendo la LLA y las FCAPS, además se describieron los aportes de las funciones de gestión para el soporte de calidad de servicio y las relaciones entre las capas lógicas de TMN con los diferentes niveles de la visión [30].

Es así como TMN ha servido de referencia para el desarrollo de múltiples proyectos en diferentes áreas, teniendo influencia en las mejoras de las nuevas filosofías de gestión de redes y brindando garantía de ser un camino válido para gestionar una red, implantando soluciones reales y seguras, como en algunos de los proyectos anteriormente expuestos.

---

Avanzadas (*Research and development in Advanced Communications technology in Europe*, RACE).

<sup>5</sup> El QAF y el MF son bloques definidos en la Rec. M.3010 de 1996, que se reemplazaron por TF en la misma recomendación del año 2000.

Se resalta finalmente, que TMN es un modelo de gestión estandarizado, que permite una estratificación de la red a ser gestionada y con ello, la construcción de sistemas de gestión de red de forma jerárquica, con un comprensivo conjunto de funciones. Esto le da la posibilidad de explotar las facilidades de las más actualizadas tecnologías de comunicación e involucrar centros de gestión separados para administrar solamente las partes de la red que sean de interés [17]. Además, TMN es el único estándar que define varias arquitecturas a diferentes niveles de abstracción y una estructura para múltiples capas de gestión (la LLA), con las cuales se puede distinguir y entender mucho más fácilmente las diferentes responsabilidades que implica la gestión.

Considerando estas características, además de las ventajas que se han expuesto a lo largo del capítulo, y principalmente teniendo en cuenta que dentro de los fundamentos de TMN, se destaca que su arquitectura en niveles incluye la gestión de elementos de red (en la capa más baja), seguida por la de gestión de red, se ha concluido, que para contribuir a la solución del problema identificado, este modelo es el más adecuado para establecer la relación de OPM con los sistemas de gestión de red y de elementos de red.

De esta forma, a lo largo de este capítulo se ha realizado una introducción a las definiciones de OPM y TMN, y se ha llevado a cabo un análisis de los principales modelos de gestión, con el fin de justificar la elección de TMN como la arquitectura más apropiada para establecer la relación con OPM. Con esta perspectiva de los principales conceptos dentro de los cuales se enmarca el proyecto, se continúa en los siguientes capítulos con una descripción del procedimiento realizado para el cumplimiento de la solución planteada.

## 2. FUNCIONES DE DESEMPEÑO PERTENECIENTES A LOS NIVELES LÓGICOS DE TMN.

En este capítulo se **definen las funciones de desempeño de TMN que pertenecen a los niveles de Gestión de Red y Gestión de Elementos de Red**, dado que como se justifica en el capítulo 1, TMN es el modelo más adecuado para contribuir al establecimiento de la relación de OPM con los sistemas de gestión de red y gestión de elementos de red, principalmente por sus dos niveles lógicos inferiores. Para realizar esta definición, se profundiza en los conceptos relacionados con las FCAPS, especialmente con el área funcional de desempeño, puesto que comparte el mismo enfoque actual del modelo OPM<sup>6</sup>. Enseguida, se describe el papel que desempeña cada uno de los niveles que hacen parte de la arquitectura lógica de TMN. Por último, con base en la información anterior y mediante un análisis de la misma, se realiza la asignación de las funciones de desempeño, dentro de los niveles correspondientes de la arquitectura lógica de TMN.

### 2.1. ÁREA FUNCIONAL DE DESEMPEÑO

Algunos términos utilizados en [25] han sido adecuados al contexto del proyecto. Estos se exponen a continuación.

- *Abonado*: Será remplazado por *cliente*, puesto que OPM no restringe el monitoreo solamente a redes que presten el servicio de llamadas telefónicas convencionales.
- *Circuito*: Hace referencia a un circuito<sup>7</sup> de fibra óptica.
- *Recogida*: Será remplazada por la palabra “*recolección*”.
- *Encaminamiento*: Será remplazada por la palabra “*enrutamiento*”.

Se considera adecuado aclarar algunos conceptos que serán de utilidad para entender las funciones de gestión pertenecientes al área funcional de desempeño y para comprender la asignación de las mismas, en los diferentes niveles de la arquitectura lógica de la TMN.

Desde el punto de vista de los usuarios de la red, una función de gestión “*es la parte más pequeña del servicio de gestión de TMN*” [21], por otro lado se define como una “*interacción cooperativa entre procesos de aplicación de sistemas de gestión y gestionados para la gestión de los recursos de telecomunicaciones*” [25]. El establecimiento de estas funciones, se realiza aplicando las directrices para la definición de las funciones de gestión de TMN (*Guidelines for the Definition of TMN Management Functions, GDMF*).

Las funciones de gestión de TMN que se relacionan entre sí, se agrupan según el contexto, en conjuntos de funciones y estos a su vez en grupos.

---

<sup>6</sup> Enfoque actual del modelo OPM, hace referencia al modelo definido en [1].

<sup>7</sup> La palabra “circuito” está definido por la ITU-T en la Rec. E.600 como: “*Medio de transmisión que permite la comunicación entre dos puntos.*”

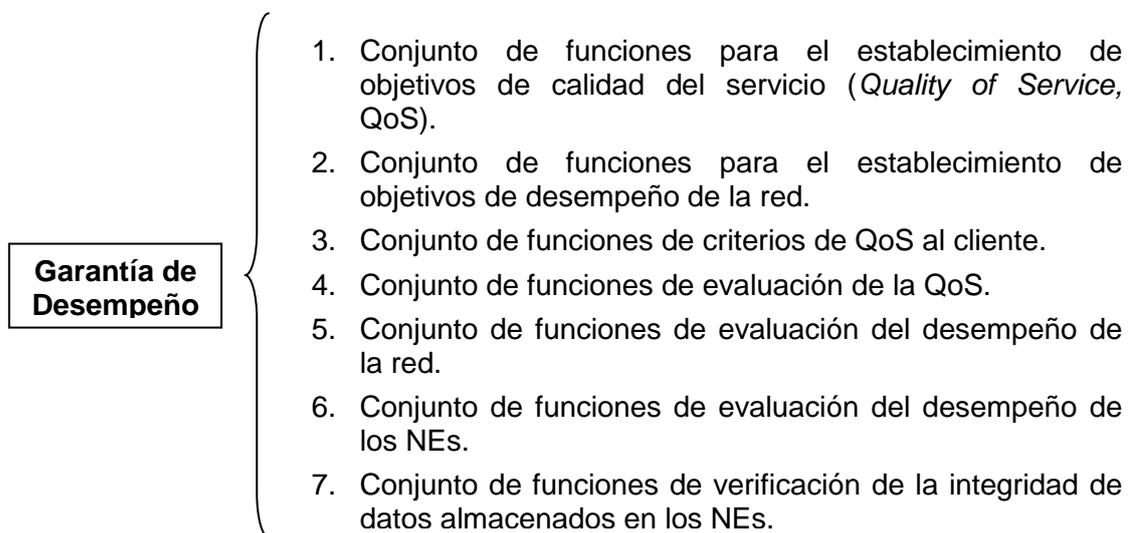
Los conjuntos pueden ser genéricos y especializados, los últimos son destinados para el soporte de los servicios de gestión más importantes de TMN. Los conjuntos de funciones se clasifican siguiendo el modelo funcional planteado en OSI, en cinco áreas funcionales que son: gestión de averías o mantenimiento, de configuración, de contabilidad, de desempeño y de seguridad.

La gestión de desempeño tiene como objetivo reunir y analizar datos estadísticos para supervisar y corregir el comportamiento y la efectividad de la red o del NE, facilitando con ello, la planificación, la provisión, el mantenimiento y la medición de la calidad. Esta área funcional comprende los siguientes grupos de conjuntos de funciones:

1. Garantía de Desempeño.
2. Supervisión de Desempeño.
3. Control de la gestión de Desempeño.
4. Análisis de Desempeño.

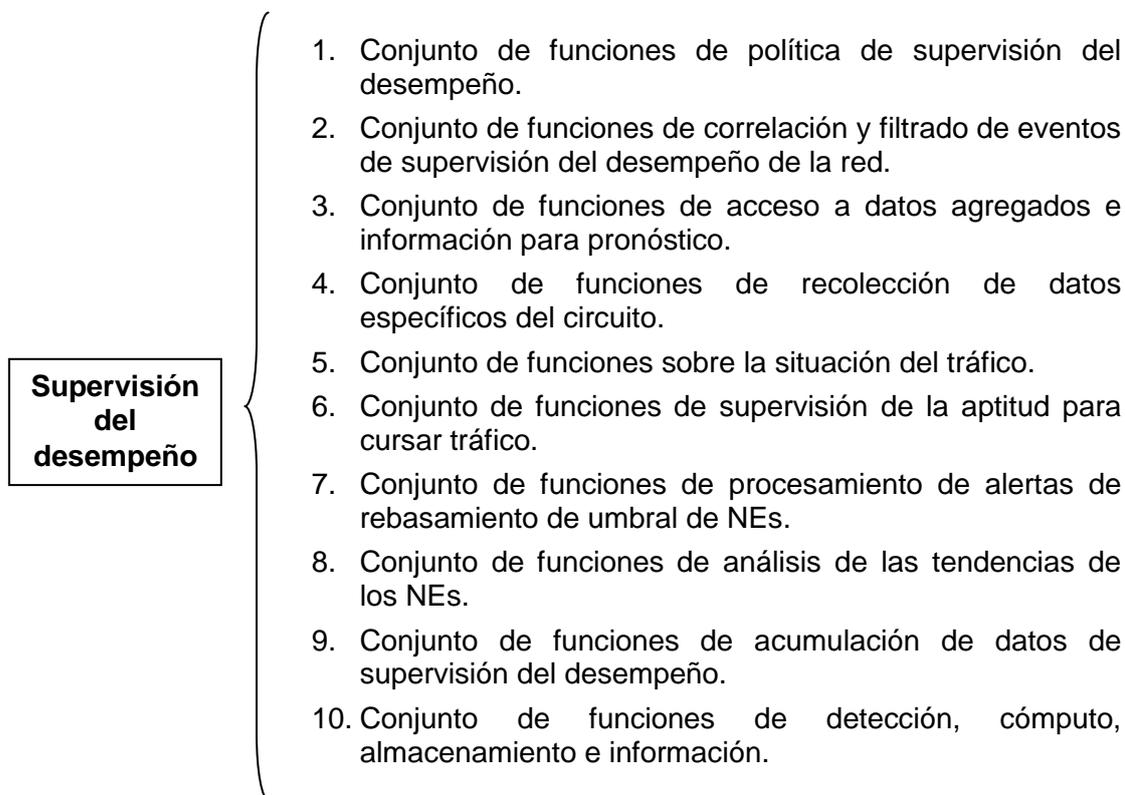
El primer grupo realiza procesos que permiten establecer las medidas de calidad apropiadas al área de gestión de desempeño, de acuerdo con los progresos científicos y los cambios en las necesidades del usuario. Este grupo se conforma de siete conjuntos los cuales se indican en el Cuadro sinóptico 1.

**Cuadro sinóptico 1.** Conjuntos de funciones de Garantía de Desempeño



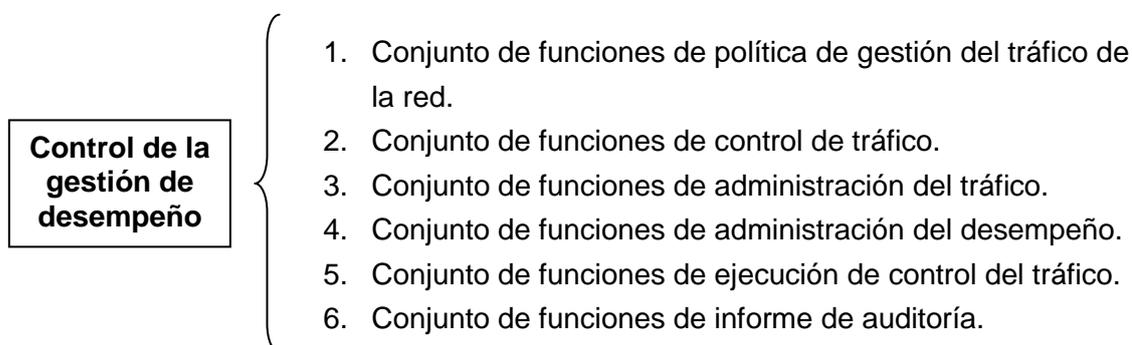
El segundo grupo implica la recolección continua de datos sobre el desempeño del NE y está compuesto de diez conjuntos mostrados en el Cuadro sinóptico 2.

## Cuadro sinóptico 2. Conjuntos de funciones de Supervisión del Desempeño



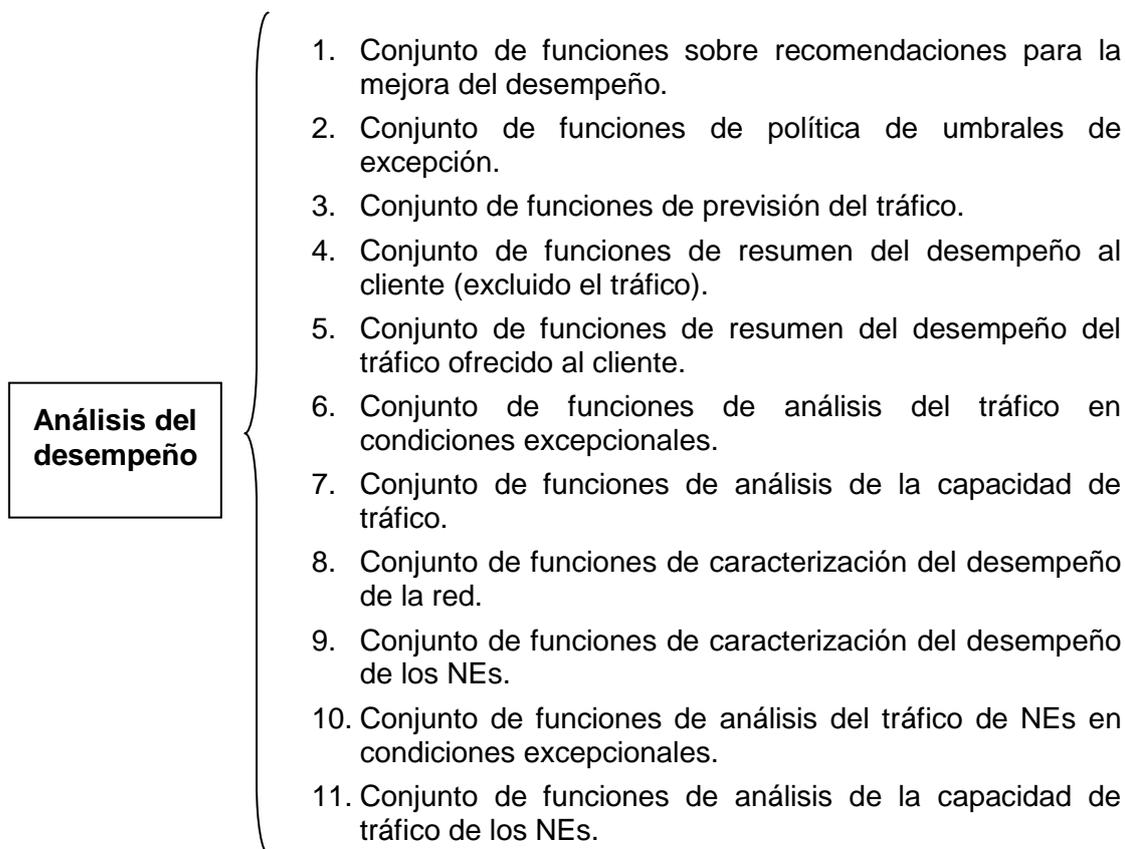
El tercer grupo, formado por seis conjuntos desplegados en el Cuadro sinóptico 3, se relaciona con la transferencia de información utilizada para controlar el funcionamiento de la red en el área de gestión de desempeño. El control que se realiza al tráfico de la red repercute en su enrutamiento y en el procesamiento llevado a cabo en la comunicación. Además, en este grupo se incluyen la fijación de umbrales, la definición de algoritmos para el análisis de datos de desempeño y la recolección de los mismos.

## Cuadro sinóptico 3. Conjuntos de funciones de Control de la gestión de desempeño



El último grupo se define por la posible necesidad de realizar un tratamiento y análisis adicionales a los datos, con el fin de evaluar el nivel del desempeño de la entidad. Este contiene once conjuntos de funciones, los cuales se exponen en el Cuadro sinóptico 4.

#### Cuadro sinóptico 4. Conjuntos de funciones de Análisis del Desempeño



## 2.2. FUNCIONALIDAD DE LAS CAPAS DE LA LLA

La LLA divide en capas lógicas las funciones de gestión. A continuación se detalla el papel que desempeñan cada uno de estos niveles en la gestión de una TMN, según [21], [31], [32], [33] y [34].

La BML tiene la responsabilidad de la totalidad de la empresa y forma parte de su gestión global. Aquí se definen las acciones necesarias para conseguir el retorno de la inversión, aumentar la satisfacción de los accionistas de la empresa y de los empleados; además, se encarga del negocio con planes estratégicos en desarrollo, con el uso de servicios y recursos de telecomunicaciones y se hace cargo de la planificación, la fijación de objetivos, las decisiones ejecutivas y los acuerdos de nivel de negocio (*Business Level Agreement*, BLA). Su función principal es servir de soporte para el proceso de toma de decisiones en la inversión y utilización óptimas de nuevos recursos de telecomunicaciones, además de serlo para la gestión del presupuesto y para el suministro-demanda de mano de obra, relacionados con la operación, administración y mantenimiento. Las decisiones tomadas en este primer nivel definen los objetivos estratégicos y condicionan fuertemente las funciones y procesos de la SML. Esta capa se relaciona con la gestión táctica y estratégica, en lugar de la gestión operativa, como las otras capas lógicas de la TMN.

La SML hace referencia a todos los procesos y sistemas empleados para prestar servicios a los clientes y para gestionarlos a través de su ciclo de vida, con el fin de asegurar que se cumplan los acuerdos de nivel de servicio (*Service Level Agreement*, SLA) y que los recursos necesarios sean provistos eficientemente. De esta forma, la SML se encarga de la interacción con proveedores y clientes y de la gestión de los aspectos contractuales de los servicios, según lo establecido en el SLA.

En [35], un SLA se define como un acuerdo negociado entre un cliente y un proveedor, sobre las características de los niveles de servicio y el conjunto de métricas asociadas. El contenido del SLA varía dependiendo del servicio ofrecido e incluye los atributos requeridos para el acuerdo de negociación. Este debe contener fundamentalmente los objetivos del nivel de servicio, la supervisión del mismo que asegure el cumplimiento de los términos del contrato e información de carácter financiero, como el precio y las sanciones económicas que tendrán lugar en caso de incumplimiento del acuerdo. Por lo tanto, un SLA se convierte en una herramienta objetiva que permite al proveedor crear nuevos servicios y hacer mejoras en los existentes, después de conocer las expectativas del cliente, de establecer cuáles son las capacidades y características que se pueden garantizar del servicio y de evaluar su prestación [36]. De la misma forma, el SLA se constituye en una base sobre la cual proveedores y clientes, pueden realizar exigencias mutuas.

En la SML se destacan dos tipos de gestión, la de atención al cliente y la de gestión de las operaciones y desarrollo del servicio. La primera se encarga de proporcionar a los clientes información precisa, actualizada y entendible, de entregarles los servicios en el momento establecido o incluso antes, de proveerles una facturación exacta, fácil de leer, en el formato y moneda que deseen y de resolver rápidamente los problemas que se presenten. La gestión de las operaciones y desarrollo del servicio pretende la aceleración de tareas, la optimización de la realización de actividades mediante secuencias organizadas y el mantenimiento de información actualizada, completa, disponible en todo momento y de fácil manipulación, a través de la automatización de procesos. Para llevar a cabo estas actividades la SML se basa en la gestión de información proporcionada por la NML, sin acceder directamente a la estructura interna de la red. Esta capa además, tiene entre sus funciones principales, el tratamiento de los pedidos de servicio, el mantenimiento de datos estadísticos, la adición y eliminación de usuarios, la interacción entre servicios y su evolución, el manejo de quejas, los objetivos de QoS, la facturación y la satisfacción de los niveles de servicio al cliente.

La NML se basa en la información recibida de la EML para obtener una visión global de la red y suministrar la funcionalidad necesaria para realizar su gestión, dando soporte al mismo tiempo, a las demandas realizadas por la SML y proporcionando a esta capa superior, una visión independiente de la tecnología. Este nivel es responsable del desempeño técnico de la red, tiene a su cargo el control y la coordinación desde el punto de vista de la red, de los elementos que la componen; realiza también el suministro, el cese o

la modificación de las capacidades de red y el mantenimiento de las mismas, para el soporte de servicios a los clientes. Sus funciones están relacionadas con la gestión de una zona geográfica amplia y entre sus cometidos principales están, la interacción con la SML en lo referente a desempeño, uso, disponibilidad, entre otros; el monitoreo de los recursos de la red mediante la integración de los datos medidos en cada nodo y con ello, el mantenimiento de datos estadísticos, registros y otra información acerca de la red. Es importante aclarar que a nivel de la NML no es visible la estructura interna de los NE, por lo que estos no pueden ser gestionados directamente y de manera individual por esta capa. Algunos ejemplos de funciones desempeñadas en este nivel son: la creación de rutas dedicadas a través de la red para soportar las demandas de QoS de los usuarios finales, la modificación de tablas de enrutamiento, el seguimiento de utilización del enlace, la optimización del rendimiento de la red y la detección de fallas.

