

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE  
INGENIERIA**

“Análisis sistemático de las características y el funcionamiento del simulador  
y emulador de red NCTUns 4.0 en el diseño de redes de datos cableadas e  
inalámbricas”

**Autor**

**Fernando Javier Hernández Mantilla**

**SANGOLQUI – ECUADOR**

**2008**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Proyecto de Grado “ANÁLISIS SISTEMÁTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y EL FUNCIONAMIENTO DEL SIMULADOR Y EMULADOR DE RED NCTUNS 4.0 EN EL DISEÑO DE REDES DE DATOS CABLEADAS E INALÁMBRICAS”, fue realizado en su totalidad por el señor Fernando Javier Hernández Mantilla, portador de la cédula de identidad 171448203-9, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Electrónico con especialidad en Telecomunicaciones, bajo nuestra dirección.

Atentamente,

Ing. Román Lara  
Director

Ing. Gonzalo Olmedo  
Codirector

## RESUMEN

Durante el desarrollo del proyecto de grado se investigó sobre los antecedentes del simulador y emulador NCTUns 4.0 y cuáles fueron las mejoras en relación con las versiones anteriores, se analizó sus características generales y específicas, se investigó como realizar una correcta instalación de este *software* en la distribución *Fedora Core 8* de *Linux* para su correcto funcionamiento. Una vez instalado el NCTUns 4.0 se procedió a analizar sistemáticamente el funcionamiento de cada una de las barras y botones existentes en el *GUI*. Se realizaron pruebas para verificar la configuración y el funcionamiento del NCTUns 4.0 como emulador. Se investigó las características de los principales módulos de protocolo. Se analizaron las bondades de este *software* en el diseño de redes cableadas e inalámbricas (*LAN, MAN, WAN*) al simular distintos tipos de tecnologías. Se observó en las simulaciones eventos como la transferencia de paquetes en tiempo real, y se analizó la información mediante gráficos de desempeño de flujo de tráfico. Mediante el análisis sistemático del NCTUns 4.0 se obtuvo información para el manejo de esta poderosa herramienta para probar diferentes topologías de red permitiendo así facilitar estudios de tráfico, enrutamiento, gestión y rendimiento de las redes actualmente implementadas, como también se podrán realizar estudios sobre los parámetros, propiedades y funcionamiento de distintos tipos de redes.

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme una hermosa familia.

A mis padres por darme la vida, ese apoyo incondicional y por los sabios consejos que me han permitido superar cualquier adversidad, a mi hermana Gabriela por ser la persona que alegra mi vida con su carisma y alegría.

A mi novia Erika por ser el amor de vida y la inspiración para la realización de este proyecto.



## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por brindarme toda la paciencia mientras se realizó el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Román Lara y al Ing. Gonzalo Olmedo quienes supieron guiarme con sus conocimientos para la culminación de este proyecto.

## PROLOGO

El estudio del simulador y emulador de red NCTUns 4.0 brindará conocimientos para simular varios protocolos usados en redes IP cableadas e inalámbricas.

Las simulaciones hechas con esta herramienta, cuentan con características muy especiales, ya que NCTUns simula en tiempo real y con una interfaz similar a la de los sistemas reales, lo cual permite familiarizar más al usuario con el manejo del diseño, configuración e implementación de aplicaciones en redes de comunicaciones.

El estudio y análisis de este programa beneficiará a los usuarios ya que tendrán el potencial de simular redes tan complejas como las redes GPRS, satelitales y ópticas, así como dispondrán de recursos para el manejo y estudio de sistemas de radiofrecuencia y permitirá obtener mediciones para establecer niveles de calidad de servicio (*QoS*) de las señales irradiadas.

NCTUns brinda al usuario la facilidad de ser usado como un emulador, cuando se desee desarrollar funciones de desempeño de un host real y ver cómo se comportaría bajo diferentes tipos de condiciones de red sin modificar su protocolo interno. Esto quiere decir que NCTUns tiene la posibilidad de emular un dispositivo de red del mundo real en su entorno gráfico e interconectarlo con dispositivos simulados o virtuales, para intercambiar paquetes y así obtener resultados que facilitarán al análisis y al futuro diseño e implementación de una red de datos.

El proyecto de grado tiene en el capítulo I conceptos generales para aprender a usar el simulador NCTUns 4.0 en los distintos modos de operación, como también existen partes de este capítulo que se enfocan en el uso del NCTUns 4.0 como emulador, análisis de protocolos y de redes *QoS DiffServ*. En el capítulo II se analizan redes en malla 802.11b, redes *QoS* 802.11e, redes *Wimax* 802.16d y *MANET*. En el capítulo III se analizan redes ópticas y redes satelitales *DVB-RCS*. En el capítulo IV se analizan redes *GPRS*. En el capítulo V se analizan *ITS* (Sistema de Transporte Inteligente) y nodos móviles multi-interfaces. En el capítulo VI se realizan simulaciones de las tecnologías estudiadas.

