

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA  
COLECTIVIDAD**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN REDES DE INFORMACION Y CONECTIVIDAD  
MRIC-II**

**TESIS DE GRADO**

**SIMULADOR MULTIPLATAFORMA PARA REDES GPON**

**LUIS MANUEL MANCERO BALDEON**

**Sangolquí, 2013**

## AUTORIZACIÓN

Al presentar esta tesis como uno de los requisitos previos para la obtención del grado de magister de la Escuela Politécnica del Ejército, autorizo a la biblioteca de la ESPE para que haga de esta tesis un documento disponible para su lectura según las normas de la institución.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de esta tesis dentro de las regulaciones internas de la ESPE, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la ESPE la publicación de esta tesis, o de parte de ella, por una sola vez dentro de los treinta meses después de su aprobación.

---

Luis Manuel Mancero Baldeón

Sangolquí, Junio del 2013

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que la elaboración de la presente tesis fue realizada en su totalidad por el señor LUIS MANUEL MANCERO BALDEON, como requisito previo a la obtención del título de MAGISTER EN REDES DE INFORMACION Y CONECTIVIDAD.

---

**DIRECTOR**

**ING. DANILO CORRAL DE WITT**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

En calidad de alumno de la Maestría de Redes de Información y Conectividad, de la Escuela Politécnica del Ejército, declaro que el presente Proyecto de Tesis, previa a la obtención del título de MAGISTER EN REDES DE INFORMACIÓN Y CONECTIVIDAD, es un trabajo inédito el cual no puede ser copiado, ni reproducido parcial ni totalmente sin la autorización escrita del autor.

---

Luis Manuel Mancero Baldeón

Sangolquí, Junio del 2013

### **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a DIOS y a la Virgen María, quienes inspiraron mi espíritu para la conclusión de este proyecto de Maestría. A mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis, y en especial a mí querida esposa María y mis hijos Diego y Javier quienes fueron un gran apoyo emocional durante todo este tiempo.

Luis Mancero

## **Agradecimientos**

Agradezco principalmente a Dios por protegerme durante todo este tiempo de trabajo e incertidumbre, quien me dio fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi esposa, que con su demostración de una mujer ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mis hijos, por comprenderme y acompañarme durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

Al Ing. Danilo Carral, director de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

**Gracias a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.**

**Luis Mancero**

## ÍNDICE

**Pág.**

### CAPITULO I INTRODUCCIÓN

Generalidades del Proyecto .....	1
Planteamiento del Problema .....	1
Descripción del Problema.....	1
Hipótesis .....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos .....	2
Alcance del Proyecto .....	2

### CAPÍTULO II MARCO TEORICO

Simuladores de Red .....	5
Redes de Acceso “Fibra Optica” .....	5
Estandar Itu-T G.984 .....	12
Gpon(Gigabit-Capable Pon): .....	12

### CAPÍTULO III REDES OPTICAS PASIVAS

Redes Pon (Passive Optical Network).....	15
Intruducción.....	15
Arquitectura .....	17
Estándares Desarrollados.....	19
Componentes de una Red Pon .....	20
Red de Distribución Óptica (Odn).....	20
Terminal de Línea Óptico (Olt).....	25
Unidad de Red Optica (Onu) .....	27
Tecnología Gpon (Gigabit Passive Optical).....	28
Introducción.....	28
Caracterísitcas Principales .....	29
Estandarización.....	29

Velocidades de Transmisión.....	29
Potencia y Alcance .....	30
Protocolo de Transporte.....	30
Componentes de Red .....	34
Arquitectura de Red.....	35

## **CAPÍTULO IV**

### **ARQUITECTURA DE SIMULADORES DE RED**

Simuladores de Red .....	37
Introduccion.....	37
Caracteristicas Principales .....	38
Simulador Opensimimpls .....	39

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACION**

Programacion Bajo Java .....	43
Introducción .....	43
Historia y Evolución.....	43
Esquema General del Simulador Gpon .....	46
Paquetes y Clases .....	47
Visión Global del Escenario .....	55
Comparativas y Ventajas del Simulador .....	71
Ventajas y Desventajas que Presenta el Simulador según los Detalles Comparativos. ..	73
Ventajas .....	73
Desventajas.....	75

## **CAPITULO VI**

### **EVALUACION DEL SIMULADOR**

Descripción y Funcionalidades del Simulador Gpon .....	76
Instalación y Ejecución.....	76
Menú Principal .....	77
Escenarios del simulador.....	78
Manejo de Escenarios.....	78



Manipulación de elementos .....	84
Inicio de la Simulación .....	111
Obtención de resultados.....	116

**CAPITULO VII**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones.....	121
Recomendaciones.....	136
<b>Glosario de Terminos .....</b>	<b>124</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>127</b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Escenario propuesto, presentación del simulación de red.....	3
Figura 2. Redes de Acceso por Fibra Óptica .....	5
Figura 3. Capas del Modelo OSI - ETHERNET .....	7
Figura 4. Estructura de la fibra óptica .....	8
Figura 5. Estructura de una red PON.....	10
Figura 6. Canales descendente y ascendente redes PON.....	10
Figura 7. Red Punto a punto .....	15
Figura 8. Red Conmutada.....	16
Figura 9. Red óptica pasiva .....	17
Figura 10. Arquitectura de red PON.....	17
Figura 11. Arquitectura de red PON.....	18
Figura 12. Arquitecturas de redes PON en el segmento ODN .....	20
Figura 13. Estructura de la fibra óptica .....	21
Figura 14. Espectros de luz.....	21
Figura 15. Ventas de trabajo de la fibra óptica.....	22
Figura 16. Atenuación por absorción .....	23
Figura 17. Índices de atenuación por dispersión .....	23
Figura 18. Splitter óptico de 1 entrada y 8 salidas .....	25
Figura 19. Diagrama de bloques funcional de la ONU .....	27
Figura 20. Multiplexación GEM y ATM.....	31
Figura 21. Estructura de la trama de convergencia de transmisión (TC)GTC .....	32
Figura 22. Trama descendente de TC GTC.....	33
Figura 23. Estructura de la trama GEM.....	33
Figura 24. Estructura de la trama ascendente GTC.....	34
Figura 25. Arquitectura de Red GPON .....	35
Figura 26. SimMPLS, ventana para diseño de escenarios.....	40
Figura 27. SimMPLS, ventana para la simulación en tiempo real .....	41
Figura 28. SimMPLS, ventana para análisis de datos. ....	41
Figura 29. SimMPLS, licencia GNU General Public License .....	42
Figura 30. Escenario del simulador .....	55
Figura 31. Funcionamiento de los puertos de conexión .....	57
Figura 32. Función del recolector y pantalla de simulación.....	58

Figura 33. Jerarquía de eventos del simulador .....	59
Figura 34. Jerarquía de elementos .....	61
Figura 35. Organización del Escenario.....	62
Figura 36. Jerarquía de Paquetes .....	62
Figura 37. Funcionamiento del nodo emisor .....	64
Figura 38. Funcionamiento del nodo OLT. ....	65
Figura 39. Funcionamiento del enlace.....	66
Figura 40. Funcionamiento del Splitter .....	67
Figura 41. Funcionamiento del nodo ONU .....	68
Figura 42. Funcionamiento del nodo receptor.....	70
Figura 43. Escenario en funcionamiento .....	70
Figura 44. Ejecución del programa desde la línea de comandos.....	76
Figura 45. Pantalla de bienvenida del simulador GPON.....	77
Figura 46. Pantalla principal.....	77
Figura 47. Menú principal .....	77
Figura 48. Pantalla de un escenario abierto.....	78
Figura 49. Creación de escenarios .....	78
Figura 50. Modos de trabajo del escenario.....	79
Figura 51. Ventana del escenario, modo de diseño. ....	79
Figura 52. Ventana del escenario, modo de simulación.....	80
Figura 53. Ventana del escenario, modo de análisis.....	80
Figura 54. Ventana del escenario, opciones .....	81
Figura 55. Opción guardar.....	81
Figura 56. Ventana de selección de lugar de almacenamiento del escenario.....	82
Figura 57. Ventana, mensaje de inserción, código de seguridad.....	83
Figura 58. Ventana opción cerrar escenario. ....	83
Figura 59. Ventana, opción abrir escenario.....	83
Figura 60. Ventana, selección de archivo a abrir. ....	84
Figura 61. Elementos del escenario, modo diseño. ....	84
Figura 62. Insertar, nodo emisor.....	85
Figura 63. Ventana, mensaje de error al insertar un nodo emisor.....	85
Figura 64. Ventana, configuración del nodo emisor .....	86
Figura 65. Ventana, configuración rápida del nodo emisor. ....	87

Figura 66. Opción, tipo de trafico nodo emisor.....	88
Figura 67. Ventana, configuración avanzada del nodo emisor.....	88
Figura 68. Datos estadísticos de tamaños de paquetes en internet .....	89
Figura 69. Opción, tamaño de la carga útil nodo emisor.....	90
Figura 70. Nivel de GoS, nodo emisor. ....	90
Figura 71. Venta escenario, nodo emisor insertado.....	91
Figura 72. Mensaje de advertencia, nombre nodo emisor.....	91
Figura 73. Insertar, nodo receptor. ....	92
Figura 74. Ventana, configuración del nodo receptor. ....	93
Figura 75. Insertar, nodo OLT.....	94
Figura 76. Ventana, configuración del nodo OLT.....	94
Figura 77. Ventana; configuración rápida del nodo OLT. ....	95
Figura 78. Opciones de configuración rápida, nodo OLT.....	96
Figura 79. Ventana, configuración avanzada del nodo OLT.....	96
Figura 80. Ventana del escenario, nodo OLT insertado.....	98
Figura 81. Insertar, nodo Splitter.....	99
Figura 82. Ventana, configuración del nodo splitter. ....	99
Figura 83. Ventana, configuración avanzada del nodo splitter. ....	100
Figura 84. Venta del escenario, nodo splitter insertado. ....	101
Figura 85. Insertar, enlace .....	102
Figura 86. Mensaje de error del enlace.....	102
Figura 87. Ventana, configuración del enlace. ....	103
Figura 88. Origen y destino del enlace .....	103
Figura 89. Lista de selección, lado izquierdo del enlace.....	104
Figura 90. Lista de selección, puertos del nodo, lado izquierdo del enlace. ....	104
Figura 91. Ventana, configuración avanzada del enlace. ....	105
Figura 92. Ventana del escenario, enlace insertado.....	106
Figura 93. Insertar nodo ONT(ONU).....	107
Figura 94. Ventana de configuración del nodo ONU.....	107
Figura 95. Ventana, configuración rápida del nodo ONU.....	108
Figura 96. Lista de selección, tipo de nodo ONU. ....	109
Figura 97. Ventana, configuración avanzada del nodo ONU.....	109
Figura 98. Ventana, nodo ONU insertado. ....	111

Figura 99. Ventana del escenario modo de simulación .....	112
Figura 100. Inicio de la simulación. ....	112
Figura 101. Ventana del escenario, simulación en proceso.....	113
Figura 102. Botones de control de simulación. ....	113
Figura 103. Opción para generar el archivo de traza de la simulación. ....	114
Figura 104. Leyenda sobre los paquetes generados en la simulación. ....	115
Figura 105. Nodo del escenario, en proceso de simulación. ....	115
Figura 106. Resultados de conectividad, OLT – ONU. ....	116
Figura 107. Acceso, área de análisis de resultados.....	117
Figura 108. Selección de los elementos, generar estadísticas. ....	117
Figura 109. Datos del escenario de resultados. ....	118
Figura 110. Estadística, paquetes entrantes nodo ONU. ....	119
Figura 111. Estadísticas, paquetes salientes nodo ONU. ....	119
Figura 112. Estadística, paquetes descartados nodo ONU. ....	119
Figura 113. Estadística, paquetes entrantes al destino.....	120

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Velocidades soportadas por GPON .....	29
Tabla 2. Combinaciones de downstream/upstream en GPON .....	30
Tabla 3. Programas para desarrollo Java .....	46
Tabla 4. Descripción de eventos durante la simulación. ....	116

## Resumen

La simulación por computador, como herramienta científica y técnico-profesional, ha ganado importancia progresivamente durante las últimas décadas. Esto es especialmente notable en el ámbito de las redes de comunicaciones, debido por una parte, al aumento de la capacidad de procesamiento de los ordenadores y, por otra parte, a la creciente complejidad de las redes de comunicación.

Lo que se pretende con este proyecto, es brindar una nueva herramienta de simulación para los estudiantes y profesionales, recurso interactivo de investigación y análisis simulado sobre las redes de datos y su evolución a redes como las GPON, obteniendo y entregando información que permita indagar, planificar y dimensionar recursos de una red GPON, con la revisión y análisis de los resultados e información, optimizando y comprobando las distintas deficiencias o limitantes sobre la arquitectura de red planteada, de forma que el diseño o solución satisfaga el mayor porcentaje de los requerimientos planteados a los diseñadores de red.

El simulador será capaz de crear escenarios para el envío de tráfico ascendente para petición de servicio y sincronización, y multicast para el descendente a la entrega del servicio, implementando los componentes básicos iniciales como OLT, ONT, difusores de la señal o SPLITTER y enlaces entre cada uno de ellos.

Las OLT podrán recibir y procesar, varios tipos de tráfico como la telefonía IP, Televisión IP y datos, con la capacidad de cambiar interactivamente sus capacidades de velocidad y potencia, dándole la posibilidad de adaptarse fácilmente a hardware existente y posibles cambios en características de los mismos. Los splitters, serán simplemente difusores de la señal que les llegue del OLT, con la capacidad de poder variar su número de derivaciones y nivel de atenuación.

Los enlaces serán parametrizables, en su distancia y nivel de atenuación, lo que permitirá simular cualquier tipo de fibra y en los escenarios FFTC y FFTB, enlaces de cobre.

Las ONT (Optical Network Terminal) Terminal óptico de red, tendrán la capacidad y sensibilidad de determinar la factibilidad del enlace de acuerdo al cálculo de pérdidas de señal, esto de acuerdo al margen configurable para su correcto funcionamiento. Esto permitirá analizar el ancho de banda para cada enlace o dispositivo ONT conforme va variando el número de terminales conectados a la OLT (Optical Line Terminal) de manera de

determinar las pérdidas del enlace para cada nodo de acuerdo a su distancia y la factibilidad de configuración del escenario.

Finalmente se presentarán los resultados en archivos de texto o en gráficas estadísticas, sobre cada uno de los componentes del modelo generado, en paquetes: generados, entrantes, conmutados y recibidos; lo que va a permitir un diagnóstico del diseño y realizar las correcciones respectivas al mismo.

## CAPÍTULO I INTRODUCCION

### 1.1- Generalidades del Proyecto

La simulación de redes permite a los profesionales, disponer de herramientas poderosas, adecuadas y necesarias, para su rápida comprensión y obtención de resultados (simulados), lo que se pretende con este proyecto, es brindar una nueva herramienta de simulación para los estudiantes y profesionales, recurso interactivo de investigación y análisis simulado sobre las redes de datos y su evolución a redes como las GPON<sup>1</sup>.

Obteniendo y entregando información que permita indagar, planificar y dimensionar recursos de una red GPON, con la revisión y análisis de los resultados e información, optimizando y comprobando las distintas deficiencias o limitantes sobre la arquitectura de red planteada de forma que el diseño o solución satisfaga el mayor porcentaje de los requerimientos planteados a los diseñadores de red.

Existen simuladores que brindan esta oportunidad, como lo es el caso del simulador de carácter educativo elaborado por el Ing. Dorado Dominguez, simulador de redes MPLS llamado OpenSimMPLS, herramienta funcional y visual utilizada para la docencia en asignaturas de redes y/o comunicaciones.

El software Opnet Modeler, basado en eventos orientado a la simulación de redes de telecomunicaciones creado por OPNET (Optimized Network Engineering Tools). Programa dinámico y discreto que puede realizar simulaciones deterministas y/o aleatorias basándose en teorías de redes de colas, pero muy complejo, lo que lo orienta para personas con conocimientos de programación.

### 1.2- Planteamiento del problema

Brindar nuevas herramientas de simulación que permitan a los estudiantes y profesionales contar con un recurso interactivo de investigación y análisis simulado sobre las redes de datos y su evolución a redes convergentes como son las GPON.

### 1.3- Descripción del problema

En el ámbito investigativo y educativo, existen muchas herramientas de simulación que nos permiten un estudio y simulación sobre el comportamiento de redes PON, pero no todas prestan facilidades interactivas rápidas para los profesionales, ya que las mismas demandan gran tiempo en su comprensión del funcionamiento y análisis de las soluciones

---

<sup>1</sup> GPON Gigabit Passive Optical Network



resultantes; por lo que es necesaria la creación de nuevas herramientas que basadas en los estándares de redes nos permitan innovarlas con un fácil manejo y comprensión.

#### **1.4- Hipótesis**

La simulación permite a los profesionales de redes y comunicaciones, el contar con herramientas adecuadas, para su rápida comprensión y obtención de resultados (simulados), brindando información que permita indagar, planificar y dimensionar recursos de una red GPON, con la obtención y análisis de los resultados e información proveniente del software se permitirán de manera sucesiva optimizar e ir comprobando las distintas deficiencias o limitantes sobre la arquitectura de red propuesta de forma que el diseño o solución finalmente planteada satisfaga el mayor porcentaje de los requerimientos entregados a los diseñadores de red.

#### **1.5- Objetivo general**

Desarrollar un simulador multiplataforma que permita un estudio y simulación de redes GPON.

#### **1.6- Objetivos específicos**

- Analizar la arquitectura y comportamiento de una red PON
- Analizar el estándar ITU-T G.984, para redes GPON.
- Utilizar las ventajas de licencias GNU, para re utilización de código en la creación de nuevas herramientas de análisis sobre redes.
- Diseño del simulador para redes GPON, en base a los estándares (ITU-T G.984).

#### **1.7- Alcance del Proyecto**

Basados en el simulador OpenSimMPLS, de código libre, y bajo el aporte de su autor se reutilizara el código de su simulador para adaptarlo a un simulador capas de permitir el diseño y la presentación de resultados de una red GPON utilizando los estándares de referencia de la UIT -T G.984, mediante el método de encapsulado GEM(GPON Encapsulation Method).

En la Figura 1, podemos apreciar el escenario de trabajo del simulador, sobre el cual se podrá interactuar, y modelar el diseño de red.

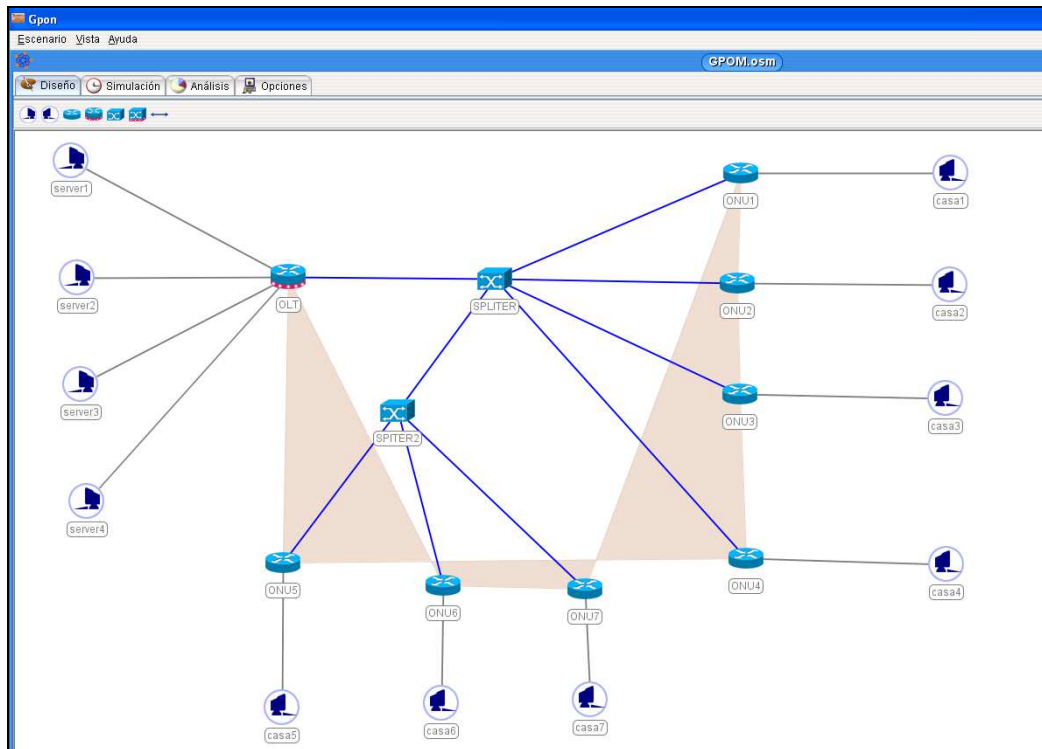


Figura 1. Escenario propuesto, presentación del simulación de red.

El simulador será capaz de crear escenarios para el envío de tráfico ascendente para petición de servicio y sincronización, y multicast para el descendente a la entrega del servicio.

Esto implementando los componentes básicos iniciales como son las OLT<sup>2</sup>, ONT<sup>3</sup>, los difusores de la señal o SPLITTER y los enlaces entre cada uno de ellos.

Las OLT podrán recibir y procesar, varios tipos de tráfico como la telefonía IP, Televisión IP y datos, con la capacidad de cambiar interactiva mente sus capacidades de velocidad y potencia, dándole la posibilidad de adaptarse fácilmente a hardware existente y posibles cambios en características de los mismos.

Los splitters, serán simplemente difusores de la señal que les llegue del OLT, con la capacidad de poder variar su número de derivaciones y nivel de atenuación, para hacerlo adaptable a cualquier estándar del mercado

<sup>2</sup> Terminación de línea óptica (optical line termination).

<sup>3</sup> Terminación de red óptica (optical network termination)

Los enlaces serán parametrizables, en su distancia y nivel de atenuación, lo que permitirá poder simular cualquier tipo de fibra y en los escenarios FTTC<sup>4</sup> y FTTB<sup>5</sup>, enlaces de cobre.

Las ONT (Optical Network Terminal) Terminal óptico de red, tendrán la capacidad y sensibilidad de determinar la factibilidad del enlace de acuerdo al cálculo de pérdidas de señal, esto de acuerdo al margen configurable para su correcto funcionamiento.

Esto permitirá analizar el ancho de banda para cada enlace o dispositivo ONT conforme va variando el número de terminales conectados a la OLT (Optical Line Terminal) de manera de determinar las pérdidas del enlace para cada nodo de acuerdo a su distancia y la factibilidad de configuración del escenario.

En el presente trabajo se utilizará NetBeans en su versión 6.9.1., programa para desarrollo de aplicaciones bajo lenguaje de programación Java.

Java es toda una tecnología orientada a la programación de software con el cual se puede realizar cualquier tipo de programas. La tecnología Java está compuesta básicamente por 2 elementos: el lenguaje Java y su plataforma. La plataforma es simplemente la máquina virtual de Java (Java Virtual Machine). Una de las principales características de este lenguaje es su capacidad de que el código funciona sobre cualquier plataforma de software y hardware, es decir, un mismo programa puede ejecutarse en varios sistemas sin tocar el código fuente. Por ejemplo: Unos programas en java escritos para Linux pueden ser ejecutados en Windows sin ningún problema. Además es un lenguaje orientado a objetos que resuelve los problemas en la complejidad de los sistemas, entre otras.

---

<sup>4</sup> FTTC Fibra a la acometida (fibre to the curb)

<sup>5</sup> FTTB Fibra al edificio (fibre to the building)

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

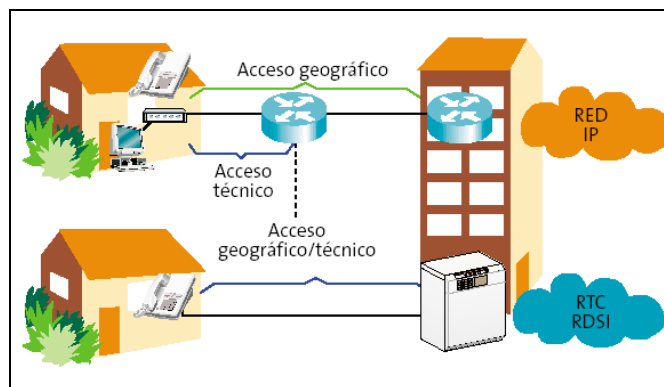
#### 2.1- Simuladores de Red

La simulación por computador, como herramienta científica y técnico-profesional, ha ganado importancia progresivamente durante las últimas décadas. Esto es especialmente notable en el ámbito de las redes de comunicaciones, debido por una parte, al aumento de la capacidad de procesamiento de los ordenadores y, por otra parte, a la creciente complejidad de las redes de comunicación. Esto ha hecho que los modelos matemáticos empleados tradicionalmente para el análisis y diseño de redes de comunicación de datos, vayan dando paso y, en algunos casos, perdiendo terreno frente a las técnicas basadas en simulación.

Los Simuladores: Son objetos de aprendizaje que mediante un programa de software, intentan modelar parte de una réplica de los fenómenos de la realidad y su propósito es que el usuario construya conocimiento a partir del trabajo exploratorio, la inferencia y el aprendizaje por descubrimiento. Los simuladores se desarrollan en un entorno interactivo, que permite al usuario modificar parámetros y ver cómo reacciona el sistema ante el cambio producido.

Se los considera como una imitación, lo más próxima a la realidad, permite representar todas las situaciones e incidencias técnicas posibles.

#### 2.2- Redes de Acceso “Fibra Óptica”



*Figura 2.* Redes de Acceso por Fibra Óptica

En la Figura 2 se puede admirar como ha ido cambiando la tecnología para brindar nuevos mecanismos de acceso, los cuales juegan un papel muy importante en el desarrollo

del modelo de redes. El desarrollo de las tecnologías de acceso debe facilitar el despliegue de nuevas redes y servicios ya que los usuarios demandan cada día más tecnologías de acceso de banda ancha que les permitan acceder a un conjunto de nuevos servicios y prestaciones que les ofrecen actualmente las redes de comunicación.

Aspectos a Considerar en las Redes de Acceso

**Consideraciones Geográficas.**\_ Son todas aquellas que hacen referencia a la infraestructura existente entre el punto de conexión de la Terminal de usuario y la central de conmutación.

**Consideraciones Técnicas.**\_ Son aquellas que hacen referencia a la infraestructura de comunicaciones existente entre el punto de conexión de la terminal del usuario y además incluye el primer equipo que procesa la información hasta el nivel de red.

#### **Tipos de tecnologías de acceso:**

- xDSL
- Redes de Fibra óptica & HFC
- WLL (Wireless Local Loop)
- Acceso por satélite
- PLC (Power line communication)

#### **Redes de Acceso - Ethernet**

Ethernet es ahora la tecnología LAN dominante en el mundo considerándola no solo una tecnología sino una familia de tecnologías LAN. Ethernet opera en dos áreas del modelo OSI<sup>6</sup>, la mitad inferior de la capa de enlace de datos, conocida como subcapa MAC y la capa física, las que se pueden observar en la Figura 3; las especificaciones de Ethernet admiten diferentes medios, anchos de banda y demás variaciones de la Capa 1 y 2.

El formato de trama básico y el esquema de direccionamiento son igual para todas las variedades de Ethernet, la cual ha evolucionado para satisfacer la creciente demanda de LAN de alta velocidad. Su éxito se debe a los siguientes factores:

- Sencillez y facilidad de mantenimiento.

---

<sup>6</sup> (Open Systems Interconnection - Interconexión de Sistemas Abiertos). Norma universal para protocolos de comunicación lanzado en 1984 por ISO, la cual divide las tareas de la red en siete niveles.

- Capacidad para incorporar nuevas tecnologías.
- Confiabilidad
- Bajo costo de instalación y de actualización.

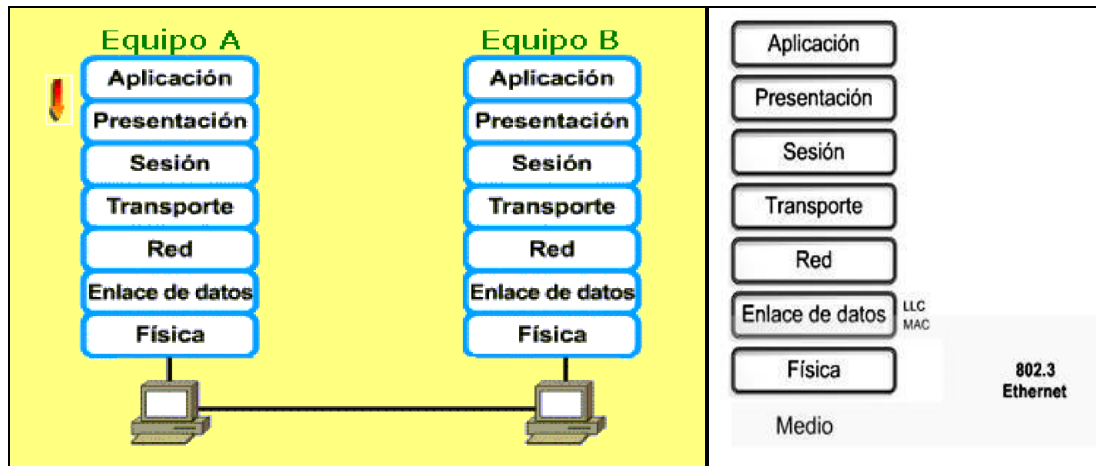


Figura 3. Capas del Modelo OSI - ETHERNET

La subcapa de enlace de datos contribuye significativamente a la compatibilidad de tecnología, ya que la misma controla el flujo de los datos, la sincronización y los errores que puedan producirse.

La subcapa MAC<sup>7</sup> trata los componentes físicos que se utilizarán para comunicar la información.

La subcapa de Control de Enlace Lógico (LLC)<sup>8</sup> sigue siendo relativamente independiente del equipo físico que se utiliza en el proceso de comunicación.

### Acceso por Fibra Óptica

La fibra óptica es una guía de onda en forma de hilo de material altamente transparente diseñado para transmitir información a grandes distancias utilizando señales ópticas. La fibra óptica es el medio de transmisión preponderante en las redes de comunicación óptica. La fibra se utiliza en lugar de los cables metálicos convencionales con la ventaja de que tiene un ancho de banda notablemente superior, menores atenuaciones y

<sup>7</sup> Control de acceso al medio (MAC, medium access control) permite establecer un medio de identificación de los dispositivos que acceden a un canal multiacceso.

<sup>8</sup> Control de enlace lógico LLC ("Logical Link Control") define la forma en que los datos son transferidos sobre el medio físico, proporcionando servicio a las capas superiores.

mayor inmunidad al ruido electromagnético. Todo esto lo logran según la Figura 4 a su estructura y a los materiales de la que se encuentra fabricada:

**El núcleo (core)**, es la parte interior de la fibra, que está fabricado por un material dieléctrico, normalmente, vidrio de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) dopado con materiales como  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$  o  $\text{P}_2\text{O}_5$  para ajustar su índice de refracción, aunque también se encuentran en el mercado fibras ópticas con el núcleo de plástico o cuarzo fundido.

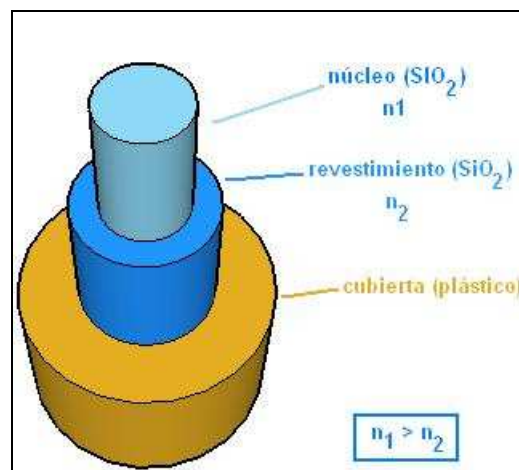


Figura 4. Estructura de la fibra óptica

**El revestimiento (cladding)**, que envuelve al núcleo, fabricado con materiales similares al núcleo pero con un índice de refracción menor, para que se produzca el fenómeno de la reflexión total interna. Gracias a este fenómeno los rayos de luz que entran en la fibra hasta, cierto ángulo, quedan confinados en el núcleo de ésta siendo guiados por la fibra hasta el otro extremo.

La camisa o cubierta, generalmente fabricada en plástico que protege mecánicamente a los dos anteriores.

Las fibras ópticas se catalogan según distintos parámetros. Los dos principales son atenuación y dispersión.

**Atenuación** es la reducción de potencia luminosa con la distancia, que puede ser debida a fenómenos de dispersión y de absorción que afectan incluso a los materiales más puros. La atenuación pone un límite a la distancia máxima que pueden detectarse los pulsos

luminosos. La atenuación se expresa en decibelios <sup>9</sup> por kilómetro (dB/km) para una determinada longitud de onda o para un rango de longitudes de onda.

**La Dispersión** tiene una relación inversa con el ancho de banda, que es la capacidad de transportar información que tiene una fibra. A grandes rasgos también se puede decir que es la cantidad de distorsión de un pulso en la transmisión. Si los pulsos se distorsionan demasiado, el detector no podrá distinguir un pulso del anterior y del siguiente, con lo que se pierde información. En todos los tipos de fibra hay dispersión cromática debida a que los diferentes colores (que componen un pulso de luz) van a diferentes velocidades por la fibra.

### **Red de acceso de Fibra hasta el punto de terminación (FTTx)**

La red de fibra óptica no siempre está constituida únicamente de fibra óptica dependiendo del punto de terminación de esta recibe alguno de los siguientes nombres:

- Fiber to the Home FTTH (Fibra hasta el hogar)
- Fiber To The Curb FTTC (Fibra hasta la acera)
- Fiber To The Building (Fibra hasta el edificio)
- Fiber To The Desk (Fibra hasta el escritorio)

### **Redes Ópticas Pasivas**

Una red óptica pasiva, conocida como PON, permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos (divisores ópticos pasivos) para guiar el tráfico por la red, cuyo elemento principal es el dispositivo divisor óptico conocido como splitter. La utilización de estos sistemas pasivos reduce considerablemente los costes y son utilizados en las redes FTTH.

### **Estructura y funcionamiento de una red PON**

De acuerdo a la Figura 5 una red óptica pasiva está formada básicamente por:

- Un modulo OLT (Optical Line Terminal - Unidad Óptica Terminal de Línea) que se encuentra en el nodo central.
- Un divisor óptico (splitter).
- Varias ONUs (Optical Network Unit - Unidad Óptica de Usuario) que están ubicadas en el domicilio del usuario.

---

<sup>9</sup> El (dB) es la unidad relativa empleada en acústica, electricidad, telecomunicaciones y otras especialidades para expresar la relación entre dos magnitudes: la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia.



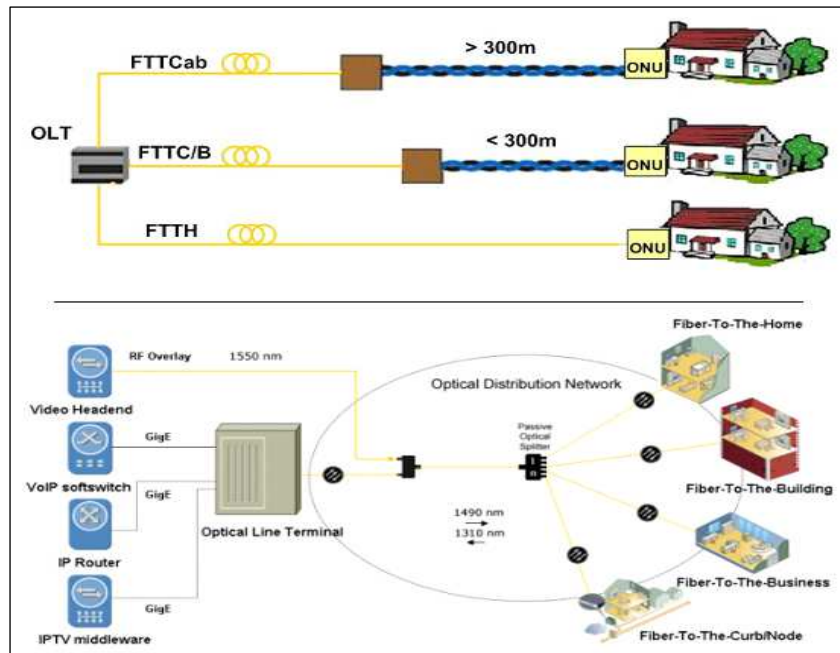


Figura 5. Estructura de una red PON

Como se puede admirar en la Figura 6 la transmisión se realiza entre la OLT y la ONU que se comunican a través del divisor, cuya función depende de si el canal es ascendente o descendente.

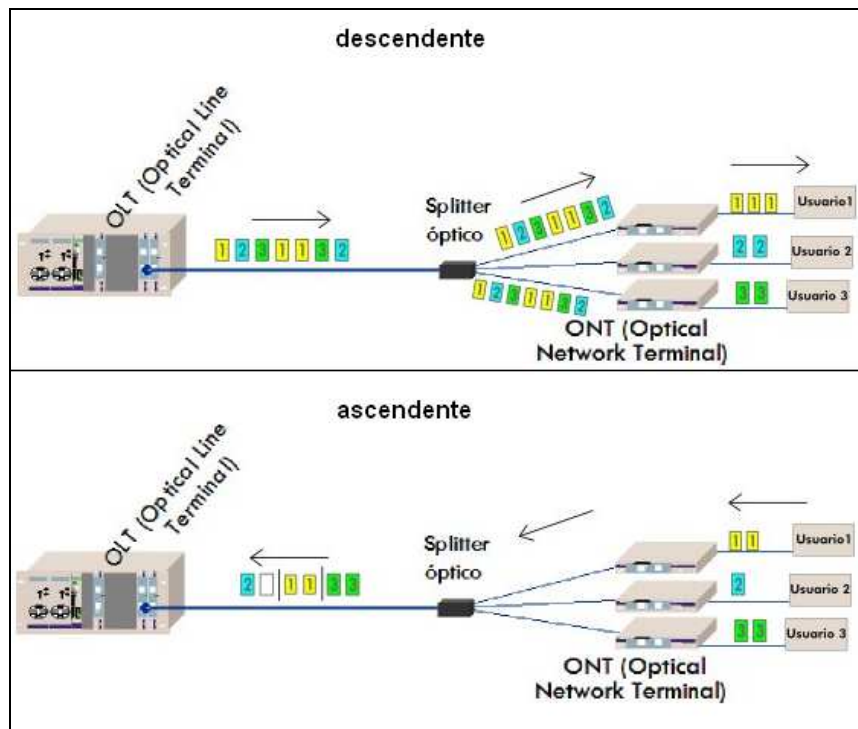


Figura 6. Canales descendente y ascendente redes PON.