La EML proporciona las capacidades que se necesitan en cada uno de los NE, para que puedan ser gestionados individualmente o en grupo, considerando a los componentes de red como elementos aislados [30]. Esta capa suministra a la NML una visión independiente del proveedor y abarca las funciones que deben cumplir los NEs, para dar soporte a las operaciones de la misma, proporcionando acceso pleno a la funcionalidad de cada uno de estos componentes. La implementación de gestión de los NEs se realiza usando agentes internos o agentes externos que monitorean los recursos de un nodo. Entre los principales papeles de este nivel se encuentran el control y la coordinación, de forma individual o colectiva, de un subconjunto de NEs, dando lugar a la interacción entre la NML y la NEL, al procesar la información de gestión intercambiada entre las OSF de red y las NEF individuales. Realiza también el mantenimiento de datos estadísticos, registros y otra información acerca de los elementos, dentro de su ámbito del control. Algunos ejemplos de las funciones realizadas en esta capa son: la detección de errores del NE, el registro de estadísticas y la medición del consumo de energía, de la temperatura del equipo y de todos los recursos que están siendo utilizados.

### 2.3. ASIGNACIÓN DE LAS FUNCIONES DE DESEMPEÑO DENTRO DE LAS CAPAS DE LA LLA.

Los conceptos mencionados corresponden a los papeles de las capas de la LLA y a los roles que desempeña cada uno de los grupos de conjuntos de funciones de gestión. Con base en ellos y de acuerdo a las definiciones dadas en [21], de los conjuntos de funciones de pertenecientes al área de gestión de desempeño, se ha realizado la asignación de estos dentro de las capas de la LLA. La importancia de este proceso radica en el hecho de que se requiere saber cuáles de las funciones definidas en el área funcional de desempeño pertenecen a las dos capas inferiores, puesto que son ellas las que se van a utilizar posteriormente para establecer la interacción con el modelo OPM.

En adelante se mostrarán una serie de tablas donde se consignan las razones por la cuales cada uno de los conjuntos de funciones pertenecen a su correspondiente capa o capas de la LLA.

Dentro de este contexto, la tabla 1 expone la asignación de los conjuntos del Grupo Garantía de Desempeño, dentro de las capas lógicas de la LLA.

**Tabla 1.** Asignación dentro de las capas de la LLA, de los conjuntos de funciones de gestión del Grupo Garantía de Desempeño.

CONJUNTO DE FUNCIONES	JUSTIFICACIÓN
1. Para el establecimiento de objetivos de QoS.	Este conjunto que gestiona las directrices para la evaluación de todas las medidas de QoS, pertenece a la <b>BML</b> , puesto que esta labor se relaciona con aspectos como la planeación, la estrategia de la empresa y los estudios de mercado, realizados para determinar un nivel de calidad en los servicios ofrecidos, según los intereses del negocio; además, hace parte de la <b>SML</b> , en la cual la gestión de directrices se hace teniendo en cuenta las particularidades de cada servicio y las expectativas del cliente.
2. Para el establecimiento de objetivos de desempeño de la red.	Con el fin de sustentar la garantía y la oferta del servicio, este conjunto gestiona las directrices para la evaluación de la calidad de desempeño y la disponibilidad de la red; es por esto que esta agrupación de funciones se relaciona con la <b>SML</b> , pues es ella la que se encarga de evaluar la satisfacción del cliente, con base en las técnicas orientadas a la retención y crecimiento de usuarios.
3. De criterios de QoS al cliente.	Este conjunto proporciona una característica de indagación sobre la gestión de la red para ofrecer al cliente información relativa a la gestión de desempeño, como por ejemplo, la gama de opciones del servicio, las posibles condiciones en las que se aplican rebajas si no se cumplen los objetivos de QoS o los umbrales de supervisión del desempeño; esta información que debe estar consignada en el SLA, se constituye en los criterios de QoS. Es por esto que este conjunto pertenece a la <b>SML</b> , por ser la encargada de las interacciones con el cliente y del establecimiento del SLA.
4. De evaluación de la QoS.	Se relaciona con la <b>SML</b> porque uno de sus cometidos principales es el mantenimiento de datos estadísticos, dentro de los que se encuentran los referentes a QoS. Estos datos

	se constituyen en el resumen de evaluación de todas las medidas de desempeño del servicio (por área, por tipo de cliente, por tipo de servicio y por tipo de componente), al que se accede por medio de este conjunto. Esta evaluación hace posible la comparación entre la calidad medida y los objetivos de calidad trazados inicialmente, los resultados de dicha comparación contribuyen a los conjuntos 1 y 2 de este grupo, puesto que llevarán a plantear o replantear objetivos tanto de desempeño como de QoS. Para estos últimos, la SML comparte la información con la BML, sirviéndole de soporte.
5. De evaluación del desempeño de la red.	Este conjunto permite acceder al resumen de evaluación del desempeño y la disponibilidad de la red, información que debe ser suministrada por la <b>NML</b> para dar soporte a las demandas realizadas por las capas superiores. La NML además, se encarga del mantenimiento de estos datos permitiendo que la información proporcionada a la SML esté actualizada.
6. De evaluación del desempeño del NE.	Este grupo de funciones permite acceder al análisis de datos relativos al desempeño de los NE, por lo tanto pertenece a la <b>EML</b> , dado que esta es la encargada del mantenimiento de la información relacionada a los NEs, tales como los parámetros de calidad y disponibilidad de los mismos; además, el análisis de estos datos es suministrado por los dispositivos, a los que sólo tiene acceso directo esta capa.
7. De verificación de la integridad de datos almacenados en los NEs.	La <b>EML</b> es la única capa que puede gestionar un NE y visualizar su estructura interna. Dado que este conjunto indica que un dato de desempeño ha quedado comprometido o ha sido invalidado por reinicialización o por fallos internos del equipo, pertenece a la EML.

Utilizando el mismo método, en la tabla 2 se consigna la asignación de los conjuntos del Grupo Supervisión del Desempeño, dentro de las correspondientes capas lógicas.

**Tabla 2.** Asignación dentro de las capas de la LLA, de los conjuntos de funciones de gestión del Grupo Supervisión del Desempeño.

CONJUNTO DE FUNCIONES	JUSTIFICACIÓN
1. De política de supervisión del	Por medio de este conjunto se establece la política de supervisión de desempeño que permite determinar entre otras cosas, los

desempeño.	valores en los que se han de fijar los umbrales y los planes de recolección de datos para determinados tipos de circuitos. Esta funcionalidad está relacionada con la <b>BML</b> , puesto que el establecimiento se debe hacer teniendo en cuenta, tanto los tipos de circuitos de servicios especiales, de mensajes y de instalaciones, como las acciones más favorables en cuanto a costos, aspectos comerciales y demás intereses de la empresa.
2. De correlación y filtrado de eventos de supervisión del desempeño de la red.	La <b>NML</b> , se basa en la información recibida de la EML, para estar al tanto del estado de todos los componentes de la red y obtener datos de carácter global, que le permiten proporcionar la funcionalidad necesaria para efectuar la gestión de la red. Es por esto que este conjunto pertenece a la NML, pues se basa en el conocimiento de la topología y los estados de una red y sus componentes, para facilitar el análisis de las alarmas de red y sustentar la notificación de la causa raíz de las alertas de rebasamiento de umbral de supervisión de desempeño ( <i>Performance Monitoring</i> , PM) y otros eventos de PM.
3. De acceso a datos agregados e información para pronóstico.	Este conjunto permite acceder a información sobre PM de extremo a extremo, actual, precedente, global y correlacionada, también posibilita el acceso a los efectos de detección de averías y degradaciones de la red y contribuye a aislarlas. Por otro lado, proporciona información de pronóstico que ha sido obtenida mediante análisis de datos precedentes y que permite predecir el desempeño futuro e identificar las degradaciones persistentes o en vías de agravamiento. Por lo tanto pertenece a la <b>NML</b> , pues esta capa tiene una visión global de la red, de tal forma que facilita el acceso a la información de la misma y suministra la funcionalidad necesaria para realizar su gestión. Además, se ocupa del monitoreo de los recursos de la red mediante la integración de los datos medidos en cada nodo y con ello, realiza el mantenimiento de datos estadísticos, registros y otra información acerca de la red, que puede ser procesada para obtener los datos de pronóstico requeridos. También se encarga de la detección de fallas y la optimización del desempeño de la red.

4. De recolección de datos específicos del circuito	Como el nombre lo indica, este grupo de funciones permiten la recolección de todos los datos aplicables a un circuito dado, a través de múltiples NEs. La capa encargada de esta labor es la <b>EML</b> , la cual además de realizar la recolección de esta información, se encarga de entregarla a la NML para que cumpla con lo especificado en el conjunto 3 de este grupo.
5. Sobre la situación del tráfico.	El objetivo principal de este conjunto es proporcionar datos de tráfico de una subred y sus principales componentes en un momento determinado; como esta información puede ser comunicada directamente por el NE o por el operador de la red, se puede afirmar que este grupo de funciones está relacionado tanto con la <b>EML</b> como con la <b>NML</b> . La primera capa por ejemplo, realiza funciones como brindar informes de disponibilidad de servicio de los NE y acerca de la situación ocupado/reposo de los circuitos, entre otras, mientras que la segunda, comunica la situación de congestión en las centrales, envía reportes sobre el estado de los controles de tráfico que han sido establecidos por el operador y aplicados por la central y muchas más.
6. De supervisión de la aptitud para cursar tráfico.	Este conjunto es el encargado de informar sobre las mediciones del desempeño vigente del tráfico que está siendo ofrecido y transportado por uno o más NE, con el fin de realizar la evaluación de los mismos. Estas mediciones que conducen a la supervisión del desempeño, pueden ser efectuadas en la central o mediante un sistema de operaciones, es por esto que tiene correspondencia con la <b>NML</b> , pues ella se encarga de la gestión desde el punto de vista de la red, incluyendo la coordinación de todos los NEs que se encuentren dentro de su ámbito o dominio.
7. De procesamiento de alertas de rebosamiento de umbral de NEs.	Este conjunto deduce de una correlación de eventos que utiliza la topología interna y las situaciones de un NE, las causas de las alertas de rebosamiento de umbral de PM. Para cumplir con esta funcionalidad debe existir una relación con la <b>EML</b> pues es la única que puede acceder a la parte interna de los NEs para poder brindarles este tipo de información. Por otro lado, después de que las alertas de este tipo se han filtrado, este grupo de funciones tiene la capacidad de acceder a las que aún están

	siendo procesadas, pudiendo determinar cuáles de ellas persisten y continúan estando activas. Además, este grupo de funciones también está relacionado con la <b>NML</b> pues es esta la que conoce la topología de la red.
8. De análisis de las tendencias de los NEs.	La <b>EML</b> es la encargada de realizar el mantenimiento de estadísticas, registros y otros datos acerca de los NE, que se pueden procesar para determinar el comportamiento futuro de elementos. Dado que este conjunto sustenta la notificación de las tendencias detectadas, pertenece a la capa mencionada.
9. De acumulación de datos de supervisión del desempeño.	Está relacionado con la <b>NML</b> porque el cometido de este conjunto es notificar los datos de supervisión de desempeño de la red, procesados y sin procesar. Esta funcionalidad se lleva a cabo realizando una petición de datos de PM, que se responde con un informe generado de manera rutinaria por el agente que pertenece a la <b>NML</b> . Estos datos son almacenados en registros que son manejados por el gestor de esta misma capa.
10. De detección, cómputo, almacenamiento e información.	Este conjunto sustenta la notificación de los resultados obtenidos de estar realizando continuamente la detección, el almacenamiento y la notificación de los datos primordiales a cerca del desempeño. Si estos suministran información a cerca de un NE, este conjunto pertenece a la <b>EML</b> , dado que esta capa es la encargada de los NEs y su estructura interna.

Continuando con este proceso se trabaja con el tercer grupo del área funcional de desempeño. En la tabla 3 se muestra el resultado del análisis y posterior asignación de cada uno de los seis conjuntos que lo componen, en las capas de la LLA.

**Tabla 3.** Asignación dentro de las capas de la LLA, de los conjuntos de funciones de gestión del Grupo Control de la Gestión de Desempeño.

CONJUNTO DE FUNCIONES	JUSTIFICACIÓN
1. De política de gestión del tráfico de la red.	Este conjunto pertenece a la <b>NML</b> , pues lleva a cabo la gestión de dominios de control en diferentes partes de la red y a la <b>BML</b> porque establece planes para las condiciones de congestión que han sido previstas, analizando por ejemplo, encuestas a cerca de las demandas de la red, comportamientos típicos en una región, entre otros.

2. De control de tráfico.	Este grupo de funciones está relacionado con la NML porque tiene a su cargo todas las funciones relacionadas con la aplicación, modificación y eliminación de controles de tráfico de gestión de red automáticos y manuales. La <b>NML</b> se basa en este conjunto para crear y modificar configuraciones de enrutamiento que permiten mitigar la congestión de red, causada ya sea por cargas ofrecidas inusualmente altas, por una o más averías no protegidas o por una distribución poco habitual de la carga ofrecida.
3. De administración del tráfico.	Este conjunto gestiona los planes de estimación de tráfico y otros datos que posibiliten las mediciones y el control del mismo, para lo cual se requiere acceder a la central o al sistema de operaciones que corresponda y realizar las modificaciones deseadas, por ejemplo fijar los objetos y las entidades sobre las cuales se efectuarán las mediciones o el tipo y la periodicidad con que se harán. Estas funciones las cumple la <b>NML</b> , dado que es la encargada de los aspectos de gestión de la red.
4. De administración del desempeño.	Este grupo de funciones pertenece a la <b>NML</b> , dado que es el encargado de la gestión de planes, umbrales y demás atributos de la supervisión del desempeño, para lo cual el gestor de esta capa solicita información al agente, le ordena que asigne determinados valores a los atributos o que realice actividades de recolección y almacenamiento de datos; el agente de la NML por su parte, responde a las peticiones o envía información de acuerdo con el arreglo de un plan específico.
5. De ejecución de control del tráfico.	Pertenece a la <b>NML</b> . Toma en cuenta lo realizado por el conjunto 2 de este grupo y acoge todos los resultados relacionados con el control de tráfico, ya sea manual o automático, permitiendo no solo cambiar estos controles, sino también, acceder a datos sobre la situación y la ejecución de los mismos.
6. De informe de auditoría	Esta agrupación de funciones de desempeño, comunica la información de control disponible en los NE, por tanto pertenece a la <b>EML</b> , pues como se ha mencionado anteriormente, esta es la única capa que puede acceder a la parte interna de cada componente.

La tabla 4 contiene la asignación de los 11 conjuntos que conforman el Grupo de Análisis del Desempeño, dentro de las capas lógicas del LLA.

**Tabla 4.** Asignación dentro de las capas de la LLA, de los conjuntos de funciones de gestión del Grupo Análisis del Desempeño.

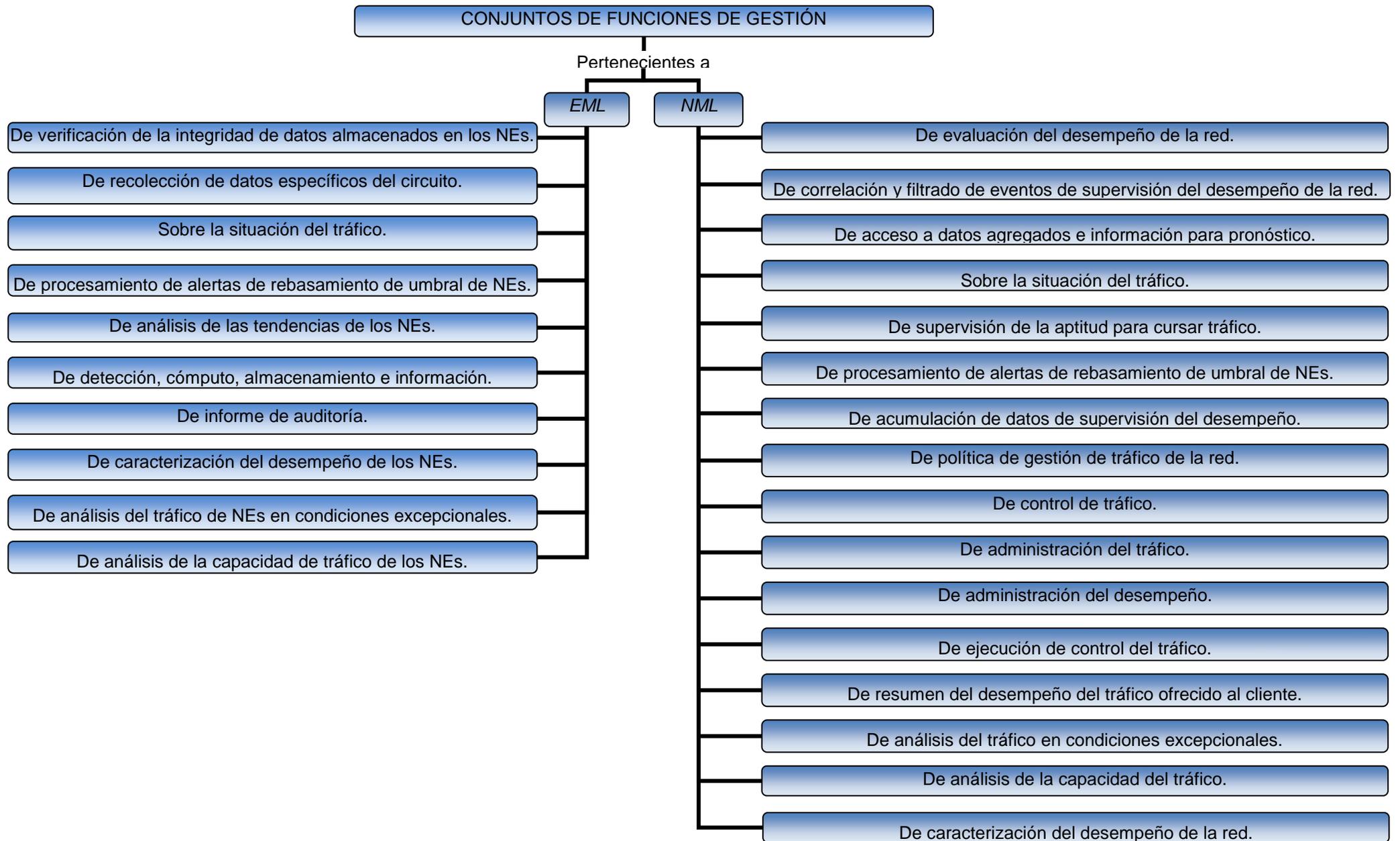
CONJUNTO DE FUNCIONES	JUSTIFICACIÓN
1. Sobre recomendaciones para la mejora del desempeño.	Con el fin de mejorar la calidad en el futuro, según los resultados que arrojen los datos del desempeño, este conjunto sustenta la formulación de medidas recomendadas, como cambios de procedimiento y aumento o redistribución en el capital de trabajo. Es por esto que pertenece a la <b>BML</b> , la cual tiene entre sus principales funciones la planificación, la toma de decisiones ejecutivas, la gestión del presupuesto y el suministro-demanda de mano de obra.
2. De política de umbrales de excepción	Este conjunto gestiona las condiciones de adopción de medidas correctivas referentes a los datos de desempeño en situaciones excepcionales, además, designa el tipo de medida que se ha de tomar. Se puede inducir que existe correspondencia entre esta agrupación de funciones y la <b>BML</b> , puesto que esta capa es la que define mediante políticas internas, cuáles son las situaciones excepcionales y las medidas que deben tomarse ante ellas, esto se deduce porque la BML se encarga de la gestión global de la empresa, de la planeación y la utilización óptima de los recursos de telecomunicaciones.
3. De previsión del tráfico	Este conjunto informa sobre los cambios de demanda, que se proveen analizando antecedentes y evaluando factores económicos, por lo cual evidentemente, pertenece a la <b>BML</b> , pues se basa en información relativa al negocio.
4. De resumen del desempeño al cliente (excluido el tráfico).	Pretendiendo evaluar el desempeño de un determinado servicio de transporte o grupo de servicios, este conjunto justifica la elaboración de informes que contengan resúmenes de las mediciones de desempeño de los mismos, a los cuales puede acceder el cliente para verificar si se han alcanzado los niveles de servicio que le han sido garantizados. Este conjunto pertenece a la <b>SML</b> , puesto que esta capa es la encargada del mantenimiento de datos a cerca de servicios específicos y de las interacciones con el cliente, incluyendo la garantía de los niveles de servicio establecidos en el SLA.
5. De resumen del desempeño del tráfico	Dos capas están relacionadas con el cometido principal de este conjunto. La primera es la <b>NML</b> , que permite acceder a un informe planificado o de

ofrecido al cliente.	excepción sobre el tráfico ofrecido, la utilización y las medidas de congestión en un circuito arrendado, en un grupo de circuitos arrendados, en un grupo de búsqueda o en una red arrendada o virtual. La segunda, es la <b>SML</b> quien interactúa con la NML para obtener este reporte y poder de esta manera, ofrecerlo al cliente.
6. De análisis del tráfico en condiciones excepcionales.	Este conjunto permite la comunicación de datos de tráfico analizados precedentes de una red o de una parte de ella, para detectar las condiciones excepcionales ocasionadas por una demanda inusual o una disminución en la capacidad de la red e informar al respecto. Por lo tanto pertenece a la <b>NML</b> , pues el conjunto realiza el análisis de información relativa a la red que solo puede suministrarse en esta capa; además, dado que la NML es la encargada de gestionar la red, los correctivos que deben hacerse con base en la información analizada también corresponden a ella.
7. De análisis de la capacidad de tráfico.	Se relaciona con la <b>NML</b> porque esta capa, mediante el suministro, el mantenimiento y el cese de las capacidades de red, sustenta la elaboración de informes para estimar el nivel de tráfico ofrecido al que se puede dar viabilidad con los recursos existentes y con el nivel de QoS deseado, realizando así, el análisis de la capacidad de tráfico, labor principal de este grupo de funciones.
8. De caracterización del desempeño de la red.	Este conjunto pertenece a la <b>NML</b> , ya que sustenta la elaboración de informes que contengan el desempeño de extremo a extremo, de redes digitales especializadas.
9. De caracterización del desempeño de los NEs.	Con el fin de soportar la evaluación del nivel de desempeño de la entidad, este conjunto comunica datos de desempeño analizados y procesados con base en mediciones, por ejemplo violaciones de umbral que se generan cuando un cómputo de supervisión de desempeño, ha igualado o superado un nivel predeterminado que se fijó en los NEs. Entonces, este conjunto pertenece a la <b>EML</b> , dado que es esta capa quien tiene acceso directo y pleno a la información de un NE.
10. De análisis del tráfico de NEs en condiciones excepcionales.	Existe correspondencia entre este conjunto y la <b>EML</b> porque dentro de las responsabilidades de esta capa, se encuentra lo concerniente a la recolección y análisis de datos precedentes acerca del tráfico de un NE o un grupo de NEs, con los cuales informa las condiciones

	excepcionales causadas por demandas inusuales o por una reducción de la capacidad.
11. De análisis de la capacidad de tráfico de los NEs.	Esta agrupación de funciones comunica datos de tráfico analizados provenientes de un NE o de un grupo de ellos, con los que se determina la capacidad de tráfico. Dado que la información de los NE se obtiene en la <b>EML</b> , este conjunto, se relaciona con ella.