## INDICE DE CONTENIDO

|   |     |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 19  |
| 1.1 ANTECEDENTES .....  | 19  |
| 1.2 CARACTERÍSTICAS .....   | 20  |
| WIRELESS LAN/MAN .....  | 26  |
| 2.1 REDES EN MALLA WIRELESS 802.11(b) .....   | 26  |
| 2.1.1 Configuración de una red en malla inalámbrica .....                               | 26  |
| 2.2 Redes QoS IEEE 802.11(e) .....  | 30  |
| 2.2.1 Configuración de una red QoS IEEE 802.11(e) .....                                 | 31  |
| 2.3 REDES WIMAX IEEE 802.16d .....  | 35  |
| 2.3.1 Modo malla IEEE 802.16(d) .....   | 35  |
| 2.3.2 Modo PMP IEEE 802.16d .....   | 43  |
| 2.4 MANET Táctica y Activa .....  | 51  |
| 2.4.1 Simulación MANET Táctico .....  | 52  |
| 2.4.2 Ambiente de Simulación .....  | 54  |
| WIDE AREA NETWORK (WAN) .....   | 58  |
| 3.1 REDES ÓPTICAS .....   | 58  |
| 3.1.1 Red Óptica de Conmutación de Circuitos .....                                      | 60  |
| 3.1.2 Conmutación Óptica de Ráfagas (OBS) .....   | 67  |
| 3.2 REDES SATELITALES DVB-RCS .....   | 74  |
| 3.2.1 Nodos de Red .....  | 74  |
| 3.2.2 Formación de Subredes .....   | 76  |
| 3.2.3 Asignación del canal .....  | 77  |
| 3.2.4 Entramamiento de canal del enlace de retorno .....                                | 81  |
| 3.2.5 Agrupamiento RCST .....   | 84  |
| 3.2.6 Asignación de la capacidad de canal .....   | 85  |
| 3.2.7 Asignación de ancho de banda RCST .....   | 89  |
| 3.2.8 Pila de Protocolo .....   | 93  |
| 3.2.9 Configuraciones de antena y desvanecimiento por lluvia ( <i>rain fade</i> ) ..... | 96  |
| 3.3 Antenas Direccionales .....   | 102 |
| 3.3.1 Módulos WPHY y AWPY .....   | 104 |
| 3.3.2 Ejemplo de una antena direccional .....   | 106 |
| TELEFONÍA MÓVIL .....   | 109 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1 REDES GPRS .....  | 109 |
| 4.1.1 Arquitectura de red GPRS .....                                  | 110 |
| 4.1.2 Pila de protocolo GPRS.....                                     | 111 |
| 4.1.3 Formar una subred inalámbrica .....                             | 112 |
| 4.1.4 Insertando estaciones base y teléfonos.....                     | 114 |
| 4.1.5 Escogiendo un GGSN saliente .....                               | 116 |
| 4.1.6 Configuración del teléfono y estación base .....                | 117 |
| 4.1.7 Pila de protocolo .....   | 121 |
| 4.1.8 Módulos de protocolo.....                                       | 123 |
| <i>ITS</i> Y NODOS MÓVILES MULTI-INTERFACES .....                     | 126 |
| 5.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE .....                          | 126 |
| 5.1.1 Construcción de la red de carreteras .....                      | 126 |
| 5.1.2 Inserción y ubicación de un carro <i>ITS</i> .....              | 127 |
| 5.1.3 Especificación de perfil de carro .....                         | 128 |
| 5.1.4 Programas agentes.....  | 131 |
| 5.2 NODOS MÓVILES MULTI-INTERFACES.....                               | 132 |
| 5.2.1 Agregando y configurando nodos móviles multi-interfaz.....      | 133 |
| 5.2.2 Explotando múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas ..... | 135 |
| SIMULACIONES.....   | 137 |
| 6.1 REDES EN MALLA 802.11b.....                                       | 137 |
| 6.1.1 Configuración de la simulación .....                            | 137 |
| 6.1.2 Análisis de resultados.....                                     | 140 |
| 6.2 REDES QoS 802.11e .....   | 146 |
| 6.2.1 Configuración de la simulación .....                            | 146 |
| 6.2.2 Análisis de Resultados .....                                    | 151 |
| 6.3 REDES WIMAX .....   | 153 |
| 6.3.1 Configuración de la simulación .....                            | 153 |
| 6.3.2 Análisis de resultados.....                                     | 155 |
| 6.4 REDES AD HOC.....   | 160 |
| 6.4.1 Configuración de la simulación .....                            | 160 |
| 6.4.2 Resultados del rendimiento del AODV, DSR Y DSDV.....            | 164 |
| 6.5 REDES OBS.....  | 168 |
| 6.5.1 Configuración de la simulación .....                            | 168 |
| 6.5.2 Análisis de Resultados.....                                     | 173 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.6 REDES SATELITALES .....                | 176 |
| 6.6.1 Configuración de la simulación ..... | 176 |
| 6.6.2 Análisis de Resultados .....         | 184 |
| 6.7 REDES GRPS .....                       | 191 |
| 6.7.1 Configuración de la simulación ..... | 191 |
| 6.7.2 Análisis de resultados.....          | 195 |
| 6.8 REDES ITS.....                         | 198 |
| 6.8.1 Configuración de la simulación ..... | 198 |
| 6.8.2 Análisis de resultados.....          | 205 |
| CONCLUSIONES .....                         | 208 |
| RECOMENDACIONES .....                      | 208 |
| REFERENCIAS .....                          | 211 |
| BIBLIOGRAFIA .....                         | 212 |
| ANEXOS .....                               | 213 |
| A1 .....                                   | 213 |
| A2 .....                                   | 337 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura. 1. 1. Ocho componentes para la ejecución.....  | 24 |
| Figura. 1. 2. Arquitectura distribuida del NCTUns.....   | 25 |
| Figura. 2. 1. Insertar múltiples puntos de acceso .....  | 27 |
| Figura. 2. 2. Canal de Frecuencia.....   | 28 |
| Figura. 2. 3. Pila de protocolo de un punto de acceso <i>OSPF</i> .....                                  | 29 |
| Figura. 2. 4. Cuadro del diálogo del módulo <i>MeshOSPF</i> .....  | 29 |
| Figura. 2. 5. Pila de protocolo de un punto de acceso <i>STP</i> .....                                   | 30 |
| Figura. 2. 6. Cuadro del diálogo del módulo <i>MeshSW</i> .....  | 30 |
| Figura. 2. 7. Prioridad <i>QoS</i> para el nodo móvil.....   | 31 |
| Figura. 2. 8. Insertar varios nodos móviles 802.11(e).....   | 32 |
| Figura. 2. 9. Configuración de aplicaciones con parámetros <i>QoS</i> .....                              | 33 |
| Figura. 2. 10. Pila de protocolo de un nodo móvil 802.11e .....  | 34 |
| Figura. 2. 11. Pila de protocolo de un punto de acceso 802.11e .....                                     | 35 |
| Figura. 2. 12. Red en malla IEEE 802.16d.....  | 37 |
| Figura. 2. 13. Insertar nodos en malla IEEE 802.16d .....  | 38 |
| Figura. 2. 14. Nodos escogidos para una subred.....  | 38 |
| Figura. 2. 15. Administrar una subred 802.16d.....   | 39 |
| Figura. 2. 16. Especificar un <i>gateway</i> para una subred.....  | 39 |
| Figura. 2. 17. Subred origen.....  | 40 |
| Figura. 2. 18. Subred destino.....   | 40 |
| Figura. 2. 19. ID de <i>gateway</i> .....  | 40 |
| Figura. 2. 20. Rango de transmisión máxima 802.16d.....  | 41 |
| Figura. 2. 21. Pila de protocolo de un nodo <i>mesh BS</i> .....   | 41 |
| Figura. 2. 22. Pilas de protocolo de nodos de malla IEEE 802.16d.....                                    | 42 |
| Figura. 2. 23. Red IEEE 802.16d PMP .....  | 44 |
| Figura. 2. 24. Insertar nodos PMP IEEE 802.16(d) .....   | 45 |
| Figura. 2. 25. Nodos escogidos para una subred.....  | 46 |
| Figura. 2. 26. Administración de una subred .....  | 46 |
| Figura. 2. 27. Especificar un <i>gateway</i> para una subred.....  | 46 |
| Figura. 2. 28. Subred origen.....  | 47 |
| Figura. 2. 29. Subred destino.....   | 47 |
| Figura. 2. 30. ID de <i>gateway</i> .....  | 47 |
| Figura. 2. 31. Rango de transmisión máximo 802.16d.....  | 48 |
| Figura. 2. 32. Tasas sostenidas para nodos <i>SS PMP IEEE 802.16e</i> .....                              | 48 |
| Figura. 2. 33. Pila de protocolo de un nodo <i>PMP BS</i> .....  | 49 |
| Figura. 2. 34. Pilas de protocolo de nodos PMP 802.16d .....   | 49 |
| Figura. 2. 35. Principios de diseño del NCTUns para soportar simulaciones MANET tácticos y activos ..... | 52 |
| Figura. 2. 36. Atributos del campo de simulación.....  | 54 |
| Figura. 2. 37. Propiedades de un obstáculo.....  | 55 |
| Figura. 2. 38. Especificación del agente táctico .....   | 56 |
| Figura. 2. 39. Configuración de la simulación .....  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Figura. 3. 1. Número de canales por enlace óptico .....   | 59 |
| Figura. 3. 2. Especificación del canal.....   | 59 |
| Figura. 3. 3. Cuadro de diálogo del canal.....  | 60 |
| Figura. 3. 4. Red óptica de conmutación de circuitos .....  | 60 |
| Figura. 3. 5. Esquema de protección <i>2F-BLSR</i> .....  | 61 |
| Figura. 3. 6. Primer anillo de protección <i>2F-BLSR</i> .....  | 62 |
| Figura. 3. 7. Segundo anillo de protección <i>2F-BLSR</i> .....   | 63 |
| Figura. 3. 8. Tercer anillo de protección <i>2F-BLSR</i> .....  | 63 |
| Figura. 3. 9. Arreglo correcto de una ruta de luz.....  | 65 |
| Figura. 3. 10. Arreglo incorrecto de una ruta de luz .....  | 66 |
| Figura. 3. 11. Administración de los anillos de protección y rutas de luz.....                              | 67 |
| Figura. 3. 12. Mecanismo de una red OBS .....   | 68 |
| Figura. 3. 13. Red OBS .....  | 70 |
| Figura. 3. 14. Pila de protocolo de un <i>switch</i> óptico de ráfagas .....                                | 72 |
| Figura. 3. 15. Cuadro de diálogo del módulo OPT_OBSW .....  | 72 |
| Figura. 3. 16. Pila de protocolo de un <i>router</i> óptico de borde.....                                   | 73 |
| Figura. 3. 17. Cuadro de diálogo del módulo OPT_OBWA .....  | 73 |
| Figura. 3. 18. Nodos en una red <i>DVB-RCST</i> .....   | 74 |
| Figura. 3. 19 Red <i>DVB-RCST</i> .....   | 75 |
| Figura. 3. 20. Altitud del satélite.....  | 75 |
| Figura. 3. 21. Operación <i>Form Subnet</i> .....   | 76 |
| Figura. 3. 22. Nodos escogidos para una subred .....  | 77 |
| Figura. 3. 23. Subredes <i>DVB-RCS</i> .....  | 77 |
| Figura. 3. 24. Asignación de canales en el <i>forward link</i> .....  | 78 |
| Figura. 3. 25. Frecuencias centrales para los canales <i>forward uplink</i> y <i>forward downlink</i> ..... | 78 |
| Figura. 3. 26. Asignación de canales en el <i>return link</i> .....   | 79 |
| Figura. 3. 27. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Return link arrangement</i> .....                         | 80 |
| Figura. 3. 28. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Return link frequency</i> .....                           | 80 |
| Figura. 3. 29. Estructura de entramamiento aplicada a un canal del enlace de retorno.....                   | 81 |
| Figura. 3. 30. Composición de un <i>timeslot</i> .....  | 81 |
| Figura. 3. 31. Configuración de los valores de un <i>timeslot</i> .....                                     | 82 |
| Figura. 3. 32. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Return link capacity</i> .....                            | 83 |
| Figura. 3. 33. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Grouping</i> .....  | 84 |
| Figura. 3. 34. ID de grupo .....  | 85 |
| Figura. 3. 35. Asociamiento del ID de grupo con el ID de supertrama.....                                    | 85 |
| Figura. 3. 36. Asignación de la capacidad de canal en la pestaña <i>Return link capacity</i> .....          | 86 |
| Figura. 3. 37. Capacidad restante de cada canal.....  | 86 |
| Figura. 3. 38. Asignaciones de capacidad .....  | 87 |
| Figura. 3. 39. Capacidades máximas para los flujos de tráfico .....   | 88 |
| Figura. 3. 40. Opción <i>Use Free Capacity Assignment</i> .....   | 88 |
| Figura. 3. 41. Clasificación del flujo del tráfico saliente .....   | 89 |
| Figura. 3. 42. Cuadro de diálogo de un nodo <i>RCST</i> .....   | 90 |
| Figura. 3. 43. Definición del flujo de tráfico.....   | 90 |
| Figura. 3. 44. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>RCST Bandwidth Allocation</i> .....                       | 91 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura. 3. 45. Prioridad de transmisión RT .....  | 92  |
| Figura. 3. 46. Prioridad de transmisión VR_RT.....  | 92  |
| Figura. 3. 47. Prioridad de transmisión VR_JT.....  | 93  |
| Figura. 3. 48. Prioridad de transmisión JT .....  | 93  |
| Figura. 3. 49. Pila de protocolo de un nodo <i>NCC</i> .....  | 94  |
| Figura. 3. 50. Pila de protocolo de un nodo <i>SP</i> .....   | 94  |
| Figura. 3. 51. Pila de protocolo de un nodo <i>Feeder</i> .....                                     | 95  |
| Figura. 3. 52. Pila de protocolo de un nodo <i>TG</i> .....   | 95  |
| Figura. 3. 53. Pila de protocolo de un nodo <i>Satellite</i> .....                                  | 95  |
| Figura. 3. 54. Pila de protocolo de un nodo <i>RCST</i> .....                                       | 96  |
| Figura. 3. 55. Parámetros para el enlace de salida .....  | 97  |
| Figura. 3. 56. Cuadro de diálogo del módulo <i>DVB_S2_FEEDER</i> .....                              | 97  |
| Figura. 3. 57. Mapa de la tasa de lluvia.....   | 98  |
| Figura. 3. 58. Cuadro de diálogo del módulo <i>DVB_S2_SAT</i> .....                                 | 99  |
| Figura. 3. 59. Cuadro de diálogo del módulo <i>DVB_S2_RCST</i> .....                                | 99  |
| Figura. 3. 60. Parámetros para el enlace de retorno .....   | 100 |
| Figura. 3. 61. Cuadro de diálogo del módulo <i>DVB_RCS_RCST</i> .....                               | 101 |
| Figura. 3. 62. Cuadro de diálogo del módulo <i>DVB_S2_SAT</i> .....                                 | 101 |
| Figura. 3. 63. Cuadro de diálogo del módulo <i>DVB_RCS_GW</i> .....                                 | 102 |
| Figura. 3. 64. Tipos de antenas.....  | 103 |
| Figura. 3. 65. Valores por defecto de una antena .....  | 104 |