**Canal descendente.-** En canal descendente, una red PON es una red punto-multipunto donde la OLT envía una serie de contenidos que recibe el divisor y que se encarga de repartir a todas las unidades ONU, cuyo objetivo es el de filtrar y sólo enviar al usuario aquellos contenidos que vayan dirigidos a él. En este procedimiento se utiliza la multiplexación en el tiempo (TDM)<sup>10</sup> para enviar la información en diferentes instantes de tiempo.

**Canal ascendente.-** En canal ascendente una PON es una red punto a punto donde las diferentes ONU transmiten contenidos a la OLT. Por este motivo también es necesario el uso de TDMA<sup>11</sup> para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la unidad OLT. Al mismo tiempo, todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como "Ranging"<sup>12</sup>.

### **Ventajas de las redes ópticas pasivas (PON)**

Aumento de la cobertura hasta los 20 Km. (desde la central). Con tecnologías DSL<sup>13</sup> como máximo se cubre hasta los 5,5 Km.

- Ofrecen mayor ancho de banda para el usuario.
- Mejora en la calidad del servicio y simplificación de la red debido a la inmunidad que presentan a los ruidos electromagnéticos.
- Minimización del despliegue de fibra óptica gracias a su topología.
- Reducción del consumo gracias a la simplificación del equipamiento.
- Más baratas que las punto a punto.

### **Estándar ITU-T G.983<sup>14</sup>**

**APON ("ATM" Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network) o ATM-PON (Redes Ópticas Pasivas ATM<sup>15</sup>):**

<sup>10</sup> La multiplexación por división de tiempo (TDM), es una técnica que permite la transmisión de señales digitales; consiste en ocupar un canal (normalmente de gran capacidad) de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión.

<sup>11</sup> El Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), técnica de TDM más difundida.

<sup>12</sup> "Ranging" Proceso para la sincronización entre equipos en el canal ascendente con el fin de que las transmisiones de la estación suscriptora estén alineadas al inicio de un cada espacio de tiempo asignado para la transmisión.

<sup>13</sup> Digital Subscriber Line (Línea de abonado digital).

<sup>14</sup> Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras. ITU-T: Sector de de ITU, encargada de la normalización de las Telecomunicaciones.

<sup>15</sup> Modo de Transferencia Asíncrona o Asynchronous Transfer Mode (ATM)

Fue la primera red que definió la FSAN<sup>16</sup>, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas.

APON basa su transmisión en canal descendente en ráfagas de celdas ATM (Modo de transferencia asíncrona) con una tasa máxima de 155 Mbps que se reparte entre el número de ONUs que estén conectadas. En canal descendente, a la trama de celdas ATM, se introducen dos celdas PLOAM<sup>17</sup> para indicar el destinatario de cada celda y otra más para información de mantenimiento.

Su inconveniente inicial era la limitación de los 155 Mbps que más adelante se aumentó hasta los 622 Mbps.

### **BPON (Broadband PON - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha):**

Se basan en las redes APON pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha. Originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir:

- Tráfico asimétrico: canal descendente de 622 Mbps y canal ascendente de 155 Mbps.
- Tráfico simétrico: canal descendente y ascendente de 622 Mbps.
- No obstante presentaban un coste elevado y limitaciones técnicas.

## **2.3 Estandar ITU-T G.984**

### **GPON(Gigabit-capable PON):**

La recomendación UIT-T G.984 es una familia de recomendaciones que define la red óptica pasiva gigabit (GPON) una red de acceso a las telecomunicaciones.

Está basada en BPON en cuanto a arquitectura pero, además ofrece:

- Soporte global multiservicio: voz, Ethernet 10/100, ATM,...
- Cobertura hasta 20 Km.
- Seguridad a nivel de protocolo.
- Soporte de tasas de transferencia:
  - ✓ Simétrico: 622 Mbps y 1.25 Gbps.
  - ✓ Asimétrico: descendente de 2.5 Gbps // ascendente de 1.25 Gbps

---

<sup>16</sup> "FSAN".(Full Service Access Network) comité formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas.

<sup>17</sup> "PLOAM" Celda ATM para el control de (Capa física, operación de administración y mantenimiento).

La recomendación G.984, fue estandarizada por el sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), creada por la Comisión de Estudio 15 aprobada en 2003, conocida genéricamente como GPON, que posibilita la explotación de las redes PON con el fin de describir una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de ancho de banda de los servicios para empresas y particulares, soportando los protocolos Ethernet, ATM y TDM.

### **Evolución de la Normalización UIT-T G.984 (GPON)**

Conforme con los avances dados por la Comisión de Estudio 15 de la UIT-T, surge:

- La Recomendación UIT-T G.984.1 (16 marzo 2003), describe las características generales de un sistema PON con capacidad de gigabits.
- La Recomendación UIT-T G.984.2 (16 marzo 2003), describe la especificación de la capa dependiente de los medios físicos PMD<sup>18</sup> de una red de acceso óptico.
  - ✓ La enmienda 1 a la Recomendación ITU-T G.984.2 .aceptada el 17 de febrero de 2006.
- La Recomendación UIT-T G.984.3 (22 febrero 2004), describe la especificación de la capa de convergencia de transmisión TC (Transmission Convergence), para transportar diversos servicios entre la interfaz usuario-red y la interfaz del nodo de servicios ya sean datos, video, circuitos arrendados, POTS y servicios distribuidos. La enmienda 1 a la Recomendación UIT-T G.984.3 aprobada el 14 de julio de 2005.
  - ✓ La enmienda 2 a la Recomendación UIT-T G.984.3 aprobada el 29 de marzo de 2006.
  - ✓ La enmienda 3 a la Recomendación UIT-T G.984.3 aprobada el 14 de diciembre de 2006.
- La Recomendación UIT-T G.984.4 (13 junio 2004), describe la especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica, abarca la gestión de configuración, la gestión de averías y la gestión de calidad de funcionamiento de dicha terminación óptica no solo para la explotación del GPON sino también para diversos servicios, tales como las capas de adaptación ATM 1, 2 y 5, GEM (G-PON Encapsulation Method), servicios de emulación de circuitos, servicios Ethernet, servicios de voz, multiplexación por división de onda, entre otros.

---

<sup>18</sup> Physical Media Dependent (PMD) layer specification

- La enmienda 1 a la Recomendación UIT-T G.984.4 aprobada el 29 de junio de 2005. La enmienda 2 a la Recomendación UIT-T G.984.4 aprobada el 29 de marzo de 2006. □ La enmienda 3 a la Recomendación UIT-T G.984.4 aprobada el 14 de diciembre de 2006.
- La Recomendación UIT-T G.984.5 (22 de septiembre 2007), describe la banda de ampliación de las redes de acceso óptico con capacidad de gigabits.
- La Recomendación UIT-T G.984.6 (marzo 2008), describe mejoras en el alcance para redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits.

## CAPÍTULO III

### REDES OPTICAS PASIVAS

#### 3.1. Redes Pon (Passive Optical Network)

##### 3.1.1 Introducción

En los últimos años hemos sido testigos de grandes cambios en aspectos de como la tecnología, a venido cambiando para ofrecer sus servicios a través de redes de acceso de banda ancha, utilizando para el efecto, las redes de alta velocidad con tecnologías de fibra óptica.

La fibra óptica es capaz de entregar un gran ancho de banda, mediante el cual se pueden ofrecer servicios integrados, como los denominados *Triple Play* (voz, datos y video), a distancias que superan los 20 Km desde el proveedor del servicio hasta el cliente que requiere de dichos servicios.

En este sentido, la tecnología de la fibra óptica se presenta como una firme solución al problema gracias a la robustez, a su potencial ancho de banda y al continuo descenso de los costes asociados a los sus principales componentes como los emisores láseres.

Uno de los mecanismos para desplegar la fibra óptica en las redes de acceso local es usar una topología punto a punto como se muestra en la Figura 7, con fibras dedicadas desde la oficina central hacia cada cliente (usuario final). Esta se considera como una alternativa de alto costo, debido a que se requiere una implementación externa de fibra de longitud considerable, así también varios puntos de terminación, que involucran conectores, terminales y equipamiento en la central, por cada uno de los usuarios conectados.

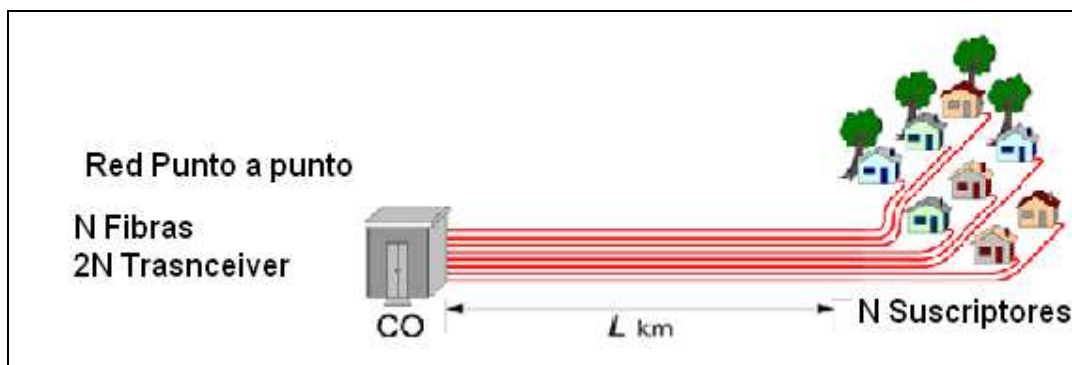


Figura 7. Red Punto a punto

Para reducir estos costos y el gran despliegue de fibra óptica, se consideró otra posibilidad, que consiste en instalar un conmutador remoto (concentrador) cerca de los abonados, lo que permite reducir el uso de fibra óptica a un solo enlace entre la oficina del proveedor y el concentrador, asumiendo únicamente los varios enlaces, solo a la distancia entre el conmutador y los usuarios, esto aumenta el número de transceivers a  $2N+2$ , tal como se muestra en la Figura 8, además, la arquitectura de la red requiere de energía eléctrica, en los diferentes puntos del enlace, lo que actualmente, resulta uno de los principales problemas de los portadores de Telecomunicaciones, que es el costo de mantenimiento y el suministro de energía eléctrica en el.

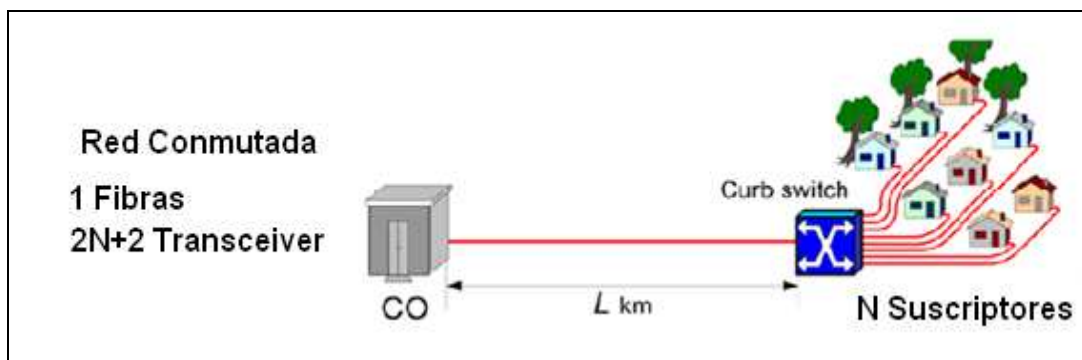


Figura 8. Red Conmutada

Actualmente, para los portadores de telecomunicaciones uno de los costos más altos es el mantenimiento y el suministro de energía eléctrica en el backbone local; razón por la que se ha buscado reemplazar el conmutador activo por un económico divisor óptico pasivo. Este permitió que las redes ópticas pasivas (PON) sean consideradas como una tecnología atractiva para resolver problemas de última milla; ya que una PON minimiza el número de transceiver ópticos, terminaciones de la oficina central e implementación de fibra. Una PON es una red óptica punto a multipunto con elementos no activos en la trayectoria de las señales desde la fuente al destino.

Los únicos elementos usados en una PON son los componentes ópticos pasivos, tales como: fibra óptica, empalmes y divisores, tal como se muestra en la Figura 9.

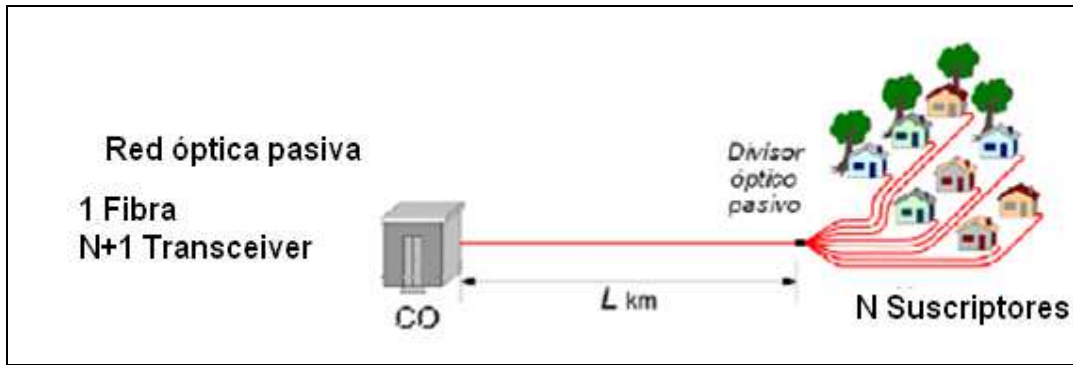


Figura 9. Red óptica pasiva

### 3.1.2 Arquitectura

La sección óptica de un sistema de red de acceso local en una PON es considerada por su arquitectura como una red pasiva y una arquitectura punto a multipunto; en provecho de algunas antiguas y nuevas construcciones (urbanizaciones, nuevos bloques de viviendas, centros comerciales) ya integran cableado estructurado, del tipo cobre o de fibra óptica en sus proyectos de conectividad, en las figuras 10 y 11 se muestran las diferentes arquitecturas disponibles, como: fibra hasta la vivienda (FTTH, *Fiber To The Home*), fibra hasta el edificio o la acometida (FTTB/C, *Fiber To The Building/Curb*) y la fibra hasta el armario (FTTCab, *Fiber To The Cabinet*).

La red de acceso óptico es común a todas estas arquitecturas; por consiguiente, la uniformidad de este sistema ofrece la posibilidad de generar grandes volúmenes de acceso del sistema de Telecomunicaciones.

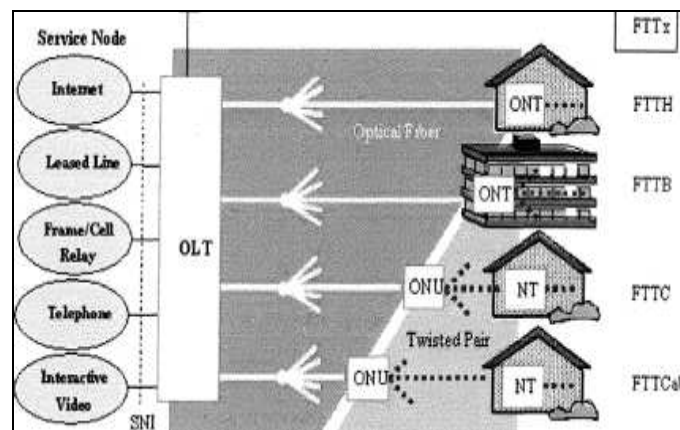


Figura 10. Arquitectura de red PON



**FTTH:** Fiber to the Home. En esta arquitectura el cable de fibra llega directamente hasta la casa del abonado. Se puede decir que es la más adecuada de todas las variantes para ofrecer transmisión de datos a alta velocidad, ya que el despliegue de la línea de fibra, ocupa todo el camino de la comunicación, no se utiliza en ningún punto cable de cobre.

**FTTB:** Fiber to the Building. Aquí el cable de fibra óptica llega directamente hasta la entrada del edificio, y después se conecta con los usuarios mediante instalación de cobre.

**FTTC:** Fiber to the Curb. La instalación de fibra llega hasta la manzana, y luego se unen todos los abonados cercanos mediante cobre. El despliegue de cobre es mayor que en la variante FTTB.

**FTTCab:** Fiber to the Cabinet. la fibra llega hasta un gabinete, o punto intermedio del cual se conectan los usuarios a través de cobre. Aquí el despliegue de cable de cobre es mayor que en la solución FTTC.

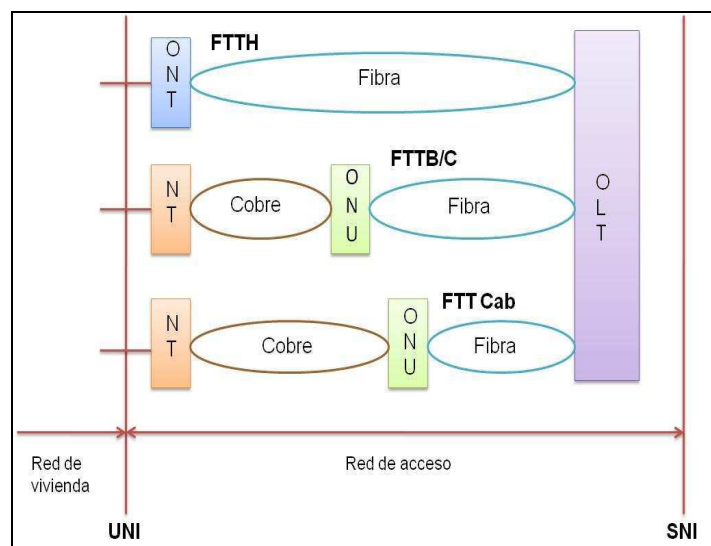


Figura 11. Arquitectura de red PON

Fuente: Recomendación ITU T-REC-G.984.1-200803.pdf

- ONU** Unidad de red óptica (Optical Network Unit)
- ONT** Terminación de red óptica (Optical Network Termination)
- OLT** Terminación de línea óptica (Optical Line Termination)
- NT** Terminación de red (Network Termination)
- UNI** Interfaz usuario-red (User Network Interface)
- SNI** Interfaz de nodo de servicio (Service Node Interface)

### 3.1.3 Estándares Desarrollados

A finales de los años noventa, PON comenzó a ser considerado, tanto por los operadores como por los proveedores de servicios de telecomunicaciones, como una interesante solución para ofrecer acceso de fibra óptica hasta los usuarios residenciales. Su naturaleza punto a multipunto, posibilitaba ahorros significativos en la instalación de la fibra óptica y en interfaces ópticas. Además, PON no requiere de dispositivos electrónicos u optoelectrónicos activos para la conexión entre el abonado y el operador lo que implicaba menor inversión y menores costes de mantenimiento. Por lo que la primera actividad PON fue en la década de 1980 cuando algunas de las mayores compañías aéreas de todo el mundo trabajaron juntos para introducir soluciones de acceso óptico en sus redes. Sin embargo, esto se mantuvo como prueba de las aplicaciones debido al alto costo y a la relativamente baja demanda en ese momento.

A mediados de la década de los 1990, el Internet se convirtió en un recurso de uso mucho más común, razón que puso de manifiesto la necesidad de un acceso de banda ancha, cada vez mayor. Por lo que en 1995, siete operadores de telecomunicaciones vislumbraron las posibilidades de las redes PON y fundaron la Full Service Access Network (FSAN, siglas en inglés de Red de Acceso Multiservicio) con el objetivo de unificar especificaciones para el acceso en banda ancha a los hogares.

La FSAN agrupó a más de 30 fabricantes de equipos. En 1998, esto dio lugar a la Recomendación UIT-T G.902 y, en 1999, la ITU-T emite las nuevas especificaciones como los sistemas PON de 155 Mbit/s (Recomendación UIT-T de la serie G.983.x). Esta fue nombrada como la PON de banda ancha (B-PON) o más comúnmente como A-PON basado en el protocolo ATM (modo de transferencia asíncrono).

Por otro lado el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) estableció el grupo de estudio Ethernet en la primera milla (EFM), que más tarde desarrolló el estándar IEEE 802.3ah (EPON). Este grupo se centró en la normalización Ethernet de 1 Gbit/s basado en un sistema simétrico PON. El trabajo finalizó, y la primera versión de la norma fue aprobada en el verano del 2004.

Posterior al estándar de la serie G.983 (BPON) la UIT.T creó otro estándar, el G.984 conocido genéricamente como GPON, que posibilita la explotación de las redes PON a velocidades un poco mayores a 1Gbit/s, con el fin de describir una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de ancho de banda de los servicios para empresas y particulares. Este estándar fue aprobado en los años 2003-2004.

### 3.1.4 Componentes de Una Red Pon

De acuerdo a la Figura 3.3 se pueden diferenciar tres componente básicos de una red PON, la Terminación de Línea Óptica (OLT, Optical Line Termination), la Red de Distribución Óptica (ODN, Optical Distribution Network), y la Unidad de Red Óptica (ONU, Optical Network Unit). La ONU se convierte en una terminación de red óptica cuando es utilizada en una arquitectura FTTH. La ODN comprende toda la sección óptica es decir la fibra óptica, empalmes y los splitters.

#### 3.1.4.1 Red de Distribución Óptica (ODN)

Una ODN proporciona el medio de transmisión óptica desde la OLT hasta los usuarios, y viceversa, está compuesta solo por los componentes ópticos pasivos.

Lógicamente, la primera milla es una red PMP (Point to Multi-Point), con un splitter sirviendo a múltiples suscriptores.

Existen distintas topologías multipunto apropiadas para la red de acceso, incluyendo árbol, árbol y ramas, anillo, o bus (Figura 12).

Usando acopladores ópticos y divisores ópticos 1:N; las PON pueden ser flexiblemente instaladas en cualquiera de estas topologías. Además, las PON pueden desplegarse en configuraciones redundantes tales como doble anillos o doble árbol.

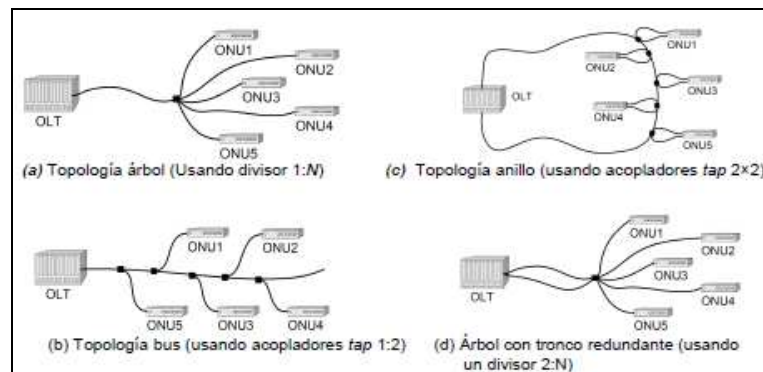


Figura 12. Arquitecturas de redes PON en el segmento ODN

#### 3.1.4.1.1 Fibra Óptica

Se puede definir a la fibra óptica como un medio de transmisión muy fino y flexible, que transmite la información mediante la conducción de energía de naturaleza lumínica o conocidos como pulsos de luz. La fibra óptica de acuerdo a la Figura 13, está constituida por un núcleo de plástico o vidrio de un alto índice de refracción, sobre el que se monta un

revestimiento de plástico o vidrio de índice de refracción ligeramente menor, esto permite que la luz quede atrapada dentro del núcleo y pueda viajar por él; así, cuando un rayo de luz pasa de un medio con determinado índice de refracción, a otro medio con diferente índice de refracción, el rayo es refractado en el límite de los dos materiales; finalmente todo este conjunto se recubre con una chaqueta protectora contra el medio ambiente.

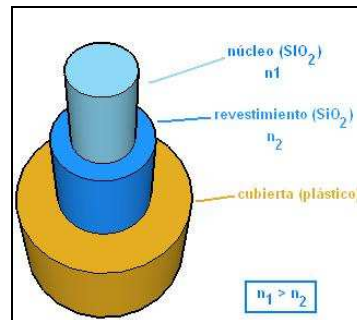


Figura 13. Estructura de la fibra óptica

Para la transmisión por fibra óptica se utiliza la parte baja del espectro correspondiente al infrarrojo, como se puede apreciar en la Figura 14 sobre los espectros de luz.

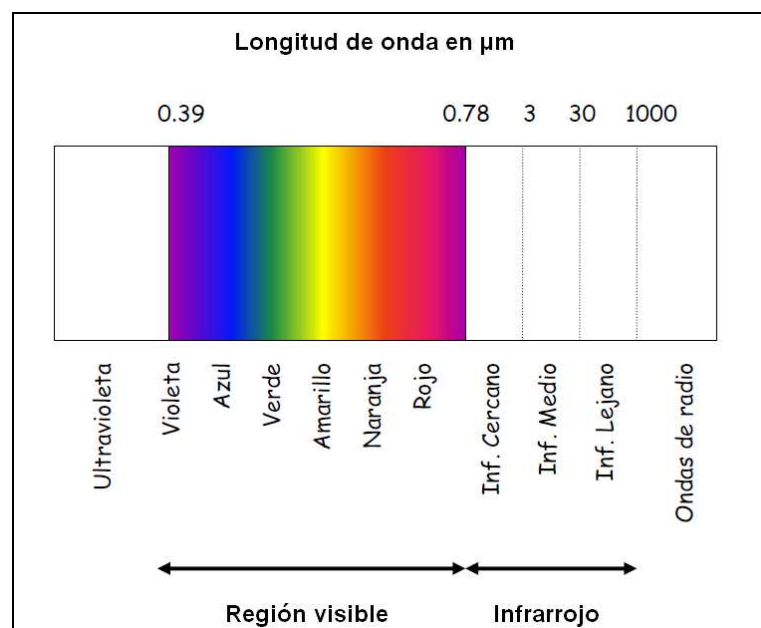


Figura 14. Espectros de luz

Fuente: Rodríguez Juan, Curso de Fibra Óptica.

La longitud de onda de la fuente luminosa que se utiliza para transmitir la información por la fibra óptica en el orden de los  $\mu\text{m}$ , está contemplada bajo tres ventanas de transmisión en las que las respectivas longitudes de onda presentan un mínimo de atenuación.

Las ventanas de trabajo como lo podemos ver en la Figura 15, están en los rangos de: 850nm, 1300 nm y 1550nm, ventanas en las que la atenuación es mayor en la primera ventana y disminuye en la segunda y tercera de manera gradual.

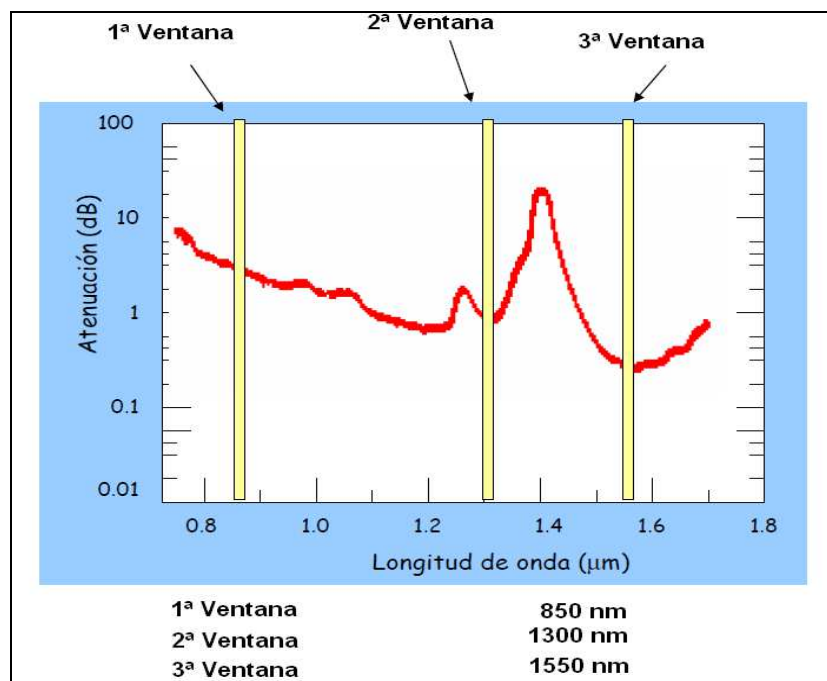


Figura 15. Ventas de trabajo de la fibra óptica  
Fuente: Rodríguez Juan, Curso de Fibra Óptica.

La fibra óptica tiene un gran ancho de banda, además es inmune al ruido, a la interferencia electromagnética y a la carga estática. Su atenuación es casi nula, estando en el orden de las décimas de [dB/Km].

La atenuación de la fibra óptica es considerada como la pérdida de la potencia de la luz a medida que esta se transmite, las causas más comunes de la misma son:

**Por absorción.-** Es la atenuación causada por la interacción entre la luz y la materia, esto causado por las impurezas en la fabricación de la fibra, en la que estas impurezas absorben la luz y la convierten en calor. Según los índices de atenuación mostrados en la

Figura 16, la absorción puede ser causada por los componentes mismos del vidrio, material utilizado para su fabricación (absorción intrínseca); o por impurezas no deseadas, las cuales se incrustan en la fibra al momento de su fabricación (absorción extrínseca).

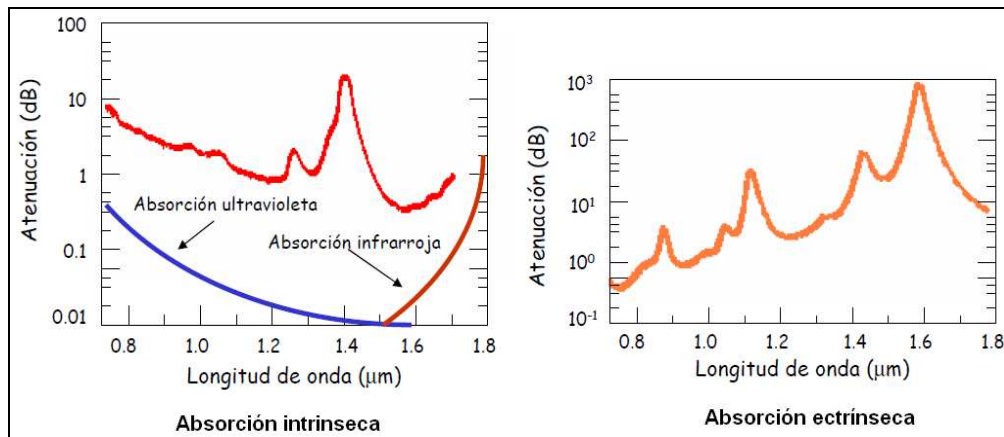


Figura 16. Atenuación por absorción

**Por dispersión.-** Es la pérdida causada, cuando los rayos de luz que se propagan por la fibra óptica chocan contra una impureza, provocando que esta se (difracte) disperse o reparta en muchas direcciones. En la que una parte de esta luz difractada continúa por la fibra y otra se escapa, este escape de la luz representa la pérdida en la potencia inicial de la luz y se la conoce como dispersión de Rayleigh. Este fenómeno se produce por irregularidades submicroscópicas que se forman en la fibra de manera permanente cuando esta se enfría o causada por el tipo de material utilizado, durante el proceso de su fabricación, atenuación que la podemos apreciar en la Figura 17.

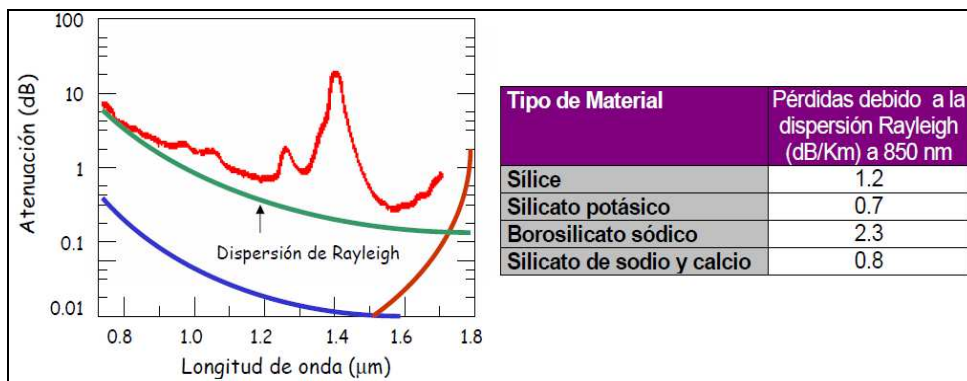


Figura 17. Índices de atenuación por dispersión  
Fuente: Rodríguez Juan, Curso de Fibra Óptica.

### 3.1.4.1.1.2 Tipos de Fibra Óptica

Dependiendo de cuantos rayos de luz a la vez se propagan en el interior del núcleo de la fibra, se tienen dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.

**Fibras Ópticas Multimodo.-** En este tipo de fibra, pueden ser transmitidos múltiples rayos de luz. El diámetro del núcleo de la fibra es de aproximadamente 50  $\mu\text{m}$ . Trabaja en las ventanas de longitudes de onda de 850 y 1300 nm (ventanas 1 y 2, Figura 15). Se tiene dos tipos de fibra multimodo:

- **Fibra óptica multimodo de índice escalonado:** Se caracteriza por tener los índices de refracción tanto del núcleo como del revestimiento constante pero diferentes entre sí, lo que provoca que las componentes de frecuencia del pulso de luz de entrada viajen a diferentes velocidades en el interior del núcleo y lleguen a diferentes tiempos, por lo que el pulso de salida llega disperso.
- **Fibra óptica multimodo de índice gradual:** El índice de refracción del núcleo disminuye gradualmente a medida que se aleja del eje de la fibra óptica y se acerca al revestimiento, mientras que el índice de refracción del revestimiento se mantiene constante; lo que provoca que en el interior del núcleo se compense, aumentando la velocidad en el incremento de la trayectoria del rayo de luz, reduciendo así el fenómeno de dispersión. Por lo que el pulso de salida llega mejor conformado, permitiendo alcanzar mayores velocidades de transmisión que con fibras de índice escalonado.

**Fibras Ópticas Monomodo:** Este tipo de fibra óptica permite que sólo un rayo de luz se propague en línea recta (sin rebotar) en el interior del núcleo, debido a que el diámetro del núcleo de fibra es pequeño, alrededor de los 8 a 10 [ $\mu\text{m}$ ].

Trabaja en las ventanas de longitud de onda de 1300 y 1550 [nm] (ventanas 2 y 3, Figura 15).. Permite alcanzar mayores velocidades a mayores distancias que las fibras multimodo.

### 3.1.4.1.2 Splitters (Acopladores/Divisores Ópticos)

Una red óptica pasiva PON, emplea dispositivos pasivos (no requieren de energía eléctrica), para dividir la potencia de la señal óptica de una fibra en varias fibras y recíprocamente, para combinar señales ópticas de múltiples fibras en una, este dispositivo se lo conoce generalmente como un acoplador óptico. Los acopladores reparten la potencia de la señal de manera desigual. Los divisores son un caso particular de los acopladores en donde la

potencia de la señal se divide en partes iguales, además podríamos decir que el splitter es un acoplador de una entrada y varias salidas.

En la Figura 18 se presenta un divisor el tipo 1x8 (equipo de una entrada y 8 salidas). La homologación de familias de splitters, están establecidas con las relaciones de salida 1x2, 1x4, 1x8, 1x16 y 1x32.

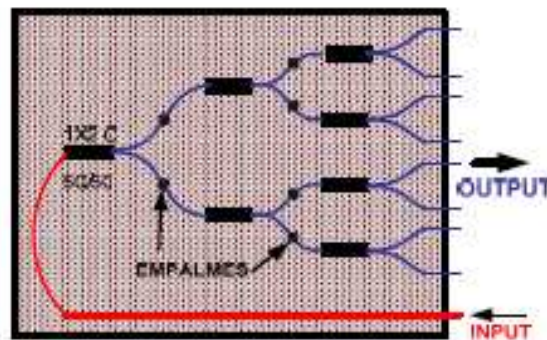


Figura 18. Splitter óptico de 1 entrada y 8 salidas <sup>19</sup>

Un acoplador óptico consta de dos fibras fusionadas, la potencia de la señal recibida en cualquier puerto de entrada es dividida entre ambos puertos de salida. La proporción de repartición de un divisor puede ser controlada por la longitud de la región fusionada y por tanto conseguir un parámetro constante.

### 3.1.4.2 Terminal de Línea Óptico (OLT)

El terminal de línea óptico (OLT, *Optical Line Terminal*) establece una interfaz óptica con la red de distribución óptica (ODN) y al menos una interfaz de red en el lado de red de la OAN <sup>20</sup>. El OLT puede estar situado en una central local o en un emplazamiento distante. Comprende los medios necesarios para prestar distintos servicios a las ONU correspondientes. Un OLT puede considerarse compuesto por tres partes definidas como armaduras del núcleo, de servicio y común.

**Armadura del núcleo del OLT.-** La armadura del núcleo del OLT puede incluir:

<sup>19</sup>[http://www.furukawa.com.br/pls/portal/docs/PAGE/PORTALESP/DRTECH/WEEKLYNEWS/WN\\_110308\\_ES.PDF](http://www.furukawa.com.br/pls/portal/docs/PAGE/PORTALESP/DRTECH/WEEKLYNEWS/WN_110308_ES.PDF).

<sup>20</sup> OAN(Red de Acceso Óptico), conjunto de enlaces de acceso que comparten las mismas interfaces del lado red y están soportados por sistemas de transmisión de acceso óptico. La OAN puede incluir varias ODN conectadas a la misma OLT.



- Las funciones de conexión digital;
- La función múltiplex de transmisión;
- La función de interfaz ODN.