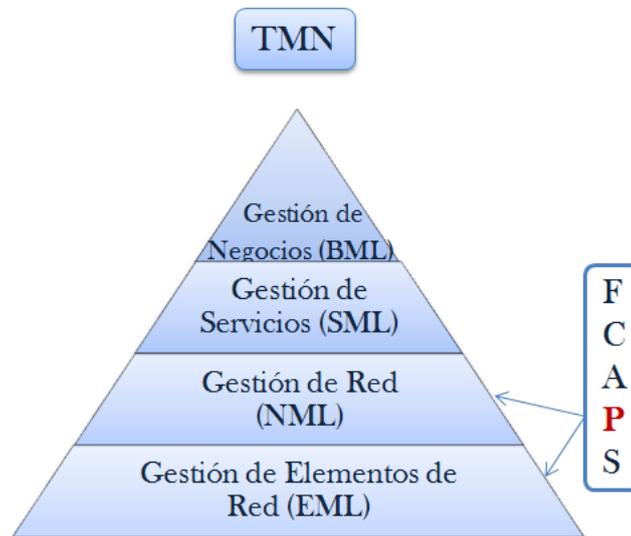
#### 2.4. FUNCIONES DE DESEMPEÑO PERTENECIENTES A LA EML Y A LA NML.

A partir de las tablas anteriores se genera la figura 5, donde se expone una síntesis del resultado de la asignación de las funciones de desempeño dentro de los correspondientes niveles de la arquitectura lógica de TMN, la cual se realizó mediante el análisis de la información encontrada dentro del proceso de investigación. De las 34 funciones iniciales, 24 pertenecen a los niveles mencionados, 10 a la de Gestión de Elementos de Red y 15 a la de Gestión de red.



**Figura 5. Funciones de desempeño de TMN correspondientes a los niveles de Gestión de Red y Gestión de Elementos de Red.**

Haciendo alusión al cuadro explicativo que indica la finalidad del proyecto (Ver figura 1), se puede observar que hasta el momento se ha realizado la parte correspondiente a la figura 6, donde se muestra que de las FCAPS se ha tomado el área funcional de desempeño para ser relacionada con los niveles de Gestión de Red y Gestión de Elementos de Red de TMN.



**Figura 6.** Representación del proceso realizado en el capítulo 2.

De esta manera, este capítulo permitió conocer los conceptos relacionados con las FCAPS, profundizando en el área funcional de desempeño puesto que comparte el mismo enfoque actual del modelo OPM. También se describieron los papeles que desempeñan cada uno de los niveles de la arquitectura lógica de TMN, presentando además sus principales características. Finalmente se expuso la asignación de las funciones de desempeño de TMN en los niveles de Gestión de Red y Gestión de Elementos de Red de su arquitectura lógica, lo que se constituye en un paso importante para el cumplimiento del objetivo de este proyecto, puesto que las funciones definidas en estos dos niveles son necesarias para establecer la interacción TMN/OPM, que se llevará a cabo posteriormente.

### 3. INTERACCIÓN ENTRE EL MODELO OPM Y LAS FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE TMN

Para **plantear la relación entre el modelo OPM y las funciones de desempeño de TMN**, este apartado se divide en dos secciones: En la primera se expone la información relativa a los parámetros de OPM y a las tres capas de su modelo de referencia, junto con la correspondencia que estos tienen. La segunda contiene la interacción entre las funciones de desempeño de TMN definidas en el capítulo 2 y el modelo OPM, con los respectivos argumentos que justifican esta relación.

#### 3.1. OPM

Dado que cada aplicación puede tener un conjunto diferente de requerimientos, se prevé la necesidad de una red que transmita diferentes formatos de modulación, un amplio rango de velocidades de transmisión de datos y diversos tipos de tráfico con QoS variable, es así como las redes ópticas reconfigurables e inteligentes de alta velocidad entran a desempeñar un papel cada vez más importante en la transmisión de información. Para garantizar que los trayectos de canal estén configurados adecuadamente y que los parámetros ópticos sean apropiados para la entrega fiable del servicio, se hace necesario un nivel de supervisión que permita cierta visibilidad dentro de las redes ópticas. OPM se presenta entonces, como una estrategia de monitoreo, cuya importancia crece en la medida que aumenta la complejidad de las redes y que no sólo permite identificar los deterioros acumulados debido a los efectos degradantes de la red, sino también, proporcionar información en tiempo real acerca de la calidad de las señales de transmisión y aislar la causa específica del problema y su ubicación.

En [9] se expone que *“La supervisión óptica es un elemento fundamental en la gestión de redes ópticas en razón que es posible gestionar sólo lo que se puede medir”*, partiendo de este hecho, OPM realiza un barrido extremo a extremo de parámetros, tales como ganancia de amplificador, longitud de onda de la señal, ancho de banda del canal, distorsión no lineal, estado de polarización, presencia del canal y potencia de la señal, con el fin de contribuir a la determinación de rutas, diagnosticar y reparar automáticamente la red.

Para lograr su objetivo, OPM cuenta con una serie de parámetros que permiten evaluar el desempeño de una red y con un modelo de referencia en el cual se basa para realizar una correcta gestión.

#### **Parámetros de OPM.**

El monitoreo de una red óptica cuenta con el amplio espectro de OPM, el cual incluye un gran número de parámetros clasificados en tres categorías: el monitoreo de la pérdida de señal, el cual hace referencia a la supervisión de los componentes de fallas en el recubrimiento y los cortes de fibra, que

causan una alteración en la transmisión óptica; esto es particularmente importante para monitorear componentes activos tales como, amplificadores de fibra dopada con erbio (*Erbium Doped Fiber Amplifiers*, EDFAs) y conectores ópticos cruzados (*Optical Cross Connect*, OXCs), debido a su mayor probabilidad de falla. El monitoreo de la alineación de la señal, que tiene que ver con la posición del filtro y la alineación de la longitud de onda, para garantizar un correcto funcionamiento. Por último, el monitoreo de la calidad de señal, que se relaciona con una multitud de efectos perjudiciales que deben ser minimizados y controlados; estos deterioros incluyen ruido, distorsión, time jitter, entre otros [10]. Los parámetros clasificados en estas categorías, se muestran en la Figura 7.

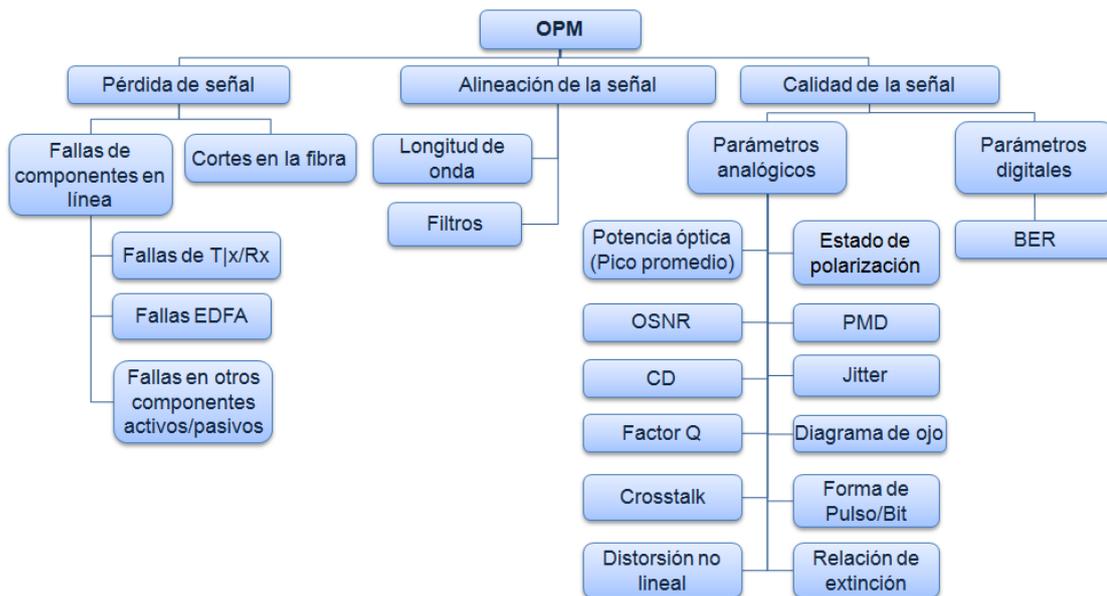
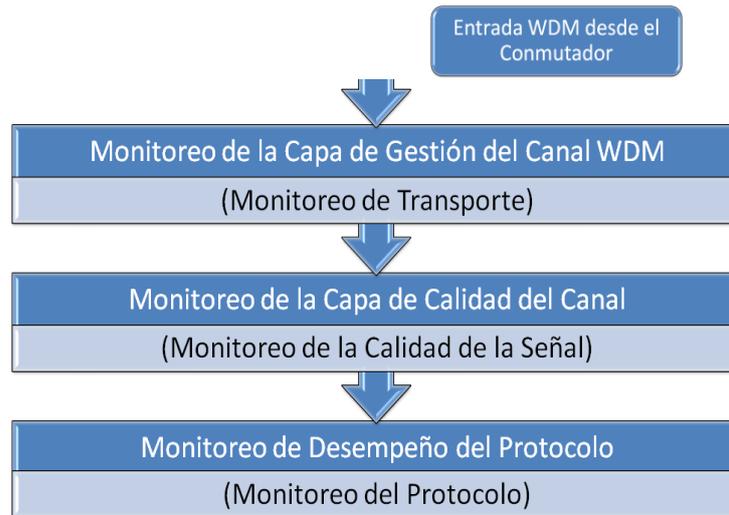


Figura 7. Espectro de Parámetros OPM [10].

### Modelo en capas OPM.

OPM plantea un modelo de referencia que consta de tres capas, como se expone en la figura 8. El nivel superior se conoce como Monitoreo de la Capa de Gestión de Canal WDM o Monitoreo de Transporte, el nivel intermedio es el Monitoreo de la Capa de Calidad de Canal y en el nivel más bajo se encuentra el monitoreo de la información de protocolo de datos o PPM. Cada capa contiene una Base de Datos de Gestión (*Management Information Base*, MIB) donde se almacenan los parámetros correspondientes, de acuerdo a la funcionalidad de cada una de ellas.



**Figura 8.** Capas del Modelo OPM [1].

### 3.2. ASIGNACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL ESPECTRO OPM EN LAS CAPAS DE ESTE MODELO.

Esta actividad se desarrolla a partir de dos aspectos, las definiciones de cada una de las capas del modelo OPM, con las que se logra conocer sus funcionalidades y los conceptos de los parámetros presentados en la figura 7, los cuales permiten inferir la capa en que trabajan.

*Monitoreo de la capa de gestión de canal WDM o Monitoreo de transporte.*

OPM utiliza el plano de transporte como fuente principal de información para detectar de manera totalmente transparente el estado de las conexiones y sus prestaciones [37]. Esta capa encierra la determinación de las características esenciales del dominio óptico para gestión de canal y transporte en la capa WDM [1], por lo tanto se ocupa de verificar el estado de los componentes y subsistemas ópticos como transmisores, receptores, conmutadores, filtros o amplificadores, que pueden sufrir desperfectos y causar deterioro en los servicios; y de determinar alteraciones en la fibra como cortes o roturas, que además de degradación en el enlace, pueden causar alta atenuación. Es importante reconocer que el desempeño de la red depende no sólo de los efectos causados por los componentes de la misma, sino también del estado de las conexiones y de los fallos en la cadena de amplificación óptica, elementos que también deben tomarse en cuenta en la capa de monitoreo de transporte [37].

En la figura 9 se pueden observar los parámetros que se relacionan con esta capa.



**Figura 9.** Parámetros que pertenecen al Monitoreo de la capa de Gestión de Canal.

Para exponer las razones por las cuales se presenta esta relación, se parte del hecho de que los elementos que componen el recuadro desempeñan un papel específico y encierran por esto, su debida importancia dentro del monitoreo de gestión de canal, pues mediante ellos se pueden hacer los correctivos necesarios para proporcionar el buen funcionamiento del enlace a nivel de transporte, garantizando el establecimiento del servicio con los niveles de calidad requeridos.

- *Presencia del canal:* se determina a través de las mediciones de potencia del canal. Esta medida se puede utilizar en la verificación de los canales libres para determinar cuáles son los elegidos para enviar la información. Además, cuando una señal se ha transmitido a través de la fibra y la potencia es igual a cero en el receptor, se puede asegurar la no presencia del canal; la ocurrencia de este fenómeno, puede indicar un grave problema en el sistema y es por eso que su monitoreo se hace indispensable. La capa de transporte se encarga de examinar constantemente este parámetro, no sólo con el fin de determinar errores sino también, de darles una rápida solución.
- *Crosstalk intercanal:* causada por la interferencia de señales entre dos canales, ocurre cuando estos se encuentran lo suficientemente alejados, de tal manera que la diferencia entre longitudes de onda es muy grande en comparación con el ancho de banda del receptor. Este tipo de fenómeno puede originarse de una variedad de fuentes, se puede presentar a través de interacciones indirectas, por ejemplo, cuando un canal afecta la potencia vista por otro [38]. El efecto negativo del crosstalk se intensifica debido a su carácter acumulativo, a medida que la señal atraviesa durante su transmisión, una cascada de nodos ópticos de la red [39], razón por la cual se debe supervisar dentro de la capa de transporte.
- *Fallas de los EDFAs:* estas podrían ser consideradas dentro de las fallas de componentes activos/pasivos, sin embargo como el efecto es verdaderamente significativo, se ha decidido en el marco de este trabajo

de grado, tomarlo como un parámetro independiente. Los EDFAs son amplificadores ópticos que se basan en el dopaje con erbio de una fibra, necesitan de un bombeo externo con un láser de onda continuo a una frecuencia ligeramente superior a la que amplifican [40] [41]; es en este bombeo donde se pueden presentar fallas que afectan el funcionamiento de la red. La supervisión de los amplificadores ópticos se hace necesaria porque son las principales fuentes de ASE y no compensan la dispersión, ni quitan el ruido de la señal, por ser fenómenos acumulativos [42].

- *Corte en la fibra:* es causado por cambio del ángulo de incidencia en la frontera núcleo-revestimiento de la fibra, el cual puede ocasionar una pérdida de luz y con ella, atenuación y degradación de la señal óptica. La importancia de monitorear este parámetro, radica en que una rotura podría acarrear el fallo de muchos sistemas independientes, por lo que se puede necesitar la restauración de la señal óptica en curso.
- *Estado de polarización:* debido a las diferentes velocidades de fase con que se propagan los diversos modos de la luz a través de una fibra (no ideal), el estado de polarización a la salida va a cambiar de forma aleatoria. Esto es un grave inconveniente en dispositivos o partes del sistema sensibles a la transmisión coherente, al acoplamiento de componentes de óptica integrada y a la polarización, como por ejemplo, los sensores interferométricos [43]. Por lo anterior, resulta imprescindible monitorear este parámetro, pretendiendo optimizar el funcionamiento de estos elementos y evitar su deterioro.
- *OSNR espectral:* la información útil sobre las propiedades ópticas de una portadora multicanal es obtenida midiendo el espectro. En el plano de transporte, la estimación del OSNR es significativa porque puede ser calculada para dar características del sistema, incluyendo la pérdida por tramo, el estado de las longitudes de onda que atraviesan el canal, la ganancia del amplificador óptico y la figura de ruido [44]. Este parámetro, es por lo tanto un elemento útil para determinar si el funcionamiento de un sistema responde al desempeño esperado en el diseño de la red, de no ser así, la capa de gestión de canal debe tomar las medidas requeridas para lograrlo.
- *Niveles de potencia y fallas en el transmisor/receptor:* se debe asegurar una óptima recepción de los niveles de potencia durante la vida del sistema, para esto la potencia de transmisión debe ser la adecuada para que el receptor reciba la señal, de tal forma que pueda ser descifrada con éxito. Esta potencia de llegada está ligada a la sensibilidad del dispositivo receptor, por lo que esta medida también debe ser controlada [45]. No es suficiente entonces, el balance de potencia que se realiza en el diseño de la red, se requiere también, el monitoreo constante de los dispositivos que la componen para determinar el estado y funcionamiento de cada uno de estos, incluyendo los transmisores y receptores, puesto que un error puede alterar los umbrales de potencia establecidos y con ello la

calidad de la señal, incluso hasta dejarla irreconocible como se mencionó anteriormente.

Otro de los argumentos del por qué se hace necesario verificar constantemente los niveles de potencia se expone en [9], donde se especifica que para cumplir con los objetivos de la supervisión óptica, se debe considerar una o más de las posibilidades siguientes:

- a. Potencia total a la entrada de las diversas etapas de la amplificación óptica.
- b. Potencia total a la salida de las diversas etapas de la amplificación óptica.
- c. Potencia de canal a la salida del transmisor WDM antes del multiplexor.
- d. Potencia de canal a la entrada del receptor WDM después del demultiplexor.
- e. Potencia de canal a la salida de las diversas etapas de la amplificación óptica.
- f. Relación señal óptica/ruido del canal a la salida de las diversas etapas de la amplificación óptica.
- g. Desviación de la longitud de onda del canal al menos en un punto a través del trayecto óptico.

La elección de cualquiera de las opciones anteriores depende de las características específicas del sistema WDM, por ejemplo, longitud, número de tramos, cantidad de canales, inaccesibilidad de los sitios, así como consideraciones sobre costos-beneficios. Lo verdaderamente elemental es que indiferentemente de cuál o cuáles sean las elegidas, es importante tomar al menos una medición de potencia en las diversas etapas de amplificación óptica, pues una desviación a la salida de estas, permite efectuar un análisis más detallado del estado del canal óptico, lo que permite al mismo tiempo realizar su gestión.

- *Fallas en los componentes activos/pasivos*: todos los elementos que conforman una red óptica ya sean pasivos como los acopladores, aisladores, circuladores, filtros fijos, dispositivos de adición/extracción y multiplexores/demultiplexores, o activos como los emisores, amplificadores, enrutadores de longitud de onda y filtros sintonizables [42], no están libres de sufrir fallas o de presentar comportamientos que afectan las señales que están siendo transmitidas. Los filtros por ejemplo, no limitan el ruido de Emisión Espontánea Amplificada (*Amplified Spontaneous Emisión, ASE*) generado por los amplificadores ópticos, lo que se ve reflejado en la señal deteriorada que llega al receptor; los conectores y la inclusión de aisladores entre el transmisor y la fibra, así como las terminaciones de la misma, producen retroalimentación debido a las discontinuidades en el índice de refracción, lo que causa disminución en el desempeño del receptor y perturbación de la fase del láser fuente, esta última genera ruido que imposibilita la detección de la señal de datos [45]. Al supervisar los componentes en línea de la red, se

puede deducir el comportamiento del sistema y tomar medidas para modificarlo si se cree necesario.