| Figura. 3. 66. Rango de transmisión de antenas que usan el módulo <i>WPHY</i> .....                 | 105 |
| Figura. 3. 67. Rango de transmisión de antenas que usan el módulo <i>AWPHY</i> .....                | 106 |
| Figura. 3. 68. Sistemas de coordenadas y el <i>pointing direction</i> .....                         | 107 |
| Figura. 3. 69. Dos nodos móviles usando antenas direccionales.....                                  | 108 |
|   |     |
| Figura. 4. 1. Arquitectura de la red GPRS.....  | 110 |
| Figura. 4. 2. Pilas de protocolo usados en dispositivos <i>GPRS</i> .....                           | 111 |
| Figura. 4. 3. Caso de simulación <i>GPRS</i> .....  | 113 |
| Figura. 4. 4. Administrar subredes <i>GPRS</i> .....  | 114 |
| Figura. 4. 5. Insertar teléfonos <i>GPRS</i> .....  | 115 |
| Figura. 4. 6. Insertar estaciones base <i>GPRS</i> .....  | 116 |
| Figura. 4. 7. Red <i>GPRS</i> con tres <i>GGSNs</i> .....   | 116 |
| Figura. 4. 8. Asociación entre <i>NSAPI</i> , nivel <i>QoS</i> y <i>GGSN</i> saliente .....         | 117 |
| Figura. 4. 9. Cuadros de diálogo del teléfono <i>GPRS</i> .....                                     | 118 |
| Figura. 4. 10. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Frequency channel</i> de la estación base.....    | 119 |
| Figura. 4. 11. Asignación del canal de frecuencia en la estación base.....                          | 120 |
| Figura. 4. 12. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Channel slot</i> de la estación base .....        | 120 |
| Figura. 4. 13. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Neighborhood radius</i> de la estación base ..... | 121 |
| Figura. 4. 14. Pila de protocolo del teléfono <i>GPRS</i> .....                                     | 121 |
| Figura. 4. 15. Pila de protocolo de la estación base <i>GPRS</i> .....                              | 122 |
| Figura. 4. 16. Pila de protocolo del <i>SGSN</i> .....  | 122 |
| Figura. 4. 17. Pila de protocolo del <i>GGSN</i> .....  | 123 |
| Figura. 4. 18. Módulo de protocolo <i>RadioLink</i> .....   | 124 |
| Figura. 4. 19. Módulo de protocolo <i>BTSMAC</i> .....  | 125 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura. 5. 1. Clases de carreteras.....   | 126 |
| Figura. 5. 2. Red de carreteras.....  | 127 |
| Figura. 5. 3. Tipos de carros <i>ITS</i> .....  | 127 |
| Figura. 5. 4. Insertar un número grande de carros <i>ITS</i> .....  | 128 |
| Figura. 5. 5. Asociación de carros <i>ITS</i> a perfiles de carros .....                                      | 129 |
| Figura. 5. 6. Perfil de carro <i>ITS</i> .....  | 130 |
| Figura. 5. 7. Cambio de perfil de un carro <i>ITS</i> .....   | 130 |
| Figura. 5. 8. Selección del perfil de carro <i>ITS</i> .....  | 131 |
| Figura. 5. 9. Movimiento de un nodo multi-interfaz y de un carro <i>ITS</i> multi-interfaz.....               | 133 |
| Figura. 5. 10. Insertando nodos móviles multi-interfaz .....  | 133 |
| Figura. 5. 11. Insertando carros <i>ITS</i> multi-interfaz .....  | 134 |
| Figura. 5. 12. Pestaña <i>Application</i> en el cuadro de diálogo de un carro <i>ITS</i> multi-interfaz ..... | 134 |
| Figura. 5. 13. Pestaña <i>Path</i> en el cuadro de diálogo de un carro <i>ITS</i> multi-interfaz .....        | 135 |
| Figura. 5. 14. Múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas .....   | 136 |
|   |     |
| Figura. 6. 1. Ingreso de puntos de acceso en malla .....  | 137 |
| Figura. 6. 2. Topología de red simulada.....  | 138 |
| Figura. 6. 3. Nodos escogidos para la subred.....   | 138 |
| Figura. 6. 4. Habilitar <i>ETX</i> en el módulo <i>MeshOSPF</i> del punto de acceso.....                      | 139 |
| Figura. 6. 5. Pila de protocolo del punto de acceso OSPF .....  | 139 |
| Figura. 6. 6. <i>Host</i> inalámbrico con ID 29.....  | 140 |
| Figura. 6. 7. <i>Host</i> con ID 28.....  | 140 |
| Figura. 6. 8. Habilitación del <i>Log Packet Statistics</i> en el nodo transmisor.....                        | 141 |
| Figura. 6. 9. Habilitación del <i>Log Packet Statistics</i> en el nodo receptor.....                          | 141 |
| Figura. 6. 10. Flujo de tráfico (a) .....   | 142 |
| Figura. 6. 11. Flujo de tráfico (b).....  | 142 |
| Figura. 6. 12. Flujo de tráfico (c) .....   | 143 |
| Figura. 6. 13. Flujo de tráfico (d).....  | 143 |
| Figura. 6. 14. Flujo de tráfico (e) .....   | 144 |
| Figura. 6. 15. Throughput (KB/seg) de paquetes salientes en el nodo con ID 29.....                            | 144 |
| Figura. 6. 16. Throughput (KB/seg) de paquetes entrantes en el nodo con ID 28 .....                           | 145 |
| Figura. 6. 17. Insertar nodos móviles 802.16(e).....  | 147 |
| Figura. 6. 18. Topología final.....   | 147 |
| Figura. 6. 19. Configuración en el <i>host</i> con ID 1 .....   | 148 |
| Figura. 6. 20. Configuración en el <i>host</i> con ID 3 .....   | 148 |
| Figura. 6. 21. Configuración en el <i>host</i> con ID 4.....  | 149 |
| Figura. 6. 22. Configuración en el <i>host</i> con ID 5 .....   | 149 |
| Figura. 6. 23. Configuración en el <i>host</i> con ID 6.....  | 150 |
| Figura. 6. 24. Configuración en el <i>host</i> con ID 7 .....   | 150 |
| Figura. 6. 25. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el nodo con ID 3 .....   | 151 |
| Figura. 6. 26. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el nodo con ID 4 .....   | 151 |
| Figura. 6. 27. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el nodo con ID 5 .....   | 151 |
| Figura. 6. 28. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el nodo con ID 6 .....   | 151 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura. 6. 29. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el nodo con ID 7 .....  | 152 |
| Figura. 6. 30. Comparación entre <i>hosts</i> .....  | 152 |
| Figura. 6. 31. Red <i>Wimax PMP</i> .....  | 153 |
| Figura. 6. 32. Enlace entre el <i>host</i> con ID 4 y el <i>SS gateway PMP</i> con ID 2.....   | 153 |
| Figura. 6. 33. Tasas sostenidas en la estación base .....  | 154 |
| Figura. 6. 34. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el <i>host</i> transmisor con ID 4.....   | 155 |
| Figura. 6. 35. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el <i>host</i> receptor con ID 6.....   | 155 |
| Figura. 6. 36. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el <i>host receptor</i> con ID 7 .....  | 156 |
| Figura. 6. 37. Comparación entre la transmisión y recepción.....   | 156 |
| Figura. 6. 38. Archivo <i>Log1</i> .....   | 157 |
| Figura. 6. 39. Archivo <i>Log2</i> .....   | 157 |
| Figura. 6. 40. Flujo de tráfico durante la conexión 1 .....  | 158 |
| Figura. 6. 41. Flujo de tráfico durante la conexión 2 .....  | 158 |
| Figura. 6. 42. Insertar estaciones móviles .....   | 161 |
| Figura. 6. 43. Reemplazo del módulo <i>GOD</i> .....   | 161 |
| Figura. 6. 44. Generación de movimientos aleatorios.....   | 162 |
| Figura. 6. 45. Nodo transmisor y nodo receptor.....  | 162 |
| Figura. 6. 46. Nodo transmisor.....  | 163 |
| Figura. 6. 47. Nodo receptor .....   | 164 |
| Figura. 6. 48. Habilitación del <i>Log Packet Statistics</i> .....   | 165 |
| Figura. 6. 49. Número de paquetes descartados .....  | 165 |
| Figura. 6. 50. Archivo <i>Log</i> .....  | 166 |
| Figura. 6. 51. Archivo <i>Log1</i> .....   | 166 |
| Figura. 6. 52. Comparación del rendimiento de protocolos en términos de <i>dropped packets</i> .....   | 167 |
| Figura. 6. 53. Comparación del rendimiento de protocolos en términos de <i>End-to-End Delay</i> .....  | 167 |
| Figura. 6. 54. Ruta óptica entre los <i>routers</i> 18 y 16.....   | 168 |
| Figura. 6. 55. Ruta óptica entre los <i>routers</i> 21 y 20.....   | 169 |
| Figura. 6. 56. Configuración del nodo transmisor con ID 19.....  | 169 |
| Figura. 6. 57. Configuración del nodo receptor con ID 22 .....   | 170 |
| Figura. 6. 58. Configuración del nodo transmisor con ID 21.....  | 170 |
| Figura. 6. 59. Configuración del nodo receptor con ID 20 .....   | 171 |
| Figura. 6. 60. Flujo de tráfico en la conexión 1.....  | 172 |
| Figura. 6. 61. Flujo de tráfico en la conexión 2.....  | 172 |
| Figura. 6. 62. Pila de protocolo de un <i>switch</i> óptico de ráfagas .....   | 173 |
| Figura. 6. 63. Cuadro de diálogo del módulo <i>OPT_OBSW</i> .....  | 174 |
| Figura. 6. 64. Archivo <i>.ptr</i> .....   | 174 |
| Figura. 6. 65. Comparación de las tres situaciones .....   | 175 |
| Figura. 6. 66. Red Satelital.....  | 176 |
| Figura. 6. 67. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Grouping</i> del <i>NCC</i> .....  | 177 |
| Figura. 6. 68. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Return link capacity</i> del <i>NCC</i> .....  | 177 |
| Figura. 6. 69. Capacidad restante del canal.....   | 178 |
| Figura. 6. 70. Capacidad asignada a cada categoría.....  | 178 |
| Figura. 6. 71. Asignación de capacidad para cada categoría de pedido <i>RCST</i> .....   | 178 |
| Figura. 6. 72. Asignación de ancho de banda <i>RCST</i> en el cuadro de diálogo de la pestaña <i>RCST Bandwidth Allocation</i> del <i>RCST</i> ..... | 179 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura. 6. 73. Prioridad de transmisión <i>RT</i> .....   | 179 |
| Figura. 6. 74. Prioridad de transmisión <i>VR_RT</i> .....  | 180 |
| Figura. 6. 75. Prioridad de transmisión <i>VR_JT</i> .....  | 180 |
| Figura. 6. 76. Asociación de los flujos de tráfico con las colas correspondientes .....                 | 181 |
| Figura. 6. 77. Flujo de tráfico.....  | 181 |
| Figura. 6. 78. Configuración en el nodo transmisor (a) .....  | 182 |
| Figura. 6. 79. Configuración en el nodo transmisor (b) .....  | 182 |
| Figura. 6. 80. Configuración en el nodo transmisor (c) .....  | 182 |
| Figura. 6. 81. Configuración en el nodo transmisor (d) .....  | 182 |
| Figura. 6. 82. Configuración en el nodo receptor (a) .....  | 183 |
| Figura. 6. 83. Configuración en el nodo receptor (b) .....  | 183 |
| Figura. 6. 84. Configuración en el nodo receptor (c) .....  | 183 |
| Figura. 6. 85. Configuración en el nodo receptor (d).....   | 183 |
| Figura. 6. 86. Habilitación del <i>Log Packet Statistics</i> en el nodo transmisor.....                 | 184 |
| Figura. 6. 87. Habilitación del <i>Log Packet Statistics</i> en el nodo receptor.....                   | 184 |
| Figura. 6. 88. Flujo de tráfico en la red.....  | 185 |
| Figura. 6. 89. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el nodo transmisor .....                                   | 185 |
| Figura. 6. 90. <i>Throughput</i> (KB/seg) en el nodo receptor .....                                     | 186 |
| Figura. 6. 91. Comparación entre nodo transmisor y receptor .....                                       | 186 |
| Figura. 6. 92. Archivo <i>udp.XXX.log</i> .....   | 187 |
| Figura. 6. 93. Archivo <i>udp.XXX.delay</i> .....   | 187 |
| Figura. 6. 94. Programa <i>more</i> .....   | 188 |
| Figura. 6. 95. <i>Command Console</i> .....   | 189 |
| Figura. 6. 96. <i>Coordinator</i> .....   | 189 |
| Figura. 6. 97. Red <i>GPRS</i> .....  | 191 |
| Figura. 6. 98. Canales usados por una estación base.....  | 191 |
| Figura. 6. 99. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Frecuency cannel</i> de la estación base con ID 1 ... | 192 |
| Figura. 6. 100. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Frecuency cannel</i> de la estación base con ID 2 .  | 192 |
| Figura. 6. 101. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Neighborhood radius</i> de la estación base con ID 1 | 193 |
| .....   |     |
| Figura. 6. 102. Cuadro de diálogo de la pestaña <i>Neighborhood radius</i> de la estación base con ID 2 | 193 |
| .....   |     |
| Figura. 6. 103. Configuración del teléfono <i>GPRS</i> con ID 8.....                                    | 194 |
| Figura. 6. 104. Configuración del teléfono <i>GPRS</i> con ID 11.....                                   | 194 |
| Figura. 6. 105. <i>Throughput</i> (KB/seg) de la conexión 1.....  | 195 |
| Figura. 6. 106. <i>Throughput</i> (KB/seg) de la conexión 2.....  | 195 |
| Figura. 6. 107. Archivo <i>.ptr</i> .....   | 196 |
| Figura. 6. 108. Diseño de la red de carreteras .....  | 198 |
| Figura. 6. 109. Red de carreteras terminada.....  | 199 |
| Figura. 6. 110. Ingreso de carros <i>ITS</i> .....  | 199 |
| Figura. 6. 111. Red de carreteras con carros <i>ITS</i> .....   | 200 |
| Figura. 6. 112. Configuración de perfil de carro .....  | 200 |
| Figura. 6. 113. Tabla de asociación carro – perfil.....   | 201 |
| Figura. 6. 114. Selección de perfil .....   | 201 |
| Figura. 6. 115. Configuración del carro <i>ITS</i> con ID 14.....                                       | 202 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura. 6. 116. Configuración del carro <i>ITS</i> con ID 12..... | 202 |
| Figura. 6. 117. Configuración del carro <i>ITS</i> con ID 13..... | 202 |
| Figura. 6. 118. Configuración del carro <i>ITS</i> con ID 6.....  | 202 |
| Figura. 6. 119. Configuración del carro <i>ITS</i> con ID 11..... | 203 |
| Figura. 6. 120. Configuración del carro <i>ITS</i> con ID 7.....  | 203 |
| Figura. 6. 121. Configuración del carro <i>ITS</i> con ID 8.....  | 203 |
| Figura. 6. 122. Configuración del carro <i>ITS</i> con ID 10..... | 203 |
| Figura. 6. 123. Pila de protocolo del carro <i>ITS</i> .....      | 205 |
| Figura. 6. 124. Cuadro de diálogo de un carro <i>ITS</i> .....    | 205 |
| Figura. 6. 125. Simulación después de 49 segundos .....           | 206 |
| Figura. 6. 126. Visualización de un carro <i>ITS</i> .....        | 207 |