La función múltiplex de transmisión proporciona las funciones necesarias para la transmisión o recepción de los canales de servicio por la ODN. La función de conexión digital ofrece la conectividad entre el ancho de banda disponible en el lado de la ODN y las partes de la red en el lado de red. La función de interfaz ODN da un conjunto de funciones de interfaz óptica física que establece la terminación de los grupos pertinentes de fibras ópticas de las ODN. Incluye la conversión óptica/eléctrica y viceversa. Para lograr una alta disponibilidad, se generan rutas geográficamente redundantes hasta un punto de flexibilidad de la ODN, en el que se dividan las fibras, esto se logra solo si el sistema OAN posee la posibilidad de equipar opcionalmente el OLT con una interfaz ODN duplicada; ha esta se añade al número máximo de ODN que puede aceptar el OLT en funcionamiento normal.

Puede haber más de una interfaz física si se utiliza más de una fibra por ODN, por ejemplo para el funcionamiento simplex.

**Armadura de servicio del OLT.-** La armadura de servicio del OLT incluye las funciones de puerto de servicio, estos puertos de servicio funcionan al menos con la velocidad primaria a 64 kbit/s y deberán poder reconfigurarse para uno o varios servicios, o ser capaces de soportar simultáneamente dos o más servicios distintos.

Cualquier unidad terminal que proporcione dos o más puertos de 2 Mbit/s deberá poder configurarse de forma independiente en cada puerto. Para este tipo de unidad terminal multipuerto, será posible configurar cada uno de ellos para un servicio distinto. Cada posición de unidad terminal en el equipo OLT será capaz de aceptar una unidad terminal de cualquier tipo. El OLT deberá poder soportar cualquier número de unidades terminales hasta el máximo número para el que está concebido, y para cualquier combinación de tipos de servicio.

**Armadura común del OLT.-** La armadura común del OLT puede incluir funciones de fuente de alimentación y OAM(operación, administración y mantenimiento). La función de fuente de alimentación convierte una fuente de energía externa al nivel requerido. La función de OAM da los medios para la funcionalidad de las operaciones, la administración y el mantenimiento a todos los bloques del OLT.

### 3.1.4.3 Unidad de Red Óptica (Onu)

La ONU es la interfaz óptica del lado de la ODN hacia el cliente y constituyen las interfaces del lado de abonado de la OAN. Las ONU estarán siempre situadas en los puntos finales de la red ODN, esto de acuerdo a la topología adoptada por el proveedor de servicios (FTTH, FTTO, FTTB, FTTC).

La ONU aporta los medios necesarios para la prestación de los distintos servicios de los que ha de ocuparse el sistema. La Figura 19 muestra el diagrama de bloques funcional de una ONU.

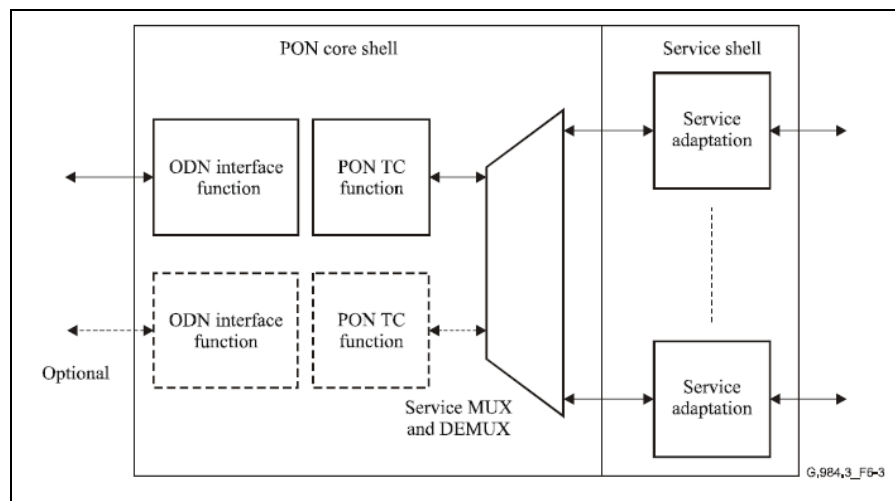


Figura 19. Diagrama de bloques funcional de la ONU  
Fuente: Recomendación ITU T-REC-G.984.3-200803.pdf

**Armadura del núcleo de la ONU.-** La armadura del núcleo ONU incluye:

- La función múltiplex de abonado y de servicio;
- La función múltiplex de transmisión;
- La función de interfaz ODN.

La función múltiplex de transmisión proporciona las funciones necesarias para la evaluación y atribución de las señales de entrada y salida que proceden de la función de interfaz ODN y van a ésta, extrayendo e introduciendo la información pertinente para dicha ONU. La función múltiplex de abonado y de servicio ensambla y desensambla la información procedente de los distintos abonados y dirigida a éstos, además conecta las diversas funciones de interfaz de servicio. La función de interfaz ODN proporciona un conjunto de funciones de

interfaz física óptica dando terminación al grupo pertinente de fibras ópticas de la ODN, mediante la conversión óptica/eléctrica y la eléctrica/óptica.

**Armadura de servicio de la ONU.-** La armadura de servicio de la ONU proporciona las funciones de puerto de usuario. Dichas funciones establecen las interfaces de servicio de abonado y su adaptación a la velocidad 64 o nx64 kbit/s. Puede ofrecerse la función para un solo abonado o para un grupo de ellos. También efectúa las funciones de conversión de señalización conforme a la interfaz física (por ejemplo, tono de llamada, señalización, conversión A/D y conversión D/A)

**Armadura común de la ONU.-** La armadura común de la ONU incluye la fuente de alimentación y las funciones OAM. La función de fuente de alimentación suministra la energía a la ONU (por ejemplo, conversión AC/DC o DC/DC). La energía tendrá origen local (la red) o se proporcionará a distancia. La fuente de alimentación puede estar compartida por varias ONU. La ONU deberá ser capaz de funcionar con una batería.

La función OAM aporta los medios para realizar las funciones de operación, administración y mantenimiento en todos los bloques de la ONU (por ejemplo, control de los retornos en los distintos bloques).

## **3.2. Tecnología Gpon (Gigabit Passive Optical)**

### **3.2.1 Introducción**

Las redes ópticas pasivas (Passive Optical Network, conocida como PON), aparecen mediados de los años 90. La principal característica de estas redes es que permiten eliminar todos los componentes activos entre el cliente y el servidor, de esta manera también se consiguen reducir costes. Existen varios estándares entre ellos se encuentran unos definidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y otros por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE):

**APON (ATM PON).** Fue el primer estándar que surgió, basado en ATM, su principal inconveniente era la limitación de su ancho de banda. ITU-T G.983.

**BPON (Broadband PON, Red Óptica Pasiva de Banda Ancha).** Evolución de la APON, soportaba diferentes estándares de banda ancha, como tráfico asimétrico, aunque presentaba un coste elevado y limitaciones técnicas. Estándar ITU-T G.983.

**GPON (Gigabit-capable PON).** Basada en BPON, ofrece además, soporte global multiservicio (voz, Ethernet, ATM), seguridad a nivel de protocolo, y mayores anchos de banda llegando hasta 2.5 Gbps. Estándar ITU-T G.984.

**EPON (Ethernet PON).** Construida para aprovechar la tecnología de fibra óptica para el transporte de tráfico Ethernet. Estándar IEEE 802.3ah.

**GePON (Gigabit Ethernet PON).** Evolución de la especificación EPON, que consigue un ancho de banda 10 veces mayor. Estándar IEEE 802.3ah.

### 3.2.2 Características Principales

#### 3.2.2.1 Estandarización

La principal motivación que tenía el ITU-T para desarrollar GPON era ofrecer mayor ancho de banda, mayor eficiencia de transporte para servicios IP y una especificación adecuada para ofrecer todo tipo de servicios.

GPON está estandarizado en el conjunto de recomendaciones de ITU-T G.984.x (x= 1,2 ,3 ,4). La recomendación G.984, **GPON**, fue estandarizada por el sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), creada por la Comisión de Estudio 15 aprobada en 2003; la que posibilita la explotación de las redes PON con el fin de describir una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de ancho de banda de los servicios para empresas y particulares, residenciales, etc. La cual soporta los protocolos Ethernet, ATM y TDM.

La nueva Recomendación UIT-T tiene por objeto mejorar el estándar B-PON por reconsiderar el sistema de servicios de apoyo, la política de seguridad y la infraestructura de fibra óptica. También trata de mantener el mayor número posible de características de la recomendación B-PON para promover la compatibilidad con versiones anteriores con las actuales redes B-PON.

#### 3.2.2.2 Velocidades de Transmisión

El protocolo de transporte GPON, usa la técnica TDM (Multiplexación por División de tiempo) para transmisiones descendentes y TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) para transmisiones ascendentes. La norma G-PON de acuerdo a la Tabla 1, define las siguientes velocidades nominales de línea descendente/ascendente.

Tabla 1. *Velocidades soportadas por GPON*

Sentido de Transmisión	Bit Rate
Downstream	1244,16 Mbit/s
	2488,32 Mbit/s
Upstream	155,52 M bit/s
	622,08 M bit/s
	1244,16 Mbit/s
	2488,32 Mbit/s

Todas las combinaciones son posibles excepto la de 1,25Gbit/s en downstream y 2,5Gbit/s en upstream. La mayoría de proveedores de equipos ofrecen la opción de 1,25Gbit/s en upstream y 2,5Gbit/s en downstream. En la Tabla 2 se puede observar las diferentes combinaciones de velocidad.

Tabla 2. *Combinaciones de downstream/upstream en GPON*

1244,16 Mbit/s / 155,52 Mbit/s
1244,16 Mbit/s / 622,08 Mbit/s
1244,16 Mbit/s / 1244,16 Mbit/s
2488,32 Mbit/s / 155,52 Mbit/s
2488,32 Mbit/s / 622,08 Mbit/s
2488,32 Mbit/s / 1244,16 Mbit/s
2488,32 Mbit/s / 2488,32 Mbit/s.

La información, tanto en el sentido descendente como en el ascendente viaja en la misma fibra óptica. Para ello se utiliza una multiplexación según la longitud de onda, WDM (Wavelength Division Multiplexing). La longitud de onda que se utiliza para transmitir es de 1480-1500nm para el sentido de downstream y de 1260-1360nm para el sentido upstream.

**3.2.2.3 Potencia y Alcance**

El alcance de un equipo viene dado por la atenuación máxima que es capaz de soportar sin perder el servicio. El estándar GPON define diferentes tipos de láser con diferentes atenuaciones (medidos en dBm<sup>21</sup>). Los fabricantes se han decantado por los láseres de tipo B+ por lo que la atenuación máxima que se puede asegurar para que funcione el servicio es 28 dB. Como la atenuación de un nivel de splitting más los conectores son de unos 20 dB. Quedarían 8 dB para la atenuación de la fibra. Cada kilometro de fibra atenúa la señal en unos 0.4 dB, por lo que el alcance máximo sería de unos 20km desde el componente de red de la central hasta el componente de red del usuario. El estándar está preparado para que se pueda llegar a los 60km.

**3.2.2.4 Protocolo de Transporte**

La norma GPON, contempla dos posibilidades referentes a los protocolos de transporte que se pueden utilizar:

- ATM: es el utilizado por las versiones anteriores como APON y BPON.

<sup>21</sup> dBm, unidad de medida utilizada, principalmente, en telecomunicación para expresar la potencia (en decibelios(dB) en relación a un nivel de referencia de 1mW) absoluta mediante una relación logarítmica.

- GEM (GPON Encapsulation Method): se trata de un nuevo protocolo definido únicamente para utilizarse en GPON.

Los fabricantes de elementos de redes GPON han optado por implementar la solución GEM, ya que esta solución soporta cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, etc.), se lo considera como un protocolo de transporte síncrono basado en tramas cada 125 microsegundos. Se basa en el estándar GFP (Generic Framing Procedure) del ITU-T G.7041 con algunas modificaciones para las tecnologías PON.

Soporta transporte de voz, video y datos sin tener que añadir ningún nivel de encapsulamiento adicional. GEM es similar a otros métodos de entramado de servicios de datos desde el punto de vista de la estructura de trama. Sin embargo, GEM está integrado en la sección de la PON, y es independiente de los tipos de interfaces de nodo de servicio (SNI) que existan en la OLT, o de los tipos de interfaz usuario-red (UNI) en la ONU.

En la Figura 20 se presentan los mecanismos de multiplexación: uno basado en GEM y otro en ATM.

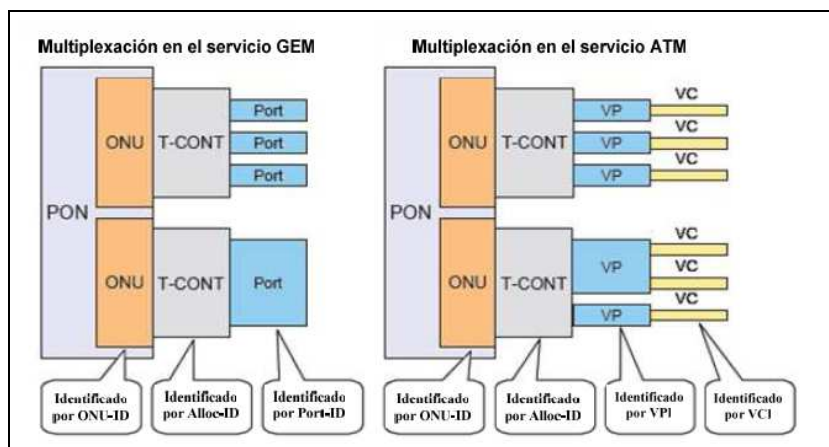


Figura 20. Multiplexación GEM y ATM.

**Trama de Convergencia de Transmisión (TC) GTC.-** En la capa TC de la G-PON, la unidad de control básica es un T-CONT<sup>22</sup> identificado mediante Alloc-ID. El concepto de puerto, identificado mediante Port-ID, se utiliza para la multiplexación de flujos de tráfico

<sup>22</sup> Los T-CONT se utilizan principalmente para mejorar el ancho de banda ascendente utilizada en la PON y para la gestión de la atribución del ancho de banda en la capa de convergencia de transmisión (TC).

sobre un T-CONT en el servicio GEM. Los conceptos de trayectos virtuales/circuitos virtuales, identificados mediante los VPI/VCI, se utilizan para la multiplexación de flujos de tráfico en ATM. También es posible utilizar configuraciones que son una combinación de ambos modos. En la Figura 21 se muestra la estructura de trama GTC en los sentidos descendente y ascendente.

La trama descendente consta de: bloque de control físico descendente (PCBd, Physical Control Block Downstream), partición ATM y partición GEM.

La trama ascendente consta de múltiples ráfagas de transmisión. Cada ráfaga ascendente contiene como mínimo el overhead de la capa física (PLOu, Physical Layer Overhead Upstream).

Además de la carga útil, también puede contener las secciones PLOAMu, PLSu, y DBRu1. La trama descendente proporciona la referencia de tiempo común para la PON, y proporciona la señalización de control común para el sentido ascendente.

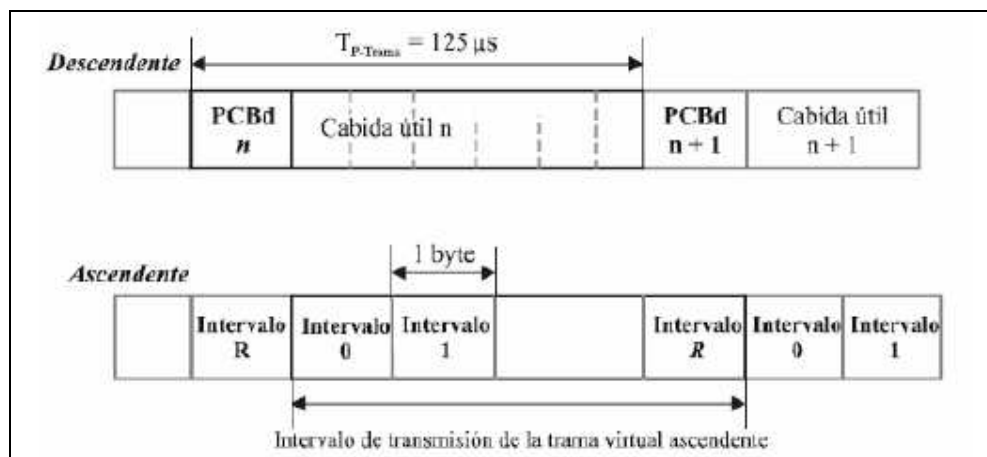


Figura 21. Estructura de la trama de convergencia de transmisión (TC)GTC

**Estructura de trama descendente.-** En la estructura de trama descendente la longitud de la trama es de  $125 \mu s$  lo cual proporciona una base de sincronización de la señal para todo el sistema. La trama está compuesta de un bloque de control físico descendente (PCBd, Physical Control Block downstream) y la carga útil (Payload).

El PCBd contiene la información de control y la longitud de la trama, en tanto que su carga útil consiste de una partición ATM y una partición del método de encapsulación

genérico GEM, por tanto, el sistema GPON es capaz de soportar dos tipos de tráfico simultáneamente en la misma trama. Esto se detalla en la Figura 22.

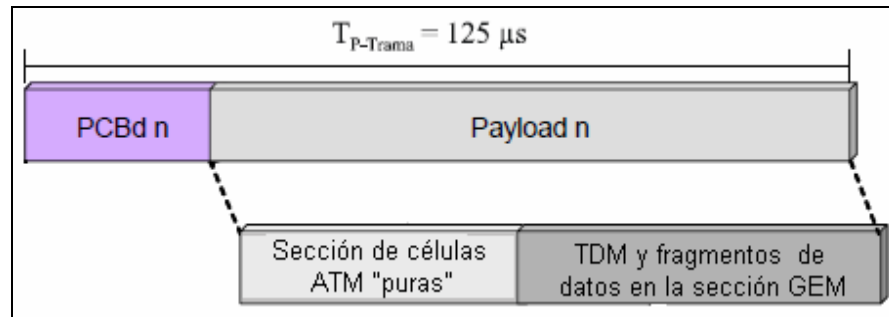


Figura 22. Trama descendente de TC GTC.

**Sección GEM.-** La partición GEM contiene un número de paquetes GEM, usualmente para tramas *Ethernet*. La longitud de la partición GEM es lo que queda después de haber sustraído las particiones PCBd y ATM de la longitud de trama completa.

El flujo de tramas descendente se filtra en la ONU sobre la base del valor del campo Port-ID de 12 bits de cada fragmento de trama. Este detalle se puede ver en la Figura 23.

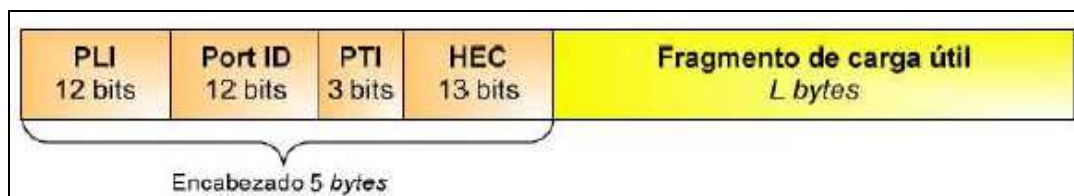


Figura 23. Estructura de la trama GEM.

- **PLI.-** Indicador de longitud de carga útil (PLI, *Payload Length Indicator*), indica el número de bytes de la carga útil.
- **Port ID.-** Identificador de puerto (*Port Identifier*), provee 4096 identificadores de tráfico único en la PON.
- **PTI.-** Indicador de tipo de carga útil (PTI, *Payload Type Indicator*), indica el tipo de carga útil.
- **HEC.-** Control de errores en el encabezamiento.



**Estructura de trama ascendente.-** Como puede observarse en la Figura 24, la longitud de la trama ascendente es la misma que en sentido descendente para todas las velocidades binarias. Cada trama contiene un conjunto de transmisiones procedentes de una o varias ONUs. De acuerdo con el control ejercido por la OLT, durante cada período de atribución la ONU puede transmitir uno de los cuatro tipos de overloads de PON y datos de usuario.

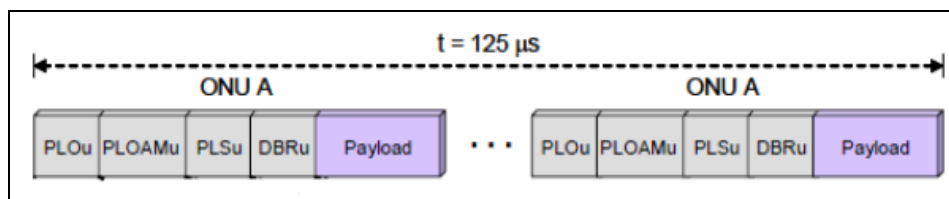


Figura 24. Estructura de la trama ascendente GTC.

- **PLOu:** Overhead de capa física ascendente (PLOu, Physical Layer Overhead upstream), Se transmite al inicio de cualquier transmisión de ráfaga de una ONU y sirve como delimitador de la trama.
- **PLOAMu:** Operaciones de gestión y administración de capa física ascendente (PLOAMu, Physical Layer Operations, Administration and Management upstream), contiene el mensaje PLOAM.
- **PLSu:** Secuencia de nivelación de potencia ascendente (PLSu, Power Levelling Sequence Upstream), Esta función sirve para ajustar los niveles de potencia de la ONU a fin de reducir el margen dinámico óptico recibido en la OLT.
- **DBRu:** Informe de ancho de banda dinámica ascendente (DBRu, Dynamic Bandwidth Report Upstream), La estructura de DBRu contiene información vinculada con la entidad T-CONT, no con la ONU, la estructura DBRu consta de un campo DBA (Asignación Dinámica de Ancho de Banda) y un campo CRC.

### 3.2.3 Componentes de Red

Básicamente existen dos tipos importantes de dispositivos o componentes de red, la OLT y la ONU. También forma parte de estas redes el splitter o divisor óptico que permite dividir y agregar la señal de fibra.

- OLT (*Optical Line Termination*): Es el elemento activo situado en la central del proveedor de servicios. De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios, cada OLT puede dar servicio a varios miles de usuarios.
- Su función principal es la de agregar tráfico proveniente de los clientes y lo encamina hacia la red global. A través de la OLT se sirven todos los servicios demandados por los clientes.
- ONT (*Optical Network Termination*): Es el elemento situado en casa del usuario y donde termina la fibra óptica. Existen variedades de ONTs según los servicios y las interfaces que ofrezca al usuario.
- OPTICAL SPLITTER: Es un dispositivo óptico, al cual le llega una única señal y la divide en múltiples señales iguales. El número de salidas suele ser  $2n$ . Es un dispositivo bidireccional, realiza las funciones de división y agregación de la señal. Provoca una atenuación de la señal idéntica para ambos sentidos de paso.

### 3.2.4 Arquitectura de Red

La arquitectura de una red GPON consta de varios elementos, como se puede observar en la Figura 25; pero básicamente de dos elementos principales, una ONU (Optical Networking Unit) y una OLT (*Optical Line Termination*) situado en la central del operador.

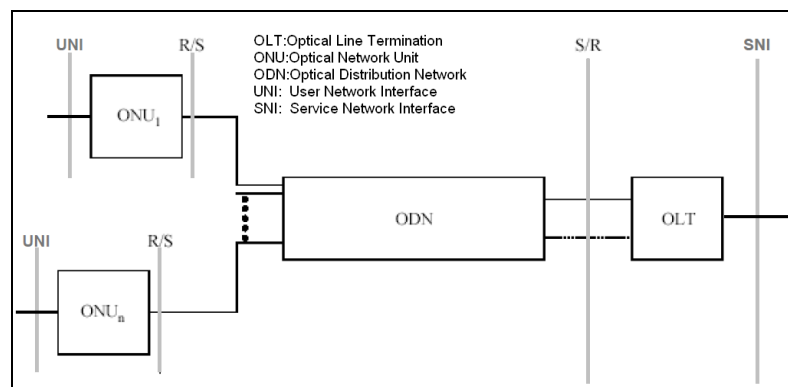


Figura 25. Arquitectura de Red GPON

Dependiendo de hasta donde llegue la instalación de fibra óptica, es decir, donde esté situada la ONU, el tipo de red recibe un nombre u otro. El conjunto de estas topologías, se las

conoce con el nombre de FTTx (Fiber to the x), donde la x es el lugar donde se encuentra la OLT, de acuerdo a esto las diferentes tipologías son:

- FTTH: Fiber to the Home. En esta arquitectura el cable de fibra llega directamente hasta la casa del abonado. Se puede decir que es la más adecuada de todas las variantes para ofrecer transmisión de datos a alta velocidad, ya que el despliegue de la línea de fibra, ocupa todo el camino de la comunicación, no se utiliza en ningún punto cable de cobre.
- FTTB: Fiber to the Building. Aquí el cable de fibra óptica llega directamente hasta la entrada del edificio, y después se conecta con los usuarios mediante instalación de cobre.
- FTTC: Fiber to the Curb. La instalación de fibra llega hasta la manzana, y luego se unen todos los abonados cercanos mediante cobre. El despliegue de cobre es mayor que en la variante FTTB.
- FTTCab: Fiber to the Cabinet. La fibra llega hasta un gabinete, o punto intermedio del cual se conectan los usuarios a través de cobre. Aquí el despliegue de cable de cobre es mayor que en la solución FTTC.

## CAPÍTULO IV

### ARQUITECTURA DE SIMULADORES DE RED

#### 4.1. Simuladores de Red

##### 4.1.1 Introducción

La simulación, sugiere la idea de hacer, mediante una serie de herramientas (ejemplo una computadora), la representación de algo del mundo real.

La simulación, actualmente tiene muchos usos prácticos, de los cuales se puede hablar:

**Predicción.**-En el que se utiliza para inferir el conocimiento de los sucesos que aún no ocurren, basándose en casos conocidos; por ejemplo, se puede predecir el tiempo de acuerdo a las condiciones atmosféricas actuales o del pasado.

**Entrenamiento.**- Como una herramienta des para capacitación de personal (o alumnos) en circunstancias que la práctica real puede ser muy costosa, muy peligrosa o ambas. Un ejemplo de esta situación son las cabinas de simulación de vuelo y las cabinas simuladoras de operación de camiones permitiendo a sus pilotos y operadores un mayor conocimiento y práctica para cuando sean enfrentados a una situación real, en la que se recrea el movimiento de la cabina del avión y el paisaje visto por el piloto, los elementos externos como el viento, condiciones climatológicas, condiciones mecánicas inesperadas, etc.

**Entretenimiento.**- Utilizada en el área de los juegos, en el que se puede encontrar una amplia gama de simuladores, entre los que se destacan los de vuelo, carreras de automóviles, históricos, e incluso simuladores del comportamiento humano, como ejemplo un juego electrónico de lucha recrea los movimientos de dos luchadores, una reconstrucción en tres dimensiones del plano de un edificio que recrea la forma en que se verá terminado, una película de ciencia-ficción que recrea cómo se vería el mundo en otro tiempo, sea pasado o futuro, la acción y comportamiento de un circuito eléctrico o electrónico, el mecanismo y funcionamiento de un nuevo invento , un nuevo hardware, etc.

La simulación se usa como una herramienta que permite una mejor comprensión de la situación estudiada. En el caso de las redes de computadores, existe una gran variedad de programas que nos permiten simular una red de computadores, controlando muchas de sus variables, y obteniendo un resultado que debe ser interpretado y analizado.

En nuestro ámbito, los trabajos y experimentos son complejos. Se pueden observar aplicación de un simulador como campo de prueba para el estudio de Ataques de Negación de Servicios y los Ataques de Negación de Servicios Distribuidos.

En algunas organizaciones, los simuladores son usados como apoyo a la gestión y administración de las redes, permitiendo simular el impacto de alguna decisión antes de que esta sea efectuada, por ejemplo la compra de nuevos equipamientos, implantar nuevos servicios, o mejorar la administración de estos, entre otros.

En el caso del presente estudio una arquitectura de tráfico y sistema de red basado en protocolos estandarizados para redes GPON .

Existen diferentes definiciones; una muy general propuesta por el epistemólogo alemán Stephan Hartmann<sup>23</sup> es la siguiente:

*‘Una simulación es la imitación de un proceso mediante el uso de otro proceso.’*

Esta definición permite incluir en el análisis muchas de las herramientas usadas por los científicos aun sin el uso de computadoras.

Otra que se puede destacar es la del Ing. Luis A. Pugnaroni<sup>24</sup>, quien expresa una definición que según su criterio es más restringida:

*“Una simulación es la resolución numérica de ecuaciones matemáticas que modelan fenómenos de un sistema real.”*

Un sistema real es aquel que es percibido, directa o indirectamente, por nuestros sentidos. (Una entidad material con componentes organizados que interactúan de forma en que las propiedades del conjunto no pueden deducirse por completo de las propiedades de la partes)<sup>25</sup>. Los sistemas reales son, por ejemplo, galaxias, perros, células y átomos, lo que diferencia de los sistemas conceptuales que son: la lógica, las matemáticas, la música y, en general, toda construcción simbólica.

#### **4.1.2 Características Principales**

Una gran parte de la ciencia, hoy en día, basa sus éxitos cada vez más en el paradigma de la simulación, más que en la experimentación en sí. Para este caso de estudio sobre la simulación de sistemas reales de redes, se puede describir que:

- Es una configuración de hardware y software en la que, mediante algoritmos de cálculo, se reproduce el comportamiento de un determinado proceso o sistema físico.
- Permite sustituir las situaciones reales por otras creadas artificialmente.

---

<sup>23</sup>[http://www.colegiomadrid.edu.mx/documentos/EventosMadrid/EncuentroPedagogico/PonenciasPDF/15\\_Mode losSimulacionSimuladores.pdf](http://www.colegiomadrid.edu.mx/documentos/EventosMadrid/EncuentroPedagogico/PonenciasPDF/15_Mode losSimulacionSimuladores.pdf)

<sup>24</sup> Artículo publicado en la revista CIENCIA HOY, Volumen 18 - N° 105 de Junio - Julio de 2008.

<sup>25</sup> <http://definicion.de/teoria-de-sistemas/>.

- Permite obtener y aprenden acciones, habilidades, hábitos, etc., que se pueden transferir a una situación de la vida real con igual efectividad.
- Es una actividad en la que no solo se acumula información teórica, sino que se la lleva a la práctica.
- Constituyen un procedimiento, tanto para la formación de conceptos y construcción en general de conocimientos.
- Permite a las personas la aplicación de nuevos contextos a los que, por diversas razones, no se puede acceder desde un mecanismo metodológico y práctico.
- Se puede desarrollar experimentos (ejemplo de química) con mayor seguridad.
- Brinda la información necesaria para que al realizar la experimentación en el mundo real de forma práctica, se este en muy gran porcentaje, informado de las consecuencias del proceso a realizar.

#### 4.1.3 Simulador Opensimmpls

El Simulador OPEN SIMMPLS fue creado por el Ing. M. Domínguez Dorado, con sus colaboradores de proyecto: F. J. Rodríguez Pérez y J. L. González Sánchez con su título “Simulador MPLS para la Innovación Pedagógica en el Área de Ingeniería Telemática:”, del cual se encuentra toda su documentación, ejecutable como código libre en la web que mantienen uno de sus autores:

<http://www.manolodominguez.com/projects/opensimmpls/content/es/php/home/index.php>).

El proyecto “OpenSimMPLS”, surge como un proyecto para obtener el título de Ingeniero en Informática en el año 2004, en la Universidad de Extremadura (ESPAÑA). Desde entonces, muchas personas han descargado, usado y ampliado el simulador para diversas actividades.

El programa se encuentra licenciado bajo los términos de la Licencia Pública General (GPL) v3.0 de la Fundación para el Software Libre. La que en su punto 5 (transporte de versiones modificadas de código fuente), indica que se podrá distribuir un trabajo basado en el Programa, o las modificaciones que se producen en el Programa, en forma de código fuente, siempre que se cumpla con:

- Incluir avisos destacados indicando que ha sido modificado.
- Incluir avisos destacados indicando que es liberado bajo esta licencia.
- Se debe licenciar la obra entera, como un todo, bajo esta licencia a cualquier persona que esté en posesión de una copia.

Al cumplir con estos requerimientos tanto el software original como el del presente trabajo de investigación, se considera software abierto, por lo que se permite utilizarlo de manera libre y sin ninguna restricción,

Open SimMPLS, es una herramienta con interfaz visual que puede utilizarse con fines educativos para realizar análisis del funcionamiento de una red con MPLS, con el cual obtendrá las estadísticas de la red simulada.

Se encuentra constituido por una aplicación jar auto-contenida. Su instalación, por tanto, no requiere de ningún paso significativo, y simplemente se debe invocar su ejecución a través de la Máquina Virtual Java que debe haber sido previamente instalada. La principal característica del entorno de trabajo del simulador se basa en su simplicidad. Se divide en tres partes: área de trabajo, menú principal y ventanas de escenarios. El área de trabajo es el entorno principal, dentro del cual se desarrollará la simulación de los diferentes escenarios MPLS. El menú principal está situado en la parte superior izquierda, de forma similar al de cualquier otra aplicación, englobando las opciones relacionadas con la gestión de ficheros (crear, almacenar y recuperar escenarios de disco), visualización de ventanas y ayuda. Por último, las ventanas de escenarios permitirán el diseño y análisis de escenarios MPLS particulares, tal como se puede apreciar en las figuras No. 4.1, 4.2 y 4.3.

**Modos de Trabajo (OPEN SimMPLS).**- Posee tres modos distintos con cada escenario:

**Modo diseño:** donde se podrán hacer todas las labores de diseño de topologías y configuración de los elementos de la red que queremos simular, esto se lo puede observar en la Figura 26.

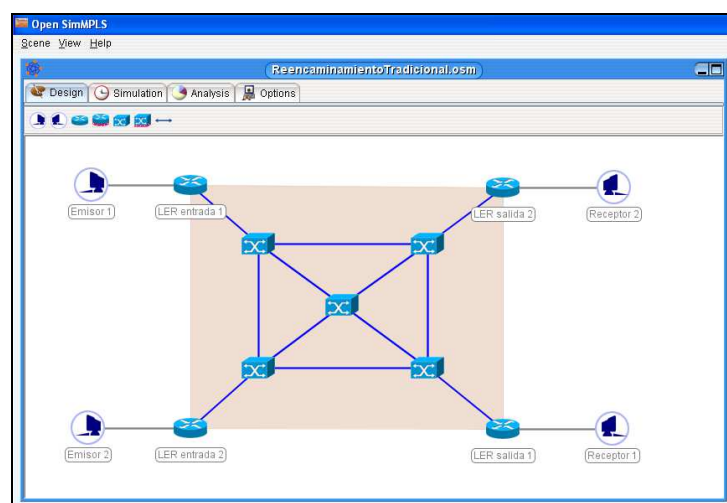


Figura 26. SimMPLS, ventana para diseño de escenarios.

**Modo simulación:** donde se podrá realizar la simulación en tiempo real del funcionamiento de la red diseñada, se lo observa en la Figura 27.

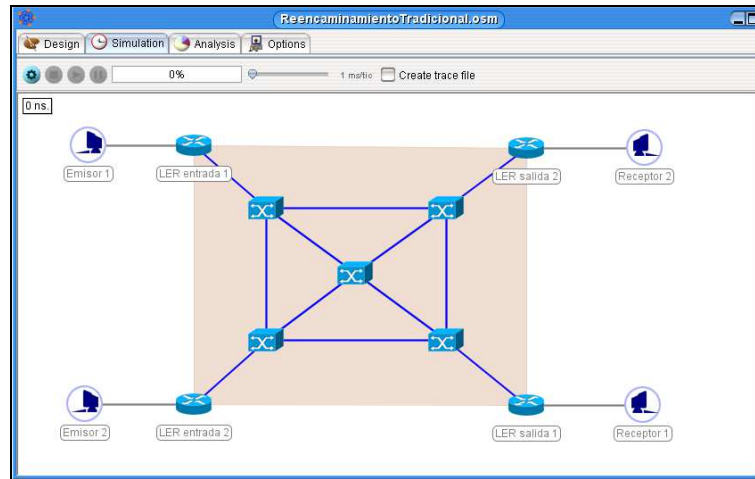


Figura 27. SimMPLS, ventana para la simulación en tiempo real

**Modo análisis:** En la Figura 28 se puede verificar las gráficas analíticas sobre lo que ocurre en la simulación.

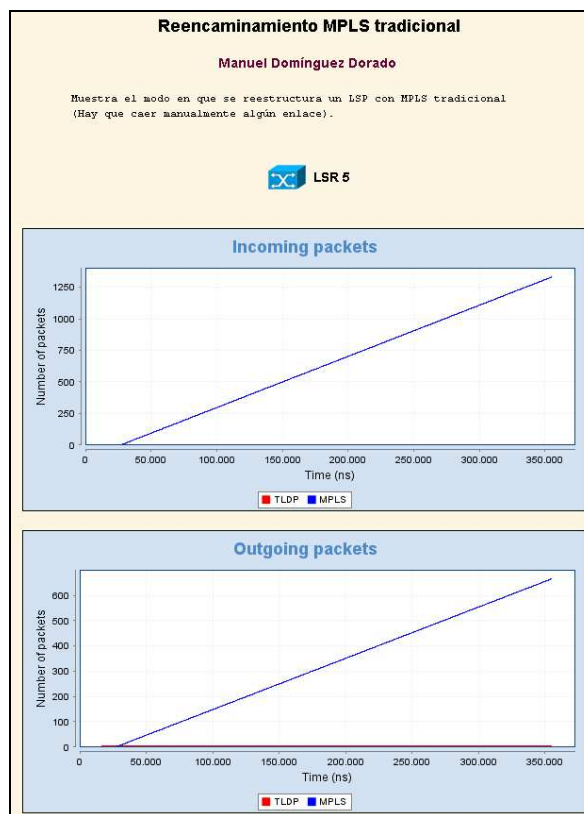


Figura 28. SimMPLS, ventana para análisis de datos.



Para que resulte sencillo llevar a cabo las tareas comentadas, las ventanas de escenario se dividen precisamente en estas tres áreas, mediante pestañas de separación.

La licencia con la que fue creado este programa Figura 29, permite su estudio y reutilización, y en este caso al ya mantener una estructura de simulación de red, se implementarán los estándares de ITU-T G.984; lo que permitirá desarrollar un simulador multiplataforma que permita un estudio y simulación de redes PON, esto con el análisis de la arquitectura y comportamiento de una red de acuerdo al estándar ITU-T G.984, para redes GPON.