- *Registro de la longitud de onda*: uno de los criterios de desempeño óptico que se toma en cuenta en el diseño de la red, es la selección de la longitud de onda de operación, ya que por cada una de ellas sólo puede discurrir un camino de luz [46]. No obstante, las longitudes de onda después de la multiplexación, pueden presentar incompatibilidades debido a cambios en el entorno, por ejemplo en los componentes de recubrimiento, y también pueden sufrir alteraciones causadas por dispositivos como los multiplexores de adición/extracción óptica (*Optical Add Drop Multiplexers*, OADMs), que permiten insertar y extraer longitudes de onda individuales y los OXCs, que realizan multiplexación/demultiplexación de canales, monitorización, conmutación y conversión de longitud de onda [47]. La importancia de llevar un registro de este parámetro, radica en que el seguimiento del mismo, permite identificar posibles problemas que pueden afectar al sistema óptico y ser prevenidos mediante este tipo de supervisión.

Se tiene a manera general que las fallas de componentes en línea junto con los cortes en la fibra, pueden originar pérdida de la señal. Estas se definen como la agrupación de las fallas de los componentes activos/pasivos, de los EDFA y de los dispositivos de transmisión/recepción, que se han querido tratar de manera individual en la asignación anterior, debido a la importancia que supone el monitoreo de cada uno de ellos, por las posibles consecuencias que pueden traer. Por otro lado se tiene que tanto el registro de la longitud de onda, como el monitoreo de los filtros, influyen en la alineación de la señal, por lo que la supervisión de estos elementos también es indispensable.

Para concluir con los parámetros de la capa de transporte, se destaca que cada uno de los mostrados en la Figura 9, son monitoreados con el fin de obtener cualquiera de las múltiples y posibles degradaciones que se pueden presentar en el dominio óptico, sin embargo depende del diseño de la red, la probabilidad de que estas se presenten de manera frecuente y por tanto, la necesidad de ser o no supervisados dentro del sistema.

#### *Monitoreo de la Capa de Calidad del Canal o Calidad de la Señal.*

Actúa sobre una sola longitud de onda y realiza medidas sensitivas de transmisión de señal [1]. La figura 10 contiene los parámetros que pertenecen a esta capa.



**Figura 10.** Parámetros que pertenecen al Monitoreo de la Capa de Calidad de Canal.

A continuación se explica la asignación de estos, dentro de la capa de calidad de señal:

- **Factor Q:** es una medida completa de la calidad de la señal de un canal óptico, que tiene en cuenta los efectos del ruido, filtrado y distorsión lineal o no lineal de la forma del pulso, que no es posible obtener sólo con parámetros ópticos simples [9]. Si se mide en la entrada de un circuito de decisión del receptor, se considera igual a la relación señal eléctrica/ruido (*Electrical Signal-to-Noise Ratio*, ESNR) [48].
- **Dispersión Cromática (*Chromatic Dispersion*, CD):** diseminación de un impulso luminoso por unidad de anchura de espectro de la fuente, debido a los diferentes comportamientos que tienen las componentes de frecuencia que constituyen la señal, durante la transmisión a lo largo de una longitud de onda determinada en sistemas WDM [49]. Como cada componente de la señal llega al receptor en tiempos diferentes, los pulsos de luz se ensanchan al pasar por la fibra. Dado que este fenómeno puede producir interferencias, se afirma que la CD puede limitar la máxima velocidad de transmisión de la señal a través de un canal [50]. Sin embargo, esta es bastante predecible y es posible encontrar métodos para compensarla. Por lo tanto, resulta importante monitorear la CD en cada canal, pues midiéndola en los enlaces existentes, se puede realizar modificaciones para remediar sus efectos [51].
- **Dispersión por Modo de Polarización (*Polarization Mode Dispersion*, PMD):** la calidad de transmisión de la señal está estrechamente relacionada con la forma y las propiedades del material del núcleo de la fibra. En la realidad no se presentan núcleos perfectamente circulares e isotrópicos, por tanto existen distintos índices de refracción, que hacen que los estados de polarización de la luz viajen a diferentes velocidades de acuerdo al camino que cada uno recorra, produciendo una deformación y un ensanchamiento en los pulsos transmitidos. El PMD se presenta de manera aleatoria, es decir, un determinado enlace puede

tener diversos valores de PMD si este se mide en diferentes momentos, por lo cual su monitoreo debe realizarse en considerables períodos de tiempo y a variadas condiciones ambientales, ya que la geometría del núcleo de la fibra se afecta por vibraciones mecánicas, temperatura, entre otros [51], [52].

- *Jitter*: se manifiesta como fluctuaciones temporales de los períodos de bit de la señal digital durante la transmisión, que dificultan en la recepción el proceso de muestreo y de recuperación de la señal de datos [53], lo que afecta su calidad. Este problema se presenta principalmente en enlaces lentos o congestionados [54].
- *Niveles de potencia*: es importante que estos se midan sobre la señal de datos y de ruido en el canal. En la primera, porque permite observar la atenuación que esta sufre y que puede llegar a ser lo suficientemente fuerte para producir una degradación profunda en la señal, de tal forma que el receptor no sea capaz de detectarla con una tasa de error admisible [9]. Por su parte, el propósito de supervisar los niveles de potencia de ruido, es evitar que estos perturben la señal de datos hasta el punto de generar un BER inapropiado.
- *Forma del pulso/bit*: Es fundamental supervisar la forma en que se generan los pulsos que serán transmitidos, con el fin de garantizar una recuperación correcta de la señal de datos original [55], pues estos pueden deformarse por diversos efectos producidos mientras atraviesan el canal y ser detectados de forma errónea por el receptor. Monitorear la forma del pulso permite observar los cambios que la señal ha sufrido durante el trayecto, por ejemplo, atenuaciones o dispersiones críticas, que impliquen la necesidad de introducir amplificadores o regeneradores en el sistema o la exigencia de un mayor ancho de banda del canal, de tal manera que se reciban los pulsos con la forma que fueron transmitidos y se garantice que la señal llegue con la calidad apropiada [56].
- *Crosstalk intracanal*: se presenta en las redes ópticas WDM, por el uso de múltiples señales con la misma longitud de onda, que genera una interferencia debido a la falta de idealidad de los componentes de la red. De esta forma, la señal de datos se ve afectada por otras que se consideran perturbadoras, aumentando los niveles de ruido del canal y afectando la calidad de la señal [57].
- *Distorsión no lineal*: es la alteración que sufre la forma de la onda durante la transmisión, debido a la generación de nuevas componentes de frecuencia, que no existían en la señal original [58]. Las no linealidades afectan principalmente a sistemas de gran capacidad y a rutas largas sin regeneración, dado que las interacciones no lineales entre la señal y la fibra, comienzan a aparecer cuando se aumentan las potencias ópticas para conseguir tramos de transmisión más largos, a velocidades binarias altas. Entonces, es principalmente en estos sistemas donde se debe

monitorear este parámetro, para minimizar los efectos y las limitaciones que afectan la calidad de la señal [59].

- *Relación de extinción:* este parámetro consiste en la relación entre la potencia equivalente a un “1” lógico ( $P_1$ ) y la correspondiente a un “0” lógico ( $P_0$ ), en la señal digital de transmisión. Se utiliza para describir la eficiencia con la cual la potencia óptica es modulada en la fibra. En un transmisor ideal  $P_0$  debería ser cero, como la relación de extinción es igual a  $P_1/P_0$ , esta sería infinito, sin embargo, en la práctica esto no ocurre y por ello es importante monitorear esta relación, pretendiendo que sea lo suficientemente grande para evitar errores en la modulación [60], [61].
- *Registro de longitud de onda:* la mayoría de distorsiones que afectan la señal durante su transmisión por el canal, dependen de la longitud de onda. En consecuencia sus efectos son mayores para ciertas frecuencias, en las cuales la señal puede verse críticamente alterada. Adicionalmente, una de las degradaciones con mayor tasa de ocurrencia es la desviación de la longitud de onda del valor nominal [9], que tiene una relación directa con algunos parámetros de OPM, tales como la potencia del canal, el OSNR y el factor Q, los cuales disminuyen entre mayor sea la desviación mencionada. Es así como llevar a cabo este registro resulta importante, manteniendo debidamente supervisadas sus variaciones, para evitar las posibles degradaciones que pueda generar en la señal.
- *OSNR:* está definido como la relación entre la potencia de la señal y la de ruido ASE para un determinado canal [62], siendo evidente que un mayor OSNR representa una mejor transmisión de la señal y por lo tanto una mayor calidad del canal. Este parámetro forma parte de esta capa, dado que sugiere un grado de deterioro de la señal cuando esta se transmite a través de un sistema óptico [63].

Finalmente, es preciso aclarar, que a pesar de que el diagrama del ojo se clasifique en [10] como uno de los parámetros que conforman el espectro de OPM, se considera que este, más que constituirse en uno del cual se pueda dar una medida estimada, es una herramienta a partir de la cual se obtienen valores de otros parámetros. Por lo tanto, el diagrama no forma parte de esta capa. Sin embargo se debe tener en cuenta, pues permite medir la calidad de la señal y facilita el análisis de las formas de onda de los pulsos que se propagan en el canal de transmisión, dado que a través de él, se pueden obtener mediciones importantes, tales como la BER, el factor Q, el jitter, los niveles de ruido, entre otros [64]. Este diagrama se despliega en dos ejes, en uno de ellos, el del tiempo, se pueden observar el margen y las variaciones del sincronismo, en el otro que representa la amplitud, se muestra la distorsión producida por la Interferencia Entre Símbolos (*Inter-Symbol Interference*, ISI) y el margen del ruido. Para evaluar el funcionamiento se debe observar la abertura del ojo, cuanto más grande sea, habrá menor

probabilidad de error y por lo tanto, se realizará la transmisión con mejor calidad [65].

#### *Monitoreo de información de protocolo de datos o PPM.*

Esta capa se encarga de supervisar el comportamiento del protocolo que se está usando en la transmisión, siendo el BER el único parámetro que se relaciona con esta.

- El *BER* es una medida cuantitativa de extremo a extremo tomada en el dominio eléctrico, que se refiere a la relación entre el número de bits errados que se reciben y el total de bits que se transmiten en un determinado periodo de tiempo; por tal razón permite inferir propiedades de la señal óptica analógica y es de esta forma, cuando se considera un parámetro perteneciente a esta capa. Es conveniente supervisarlos, debido a que conforme aumenta el número de bits errados, la calidad de la señal se reduce hasta llegar a un punto en que no es posible descifrar el mensaje transmitido [66]. A pesar de que el BER permite evaluar la calidad de la señal, no se considera parte de esa capa, puesto que no es posible obtener su valor en una longitud de onda, sino en el receptor del sistema, sobre la señal eléctrica que finalmente le llega.

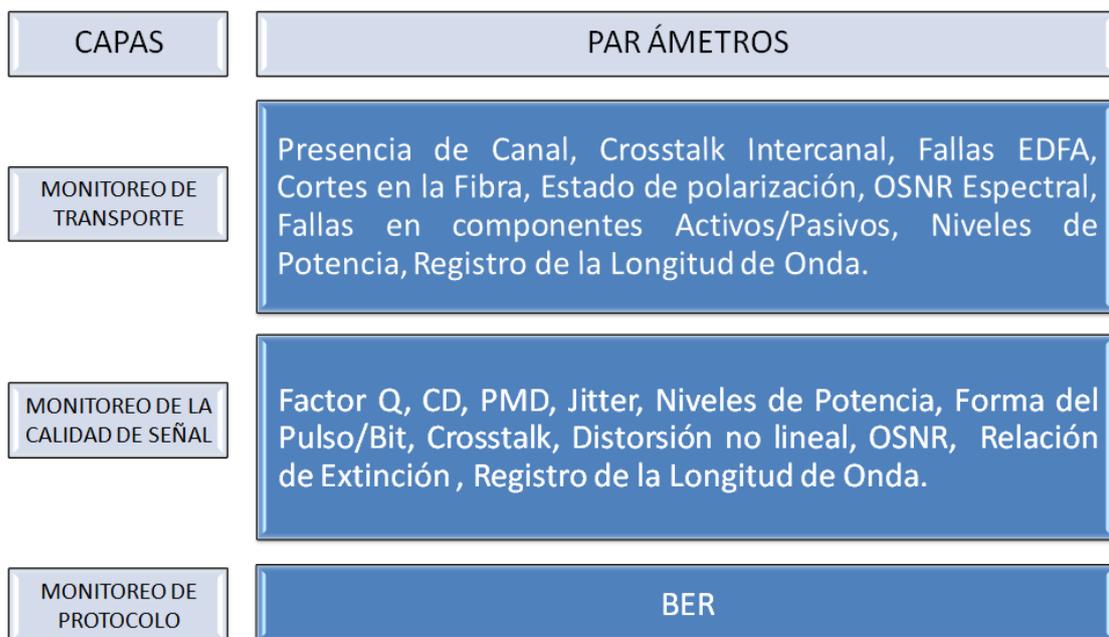
Se recomienda que el valor de este parámetro no sea superior a  $10^{-10}$ , cuando se cuente con las condiciones extremas de atenuación y dispersión del trayecto óptico. Sin embargo, si se desea un sistema con mejor desempeño, se sugiere considerar un BER superior a  $10^{-12}$  y tener en cuenta que se puede requerir una mayor sensibilidad del receptor [67].

Así como el BER tiene unos valores estimados con los cuales se garantiza un cierto nivel de desempeño, cada uno de los parámetros anteriormente expuestos también posee un valor técnico de medida. Estos han sido consignados en diferentes recomendaciones de la ITU-T, donde se toman en cuenta múltiples aspectos de la red para su definición, tales como, las ventanas de operación, el tipo de fibra utilizada, la separación entre canales, el tipo de fuente, la velocidad binaria nominal, entre mucho otros. El Anexo B muestra una recopilación de los principales valores.

Para concluir esta sección del capítulo, la figura 11 muestra la síntesis del proceso realizado hasta el momento, en el cual los parámetros del espectro OPM fueron asociados dentro de sus respectivas capas, con el objetivo de establecer cuál debe ser la información de monitoreo que debe pasar a través de estas, para evitar congestión por información redundante, garantizando al mismo tiempo que con los parámetros supervisados, se preste el servicio con la calidad acordada. De esta forma, cuando lo que se requiere monitorear es el estado de las conexiones o cualquier característica del dominio óptico para la gestión del canal, se deben utilizar los parámetros que se encuentran en la capa de monitoreo de transporte; si se necesitan medidas sensitivas de transmisión de señal, se emplean los de la capa de calidad del canal y si se busca obtener información acerca del desempeño

del protocolo adoptado a nivel físico de la red, entonces se debe tomar en cuenta el parámetro que está en la capa de monitoreo de protocolo.

Con la relación establecida se presenta parte de la solución a la inquietud planteada, hace falta realizar un análisis interno de cada capa para determinar qué parámetros pueden derivarse de otros, por ejemplo el BER puede ser deducido del Factor Q y viceversa, aplicando una sencilla ecuación dentro del monitor, siendo necesario supervisar sólo uno de ellos, lo que reduce la congestión provocada por información de monitoreo redundante. Otro aspecto que se puede tener en cuenta en una investigación posterior es el factor costo-beneficio, puesto que si se utilizan ciertos dispositivos de última generación, tales como, OXCs, OADMs configurables dinámicamente, transponders sintonizables, fibras equalizadoras, fibras de dispersión desplazada o redes de difracción (gratings), se disminuyen significativamente los deterioros de la red, pero a cambio del incremento significativo de costos [68], [69].



**Figura 11.** Parámetros asignados dentro de cada una de las capas del modelo OPM.

### 3.3. ESTABLECIMIENTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE OPM Y LOS CONJUNTOS DE FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE TMN PERTENECIENTES A LA EML Y LA NML.

Para lograr establecer la interacción entre el modelo de referencia OPM y TMN, se hace necesario tomar los resultados obtenidos en el capítulo 2, donde se presentan las funciones de desempeño clasificadas en los niveles de gestión de red y elementos de red de esa arquitectura. Con esta información y teniendo en cuenta las funcionalidades de cada una de las capas del modelo OPM y los parámetros asignados dentro de ellas, es posible encontrar la relación mencionada. Es preciso aclarar que el modelo

OPM trabaja a nivel de la EML y por lo tanto los conjuntos pertenecientes a esta capa se relacionan directamente con el modelo en mención; en cambio, con los conjuntos de la NML tiene una relación indirecta por ser un soporte para ellos, al permitir la recolección de la información que se requiere a nivel de los NEs, para dar cumplimiento a las funciones de red.

En esta relación los NEs representan dispositivos como conmutadores, multiplexores/demultiplexores, OXCs, OADMs, receptores y cualquier otro componente que sea gestionable y que se encuentre ubicado en los nodos de la red de telecomunicaciones. También los circuitos que representan la fibra como medio de transmisión, hacen parte de los NEs.

En seguida se expone el resultado de la interacción entre OPM y los conjuntos pertenecientes a la EML.

- Conjunto de funciones de verificación de la integridad de datos almacenados en los NEs.

Se encarga de la verificación de la integridad de los datos de desempeño, para ello determina cuándo se presenta algún fallo, deterioro o cambio en los componentes, que modifique estas mediciones. La capa de transporte del modelo OPM da cumplimiento a este conjunto realizando el monitoreo de NEs, con el cual se puede determinar si se están alterando los parámetros de desempeño pertenecientes a este nivel (ver figura 11). Sin embargo, estos valores también pueden cambiar por reinicialización de los equipos, por lo que se requiere de un monitor capaz de detectar este tipo de eventos, que permita efectuar este grupo de funciones en su totalidad.

- Conjunto de funciones de recolección de datos específicos del circuito.

Dado que este conjunto permite la recolección de todos los datos aplicables a un circuito dado, es llevado a cabo en OPM por sus tres capas, quienes se encargan de recolectar diversa información de acuerdo a su enfoque. La capa de transporte reúne los parámetros que permiten realizar la gestión del canal y que se relacionan con el funcionamiento del sistema; el nivel de calidad de canal, todos los correspondientes a la calidad de la señal que se transmite a través de él y la capa de protocolo, los referentes al desempeño del mismo. Estos parámetros se constituyen en los datos que OPM recoge del circuito óptico que está monitoreando, los cuales se vierten posteriormente en el “conjunto de funciones de acceso a datos agregados e información para pronóstico”, para efectuar esta función a cabalidad.

- Conjunto de funciones de procesamiento de alertas de rebasamiento de umbral de NEs.

Las dos capas superiores del modelo OPM dan cumplimiento a las funcionalidades de este conjunto, puesto que las alertas de rebasamiento

de umbral, son generadas a nivel de calidad de señal y de transporte, mediante la supervisión constante de los parámetros que les pertenecen y que arrojan resultados de componentes físicos, de degradaciones y del estado del sistema, mediante las mediciones de potencia, OSNR o de la desviación de la longitud de onda. Además la capa de transporte permite acceder a las alertas procesadas de rebasamiento de umbral de los NE, es decir, las que persisten y continúan estando activas una vez se han filtrado las relacionadas con alarmas o con violaciones de umbral en las instalaciones de soporte.

- Conjunto de funciones de detección, cómputo, almacenamiento e información.

Soporta la notificación de los resultados de detección, almacenamiento e información continuos de las primitivas de desempeño<sup>8</sup>, esto es, mediciones asociadas a la transmisión, al tráfico o a la entidad de servicio.

Para la detección, en el caso de los datos de transmisión y del tráfico, la capa de calidad de señal suministra todas las mediciones relacionadas; en el caso de los datos de la entidad de servicio, es la capa de transporte quien la entrega, pues una de sus funciones es brindar información de los parámetros referentes a los NEs.

El almacenamiento de datos que se realiza con el fin de obtener a petición, los registros de desempeño de un NE, sin tener que reinicializar el dispositivo, es tratado por OPM mediante la MIB que se localiza dentro de la capa de transporte o a través de la base de datos del mismo NE.

En cuanto a la función de informe, que permite que un NE comunique cualquier parámetro de desempeño a petición y/o periódicamente con arreglo a un plan, es una labor realizada por la capa de transporte, puesto que mediante su monitoreo se pueden obtener estos reportes.

- Conjunto de funciones de informe de auditoría.

Comunica la información de control disponible en el NE, por ejemplo el nivel de saturación y las condiciones fuera de servicio, para mostrar el estado de los componentes dentro de la red WDM. Este grupo de funciones es llevado a cabo en OPM por la capa de monitoreo de transporte, por ser quien se encarga de supervisar el estado de los dispositivos y subsistemas ópticos, suministrando medidas que permiten inferir el control requerido sobre la red.

A continuación se presenta la relación entre el modelo OPM y los conjuntos de funciones de la NML.

---

<sup>8</sup> En el diccionario de la ITU-T, las primitivas de desempeño se relacionan con las mediciones básicas de desempeño. Se dividen en eventos, anomalías y fallas.

- Conjunto de funciones de correlación y filtrado de eventos de supervisión del desempeño de la red.

Las dos capas superiores del modelo OPM pueden dar soporte a parte de este grupo de funciones, al permitir el acceso a ciertas medidas de monitoreo que se constituyen en la información relacionada con el desempeño de la red y sus componentes. La capa de transporte permite deducir la situación de los NEs y del dominio óptico en general, mientras que la de calidad de señal proporciona el estado de los canales de transmisión que conforman la fibra, el cual se puede observar a través del diagrama del ojo. Los valores de estos parámetros se pueden comparar con los umbrales establecidos de acuerdo con las políticas de desempeño y con ello, determinar cuáles se han rebosado, siendo la causa raíz de las alertas.