## GLOSARIO

| SIGLA          | ESPAÑOL   | INGLES   |
|----------------|---|--|
| <i>2F-BLSR</i> | 2 anillos de fibra bidireccionales                        | <i>2 fiber bidireccional line switched ring</i>                  |
| <i>4F-BLSR</i> | 4 anillos de fibra bidireccionales                        | <i>4 fiber bidireccional line switched ring</i>                  |
| ACK            | acuse de recibo   | ACKNOWLEDGEMENT  |
| <i>AF</i>      | Envío asegurado   | <i>Assured Forwarding</i>  |
| API            | Interfaz de Programación de Aplicaciones                  | Application Programming Interface                                |
| ARP            | Protocolo de resolución de direcciones                    | Address Resolution Protocol                                      |
| ATM            | Modo de Transferencia Asíncrona                           | Asynchronous Transfer Mode                                       |
| AVBDC          | volumen absoluto basado en capacidad dinámica             | <i>Absolute Volume Based Dynamic Capacity</i>                    |
| <i>BE</i>      | Mejor esfuerzo  | <i>best effort</i>   |
| BER            | Tasa de error de bit                                      | bit error ratio  |
| <i>BS</i>      | Estación base   | <i>base station</i>  |
| <i>BSIC</i>    | Código de identidad de estación base                      | <i>Base Station Identity Code</i>                                |
| <i>CD</i>      | Detección de Colisiones                                   | Collision Detection  |
| <i>CPU</i>     | unidad central de procesamiento                           | Central Processing Unit  |
| CRA            | Asignación de tasa continua                               | <i>Continuous Rate Assignment</i>                                |
| <i>CSMA</i>    | Acceso Múltiple con Sensado de Portadora                  | Carrier Sense Multiple Access                                    |
| <i>DS</i>      | Servicios diferenciados                                   | <i>DiffServ</i>  |
| DVB-RCS        | Difusión de video digital - Canal de retorno via satélite | <i>Digital Video Broadcasting – Return Channel Via Satellite</i> |
| <i>EF</i>      | Envío acelerado   | <i>Expedited Forwarding</i>                                      |
| <i>ETX</i>     | Cuenta de transmisión esperada                            | <i>Expected Transmission count</i>                               |
| FBWA           | Fixed broadband wireless access systems                   | acceso inalámbrico de banda ancha fija                           |
| FCA            | Asignación libre de capacidad                             | <i>Free Capacity Assignment</i>                                  |
| FCS            | Sistema de combate futuro                                 | <i>Future Combat System</i>                                      |
| FIFO           | primero en entrar, primero en salir                       | First In, First Out  |
| <i>FTP</i>     | Protocolo de transferencia de archivos                    | File Transfer Protocol   |
| GGSN           | Puerta de salida de los nodos GPRS                        | <i>gateway GPRS support nodes</i>                                |
| GPRS           | Servicio de radio de paquete general                      | <i>General packet radio service</i>                              |
| GSM            | Sistema global para comunicaciones móviles                | Global System for Mobile communications                          |
| GUI            | Interfaz gráfico de usuario                               | graphical user interface   |
| <i>HTTP</i>    | Protocolo de tranferencia de Hiper texto                  | HyperText Transfer Protocol                                      |
| ID             | Identificación  | Identification   |
| IP             | Protocolo de internet                                     | Internet protocol  |
| IPC            | Comunicación inter proceso                                | Inter-Process Communication                                      |
| <i>ITS</i>     | Sistemas de transporte inteligente                        | intelligent transportation systems                               |
| JT             | Tolerante al <i>jitter</i>                                | <i>Jitter Tolerant</i>   |
| KB/seg         | Kilobytes por segundo                                     | Kilobytes per second   |
| Kbps           | Kilobits por segundo                                      | Kilobits per second  |
| <i>LDPC</i>    | Densidad baja Código de chequeo de paridad                | <i>Low-Density Parity-Check code</i>                             |
| <i>MAC</i>     | control de acceso al medio                                | <i>Medium Access Control</i>                                     |
| MANET          | Redes móviles ad hoc                                      | Mobile and Ad hoc NETWORKS                                       |
| <i>MBL</i>     | Máxima longitud de ráfaga                                 | <i>Maximum Burst Length</i>                                      |
| <i>MDR</i>     | Máxima tasa de paquetes descartados                       | <i>maximum packet drop rate</i>                                  |

|               |  |  |
|---------------|--|--|
| NAT           | Traducción de Dirección de Red                       | Network Address Translation                          |
| NCC           | Centro de control de red DVB-RCST                    | Terminal satelital de retorno de canal               |
| <i>NCC</i>    | Centro de control de red                             | <i>Network Control Center</i>                        |
| NCTUns        | Universidad Nacional Chiao Tung                      | National Chiao Tung University                       |
| <i>NSAPI</i>  | Servicio de red identificador de punto de acceso     | <i>Network Service Access Point Identifier</i>       |
| OBS           | Optical Burst Switching                              | Conmutación óptica de ráfagas                        |
| OFDMA         | Orthogonal Frequency-Division Multiple Access        | Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal |
| <i>OSPF</i>   | Primero la ruta más corta                            | Open Shortest Path First                             |
| P2P           | de punto a punto                                     | peer to peer   |
| <i>PDP</i>    | Protocolo de datod de paquete                        | <i>Packet Data Protocol</i>                          |
| <i>PHB</i>    | Comportamiento por salto                             | <i>per-hop behavior</i>                              |
| PMP           | Punto Multipunto                                     | Point to multipoint                                  |
| <i>QoS</i>    | Calidad de servicio                                  | Quality of Service                                   |
| QPSK          | cambio de fase de cuadratura Keying                  | Quaternary Phase Shift Keying                        |
| RBDC          | Tasa basada en capacidad dinámica                    | <i>Rate Based Dynamic Capacity</i>                   |
| RCST          | Terminal satelital de canal de retorno               | Return Channel Satellite Terminal                    |
| <i>RIP</i>    | Protocolo de encaminamiento de información           | Routing Information Protocol                         |
| RO            | optimización de ruta                                 | <i>Route Optimization</i>                            |
| RT            | Tiempo real  | <i>Real Time</i>                                     |
| RTCP          | protocolo de control RTP                             | RTP control protocol                                 |
| <i>RTP</i>    | protocolo de transporte en tiempo real               | time transport protocol                              |
| <i>SDP</i>    | protocolo de descripción de sesión                   | session description protocol                         |
| SGSN          | Servicio de los nodos GPRS                           | <i>serving GPRS support nodes</i>                    |
| SIP           | protocolo de iniciación de sesión                    | session initiation protocol                          |
| <i>SP</i>     | Proveedor de servicio                                | <i>Service Provider</i>                              |
| SS            | Estación subscriptora                                | subscriber station                                   |
| STP           | Protocolo Spanning Tree                              | <i>Spanning Tree Protocol</i>                        |
| TCP           | Protocolo de control de transmisión                  | Transmission Control Protocol                        |
| TDMA          | Acceso múltiple por división de tiempo               | <i>Time Division Multiple Access</i>                 |
| <i>Telnet</i> | Telecomunicación de red                              | TELEcommunication NETwork                            |
| <i>TG</i>     | Puerta de salida de tráfico                          | <i>Traffic Gateway</i>                               |
| <i>TOS</i>    | tipo de servicio                                     | Type of service                                      |
| <i>TSPEC</i>  | Especificación de tráfico                            | <i>Traffic SPECification</i>                         |
| <i>UDP</i>    | Protocolo de Datagrama de Usuario                    | User Datagram Protocol                               |
| <i>UGS</i>    | Servicio de concesión no solicitado                  | unsolicited grant service                            |
| V2I           | Vehículo a infraestructura                           | <i>vehicle to infrastructure</i>                     |
| V2V           | Vehículo a vehículo                                  | vehicle to vehicle                                   |
| VBDC          | Volumen basado en capacidad dinámica                 | <i>Volume Based Dynamic Capacity</i>                 |
| VR_JT         | Tasa variable y tolerante al <i>jitter</i>           | <i>Variable Rate y Jitter Tolerant</i>               |
| VR_RT         | Tasa variable y tiempo real                          | <i>Variable Rate y Real Time</i>                     |
| <i>WAN</i>    | Red de área local amplia                             | Wide area network                                    |
| <i>WDM</i>    | Multiplexación por división de longitud de onda      | Wavelength Division Multiplexing                     |
| <i>WiMAX</i>  | Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas | Worldwide Interoperability for Microwave Access      |
| WLAN          | red de área local inalámbrica                        | Wireless Local Area Network                          |
| <i>WMN</i>    | red en malla inalámbrica                             | Wireless mesh network                                |

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El simulador y emulador de red NCTUns es una poderosa herramienta de alta fidelidad y es capaz de simular varios dispositivos y protocolos usados en redes cableadas e inalámbricas. La metodología de simulación que usa NCTUns es el *kernel-reentering* que fue inventado por el Prof. S.Y. Wang en la universidad de Harvard en 1999 cuando Wang estaba sacando su grado de Ph.D. [1]

El predecesor del NCTUns es el simulador de red Harvard, el cual fue creado por Wang en 1999. Este simulador tenía varios inconvenientes y limitaciones que necesitaban ser resueltos y superados, y también algunas importantes características y funciones requerían ser implementadas y agregadas. Por estas razones, y después de unirse al Chiao Tung University (NCTU) en Taiwan en febrero del 2000, el Prof. S.Y. Wang ha estado dirigiendo a sus estudiantes para desarrollar el NCTUns por más de siete años. [2]

Inicialmente, NCTUns fue desarrollado para el sistema operativo *FreeBSD*. Debido a que el sistema operativo Linux se estaba volviendo popular, NCTUns fue desarrollado solamente para el sistema operativo Linux. Específicamente la versión de la distribución Linux que NCTUns 4.0 soporta es el *Red Hat's Fedora Core 7* y *8* con una versión del *kernel 2.6.21* y *2.6.24*.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS

NCTUns 4.0 usa la metodología de simulación *novel kernel-reentering* permitiéndole tener ventajas únicas en comparación con simuladores de red tradicionales. Esta metodología de simulación consiste en que un paquete enviado puede ingresar al *kernel* de Linux varias veces, creando la ilusión que este paquete pasa a través de diferentes pilas de protocolo TCP/IP.

NCTUns 4.0 utiliza directamente la pila de protocolo TCP/IP de Linux para generar resultados de simulación de alta fidelidad.

NCTUns 4.0 tiene la capacidad de ejecutar programas de aplicación (por ejemplo, la aplicación P2P BitTorrent) en un nodo de una red simulada, estas aplicaciones brindan ventajas como:

1. Generar tráfico real de red en la simulación.
2. El rendimiento puede ser evaluado bajo varias condiciones de red.
3. Pueden ser fácilmente utilizados en máquinas UNIX reales.

En el programa NCTUns 4.0 la configuración y operación de una red simulada es exactamente similar a una red IP real, lo cual brinda dos ventajas:

1. El conocimiento de como configurar y operar una red IP real, automáticamente permitirá saber como configurar y operar una red simulada en el NCTUns
2. NCTUns puede ser usado como herramienta de entrenamiento para enseñar a las personas a configurar y operar una red IP real.