Esto mediante el uso de las ventajas de licencias GNU, para reutilización de código en la creación de nuevas herramientas de análisis sobre redes.



Figura 29. SimMPLS, licencia GNU General Public License

## CAPÍTULO V

### DISEÑO E IMPLEMENTACION

#### 5.1 Programación Bajo Java

##### 5.1.1 Introducción

Java es toda una tecnología orientada a la programación de software con el cual podemos realizar cualquier tipo de programas. Hoy en día, la tecnología Java ha cobrado mucha importancia en el ámbito de Internet gracias a su plataforma J2EE. Pero Java no se queda ahí, ya que en la industria para la programación de dispositivos móviles también usa en gran medida este lenguaje. La tecnología Java está compuesta básicamente por 2 elementos: el lenguaje Java y su plataforma. Con plataforma nos referimos a la máquina virtual de Java (Java Virtual Machine). Una de las principales características que favoreció el crecimiento y difusión del lenguaje Java es su capacidad de que el código fuente funcione sobre cualquier plataforma de software y hardware, es decir, un mismo programa puede ejecutarse en varios sistemas sin tocar el código fuente. Por ejemplo: Unos programas en java escritos para Linux pueden ser ejecutados en Windows sin ningún problema. Además es un lenguaje orientado a objetos que resuelve los problemas en la complejidad de los sistemas, entre otras. Finalmente se puede concluir que Java nos brinda una solución para la programación en todo tipo de plataformas.

##### 5.1.2 Historia y Evolución

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado por Sun<sup>26</sup> Microsystems a principio de los años 90's.

En Diciembre de 1990 *Patrick Naughton*, ingeniero de Sun Microsystems, reclutó a varios colegas entre ellos *James Gosling* y *Mike Sheridan* para trabajar sobre un nuevo proyecto conocido como "*El proyecto verde*". Con la ayuda de otros ingenieros, empezaron a trabajar en una pequeña oficina en *Sand Hill Road en Menlo Park, California*, en la cual trabajó sin descanso durante 18 meses. Intentaban desarrollar una nueva tecnología para programar la siguiente generación de dispositivos inteligentes, en los que *Sun* veía un campo nuevo a explorar. Crear un lenguaje de programación fácil de aprender y de usar.

---

<sup>26</sup> SUN se deriva de «Stanford University Network», proyecto creado para conectar en red las bibliotecas de la Universidad de Stanford. Fue constituida en 1982 por el alemán Andreas von Bechtolsheim y los norteamericanos Vinod Khosla, Bill Joy, Scott McNealy y Marcel Newman.

En un principio se consideraba C++ como lenguaje a utilizar, pero tanto *Gosling* como *Bill Joy* lo encontraron inadecuado. *Gosling* intentó primero extender y modificar C++ resultando el lenguaje C++ ++ - (++ - porque se añadían y eliminaban características a C++), pero lo abandonó para crear un nuevo lenguaje desde cero al que llamo Oak (roble en inglés, según la versión más aceptada, por el roble que veía a través de la ventana de su despacho). El resultado fue un lenguaje que tenía similitudes con C, C++ y *Objective C* y que no estaba ligado a un tipo de CPU concreta.

Más tarde, se cambió el nombre de Oak a Java, por cuestiones de propiedad intelectual, al existir ya un lenguaje con el nombre de Oak. Se supone que le pusieron ese nombre mientras tomaban café (Java es nombre de un tipo de café, originario de Asia), aunque otros afirman que el nombre deriva de las siglas de *James Gosling, Arthur Van Hoff, y Andy Bechtolsheim*.

En Agosto de 1991 *Oak* ya corría sus primeros programas.

Para 1992, el equipo ya había desarrollado un sistema en un prototipo llamado *Star7* (\*7), dispositivo parecido a una PDA, cuyo nombre venía de la combinación de teclas del teléfono de la oficina del *Proyecto Green* que permitía a los usuarios responder al teléfono desde cualquier lugar.

Por su parte, el presidente de la compañía Sun, *Scott McNealy*, se dio cuenta de forma oportuna y estableció el *Proyecto Verde* como una subsidiaria de Sun.

Después de mostrar a *Scott McNealy* y *Bill Joy* los prototipos de bajo nivel del sistema, continúan con el desarrollo, incluyendo sistema operativo, Green OS; el lenguaje Oak, las librerías, alguna aplicación básica y el hardware, hasta que el 3 de septiembre de 1992 se termina el desarrollo y con ello el *Proyecto Verde*.

De 1993 a 1994, el equipo de *Naughton* se lanzó en busca de nuevas oportunidades en el mercado, mismas que se fueron dando mediante el sistema operativo base.

La incipiente subsidiaria fracasó en sus intentos de ganar una oferta con Time-Warner, sin embargo el equipo concluyó que el mercado para consumidores electrónicos smart y las cajas Set-Up en particular, no eran del todo eficaces. La subsidiaria Proyecto verde fue amortizada por la compañía Sun a mediados de 1994.

Afortunadamente, el cese del *Proyecto Verde* coincidió con el nacimiento del fenómeno mundial WEB. Al examinar las dinámicas de Internet, lo realizado por el ex equipo verde se adecuaba a este nuevo ambiente.

*Patrick Naughton* procedió a la construcción del lenguaje de programación Java que se accionaba con un browser prototipo. El 29 de septiembre de 1994 se termina el desarrollo del prototipo de *HotJava*. Cuando se hace la demostración a los ejecutivos de Sun, esta vez, se reconoce el potencial de Java y se acepta el proyecto.

Con el paso del tiempo *HotJava* se convirtió en un concepto práctico dentro del lenguaje Java y demostró que podría proporcionar multiplataformas para que el código pueda ser bajado y corrido en el Host del *World Wide Web* que de otra forma no son seguros.

Una de las características de *HotJava* fue su soporte para los "applets", que son las partes de Java que pueden ser cargadas mediante una red de trabajo para después ejecutarlo localmente y así lograr soluciones dinámicas en computación acordes al rápido crecimiento del ambiente WEB.

El 23 de mayo de 1995, en la conferencia SunWorld '95, *John Gage*, de Sun Microsystems, y *Marc Andreessen*, cofundador y vicepresidente de Netscape, anunciaban la versión alpha de Java, que en ese momento solo corría en Solaris, y el hecho de que Java iba a ser incorporado en Netscape Navigator, el navegador más utilizado de Internet.

Con la segunda *alpha de Java en Julio*, se añade el soporte para *Windows NT* y en la tercera, en Agosto, para *Windows 95*. En enero de 1995 Sun formó la empresa *Java Soft* para dedicarse al desarrollo de productos basados en la tecnología Java, y así trabajar con terceras partes para crear aplicaciones, herramientas, sistemas de plataforma y servicios para aumentar las capacidades del lenguaje. Ese mismo mes aparece la versión 1.0 del JDK<sup>27</sup>.

*Netscape Communications* decide apoyar a *Java applets* en Netscape Navigator 2.0. Ese fue el factor clave que lanzó a Java a ser conocido y famoso. Y como parte de su estrategia de crecimiento mundial y para favorecer la promoción de la nueva tecnología, Java Soft otorgó permisos para otras compañías para que pudieran tener acceso al código fuente y al mismo tiempo mejorar sus navegadores.

También les permitía crear herramientas de desarrollo para programación Java y los facultaba para acondicionar máquinas virtuales *Java (JVM)*, a varios sistemas operativos.

Muy pronto las licencias o permisos contemplaban prestigiosas firmas como: IBM, Microsoft, Symantec, Silicon Graphics, Oracle, Toshiba y Novell.

---

<sup>27</sup> JDK "Java Development Kit", Kit de desarrollo para Java. Se puede definir como un conjunto de herramientas, utilidades, documentación y ejemplos para desarrollar aplicaciones Java.

Los *applets Java* (basados en JDK 1.02) son apoyados por los dos más populares navegadores web (*Netscape Navigator 3.0* y *Microsoft Internet Explorer 3.0*. I.B.M./Lotus, Computer Associates, Symantec, Informix, Oracle, Sybase y otras poderosas empresas de software están construyendo Software 100% puro JAVA.

Los nuevos proyectos de *Java* son co-patrocinados por cientos de millones de dólares en capital disponible de recursos tales como la *Fundación Java*, un fondo común de capital formado por 11 compañías, incluyendo Cisco Systems, IBM, Netscape y Oracle.

Hoy en día, se puede encontrar la tecnología *Java* en redes y dispositivos que comprenden desde Internet y superordenadores científicos, hasta portátiles y teléfonos móviles; desde simuladores de mercado en Wall Street hasta juegos de uso doméstico y tarjetas de crédito.

Tabla 3. *Programas para desarrollo Java*

<b>Programas</b>	<b>Descripción</b>
Apache Tomcat	Contenedor de servlets (servidores)
Net Beans	Entorno de desarrollo completo (programación)
Eclipse	Entorno de desarrollo muy popular (programación)
JCreator	Entorno de desarrollo sencillo (programación)
API Java	Documentación básica (documentación)
J2RE	Para ejecutar aplicaciones Java
J2SE	Desarrollo en Java 2
J2ME	Java orientado a Móviles, PDAs, etc.

Tabla de programas que actualmente dan soporte de esta tecnología de los cuales en el presente trabajo se ha utilizado NetBeans versión 6.9.1.

## 5.2 Esquema General del Simulador Gpon

El simulador GPON, está basado y toma como base de programación el simulador OpenSimMPLS, del Ing. Manuel Domínguez Dorado, por lo que el mismo su código fuente y manuales originales pueden ser obtenidos en la página de su autor <http://www.ManoloDominguez.com>; en el presente trabajo se dará una breve descripción de sus componentes con las modificaciones realizadas, para lograr que el mismo trabaje con las características de una red GPON.

### 5.2.1 Paquetes y clases

Un **Paquete** en Java es un contenedor de clases, que permite agrupar las distintas partes de un programa cuya funcionalidad tienen elementos comunes.

Una **clase** es un contenedor de uno o más datos (variables o propiedades) junto a las operaciones de manipulación de dichos datos (métodos). Las clases pueden definirse como estructuras (struct), uniones (union) o clases (class) pudiendo existir diferencias entre cada una de las definiciones según el lenguaje.

Los diferentes paquetes del simulador GPON, con una breve descripción de cada una de las clases de los mismos, pueden brindar unas nociones mínimas que permitan entender como está ensamblado y construido el simulador.

**Electronica.puertos.-** En este paquete se encuentran las clases necesarias para la implementación de los puertos de los nodos, activos o no, sus búferes, y demás características. Las clases de este paquete son las siguientes:

- TEntradaPuertoActivo: esta clase implementa una entrada de un puerto activo.
- TPuerto: esta clase implementa un puerto abstracto.
- TPuertoNormal: esta clase implementa un puerto tradicional, con su algoritmo de gestión.
- TPuertosNodo: esta clase implementa un conjunto abstracto de puertos de un nodo.
- TPuertosNodoNormal: esta clase implementa un conjunto de puertos tradicionales para un nodo no activo. Con su algoritmo de gestión del conjunto y su búfer.

**Electronica.recolectorsimulacion.-** En este paquete se encuentra definida la clase necesaria para recolectar todos los elementos de simulación y mostrarlos en el panel correspondiente del simulador.

Las clases de este paquete son las siguientes:

- IEventoSimulacionListener: esta clase define una interfaz que deben implementar todos los objetos que deseen recibir eventos de simulación.
- TRecolectorSimulacion: esta clase implementa un recolector de simulación, que será el suscriptor único de eventos de simulación. Todos los eventos de simulación de la aplicación llegan a una instancia de esta clase.

**Electronica.reloj.-** En este paquete se implementan las clases necesarias para la implementación de un reloj del sistema capaz de sincronizar todos los elementos de simulación y para llevar a cabo la temporización de la misma.

Las clases de este paquete son las siguientes:

- **IEventoProgresionListener:** esta clase implementa una interfaz que deben implementar todos aquellos objetos que deseen recibir eventos de progresión.
- **IEventoRelojListener:** esta clase implementa una interfaz que deben implementar todos aquellos objetos que deseen recibir eventos de reloj.
- **TEventoProgresion:** esta clase define un evento de progresión, que informa sobre el porcentaje de ejecución de la simulación.
- **TEventoReloj:** esta clase define un eventos de reloj, que será enviado a ciertos nodos y que les informa del tic de reloj actual (inicio y fin).
- **TMarcaTiempo:** esta clase define una marca de tiempo, un times tamp virtual para la simulación.
- **TReloj:** esta clase define un reloj del sistema. Envía eventos de reloj con cada tic a todos los elementos que lo requieran y posteriormente espera que todos lo hayan consumido antes de proceder a enviar el siguiente.

**Entradasalida.osm.-** En este paquete se encuentran las clases necesarias para almacenar y cargar de/a disco los escenarios.

Las clases de este paquete son las siguientes.

- **TAlmacenadorOSM:** esta clase implementa un almacenador capaz de almacenar un escenario completo existente en memoria a disco, en un formato de texto legible para el humano.
- **TCargadorOSM:** esta clase implementa un cargador, capaz de cargar desde un fichero de texto del disco, un escenario a memoria.

**Entradasalida.red.-** En este paquete se encuentran las clases necesarias para enviar un correo electrónico desde la propia aplicación.

Las clases de este paquete son las siguientes.

- **TSMTP:** esta clase se implementa un método para el envío de mensajes vía SMTP.

**Escenario.-** En este paquete se encuentran muchas de las clases más importantes. Se encuentran las implementaciones de todos los elementos de la topología, de escenarios, estadísticas, eventos de simulación y otros.

Las clases de este paquete son las siguientes.

- **TConfigEnlace:** esta clase define un objeto encargado de almacenar la configuración de un nodo.

- TElementoTopologia: esta clase define un elemento abstracto de la topología. Sirve para hacer polimorfismo<sup>28</sup> y herencia<sup>29</sup>.
- TEnlaceExterno: esta clase implementa un enlace que une los servidores de información con la OLT y los usuarios a las diferentes ONU.
- TEnlaceInterno: esta clase implementa un enlace interno que conforman la red GPON.
- TEnlaceTopologia: esta clase implementa un enlace abstracto de la topología. Se usa para realizar polimorfismo y herencia.
- TEntradaBufferEnlace: esta clase implementa una entrada de un búfer que tiene el enlace a efectos de poder simular correctamente el tránsito de los paquetes por él.
- TEscenario: esta clase implementa el objeto más grande de todo el simulador. Un escenario completo y funcional en memoria.
- TESNodoCongestionado: esta clase implementa un evento que informará a quien lo reciba del porcentaje de congestión de un nodo.
- TESPaqueteConmutado: esta clase implementa un evento que informará a quien lo reciba de que se ha conmutado un paquete.
- TESPaqueteDescartado: esta clase implementa un evento que informará a quien lo reciba de que se ha descartado un paquete.
- TESPaqueteEncaminado: esta clase implementa un evento que informará a quien lo reciba de que se ha encaminado un paquete.
- TESPaqueteEnTransito: esta clase implementa un evento que informará a quien lo reciba de que hay un paquete en tránsito por un enlace.
- TESPaqueteEnviado: esta clase implementa un evento que informará a quien lo reciba de que se ha enviado un paquete.
- TESPaqueteGenerado: esta clase implementa un evento que informará a quien lo reciba de que se ha generado un paquete.
- TESPaqueteRecibido: esta clase implementa un evento que informará a quien lo reciba de que se ha recibido un paquete.

---

<sup>28</sup> Característica de Programación orientada a objetos. Permite enviar un mensaje a un grupo de objetos cuya naturaleza puede ser heterogénea. El único requisito de los objetos es saber responder al mensaje que se les envía.

<sup>29</sup> Mecanismos de Programación orientada a objetos basados en clases, por medio del cual una clase se deriva de otra de manera que extiende su funcionalidad. La clase de la que se hereda se suele denominar clase base, clase padre, superclase, clase ancestro



- TEstadisticas: esta clase implementa unas estadísticas abstractas para un nodo de la topología. Se usa para permitir herencia y polimorfismo.
- TEstadisticasEmisor: esta clase implementa un sistema de recolección de datos estadísticos de un nodo emisor.
- TEstadisticasLER(ONT): esta clase implementa un sistema de recolección de datos estadísticos de un nodo LER.
- TEstadisticasLERA(OLT): esta clase implementa un sistema de recolección de datos estadísticos de un nodo OLT.
- TEstadisticasLSR(SPLITTER): esta clase implementa un sistema de recolección de datos estadísticos de un nodo LSR.
- TEstadisticasReceptor: esta clase implementa un sistema de recolección de datos estadísticos de un nodo receptor.
- TEventoSimulacion: esta clase implementa un evento de simulación abstracto. Se usa para permitir herencia y polimorfismo.
- TNodoEmisor: esta clase implementa un nodo emisor, con todos sus componentes, protocolos, técnicas y modos de operación.
- TNodoLER(ONU): esta clase implementa un nodo ONT O ONU, con todos sus componentes, protocolos, técnicas y modos de operación.
- TNodoOLT: esta clase implementa un nodo OLT, con todos sus componentes, protocolos, técnicas y modos de operación.
- TNodoLSR(SPLITTER): esta clase implementa un nodo SPLITTER, con todos sus componentes, protocolos, técnicas y modos de operación.
- TNodoReceptor: esta clase implementa un nodo receptor, con todos sus componentes, protocolos, técnicas y modos de operación.
- TNodoTopologia: esta clase implementa un nodo abstracto, que será usado para permitir herencia y polimorfismo.
- TSimulacion: esta clase implementa un objeto que contendrá todos los datos de configuración de la simulación.
- TTopologia: esta clase implementa una topología completa, en forma de grafo y permite realizar operaciones sobre dicha topología que en si lo conforman todos los elementos de la simulación.

**Interfaz.dialogos.-** En esta clase se encuentran las clases de todos los cuadros de diálogo de la aplicación; ventanas de confirmación, de error, de advertencia, etcétera. Todo cuadro de diálogo se encuentra aquí.

Las clases de este paquete son las siguientes.

- **JLicencia:** esta clase implementa una ventana que muestra la licencia GPL bajo la cual está liberado el simulador.
- **JPanelCoordenadas:** esta clase implementa un panel que es capaz de crear una miniatura del escenario en curso. Se usa para seleccionar en él la posición donde colocar un nuevo elemento.
- **JSobre:** esta clase implementa una ventana que muestra los créditos del simulador.
- **JVentanaAdvertencia:** esta clase implementa una ventana de uso general para mostrar advertencias.
- **JVentanaAyuda:** esta clase implementa una ventana que muestra la ayuda del simulador.
- **JVentanaBooleana:** esta clase implementa una ventana de uso genérico que permite obtener respuestas a preguntas SI/NO. Muy útil en multitud de ocasiones.
- **JVentanaComentario:** esta clase implementa la ventana desde la cual se puede enviar un correo electrónico al desarrollador de la aplicación.
- **JventanaEmisor:** esta clase implementa una ventana que permite configurar un nodo emisor.
- **JVentanaEnlace:** esta clase implementa una ventana que permite configurar un enlace interno o externo.
- **JVentanaError:** esta clase implementa una ventana genérica que se usa para mostrar al usuario ventanas de error.
- **JVentanaLER(ONU):** esta clase implementa una ventana que permite configurar un nodo ONU.
- **JventanaOLT:** esta clase implementa una ventana que permite configurar un nodo OLT.
- **JVentanaLSR(SPLITTER):** esta clase implementa una ventana que permite configurar un nodo SPLITTER pasivo.
- **JVentanaReceptor:** esta clase implementa una ventana que permite configurar un nodo receptor.

**Interfaz.simulador.-** Este paquete contiene las clases relacionadas con la interfaz de usuario, necesarias para el simulador: ventanas de escenarios, la interfaz de la propia aplicación, y otras.

Las clases de este paquete son las siguientes.

- **JPanelDiseño:** esta clase implementa el panel sobre el cual se pueden crear y editar un escenario.
- **JPanelSimulación:** esta clase implementa un panel sobre el cual se observa la simulación en curso, los paquetes, la congestión, el paso de paquetes e información sobre la factibilidad del enlace, y otros datos.
- **JSimulador:** en esta clase se implementa la interfaz principal del simulador. La ventana donde se pueden abrir escenarios existentes o crear escenarios nuevos.
- **JVentanaHija:** esta clase implementa una ventana donde se mostrará todo lo referente a un escenario completo. Se permite la simulación, la edición y la configuración de los elementos de dicho escenario.

**Interfaz.splash.-** Este paquete almacena la clase necesaria para mostrar la imagen splash de la aplicación.

Las clases de este paquete son las siguientes.

- **JSplash:** esta clase implementa una pantalla/imagen que aparece al comienzo de la ejecución del programa, mostrando los créditos y mensajes sobre las tareas previas al arranque del simulador.

**Interfaz.utiles.-** En este paquete se encuentra una clase que permite la carga anticipada y la distribución de las imágenes en toda la aplicación, ahorrando memoria y tiempo de proceso.

Las clases de este paquete son las siguientes.

- **TDispensadorDelmagenes:** esta clase implementa un objeto que carga todas las imágenes utilizadas en el simulador en memoria. Así se ahorra mucho tiempo en carga de imágenes durante la simulación, se ahorra memoria porque no se cargan dos instancias distintas para una misma imagen y se permite la fácil modificación de una imagen en el conjunto del simulador.

**Principal.-** En este paquete se encuentra la clase principal del sistema. Aquí se encuentra el método main(...) y es esta clase la que se debe invocar para ejecutar el simulador.

Las clases de este paquete son las siguientes.

- GPON(openSimMPLS): esta clase implementa el método main(...) que se debe invocar para que comience la ejecución del simulador.

**Protocolo.-** En este paquete se implementan una gran cantidad de clases necesarias para la constitución de los diferentes protocolos soportados por el simulador.

Las clases de este paquete son las siguientes:

- TCabeceraIPv4: esta clase implementa la cabecera de un paquete IPv4, con todos sus campos.
- TCampoOpcionesIPv4: esta clase implementa el campo opciones de un paquete IPv4 en la forma que se ha definido para el soporte de GoS. De esta forma el acceso a estos datos es mucho más cómodo.
- TDatosTCP: esta clase implementa un objeto que simula ser la carga útil de un paquete TCP. Útil para simular paquetes de distinto tamaño.
- TDatosTLDP(PCBd): esta clase implementa la cabecera para los paquetes del tipo PCBd.
- TEtiquetaGEM: esta clase implementa las características de la etiqueta GEM para los paquetes.
- TPDU: esta clase implementa un paquete genérico. Se usa para permitir la herencia y el polimorfismo.
- TPDUIPv4: esta clase implementa un paquete IPv4.
- TPDUGEM: esta clase implementa un paquete GEM.
- TPDUTLDP(PCBd): esta clase implementa un paquete con las cabeceras PCBd.

**Útiles.-** En este paquete se encuentran un conjunto de clases de uso general que podrán ser reutilizadas en cualquier parte del proyecto.

Las clases de este paquete son las siguientes:

- EDesbordeDeIP: esta clase implementa una excepción que se disparará cuando el generador de direcciones IP únicas de un escenario se quede sin direcciones.

- EDesbordeDelIdentificador: esta clase implementa una excepción que se disparará cuando el generador de identificadores únicos de un escenario se quede sin direcciones.
- JFiltroOSM: esta clase implementa un filtro que permite a los cuadros de diálogo mostrar exclusivamente los fichero \*.osm de escenario.
- TActualizadorDeProgreso: esta clase implementa un objeto que se encarga de actualizar la barra de progreso de simulación cuando es necesario hacerlo.
- TEventoSimMPLS(GPON): esta clase implementa un evento abstracto, es el supeevento de este simulador. Se usa para proporcionar herencia y polimorfismo.
- TGeneradorDeIP: esta clase implementa un generador de direcciones IP únicas para asignar, a modo de DHCP, cuando se requiere para un nodo nuevo del escenario.
- TIdentificador: esta clase implementa un generador de identificadores únicos, que se utiliza en todos aquellos lugares donde es necesario el uso de un nuevo identificador.
- TIdentificadorLargo: esta clase implementa un generador de identificadores únicos largos que se utiliza en todos aquellos lugares donde es necesario el uso de una clave primaria y el volumen de objetos a identificar es muy elevado.
- TIdentificadorRotativo: esta clase implementa un generador de identificadores únicos que se utiliza en todos aquellos lugares donde es necesario el uso de una clave primaria. Este generador se reinicia al valor inicial automáticamente cuando llega a su límite superior.
- TMonitor: esta clase implementa un monitor genérico, usado para sincronizar hilos y para la creación de secciones críticas en los lugares donde no debe estar permitida la concurrencia.

**La clase principal.-** La clase principal del sistema, llamada GPON(openSimMPLS), inicia la ejecución del simulador.

El método main (...) , que se encuentra en esta clase, Crea un objeto de tipo TDispensadorDeImágenes que cargará todas las imágenes necesarias en la aplicación y que posteriormente será pasado como parámetro en el constructor de cualquier elemento referente a la interfaz. Posteriormente se crea un objeto de tipo JSimulador que es la interfaz principal del simulador; a partir de este momento la ejecución del simulador dejará de ser secuencial y

en su lugar atenderá a los eventos generados por el usuario en la interfaz, acciones como: clic en los botones, selección de opciones de menú, y más.

### 5.2.2 Visión Global del Escenario

La siguiente imagen es una abstracción de alto nivel del funcionamiento general de un escenario en plena simulación.

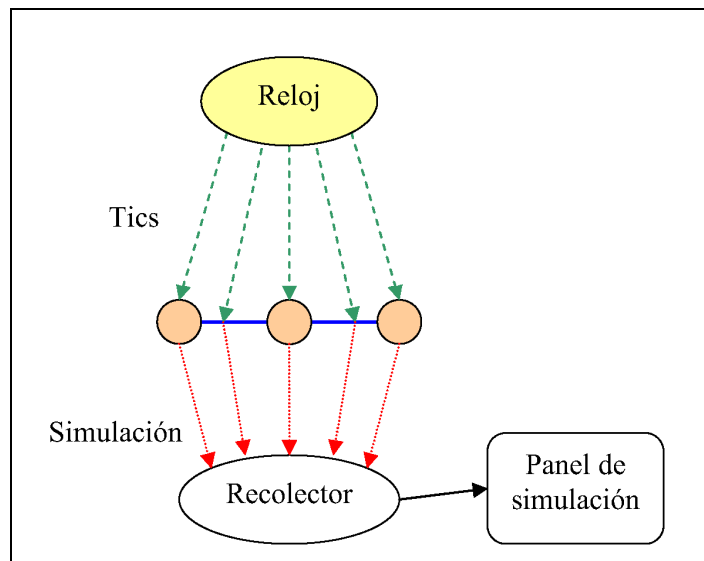


Figura 30. Escenario del simulador

En la Figura 30 se observa cómo un elemento principal, un reloj, envía a los elementos de la topología (enlaces y nodos, líneas azules y círculos naranjas) unos eventos de temporización. El reloj es un elemento que se configura con dos valores: por un lado, la duración de la simulación; por otro lado, el tic de reloj. El reloj, que se ejecuta en un hilo propio, avanzará desde cero hasta la máxima duración definida para la simulación en tics de reloj de una determinada duración y cada tic será mandado a todos los elementos de la topología; cuando llegue al máximo de duración de la simulación, su hilo se detendrá y se finalizará la simulación.

Cuando un elemento de la topología recibe un tic, implícitamente está recibiendo la duración del mismo, o sea, unos nanosegundos. Automáticamente cada elemento activa un hilo de ejecución distinto, existiendo por tanto concurrencia, y comienza a hacer su operación predeterminada, por ejemplo conmutar, transportar paquetes, recibir tráfico, entre otros. El hilo de ejecución se detendrá cuando el nodo no pueda hacer más operaciones porque el tic se

le ha agotado. Cuando todos los elementos han agotado su tic, el reloj lo detecta y genera el siguiente tic, con lo que la operación se vuelve a repetir.

Durante el tiempo que el hilo propio de cada elemento está en funcionamiento ocurren multitud de cosas que deben ser recogidas y que una vez representadas serán la simulación visual de la misma; este proceso de recolección lo realiza un recolector global al escenario, como el reloj, al que todos los elementos notifican qué están haciendo durante el tiempo que están en funcionamiento.

Repitiendo este proceso reiteradas veces se consigue una simulación fluida que parece continua aunque en realidad es discreta.

La clase que implementa el reloj del sistema es TRelej. Incorpora una lista interna de todos los elementos a los que debe enviar eventos de temporización.

Todos los elementos de la topología, que son TNodeEmisor, TNodeReceptor, TNodeLER(ONU), TNodeLSR(splitter), TnodeOLT, TEnlaceInterno y TEnlaceExterno implementan obligatoriamente un par de métodos<sup>30</sup> que permitan realizar:

- `capturarEventoReloj ( )`, que permite al reloj enviar tics de temporización al nodo, lo cual a su vez provoca en el nodo que su hilo de ejecución se active.
- `esperarFinalizacion ( )`, que permite saber al reloj cuándo un nodo ha consumido su tic; de esta forma cuando todos los elementos han consumido su tic, el reloj procede a generar uno nuevo.

Todos los elementos de la topología deben incorporar un atributo interno que almacene una referencia al recolector al que deben enviar los eventos. La clase que implementa el recolector de eventos de simulación se llama TRecolectorSimulacion, e implementa el método:

- `capturarEventoSimulacion()`, que permite que los elementos de la topología puedan enviarle los eventos de simulación que van generando durante los tiempos en que sus hilos están en ejecución.

---

<sup>30</sup> Algoritmo asociado a un objeto(clase), se ejecuta cuando se recibe un "mensaje". Es lo que el objeto puede hacer. Un método puede producir un cambio en las propiedades del objeto, o la generación de un "evento" con un nuevo mensaje para otro objeto del sistema.

**Comunicación entre elementos.-** Cada elemento además de las operaciones que realiza mientras dispone de tiempo asignado, también mantiene comunicación con algunos elementos de la red.

Se observa que realmente en cada tic de reloj, independientemente de lo que cada elemento realice, existe una comunicación entre elementos. Esta comunicación entre elementos se realiza mediante los puertos de conexión de los nodos, lo que puede observar en la Figura 31.

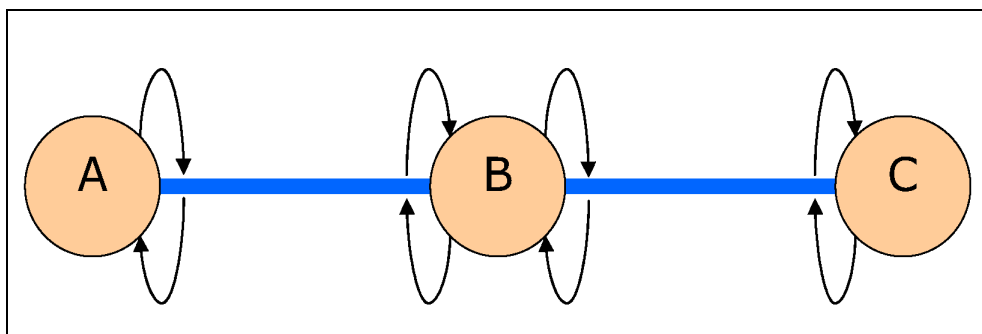


Figura 31. Funcionamiento de los puertos de conexión

Los nodos tienen unos puertos de conexión. En principio de tipo TPuertosNodo. Cada objeto de este tipo tiene un número determinado y fijo de puertos individuales de tipo TPuerto. Como un puerto conecta tanto a un enlace como a un nodo, debería permitir al enlace acceder al nodo y al nodo acceder al enlace. Así cuando un nodo debe enviar tráfico a otro nodo, puede obtener un puerto, acceder al enlace que lo conecta con otro nodo y depositar ahí el paquete correspondiente; ya llegará al destino. Asimismo, cuando un paquete que viaja por un enlace llegue al destino, el enlace podrá solicitar al puerto que le de acceso al nodo y depositará en el nodo el paquete. Para esto el conjunto de puertos de un nodo implementa obligatoriamente un par de métodos:

- obtenerEnlaceDePuerto(), que permite al nodo acceder al enlace al que está unido.
- obtenerNodo(), que permite al enlace acceder al nodo al que está unido.

**Visualización de la simulación.-** En la visión global, se observa cómo el recolector de eventos de simulación recoge los eventos; incluso se explica el método que utiliza. Pero el



recolector sólo recoge, no muestra los eventos. Para ello ha de utilizar los servicios de un componente gráfico que permita la visualización.

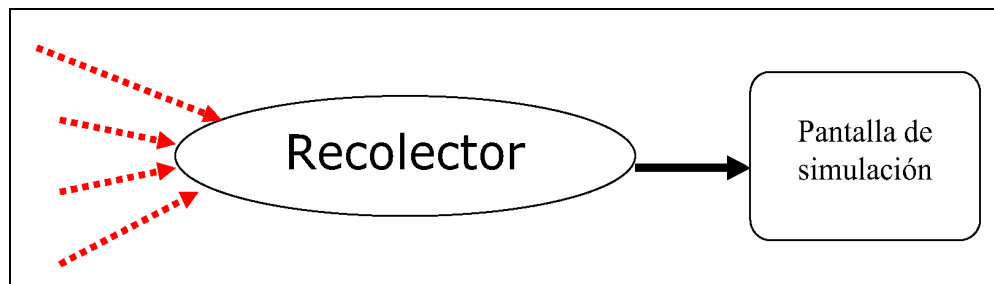


Figura 32. Función del recolector y pantalla de simulación

Como se puede observar en la Figura 32, el concepto es que el recolector se dedique a recoger eventos y la pantalla de simulación se dedique a simularlos en la parte visual. Por tanto parece lógico que el recolector deba tener un atributo interno que almacene una referencia a la pantalla de simulación. En efecto, es así; y es la primera unión con la interfaz de usuario.

Por otro lado, la pantalla de simulación está implementada en la clase `JPanelSimulación`, que realiza todas las operaciones de refresco, simulación visual, es decir, interpreta todos los eventos que le llegan al recolector y los muestra de una forma amigable para el usuario. El panel de simulación implementa el siguiente método:

- `ponerEvento()`, que es el método usado por el recolector para enviarle los eventos al panel de simulación.

Tanto el recolector de simulación como el panel de simulación funcionan sin hilos propios. Se activa cuando le llega un evento que procesar, lo procesa y lo envía al panel de simulación que lo representará.

**Jerarquía de eventos.** -Existen muchos eventos distintos de simulación; en realidad todos los eventos del simulador forman una jerarquía y por comodidad, las interfaces de los métodos que usan eventos se han definido para aceptar eventos de la superclase más alta o de un nivel más bajo, pero no se han creado métodos que trabajen directamente con los eventos de las clases más específicas.

La jerarquía de eventos es la que se observa en la Figura 33.

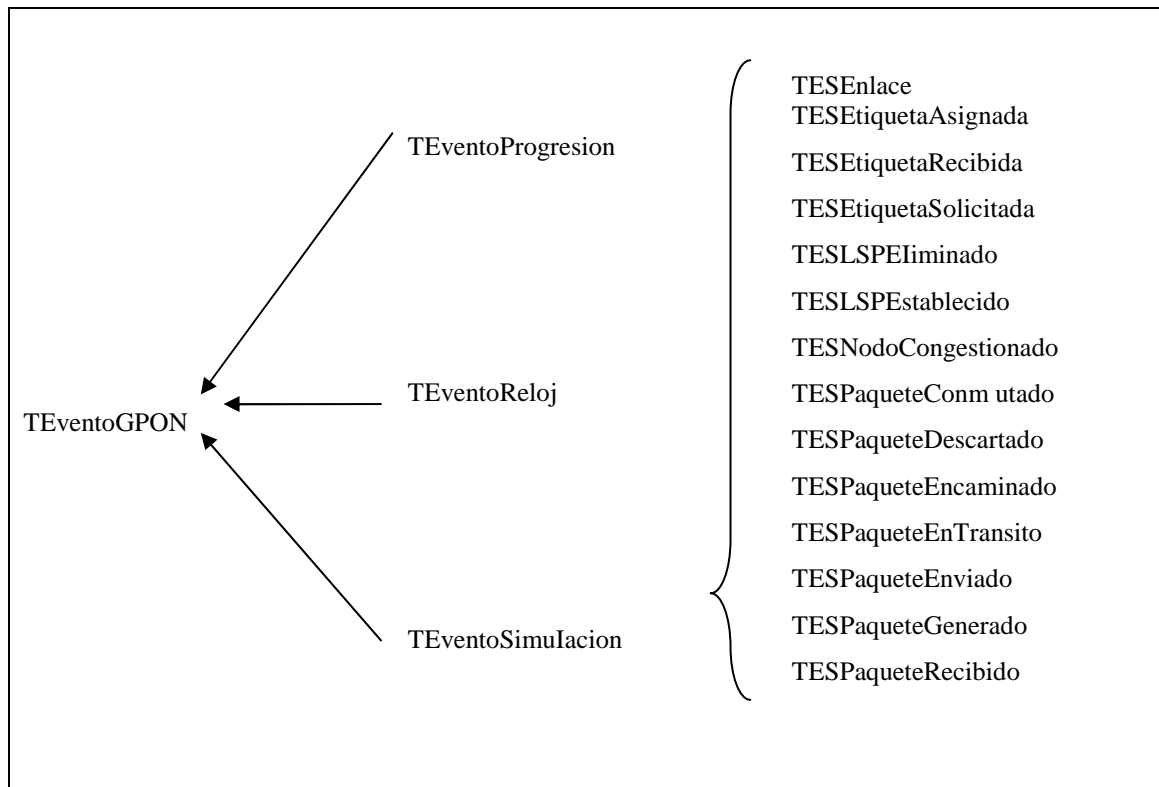


Figura 33. Jerarquía de eventos del simulador

Todos los eventos incorporan varios atributos imprescindibles:

- Una referencia al elemento que los generó; así el objeto puede acceder también al objeto que los generó y a sus métodos.
- Un identificador único y global para todo el escenario.
- Un atributo que define de qué tipo de evento se trata.