- Conjunto de funciones de acumulación de datos de supervisión del desempeño.

Los datos de supervisión de desempeño están relacionados con todos los parámetros del espectro OPM (ver figura 7), dado que brindan información sobre el funcionamiento de la red y las degradaciones presentes dentro de ella. Considerando lo anterior y tomando en cuenta la clasificación de cada uno de los parámetros dentro de las capas, se puede afirmar que la funcionalidad de este conjunto es realizada haciendo uso de todo el modelo OPM, que notifica los datos de supervisión, ya sean procesamientos o sin procesar, con el objeto de monitorear la red en general. Es cierto que cada capa se ocupa de la medición de parámetros específicos de acuerdo a sus funciones, pero en conjunto, los datos arrojados por las tres, tienen como objetivo común, la supervisión del desempeño de la red.

- Conjunto de funciones de política de gestión de tráfico de la red.

Se encarga de la gestión de dominios de control sobre diferentes partes de la red y del establecimiento de planes para las condiciones de congestión previstas. OPM da soporte a la parte de gestión de dominios de control relacionada con el monitoreo, por medio de sus tres capas, sin embargo, no le compete el establecimiento de planes para las condiciones de congestión esperadas, pues esto se realiza a un nivel superior de TMN correspondiente a la BML, a través de un proceso que consiste en el análisis de encuestas y promociones, que permiten deducir por ejemplo, las demandas puntuales de un servicio.

- Conjunto de funciones de administración del desempeño.

La gestión de planes, umbrales y demás atributos de la supervisión de desempeño, son funciones que pertenecen a este conjunto y que se soportan en las capas de monitoreo de transporte, calidad de la señal y desempeño de protocolo, ya que dentro de sus responsabilidades están

la petición e informe de atributos y la suspensión/reanudación de la actividad de recolección de datos de desempeño. La función de las llamadas de pruebas de QoS, que en el contexto de este trabajo, se refiere a la elaboración de planes para el envío de una señal de prueba de QoS, pertenece a la SML. Por último, la fijación<sup>9</sup> de atributos y la asignación<sup>10</sup> de umbrales de PM, que también conciernen a este conjunto, hacen parte del control y no del monitoreo.

- Conjunto de funciones de caracterización del desempeño<sup>11</sup> de la red.

Como este grupo de funciones consiste en la elaboración de informes acerca del desempeño de extremo a extremo de la red y sus componentes, se basa en las capas de monitoreo de transporte y de calidad de señal. La primera, se encarga de informar sobre los parámetros que hacen referencia al desempeño de la totalidad del sistema, es decir, el dominio óptico incluyendo los NEs con sus respectivas interfaces. La segunda, informa la calidad del canal. Una vez los valores de estos parámetros se hayan obtenido, el monitor tiene la capacidad de generar los informes de caracterización del desempeño.

Los siguientes conjuntos que pertenecen a la NML, encierran funciones que se deben realizar desde el control de la red.

- Conjunto de funciones de control de tráfico.

Crea y modifica configuraciones de enrutamiento a fin de disminuir la congestión de la red debida a cargas ofrecidas inusualmente altas, a una distribución poco habitual de ellas, o a una o más averías no protegidas. OPM se encarga de la supervisión de la red, lo correspondiente a la ejecución de acciones con base en los parámetros arrojados por este monitoreo, no hace parte de él. Cuando se habla dentro de este conjunto de realizar funciones relacionadas con la aplicación, modificación y eliminación de controles de tráfico de gestión de red automáticos y manuales, se hace referencia a un conjunto de funciones que soportan estas labores desde la parte orientada al control y no al monitoreo.

- Conjunto de funciones de ejecución de control del tráfico.

Soporta instrucciones para cambiar el control del tráfico y permite acceder a datos sobre la situación y la ejecución de los controles del mismo, por lo tanto no corresponde al enfoque de OPM.

Hasta este momento se ha llevado a cabo la asignación de los parámetros del espectro OPM dentro de las capas de su modelo de referencia, a partir de una profundización en los conceptos referentes a estos dos aspectos.

---

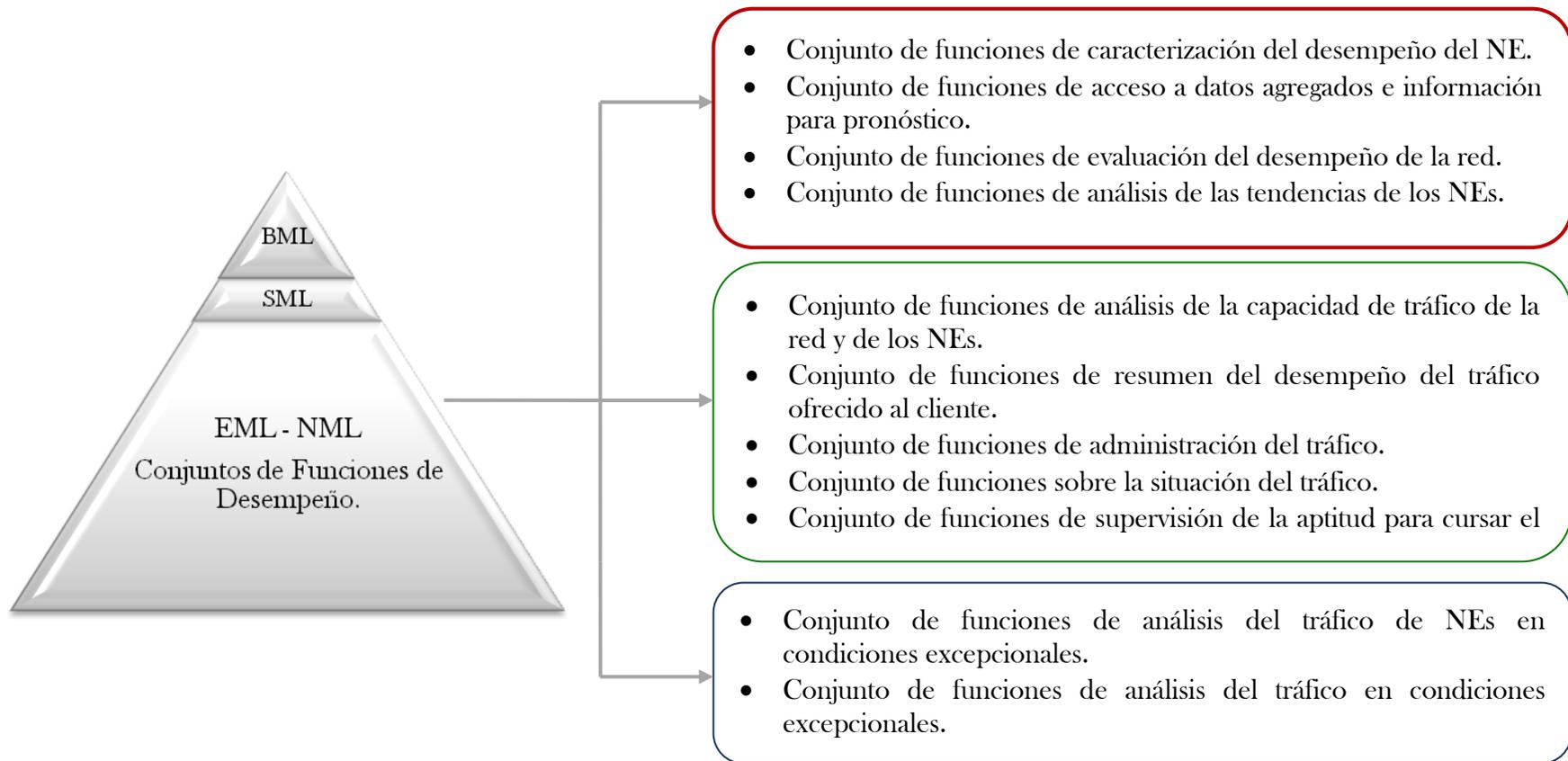
<sup>9</sup> La palabra "Fijación" se interpreta como configuración, no como determinación.

<sup>10</sup> Según [25], la "asignación de umbrales" hace referencia a la fijación y al cambio de umbrales.

<sup>11</sup> La caracterización del desempeño consiste en determinar los atributos del mismo.

Con base en esto y en la información relacionada con los conjuntos de funciones pertenecientes a la EML y a la NML, se inició con la interacción OPM/TMN.

En el transcurso de este proceso, se observó que OPM no puede dar cumplimiento a todos los conjuntos de funciones, puesto que por ser un modelo establecido para el nivel físico, las capas que lo conforman, no incluyen parámetros acerca del tráfico y no pueden llevar a cabo por sí mismas el procesamiento de la información de monitoreo. La figura 12 muestra la clasificación de los conjuntos de funciones que presentan este inconveniente.



- Presentan falencias a nivel de procesamiento, análisis y evaluación de la información.
- Presentan falencias en medidas de tráfico.
- Presentan las falencias de los dos grupos anteriores.

**Figura 12. Conjuntos de funciones de desempeño pertenecientes a la EML y a la NML, que presentan inconvenientes en el establecimiento de la interacción con el modelo OPM.**

La ausencia del procesamiento de la información de supervisión, se evidenció al tratar con funciones que requieren análisis y evaluación de datos, definición de tendencias con base a mediciones de parámetros, entre otros. Estas funciones, consignadas en el cuadro rojo de la figura 12, no se pueden efectuar a nivel de OPM por las carencias mencionadas, las cuales se han identificado de manera independiente para cada conjunto y se muestran a continuación.

- Conjunto de funciones de caracterización del desempeño del NE.  
Ausencia de análisis de datos sobre la base de mediciones (cómputos vigentes y retrospectivos, violaciones de umbral, etc.).
- Conjunto de funciones de acceso a datos agregados e información para pronóstico.  
No se proporciona información de pronóstico mediante la extrapolación de datos precedentes para predecir el desempeño futuro.
- Conjunto de funciones de evaluación del desempeño de la red.  
No se realiza la evaluación de desempeño y de disponibilidad de la red.
- Conjunto de funciones de análisis de las tendencias de los NEs.  
Falta detección de tendencias mediante el procesamiento de los datos precedentes de un NE o un grupo de NEs.

Por otra parte, los conjuntos de funciones expuestos en la figura 12, dentro del recuadro de color verde, no se logran cumplir a nivel de OPM, dado que requieren datos relacionados con algunos aspectos de tráfico que no corresponden al nivel físico en el cual trabaja este modelo. La información que necesita cada uno de estos conjuntos es la siguiente:

- Conjunto de funciones de análisis de la capacidad de tráfico de la red y de los NEs.  
Requiere medidas relacionadas con la *Capacidad de tráfico*.
- Conjunto de funciones de resumen del desempeño del tráfico ofrecido al cliente.  
Necesita medidas de congestión.
- Conjunto de funciones sobre la situación del tráfico.  
Requiere medidas de congestión.
- Conjunto de funciones de supervisión de la aptitud para cursar tráfico.  
Necesita mediciones del desempeño vigente del tráfico ofrecido y transportado por uno o más NEs, estimación de la carga de tráfico y de congestión de red.

Con esto se finaliza el proceso de establecimiento de la interacción entre las funciones de desempeño de TMN definidas en el capítulo 2 y el modelo OPM. Sin embargo, como se encontró que no es posible ejecutar todos los

conjuntos de funciones de la EML y la NML con OPM, se prosiguió por buscar alternativas que permitieran dar solución a esta dificultad.

Para resolver el inconveniente de análisis, predicción y evaluación de los datos, se propone la creación de un bloque que pueda cumplir con la característica principal del monitoreo, que consiste en entregar información concluyente a la parte de control.

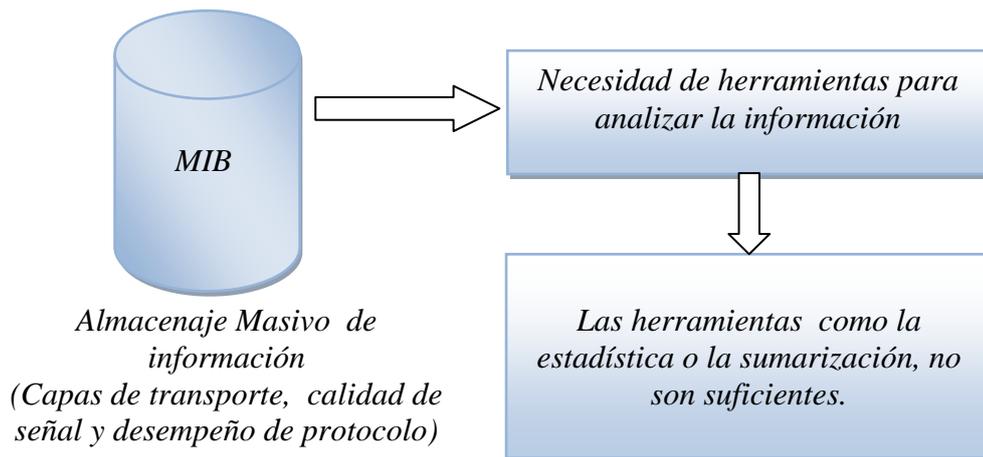
El proceso de investigación realizado para inquirir el mejor soporte del bloque, condujo a la sumarización<sup>12</sup>, que se define como una de las Funciones de Gestión de Sistemas (*System Management Functions*, SMF) que da soporte junto con otras, al área de desempeño y que es de interés entre las demás por permitir recoger información para generar datos estadísticos en redes de telecomunicaciones, lo cual es una de las funciones que se necesita cumplir. Sin embargo, se identifica la necesidad de establecer un mecanismo mediante el cual se pueda realizar un adecuado procesamiento de información, debido a que la sumarización por sí sola, no es suficiente para tal fin. Es así como se identifica un concepto denominado, Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos (*Knowledge Discovery in Databases*, KDD), que sugiere el manejo de gran cantidad de datos para encontrar en ellos conocimiento útil. Enfocado a este trabajo de grado, ese conocimiento se refiere al resultado del análisis, evaluación, interpretación y visualización de los datos obtenidos de la capa de gestión de canal, calidad del canal y desempeño de protocolo. Al aplicar este concepto y adecuarlo al contexto, se busca garantizar que el bloque propuesto, llene todos los vacíos identificados previamente.

El KDD definido como el proceso no trivial de extraer información implícita, previamente desconocida y potencialmente útil de bases de datos, identificando patrones válidos, novedosos y en última instancia, comprensibles a partir de los mismos [70] [71] tiene como objetivo fundamental, encontrar conocimiento verídico, relevante, interesante y nuevo, que permita el uso de esa información valiosa, mediante algoritmos eficientes, para conveniencia del proceso en el cual se implementa [72]. Aunque algunos autores usan los términos Minería de Datos (*Data Mining*, MD) y KDD indistintamente como sinónimos, existen claras diferencias entre los dos. Así, la mayoría coinciden en referirse al KDD como un proceso que consta de un conjunto de fases, una de las cuales es la MD [73]. De acuerdo con ello, esta consiste únicamente en la aplicación de un algoritmo para extraer patrones de datos y el KDD es el proceso completo que incluye pre-procesamiento, minería y post-procesamiento de los mismos [74]. Por esta razón se elige a KDD como soporte conceptual para la definición del nuevo bloque, pues se considera que la adecuación del mismo, puede llenar a cabalidad los vacíos existentes. Si es gusto del lector profundizar en KDD o MD, puede remitirse al Anexo C.

---

<sup>12</sup> Término definido en ISO 10 16 4-13 para la gestión OSI.

El bloque propuesto, se denominará en adelante, *Bloque de Procesamiento de la Información*, debido al nombre de la cuarta etapa de la monitorización. Para su definición, se parte de la identificación del problema, el cual se representa gráficamente en la figura 13, donde se muestra cómo hasta el momento lo único que se tiene, son registros almacenados en las MIBs de las capas de gestión de canal, de calidad de señal y de desempeño de protocolo. Estos datos hacen referencia a las mediciones de cada uno de los parámetros que pertenecen al espectro OPM.

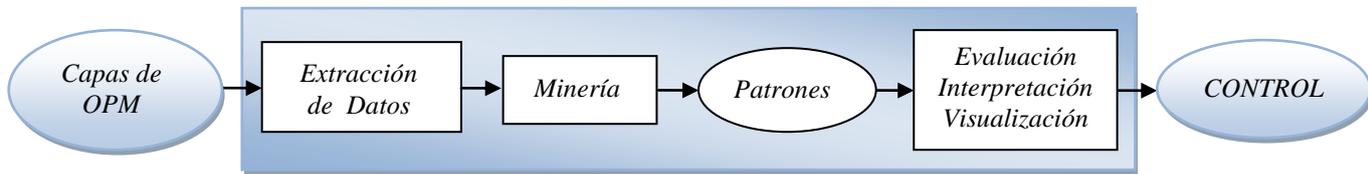


**Figura 13.** Representación del problema planteado.

El bloque de procesamiento de la información, el cual se ubica en un nivel intermedio entre el monitoreo y el control, debe encargarse de realizar tres cometidos que son: análisis, predicción y evaluación. El análisis, desde el punto de vista de la obtención de patrones que detallen la información para hacerla interpretable por la parte correspondiente a control; la predicción, para encontrar las tendencias de valores desconocidos o futuros, utilizando variables o campos en una MIB y por último, la evaluación de la información, la cual debe valorar las características de cada parámetro, para entregar una información concluyente, respecto a la degradación y su ubicación. Estos cometidos conducirán a cumplir los siguientes aspectos, necesarios para la ejecución de los conjuntos de funciones pertenecientes a la EML y la NML:

- Análisis de datos sobre la base de mediciones (cómputos vigentes y retrospectivos, violaciones de umbral, etc.).
- Suministro de información de pronóstico mediante la extrapolación de datos precedentes para predecir el desempeño futuro.
- Evaluación del desempeño y la disponibilidad de la red.
- Detección de tendencias mediante el procesamiento de los datos precedentes de un NE o un grupo de NEs.
- Análisis de tráfico precedente de un NE.
- Análisis de casos excepcionales de tráfico que consiste en el estudio de patrones del mismo.
- Generación de estadísticas.

Para garantizar el cumplimiento de las anteriores funciones, se propone el esquema expuesto en la figura 14, que describe el proceso sobre el cual debe basarse el bloque.



**Figura 14.** Estructura del Bloque de Procesamiento de la Información.

El procesamiento de la información, se realiza mediante cuatro fases, estas son:

1. *Extracción de datos:* Este módulo se encarga de solicitar las mediciones de los parámetros, que en la gráfica se denominan “Datos”, a las capas del modelo OPM. Para establecer qué peticiones se deben hacer, se realiza primero una comprensión de lo que se quiere obtener, identificando la inquietud a resolver, es decir, de todos los valores de parámetros posibles, se realiza una selección de los más influyentes para que se procesen.
2. *Minería:* es el encargado de la inteligencia del análisis de datos, por medio de técnicas que permiten procesar la información de acuerdo a lo que se requiera, por ejemplo análisis de tráfico o evaluación de parámetros de desempeño. El tipo de técnicas utilizadas puede variar según el diseño de la red. Este módulo realiza un procedimiento interno, mostrado en la figura 15, que permite entregar patrones de los datos entrantes, de forma precisa.



**Figura 15.** Procesamiento interno del módulo de minería

*El tratamiento de datos* se hace necesario, porque el formato de los datos recibidos no siempre es el adecuado para ser procesado, por ejemplo, las unidades de medida. Por esta razón se requieren conversiones o algún otro tipo de transformación o agrupamiento. En este paso se eliminan también los valores incorrectos y no válidos según las necesidades y el algoritmo a utilizar. *La implementación de técnicas* hace referencia a lo que en MD se trata como extracción de conocimiento; en este contexto, consiste en la aplicación de técnicas, que pueden ser algoritmos, mediante las cuales se logra la representación de patrones de comportamiento, observados en los valores de los parámetros o en las relaciones de asociación entre dichas variables; en esta última se podrían

nombrar las comparaciones de los parámetros con sus umbrales y las relaciones de medidas para obtener otro tipo de información ó para establecer un comportamiento. Finalmente, en *la interpretación y evaluación*, se toman los resultados de la anterior etapa y se comprueba si estos son lo suficientemente satisfactorios. En el caso de haber conseguido diferentes resultados mediante el uso de distintas técnicas, se los debe comparar y elegir el que se ajuste mejor a la inquietud que se requiere solucionar.

3. *Patrones*: representan el resultado de todo el proceso interno que se realiza dentro del módulo de minería. Estos patrones se deben caracterizar por ser útiles, entendibles y efectivos de predecir, de tal manera que las medidas sean objetivas.
4. *Evaluación, interpretación y visualización*: en este módulo se hace el reconocimiento de patrones, los cuales se interpretan y evalúan de acuerdo a las necesidades establecidas al inicio del proceso y finalmente se visualizan, de tal forma que la parte de control pueda comprender los resultados.

Con esto se concluye el planteamiento del bloque de procesamiento de la información. Las funcionalidades asignadas a él para contrarrestar las falencias identificadas y la organización modular propuesta, sugieren un proceso con el que se pueden lograr los objetivos esperados. Los conceptos utilizados para su definición, se consideran un buen soporte para permitir el cumplimiento de los conjuntos de funciones que no se pueden realizar con el modelo OPM, debido a la ausencia de aspectos como el análisis, evaluación y predicción, quienes se constituyen en los actividades principales del bloque en mención.