NCTUns puede convertirse en un emulador. En una emulación, los nodos en una red simulada pueden cambiar paquetes reales con máquinas reales a través de la red simulada. Esta capacidad es muy útil para probar el funcionamiento y rendimiento de dispositivos reales bajo varias condiciones de red. [1]



NCTUns combina la metodología de simulación *kernel-reentering* con la metodología de simulación *discrete event*, con lo cual puede ejecutar las simulaciones rápidamente. NCTUns modifica el programador de procesos del kernel de Linux para controlar de forma precisa el orden de ejecución de los procesos del motor de simulación y todos los procesos de aplicación reales implicados. [1]

NCTUns simula redes IP basadas en Ethernet, redes *wireless* LAN IEEE 802.11b, redes celulares *GPRS*, redes ópticas, redes en malla *wireless* IEEE 802.11b, redes *QoS* IEEE 802.11e, redes ad-hoc y redes inalámbricas con antenas direccionales. NCTUns 4.0 simula cuatro nuevos tipos de redes importantes:

1. Redes Wimax 802.16d.
2. Redes satelitales *DVB-RCS*.
3. Redes vehiculares inalámbricas para aplicaciones *V2V* (vehículo a vehículo) y *V2I* (vehículo a infraestructura) en el *ITS* (Sistema de transporte inteligente).
4. Nodos móviles multi-interfaces equipados con múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas.

NCTUns simula dispositivos de red como *hubs ethernet*, *switches*, *routers*, *hosts*, puntos de acceso inalámbricos IEEE 802.11 (b), interfaces, etc. Para redes ópticas, simula *switches* de circuitos en redes ópticas y *switches* de ráfagas en redes ópticas, fibras ópticas *WDM* y anillos de protección *WDM*. Para redes QoS, simula *routers* interiores y de frontera. Para redes *GPRS*, simula teléfonos *GPRS*, estaciones base *GPRS*, dispositivos *GGSN* y *SGSN*. Para redes WIMAX 802.16d, simula estaciones base en modo PMP (punto-multipunto), las estaciones base en modo malla y sus correspondientes equipos de usuario SS (Subscriber Stations). Para redes *DVB-RCS*, simula el satélite geoestacionario, el centro de control de red (NCC), el terminal de satélite de retorno de canal (RCST), el alimentador, el proveedor del servicio, el tráfico de la puerta de acceso (*gateway*). Para redes vehiculares inalámbricas, simula vehículos *ITS* equipados con una interfaz inalámbrica en modo ad-hoc 802.11b, vehículos *ITS* equipados con una interfaz inalámbrica en modo de infraestructura 802.11b, vehículos *ITS* equipados con una interfaz inalámbrica *GPRS*, vehículos *ITS* equipados con una interfaz inalámbrica *DVB-RCST*, vehículos *ITS* equipados con las cuatro diferentes interfaces inalámbricas. Para nodos móviles equipados con múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas, simula un nodo

móvil tradicional que se mueve por una ruta especificada, un carro *ITS* que automáticamente se mueve sobre una carretera construida. [1]

NCTUns brinda módulos físicos inalámbricos más reales que consideran el uso del esquema de modulación, el uso de esquemas de codificación/decodificación, el nivel de potencia recibida, el nivel de potencia de ruido, los efectos de desvanecimiento, y la tasa de bits errados (BER) para redes 802.11b, *GPRS*, 802.16d *WiMAX*, y redes satelitales *DVB-RCST*. Estos módulos avanzados de la capa física pueden generar resultados más reales pero se requiere más tiempo del CPU para finalizar la simulación.

NCTUns soporta antenas direccionales de ganancia 3dB a 60 grados y 120 grados con patrones de ganancia de antenas reales.

NCTUns simula varios protocolos como IEEE 802.3 CSMA/CD MAC, IEEE 802.11 b CSMA/CA MAC, el *spanning tree protocol* usado por *switches*, IP, *Mobile IP*, RIP, OSPF, UDP, TCP, HTTP, FTP, Telnet, etc. Simula el protocolo *DiffServ QoS*, el protocolo *optical light-path*, el protocolo RTP/RTCP/SDP. Simula el protocolo *DVB-RCST*, y el protocolo IEEE 802.16d *WiMAX* para PMP y modo malla. [1]

La GUI de NCTUns es capaz de dibujar topologías de red, configurar los módulos de protocolo usados en un nodo, configurar los valores de los parámetros usados en un módulo de protocolo, especificar la ubicación inicial y las rutas de movimiento de los nodos móviles, graficar el rendimiento de red, reproducir la animación de la ruta de transferencia de un paquete, pegar un mapa en el fondo de la topología de red, construir una red de carreteras para simulaciones de redes vehiculares inalámbricas, etc.

NCTUns se ejecuta en sistemas operativos Linux. La distribución de Linux que NCTUns soporta es Red-Hat Fedora Core 7 y 8.

Se pueden desarrollar protocolos y estos pueden ser integrados en el motor de la simulación.

Los componentes de NCTUns usan IPC (*Inter-Process Communication*) para comunicarse, que se pueden ejecutar sobre una misma máquina (esto es llamado modo

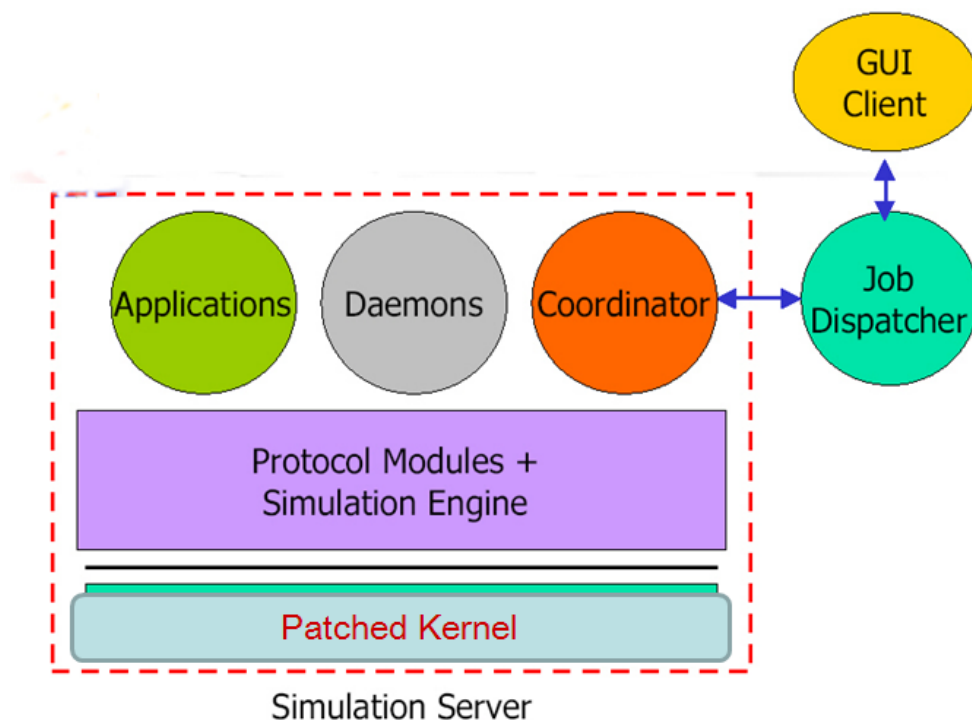
*single-machine*). De hecho, porque la mayoría de personas poseen solamente una máquina para ejecutar sus simulaciones, el modo *single-machine* es el modo por defecto después de que el paquete de NCTUns es instalado. Existe el modo *multi-machine* que es empleado cuando se usa una arquitectura distribuida, donde cada componente del NCTUns puede ser ejecutado en máquinas diferentes, como tal, la máquina que ejecuta el programa GUI puede ser diferente de la máquina que ejecuta el motor de simulación. [1]

NCTUns adopta una arquitectura distribuida que comprende los siguientes componentes:

- (1) La GUI mediante el cual el usuario edita una topología de red, configura el módulo de protocolo usado por un nodo de la red, especifica la ubicación inicial y las rutas de los nodos móviles, traza los gráficos de rendimiento, etc.
- (2) El programa del motor de simulación, el cual brinda servicios básicos y útiles a los módulos de protocolo. Cuando en el programa del motor de simulación reside un servidor de simulación (*simulation server*) se le llama máquina (*machine*).
- (3) El conjunto de módulos de varios protocolos, cada uno de los cuales implementa un protocolo específico o función.
- (4) El programa *dispatcher* que puede administrar y usar simultáneamente múltiples servidores de simulaciones para aumentar el rendimiento total de la simulación.
- (5) El programa *coordinator*, en cada servidor de simulación, el programa *coordinator* debe ejecutarse. Este programa se registrará con el *dispatcher* para unirse a la granja de servidores de simulación del *dispatcher*. Cuando el estado del servidor de simulación cambia, este notificará al *dispatcher* el nuevo estado. Esto permite que el *dispatcher* escoja un servidor de simulación disponible de su granja de servidores de simulación para servir a un trabajo. Cuando el *coordinator* recibe un trabajo del *dispatcher*, este hace que el motor de simulación simule la red y protocolos especificados, como también realiza los procesos de los programas de aplicación real especificados en el trabajo. Estos procesos son usados para generar tráfico en una red simulada.

- (6) Los parches del *kernel* que necesitan ser realizados en el código fuente del *kernel* para que el proceso del motor de simulación pueda ejecutarse sobre una máquina UNIX correctamente.
- (7) Los programas de aplicación a nivel de usuario real.
- (8) *Varios daemons (Disk And Execution Monitor)* a nivel de usuario que se ejecutan para toda la simulación. Por ejemplo, NCTUns dispone de daemons de enrutamiento RIP y OSPF.

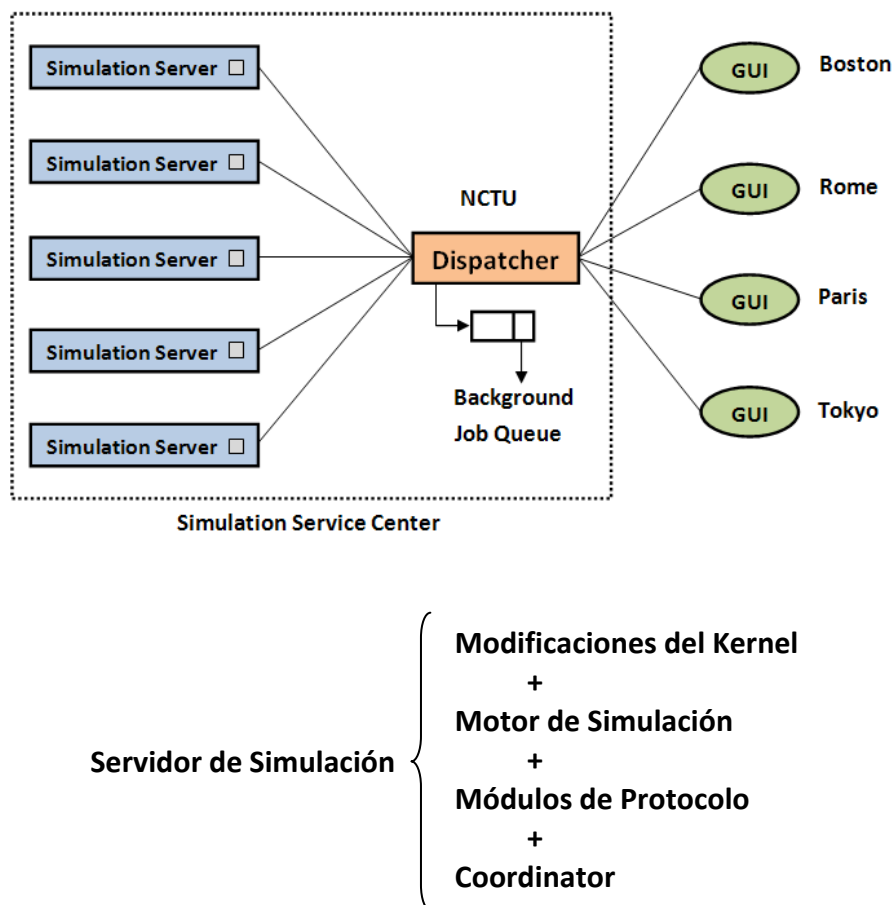
La figura 1.1 muestra los componentes del NCTUns.