El hecho de que cada evento lleve un identificador único significa que debe haber un objeto en memoria que genere dichos identificadores y que además sea el mismo para todos los elementos. Así se asegura que no hay eventos confundibles.

Dicho objeto se encuentra definido en la clase TIdentificadorLargo y su método más interesante es obtenerNuevo(), que devuelve un identificador único y actualiza los valores internos para que la siguiente petición genere también un identificador único.

Este generador de identificadores pertenece al escenario y se pasa por parámetros a todos los elementos; así que además de todo lo comentado anteriormente, un elemento cualquiera contiene un atributo que es una referencia a este generador de identificadores.

**La topología.-** La topología es un objeto que almacena todos los elementos del escenario y que se encarga de conectar o interconectar enlaces con nodos y de establecer las asociaciones entre los elementos y el reloj o los elementos y el recolector de eventos de simulación. Se encuentra implementada en la clase TTopologia.

Para realizar estas operaciones debe tener bien identificados todos los elementos por lo cual cada elemento debe llevar un identificador, como ocurría con los eventos; en este caso, la topología es la que posee un generador de identificadores que en este caso no permite obtener identificadores largos puesto que no es necesario debido al bajo número de elementos que contendrá la topología. Concretamente la topología tiene tres atributos muy importantes:

- Generador de identificadores (Port-ID)<sup>31</sup>, para poder asignar un identificador distinto a cada elemento que se inserte en la topología. El generador es de tipo TIdentificador y su método más usado es obtenerNuevo() que devuelve un identificador distinto cada vez que se invoca y nunca repetidos.
- Generador de direcciones IP, para asignar una dirección distinta a cada nodo emisor que se inserte en la topología. El generador es de tipo TGeneradorDeIP y su método más usado es obtenerIP() que devuelve una IP distinta cada vez que se invoca, dentro del rango 10.0.0.1 — 10.255.255.254.
- Reloj del sistema, que será el encargado de hacer comenzar la simulación enviando tics de reloj a los elementos.

Pero probablemente lo más importante de la topología sea los métodos que implementa; son muchos y algunos muy importantes, pero cabe destacar tres que es donde se implementan los algoritmos de encaminamiento:

**Jerarquía de elementos.-** Como en el caso de los eventos, se ha creado una jerarquía de elementos para que los métodos que tienen como parámetro o bien devuelve un elemento, puedan hacer uso del polimorfismo y aceptar o devolver elementos de la superclase.

---

<sup>31</sup> Identificador único para cada puerto de conexión de la OLT. Recomendación ITU T-REC-G.984.3-200803.pdf

La jerarquía de elementos se puede apreciar en la Figura 34.

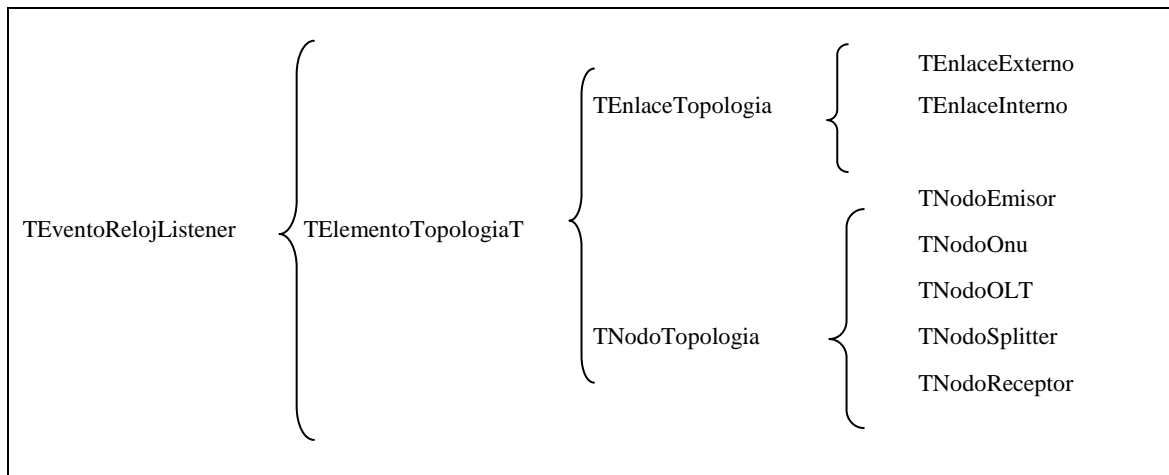


Figura 34. Jerarquía de elementos

Donde se ve claro que además de ser una jerarquía que hereda de TElementoTopologia, todos los elementos implementan la interfaz IEventoRelojListener, que es la que les permitirá que puedan recibir eventos de temporización por parte del reloj.

**El escenario.-** El escenario es un objeto que contiene todo lo referente a un escenario completo de simulación. Todos los elementos que se pueden comentar: reloj, recolector, topología, generadores de identificadores y de direcciones, elementos, y otros; se encuentra en un objeto de este tipo de tal forma que es un solo objeto el que contiene en la memoria todos los elementos de cada escenario; y además es autónomo; puede realizarse una simulación sin conexión con una interfaz de usuario.

Un objeto de escenario es de tipo TEscenario y entre sus atributos más importantes podemos encontrar:

- Una topología, de tipo TTopologia, donde se almacenan todos los elementos y donde se realizan todas las conexiones entre ellos.
- Un objeto de simulación, de tipo TSimulacion, que es donde se encuentra el recolector de eventos de simulación.

El método más importante del escenario es generarSimulacion(), que ponen en funcionamiento el reloj de la topología y de este modo la simulación comienza a funcionar.

Realmente el tipo TEscenario contiene todo lo necesario para funcionar aunque no haya una interfaz de usuario conectada directamente, como se observa en la Figura 35.

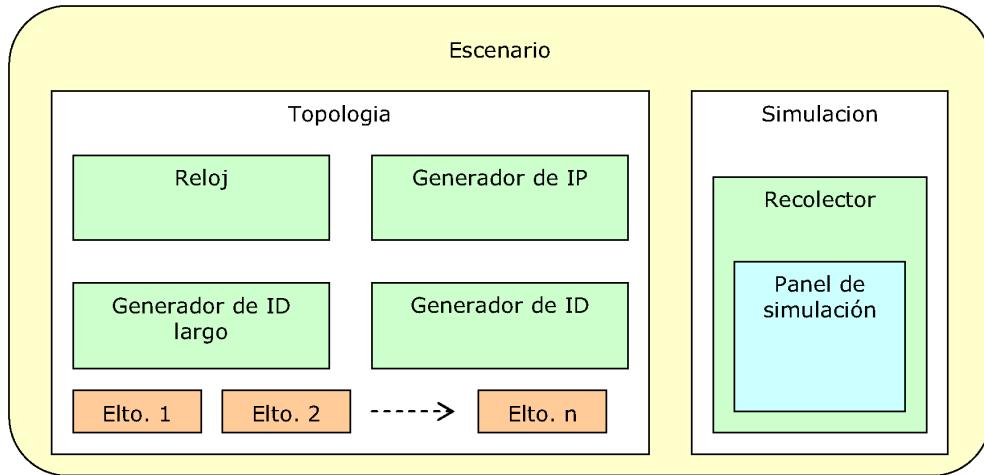


Figura 35. Organización del Escenario

Para facilitar muchas operaciones, todos los elementos del escenario, tienen acceso mediante una referencia al objeto que los engloba. Así los elementos tienen una referencia a la topología, lo que significa que la topología está embebida dentro de cada elemento. La topología tiene una referencia al escenario; igual ocurre con la simulación. De este modo, todos los objetos importantes pueden acceder al resto de objetos importantes por medio de referencias.

**Jerarquía de paquetes.-** Antes de comenzar a detallar el funcionamiento de los nodos, es necesario hacer un inciso en cómo está construida la jerarquía de paquetes. De nuevo, se ha realizado una jerarquía de objetos para poder aprovechar la herencia y el polimorfismo que se consiguen. La jerarquía de paquetes se la observa en la Figura 36.

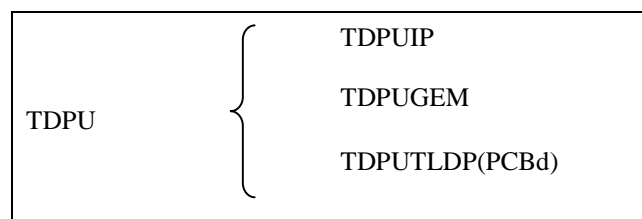


Figura 36. Jerarquía de Paquetes

Todos los paquetes, heredan de TPDU que es una superclase abstracta que debe ser redefinida por las clases que hereden de ella. Hay cinco atributos que tiene todo paquete independientemente del tipo que sea:

- La IP de origen, expresa la dirección del nodo que originó el paquete.
- La IP de destino, expresa la dirección del nodo al que va dirigido el paquete.
- Un identificador único para que cuando los paquetes son almacenados en los búferes, puedan ser identificados inequívocamente, y puedan ser discriminados por cada uno de la sección.
- Tipo de paquete que se trata: IP, GEM, PCBd; a este atributo se le asignará alguna de las constantes que están definidas en esta clase para ese propósito.
- Cabecera IPv4, de tipo TCabeceralPv4. Internamente todos los paquetes viajan sobre IP entre los emisores y la OLT o entre los receptores y las ONUS u ONT; o que contienen o transportan un paquete IP encapsulado bajo GEM por lo que este dato es necesario en todos los casos.
- 

TPDUIPv4 implementa un paquete del protocolo IPv4, TPDUGEM implementa un paquete del protocolo GEM y TPDUTLDP(PCBd) implementa un paquete del protocolo de señalización PCBd que servirá para la sincronización inicial entre la OLT y las ONT o ONUS, además se lanzara cada 125 milisegundos<sup>32</sup> según lo demanda el protocolo. Cada uno de estas clases tiene métodos propios que básicamente permiten acceder a los campos propios de ese tipo de tráfico.

**Funcionamiento del nodo emisor.-** Cuando el reloj del simulador se pone en marcha y llegan tics de reloj al nodo emisor, se pone en funcionamiento el proceso que se detalla en la Figura 37.

---

<sup>32</sup> Intervalo de tiempo para el envío paquetes GEM intercalados con los PCBd, según la: Recomendación ITU T-REC-G.984.3-200803.pdf.

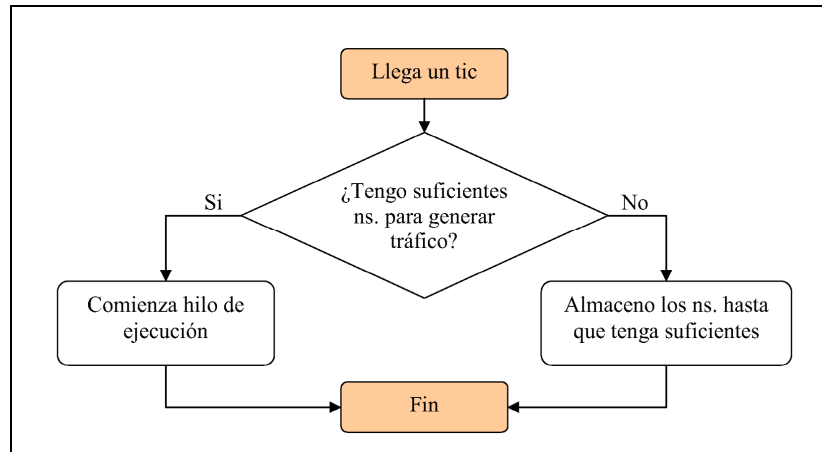


Figura 37. Funcionamiento del nodo emisor

El proceso de llegada de un tic ocurre cuando el reloj del simulador invoca al método `capturarEventoReloj()` del nodo. Este método actualiza un atributo interno que almacena el total de nanosegundos de los que dispone el nodo y llama al método `iniciar()` que ponen en funcionamiento el hilo del nodo. Esto hace que se ejecute automáticamente el método `run()` que todo elemento tiene y es por fin en este método donde se codifica toda la funcionalidad del emisor.

El método `run()` realiza las siguientes operaciones en un bucle que finaliza cuando no quedan nanosegundos suficientes para operar:

- Averigua el tamaño del siguiente paquete a generar, para lo cual se consultan los atributos internos de configuración del emisor. Esto lo hace el método `generarTamañoSiguientePaquete()`.
- Comprueba si tiene nanosegundos para generar ese paquete. Esto lo hace el método `obtenerOctetosTransmitibles()`.
- Mientras que lo anterior se cumpla, genera el paquete y lo envía al enlace del puerto. Esto lo hacen los métodos `crearPaquete()` y `ponerTamaño()` y se envían mediante los métodos de `TPuertosNodo`.

En cada caso emite los eventos necesarios al recolector de eventos de simulación, que los recibirá y los mostrará en el panel de simulación.

**Funcionamiento del nodo OLT.-** Cuando el reloj del simulador se pone en marcha y llegan tics de reloj al nodo OLT, se pone en funcionamiento un proceso complejo. El proceso de llegar un tic ocurre cuando el reloj del simulador invoca al método `capturarEventoReloj()`

del nodo. Este método actualiza un atributo interno que almacena el total de nanosegundos de los que dispone el nodo y llama al método iniciar() que ponen en funcionamiento el hilo del nodo. Esto hace que se ejecute automáticamente el método run() que todo elemento tiene y es por fin en este método donde se codifica toda la funcionalidad del OLT, según sus configuraciones y velocidad de conmutación, tal como se observa en la Figura 38.

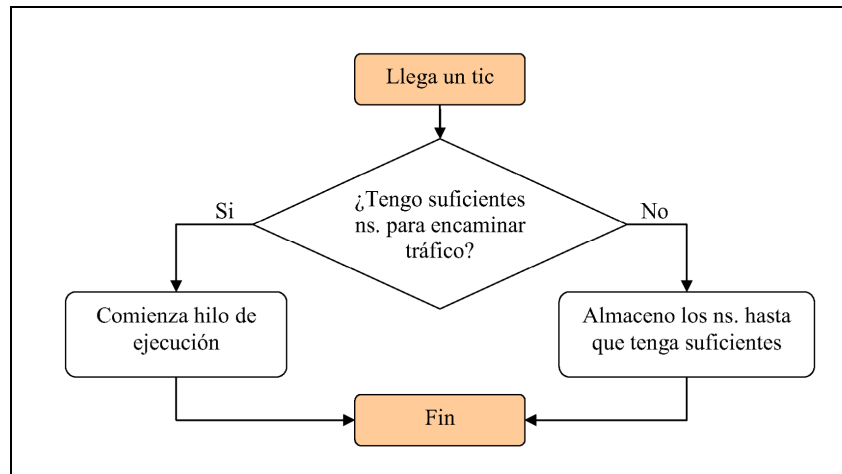


Figura 38. Funcionamiento del nodo OLT.

El método run() realiza las siguientes operaciones en un bucle que finaliza cuando no quedan nanosegundos suficientes para operar:

- Calcula el número de octetos que puede encaminar, para lo cual se consulta el atributo de nanosegundos acumulados. Esto lo hace el método obtenerOctetosTransmitibles().
- Mientras que lo anterior se cumpla, leo el paquete del puerto, Utiliza en método conmutarTLDP(), conmutarGEM, para empaquetar el paquete recibido de un nodo emisor y enviarlo a su destino.

AL momento de ejecutar por primera vez el método conmutarTLDP, este se encarga de asignar atributos internos al paquete que no son tomados en cuenta en su peso dentro del envío de tráfico, este es principalmente la potencia en dBm de la OLT, parámetro configurado por el usuario.



En el caso del método conmutarGEM, se encapsula el paquete bajo GEM y se envía al enlace para seguir su curso, de acuerdo a GPON el encapsulado se lo realiza bajo GEM y cada 125 milisegundos se aumenta uno adicional que es el PCBd, llamado por el objeto conmutarTLDP.

**Funcionamiento de los enlaces.-** A efectos de funcionamiento, los enlaces internos y externos son similares. Cuando el reloj del simulador se ponen en marcha y llegan tics de reloj al enlace, se pone en funcionamiento un proceso como se explica en la Figura 39.

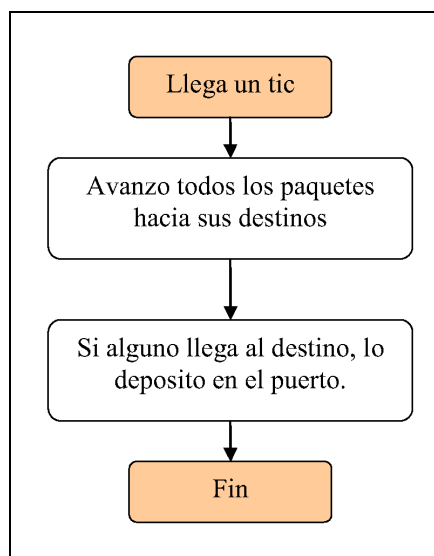


Figura 39. Funcionamiento del enlace

El proceso de llegar un tic ocurre cuando el reloj del simulador invoca al método `capturarEventoReloj()` del enlace, como ya se explicó. Este método actualiza un atributo interno que almacena el total de nanosegundos de los que dispone el enlace de acuerdo al delay configurado por el usuario y llama al método `iniciar()` que ponen en funcionamiento el hilo del enlace. Esto hace que se ejecute automáticamente el método `run()` que todo elemento tiene y es por fin en este método donde se codifica toda la funcionalidad del enlace.

El método `run()` realiza las siguientes operaciones en un bucle que finaliza cuando no quedan nanosegundos suficientes para operar:

- Decrementa el tiempo que le queda a los paquetes para llegar al destino, que básicamente consiste a descontar del tiempo total que deben estar cada paquete en

el enlace (coincide con el retardo), el número de nanosegundos ofrecidos por el tic, para lo cual se hace uso del método adelantarPaquetesEnTransito().

- Si tras la operación anterior alguno de los paquetes ya ha pasado el tiempo que le correspondía en el enlace, se pasan los paquetes que lo requieran al puerto del nodo destino; esto es, se eliminan del enlace y se insertan en el puerto del nodo siguiente. Para ello se hace uso del método pasarPaquetesADestino(), dentro de este método si se trata de conmutar un paquete del tipo PCBd o su sincronización inicial, si se identifica que es un enlace interno se utilizan los atributos configurados por el usuario como las perdidas en dB, su distancia y perdidas por conectores, para poder establecer y actualizar la potencia de envío de la señal en dBm , dato asignado por la OLT al enviar la secuencia de paquetes iniciales .

En cada caso emite los eventos necesarios al recolector de eventos de simulación, que los recibirá y los mostrará en el panel de simulación.

**Funcionamiento del nodo Splitter.-** Cuando el reloj del simulador se pone en marcha y llegan tics de reloj al nodo Splitter, se pone en funcionamiento el proceso que se muestra en la Figura 40.

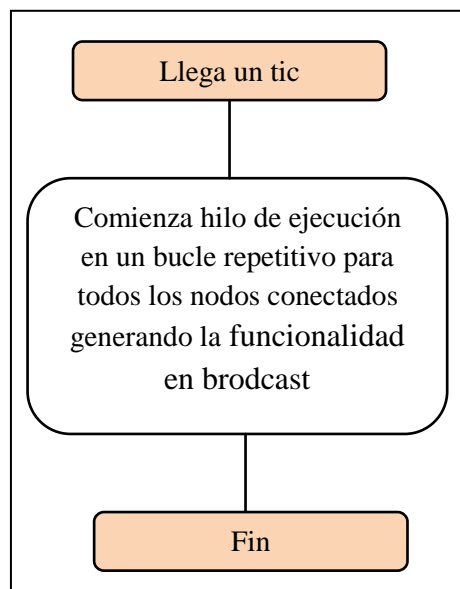


Figura 40. Funcionamiento del Splitter

El proceso de llegada de un tic ocurre cuando el reloj del simulador invoca al método capturarEventoReloj() del nodo. Este método llama al método iniciar () que ponen en funcionamiento el hilo del nodo. Esto hace que se ejecute automáticamente el método run().

El método run() realiza las siguientes operaciones en un bucle que finaliza cuando no quedan nanosegundos suficientes para operar según la tic asignada:

- Al ser un equipo pasivo difusor de señal el cálculo del número de octetos que puede conmutar se omite, considerando un valor muy alto. Razón por lo que en este objeto no se utiliza el método obtenerOctetosTransmitibles(), como en los demás nodos del tipo activo.
- Se lee el paquete del puerto, con el método apropiado del puerto, se detecta qué tipo de paquete es, consultando al método del paquete y se llama a alguno de los métodos para conmutar cada tipo de paquete: conmutarTLDP(PCBd), conmutarGEM, del nodo.
- Los métodos de conmutación saben qué hacer, en el caso del paquete inicial, conmutarTLDP(PCBd) se realizan las debidas modificaciones a las características del mismo para actualizar la potencia de la señal según el número de nodos conectados que generan el factor de distribución del Splitter 1X2, 1x4, 1x8, hasta 64, y su configuración en dB de perdidas por conexión.
- Si el método que se activa es el conmutarGEM, se dispara un ciclo secuencial para el envío de los paquetes hacia todos los nodos conectados, generando la funcionalidad de broadcast en downstream.

En cada caso emite los eventos necesarios al recolector de eventos de simulación, que los recibirá y los mostrará en el panel de simulación.

**Funcionamiento del nodo ONT (ONU).**- Cuando el reloj del simulador se ponen en marcha y llegan tics de reloj al nodo ONU, se pone en funcionamiento el proceso que se detalla en la Figura 41.

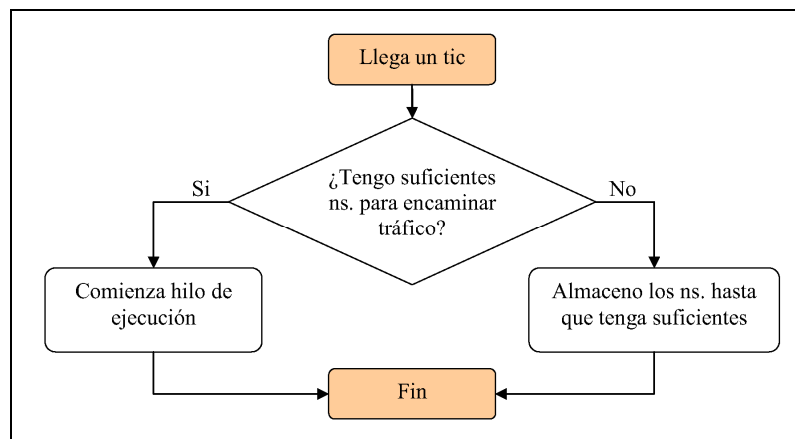


Figura 41. Funcionamiento del nodo ONU

El proceso de llegar un tic ocurre cuando el reloj del simulador invoca al método `capturarEventoReloj()` del nodo. Este método actualiza un atributo interno que almacena el total de nanosegundos de los que dispone el nodo y llama al método `iniciar()` que ponen en funcionamiento el hilo del nodo. Esto hace que se ejecute automáticamente el método `run()` que todo elemento tiene y es por fin en este método donde se codifica toda la funcionalidad de la ONU.

El método `run()` realiza las siguientes operaciones en un bucle que finaliza cuando no quedan nanosegundos suficientes para operar:

- Calcula el número de octetos que puede encaminar, para lo cual se consulta el atributo de nanosegundos acumulados. Esto lo hace el método `obtenerOctetosTransmitibles()`.
- Comprueba si puede conmutar el paquete que espera en el búfer. Esto se realiza consultando al conjunto de puertos.
- Mientras que lo anterior se cumpla, se lee el paquete del puerto, con el método apropiado del puerto, se llama al método para conmutar cada tipo de paquete, cada método lee el identificador, y dirección de destino que lleva el paquete para determinar si está destinado para él, caso contrario lo desecha: si se identifica que el paquete lleva el direccionamiento para él se utiliza un método apropiado: `conmutarTLDP(PCBd)` en cuyo caso se lee los atributos del mismo para establecer si la potencia en dBm con la que llegó el paquete es suficiente para mantener la comunicación, esto según la configuración establecida por el usuario.
- Si se detecta y ejecuta el método `conmutarGEM` del nodo en cuyo caso al ser el punto final de la red GPON, se desempaqueta dejando el paquete IP original y lo entrega a su destino.

En cada caso emite los eventos necesarios al recolector de eventos de simulación, que los recibirá y los mostrará en el panel de simulación.

**Funcionamiento del nodo receptor.-** Cuando el reloj del simulador se pone en marcha y llegan tics de reloj al nodo receptor, se pone en funcionamiento el proceso que se muestra en la Figura 42.

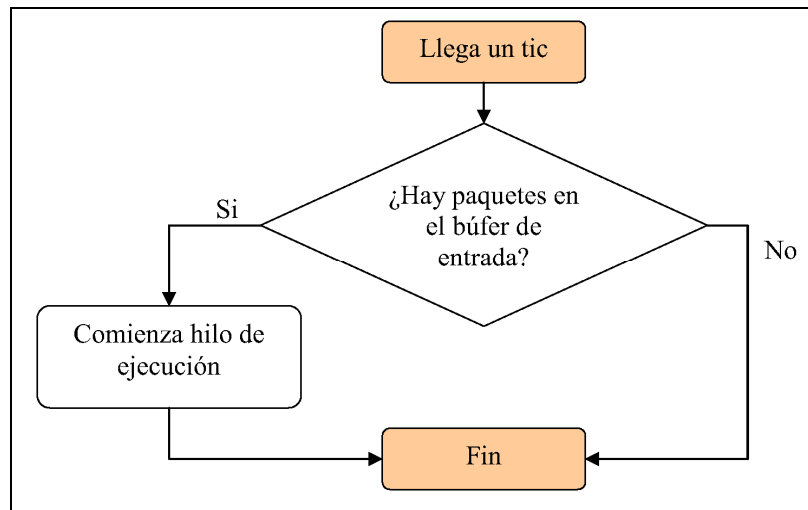


Figura 42. Funcionamiento del nodo receptor

El proceso de llegar un tic ocurre cuando el reloj del simulador invoca al método `capturarEventoReloj()` del nodo. Este llama al método `iniciar()` que ponen en funcionamiento el hilo del nodo. Esto hace que se ejecute automáticamente el método `run()`.

El método `run()` realiza las siguientes operaciones:

- Comprueba si hay paquetes en el puerto de entrada, para lo cual se hace uso del método `hayPaquetesEsperando()` de la clase `TPuertoNormal`.
- Si hay paquetes, y mientras haya, recibe los datos; esto es, los extrae del puerto y los procesa.

En cada caso e instante de tiempo si existen o no paquetes, emite los eventos necesarios al recolector de eventos de simulación, que los recibirá y los mostrará en el panel de simulación.

En la Figura 43, se observa un escenario, con todos los elementos del simulador en funcionamiento, y como fluyen los paquetes mientras se encuentra en el modo de simulación.

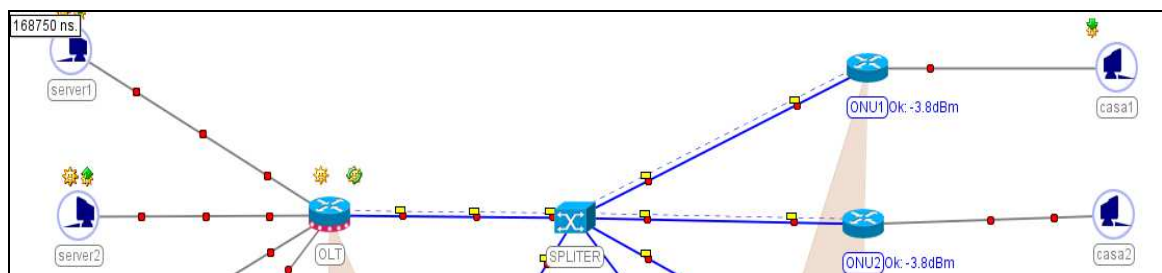


Figura 43. Escenario en funcionamiento

### 5.3 Comparativas y Ventajas del Simulador

La simulación de un sistema real con el objetivo de conseguir la imitación de su funcionamiento durante un intervalo de tiempo, predecir su comportamiento y obtener modelos a través de la recolección de un conjunto de supuestos concernientes al funcionamiento del sistema real, ha sido una de las herramientas más utilizadas durante los últimos tiempos por profesionales, y educandos.

Esta se ha convertido en la razón más importante para el desarrollo del presente proyecto, el cual no está lejano a asemejarse a otros realizados con objetivos parecidos entre los que se menciona:

1. La Tesis desarrollada por el Ing. José García Torres, el 26 de enero del 2009, denominada “Análisis y Evaluación Comparada de redes de acceso GPON Y EP2P”<sup>33</sup>

El objetivo principal desarrollado en este documento es el desarrollo de una serie de simulaciones para redes GPON, bajo el software OPNET, software de uso general que no mantienen características dedicadas para establecer escenarios, como los que se propone en este tipo de redes.

“En este documento se detalla claramente según las palabras de su autor:

- En la ejecución de la tarea se han encontrado varias dificultades que han incrementado la duración de la tarea.
- El primer imprevisto ha surgido con la preparación del entorno de simulación, donde se tuvo que instalar el software en el entorno de trabajo propio, para tener una mejor disponibilidad de la herramienta.
- También se han tenido problemas con el licenciamiento para el uso del software OPNET, se ha realizado un proceso de renovación de licencias por parte del proveedor del software que han inutilizado el uso de OPNET durante algunos días.
- Otra dificultad se ha encontrado con el aprendizaje del uso de OPNET, que si bien se especifica al principio de la tarea un período dedicado para la formación, esta además, se ha llevado a cabo durante todo el período que ha durado la tarea, ya que con el trabajo diario de diseño y programación, han surgido nuevas dudas y problemáticas que requerían de consulta y nueva formación lo que ha ralentizado el avance de esta tarea.”<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> UPC. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona-España

<sup>34</sup> TORRES, José; Análisis y Evaluación Comparada de redes de acceso GPONYEP2P, 4 Febrero 2009.

**Detalles comparativos:**

- Estas tareas y declaraciones expresadas por el autor, se convierten en un punto crucial al momento de expresar sus escenarios de simulación los mismos que al ser demandados no solo para sustentar su trabajo expresarían demoras cruciales, tanto en su aprendizaje como en sus modificaciones de diferentes estructuras de red que se requieran realizar en futuros proyectos de investigación o simplemente educativos.
  - La dificultad de aprendizaje, ya que requiere el conocimiento de un lenguaje de programación propio del software OPNET.
  - La necesidad de obtención de licencias de uso, lo que limita su movilidad, instalación y soporte de plataformas de Sistemas operativos.
2. De igual forma podemos comparar los puntos con el software de simulación Network Simulator 2 (ns-2), simulador de redes escogido por la Ing. Isabel Vera Castellón, en su Tesis denominado “Simulación de Redes de Computadores aplicado a docencia”, publicado el 17 de noviembre de 2005.

Seleccionado entre vario simuladores:

- Network Simulator Tesbed (NEST):
- Maryland Routing Simulator (MaRS)
- Realistic And Large Network Simulator (Real)
- S3 project / Scalable Simulation Framework
- Java Simulator (J-Sim)
- Wireless IP Simulator (WIPSIM)
- NCTUns 2.0 Network Simulator/Emulator

Los mismos que según su autora presentan características inferiores a ns-2 como:

- Estuvo pensado para ejecutarse en una plataforma Linux, sin embargo, actualmente también existe una versión que puede ser ejecutada sobre Windows.
- Esta implementado en C++, pero para realizar las simulaciones usa un lenguaje interpretado llamado Tcl (aunque realmente lo que usa es OTcl, que es la versión orientada a objetos de Tcl) aunque esto no impide una interacción entre ambos lenguajes.
- Cuenta con un visualizador llamado Nam, que permite ver en forma más cómoda los resultados de la simulación.

- Es una herramienta libre, muy completa y en constante desarrollo,

**Detalles comparativos:**

- De igual forma que el software OPNET, al ser un software de orden general las tareas de modificar código para un escenario diferente dedicado a la modelación de redes GPON, se convierten en un punto crucial al crear demoras tanto en su aprendizaje como en sus modificaciones de diferentes estructuras de red que se requieran realizar en futuros proyectos de investigación o simplemente educativos.
- La dificultad de aprendizaje, ya que requiere el conocimiento de un lenguaje de programación propio del software Tcl.
- La dificultad de transportarlo de un ambiente a otro, entre equipos con sistemas operativos distintos, y en el que no se dispone del software ns-2 instalado.

3. Tesis de la Ing. Diana Patricia Pabón, denominada “Diseño de una Red de Acceso GPON para Proveer Servicios Triple Play En El Sector de la Carolina a Través de la Red del Grupo Tv Cable.” Enero 2009.

**Detalles comparativos:**

- En este documento su autor dedica todo su tiempo a realizar el análisis de la arquitectura.
- Todos los análisis y cálculos son realizados de manera manual, como su dimensionamiento, equipos y detalles de interoperabilidad.
- El dimensionamiento de una demanda futura es realizado de manera estadística pero no aplicada a una simulación de su posible impacto.
- Los cálculos son realizados sin el uso de una de las herramientas más difundidas en el ámbito profesional y educativo como los simuladores de redes, sin considerar posibles variantes que en la vida real se pueden presentar.

**5.3.1 Ventajas y Desventajas que Presenta El Simulador Según Los Detalles Comparativos.****5.3.1.1 Ventajas**

- Para el ambiente al que se encuentra enfocado es una herramienta de simulación de redes GPON potente, versátil y flexible.



- Mediante su interfaz totalmente gráfica presenta una introducción amigable al mundo de la simulación de redes y permite realizar una primera formación que puede ser la base de próximos trabajos futuros.
- No requiere de conocimientos de programación, sino de unos pocos sobre los parámetros iniciales de los equipos que se disponen en el mercado para este tipo de redes.
- Es totalmente transportable, ya que al ejecutarse bajo la máquina virtual Java, no es necesaria su instalación.
- Se ejecuta en cualquier ambiente de sistema operativo que posea la máquina virtual de Java, que actualmente se encuentra casi en todos los dispositivos electrónicos inteligentes.
- Al estar basado en sincronías de reloj interno del programa no existen deficiencias de funcionamiento en equipos de distinta capacidad de procesamiento, sino únicamente en el tiempo de término de la simulación que ejecuta.
- Su interfaz gráfica permite interactuar y visualizar directamente la simulación, facilitando la enseñanza de cómo funciona la tecnología.
- La visualización de resultados incluye: señales de conectividad de equipos, tráfico por cada uno de los elementos seleccionados, rendimiento de cada equipo y la facilidad de realizar análisis con cada informe presentado.
- Las gráficas a mas de ser manejables desde el simulador pueden ser manipuladas, e impresas, así como la generación de un archivo de texto para la su uso con otras herramientas.
- Al estar basado en un programa de licencia GNU GENERAL PUBLIC LICENSE, también hereda sus características de software libre, haciendo posible que pueda ser modificado fácilmente para el aumento de su alcance y funcionalidades.
- La presentación de resultados se la realiza de manera interactiva actualizándose cada instante según avanza la simulación.
- Todo su esquema de escenario, configuración de nodos, enlaces y equipos se almacena en un archivo de texto plano, fácil de transporte de tamaño muy pequeño.
- Una vez comprendida la forma del almacenamiento de su configuración se puede establecer escenarios directamente sin necesidad de la interfaz gráfica y simplemente mirar su diseño y correr las pruebas.

### **5.3.1.2 Desventajas**

- Al ser una primera versión del simulador, contempla únicamente sus principios principales de funcionamiento.
- Esta construido en el lenguaje de programación Java, con la plataforma de NetBeans 6.9, lo que hace necesario de su estudio previo para realizar cualquier modificación y adecuación futura.
- Al combinar la simulación con la presentación grafica de resultados en tiempo real demanda mayor cantidad de uso de recursos informáticos, para su ejecución.

## CAPITULO VI

### EVALUACION DEL SIMULADOR

Ya desarrollado, el simulador con las herramientas java descritas, y aplicando de una manera totalmente parametrizable las opciones de una red GPON, a continuación se detallan todos sus componentes y la descripción de manejo y funcionalidad de cada una de ellos, todo esto desde el diseño de una simulación, el interactuar con la misma y como se visualizan los resultados obtenidos en la misma.

#### 6.1 Descripción y Funcionalidades del Simulador Gpon

##### 6.1.1 Instalación y Ejecución

A continuación se detalla el procedimiento que hay que seguir para instalar GPON en su PC y dejarlo preparado para usarlo cuando lo necesite.

**Instalación.-** GPON, en su versión standalone se distribuye como una aplicación JAR autocontenida. Su instalación por tanto no requiere de ningún paso significativo, y simplemente hay que invocar su ejecución mediante la Máquina Virtual Java de SUN que debe estar instalado correctamente en el PC.

**Ejecución.-** Una vez copiado el archivo GPON.jar en la ubicación seleccionada y con el software java instalado correctamente en un equipo, simplemente se lo ejecuta realizando un doble clic sobre el archivo GPON.jar, o mediante línea de comando como se puede ver en Figura 44, esto hace que se levante la aplicación sobre la maquina virtual de Java.

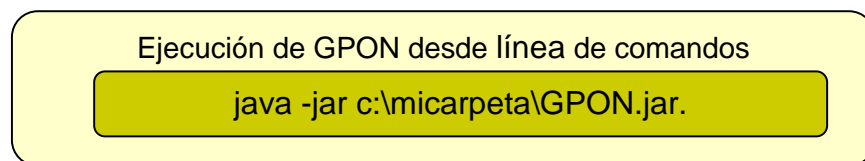


Figura 44. Ejecución del programa desde la línea de comandos.

Para que todo funcione correctamente, se debe estar en el directorio donde se encuentra la aplicación del simulador GPON; si todo se encuentra correcto, aparecerá una pantalla de bienvenida Figura 45, esta indicará que la aplicación se encuentra cargándose, creando la interfaz de usuario y las imágenes que permitirán al simulador trabajar más rápidamente.



Figura 45. Pantalla de bienvenida del simulador GPON

Luego del tiempo necesario para que se cargue la aplicación, esta pantalla desaparece automáticamente y en su lugar se mostrará la interfaz principal de la aplicación Figura 46, ocupando totalmente la pantalla del PC.