Un valor agregado de esta inclusión, es que su utilización no se encuentra restringida a los requerimientos actuales de las redes, sino que puede ser usado para dar cumplimiento a otro tipo de funciones de monitoreo que surjan con la evolución de las mismas, siempre y cuando lo necesario para llevarlas a cabo, se obtenga dentro del marco del bloque, es decir, a través de cualquiera de sus tres cometidos.

En seguida se presenta la interacción entre los grupos de funciones que se exhiben en el recuadro rojo de la figura 12 y el modelo OPM, tomando en cuenta el bloque propuesto.

- Conjunto de funciones de caracterización del desempeño del NE.

A través de la capa de transporte, el bloque de procesamiento de la información obtiene las alertas de rebasamiento de umbral de los NEs, junto con el valor de registro, el tipo y el nivel de umbral, además de los cómputos vigentes, retrospectivos y otras mediciones, que en conjunto se constituyen en los datos de desempeño de los NEs. Estos son procesados por el bloque propuesto, quien posteriormente comunica los

resultados, cumpliendo con la función en mención. De esta forma, se concluye que para llevar a cabo este conjunto, se requieren de la capa de transporte, quien entrega los datos y del bloque de procesamiento de la información, quien los analiza y comunica los resultados obtenidos.

- Conjunto de funciones de acceso a datos agregados e información para pronóstico.

Uno de los grandes aportes de OPM frente a otros modelos de monitoreo, es que permite el aislamiento de las degradaciones de la red mediante la detección de fallas en cualquiera de sus componentes. Este conjunto de funciones se puede realizar utilizando como soporte el modelo OPM, puesto que las capas de monitoreo de transporte, calidad de señal y desempeño de protocolo, brindan información actual y precedente, de extremo a extremo, de manera global y correlacionada, que permite que el aislamiento sea posible. Por otro lado, la información de pronóstico a la que se refiere este grupo de funciones, se puede obtener en el bloque propuesto, pues este permite la extrapolación de datos precedentes, con los cuales se puede determinar el desempeño futuro e identificar las degradaciones persistentes o en vías de agravamiento.

- Conjunto de funciones de evaluación del desempeño de la red.

Este conjunto permite acceder al resumen de evaluación del desempeño y la disponibilidad de la red. Por tanto, para cumplir con este grupo se requiere de las capas de monitoreo de transporte, calidad de señal y desempeño de protocolo, para que entreguen en diferentes instantes de tiempo, toda la información obtenida sobre los parámetros pertenecientes a cada una de ellas; y del bloque de procesamiento de la información, para que realice el análisis y posterior valoración de todas las mediciones, que conduzcan a establecer la evaluación del desempeño de la red y su disponibilidad. Para acceder al resumen de esa evaluación, este bloque almacena los resultados obtenidos, en la MIB que se encuentra dentro de el, de tal forma que se puedan consultar cuando se requiera.

- Conjunto de funciones de análisis de las tendencias de los NEs.

Para llevar a cabo este grupo de funciones, la capa de transporte debe entregar a la de procesamiento de la información todos los datos precedentes de un NE o un grupo de NEs, los cuales son registros que se deben encontrar almacenados en la MIB de este nivel. Esta última capa, identifica mediante el procesamiento de los datos, cuál es la tendencia de los mismos, de tal manera que puede soportar la notificación de los resultados y con ello, cumplir con todo lo establecido dentro de este grupo de funciones.

Continuando con la solución a las falencias encontradas en el proceso de interacción entre TMN y OPM, se prosiguió a estudiar los parámetros que permiten estimar aspectos relacionados con el tráfico, que se pueden medir sobre redes WDM.

Teniendo en cuenta que algunos de estos requieren primero de una conversión de la señal al dominio eléctrico y otros se pueden obtener sobre redes completamente ópticas, se han generado las tablas 5 y 6, en las cuales se consigna la solución determinada para cada tipo de red, es decir, en ellas se muestra la información de tráfico indispensable para cumplir con los conjuntos de funciones expuestos, junto con los respectivos parámetros que de acuerdo con el estudio efectuado, se consideran los más adecuados para obtenerla.

**Tabla 5.** Parámetros requeridos para aspectos de tráfico, medidos sobre redes que realizan conversión O/E/O.

INFORMACIÓN REQUERIDA	PARÁMETRO SUGERIDO
Medidas de Capacidad de tráfico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tasa de Información Garantizada (TIG).</li> <li>○ Umbral de ocupación máxima de las colas.</li> <li>○ Número de canales o Longitudes de onda que soportan los Multiplexores y Demultiplexores de la red.</li> </ul>
Mediciones de la carga de tráfico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tasa de Datos Inyectada (TDI).</li> <li>○ Nivel de encolamiento.</li> <li>○ Número de canales ocupados.</li> </ul>
Medidas de congestión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Comparación del nivel de encolamiento con el umbral de ocupación máxima de las colas.</li> <li>○ Cómputo de Tasa de Datos Inyectada sobre la Garantizada (TDIG).</li> <li>○ Retardo generado por los nodos del trayecto de Transmisión.</li> </ul>
Mediciones del desempeño vigente del tráfico en NEs	Se incluyen los parámetros establecidos para determinar la carga de tráfico y la congestión.

**Tabla 6.** Parámetros requeridos para aspectos de tráfico medidos sobre redes completamente ópticas.

INFORMACIÓN REQUERIDA	PARÁMETRO SUGERIDO
Medidas de Capacidad de tráfico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Umbral de ocupación máxima de las colas *.</li> <li>○ Número de canales o Longitudes de onda que soportan los Multiplexores y Demultiplexores de la red.</li> </ul>
Mediciones de la carga de tráfico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nivel de encolamiento *.</li> <li>○ Número de canales ocupados.</li> </ul>
Medidas de congestión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Comparación del nivel de encolamiento con el umbral de ocupación máxima de las colas *.</li> <li>○ Retardo generado por los nodos del trayecto de Transmisión.</li> </ul>
Mediciones del desempeño vigente del tráfico en NEs	Se incluyen los parámetros establecidos para determinar la carga de tráfico y la congestión.
<p>* Nota: Estos parámetros se puede obtener únicamente en redes que cuenten con buffers ópticos, los cuales actualmente no se han implementado porque se encuentran en investigación [75], [76].</p>	

Como se puede observar en las Tablas 5 y 6, para obtener las medidas referentes a congestión, no se sugiere un parámetro, sino un procesamiento matemático de los datos que se encuentran definidos para conseguir la información de capacidad y carga de tráfico, por lo cual, estos últimos deben ser los monitoreados, de tal forma que se suministren al bloque de procesamiento de la información o a un equipo capaz de realizar esta actividad.

A continuación se describen los parámetros que se sugiere supervisar, cuyos conceptos se definen con base en [77] [78] [79].

- *TIG*: cantidad de bits por segundo que la red se compromete a transmitir en condiciones normales. Cualquier dato enviado por encima del TIG es vulnerable de ser descartado en caso de congestión. Este parámetro no necesita ser monitoreado continuamente, dado que se fija de acuerdo con el diseño de la red y no es variable por si solo, es decir, solo se modifica si el operador o la entidad autorizada así lo ordena. Sin embargo, se requiere mantener actualizado el registro correspondiente a este valor, cada que se ejecute un cambio en su configuración. Esta

variable debe permanecer almacenada dentro de la MIB de un NE determinado, de tal forma que se pueda acceder a ella cuando se desee.

- *Umbral de ocupación máxima de las colas:* longitud máxima de las colas en los conmutadores, establecida con el fin de evitar congestión. A partir de este valor es recomendable disminuir el flujo de transmisión para evitar la pérdida de datos por descarte. Este parámetro se debe manejar de la misma forma que la TIG, pues depende de lo establecido en la configuración de los conmutadores y no varía por sí solo.
- *Número de canales que soportan los multiplexores y demultiplexores de la red:* hace referencia a la cantidad de longitudes de onda que manejan estos dispositivos para permitir el transporte de diferentes señales al mismo tiempo. Es evidente que entre mayor sea esta cantidad, el sistema hace un mayor uso del ancho de banda e incrementa su capacidad. Este parámetro depende de las características de los componentes que conforman la red y no cambia mientras ellos permanezcan en correcto estado, es por ello que para conocer este valor, se requiere almacenarlo en la puesta en marcha del sistema dentro de una MIB y supervisararlo cuando sea necesario.
- *TDI:* hace referencia a la cantidad de bits que son inyectados en la red con el fin de que sean enviados hacia el destino. Si el valor de este parámetro supera el TIG, la calidad de la señal se ve afectada porque no se asegura su completa transmisión hasta el receptor y en caso de que se logre propagar, no se garantiza que la red suministre los recursos óptimos.
- *Nivel de encolamiento:* mide la longitud de las colas de un conmutador en un determinado momento. Es importante su monitoreo, para determinar un desbordamiento de la cola en caso de que se supere el umbral de ocupación máxima establecido.
- *Número de canales ocupados:* corresponde a la cantidad de longitudes de onda que se encuentran transmitiendo señales, por lo cual, se puede obtener a partir de la presencia de canal y permite deducir la carga de la red. Es preciso destacar que cuando se requiera información de este último aspecto y de otros que se puedan derivar de la presencia de canal, es suficiente monitorear esta última, evitando el envío de datos redundantes sobre la red.
- *Retardo generado por los componentes del trayecto de transmisión:* indica el tiempo que demoran los dispositivos de la red WDM en realizar el procesamiento requerido para enrutar la señal a través de las longitudes de onda que estos manejan.

A pesar de que todos los dispositivos generen un retardo de transmisión, este sólo puede medirse directamente sobre aquellos gestionables, es decir, sobre los NEs. Sin embargo, para determinar el retardo generado

por los dispositivos restantes, se puede medir sobre NEs situados en los extremos de ciertos tramos, con el fin de monitorear que los componentes que se ubican a lo largo de ese trayecto no aporten un retardo que supere el umbral permitido, según las especificaciones de los fabricantes.

Con la introducción de los anteriores parámetros, se contribuye a la ejecución de los siguientes conjuntos de funciones, que necesitan información acerca del tráfico.

- Conjunto de funciones de análisis de la capacidad de tráfico de los NEs.
- Conjunto de funciones de resumen del desempeño del tráfico ofrecido al cliente.
- Conjunto de funciones de análisis de la capacidad del tráfico.
- Conjunto de funciones sobre la situación del tráfico.
- Conjunto de funciones de supervisión de la aptitud para cursar el tráfico.

Finalmente, tres de los conjuntos de funciones de desempeño establecidos por TMN, expuestos en la figura 12 dentro del recuadro de color azul, requieren para lograr su cumplimiento, tanto el bloque propuesto, como los nuevos parámetros definidos. A continuación se describe como con base en las modificaciones realizadas, se ejecutan estos conjuntos de funciones.

- Conjunto de funciones de análisis del tráfico de NEs en condiciones excepcionales.

Permite recolectar y analizar datos de tráfico procedentes de un NE o un grupo de NEs e informar acerca de las condiciones excepcionales causadas por demandas inusuales o por una reducción de la capacidad. Una vez se recolectan las medidas de tráfico, se suministran al bloque de procesamiento de la información, donde se hace el análisis pertinente, de tal forma que se puedan comunicar las condiciones excepcionales.

- Conjunto de funciones de administración del tráfico.

Gestiona los planes de estimación del tráfico y otros datos que posibilitan las mediciones y el control del mismo. A través de la recolección de datos de tráfico se contribuye a llevar a cabo una de las funciones pertenecientes a este conjunto, “la actualización de una base de datos de gestión de red”, puesto que las restantes son orientadas a control.

Los parámetros de tráfico se entregan al bloque de procesamiento de la información OPM, el cual actualiza la MIB en la central o en el sistema de operaciones, realizando las estadísticas de red y manteniendo los datos necesarios para efectuar la función de gestión de red, de tal forma que sean los actuales y no correspondan a datos que se han alterado después de un evento, un fallo de los equipos o por degradación de la red. De esta manera, se garantiza que el área de control pueda acceder a información actualizada, para que realice su parte, complete las labores

de gestión y con ella, se de cumplimiento total a este conjunto de funciones.

- Conjunto de funciones de análisis del tráfico en condiciones excepcionales.

Permite la comunicación de datos de tráfico procedentes de una red o parte de una red para detectar las condiciones excepcionales ocasionadas por una demanda inusual o una disminución de la capacidad, e informar al respecto. Inicialmente se obtienen los parámetros que permiten caracterizar el tráfico en general, los cuales se entregan al bloque de procesamiento de la información con el fin de estudiar los patrones de tráfico que permiten detectar las condiciones de bloqueo que rebasan los umbrales, lo que se constituye en el análisis de los casos excepcionales. Con estos datos, ya es posible elaborar los informes deseados, dentro de los cuales están las causas del rebasamiento, de tal forma que sean un soporte suficiente para inferir el grado de congestión y permitir la adopción de medidas correctivas desde el control de la red.

En síntesis, se han definido nuevos parámetros que se deben monitorear para arrojar datos acerca del tráfico y se ha generado una capa, denominada "Procesamiento de la Información", con el fin de permitir la descripción, la predicción y la evaluación de la información suministrada por las capas inferiores y entregar resultados concluyentes, que indiquen claramente las medidas que se deben adaptar desde la perspectiva del control de la red.

De esta forma, se propone un esquema de gestión, representado en la figura 16, que reúne todos los aspectos que dan soporte al cumplimiento de cada uno de los conjuntos de funciones de desempeño definidos por TMN. Este se compone: por el modelo de referencia OPM con los parámetros del espectro asignados dentro de cada una de sus capas, por una agrupación de parámetros relacionados con el tráfico los cuales están ubicados a un nivel superior de OPM y por el bloque de procesamiento de la información, que se encuentra entre monitoreo y control, constituyéndose en un intermediario que permite inferir las acciones que debe efectuar CONTROL como respuesta a la información concluyente entregada por la parte de MONITOREO.

## CONTROL

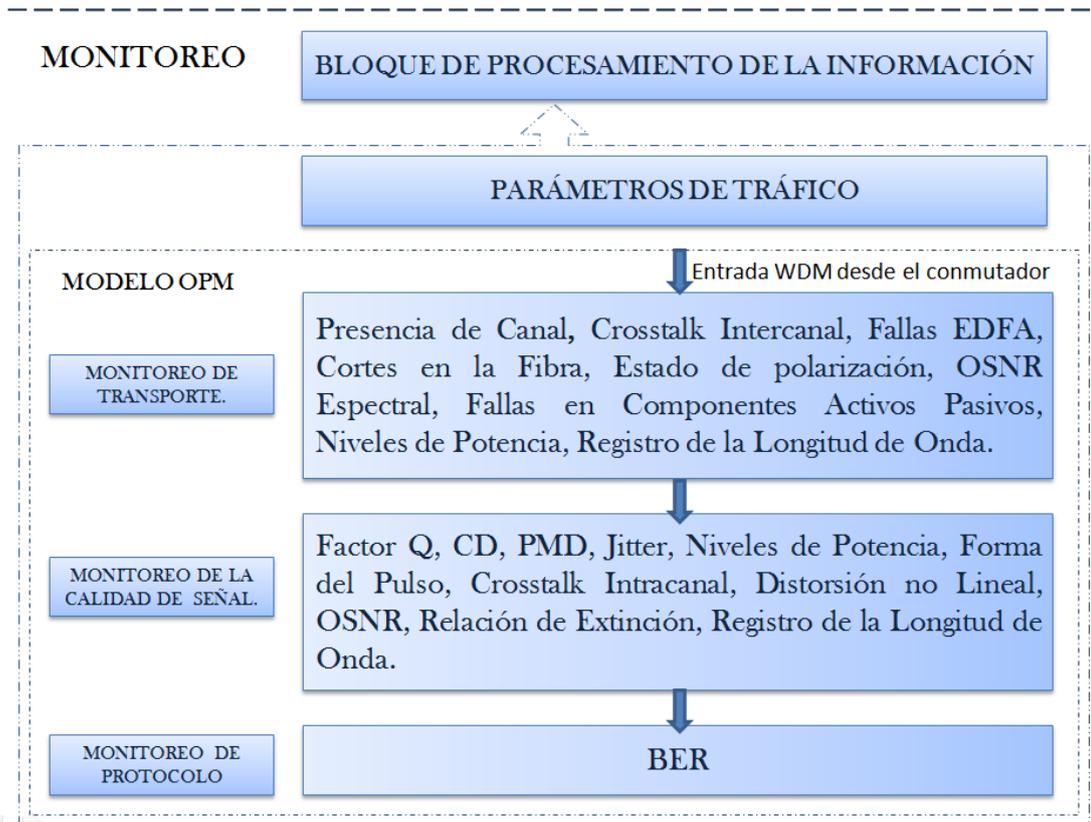


Figura 16. Esquema de gestión propuesto.

Es posible afirmar que con el esquema sugerido se mejora significativamente la supervisión, debido a que se tienen en cuenta aspectos relacionados con el tráfico y se añaden funcionalidades de procesamiento de información, que garantizan la ejecución de un monitoreo concluyente, dando cumplimiento a todas las funciones establecidas por TMN orientadas al desempeño de la red, incluyendo aquellas que no son soportadas por el modelo OPM.

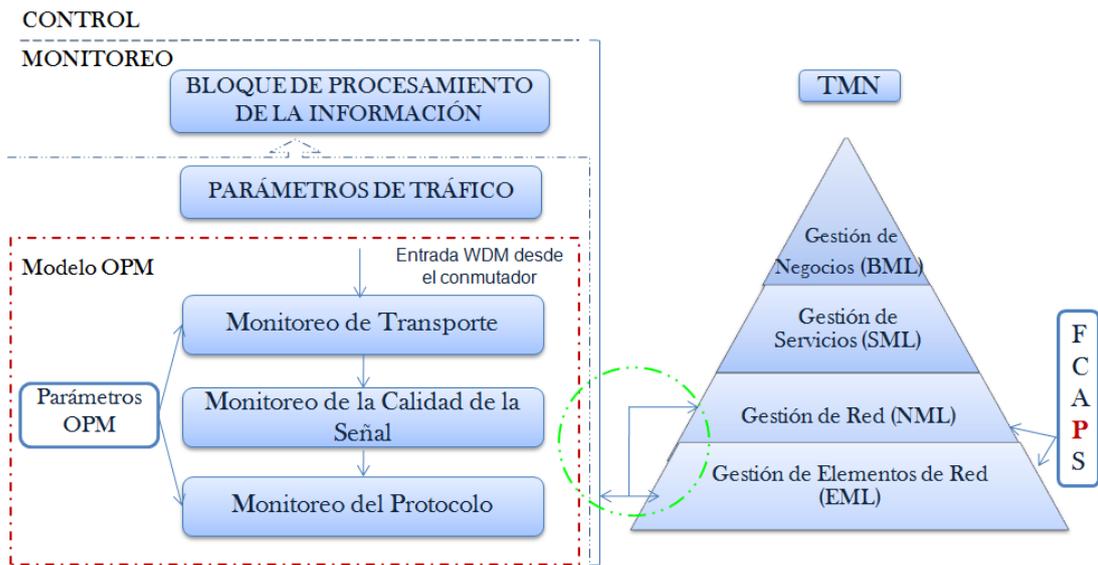
En la tabla 11, se puede observar claramente los conjuntos de funciones referentes al control y aquellos que se cumplen desde el punto de vista de monitoreo, los cuales pueden llevarse a cabo mediante OPM, por medio de los parámetros adicionales o a través del bloque de procesamiento de la información.

Cada parte que conforma el esquema propuesto, se basa en lo suministrado por los niveles inferiores para efectuar sus funciones.

**Tabla 7.** Conjuntos que han sido cumplidos con el Modelo OPM actual, con el propuesto y los que no se deben considerar dentro de este, debido a su enfoque.

CONJUNTO DE FUNCIONES	SE CUMPLE A NIVEL DE			
	Monitoreo			Control
	OPM	Parámetros de tráfico	Procesamiento de la información	
De verificación de la integridad de datos.	✓			
De recolección de datos específicos del circuito.	✓			
Sobre la situación del tráfico.		✓		
De procesamiento de alertas de rebasamiento de umbral de NEs.	✓			
De análisis de las tendencias de los NEs.			✓	
De detección, cómputo, almacenamiento e información.	✓			
De informe de auditoría.	✓			
De caracterización del desempeño del NE.			✓	
De análisis del tráfico de NEs en condiciones excepcionales.			✓	
De análisis de la capacidad de tráfico de los NE		✓		
De evaluación del desempeño de la red.			✓	
De correlación y filtrado de eventos de supervisión del desempeño de la red.	✓			
De acceso a datos agregados e información para pronóstico.			✓	
De supervisión del funcionamiento del tráfico.		✓		
De acumulación de datos de supervisión del desempeño.	✓			
De política de gestión de tráfico de la red.	✓			
De control de tráfico.				✓
De administración del tráfico.			✓	
De administración del desempeño.	✓			
De ejecución de control del tráfico.				✓
De resumen del desempeño del tráfico ofrecido al cliente.		✓		
De análisis del tráfico en condiciones excepcionales.			✓	
De análisis de la capacidad del tráfico.		✓		
De caracterización del desempeño de la red.	✓			

En conclusión, se presentó el proceso realizado para establecer la relación entre OPM y las funciones de desempeño de TMN. La figura 17 expone gráficamente este procedimiento, donde inicialmente se analizó la información relativa a los parámetros del espectro OPM y a las 3 capas de su modelo de referencia, con el fin de definir la correspondencia entre ellos (recuadro rojo); posteriormente se logró el establecimiento de la interacción entre las funciones de desempeño de TMN definidas en el capítulo 2 y el modelo OPM (recuadro verde), por medio de argumentos que justifican esta relación.