**Figura. 1. 1. Ocho componentes para la ejecución**

Debido a este diseño distribuido, un usuario remoto puede presentar su trabajo de simulación al dispatcher, y el dispatcher enviará el trabajo a un servidor de simulación disponible para la ejecución. El servidor simulará el trabajo, más tarde regresará los resultados al programa GUI remoto para nuevos análisis. Este esquema puede soportar fácilmente el modelo de la granja de servidores en el que varios trabajos de simulación son

realizados simultáneamente en diferentes servidores de simulación. La figura 1.2 muestra la arquitectura distribuida del NCTUns. [2]





**Figura. 1. 2. Arquitectura distribuida del NCTUns**



La instalación y configuración del simulador NCTUns 4.0, el editor de topología, el editor de nodo, el reproductor de animación de paquete, el monitor de rendimiento, la emulación, los protocolos *IP* móvil, *RTP/RTCP/SDP* y las redes *QoS DiffServ*, se detallan en el **ANEXO A1**.

## CAPITULO II

### WIRELESS LAN/MAN

#### 2.1 REDES EN MALLA WIRELESS 802.11(b)

Una red en malla inalámbrica (*WMN*) está compuesta por múltiples puntos de acceso que permiten la transmisión inalámbrica de los paquetes de los clientes de las estaciones móviles en modo infraestructura. Una estación de cliente usa el protocolo estándar 802.11b para conectarse al punto de acceso y obtener sus servicios de red. En NCTUns existen dos tipos de puntos de acceso para este tipo de redes, los cuales son punto de acceso OSPF (ejecuta OSPF como protocolo de enrutamiento) , y el punto de acceso STP (ejecuta *Spanning Tree Protocol* como protocolo de enrutamiento) . [1]

En NCTUns, un punto de acceso para este tipo de redes tiene dos interfaces inalámbricas IEEE 802.11b, la primera opera en el modo infraestructura para brindar servicios a estaciones de clientes *WLAN* estándar , mientras que el segundo opera en el modo ad-hoc. Un *WDM* puede conectarse a una red fija (por ejemplo a una Ethernet o a una red óptica) mediante un *switch multi-gateway* de malla .

##### 2.1.1 Configuración de una red en malla inalámbrica

En la siguiente parte se mostrará como configurar una red en malla inalámbrica.

##### 1. Insertar puntos de acceso

El usuario puede pulsar uno de los dos iconos de los puntos de acceso y ubicarlos en el área de trabajo uno por uno. Además el usuario puede insertar múltiples puntos de acceso usando el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(b) Wireless Mesh Network** → **Insert 802.11(b) Mesh Access Points**. En el cuadro de diálogo de la figura 2.1 que se mostrará, el usuario puede escoger cual tipo de punto de acceso debería ser insertado, cuantos puntos de acceso deberían ser insertados, y cuál estilo de posicionamiento (estilo *randómico* o *array*) debería ser usado. Si el usuario desea cambiar la pila de protocolo de los puntos de acceso, este trabajo puede ser hecho aquí.

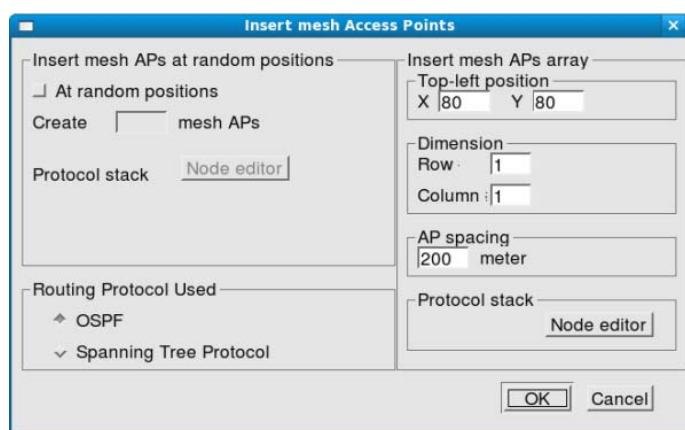


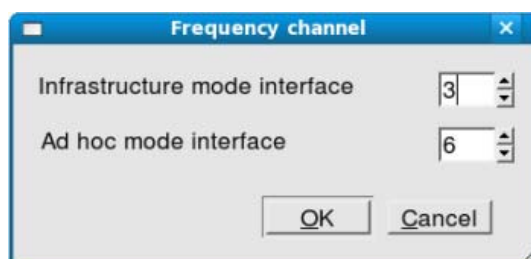
Figura. 2. 1. Insertar múltiples puntos de acceso

## 2. Configurar los canales de doble radio frecuencia para puntos de acceso en malla

Cada punto de acceso tiene dos interfaces inalámbricas. Una opera en modo ad-hoc, mientras que la otra opera en modo infraestructura. Por defecto, la interfaz en modo infraestructura usa el mismo canal de frecuencia que el canal de frecuencia por defecto usado por un nodo móvil en modo infraestructura. Esta configuración permite a los nodos en modo infraestructura conectarse con los puntos de acceso sin ningún cambio en su configuración.

Si el usuario desea cambiar esta configuración por defecto para unos pocos puntos de acceso, el usuario puede ingresar al editor de nodo de estos puntos de acceso uno por uno para modificar la configuración del canal de frecuencia de los módulos *WPHY* usados. Si


muchos puntos de acceso necesitan ser cambiados es más conveniente ejecutar el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(b) Wireless Mesh Network** → **Specify Dual – Radio Frequency Channels for Selected Mesh APs** en los en los puntos de acceso seleccionados. Al ejecutar este comando el cuadro de diálogo de la figura 2.2 aparecerá.



**Figura. 2. 2. Canal de Frecuencia**

En este cuadro el usuario puede cambiar los canales de frecuencia para todos los puntos de acceso seleccionados en solamente un paso.

### **3. Formar una red inalámbrica**

Después de insertar puntos de acceso y nodos móviles en modo infraestructura, el usuario debe usar la herramienta “*Form wireless subnet*”  para seleccionar los nodos y agruparlos para formar una red inalámbrica. Las subredes inalámbricas en malla 802.11(b) formadas pueden ser visualizadas y administradas ejecutando el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(b) Wireless Mesh Network** → **Manage 802.11(b) Wireless Mesh Network Subnets**.

#### **2.1.2 Pila de protocolo de una red en malla inalámbrica**

La figura 2.3 muestra la pila de protocolo de un punto de acceso OSPF.



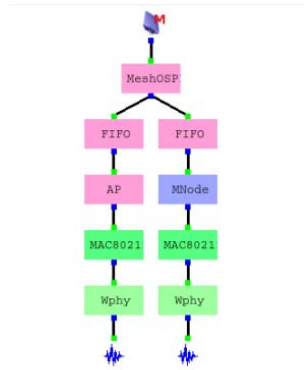


Figura. 2. 3. Pila de protocolo de un punto de acceso *OSPF*

En el cuadro de diálogo de la configuración de parámetros del módulo MeshOSPF, la opción llamada “*Use ETX as the metric of OSPF routing protocol*” debe ser marcada. *ETX* significa *Expected Transmission count*, el cual es una métrica de enrutamiento *radi-aware* para 802.11. Esta métrica trata de buscar rutas *high-throughput* en redes inalámbricas *multi-hop*. La métrica *ETX* incorpora los efectos de la pérdida de enlace, la asimetría en la pérdida de relaciones entre las dos direcciones de cada enlace, y la interferencia entre los enlaces sucesivos de una ruta. *ETX* minimiza el número total esperado de transmisión de paquetes (incluyendo retransmisiones) requeridos para entregar satisfactoriamente un paquete al destino. La figura 2.4 muestra este cuadro de diálogo. [1]

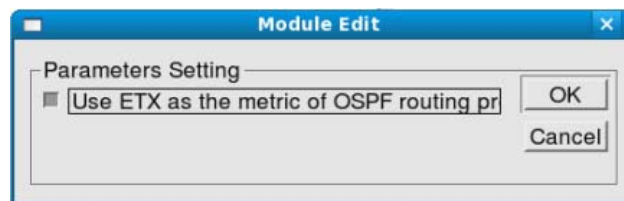


Figura. 2. 4. Cuadro del diálogo del módulo *MeshOSPF*

Las figuras 2.5 y 2.6 muestran pila de protocolo de un punto de acceso STP y el cuadro de diálogo de configuración de parámetros del módulo MeshSW. Los puntos de acceso STP usan el protocolo *Spanning Tree* para construir un árbol de enrutamiento entre los puntos de acceso. Este protocolo es comúnmente usado en *switches* en redes fijas para evitar problemas de *packet-looping*.

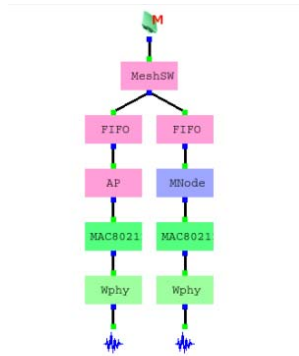


Figura. 2. 5. Pila de protocolo de un punto de acceso *STP*

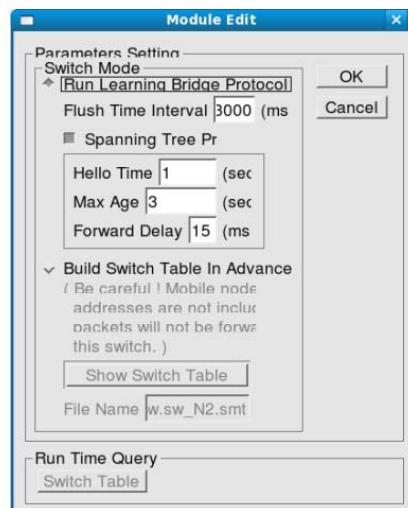




Figura. 2. 6. Cuadro del diálogo del módulo *MeshSW*

## 2.2 Redes QoS IEEE 802.11(e)

Aunque los servicios que brindan las *WLAN* son buenos para aplicaciones de datos, estos son inadecuados para aplicaciones de multimedia que demandan calidad de servicio (QoS). Con el fin de proveer servicios de diferenciación y garantías QoS en *WLAN*, el comité IEEE 802.11 desarrollo la especificación 802.11e. Esta especificación define protocolos MAC para mejoras de QoS bajo el modo infraestructura. Un punto de acceso brinda la oportunidad de que las estaciones móviles puedan conectarse de acuerdo a sus demandas QoS durante el periodo de acceso al medio *contention-free*. Una estación móvil necesita enviar una petición al punto de acceso para pedir una cierta cantidad de ancho de

banda para su flujo de datos. Si el pedido es concedido, el punto de acceso reservará ancho de banda para la estación móvil y le dará suficiente acceso al medio para transmitir sus datos. En NCTUns, el *packet scheduler 802.11(e)* y la unidad de control de admisión son implementadas basadas en un *sample scheduler* descrito en el anexo K 3.3 de la IEEE Std 802.11e-2005. [1]

### 2.2.1 Configuración de una red QoS IEEE 802.11(e)

El mecanismo IEEE 802.11e es usado en una *WLAN* en modo infraestructura. Para simular una red *WLAN* IEEE 802.11e en NCTUns se usarán el punto de acceso IEEE 802.11e  y el nodo móvil IEEE 802.11e .

#### 1. Insertando nodos móviles 802.11e

Cuando se ubica un nodo móvil 802.11e en el área de trabajo del editor de topología, el usuario deberá ingresar la prioridad QoS para ese nodo móvil, esto establecerá la prioridad de acceso al medio de cada nodo móvil durante el periodo de conexión. La figura 2.7 muestra el cuadro de diálogo de la prioridad *QoS*.