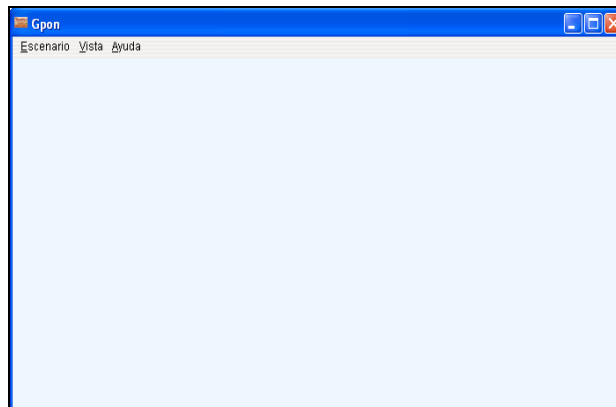


Figura 46. Pantalla principal

### 6.1.2 Menú Principal

El menú principal se encuentra situado en la parte superior izquierda de la ventana principal que se muestra en la Figura 47; en este se encuentran todas las opciones que tienen que ver con el funcionamiento general de la aplicación.



Figura 47. Menú principal

Estas opciones están agrupadas en tres categorías:

**Escenario.-** El cual contiene las acciones que tienen que ver con los escenarios, tales como abrir, cerrar, guardar, crear un nuevo escenario, etc.

**Vista.-** Contiene acciones que permiten organizar la vista de los diferentes escenarios, ya que se pueden realizar varios al mismo tiempo sobre la pantalla principal, como por ejemplo, minimizar, cascada, mosaico, etc.

**Ayuda.-** Permite que el usuario pueda tener acceso a la ayuda del programa en cuanto a información adicional, datos del autor, características del proyecto, contacto con el autor, etc.

### 6.1.3 Escenarios del simulador

Los escenarios (Figura 48), son ventanas que se incrustan sobre el área de trabajo. Puede haber diversas y cada una de ellas contiene todo lo necesario para realizar la simulación completa de un escenario propuesto.

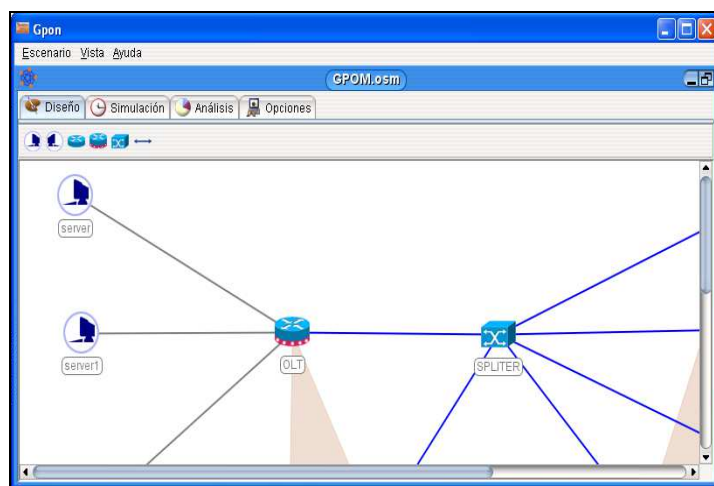


Figura 48. Pantalla de un escenario abierto

#### 6.1.3.1 Manejo de Escenarios

Para crear un nuevo escenario de simulación, se debe acudir al menú de la pantalla principal, sobre la opción escenario – nuevo como se muestra en la Figura 49.

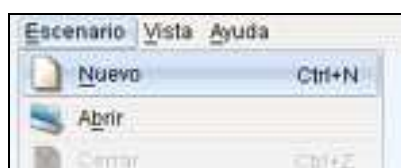


Figura 49. Creación de escenarios

Se selecciona la opción **Nuevo**, la que permitirá crear un nuevo escenario, o simplemente mediante la combinación de teclas **Ctrl + N**. Luego de realizar estas acciones aparecerá una nueva ventana de escenario en el área de trabajo, la que se añadirá a las que ya pudiesen existir.

**Cada escenario, es completamente independiente uno del otro y poseen tres modos distintos de trabajo; y para llevar a cabo de manera sencilla las tareas sobre el escenario, las ventanas de este, de acuerdo a la Figura 50; se encuentran divididas en tres áreas(diseño, simulación y análisis, mediante pestañas de separación.**

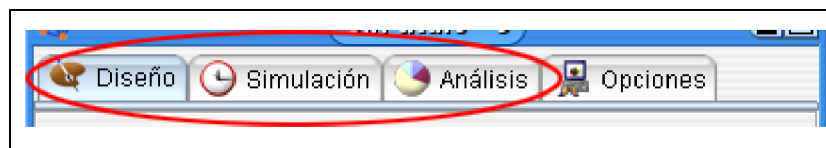


Figura 50. Modos de trabajo del escenario

Además, la ventana de escenario incorpora una cuarta pestaña: **“Opciones”** donde se deben configurar aspectos generales de la simulación.

**Modo de diseño.-** En esta opción se podrán hacer todas las labores de diseño de topologías y configuraciones de los elementos de la red que se quiere simular mediante la manipulación de todos los elementos de que se dispone en el simulador, como son: emisores de **tráfico**, OLT, Splitters, ONUs, receptores de tráfico y los enlaces.

Se debe seleccionar el área de diseño para modificar el aspecto de la topología de la red, añadir elementos, eliminar elementos, configurarlos, etc. Para seleccionar este modo de trabajo, se debe hacer clic sobre la pestaña “Diseño” de la ventana de escenario, esta presentará el aspecto que se puede apreciar en la Figura 51.

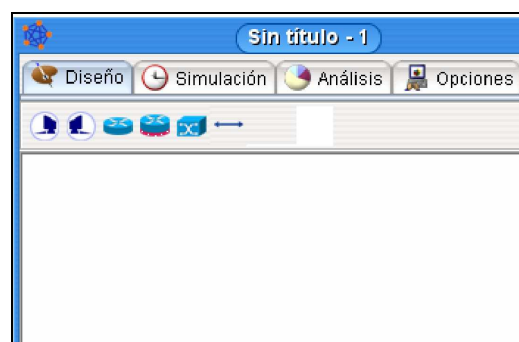


Figura 51. Ventana del escenario, modo de diseño.

Desde ese momento, se estará trabajando en modo diseño. A partir de ahora todo lo que se haga mientras que no se cambie de modo de trabajo, tendrá que ver con el aspecto y configuración de la red que se quiere simular.

**Modo de simulación.-** Mediante esta opción se podrá realizar la simulación en tiempo real del funcionamiento de la red diseñada, en la cual se puede ver como en cada intervalo en nanosegundos los paquetes se van generando y moviendo dentro de la red, en esta ventana como se muestra en la Figura 52, se dispondrán de elementos para ejecutar, pausar, reiniciar o parar la simulación en cualquier instante de tiempo.

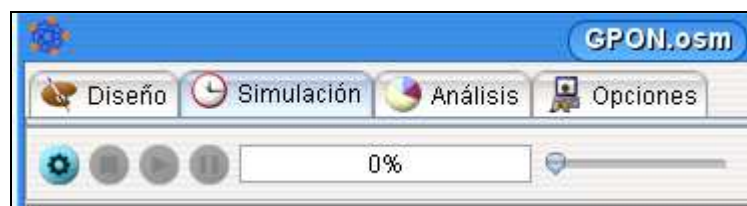


Figura 52. Ventana del escenario, modo de simulación

Se debe seleccionar trabajar en el área de simulación cuando se ha terminado de crear y configurar la topología del escenario en el área de diseño y se desea ver cómo se comportará dicha topología una vez que comience a generarse tráfico.

**Modo de análisis.-** Esta opción se podrá seleccionar, para trabajar en el área de análisis, cuando se ha configurado en la topología algunos elementos que generen estadísticas y se desea observar las gráficas que se van generando (o están ya generadas, si la simulación ha terminado). Como se muestra en la Figura 53, para seleccionar este modo de trabajo, se debe hacer clic sobre la pestaña “Análisis” de la ventana de escenario.

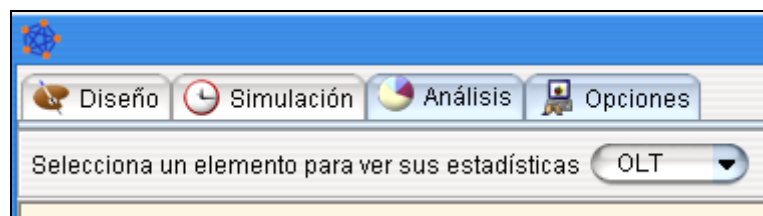


Figura 53. Ventana del escenario, modo de análisis

En esta área se podrá seleccionar el elemento del cual se desea mostrar las gráficas, esto desde una lista desplegable que se encuentra en la barra de herramientas de análisis y que

tienen la etiqueta “Selecciona un elemento para ver sus estadísticas”. La lista mostrará todos los elementos que actualmente están generando o han generado estadísticas. La razón para que no aparezca algún elemento, es porque no se ha configurado ningún nodo para generar estadísticas o porque la simulación no ha comenzado aún.

**Opciones del Escenario.-** Como se puede observar en la Figura 54, esta ventana nos permitirá configurar ciertas características del simulador como el tiempo de duración del mismo, y parámetros informativos para el área de análisis en el que se registran el nombre del escenario, una descripción del mismo y su autor.

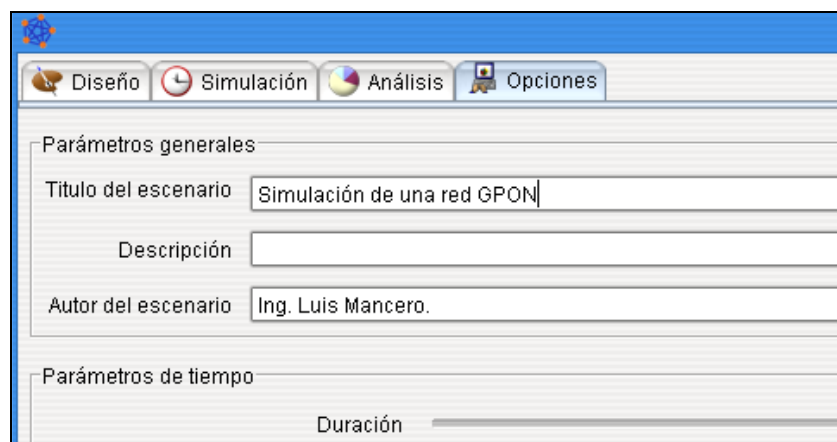


Figura 54. Ventana del escenario, opciones

**Guardando escenarios.-** Cuando hay varios escenarios abiertos, la operación de guardar un escenario se aplica sobre aquel que está seleccionado (activo) en ese momento. Si sólo hay un escenario, ese será el escenario activo, esta opción se encuentra disponible en el menú escenario de cada ventana como se lo puede observar en la Figura 55.

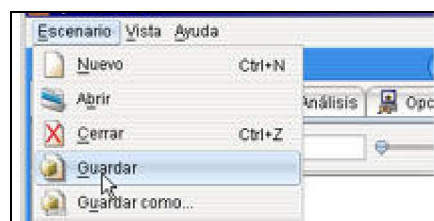


Figura 55. Opción guardar.



Para guardar un escenario, hay que acudir al menú principal de la aplicación y hacer clic sobre la opción “Escenario”. Entonces se desplegará el menú y permitirá elegir la opción “Guardar” que es la que interesa.

Si es la primera vez que vamos a almacenar el escenario, es decir, si no existe más que en el simulador y no hay copia de él en el disco, el simulador muestra una ventana(Figura 56) para seleccionar el lugar donde queremos almacenar el escenario y el nombre que le queremos dar.

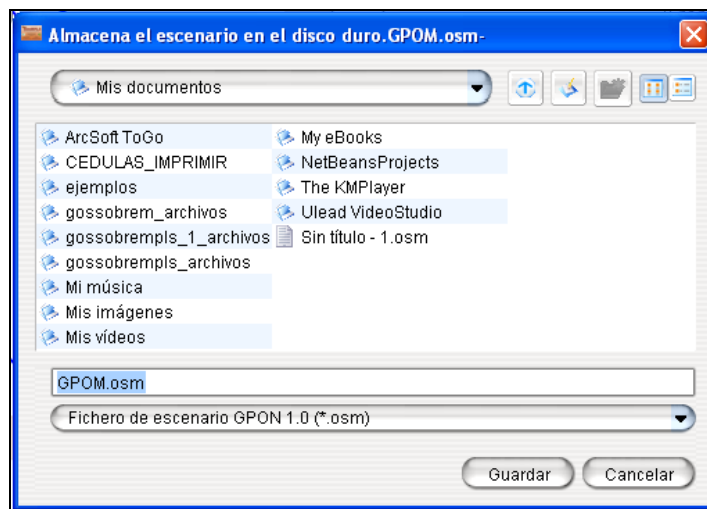


Figura 56. Ventana de selección de lugar de almacenamiento del escenario.

Si en este momento decide no almacenar el escenario, haga clic sobre el botón “Cancelar”; la ventana de la figura se cerrará y volverá al simulador tal y como estaba antes de intentar guardar el escenario. Si por el contrario desea almacenarlo, seleccione un directorio/carpeta para el escenario y teclee un nombre en el lugar correspondiente. Finalmente pulse “Aceptar”.

Esta ventana de diálogo para la selección del nombre del escenario y lugar del almacenaje, no aparecerá si el escenario ya ha sido guardado anteriormente.

Al momento de aceptar guardar el archivo, aparecerá una ventana (Figura 57), que preguntara si desea insertar un código CRC en el archivo, este es un código de seguridad o “Código de Redundancia Cíclica”, que es un código que insertado dentro del fichero, permitirá cuando se intente abrir el archivo averiguar si este ha sido modificado manualmente. En cuyo caso advertirá que el archivo esta corrupto y no se podrá abrirlo, razón por la que se debe estar seguro de insertarlo, si no fuera así simplemente se presiona en cancelar y el archivo se guardara normalmente sin este código.

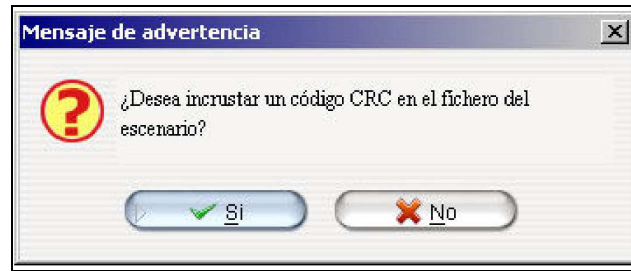


Figura 57. Ventana, mensaje de inserción, código de seguridad

**Cerrando escenarios.-** Cuando hay varios escenarios abiertos, la operación de cerrar un escenario se aplica sobre aquel que está seleccionado (activo) en ese momento. Esta opción está disponible en el menú escenario como se lo puede observar en la Figura 58.



Figura 58. Ventana opción cerrar escenario.

Para cerrar un escenario, hay que acudir al menú principal de la aplicación y hacer clic sobre la opción “Escenario”. Entonces se desplegará el menú y permitirá elegir la opción “Cerrar” que es la que interesa. También se puede invocar esta acción mediante la combinación de teclas “Control + Z” desde cualquier parte de la ventana principal del simulador.

**Abriendo escenarios.-** Para abrir un escenario previamente creado y guardado, hay que acudir al menú principal de la aplicación y hacer clic sobre la opción “Escenario” (Figura 59). Entonces se desplegará el menú y permitirá elegir la opción “Abrir”.

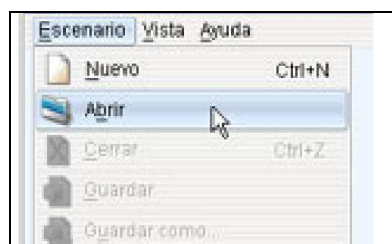


Figura 59. Ventana, opción abrir escenario.

Una vez que haya seleccionado la opción “Abrir”, se mostrará una ventana (figura 60) donde se puede buscar a través del sistema de archivos, el escenario que se desea abrir.

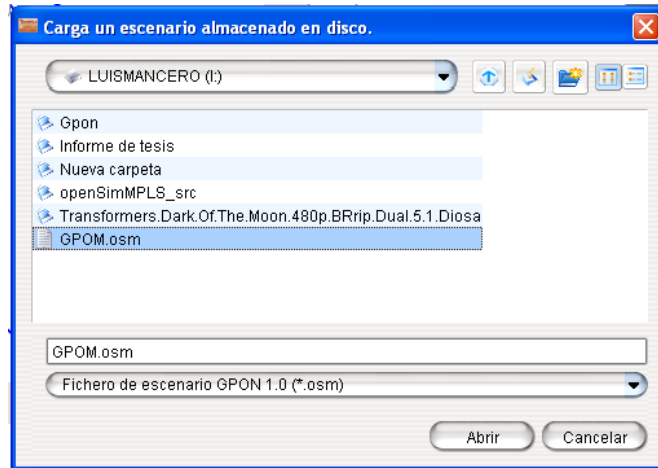


Figura 60. Ventana, selección de archivo a abrir.

### 6.1.3.2 Manipulación de elementos

Lo principal a la hora de crear un nuevo escenario es insertar y configurar los elementos de la red que se quiere simular. Para ello, la ventana de escenario, en la pestaña de diseño, incorpora un icono para cada uno de los elementos que permite insertar GPON, como se muestra en la Figura 61. A continuación se explica cómo insertar y, lo más importante, cómo configurar cada uno de ellos.



Figura 61. Elementos del escenario, modo diseño.

**Configuración del nodo Emisor de tráfico.-** Un emisor de tráfico es el nodo que genera tráfico de red en el simulador. Siempre que se simula una red, además de la topología hay que especificar quién genera tráfico y quién lo recibe puesto que si no, la simulación no haría nada. Para insertar un nodo emisor de tráfico hay que hacer clic sobre el correspondiente icono (Figura 62):



Figura 62. Insertar, nodo emisor.

Realiza esta acción pueden ocurrir dos cosas. La primera de ellas es que aparezca un mensaje de error como se muestra en la Figura 63.

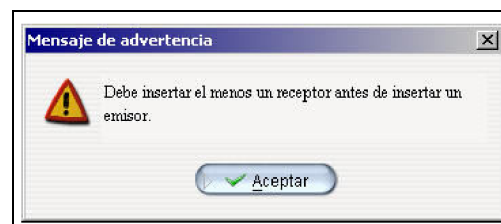


Figura 63. Ventana, mensaje de error al insertar un nodo emisor.

Al insertar un emisor de tráfico siempre debe indicarse en su ventana de configuración, el nodo receptor que va a ser destino de ese tráfico. Si se intenta insertar un emisor sin haber antes insertado un receptor, este dato no se puede especificar, por lo que GPON detecta automáticamente si hay receptores insertados ya en el escenario y si no es así, no permite insertar ningún emisor, en ese caso, se despliega el mensaje de error.

Esto evita incoherencias a la hora de formar el escenario de simulación. Simplemente se debe hacer clic en el botón “Aceptar” e insertar un receptor antes de intentar crear un emisor que dirija tráfico a él.

En un segundo caso si existe insertado algún receptor de tráfico durante el diseño, no habrá problemas a la hora e intentar añadir un emisor y lo que aparecerá en la ventana de escenario será la pantalla de configuración del emisor. La pantalla de configuración del emisor se compone de tres partes, separadas por pestañas:

- General: donde se especifican parámetros generales del nodo.
- Rápida: donde se puede hacer una configuración básica muy rápida y sencilla del emisor, con diferentes estándares de tipo de tráfico.

- Avanzada: donde se puede definir mucho más la configuración del emisor como su tasa de tráfico, tipo de tráfico, tamaño de carga útil, y la opción de generar o no estadísticas para este elemento.

La pestaña “General”, se activa haciendo clic sobre ella; aunque siempre que se abre la pantalla de configuración, esta pestaña es la que aparece seleccionada por defecto.

En esta pestaña, como se observa en la Figura 64, muestra dos figuras atrás, aparece un icono que representa al nodo emisor en el escenario. Una vez que el nodo esté configurado e insertado, se puede identificarlo por este icono. Junto al icono aparece una pequeña descripción de qué hace este nodo; en este caso, generar tráfico de red.

También aparece un campo “Nombre del emisor” donde se permite escribir. En él se deberá escribir un nombre para el emisor, nombre que servirá para referirse al él en todo el escenario y nombre que se mostrará, si se desea, en las ventanas de diseño y simulación. Justo esto último es lo que se puede configurar en el checkbox titulado “Ver nombre”. Si se lo marca, el nombre del nodo que se ha escrito se mostrará en las distintas pantallas de la ventana del escenario. Si se lo desmarca, no se verá.

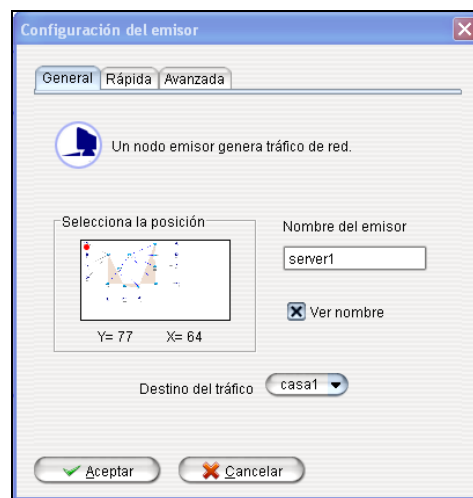


Figura 64. Ventana, configuración del nodo emisor

Aparece también una lista desplegable llamada “Destino del tráfico”. Pulsando sobre ella, aparecerán todos los nodos receptores que hay ya insertados en la topología. En el caso del ejemplo aparecen varios nodos. Se deberá seleccionar el nodo receptor de la lista al que el nodo emisor que se está configurando, enviará el tráfico. Por simplicidad en la configuración,

un emisor sólo puede enviar tráfico a un receptor, pero un receptor puede recibir tráfico de más de un emisor.

Por último, en esta pestaña aparece una zona rectangular, con la descripción de “Selecciona la posición”, esta imagen en miniatura del escenario que se está creando, se utiliza para seleccionar el lugar en el que nuestro nuevo nodo será creado, esto funciona únicamente al momento de crearlo y no cuando se abre la pantalla para modificarlo.

La segunda pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Rápida”, se activa haciendo clic sobre ella. Con esta acción aparecerá la ventana de configuración rápida del nodo emisor. Es fácil en todo momento saber en qué zona de la configuración se encuentra. En la pestaña de configuración rápida como se muestra en la Figura 65, aparece la imagen de un mago, indicando que se encuentra en la zona donde se puede configurar todo de forma transparente, muy rápida y muy sencilla.

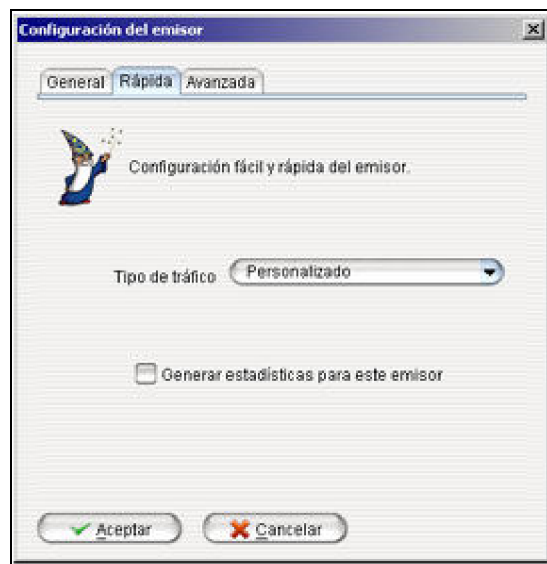


Figura 65. Ventana, configuración rápida del nodo emisor.

En el caso del emisor, la configuración rápida permite seleccionar de la lista desplegable llamada “Tipo de tráfico”, el tipo de tráfico que se desea que genere el emisor. Son tipos de tráfico comunes, que pueden ser requeridos y que por tanto están predefinidos para seleccionarlos de forma rápida, como se muestra en la Figura 66.

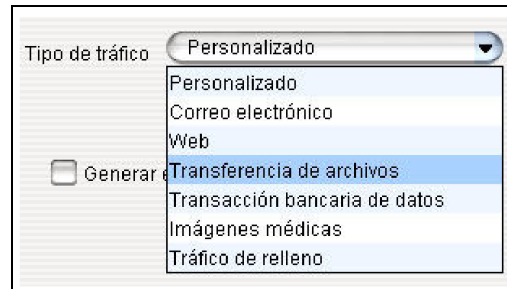


Figura 66. Opción, tipo de tráfico nodo emisor

Se puede configurar desde aquí el emisor para generar tráfico de correo electrónico, tráfico web, tráfico de transferencias de archivos, tráfico de transacciones bancarias, tráfico de imágenes médicas o tráfico de relleno. El tipo de tráfico “Personalizado” no indica un tipo de tráfico en sí, sino que aparece aquí cuando el tráfico a generar no se ha configurado en la pestaña “Rápida” sino en la pestaña “Avanzadas” y por tanto no coincide con alguno de estos tráfico tipo.

La última opción, llamada “Generar estadísticas para este emisor” hará, si se marca, que el simulador guarde toda la información necesaria para construir unas estadísticas completas del funcionamiento del emisor desde el inicio de la simulación hasta el final. Por defecto está deshabilitada. Si se deja sin marcar esta opción, no se podrán saber datos estadísticos del nodo emisor de ninguna de las maneras.

La tercera pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Avanzada”, se activa haciendo clic sobre ella. La acción que se ejecuta es la de presentar una ventana de configuración avanzada del nodo emisor, como se muestra en la Figura 67.

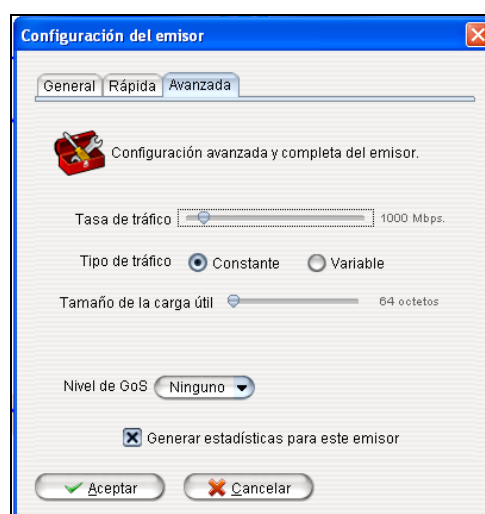


Figura 67. Ventana, configuración avanzada del nodo emisor.

Es fácil saber en todo momento que se encuentra en esta área porque aparece la imagen de una caja de herramientas, indicando que está en la zona donde se puede configurar todo mucho más detalladamente.

En la configuración avanzada del emisor lo primero que se encuentra es un deslizador marcado como “Tasa de tráfico”. Esta propiedad se refiere al número de bits que el emisor de tráfico es capaz de generar en un segundo y determinará la cantidad de tráfico, y por tanto paquetes, que el emisor puede enviar al nodo destino durante la simulación, la congestión que es capaz de causar al receptor, etcétera. Su unidad de medida es “Megabits por segundo (Mbps)” y los valores permitidos van desde 1 a 10240 Mbps, o lo que es lo mismo, desde 1 Mbps a 10 Gbps (Gigabits por segundo).

La forma de variar el valor y seleccionar el que desea, es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado.

Lo siguiente opción que se encuentra es el botón de selección llamado “Tipo de tráfico” en el que podemos elegir si desea generar tráfico constante o variable. La forma de seleccionar una u otra opción es haciendo clic sobre ella. Nunca se pueden seleccionar ambas opciones simultáneamente y siempre hay una de ellas seleccionada. Si se elige tráfico variable, el emisor generará aleatoria y automáticamente paquetes de tamaño variable de 0 octetos hasta 65535 siguiendo la distribución de tamaños de paquete real de Internet. Para ello se sigue el modelo estadístico ofrecido por la red Abilene (Internet2)(Figura 68), donde se define la siguiente proporción:

Tamaño del paquete	Porcentaje del total
Menor de 100 octetos	47%
Entre 100 octetos y 1400 octetos (inclusive)	24%
Entre 1401 octetos y 1500 octetos (inclusive)	28%
Entre 1501 octetos y 65535 octetos (inclusive)	1%

Figura 68. Datos estadísticos de tamaños de paquetes en internet

Si la opción de generar tráfico constante es elegida, los paquetes que el emisor generará serán siempre del mismo tamaño y se los generará siguiendo un patrón fijo de tiempo; pero es una muy buena opción para hacer escenarios de pruebas concretos, porque es



tráfico predecible. Al elegir esta opción, automáticamente se activa otra opción llamada “Tamaño de la carga útil”.

Esta opción puede ser seleccionada solo en el tipo de tráfico constante; en el tamaño de la carga útil de los paquetes que el emisor debe generar; todos los paquetes serán iguales en tamaño. Se permiten valores entre 0 octetos y 65495 octetos y se selecciona el valor deseado moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado, esto se lo puede observar en la Figura 69.

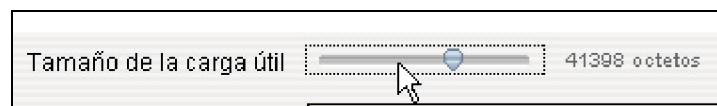


Figura 69. Opción, tamaño de la carga útil nodo emisor.

Una opción más de que se dispone pero no está al alcance de este proyecto es la posibilidad de seleccionar el nivel de GoS del paquete, parámetros de Garantía de Servicio (GoS) deseados para el tráfico. Está compuesta por una lista desplegable, donde se puede seleccionar el nivel de GoS deseado para el tráfico. Como se puede observar en la Figura 70, existen tres niveles de GoS para el tráfico; el nivel 1 es el que menos prioridad da al tráfico (por encima, por supuesto, del tráfico sin GoS) y el tercero es el que genera tráfico más prioritario.

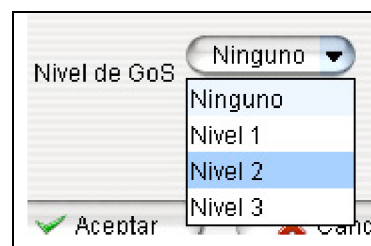


Figura 70. Nivel de GoS, nodo emisor.

La última opción, llamada “Generar estadísticas para este emisor” hará, si se marca, que el simulador guarde toda la información necesaria para construir unas estadísticas completas del funcionamiento del emisor desde el inicio de la simulación hasta el final. Por defecto está deshabilitada. Si se deja sin marcar esta opción, no se podrán saber datos estadísticos del nodo emisor.

Cualquier modificación que se haga en la pestaña de configuración “Avanzada” provocará que en la ventana “Rápida” aparezca el tipo de tráfico como “Personalizado”.

Si en cualquier momento se decide dar marcha atrás y no insertar finalmente el nodo emisor en el escenario, se debe pulsar el botón “Cancelar”. La ventana se cerrará y volverá al escenario que seguirá como antes de intentar insertar o modificar un nodo emisor.

Una vez que haya terminado de configurar el nodo emisor como se desee, se debe pulsar el botón “Aceptar” para añadir el nuevo nodo emisor al escenario. Si en este momento todo está correcto, la ventana de configuración del nodo emisor desaparecerá y volverá a la pantalla de diseño, donde ya se habrá insertado el nuevo nodo emisor correctamente. Como se puede observar en la Figura 71 .

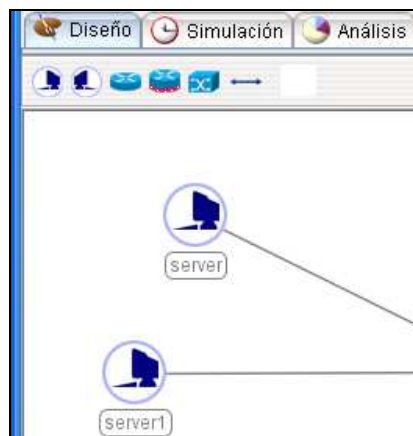


Figura 71. Venta escenario, nodo emisor insertado.

Como podemos observar en la Figura 72, se pueden presentar varias ventanas indicando algún tipo de error:

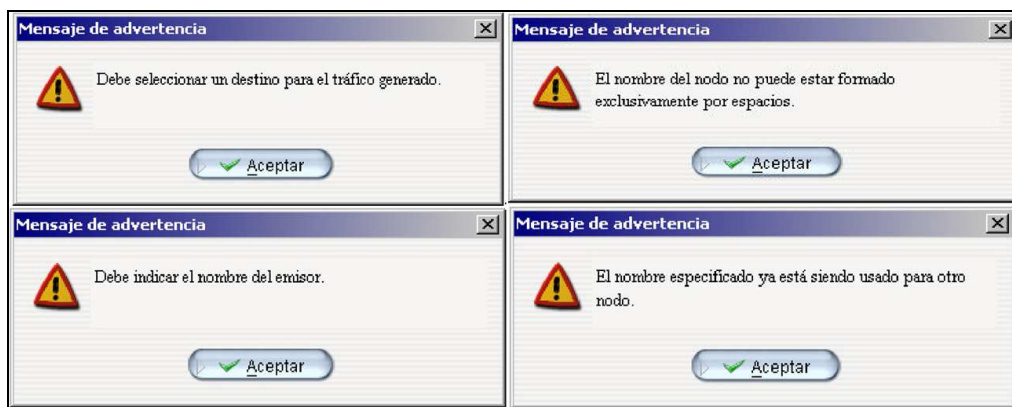


Figura 72. Mensaje de advertencia, nombre nodo emisor.

- Ventana con el mensaje, que no se ha escrito el nombre del emisor. Un emisor siempre debe que tener un nombre, independientemente de que se desee mostrar o no en las pantallas de diseño y simulación.
- Ventana indicando que el nombre que se está seleccionando para el nodo emisor lo está usando otro nodo de los que están insertados ya en el escenario.
- Ventana con un mensaje que indica, que en el campo donde se debería introducir el nombre del nodo emisor, se ha introducido sólo espacios en blanco o tabuladores. No se permiten nombres formados exclusivamente por espacios.
- Ventana indicando que no se ha seleccionado, el nodo que será el destino para el tráfico que generará el emisor.

En cualquiera de los casos anteriores, se debe pulsar sobre el botón “Aceptar” de la ventana que le indica el error, con lo que volverá de nuevo a la ventana de configuración del nodo emisor y podrá corregir el error. Posteriormente se podrá continuar como si no hubiese aparecido un mensaje de error.

**Receptor de tráfico.-** Un receptor de tráfico es el nodo que consume el tráfico generado por un nodo emisor. Siempre que se simula una red, además de la topología hay que especificar quién recibe el tráfico que circulará por la misma puesto que si no, la simulación no haría nada. Como se puede observar en la Figura 73, para insertar un nodo receptor de tráfico hay que hacer clic sobre el correspondiente icono.



*Figura 73.* Insertar, nodo receptor.

Esta acción presentará como se observa en la Figura 74, una ventana en el escenario que representará a la pantalla de configuración del receptor. De igual forma que la pantalla del nodo emisor de la señal esta se compone de tres partes, separadas por pestañas:

- General: donde se especifican parámetros generales del nodo.
- Rápida: y
- Avanzada

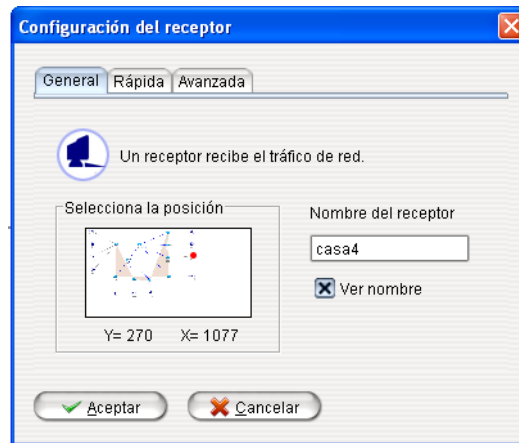


Figura 74. Ventana, configuración del nodo receptor.

Las dos últimas en este caso en particular, la configuración rápida y avanzada se limita a la opción llamada “Generar estadísticas para el receptor de tráfico” que hará, si se marca, que el simulador guarde toda la información necesaria para construir unas estadísticas completas del funcionamiento del receptor desde el inicio de la simulación hasta el final. Por defecto está deshabilitada. Si se deja sin marcar esta opción, no se podrán saber datos estadísticos del nodo receptor de ninguna de las maneras.

La pestaña “General”, se activa haciendo clic sobre ella; pero siempre que se abre la pantalla de configuración, esta pestaña es la que aparece seleccionada por defecto. En esta pantalla lo que se debe indicar al simulador es el nombre del nodo que será utilizado en todo el escenario de simulación.

Por último, en esta pestaña aparece una zona rectangular, con la descripción de “Selecciona la posición”, esta imagen en miniatura del escenario que se está creando, se utiliza para seleccionar el lugar en el que el nuevo nodo será posicionado, esto funciona únicamente al momento de crearlo y no cuando se abre la pantalla para modificarlo.

De igual forma como en el nodo emisor se utilizaran los botones de Aceptar o Cancelar y si existieran errores, ventanas de mensaje indicarán el error en la configuración.

**Configuración del nodo OLT.-** Como se puede observar en la Figura 75, para insertar un nodo OLT, se debe seleccionar el ícono correspondiente; un OLT es el nodo que genera el tráfico bajo los protocolos estandarizados de GPON, encapsulando los paquetes IPv4 que envían los nodos emisores sobre cabeceras iniciales PCBd cada 125 milisegundos y paquetes Gem dentro de este rango de tiempo.



Figura 75. Insertar, nodo OLT.

La pantalla de configuración de la OLT como se muestra en la Figura 76, se compone de tres partes, separadas por pestañas:

- General: donde se especifican parámetros generales del nodo.
- Rápida: donde se puede hacer una configuración básica muy rápida y sencilla del equipo, con diferentes características de equipos.
- Avanzada: donde se puede definir con mucho más detalle la configuración del OLT; como velocidad de conmutación, tamaño del buffer, potencia de transmisión y la opción de generar o no estadísticas para este elemento.



Figura 76. Ventana, configuración del nodo OLT.

La pestaña “General”, se activa haciendo clic sobre ella; aunque siempre que se abre la pantalla de configuración, esta pestaña es la que aparece seleccionada por defecto.