**Figura 17.** Representación del proceso realizado en el capítulo 3.

El establecimiento de la interacción entre el área funcional de desempeño de la arquitectura TMN, en los niveles de gestión de red y de elementos de red, con el modelo OPM, ha sido efectuado a través de los tres capítulos realizados hasta el momento. En el siguiente capítulo, se determinará la correspondencia de las funciones de desempeño entregadas por el capítulo 2, con la arquitectura funcional de TMN, para lo cual se profundizará en los aspectos de la misma.

#### 4. CORRESPONDENCIA ENTRE LA ARQUITECTURA FUNCIONAL DE TMN Y LAS FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE LA NML Y LA EML.

A lo largo de esta sección se busca determinar la interacción entre las funciones de desempeño definidas en el capítulo 2 y la arquitectura funcional de TMN. Para lograr este objetivo, se profundiza inicialmente en los conceptos que encierra esta arquitectura, especialmente en cada uno de los bloques que le pertenecen, ampliando lo que se ha descrito en el capítulo 1. Posteriormente, con esta información y con las funciones de desempeño pertenecientes a la EML y la NML, se determina la relación de interés, con la cual se establece finalmente, qué bloques requiere cada función.

La arquitectura funcional de TMN se conforma de 4 elementos fundamentales: los bloques de función, las MAFs, los conjuntos de funciones de gestión y los puntos de referencia.

Según [21], las funciones de gestión de TMN consisten en interacciones entre MAFs en diferentes bloques, que cooperan con el fin de efectuar servicios de gestión. Cuando las funciones representan colectivamente todas las interacciones posibles que puede soportar una sola MAF, se agrupan y se denominan conjuntos de funciones de gestión. De lo anterior se deduce que la relación entre las funciones, los conjuntos y las MAFs, ya se encuentra establecida.

Por otra parte, en [21] se definen los puntos de referencia, como la “representación de las interacciones entre un par de bloques de función particular” y se especifican los puntos que deben ir entre ellos, relacionándolos directamente como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** Relaciones entre bloques de función lógicos expresados como puntos de referencia [21]

	NEF	OSF	TF	WSF	No TMN
NEF		Q	q		
OSF	q	q. x <sup>a</sup>	q	F	
TF	q	Q	q	F	m <sup>c</sup>
WSF		F	f		g <sup>b</sup>
No TMN			m <sup>c</sup>	g <sup>b</sup>	

a. El punto de referencia “x” sólo es aplicable cuando cada OSF se encuentra en una TMN diferente.

b. El punto de referencia “g” está situado entre la WSF y el usuario humano.

c. El punto de referencia “m” está situado entre la TF y la funcionalidad de telecomunicaciones.

NOTA - Toda función puede comunicar en un punto de referencia No TMN. Estos puntos No TMN no podrán ser normalizados por otros grupos organizaciones para fines particulares.

Para determinar la interacción de los conjuntos de funciones de desempeño definidos en el capítulo 2, con la arquitectura funcional de TMN, sólo hace falta definir la correspondencia entre estos conjuntos y los bloques funcionales, puesto que con ello, se tiene inmersa la relación de los primeros con los puntos de referencia. De esta forma, se completaría la interacción de todos los elementos de la arquitectura funcional con los conjuntos en mención.

Para llevar a cabo esta actividad, se tienen en cuenta los conceptos que se presentan a continuación:

- **OSF:** procesa la información relacionada con la gestión de telecomunicaciones con el fin de coordinar, monitorear y/o controlar operaciones y funciones de telecomunicaciones, incluyendo las de gestión [21], [80]. Adicionalmente, los OSF son el soporte de los cometidos de gestor y agente en el acceso a la información de objetos gestionados, y agregan valor a la información bruta, por ejemplo, realizan la concentración de datos, la correlación de alarmas, el análisis de estadísticas y del desempeño, entre otros. Así mismo, este bloque inicia las operaciones de gestión, recibe notificaciones y se encarga de reaccionar ante información entrante, con actividades como, reconfiguración automática y rastreo de problemas [81].

En términos del modelo gestor-agente, el OSF se puede considerar como el conjunto de funciones específicas de gestor. Se pueden definir varios bloques de este tipo para una sola TMN, los cuales se relacionan a través de puntos de referencia  $q$ . También es posible la comunicación entre OSFs de TMNs diferentes; esta interacción tiene lugar sobre un punto de referencia  $x$  [82].

Existen OSFs específicos en los distintos niveles de la LLA. Las OSFs de EML presentan la información del NE a la NML para darle una visión completa de la red [80]. Las OSF de red por su parte, pueden gestionar las relaciones entre NEFs, por ejemplo, la conectividad [21]. Estos bloques también se encuentran definidos para la SML y la BML, sin embargo no son objeto del trabajo de grado.

- **TF:** suministra la funcionalidad para conectar dos entidades con mecanismos de comunicación incompatibles, ya sean protocolos o modelos de información. Se encarga mediante las MAFs de sus cometidos de agente y de gestor, y de efectuar "*funciones de soporte*"<sup>13</sup> de las funciones de los sistemas de operaciones [81].

Además, como el TF es la agrupación de la MF y el QAF, es posible que se encuentre dentro o en la frontera de una TMN. En el primer caso, se ocupa de la información que pasa entre dos bloques de función que están normalizados. En el segundo caso, el TF se usa para conectar una

---

<sup>13</sup> Las funciones de soporte están definidas en [21]

TMN con equipos de gestión que no son compatibles con el estándar de interfaces de esta arquitectura, razón por la cual, parte de este bloque se ubica fuera de la TMN [21]. En ambos, el objetivo es que las dos partes puedan interpretar la información.

- **WSF:** proporciona el medio para traducir el formato de la información de TMN, a uno visualizable para el usuario humano, y convierte lo introducido por este último, al modelo de información de TMN [21], [80]. Por ello, este bloque proporciona al personal de gestión de red, la capacidad de monitorear e interactuar con el sistema [81], a través del despliegue de los procesos de control y del estado de la red, en una interfaz entendible. Además, tiene la obligación de integrar información de diferentes sesiones de usuario, con una o varias OSFs o TFs, de tal forma que se presente de manera correcta y coherente en la interfaz [81].

Una parte del WSF se localiza fuera de la frontera de TMN, por tener la responsabilidad de trasladar un punto de referencia TMN a uno No-TMN, y viceversa. Estos puntos son el f, ubicado entre el OSF y el WSF, y el g, situado fuera de TMN, entre los usuarios humanos y el WSF [21].

Este bloque permite al administrador el acceso y la manipulación de datos, la invocación y confirmación de acciones, la recepción de notificaciones y la ocultación de componentes funcionales a otros usuarios.

- **NEF:** se comunica con una Función de Sistema de Operaciones de Elemento de red (*Element - Operations Systems Function*, E-OSF) o con una Función de Sistema de Operaciones de Red (*Network - Operations Systems Function*, N-OSF) de TMN, para ser supervisado y/o controlado. Las MAFs están presentes en este bloque, principalmente como soporte de su cometido de agente. El NEF provee la función de soporte requerida por la red que está siendo gestionada y le suministra las funciones de telecomunicaciones, es decir, aquellas que no son objeto de gestión. Estas últimas no forman parte de la TMN, pero se representan ante esta por el bloque en mención [21], [81], [82].

Típicamente el NEF se representa en la parte física por un NE, que almacena toda la información para su gestión en su propia MIB, mientras que el OSF y el WSF se implementan en el sistema de operaciones (Operation System, OS). De esta forma se puede proporcionar una red de telecomunicaciones para la transmisión de información de gestión, a partir de NEs y OSs.

A continuación se explica el establecimiento de la relación entre los bloques mencionados y las funciones de desempeño pertenecientes a la EML y a la NML. La correspondencia entre estos 2 elementos de la arquitectura funcional de TMN, se hace con base en la información anterior y en la definición de cada conjunto.

## Funciones pertenecientes a la EML

1. De verificación de la integridad de datos almacenados en los NEs.

Para llevar a cabo este conjunto, se necesita de un NEF que al proporcionar información general del NE permita a un E-OSF determinar si alguno de sus datos de desempeño, por ejemplo un cómputo, está comprometido, es decir, si existe algún daño o falla interna en los equipos.

2. De recolección de datos específicos del circuito.

Inicialmente se requiere de un NEF que permita obtener todos los datos aplicables a un circuito, los cuales se encuentran almacenados en múltiples NEs, con el fin de suministrar esta información a un N-OSF, que realice el procesamiento necesario para cumplir con el *“Conjunto de funciones de acceso a datos agregados e información para pronóstico y evolución de datos”*.

3. Sobre la situación del tráfico.

El objetivo de este grupo de funciones es generar un reporte al operador, sobre la situación de tráfico de un NE o de la red, en el momento que se requiera. Para el primer caso, se hace mediante un NEF, que actúa como agente entregándole a un E-OSF la información que solicite para especificar la situación del tráfico, como por ejemplo la disponibilidad y el estado de funcionamiento de los NEs. La segunda es mediante un N-OSF que al actuar como gestor, recoge toda la información de la situación de la red, con lo que puede reportar el estado de los controles de tráfico y las condiciones de congestión. En ambos casos se comunican los datos resultantes al operador, utilizando un WSF que le proporciona la interfaz adecuada para que pueda interpretar la información.

4. De procesamiento de alertas de rebasamiento de umbral de NEs.

Las alertas por rebasamiento de umbral, pueden originarse por un NE o por un conjunto de estos. En el primer caso, para establecer las causas de estas alertas, se requiere de un E-OSF, que efectúe la comparación de los límites permitidos de cada parámetro, con los encontrados en cada NE. En el segundo caso, se necesita de un N-OSF que determine previamente la situación de un conjunto de NEs, analizando los estados de cada uno de sus componentes. Luego, el N-OSF debe comparar esta información con los umbrales fijados, para estipular si las alertas en mención se han producido por un grupo de NEs. En cualquiera de estos escenarios, los datos de cada NE los proporciona un NEF.

Para cumplir a cabalidad este conjunto, se requiere de un E-OSF que compare la información almacenada en una MIB a cerca de las alertas procesadas en cada NE, con los datos suministrados a través de un NEF, para determinar cuáles de estas, persisten y continúan estando activas, después de que el sistema de soporte de la red realiza las correcciones pertinentes para evitarlas.

5. De análisis de las tendencias de los NEs.

Inicialmente un NEF debe brindar el acceso de todos los datos precedentes y actuales de un NE, a un E-OSF. Este los analiza y determina las tendencias de la información extraída, almacenándolas en una MIB, para soportar su notificación, cuando sea necesario.

6. De detección, cómputo, almacenamiento e información.

Para cumplir con este conjunto se requiere de un NEF que permita la detección de los datos primordiales a cerca del desempeño del NE. Además, debe existir un E-OSF que realice el almacenamiento de los mismos, para que estén disponibles cuando se requiera su notificación a un OS con arreglo a un plan, o a un operador cuando lo solicite. Para este último, se hace uso de un WSF que proporciona el formato apropiado a la información, de tal forma que sea entendible para el administrador.

7. De informe de auditoría.

Este grupo de funciones precisa de un NEF que comunique a quien lo requiera, la información de control disponible en un NE determinado.

8. De caracterización del desempeño del NE.

Un E-OSF debe comunicarse con un NEF, para acceder a datos “en bruto” de la entidad almacenados en su propia MIB, como violaciones de umbral o cómputos vigentes y retrospectivos. Estos se deben procesar y analizar por el E-OSF, con el fin de soportar la evaluación de desempeño del NE. Es posible que estos datos sean presentados a un “usuario humano” utilizando una WSF.

9. De análisis del tráfico de NEs en condiciones excepcionales.

Este conjunto requiere de un NEF que se encarga de obtener los datos de tráfico precedentes de uno o múltiples NEs. Esta información se transfiere a un E-OSF quién la analiza y reporta las condiciones excepcionales causadas por demandas inusuales o por una reducción de la capacidad.

#### 10. De análisis de la capacidad de tráfico de los NEs.

Para llevar a cabo este conjunto, un bloque NEF se encarga de proporcionar datos de tráfico de un NE o un grupo de ellos a un E-OSF, que los analiza para determinar la capacidad de tráfico de la entidad.

#### **Funciones pertenecientes a la NML**

##### 1. De evaluación del desempeño de la red.

El bloque que se necesita para acceder a resúmenes de evaluación de desempeño y disponibilidad en la red es un N-OSF, quien utiliza un NEF como proveedor de información de gestión de los NEs, para obtener una visión completa de la red y mantener una base de datos con el desempeño de la misma. Con esta información el N-OSF realiza la evaluación, que es posteriormente almacenada en una MIB con el fin dar acceso a ella cuando se solicite.

##### 2. De correlación y filtrado de eventos de supervisión del desempeño de la red

Un N-OSF mantiene una base de datos con la causas raíz de las alertas de rebasamiento de umbral y otros aspectos de PM, que resultan de un proceso de correlación de eventos según la topología y los estados de una red, con todos sus componentes, pretendiendo soportar la notificación de esta información. Luego, un administrador o un N-OSF adicional, accede a ella y realiza un análisis de las alarmas de red. En caso de ser el operador quien efectúe esta actividad, un WSF debe permitir que la información notificada esté en un formato apropiado.

##### 3. De acceso a datos agregados e información para pronóstico.

Para llevar a cabo este conjunto se precisa de un NEF que transfiera los datos de desempeño de todos los NEs a un N-OSF, quien con ellos, determina los efectos de detección de averías y degradaciones en la red para contribuir a aislarlas y define la información global, precedente y actual de la misma. El resultado de este proceso, consiste en registros, datos estadísticos y otra información acerca de la red, que se almacena en una MIB con el fin de acceder a ellos cuando se requiera, por ejemplo cuando se desee predecir un desempeño futuro o identificar degradaciones persistentes o en vías de agravamiento.

##### 4. De supervisión de la aptitud para cursar el tráfico.

Se necesita de un NEF que permita acceder a las mediciones del desempeño de uno o más NEs, con respecto al tráfico ofrecido y cursado a través de ellos. Con esta información un N-OSF debe realizar la evaluación del desempeño vigente del tráfico de la red. En lugar de este

bloque, puede existir un administrador que a través de un WSF, realice la misma función.

5. De acumulación de datos de supervisión del desempeño.

Se requiere de un N-OSF que realice la petición de los datos de PM a un NEF, para procesarlos y almacenar el resultado en una MIB, con el fin de notificar estos datos y los que no han sido procesados, cuando se soliciten. Estos últimos también se pueden suministrar directamente por el NEF.

6. De política de gestión de tráfico de la red.

En cada dominio de control debe existir por lo menos un N-OSF que realice la gestión que le corresponda. Para dar cubrimiento completo a la red se hace necesaria la comunicación entre los N-OSFs de los diferentes dominios, a través de puntos de referencia x. Es importante aclarar, que no se trata gran parte de este conjunto puesto que su ejecución es responsabilidad de la BML, por incluir el establecimiento de políticas.

7. De control de tráfico.

El NEF entrega la información de tráfico a un N-OSF. Este crea y modifica configuraciones de enrutamiento si es necesario, con el fin de reducir la congestión de la red. Además, es capaz de llevar a cabo funciones de gestión de tráfico, tales como la aplicación, modificación y eliminación de controles del mismo. Si los operadores desean intervenir directamente para realizar las funciones mencionadas, deben hacerlo mediante un WSF para que convierta lo introducido por este último, al modelo de información de TMN.

8. De administración del tráfico.

Para efectuar este conjunto se necesita un N-OSF que mantenga, en la central o en el OS, el cuadro de enrutamiento y una base de datos donde figuren estadísticas y otra información requerida para llevar a cabo la gestión de la red. Este N-OSF además, debe controlar otro tipo de operaciones de gestión, estableciendo, cambiando o suprimiendo, en una base de datos, planes de medición, valores de umbrales para el cálculo de datos y programas para comunicar la situación de la red y su desempeño. Puede ser un operador quien a través de una WSF, realice la petición de llevar a cabo estas funciones.

9. De administración del desempeño.

Con el propósito de efectuar la parte correspondiente al monitoreo de planes y umbrales, se necesita de un bloque NEF y de la operación conjunta entre un E-OSF y un N-OSF. El NEF entrega el valor de los

umbrales con la periodicidad que se requiera, al igual que otros tipos de mediciones que se deban extraer de los NEs y que contribuyan a determinar los atributos de la supervisión de desempeño. Esta información es transferida al E-OSF, quien precisa cuáles son los atributos en mención y los comunica al N-OSF el cual se encarga de procesarlos y de determinar si se está cumpliendo con los planes establecidos, por ejemplo, los planes de estimación de tráfico o los planes de recolección de datos.

#### 10. De ejecución de control del tráfico.

Debe existir un N-OSF que soporte las instrucciones para cambiar el control del tráfico de red y que mantenga una MIB con la información de la situación de los controles, con el fin de permitir el acceso a esta, cada que se requiera. Esta última función puede ser ejecutada también por un operador que mantenga actuales y legibles los datos mencionados, utilizando un WSF.

#### 11. De resumen del desempeño del tráfico ofrecido al cliente.

Se da cumplimiento mediante un NEF y un N-OSF. El primero entrega la información de los NEs al segundo, quien se encarga de determinar y guardar en una MIB el tráfico ofrecido, la utilización y las medidas de congestión; pretendiendo dar acceso a un informe que se puede generar con respecto a un plan o cuando se solicite. En el caso de que sea el cliente el interesado en este repote, se utiliza un WSF, que le permita visualizarlo.

#### 12. De análisis del tráfico en condiciones excepcionales.

Se requiere un N-OSF que tenga actualizada una base de datos con la información de tráfico examinado, procedente de la red, con el fin de que un N-OSF, realice un análisis de casos excepcionales generados por demandas inusuales o disminución de la capacidad. Este análisis, consiste en estudiar y detectar patrones que generen condiciones de bloqueo que rebasan los umbrales. Luego, como se deben suministrar informes con los resultados obtenidos, se debe utilizar un WSF que despliegue, para el administrador, una interfaz con los datos relacionados.

#### 13. De análisis de la capacidad del tráfico.

El N-OSF está en la capacidad de soportar la elaboración de informes para estimar el nivel de tráfico al que se puede dar curso con los recursos de la red y con el nivel de QoS deseado, esto lo hace mediante el análisis y almacenamiento de la información entregada por el NEF.

#### 14. De caracterización del desempeño de la red.

Las N-OSFs de cada dominio de gestión, mantienen actualizada en bases de datos, la información del desempeño de extremo a extremo de la red. Con base en esta, se elaboran informes, que se pueden presentar al administrador a través de un WSF, si el lo demanda.

En la correspondencia realizada anteriormente, se asume que los datos transferidos entre un bloque y otro, manejan el mismo mecanismo de información, sin embargo cuando esto no es así, y los protocolos o modelos de información son discordantes, es preciso el empleo de un TF, que se encargue de realizar las conversiones necesarias para que los bloques implicados logren comprender lo que se están comunicando. De esta manera se puede decir que el TF se hace obligatorio en todas aquellas funciones donde se presente el caso mencionado. La razón por la que no se toma en cuenta en cada uno de los anteriores conjuntos, es porque se considera innecesario exponer reiteradas veces este mismo argumento.

Como síntesis del trabajo desarrollado hasta el momento dentro de este capítulo, en la tabla 9 se presentan los conjuntos de funciones de desempeño de la EML, con los bloques que cada uno de ellos necesita para llevarse a cabo.