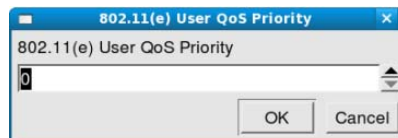


Figura. 2. 7. Prioridad *QoS* para el nodo móvil

Si el usuario desea ubicar varios nodos móviles 802.11e, el usuario puede usar el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(e) Wireless Network** → **Insert 802.11(e) Mobile Nodes**. En el cuadro de diálogo de la figura 2.8, el usuario puede escoger cuantos puntos de acceso deberían ser insertados y cual estilo de posicionamiento (randómico o estilo *array*) debería ser usado. Si el usuario desea cambiar la pila de protocolo de todos los nodos móviles insertados, lo puede hacer aquí.

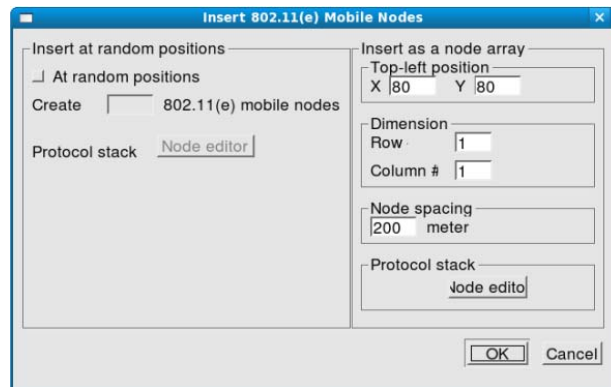

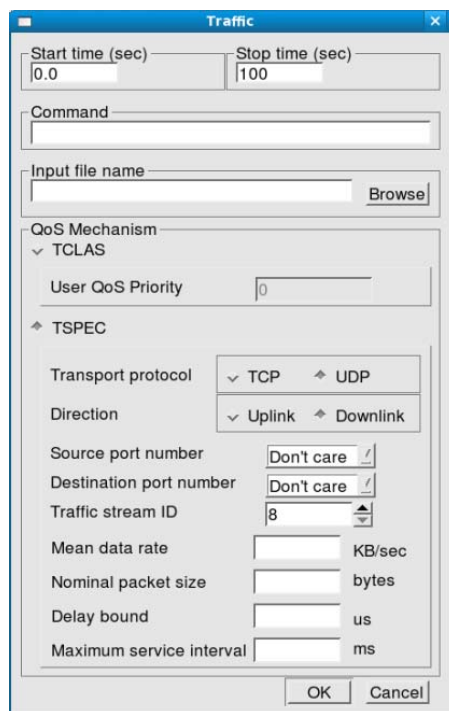


Figura. 2. 8. Insertar varios nodos móviles 802.11(e)

Después de insertar los nodos móviles 802.11e, el usuario debe usar la herramienta “*Form wireless subnet*”  para seleccionar todos los nodos y puntos de acceso, y agruparlos para formar una subred inalámbrica. Las subredes inalámbricas 802.11e formadas pueden ser visualizadas y administradas ejecutando el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(e) Wireless Network** → **Manage 802.11(e) Infrastructure Mode Subnets**.

## 2. Configurar aplicaciones con parámetros QoS

Cuando el usuario especifica una aplicación en un nodo móvil 802.11e, los parámetros QoS 802.11e demandados por esta aplicación deberían ser especificados. El usuario puede pulsar el botón “*Add*” bajo la pestaña de “*Application*” y entonces aparecerá el cuadro de diálogo de la figura 2.9 donde se puede visualizar la configuración de los parámetros demandados QoS en la parte inferior. El significado de estos parámetros son definidos en la especificación 802.11e.



**Figura. 2. 9. Configuración de aplicaciones con parámetros QoS**

Por ejemplo, suponiendo que el usuario quiere lograr un flujo de tráfico UDP garantizado de 200 Kbps desde un nodo móvil 802.11(e) a un punto de acceso 802.11(e) y el usuario usa el comando `“tcp -t -u -s -p 8000 1.0.1.1 ”` para lanzar un generador de tráfico UDP en ese nodo móvil para enviar paquetes a otro nodo con dirección IP 1.0.1.1. Para este caso particular, el usuario necesita escoger la opción *“TSPEC”* (*Traffic SPECification*). Además, el *“Transport protocol”* debe ser establecido en *“UDP”*, *“Direction”* tiene que ser establecido en *“Uplink”*, el *“Source port number”* en *“Don’t care”*, el *“Destination port number”* establecido en *“8000”*, el *“Traffic stream ID”* tiene que ser establecido en uno de los valores entre 8 y 15, el *“Mean data rate”* establecido en *“200 KB/seg”*, y el *“Nominal packet size”* debe ser establecido en 1024 bytes porque el generador de tráfico UDP envía paquetes con una carga útil de datos de 1,024 bytes. Aquí el *“Delay bound”* representa el máximo periodo de tiempo de llegada de un *MSDU* (*Mac Service Data Unit*) en la capa MAC local en la finalización de la transmisión de *MSDU*. El *“Maximum service interval”* es el máximo intervalo entre el inicio de dos sucesivos periodos de sondeo. Si el *“Delay bound”* y el *“Maximum Service interval”* son especificados, solamente el último será usado. Si el usuario desea que el punto de acceso

sondee el nodo móvil cada 20ms, el “*Maximum service interval*” debería ser configurado en 20ms y el “*Delay bound*” puede quedarse vacío.

De acuerdo al *simple scheduler* descrito en el anexo K 3.3 de la IEEE Std 802.11e-2005, el periodo de transmisión de datos máximo que puede ser concedido a un flujo de tráfico es 8,160 microsegundos. Esto significa que un nodo móvil no puede aprovechar el medio por más de 8.160 microsegundos para transmitir sus paquetes, aun cuando pueda tener muchos paquetes para transmitir. Si el punto de acceso tiene suficiente ancho de banda disponible para satisfacer la demanda QoS del flujo de tráfico, el pedido será concedido. Caso contrario, el pedido será rechazado.

### 3. Pila de protocolo IEEE 802.11e

Las figuras 2.10 y 2.11 muestran las pilas de protocolo del nodo móvil 802.11e y del punto de acceso 802.11e. Los módulos *QoS MN* y *802.11e* usados en el nodo móvil no necesitan una configuración de parámetros especial. Lo mismo sucede con los módulos *QoS AP* y *802.11e* del punto de acceso.

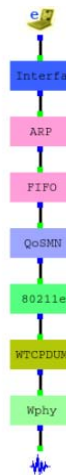


Figura. 2. 10. Pila de protocolo de un nodo móvil 802.11e



Figura. 2. 11. Pila de protocolo de un punto de acceso 802.11e

## 2.3 REDES WIMAX IEEE 802.16d

La familia de estándares IEEE 802.16 (WiMAX) es una prometedora tecnología de comunicación para futuras redes de área local y metropolitana. Esta familia de estándares define la especificación de interfaz aérea para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha fija (FBWA). Dos modos operacionales están definidos en el estándar IEEE 802.16d: los modos malla y punto - multipunto (PMP). [1]


### 2.3.1 Modo malla IEEE 802.16(d)



Este modo está diseñado para construir la próxima generación de redes de área metropolitana inalámbricas (Wireless-MANs). Puede soportar comunicaciones multi-salto y permite topologías de red más flexibles, comparado con el modo punto multipunto (PMP). Este modo está diseñado para construir una red *backbone*. En el modo malla el *control-plane bandwidth* está dividido en oportunidades de transmisión y el *data-plane bandwidth* está dividido en mini *slots*. Tanto la oportunidad de transmisión y el mini *slot* pueden ser usados para transmitir mensajes de control y paquetes de datos, respectivamente.

El modo malla tiene tres modos de programación (*scheduling modes*): programación centralizada (*centralized scheduling*), programación coordinada distribuida (*distributed coordinated scheduling*) y programación no coordinada distribuida (*distributed uncoordinated scheduling*). El modo de programación centralizada es similar al modo

PMP. Usando este modo, en ancho de banda de la red es controlada por las estaciones base. Sin embargo, el modo de programación centralizada permite comunicaciones multi-salto y particiones de la red en varios *tree-based clusters*.

Por el contrario, en los modos de programación coordinada distribuida y no coordinada distribuida, el ancho de banda de la red es asignada en una forma distribuida. Cada nodo compite por el *control-plane bandwidth* usando un algoritmo pseudo-randómico y negocia el *data schedules* usando el procedimiento *three-way handshake*. El modo de programación no coordinada distribuida es similar al modo de programación coordinada distribuida, excepto por el sincronismo de transmisión de su mensaje de control. Los mensajes de control del modo de programación no coordinada distribuida solamente son transmitidos en las oportunidades de transmisión no usados por los otros dos nodos. NCTUns solamente soporta el modo de programación coordinada distribuida para la red en malla IEEE 802.16d en la *versión-4 release*. [1]

Hay dos tipos de nodos en una red malla IEEE 802.16d: la estación base de malla (*mesh BS*) y la estación suscriptora de malla (*mesh SS*). Un nodo *mesh BS*  administra la red y se conecta a la *network backhaul* (red de retorno). Por otro lado, los nodos *mesh SS* representan dispositivos terminales 802.16 y se pueden enviar paquetes entre ellos.

En NCTUns, los nodos *mesh SS* están divididos en dos tipos. Uno es el nodo *mesh gateway SS* y el otro es el nodo *mesh host SS*. Un nodo *mesh gateway SS*  puede realizar las funciones de enrutamiento y auto configuración. Además, puede conectar a la red en malla a otra red y enrutar paquetes entre las dos redes. En cambio, un nodo *mesh host SS*  representa un dispositivo terminal equipado con una interfaz IEEE 802.16d. Los nodos *mesh host SS* pueden enviarse paquetes entre ellos. Sin embargo, un *mesh host SS* no puede conectarse a otra red.

La figura 2.12 muestra un ejemplo de una red en malla IEEE 802.16d. El nodo *mesh BS* se conecta al Internet en la parte superior izquierda a través de un enlace fijo y forma una red en malla inalámbrica junto con los otros nodos *mesh SS*. Usando la capacidad del nodo *mesh BS*, los nodos en la red en malla pueden tener acceso a Internet. Por otra parte,



tomando ventaja de la función de enrutamiento del nodo *mesh gateway SS*, los nodos de la subred de la parte inferior derecha pueden acceder al Internet.

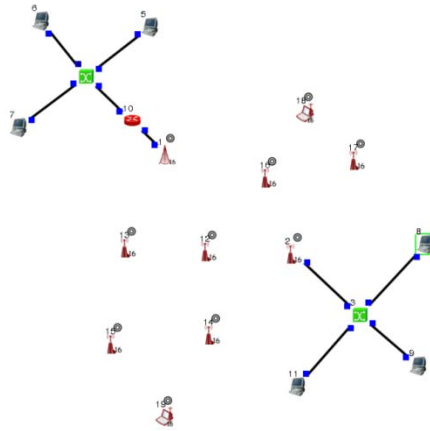


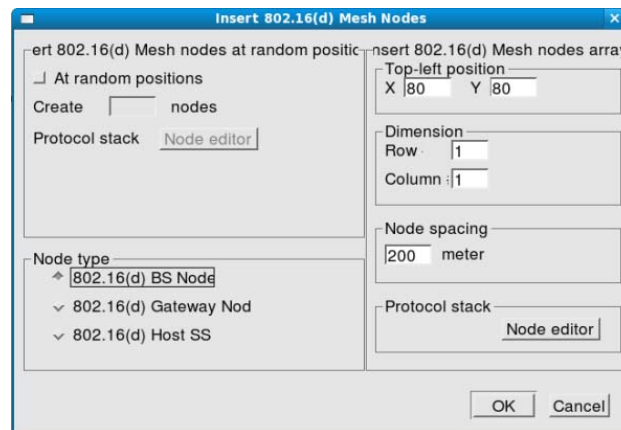
Figura. 2. 12. Red en malla IEEE 802.16d

## 1. Configuración de redes en malla IEEE 802.16d

En la siguiente parte se mostrará como configurar una red en malla IEEE 802.16d usando el programa GUI.