En esta pestaña, aparece un icono que representa al nodo OLT en el escenario. Una vez que el nodo esté configurado e insertado, se lo puede identificar por este icono. Junto al icono aparece una pequeña descripción de qué hace este nodo; en este caso, encapsula tráfico bajo GEM y lo envía por la red. También aparece un campo “Nombre del OLT” donde se nos permite escribir. En él deberemos escribir un nombre para el nodo, nombre que servirá para

referirse al él en todo el escenario y nombre que se mostrará, si se desea, en las ventanas de diseño y simulación. Justo esto último es lo que se puede configurar en el checkbox titulado “Ver nombre”. Si lo marcamos, el nombre del nodo que hemos escrito se mostrará en las distintas pantallas de la ventana de escenario. Si lo desmarcamos, no se verá.

Por último, en esta pestaña aparece una zona rectangular, con la descripción de “Selecciona la posición”, esta imagen en miniatura del escenario que estamos creando se utiliza para seleccionar el lugar en el que nuestro nuevo nodo será creado, esto funciona únicamente al momento de crearlo y no cuando abrimos la pantalla para modificarlo. De igual forma como en los nodos anteriores se utilizaran los botones de Aceptar o Cancelar y si existieran errores ventanas de mensaje aparecerán indicando cual es el error en su configuración.

Como se observa en la Figura 77, la segunda pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Rápida”, se activa haciendo clic sobre ella.

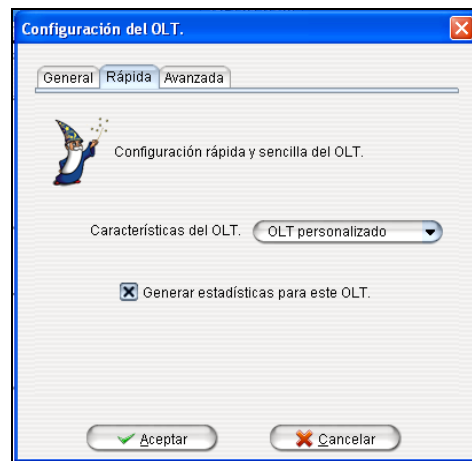


Figura 77. Ventana; configuración rápida del nodo OLT.

Con esta acción aparecerá la ventana de configuración rápida del nodo OLT. Es fácil en todo momento saber en qué zona de la configuración se encuentra.

En la pestaña de configuración rápida, aparece la imagen de un mago, indicando que está en la zona donde se puede configurar todo de forma transparente, muy rápida y muy sencilla.

En el caso del OLT, la configuración rápida permite seleccionar de la lista desplegable llamada “Características del OLT”, equipos de diferente gama como se muestra en la Figura 78. Son tipos comunes de equipos, que pueden ser requeridos y que por tanto están

predefinidos para seleccionarlos de forma rápida, pero es aconsejable se lo haga de manera personalizada para lograr establecer un mejor ambiente según los equipos que determine utilizar.

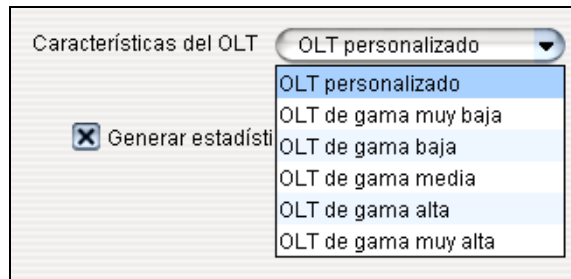


Figura 78. Opciones de configuración rápida, nodo OLT.

La última opción, llamada “Generar estadísticas para este emisor” hará, si se marca, que el simulador guarde toda la información necesaria para construir unas estadísticas completas del funcionamiento del nodo desde el inicio de la simulación hasta el final. Por defecto está deshabilitada. Si se deja sin marcar esta opción, no se podrán saber datos estadísticos del nodo de ninguna de las maneras.

La tercera pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Avanzada”, se activa haciendo clic sobre ella. Como podemos observar en la Figura 79, esta acción ejecuta la ventana de configuración avanzada del nodo. Es fácil saber en todo momento que encuentra en esta área porque aparece la imagen de una caja de herramientas, indicando que está en la zona donde se puede configurar todo mucho más detalladamente.



Figura 79. Ventana, configuración avanzada del nodo OLT.

En la configuración avanzada del OLT lo primero que encontrará es un deslizador marcado como “Velocidad de conmutación”. Esta propiedad se refiere al número de bits que el nodo OLT puede conmutar en un segundo y determinará la cantidad de tráfico, y por tanto paquetes, que el nodo puede reenviar al nodo siguiente durante la simulación, la congestión que es capaz de causar al siguiente nodo al receptor, etcétera. Su unidad de medida es “Megabits por segundo (Mbps)” y los valores permitidos van desde 1 a 10240 Mbps, o lo que es lo mismo, desde 1 Mbps a 10 Gbps (Gigabits por segundo). La forma de variar el valor y seleccionar el que se desea es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado.

Lo siguiente que se encuentra es un deslizador marcado como “Tamaño del buffer de entrada”. Esta propiedad se refiere al número octetos que el nodo puede almacenar temporalmente mientras procesa otros paquetes, antes de comenzar a descartar paquetes. Su unidad de medida es “Megabyte (MB)” y los valores permitidos van desde 1 a 1024 MB, o lo que es lo mismo, desde 1 MB a 1 GB (Gigabyte). La forma de variar el valor y seleccionar el deseado es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado.

Otra opción es el deslizador “Tamaño de la DMGP”. Esta propiedad se refiere al número octetos que el OLT puede almacenar temporalmente para su posible retransmisión local; es decir, a mayor DMGP, mayor probabilidad de que este paquete pueda servir una petición de retransmisión de un paquete. Su unidad de medida es “Kilobyte (KB)” y los valores permitidos van desde 1 a 102400 KB (100 MB). En esta versión del simulador la opción está preparada para que en un futuro se pueda desarrollar el acoplamiento con la parte de Gos(Garantía de servicio) del emisor.

A continuación lo que se encuentra es un deslizador marcado como “Potencia de Transmisión”, Esta propiedad se refiere a la potencia en dBm en la que el nodo puede enviar su señal por el medio (enlace), desde -100 dBm a 100 dBm. La forma de variar el valor y seleccionar el que se desea es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado.

Mediante el valor asignado en esta opción se envía la primera trama para establecer la potencia de la señal a lo largo de todo su recorrido hasta llegar a su ONT (ONU) de destino, con el cual se establecerá si es factible o no realizar la sincronización del enlace.

La última opción, llamada “Generar estadísticas para este OLT” hará, si se marca, que el simulador guarde toda la información necesaria para construir unas estadísticas completas



del funcionamiento del nodo desde el inicio de la simulación hasta el final. Por defecto está deshabilitada. Si se deja sin marcar esta opción, no se podrán saber datos estadísticos de ninguna de las maneras.

Cualquier modificación que se haga en la pestaña de configuración “Avanzada” provocará que en la ventana “Rápida” aparezca el tipo de tráfico como “Personalizado”.

Si en cualquier momento se decide dar marcha atrás y no insertar finalmente el nodo en el escenario, se debe pulsar el botón “Cancelar”. La ventana se cerrará y volverá al escenario que seguirá como antes de intentar insertar o modificar un nodo.

Una vez terminado de configurar el nodo como se desee, se debe pulsar el botón “Aceptar” para añadir el nuevo nodo al escenario.

Si en este momento todo está correcto, como se muestra en la Figura 80, la ventana de configuración del nodo desaparecerá y volverá a la pantalla de diseño, donde ya se habrá insertado el nuevo nodo OLT correctamente.

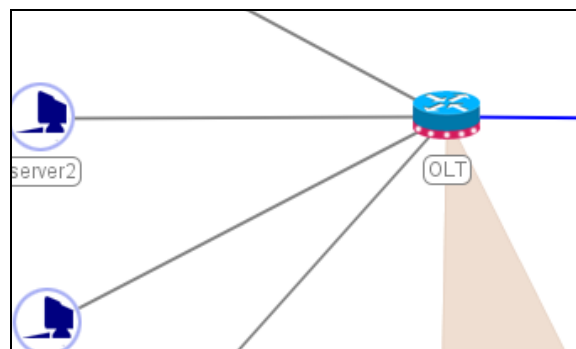


Figura 80. Ventana del escenario, nodo OLT insertado.

Sin embargo, de igual forma como lo expresado para los diferentes componentes anteriores se pueden presentar varias ventanas indicando algún tipo de error, que deberá ser corregido antes de poder continuar con la modificación o inserción del nodo

**Configuración del nodo Divisor Óptico (Splitter pasivo).**- Este es un elemento que se encarga de la difusión pasiva de la señal a todos los enlaces que se encuentran configurados en el, como se puede observar en la Figura 81, para insertar un nodo Splitter, se debe seleccionar el ícono correspondiente.



Figura 81. Insertar, nodo Splitter.

La pantalla de configuración del Splitter se compone de tres partes, separadas por pestañas:

- General: donde se especifican parámetros generales del nodo.
- Rápida.
- Avanzada: donde se puede definir la atenuación que tiene el elemento según sus características.

La pestaña “General”, se activa haciendo clic sobre ella; aunque siempre que se abre la pantalla de configuración, esta pestaña es la que aparece seleccionada por defecto.

Como se puede observar en la Figura 82, en la pestaña “General”, se muestran dos figuras atrás, aparece un icono que representa al nodo SPLITTER en el escenario. Una vez que el nodo esté configurado e insertado, se puede identificarlo por este icono.

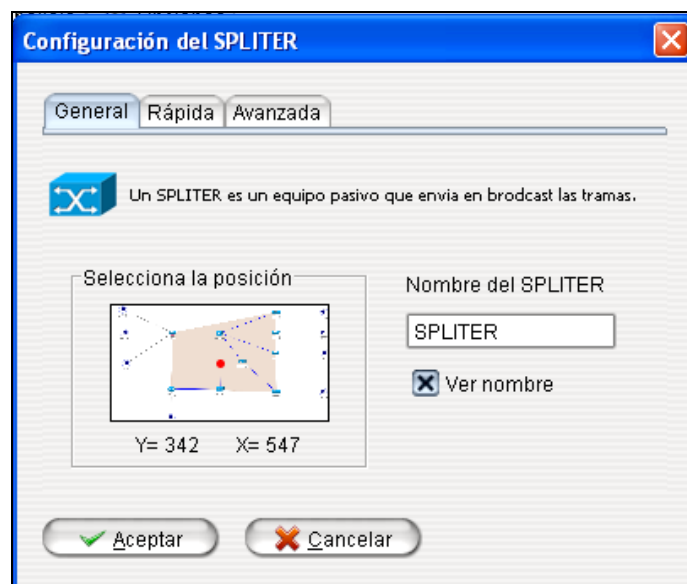


Figura 82. Ventana, configuración del nodo splitter.

Junto al icono aparece una pequeña descripción de qué hace este nodo; en este caso, envía las tramas PCBd y GEM por la red simulando el envío en broadcast hacia todos los nodos conectados. También aparece un campo “Nombre del SPLITTER” donde se permite

escribir. En él se debe escribir un nombre para el nodo, nombre que servirá para referirse al él en todo el escenario y nombre que se mostrará, si se desea, en las ventanas de diseño y simulación. Justo esto último es lo que se puede configurar en el checkbox titulado “Ver nombre”. Si lo marca, el nombre escrito del nodo, se mostrará en las distintas pantallas de la ventana de escenario. Si lo desmarca, no se verá.

Por último, en esta pestaña aparece una zona rectangular, con la descripción de “Selecciona la posición”, esta imagen en miniatura del escenario que se está creando, se utiliza para seleccionar el lugar en el que el nuevo nodo será creado, esto funciona únicamente al momento de crearlo y no cuando abrimos la pantalla para modificarlo.

De igual forma como en los nodos anteriores se utilizaran los botones de Aceptar o Cancelar y si existieran errores, ventanas de mensaje serán presentadas indicando cual es el error en su configuración.

La segunda pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Rápida”, en el caso del SPLITTER, la configuración rápida no se encuentra activada ya que al ser un elemento pasivo no posee características a más de las ya disponibles de manera automática al momento de ir enlazando los nodos.

La tercera pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Avanzada”, como se muestra en la Figura 83, se activa haciendo clic sobre ella.

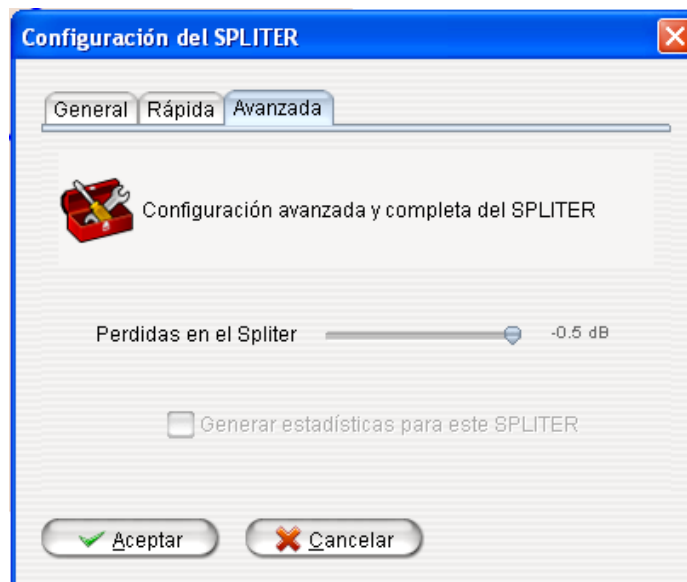


Figura 83. Ventana, configuración avanzada del nodo splitter.

Esto presenta una ventana de configuración avanzada del nodo. Es fácil saber en todo momento que se encuentra en esta área porque aparece la imagen de una caja de herramientas, indicando que estamos en la zona donde se puede configurar todo mucho más detalladamente.

En la configuración avanzada del SPLITTER lo único que se encuentra es un deslizador marcado como “Pérdidas en el Splitter”. Esta propiedad se refiere a las pérdidas en dB que de acuerdo al fabricante del Splitter seleccionado genera al momento de su interconexión, ya que las pérdidas en dB por la distribución de la señal se realiza automáticamente según el número de nodos conectados lo que le da su factor, ya sea 1x2, 1x4, 1x, etc.

La opción, llamada “Generar estadísticas para este SPLITTER”, también aparecerá desactivada, ya que al ser un elemento pasivo simplemente difusor todo el tráfico paso por el sin modificaciones.

Si en cualquier momento se decide dar marcha atrás y no insertar finalmente el nodo en el escenario, se debe pulsar el botón “Cancelar”. La ventana se cerrará y volverá al escenario que seguirá como antes de intentar insertar o modificar un nodo.

Una vez que haya terminado de configurar el nodo como se desee, se debe pulsar el botón “Aceptar” para añadir el nuevo nodo al escenario.

Si en este momento todo está correcto, como podemos observar en la Figura 84, la ventana de configuración del nodo desaparecerá y volverá a la pantalla de diseño, donde ya se habrá insertado el nuevo nodo OLT correctamente.

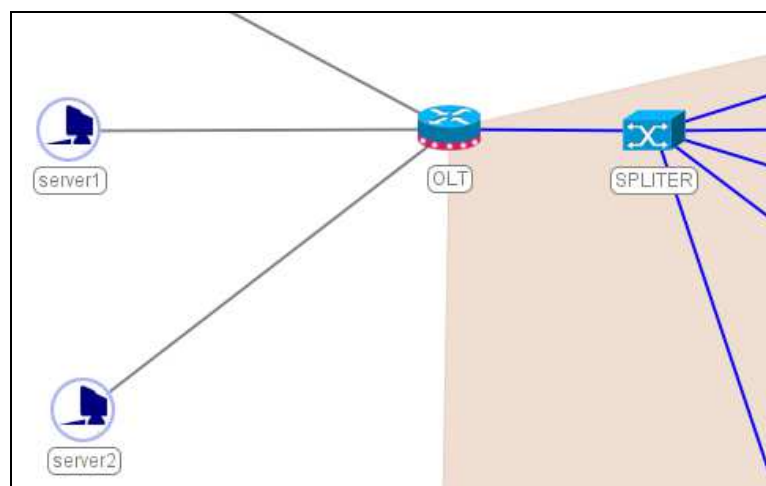


Figura 84. Vista del escenario, nodo splitter insertado.

Sin embargo, de igual manera como lo expresado para los diferentes componentes anteriores se pueden presentar varias ventanas indicando algún tipo de error, que deberá ser corregido antes de poder continuar con la modificación o inserción del nodo

**Configuración del enlace.-** Este elemento en el simulador permite la comunicación entre los diferentes nodos del escenario, con sus características principales de distancia, retrasos característicos (delay del medio), y de acuerdo al tipo de enlace externo en el que circulan paquetes IPV4 o internos paquetes PCBd o GEM, se utilizaran configuraciones de perdidas en dB del medio y de sus conectores; esto permitirá que el usuario pueda simular casi cualquier medio de comunicación, como se puede observar en la Figura 85, para insertar un nodo Splitter, se debe seleccionar el ícono correspondiente.



Figura 85. Insertar, enlace

La pantalla de configuración del enlace se compone de tres partes, separadas por pestañas:

- General: donde se especifican parámetros generales del enlace, como su nombre.
- Rápida: donde se puede hacer una configuración básica muy rápida y sencilla simulando rápidamente varios medios de comunicación.
- Avanzada: donde se puede definir con mucho más detalle la configuración del enlace como su distancia y el delay o retardo del medio.

Este elemento es sumamente imprescindible en el escenario ya que sin él los nodos quedarían sin funcionamiento, por no disponer de un medio de comunicación entre ellos.

Al ser un elemento que une dos nodos de igual forma si se desea crear un enlace sin que existan al menos dos nodos previamente creados, se presentara un error, como se puede observar en la Figura 86.

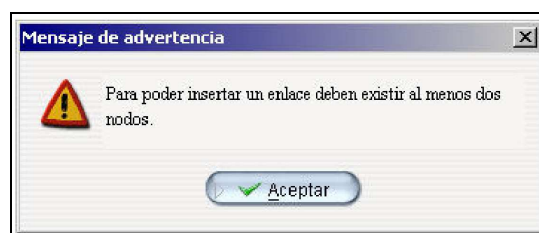


Figura 86. Mensaje de error del enlace.

Caso contrario el programa permitirá seguir con la primera ventana, que es la pestaña “General”, como se muestra en la Figura 87, esta se activa haciendo clic sobre ella; aunque siempre que se abre la pantalla de configuración, esta pestaña es la que aparece seleccionada por defecto.

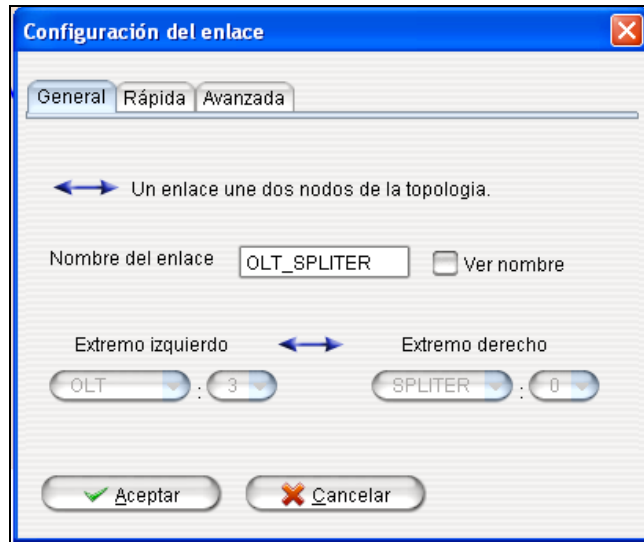


Figura 87. Ventana, configuración del enlace.

En esta pestaña, aparece un icono que representa el enlace en el escenario. Una vez que el nodo esté configurado e insertado, se puede identificarlo por este icono que es solo una línea que une los elementos del escenario. Junto al icono aparece una pequeña descripción del mismo. También aparece un campo “Nombre del enlace” donde se permite escribir. En él se debe escribir un nombre para el enlace, nombre que servirá para referirse al él en todo el escenario y nombre que se mostrará, si se desea, en las ventanas de diseño y simulación. Justo esto último es lo que se puede configurar en el checkbox titulado “Ver nombre”. Si lo marcamos, el nombre que se escribió se mostrará en las distintas pantallas de la ventana de escenario. Si lo desmarca, no se verá. Al último, como podemos ver en la Figura 88, aparece un conjunto de listas desplegables.



Figura 88. Origen y destino del enlace

Las dos primeras sirven para seleccionar el primer nodo al que estará conectado el enlace, “extremo izquierdo”. Las dos últimas sirven para hacer referencia al nodo del otro extremo del enlace, “extremo derecho”, siendo esta nomenclatura solo para una interpretación ya que no tiene nada que ver con la posición de los nodos en la pantalla de diseño, sino que es una forma de nombrar los extremos.

Para seleccionar los nodos que conectará el enlace, se debe hacer de izquierda a derecha en estas cuatro listas desplegables. Como se muestra en la Figura 89, en la primera lista (izquierda) se muestran todos aquellos nodos que tienen puertos libres y por tanto pueden admitir conexiones.

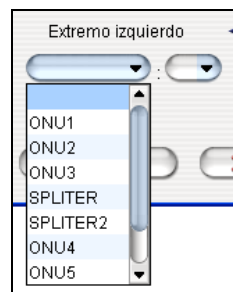


Figura 89. Lista de selección, lado izquierdo del enlace.

Una vez seleccionado el primero de los nodos al que se conectará el enlace, se debe elegir uno de sus puertos libres, donde irá “conectado” el enlace. Como se muestra en la Figura 90, la segunda lista desplegable muestra ahora los puertos libres del nodo seleccionado en la primera lista.

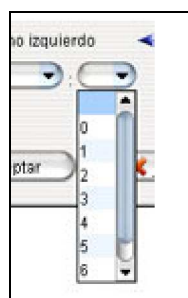


Figura 90. Lista de selección, puertos del nodo, lado izquierdo del enlace.

Una vez seleccionado el primer nodo se debe repetir el mismo procedimiento para el nodo del extremo derecho, logrando de esta manera conectarlos en el escenario.

De igual forma como en los nodos anteriores se utilizaran los botones de Aceptar o Cancelar y si existieran errores ventanas de mensaje aparecerán indicando cual es el error en su configuración.

La segunda pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Rápida”, se activa haciendo clic sobre ella. Esta configuración del enlace en este caso también se encuentra desactivada, ya que la misma debe ser personalizada para lograr una configuración más real en sus características y distancia del mismo.

La tercera pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Avanzada”, como se muestra en la Figura 91, se activa haciendo clic sobre ella.

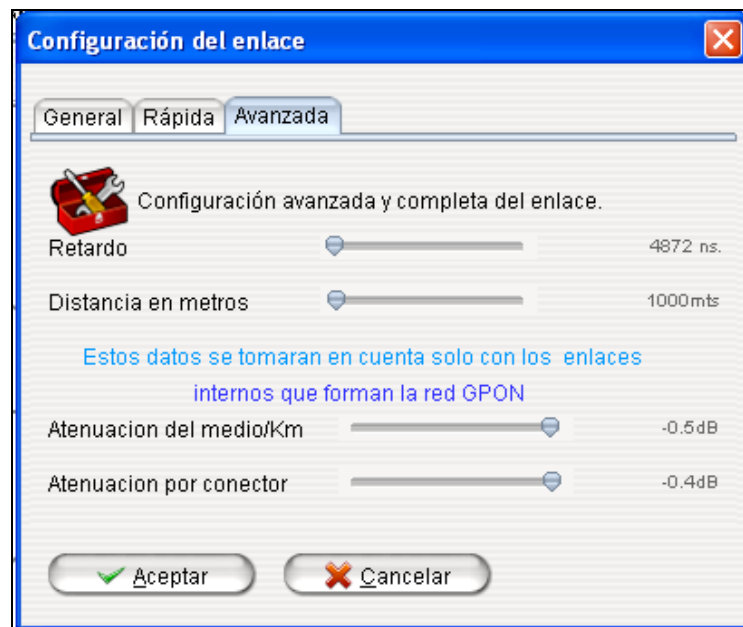


Figura 91. Ventana, configuración avanzada del enlace.

Esta ejecuta la ventana de configuración avanzada del enlace. Es fácil saber en todo momento que se encuentra en esta área porque aparece la imagen de una caja de herramientas, indicando que está en la zona donde se puede configurar todo detalladamente.

En la configuración avanzada del enlace lo primero que se encuentra es un deslizador marcado como “Retardo”. El retardo se mide en “nanosegundos (ns.)” y los valores permitidos van desde 1 ns. hasta 500.000 ns.

Lo siguiente es un deslizador marcado como “Distancia en metros”, esta propiedad se refiere a la distancia que el medio o enlace de comunicación, tiene desde el nodo inicial hasta el nodo destino, este está medido en metros y va desde 1 metro hasta 50000metros.



El siguiente segmento de configuración permitirá configurar parámetros y de acuerdo al tipo de enlace, será válido únicamente para enlaces internos aquellos que estén conectados entre nodos que emitan paquetes PCBd o GEM, se utilizan configuraciones de pérdidas en dB del medio por cada kilometro y de sus conectores; los valores de estos varían entre 0 dB y -10 dB; esto permitirá que el usuario pueda simular casi cualquier medio de comunicación.

Mediante estos valores asignados en esta opción se modifican las primeras tramas enviadas desde una OLT, para establecer la potencia real de la señal a lo largo de todo su recorrido hasta llegar a su ONT (ONU) de destino, con el cual se establecerá si es factible o no realizar la sincronización del enlace.

La forma de variar el valor y seleccionar el que se desea en cualquiera de las opciones es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado.

Si en cualquier momento se decide dar marcha atrás y no insertar finalmente el enlace en el escenario, se debe pulsar el botón “Cancelar”. La ventana se cerrará y volverá al escenario que seguirá como antes de intentar insertar o modificar el enlace.

Una vez terminado de configurar el nodo como se desee, se debe pulsar el botón “Aceptar” para añadir el nuevo nodo al escenario. Como se muestra en la Figura 92, si todo está correcto, la ventana de configuración del nodo desaparecerá y volverá a la pantalla de diseño, donde ya se habrá generado el nuevo enlace entre los nodos respectivos, se puede identificar el tipo de enlace por su color, un enlace externo (emisor – OLT) se presenta en color gris, y un enlace interno (entre los componentes de la red GPON) en color azul.

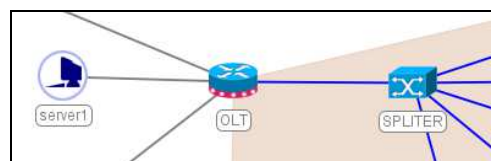


Figura 92. Ventana del escenario, enlace insertado.

Sin embargo, de igual forma como lo expresado para los diferentes componentes anteriores se pueden presentar varias ventanas indicando algún tipo de error, que deberá ser corregido antes de poder continuar con la modificación o inserción del enlace.

Es preciso indicar que cuando se modifica el enlace, esta podrá ser realizada únicamente en su parte de datos avanzados, y no en la selección de elementos de sus extremos.

**Configuración del nodo ONT (ONU).**- Este elemento del simulador se encarga de recibir todos los paquetes que le llegan a sus puertos conectados a un Splitter y de acuerdo a su dirección de destino descartarlo o tratarlo para eliminar las cabeceras del protocolo y entregar al nodo receptor un paquete IPv4. Como se puede observar en la Figura 93, para insertar un nodo ONT, se debe seleccionar el ícono correspondiente.



Figura 93. Insertar nodo ONT(ONU)

La pantalla de configuración de la ONT se compone de tres partes, separadas por pestañas:

- General: donde se especifican parámetros generales del nodo, como su nombre.
- Rápida: donde se puede hacer una configuración básica muy rápida y sencilla.
- Avanzada: donde se define con mucho más detalle la configuración del nodo, como su velocidad de conmutación, tamaño de buffer y lo principal al momento de evaluar la funcionalidad del enlace, el Umbral máximo de Sensibilidad que permitirá determinar si se pueden o no comunicar el OLT con esta ONU; y la opción de generar o no estadísticas para este elemento.

La pestaña “General”, como se muestra en la Figura 94, se activa haciendo clic sobre ella, aunque siempre que se abre la pantalla de configuración, esta pestaña es la que aparece seleccionada por defecto.

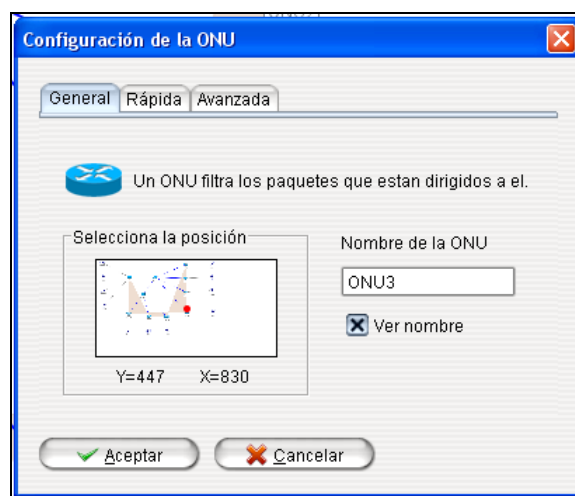


Figura 94. Ventana de configuración del nodo ONU.

En esta pestaña, aparece un icono que representa al nodo ONT en el escenario. Una vez que el nodo esté configurado e insertado, se puede identificarlo por este icono. Junto al icono aparece una pequeña descripción de qué hace este nodo; en este caso, filtra los paquetes que están dirigidos a él, mediante su dirección de destino, si identifica que él es el propietario elimina el encapsulado GEM y lo envía por la red hacia el nodo receptor. También aparece un campo “Nombre de la ONU” donde se nos permite escribir. En él deberemos escribir un nombre para el nodo, nombre que servirá para referirse al él en todo el escenario y nombre que se mostrará, si se desea, en las ventanas de diseño y simulación. Justo esto último es lo que se puede configurar en el checkbox titulado “Ver nombre”. Si lo marca, el nombre del nodo que se escribió se mostrará en las distintas pantallas de la ventana de escenario. Si lo desmarcamos, no se verá.

Por último, en esta pestaña aparece una zona rectangular, con la descripción de “Selecciona la posición”, esta imagen en miniatura del escenario que está creando, se utiliza para seleccionar el lugar en el que el nuevo nodo será creado, esto funciona únicamente al momento de crearlo y no cuando se abre la pantalla para modificarlo.

De igual forma como en los nodos anteriores se utilizaran los botones de Aceptar o Cancelar y si existieran errores, ventanas de mensaje aparecerán indicando cual es el error en su configuración.

La segunda pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Rápida”, como se muestra en la Figura 95, se activa haciendo clic sobre ella.

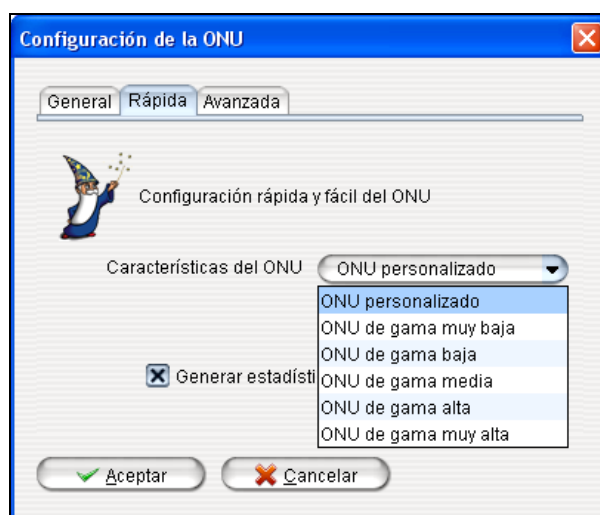


Figura 95. Ventana, configuración rápida del nodo ONU.

Con esta acción aparecerá la ventana de configuración rápida del nodo ONU. Es fácil en todo momento saber en qué zona de la configuración se encuentra ya que en esta pestaña, aparece la imagen de un mago, indicando que está en la zona donde se puede configurar todo de forma transparente, muy rápida y muy sencilla, a excepción de un parámetro que deberá ser colocado por nosotros en la pantalla avanzada.

En el caso del ONU, como se puede observar en la Figura 96, la configuración rápida permite seleccionar de la lista desplegable llamada “Características del ONU”, equipos de diferente gama. Son tipos comunes de equipos, que pueden ser requeridos y que por tanto están predefinidos para seleccionarlos de forma rápida, pero es aconsejable se lo haga de manera personalizada para lograr establecer un mejor ambiente según los equipos que determinemos utilizar.

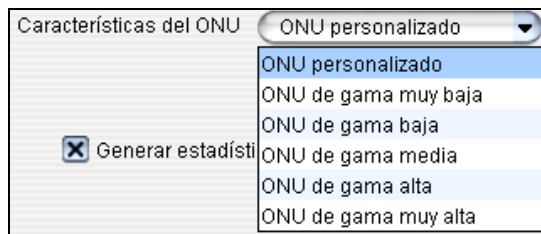


Figura 96. Lista de selección, tipo de nodo ONU.

La tercera pestaña de la pantalla de configuración, la pestaña “Avanzada”, como se muestra en la Figura 97, se activa haciendo clic sobre ella.

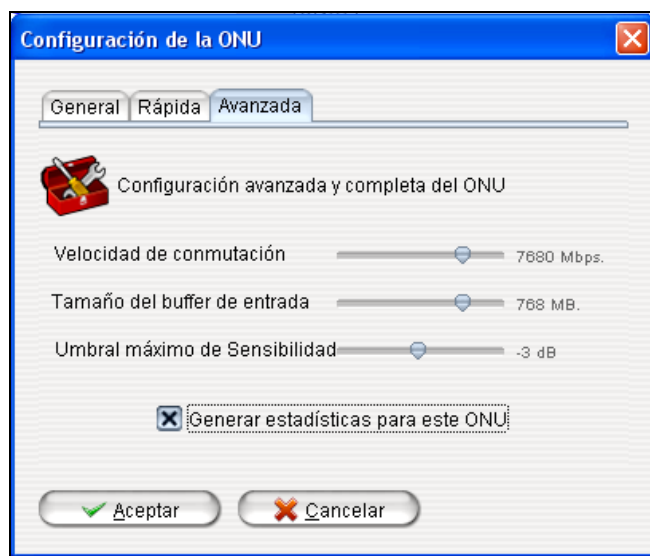


Figura 97. Ventana, configuración avanzada del nodo ONU.

Esta ejecuta la ventana de configuración avanzada del nodo. Es fácil saber en todo momento que se encontramos en esta área porque aparece la imagen de una caja de herramientas, indicando que está en la zona donde se puede configurar todo mucho más detalladamente.

En la configuración avanzada del ONU lo primero que se encuentra es un deslizador marcado como “Velocidad de conmutación”. Esta propiedad se refiere al número de bits que el nodo ONU puede conmutar en un segundo y determinará la cantidad de tráfico, y por tanto paquetes, que el nodo puede reenviar al nodo siguiente durante la simulación, la congestión que es capaz de causar al siguiente nodo al receptor, etcétera. Su unidad de medida es “Megabits por segundo (Mbps)” y los valores permitidos van desde 1 a 10240 Mbps, o lo que es lo mismo, desde 1 Mbps a 10 Gbps (Gigabits por segundo). La forma de variar el valor y seleccionar el que se desea es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado.

Lo siguiente es un deslizador marcado como “Tamaño del buffer de entrada”. Esta propiedad se refiere al número octetos que el nodo puede almacenar temporalmente mientras procesa otros paquetes, antes de comenzar a descartar paquetes. Su unidad de medida es “Megabyte (MB)” y los valores permitidos van desde 1 a 1024 MB, o lo que es lo mismo, desde 1 MB a 1 GB (Gigabyte). La forma de variar el valor y seleccionar el que se desea es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado.

La siguiente que se encuentra es un deslizador marcado como “Umbral máximo de sensibilidad”, Esta propiedad se refiere a la potencia en dBm en la que el nodo puede funcionar normalmente sin perder conectividad, desde -100 dBm a 100 dBm. La forma de variar el valor y seleccionar el que deseado es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usar las teclas de izquierda y derecha del teclado.

El valor asignado en esta opción y el valor en dBm de la potencia con que llega la primera trama desde la OLT, permite establecer con su comparación si la potencia de la señal a lo largo de todo su recorrido desde la OLT, pasando a través del o los diferentes SPLITTERS y sus variados enlaces, hasta llegar a la ONT (ONU) de destino es la suficiente para mantener sincronía, es muy importante recordar que cada nodo tiene en sus parametros un valor configurable sobre cuáles son las pérdidas en dB, que cada uno genera en la señal

original, lo que permitirá informar en la ventana de simulación si fue posible establecer o no la conectividad del enlace.

La última opción, llamada “Generar estadísticas para esta ONU” permitirá, si se marca, que el simulador guarde toda la información necesaria para construir unas estadísticas completas del funcionamiento del nodo desde el inicio de la simulación hasta el final. Por defecto está deshabilitada. Si se deja sin marcar esta opción, no se podrán saber datos estadísticos del nodo de ninguna de las maneras.

Cualquier modificación que se haga en la pestaña de configuración “Avanzada” provocará que en la ventana “Rápida” aparezca el tipo de tráfico como “Personalizado”.

Si en cualquier momento se decide dar marcha atrás y no insertar finalmente el nodo en el escenario, se debe pulsar el botón “Cancelar”. La ventana se cerrará y volverá al escenario que seguirá como antes de intentar insertar o modificar un nodo.

Una vez terminado de configurar el nodo como se desee, se debe pulsar el botón “Aceptar” para añadir el nuevo nodo al escenario. Si en este momento, como se observa en la Figura 98 todo está correcto, la ventana de configuración del nodo desaparecerá y volverá a la pantalla de diseño, donde ya se habrá insertado el nuevo nodo ONU correctamente.

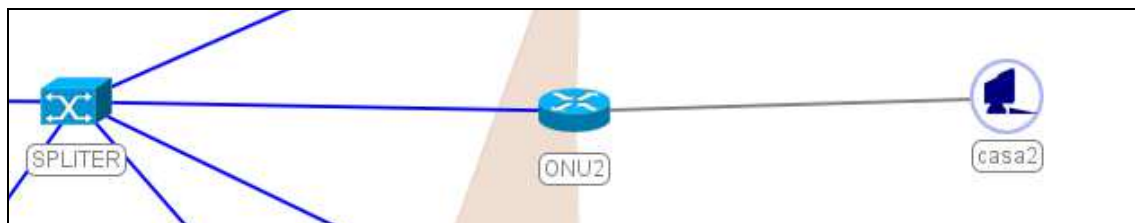


Figura 98. Ventana, nodo ONU insertado.