**Tabla 9.** Interacción entre los conjuntos de funciones de desempeño de la EML y los bloques funcionales.

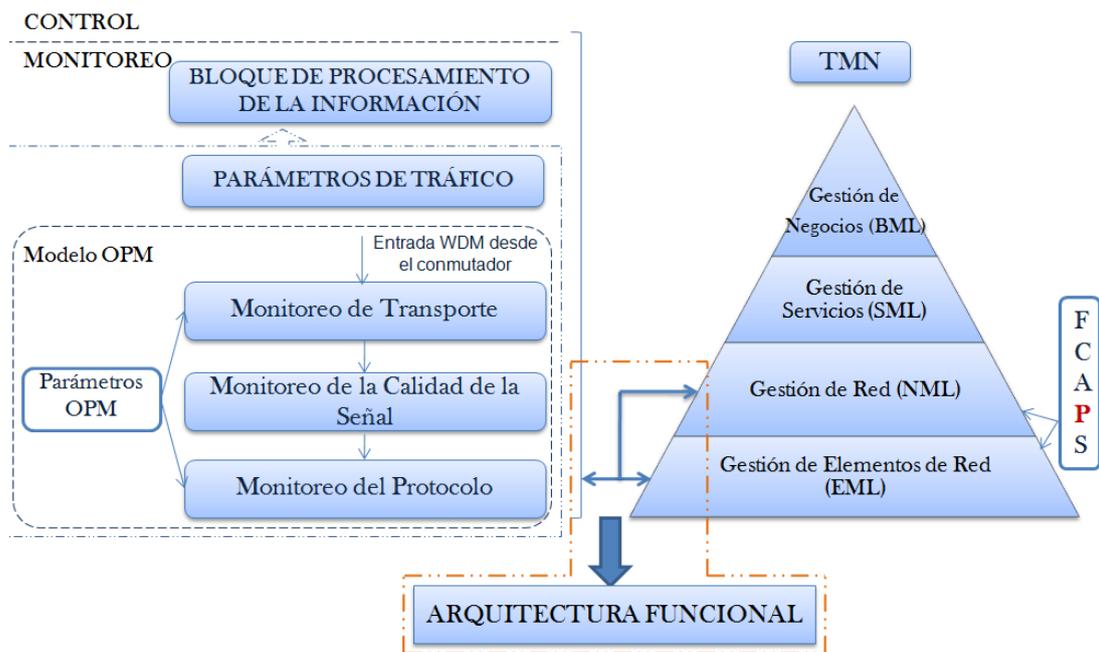
<b>Conjuntos de Funciones de Desempeño de la EML</b>	<b>E-OSF</b>	<b>N-OSF</b>	<b>WSF</b>	<b>NEF</b>
1. De verificación de la integridad de datos	✓			✓
2. De recolección de datos específicos del circuito				✓
3. Sobre la situación del tráfico.	✓	✓		✓
4. De procesamiento de alertas de rebasamiento de umbral de NEs	✓	✓		✓
5. De análisis de las tendencias de los NEs.	✓			✓
6. De detección, cómputo, almacenamiento e información.	✓		✓	✓
7. De informe de auditoría.				✓
8. De caracterización del desempeño del NE.	✓		✓	✓
9. De análisis del tráfico de NEs en condiciones excepcionales.	✓			✓
10. De análisis de la capacidad de tráfico de los NEs.	✓			✓

De la misma forma, en la tabla 10 se consigna la interacción entre los conjunto de funciones de desempeño de la NML con sus respectivos bloques.

**Tabla 10.** Interacción entre los conjuntos de funciones de desempeño de la NML y los bloques funcionales.

<b>Conjunto de Funciones de Desempeño de la NML</b>	<b>E-OSF</b>	<b>N-OSF</b>	<b>WSF</b>	<b>NEF</b>
1. De evaluación del desempeño de la red.		✓		✓
2. De correlación y filtrado de eventos de supervisión del desempeño de la red		✓	✓	
3. De acceso a datos agregados e información para pronóstico.		✓		✓
4. De sobre la situación del tráfico.	✓	✓		✓
5. De supervisión de la aptitud para cursar el tráfico.		✓	✓	✓
6. De acumulación de datos de supervisión del desempeño.		✓		✓
7. De política de gestión de tráfico de la red.		✓		
8. De control de tráfico.		✓	✓	✓
9. De administración del tráfico.		✓	✓	
10. De administración del desempeño.	✓	✓		✓
11. De ejecución de control del tráfico.		✓	✓	
12. De resumen del desempeño del tráfico ofrecido al cliente.		✓	✓	✓
13. De análisis del tráfico en condiciones excepcionales.		✓	✓	
14. De análisis de la capacidad del tráfico.		✓		✓
15. De caracterización del desempeño de la red.		✓	✓	

En la figura 18 se resalta la interacción entre la arquitectura funcional de TMN, elemento principal de este capítulo, con las funciones de desempeño de la EML y la NML.



**Figura 18.** Esquema del procedimiento realizado.

Se resalta que con los aportes generados en el transcurso del proyecto, se ha dado un paso para realizar la implementación de una arquitectura funcional, la cual se debe hacer teniendo en cuenta las características de la red determinada. Además, dada la estrecha relación entre los bloques funcionales y los físicos, así como entre los puntos de referencia y las interfaces, se puede afirmar que se ha contribuido significativamente en la determinación de la arquitectura física de una red. Esta última labor se facilitaría aún más, cuando se haya establecido la arquitectura funcional.

De esta forma se completa la finalidad de este trabajo de grado, con el cual se ha establecido la relación entre el modelo OPM y el área funcional de desempeño de la arquitectura TMN, a nivel de la EML y la NML.

Para lograr este objetivo, inicialmente se definieron las funciones de desempeño que pertenecen a los 2 niveles inferiores de la LLA y se especificaron los parámetros del espectro OPM que corresponden a cada una de las capas de su modelo. Luego, a partir de esta información y con base en una profundización de los conceptos que encierran estos aspectos, se planteó la relación entre las funciones de desempeño definidas y las capas de OPM, gracias a la cual se logró percibir ciertas falencias en la supervisión y generar una posible solución. Esta propuesta, sugiere ciertos parámetros que faciliten la medición del tráfico y un bloque que permite realizar procesamiento de la información.

Finalmente, se determinó la interacción entre la arquitectura funcional de TMN y los conjuntos de funciones de desempeño, especificando los bloques que se requieren para llevar a cabo estas últimas, Esto facilita en un trabajo futuro la creación de la arquitectura funcional de una red.

Es así como se obtiene el resultado buscado con el proyecto, pues se da un paso para el establecimiento de la relación de OPM con los sistemas de gestión de elementos de red y de gestión de red, logrando contribuir a la solución del problema planteado.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Al considerar las definiciones dadas por instituciones y grupos de investigación como ITU-T, ISO, DMTF, FGNGN, sobre la gestión de redes, y teniendo en cuenta el problema identificado, se realizó un análisis que permitió justificar la elección de TMN como la arquitectura de gestión más adecuada para contribuir al establecimiento de la relación de OPM con los sistemas de gestión de red y de elementos de red, debido a sus características que permiten entre otras cosas, una gestión integrada de redes y servicios en un ambiente multiproveedor, y la construcción de sistemas de gestión de red de forma jerárquica y escalable.
- Por medio de la asignación de las funciones de desempeño de TMN en los niveles de la LLA, se logró definir los papeles que tienen a cargo cada uno de ellos. Esto se constituyó en un paso importante para lograr la interacción TMN/OPM, puesto que se identificaron cuáles son las funciones que se deben tener en cuenta en esta relación de acuerdo al enfoque de OPM.
- Con el fin de determinar la información requerida para realizar el monitoreo de desempeño óptico en redes WDM, se desarrolló un estudio de los parámetros pertenecientes al espectro OPM y de las labores correspondientes a cada capa de este modelo de referencia. Con este se logró determinar los parámetros que se deben supervisar en cada nivel, deduciendo aquellos que serían innecesarios y que por lo tanto deberían omitirse para evitar congestión en la red. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la información de monitoreo estrictamente necesaria sólo se puede establecer con base en las características específicas de una red, puesto que según estas, cierta información adquiere mayor valor que otra, por ejemplo, parámetros como la distorsión no lineal que pueden ser despreciables en redes de baja capacidad, pueden resultar imprescindibles en sistemas de altas velocidades de transmisión y con rutas largas sin regeneración.
- En el proceso se encontró que OPM no puede dar cumplimiento a todos los conjuntos de funciones puesto que por ser un modelo establecido para el nivel físico, las capas que lo conforman, no incluyen parámetros acerca del tráfico y no pueden llevar a cabo por sí mismas el análisis, predicción y evaluación de la información de supervisión. Para dar solución a estas falencias, se definieron parámetros que se deben monitorear tales como congestión, capacidad, carga y desempeño vigente del tráfico, y se generó un bloque denominado "Procesamiento de la Información", que entrega resultados concluyentes a la parte de control.
- El desarrollo de este trabajo de grado permitió sugerir un esquema de gestión, con el cual se da cumplimiento a todas las funciones establecidas por TMN orientadas al monitoreo de desempeño, incluyendo aquellas que no son realizables con OPM. De esta manera se

proporciona mayor eficiencia al monitoreo de redes ópticas, por tener en cuenta aspectos como el tráfico y el procesamiento de información.

- Se lograron identificar los bloques de funciones mediante los cuales se puede llevar a cabo los conjuntos de desempeño pertenecientes a la EML y a la NML, dando un aporte para la definición de la arquitectura funcional de una red específica.
- Es importante establecer la relación entre el monitoreo óptico y algunas de las FCAPS, con el fin de construir otros modelos similares a OPM, enfocados a esas áreas funcionales, que contribuyan a realizar una gestión más completa. Entre estas representaciones podrían estar los modelos ópticos de seguridad, de fallos y de configuración.
- A futuro se sugiere realizar el diseño e implementación de una arquitectura de gestión de desempeño para redes ópticas basada en la interacción OPM/TMN, que permita brindar eficiencia a la gestión. Por la orientación del trabajo realizado se recomienda empezar con la creación de la arquitectura funcional de una red determinada, teniendo en cuenta sus características. Esto facilitaría la generación posterior de la arquitectura física, por la estrecha relación existente entre estas.

## REFERENCIAS

- [1] Kilper, D.C.; Bach, R.; Blumenthal, D.J.; Einstein, D.; Landolsi, T.; Ostar, L.; Preiss, M.; Willner, A.E., "Optical performance monitoring," *Lightwave Technology, Journal of*, vol.22, no.1, pp. 294-304, 2004
- [2] Caryuly Rosales Briceño, *Protocolo SNMP*, Vol. 3, Universidad Rafael Belloso Chapín, Venezuela, 2004
- [3] William Stallings, "SNMP, SNMPv2, SNMPv3, RMON 1 and 2", Tercera edición, Addison Wesley, 2004
- [4] Abraham Jorge Jiménez Alfaro, "Una herramienta de gestión de redes virtuales", Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, México, 2005
- [5] EURESCOM, "IP optimized network architectures and their evaluation", Project P918, 2000
- [6] Hans-Martin Foisel, Monika Jaeger, F.-Joachim Westphal, Knut Ovsthus, Jean-Claude Bischoff, "Evaluation of IP over WDM Network Architectures", *Photonic Network Communications*, 2001
- [7] C. Nelson, "OAM&P Performance Monitoring Draft Requirements", OIF Draft oif2002.159, 2002
- [8] Carolina Pinart Gilberga, "Novel management strategies for dynamic provisioning and monitoring in all-optical, control plane enabled metro IP/WDM networks", Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña. 2005
- [9] G.697, "Supervisión Óptica para Sistemas de Multiplexación por División en Longitud de Onda Densa", Recomendación ITU-T, 2004
- [10] Lian-Kuan Chen, Man-Hong Cheung, Chun-Kit Chan, "From Optical Performance Monitoring to Optical Network Management: Research Progress and Challenges", Chinese University of Hong Kong, 2004
- [11] Jorge Enrique López de Vergara Méndez, "Diseño e implementación de un sistema para la gestión de una aplicación distribuida de intermediación electrónica", Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 1998
- [12] Mi-Jung Choi, James Won-Ki Hong, "Towards Management of Next Generation Networks", Dept. of Computer Science and Engineering, POSTECH, Korea, 2007

- [13] J. Case, R. Mundy, D. Partain, B. Stewart, "ISMF Internet-standard Network Management Framework", RFC 2570, SNMP Research, Inc., TIS Labs at Network Associates, Inc., Ericsson, Cisco Systems, 1999
- [14] Aiko Pras, Bert-Jan van Beijnum, and Ron Sprekels. Introduction to TMN. Technical Report No. 99-09, Center for Telematics and Information Technology, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands, 1999
- [15] R. Frye, D. Levi, S. Routhier, B. Wijnen, "Coexistence between Version 1, Version 2, and Version 3" STD 1, RFC 2576, CoSine Communications, Nortel Networks, Integrated Systems Inc., Lucent Technologies, 2000
- [16] Ramón Jesús Millán, "Tendencias en Gestión de Red", Revista Online Network World, 2004
- [17] "Notas sobre TMN", Escuela de Ingeniería Electrónica Universidad Nacional del Rosario, 2004
- [18] Ramandeep Kaur, "Understanding WBEM", PC Quest Magazine Online, Technology, Tech Trends, 2005
- [19] Darren R. Davis, "An Introduction to WBEM and OpenWBEM in SUSE Linux", Novell Cool Solutions: Feature, 2005
- [20] Dr. Amr S. Badawi, "Next Generation Network Management Role in Telecommunications Services", IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC04), 2004
- [21] M.3010, "Principles for a Telecommunications Management Network (TMN)", ITU-T Recommendation, 2000
- [22] Dolores Sepúlveda Ibáñez, "Análisis de la Gestión de Redes", Consejo Superior de Informática, Ministerio de Administraciones Públicas, 2004
- [23] WORLD WIDE PACKETS, "OAM: Operation, Administration, Maintenance", www.wwp.com, 2008
- [24] Juan Muñoz, Pedro Martín Jurado, Pedro M. Sandoval Díaz, "Guía Técnica de Gestión", Empresa Consultora Externa NorSistemas, 2004
- [25] M.3400, "TMN Management Functions", ITU-T Recommendation, 2002
- [26] Alejandro Toledo Tovar, "Gestión de Redes Telemáticas", Universidad del Cauca, 2004
- [27] Joaquín Luque, Fernando Gonzalo: "La colaboración entre la universidad y la industria: el modelo NOMOS". Energía, Enero-Febrero, España, 1999, pp.103-105

- [28] Gerardo Garrido, Alfonso Ángeles, Ernesto Quiroz, “Metodología para la Gestión de Desempeño de una Red MPLS Aplicando TMN”, Centro de Investigación y desarrollo de Tecnología Digital, 2004
- [29] Rubén Darío Claros Calderón, Alejandro Toledo Tovar, “Diseño e Implementación de una Herramienta de Gestión CORBA/SNMP para Evaluar el Desempeño del Enrutador "OLIMPO" de la Universidad del Cauca, Bajo la Perspectiva TMN”, Universidad del Cauca, 2000
- [30] Mario Fernando Caicedo Zamudio, Carlos Andrés Viteri Mera, “Análisis Multinivel de la Calidad de Servicio y su Relación con TMN”, Universidad del Cauca, 2006
- [31] Aiko Pras, Bert-Jan van Beijnum, Ron Sprenkels, “Introduction to TMN”, Centre for Telematics and Information Technology (CTIT) Technical Report, 1999
- [32] Internacional Engineering Consortium (IEC), “Telecommunications Management Network (TMN)”, Web ProForum Tutorials, 2004
- [33] V. Sidorenco, V. Ciclicer, S. Dolenco, R.Dorogan, “Rom TMN HD: Web and GIS based Integral Network Management System”, IEEE, 2001
- [34] Telefónica I+D “Las Telecomunicaciones de Nueva Generación”, Publicaciones de Telefónica, 2003
- [35] Y.1241 “Soporte para Servicios basados en el Protocolo Internet que utilizan capacidades de Transferencia de Protocolo Internet”, ITU-T Recomendación, 2001
- [36] Internacional Engineering Consortium (IEC), “Service-level Management”, Web ProForum Tutorials, 2002
- [37] Carolina Pinart, Abdelhafid Amrani, Gabriel Junyent, “Monitorización de servicios en redes ópticas inteligentes y transparentes”, XIV Jornadas Telecom I+D Madrid, 2004
- [38] Walter Grote, “Redes Ópticas para Internet del Futuro”, Universidad Técnica Federico Santa Maria, 2003
- [39] J. Blas, I. de Miguel, P. Fernández, J.C. Aguado, F.A. Lago, R.J. Durán, N. Merayo, R.M. Lorenzo, E.J. Abril, “Aproximación Gaussiana para Crosstalk Interferométrico al emplear Filtros Pasa Bajo”, XXI Symposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio - Libro de Actas - URSI2006, 2006
- [40] Rubén de León Guerrero, David Nicolás Ruiz, “Comunicaciones ópticas”, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación Universidad Politécnica de Madrid, 2005

- [41] María Carmen España Boquera, "Comunicaciones Ópticas", Ediciones Díaz de Santos, 2005
- [42] Ignacio Frez, Francisco Márquez, "Tecnología de dispositivos WDM", 2004
- [43] Javier Mateo Gascón, "Polarización", Universidad de Zaragoza, 2003
- [44] Jack Dupre, Jim Stimple, "Making OSNR measurements in a modulated DWDM signal environment", lightwave symposium, 2001
- [45] Ricardo Olivares "Diseño Sistemas de Comunicaciones por Fibra Óptica" Universidad Técnica Federico Santa María, 2007
- [46] Fernando González Fernández "'Diseño de Topologías Lógicas en redes WDM con encaminamiento por longitud de onda", Universidad de Valladolid, 2000
- [47] Francisco Ramos Pascual "Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH", CONECTronica revista online 52, 2003
- [48] O.201, "Q-factor test equipment to estimate the transmission performance of optical channels", ITU-T Recommendation, 2003
- [49] G.650.1, "Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo", ITU-T Recomendación, 2004
- [50] Griselda Saldaña González, "Comunicaciones II, Manual de asignatura", Universidad Tecnológica de Puebla, 2004
- [51] Departamento Técnico Rohde & Schwarz, "Dispersiones en transmisión de datos a alta velocidad en fibras ópticas", Electrónica & Comunicaciones Revista 200, 2005
- [52] Emilio José Gualda Manzano, "Optimización de las prestaciones de enlaces ópticos submarinos de gran capacidad y larga distancia mediante el control de la dispersión", Universidad Politécnica Cataluña, 2005
- [53] Francisco Ramos Pascual, "Medidas de Jitter en redes ópticas", CONECTrónica Revista Online, 2007
- [54] Germán Baro, "Introducción a la comunicación utilizando Voz sobre IP", Universidad Abierta Interamericana, 2008
- [55] Andrew M. Weiner, "Programmable Femtosecond Pulse Shaping", Purdue University Ultrafast Optics & Optical Fiber Communications Laboratory, CLEO Tutorial Talk, 2001

- [56] Piché Michel, Rousseau Guy “Method for characterization of laser pulses using pulse quality factor”, Université Laval, 2006
- [57] Joan Pérez López Veraguas, “Compatibilidad electromagnética: Diseño de módulos electrónicos”, Publicado por Marcombo, 2006
- [58] Rubén Martín Clemente, “Perturbaciones en los sistemas de telecomunicación”, Curso Sistemas de Telecomunicación Universidad de Sevilla, 2007
- [59] G.663, “Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos”, ITU-T Recomendación, 2004
- [60] Paul Fowler, “Headed For Extinction Ratio”, Electronic Design Online, 2000
- [61] Application Note HFAN-2.2.0, “Extinction Ratio and Power Penalty”, Maxim Integrated Products, 2001
- [62] Wei Chen, “Signal Processing for Optical Performance Monitoring and Impairment Mitigation”, Department of Electrical and Electronic Engineering The University of Melbourne Australia, 2006
- [63] Dr. D. Knipp, “Optical Signal to Noise Ratio (OSNR)”, International University Bremen, Spring, 2005
- [64] Andrés Escallón P., James Barrios L., Alejandro Toledo, “Incidencia de los Parámetros que Afectan la Calidad de la Señal Óptica en el Desempeño de una Red Metropolitana WDM”, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2008
- [65] José Antonio Dinamarca Ossa, “Análisis de Diagramas de Ojo”, Universidad Técnica Federico Santa María, 2002
- [66] Luís Gabriel Sienna, “Midiendo la calidad de señales digitales: Una orientación práctica”, CINIT Centro de investigación e innovación en Telecomunicaciones, 2003
- [67] G.957, “Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona”, Recomendación ITU-T, 2006
- [68] Francisco Ramos Pascual “Redes ópticas transparentes basadas en tecnología DWDM”, Revista Conectronica, 2004
- [69] Francisco Ramos Pascual, “Compensación de distorsión no lineal introducida por la fibra óptica en redes CATV”, PIRELLI CLUB: Revista de la empresa de fibra óptica Pirelli Cables y Sistemas, 1998

- [70] William J. Frawley, Gregory Piatetsky-Shapiro y Christopher J. Matheus, "Knowledge Discovery in Databases: An Overview", AI Magazine, AAAI, 1992
- [71] Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, Padhraic Smyth, "From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases", AI Magazine, AAAI, 1996
- [72] Sofía J Vallejos, "Minería de Datos", Universidad Nacional de Nordeste – Argentina, 2006
- [73] Berthold, M.; Hand, D.J. (eds.) Intelligent Data Analysis. An Introduction, Springer, 2ndEdition, 2003
- [74] Ernesto González Díaz, Zady Pérez Hernández, Ivet Espinosa Conde, "Obtención de patrones y reglas en el proceso académico de la Universidad de las Ciencias informáticas utilizando técnicas de minería de datos", Universidad de las Ciencias Informáticas - La Habana, Cuba, 2008
- [75] Rodney Tucker, "Optical and Electronic Technologies for Packet Switching", Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Melbourne Australia, 2008
- [76] José Company Francoy, Beatriz Ortega Tomari, "Redes Ópticas", Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2006
- [77] Teresa Nachiondo, José Flich, José Duato, "Un Nuevo Mecanismo de Control de Congestión en Redes Multietapa", XI Jornadas de Paralelismo – Leganés, 2003
- [78] Anna Calveras Augé, "Contribución al estudio de mejora de prestaciones del protocolo TCP en diferentes entornos", Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña, 2000
- [79] M.Sumathi and P.T.Vanathi, "Minimizing Congestion in Optical WDM Networks for Dynamic Traffic", IEEE Indicon 2005 Conference, 2005
- [80] Internacional Engineering Consortium, "Telecommunications Management Network", Tutorial, 2000
- [81] Giovanny Angulo, "Telecommunications Management Network", Universidad Autónoma, 2006
- [82] Aiko Pras, Bert-Jan van Beijnum, Ron Sprenkels, "Introduction to TMN" CTIT Technical Report, 2009