Sin embargo, de igual forma como lo expresado para los diferentes componentes anteriores se pueden presentar varias ventanas indicando algún tipo de error, que deberá ser corregido antes de poder continuar con la modificación o inserción del nodo

#### 6.1.4 Inicio de la Simulación

Una vez que se disponga de un escenario totalmente estructurado se puede, como se muestra en la Figura 99, a través de la pestaña llamada “Simulación” de la ventana del escenario, acceder a las opciones que permitan poner en ejecución la simulación.

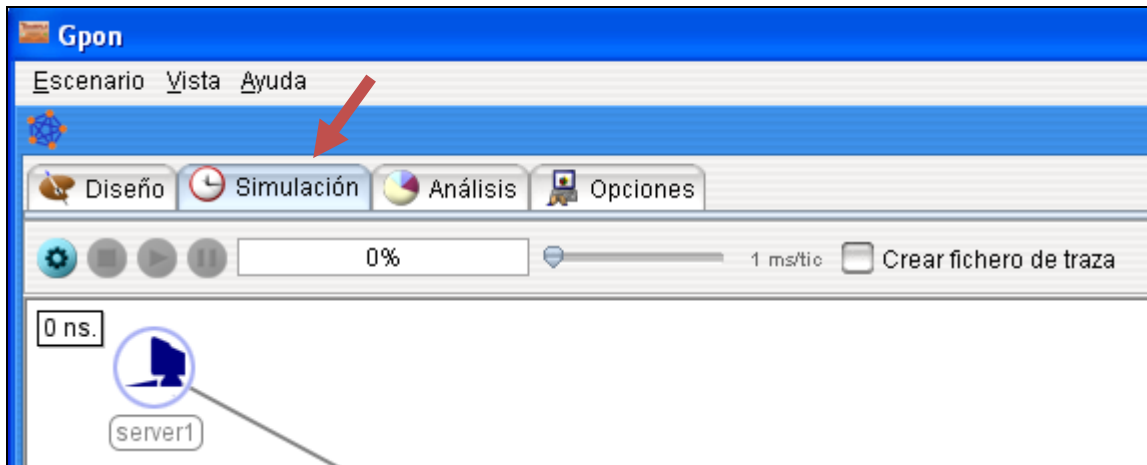


Figura 99. Ventana del escenario modo de simulación

En esta figura aparecerá un escenario que sería el que se ha diseñado en el área de diseño, y en lugar de los íconos para insertar los diferentes nodos, aparecerán iconos para manejar el funcionamiento de la simulación; además de otros elementos.

Para poner en funcionamiento la simulación, como se muestra en la Figura 100, se debe hacer un clic en el icono que simula un engranaje, señalado con un círculo rojo.

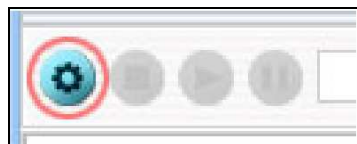


Figura 100. Inicio de la simulación.

Es el único de los cuatro iconos que se puede activar ya que en principio los otros aparecen deshabilitados.

En este momento, los nodos emisores comenzarán a generar tráfico y éste se podrá ver fluyendo en el área de simulación desde los emisores a sus respectivos nodos receptores, según estén configurados. En la Figura 101, se puede observar la simulación en ejecución con los diferentes paquetes moviéndose entre todos los nodos.

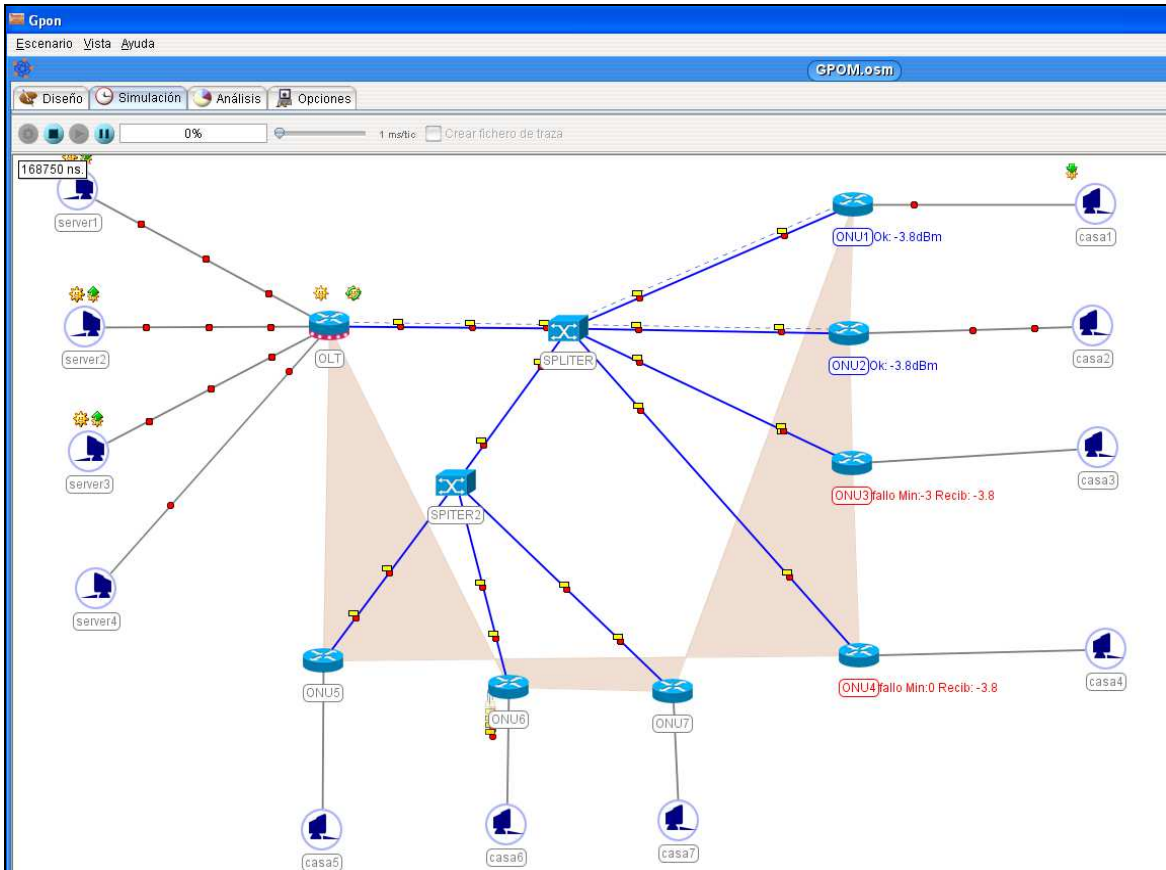


Figura 101. Ventana del escenario, simulación en proceso.

Como se muestra en la Figura 102, mientras se ejecuta la simulación se tendrá disponibles los botones de pausar y parar, lo que permitirá interrumpir totalmente o temporalmente la simulación y la captura de los resultados.

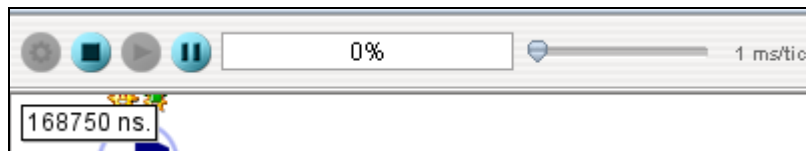


Figura 102. Botones de control de simulación.

También al lado derecho se puede apreciar una barra deslizadora, la cual permite acelerar o disminuir la velocidad de la simulación permitiendo interactuar con la misma mientras esta se ejecuta. Este elemento permite establecer cuántos milisegundos se deben hacer de pausa entre cada vez que el simulador refresca la pantalla, para mostrar la evolución

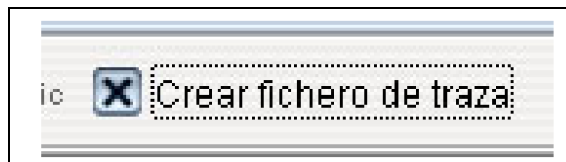


continua de la simulación. Por defecto está al valor mínimo permitido, 1 milisegundo, que equivale a no hacer pausa alguna sino simular a la máxima velocidad posible. Se puede elevar este valor hasta 500 milisegundos (medio segundo) entre cada refresco de pantalla con lo cual se logra ralentizar la simulación hasta unos niveles en los cuales sea cómodo poder observar qué pasa en ciertas situaciones.

La forma de variar el valor y seleccionar el que se desea es moviendo el deslizador de izquierda a derecha o bien colocando el foco sobre el deslizador y usando las teclas de izquierda y derecha del teclado. Además esta operación puede (y debe) hacerse cuando la simulación está en funcionamiento ya que vuelve automáticamente a su valor de 1 milisegundo al comenzar la simulación.

**Generar una traza de la simulación.-** Toda la simulación visual que se puede observar en el área de simulación en tiempo real no es sino la representación gráfica de los valores internos de todos los elementos que componen el escenario. En la mayoría de las ocasiones la simulación visual junto con las estadísticas generadas por los nodos que estén configurados para ello, es más que suficiente para comprender correctamente qué ha ocurrido. Sin embargo, hay veces que es necesario buscar una interpretación numérica y estadística, con los datos en la mano, o alguna gráfica o situación compleja; pero la simulación no tiene marcha atrás. Por ello, es posible generar un fichero de traza donde se almacenen, en texto plano, todos los acontecimientos que han tenido lugar durante la simulación, en qué elemento ha ocurrido, en qué instante, etc., para poder revisarlo posteriormente.

Para generar este fichero de traza, como se puede observar en la Figura 103, se debe hacer clic con el botón principal del ratón sobre recuadro de selección llamado “Crear fichero de traza”, de la barra de herramientas de simulación.



*Figura 103. Opción para generar el archivo de traza de la simulación.*

El fichero de traza será guardado en la misma ubicación donde se encuentra el escenario y llevará el mismo nombre que aparece como título en la ventana de escenario, pero con extensión TXT.

Se dispone de una opción dentro de la ventana del escenario en la que al dar un click derecho sobre cualquier parte de la pantalla, como se muestra en la Figura 104, aparecerá una leyenda, la cual indica la descripción de todos los iconos que se prenden y apagan dentro del escenario de simulación.

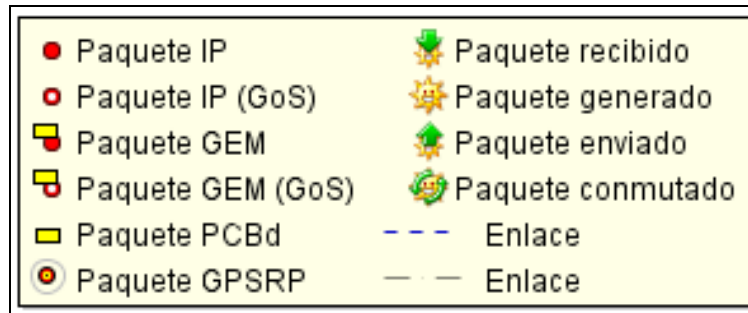


Figura 104. Leyenda sobre los paquetes generados en la simulación.

Según lo expresado en el alcance de este proyecto existen algunos íconos que aparecen en la descripción pero no se podrán ver en la simulación al no estar aun implementados.

Para expresar el funcionamiento de los íconos, se debe recordar que todos los nodos pueden realizar diversas acciones durante la simulación. Los nodos emisores, crean paquetes y los envían. Los receptores los reciben y en el camino los OLT y ONUS, los reciben, y los conmutan/encaminan. Como se puede observar en la Figura 105, para notar todo esto visualmente, sobre cada nodo aparece en cada momento una imagen que indica qué operación está realizando.

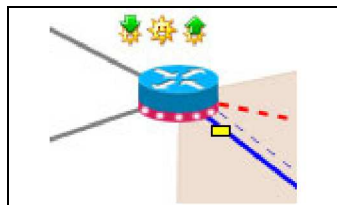






Figura 105. Nodo del escenario, en proceso de simulación.

En este caso sólo se ven sobre el nodo tres imágenes pequeñas. En realidad podría haber más. Todas las imágenes y sus significados, se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Descripción de eventos durante la simulación.

	Si un nodo muestra sobre él esta imagen, significa que ha recibido un paquete. De cualquier tipo de tráfico.
	Si un nodo muestra sobre él esta imagen, significa que dentro del nodo se ha creado un paquete.
	Si un nodo muestra esta imagen sobre él, significa que el nodo ha enviado un paquete que él mismo ha generado, hacia otro nodo.
	Si un nodo muestra esta imagen sobre él, significa que ha conmutado o encaminado un paquete que le había llegado por un puerto de entrada.

Así, en la Figura 105, se puede observar que este OLT ha recibido un paquete, ha generado otro y este último lo ha enviado a un puerto de salida en dirección a otro nodo.

### 6.1.5 Obtención de resultados

Antes de pasar a la ventana de análisis, en el escenario de simulación se presenta directamente una información muy importante sobre los nodos, estos según sus configuraciones pueden o no establecer los enlaces, esto es si la potencia del OLT es lo suficientemente fuerte para llegar a la ONU de destino con la potencia en dBm, necesaria configurada, como el Umbral máximo de sensibilidad; esto luego de las pérdidas de todo su recorrido. Como podemos observar en la Figura 106. El escenario presentara los mensajes de Ok o fallo, con sus valores en dBm, respectivos con los que llego la señal, y según el caso los necesarios para que se puede realizar la conexión.

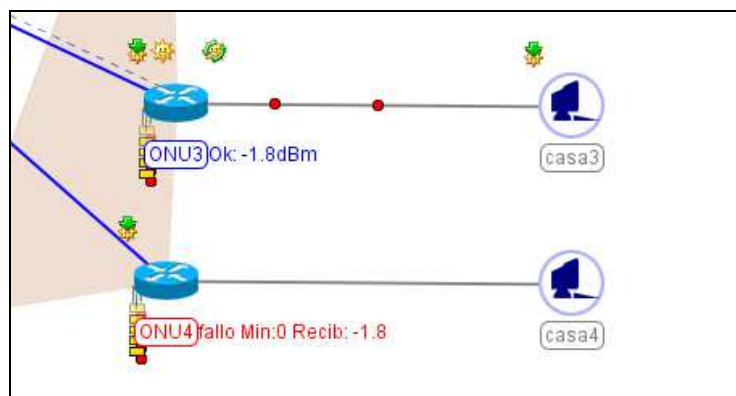


Figura 106. Resultados de conectividad, OLT – ONU.

Para poder solucionar el enlace en fallo, se debe interrumpir la simulación para pasar nuevamente a la ventana de diseño y ahí modificar los parámetros respectivos. Bueno pero de eso se trata la simulación el de establecer si los equipos podrán o no funcionar según sus características.

Como se muestra en la Figura 107, para poder tener acceso a los datos recolectados en la simulación, se debe presionar la viñeta denominada “Análisis”, de la ventana del escenario.

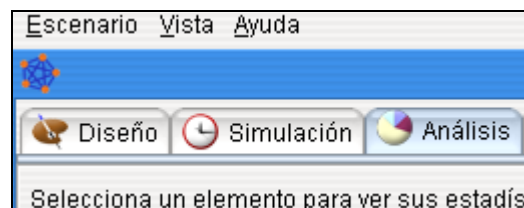


Figura 107. Acceso, área de análisis de resultados.

Se pueden obtener los resultados de la simulación, de cada uno de los elementos del escenario, de los que se haya marcado con la opción de generar estadísticas para este nodo.

Para seleccionar el elemento del cual se desea mostrar las gráficas es necesario hacer clic con el botón principal del ratón en la lista desplegable que se encuentra en la barra de herramientas de análisis y que se llama “Seleccione un elemento para ver sus estadísticas”, como se muestra en la Figura 108. La lista mostrará todos los elementos que actualmente están generando o han generado estadísticas. Si no aparece ningún elemento, como se puede observar en la siguiente figura, es porque no se ha configurado ningún nodo para generar estadísticas o porque la simulación no ha comenzado aún.

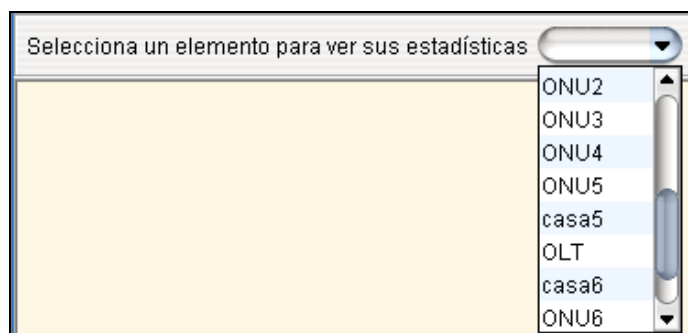


Figura 108. Selección de los elementos, generar estadísticas.

Para ver las gráficas estadísticas de cualquiera de ellos, hay que hacer clic con el botón principal del ratón en el que interese, esto mostrará en el área respectiva las gráficas correspondientes a dicho nodo. Si la simulación está en curso, las gráficas tendrán un comportamiento dinámico, variando según va evolucionando la simulación. Si no, permanecerán inamovibles.

Como se puede observar en la Figura 109, además de las gráficas, en el área se muestran datos del escenario: el título, el autor y la descripción. Estos datos opcionales se configuran dando click en viñeta “Opciones”.

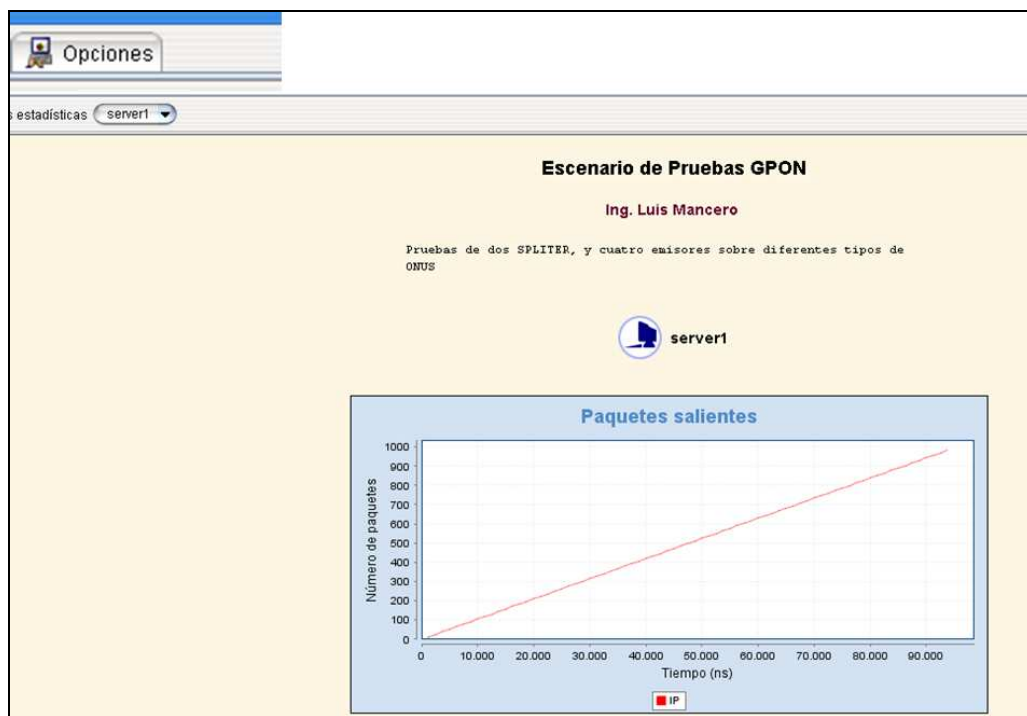


Figura 109. Datos del escenario de resultados.

Cada nodo tiene distintos tipos de gráficas, se presentan paquetes: generados Figura 110, conmutados Figura 111 y descartados Figura 112.

Se puede disponer de manera interactiva señalando sobre la gráfica sus valores en X y Y; el tiempo de nanosegundos y el número de paquetes en ese instante, así como el tipo de paquete ya sea IP, GEM o PCBd. Como se muestra en las Figuras 110, 111, 112 y 113.

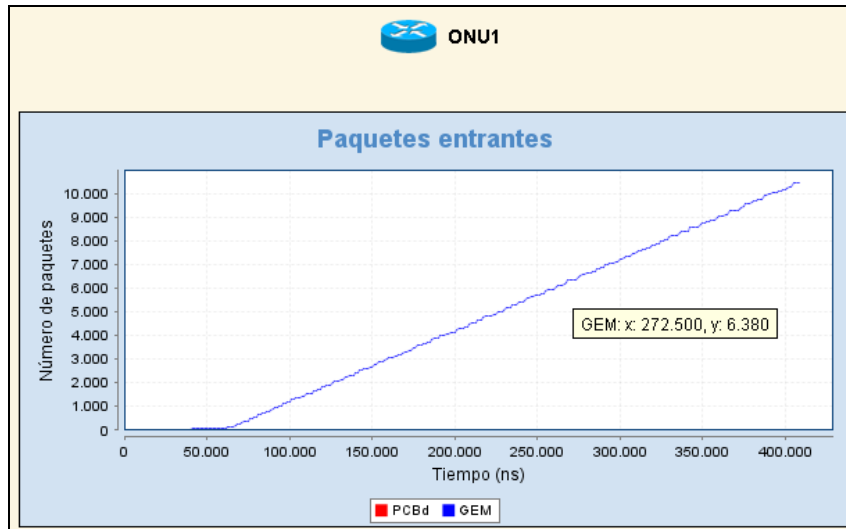


Figura 110. Estadística, paquetes entrantes nodo ONU.

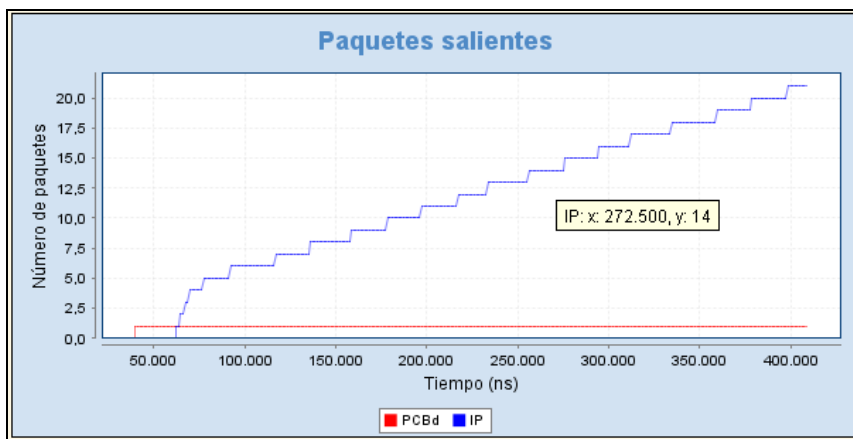


Figura 111. Estadísticas, paquetes salientes nodo ONU.

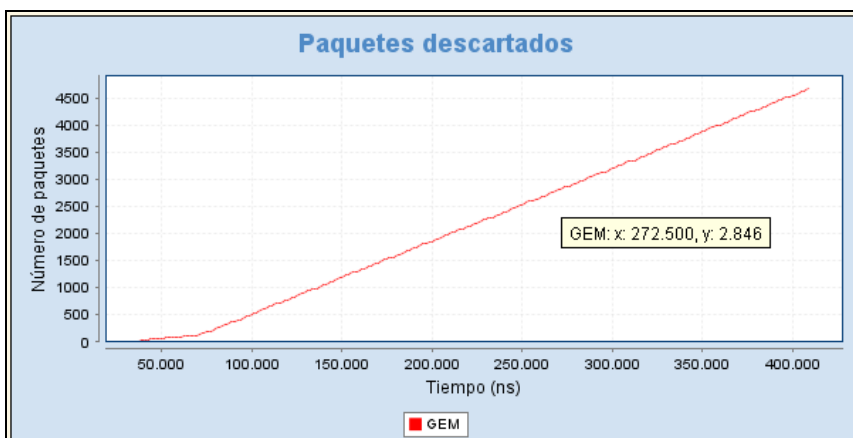


Figura 112. Estadística, paquetes descartados nodo ONU.

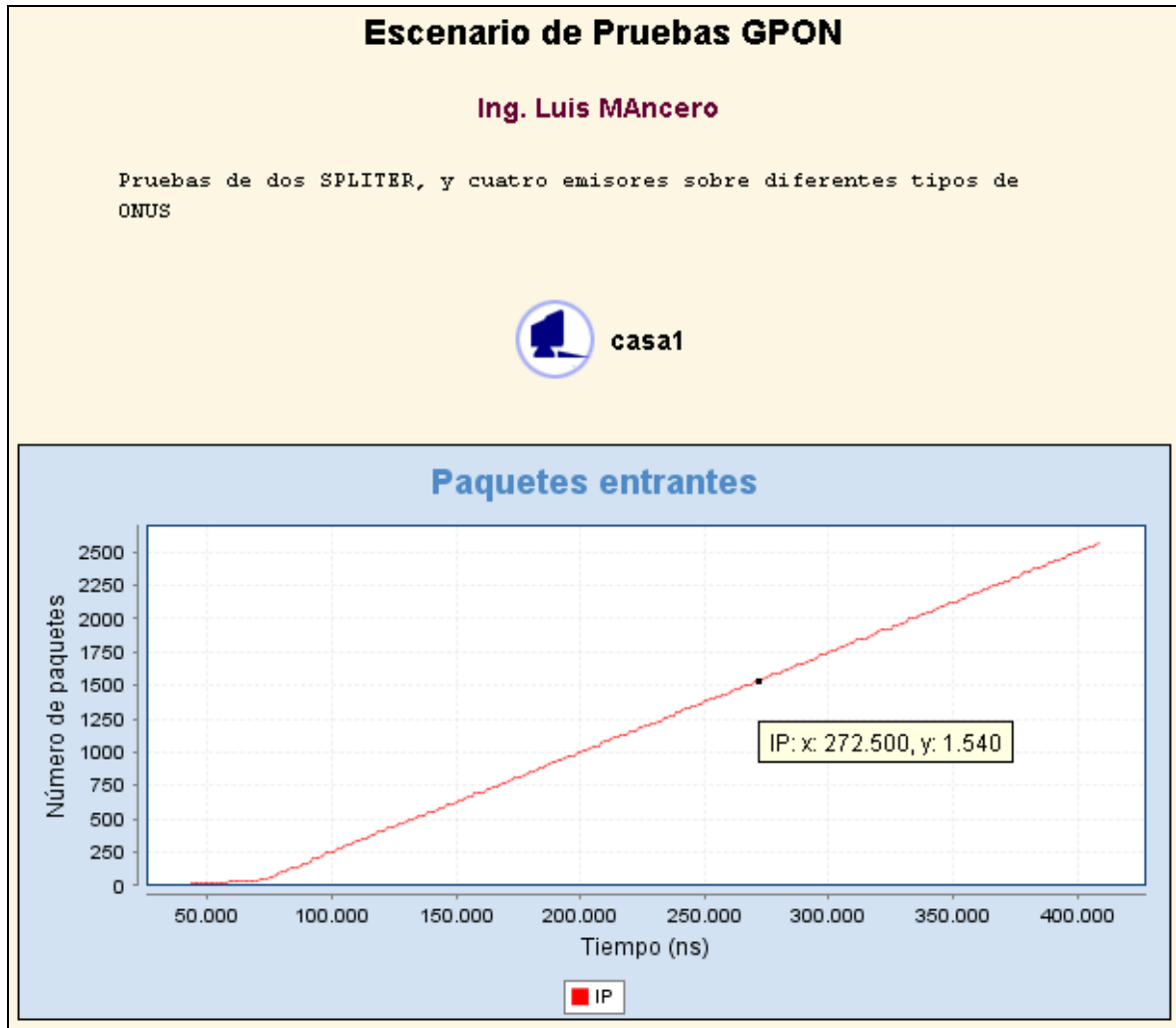


Figura 113. Estadística, paquetes entrantes al destino.

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados en el proyecto, y al alcance que se estimo darle al mismo se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Basados en el simulador OpenSimMPLS, de código libre y con conocimiento y autorización de su autor Ing. Manuel Dominguez Dorado, de la Universidad de Extremadura (ESPAÑA), se reutilizo el código del mencionado simulador, el cual fue adaptado a uno para el diseño y la presentación de resultados de una red GPON, que utiliza y permite configurar sus elementos según el estándar ITU-T G.984, mediante el método de encapsulado GEM (GPON Encapsulation Method).
- Se ha procedido a realizar un análisis a fondo de la arquitectura de las redes PON, a fin de poder representar su funcionamiento en el simulador diseñado.
- Se ha analizado el estándar ITU-T G.984, para establecer los parámetros de configuración de los dispositivos que el simulador soporta en su funcionamiento, representando de forma adecuada los paquetes GEM que circulan entre la OLT y ONT, comprendiendo su funcionamiento.
- Se ha aprovechado las ventajas de la licencia GNU al reutilizar el código del simulador OpenSimMPLS para poder desarrollar esta herramienta que sirve para el análisis de redes de fibra óptica pasiva.
- Se ha diseñado y desarrollado un simulador de redes GPON, basado en el estándar ITU-T G.984, el cual puede ser utilizado por cualquier usuario con fines educativos o profesionales, el cual permite:
  - ✓ Crear escenarios para el envío de tráfico ascendente para petición de servicio y sincronización con el envío y recepción de paquetes iniciales que establecen la potencia de la señal y su posibilidad de interconexión, y multicast para el tráfico descendente a la entrega del servicio.
  - ✓ Implementa los componentes básicos iniciales de una red GPON, OLT, ONT, los difusores de la señal o SPLITTER, los enlaces entre cada uno de ellos, los emisores de tráfico y sus respectivos receptores.
  - ✓ Las OLT reciben y procesan, varios tipos de tráfico como la telefonía IP, Televisión IP, datos, etc., ya que maneja IPV4, y se pueden variar



seleccionándolos de una lista o de forma manual. Tiene la capacidad de facilitar el cambio de sus capacidades de velocidad y potencia, dándole la posibilidad de adaptarse fácilmente a hardware existente y posibles cambios en características de los mismos.

- ✓ Los splitters, actúan simplemente como difusores de la señal que les llegue del OLT, pero poseen la capacidad de variar su número de derivaciones simplemente con la asignación de enlaces y permiten la modificación del nivel de atenuación del equipo, para hacerlo adaptable a cualquier estándar del mercado.
- ✓ Los enlaces son parametrizables, en su distancia, retardo, nivel de atenuación del medio y de sus conexiones, lo que permite simular cualquier tipo de fibra y en los escenarios FFTC y FFTB, y otros tipos de medios de enlace.
- ✓ Las ONT (Optical Network Terminal) Terminal óptico de red, o ONUs, dentro del simulador tienen la capacidad y sensibilidad de determinar la factibilidad del enlace, de acuerdo al cálculo de pérdidas de señal, esto de acuerdo al margen configurable para su correcto funcionamiento; para lograr esto se permite su configuración en velocidad de conmutación, tamaño de memoria y umbral de sensibilidad del equipo.
- ✓ Permite analizar el ancho de banda para cada enlace o dispositivo ONT conforme va variando el número de terminales conectados a la OLT (Optical Line Terminal) de manera de determinar las pérdidas del enlace para cada nodo de acuerdo a su distancia y la factibilidad de configuración del escenario. Esto gracias a los informes gráficos y visuales sobre los envíos, entrega, recepción y procesamiento de los paquetes que circulan entre sus terminales hasta llegar del emisor de tráfico al receptor.

### **Recomendaciones**

El alcance del simulador, abarca los elementos básicos y las descripciones estándar para que funcione la red GPON, pero al ya disponer de un escenario que nos permite simularlo es recomendable se abra la posibilidad para que con la ayuda de otros proyectos se complemente en los siguientes puntos:

- La parte de simulación ascendente, en la que los clientes pueden interactuar en un escenario simulado con los emisores de tráfico.

- La gestión y simulación de paquetes GoS, que ya se encuentra estructurado y en un porcentaje avanzado.
- Al realizarse el proyecto, utilizando las ventajas de la licencia GNU que permiten la reutilización de código y a su vez solicitan que este sea entregado a la comunidad para su conocimiento, se recomienda poner el mismo a disposición del mundo para futuras referencias y bases de nuevos prototipos.

**GLOSARIO DE TERMINOS**

APON ATM Passive Optical Network

ADSL Línea de abonado digital asimétrica (Asymmetric Digital Subscriber Line)

AES Norma de encriptación avanzada (advanced encryption standard)

AF Función de adaptación (adaptation function)

ATM Modo de transferencia asíncrono (asynchronous transfer mode)

BPON Red óptica pasiva de banda ancha (broadband passive optical network)

BER Tasa de errores en los bits (bit error ratio)

CRC Verificación por redundancia cíclica (cyclic redundancy check)

DSL Línea de abonado digital (digital subscriber line)

EP2P Ethernet Point to Point

EPON Ethernet Passive Optical Network

FCS Frame Check Sequence

FDM Frecuency Division Multiplexing

FDMA Acceso múltiple por división de frecuencia (frecuency division acces)

FSM Finite State Machine

FTTB/C Fibra al edificio/a la acometida (fibre to the building/curb)

FTTCab Fibra al armario (fibre to the cabinet)

FTTH Fibra a la vivienda (fibre to the home)

FTTX Fiber To The x

GEM GPON Encapsulation Method

GePON Gigabit Ethernet Passive Optical Network

GFP Generic Framing Procedure

GPON Gigabit Passive Optical Network

HDSL Línea de abonado digital de alta velocidad (High Bit Rate Digital Line)

HDTV High Definition Television

HEC Control de error del encabezamiento (header error control)

HFC Hybrid Fibre Coaxial

IP Internet Protocol

IPTV Internet Protocol Televisión

ITU International Telecommunication Union

LAN Red de área local (local area network)

LCD Pérdida de delimitación de célula (loss of cell delineation)

LCF Campo de control láser (laser control field)

LSB Bit menos significativo (least significant bit)

LT Terminal de línea (line terminal)

MAC Control de acceso a medios (media access control)

MPEG Moving Pictures Experts Group

MSB Bit más significativo (most significant bit)

NRZ No retorno a cero (non return to zero)

NT Terminación de red (network termination)

NTSC National Television System Committee

OAM Operaciones, administración y mantenimiento (operations and maintenance)

OAN Red óptica de acceso (optical access network)

ODN Red de distribución óptica (optical distribution network)

OLT Terminación de línea óptica (optical line termination)

OMCC Canal de control y gestión de la ONT (ONT management and control channel)

OMCI Interfaz de control y gestión de la ONT (ONT management and control interface)

ONT Terminación de red óptica (optical network termination)

ONU Unidad de red óptica (optical network unit)

PAL Phase Alternating Une

PHY Physical Layer

PMO Physical Medium Dependent)

PON Red óptica pasiva (passive optical network)

QoS Calidad de servicio (quality of service)

RDSI Red digital de servicios integrados

RDSI-BA Red digital de servicios integrados de banda ancha

RF Radio Frecuencia

RTP Real Time Protocol

RTPC Red telefónica pública conmutada

SDH Jerarquía digital síncrona (synchronous digital hierarchy)

SDSL Línea de abonado digital simple (Single Line Digital Subscriber

SECAM Séquentiel Couleur a Mémoire

SNI Interfaz de nodo de servicio (service node interface)

SOF Start Of Frame

SOTV Standard Definition Television

TC Convergencia de transmisión (transmission convergence)

TDMA Acceso múltiple por división en el tiempo (time division multiple access)

TOM Time-Division Multiplexing

TOMA Time Division Multiple Access

UDSL Universal ADSL.

UNI Interfaz usuario-red (user network interface)

VDSL Línea de abonado digital de muy alta velocidad (Very High Digital Subscriber Line)

VoIP Voz sobre IP

WDM Multiplexación por división en longitud de onda (wavelength division multiplexing)

---

---

## BIBLIGRAFÍA

- Alvear, J. (2011). *Estudio y Diseño de una red de fibra óptica FTTH para brindar servicio de voz, video y datos para la urbanización los Olivos ubicada en el sector Toctesol en la parroquia Borrero de la ciudad de Azogues*. Cuenca, Ecuador.
- Domínguez, M., & Rodríguez, F., & González, J. (2007). *Simulador MPLS para la Innovación Pedagógica en el Área de Ingeniería Telemática*. Extremadura, España.
- Grupo de Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones. (2008). *Oportunidades y Desafíos de la Banda Ancha*. Recuperado de [http://www.gitpa.es/doc/informes/Oportunidades\\_red.es.pdf](http://www.gitpa.es/doc/informes/Oportunidades_red.es.pdf)
- Hilda, P., Sangurima J. (2009). *Diseño de una Red Gpon para la Empresa Eelétrica Regional Centro Sur C.A*. Cuenca, Ecuador.
- Pabón, D. (2009). *Diseño de una red de acceso GPON para proveer servicios triple play (TV, internet y telefonía) en el sector de la Carolina a través de la red del Grupo TVCable, Proyecto de Titulación*. Quito, Ecuador.
- Rodríguez, J. C. (2003). *Curso de Fibra Óptica*. España: Universidad de Oviedo.
- Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de Computadoras* Madrid, España: Editorial Prentice Hall, Séptima Edición.
- Torres, J. (2009). *Análisis y Evaluación Comparada de redes de acceso GPON Y EP2P*. Quito, Ecuador.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2009). *ITU-T/G.652 Characteristics of A Single-Mode Optical Fiber Cable*.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones.(2008). *ITU-T/G.984.1 Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON): General Characteristic*.
- Vera, I. (2005). *Simulación de Redes de Computadores aplicado a docencia*. Recuperado de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r23370.PDF>.

## **FECHA DE ENTREGA DE LA TESIS**

El presente documento fue entregado en la Dirección de Postgrado, reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, 25 de Junio 2013

---

Ing. Luis Mancero Baldeón

AUTOR

---

Ing. Danilo Corral de Witt

Coordinador MRIC