### 1.1 Insertar nodos de malla IEEE 802.16d

Para elaborar redes en malla IEEE 802.16d, el usuario puede ubicar los nodos uno a la vez o ubicar un número de nodos en un solo paso usando la siguiente herramienta: **Menu → N\_Tools → 802.16(d) Network → 802.16(d) Mesh Mode Nodes → Insert 802.16(d) Mesh Mode Nodes**. Después de ejecutar el comando “**Insert 802.16d Mesh Mode Nodes**”, el cuadro de diálogo de la figura 2.13 aparecerá.




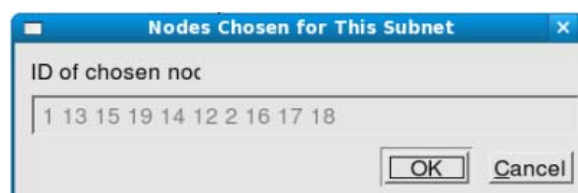
**Figura. 2. 13. Insertar nodos en malla IEEE 802.16d**

En el cuadro de diálogo de la figura 2.13, se puede especificar:

1. El tipo y el número de los nodos de red insertados.
2. La posición donde los nodos de red deberían ser ubicados.
3. La configuración específica de protocolo aplicada a cada nodo.

## 1.2 Especificar y administrar subredes de malla IEEE 802.16d

Para especificar una subred en malla IEEE 802.16d, el usuario debe usar la herramienta “*Form wireless subnet*”  para seleccionar los iconos del área de trabajo y agruparlos para formar una subred inalámbrica. Las subredes inalámbricas en malla 802.16(d) formadas pueden ser visualizadas y administradas ejecutando el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.16(d) Network** → **802.16(d) Subnets** → **Manage 802.16(d) Subnets**. En las figuras 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18 y 2.19 se muestran como especificar y administrar subredes de malla IEEE 802.16d.



**Figura. 2. 14. Nodos escogidos para una subred**

Después de especificar las subredes, las direcciones IP de los nodos de la red en malla pueden ser automáticamente generadas y asignadas por el programa GUI. Sin embargo, para generar correctamente los caminos de enrutamiento para estos nodos, se debería especificar *gateways* para las subredes formadas. Para hacer esto, el usuario puede pulsar el botón “*Specify Gateway*” en el cuadro de diálogo del comando “*Subnet Management*”. En el cuadro de diálogo “*Specify Gateway for a Subnet*”, el usuario puede agregar una entrada de *gateway*, modificarlo o borrarlo. Una entrada de *gateway* está compuesto por tres campos: la subred origen, la subred destino, y el ID del nodo *gateway* usado por la subred origen para enrutar paquetes a la subred destino.

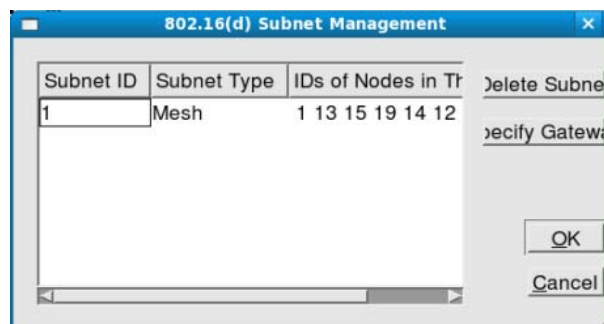


Figura. 2. 15. Administrar una subred 802.16d

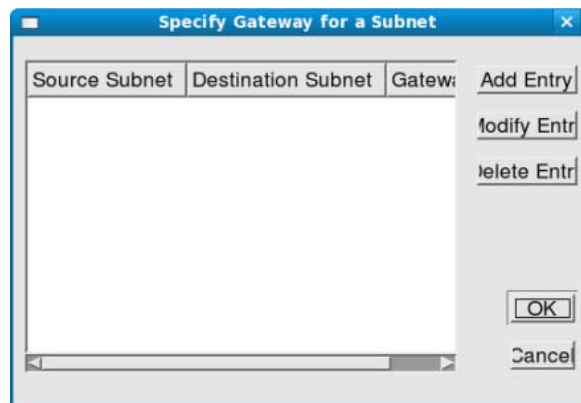


Figura. 2. 16. Especificar un *gateway* para una subred

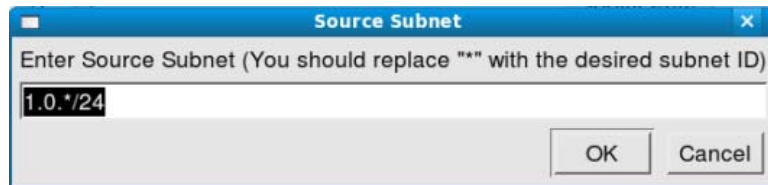


Figura. 2. 17. Subred origen

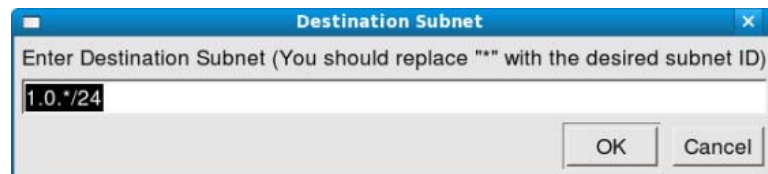


Figura. 2. 18. Subred destino

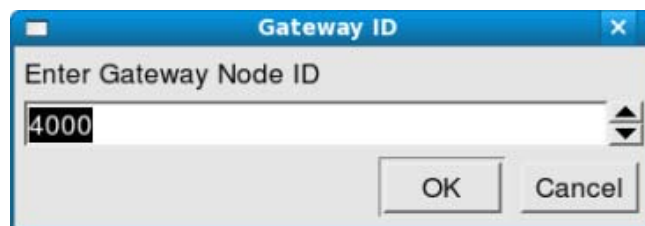


Figura. 2. 19. ID de gateway

### 1.3 Especificar el rango de transmisión máximo para nodos de malla IEEE 802.16d

El usuario puede especificar el rango de transmisión máximo para nodos de malla IEEE 802.16d a través del comando **Menu** → **N\_Settings** → **802.16(d) Network** → **Set Maximum Transmission Range For 802.16(d) Stations**. Entonces, el rango de transmisión máximo para cada tipo de nodos puede ser especificado en el cuadro de diálogo de la figura 2.20.

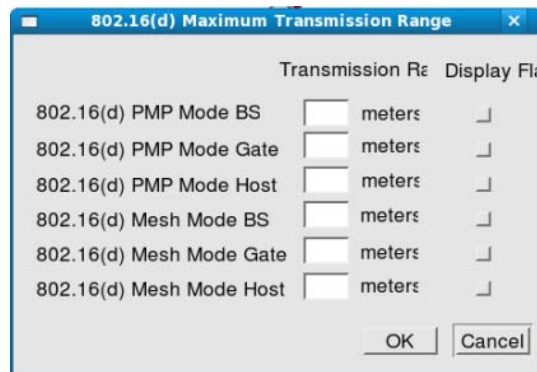


Figura. 2. 20. Rango de transmisión máxima 802.16d

## 2. Pila de protocolo de la red en malla IEEE 802.16d

La configuración de los módulos IEEE 802.16d pueden ser especificados a través del editor de nodo. La figura 2.21 muestra la pila de protocolo por defecto de un nodo *mesh BS*. Al pulsar dos veces sobre un icono de módulo, aparecerá su correspondiente cuadro de diálogo de parámetros. Por ejemplo, el usuario puede especificar la longitud de cola de transmisión máxima en el cuadro de diálogo de parámetros del módulo MAC802\_16MeshBS. En cuanto a las configuraciones de la capa física, parámetros como el ID del canal por defecto y la sensibilidad de recepción pueden ser especificados en el cuadro de diálogo de parámetros del módulo OFDM\_Mesh.

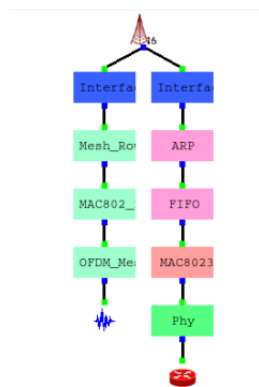


Figura. 2. 21. Pila de protocolo de un nodo *mesh BS*

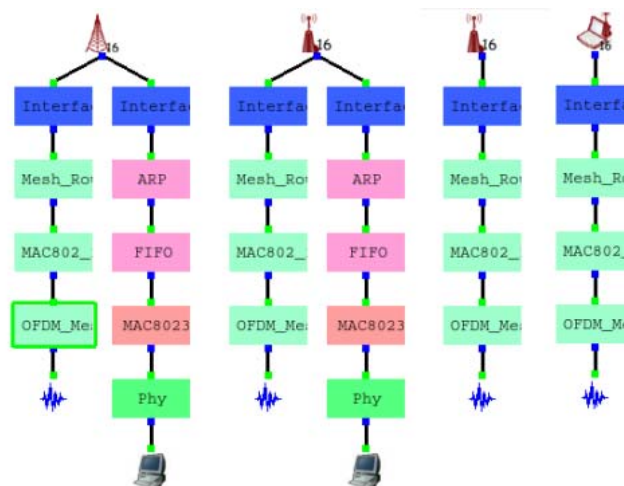


Figura. 2. 22. Pilas de protocolo de nodos de malla IEEE 802.16d

Las pilas de protocolo de los nodos de redes en modo malla se muestran en la figura 2.22. Los nodos capaces de realizar la función de *gateway* tienen dos pilas de protocolo. Una es la pila de protocolo de un radio de modo malla IEEE 802.16(d), y la otra es la pila de protocolo de una tarjeta de interfaz IEEE 802.3. Con respecto a los nodos que excluyen la función de *gateway*, como el *Mesh SS forwarder* y el *Mesh SS client*, estos poseen solamente un radio en modo malla IEEE 802.16(d). En la siguiente parte se presentarán las funciones de los cuatro módulos de modo malla pertenecientes a la pila de protocolo de un radio en modo malla IEEE 802.16(d).

El primero es el módulo “MeshRoute”, que es el responsable de determinar el nodo del siguiente salto de un paquete saliente. Antes de que la simulación inicie, este construye una tabla de enrutamiento con el archivo `.meshrt` como una entrada (el archivo `.meshrt` es generado por el programa “`nctunscient`”). Al recibir un paquete de los módulos de las capas superiores, el módulo MeshRoute buscará en la tabla de enrutamiento usando las IPs de origen y destino como un índice para encontrar el correspondiente ID del nodo del siguiente salto. Luego el módulo MeshRoute agregará el ID del nodo del siguiente salto en el campo `PT_INFO` del paquete para notificar la capa MAC de esta información.

El segundo módulo es el módulo “MAC802\_16\_MeshSS”. Este módulo realiza el proceso de inicialización de red de un nodo SS. También está a cargo del establecimiento de enlaces lógicos, establecimiento de *data schedules*, y el *resolving contention* para la



transmisión de mensajes de control. Este módulo actualmente soporta solamente el modo de programación coordinada distribuida. Como el buffer de paquetes de cada enlace lógico es mantenido en este módulo, los métodos de disciplina de cola avanzados y los algoritmos de programación pueden ser implementados dentro de este módulo.


Otro módulo de la capa MAC es el módulo “MAC802\_16\_MeshBS” que es capaz de realizar todas las funciones del módulo “MAC802\_16\_MeshSS”. Además, debería realizar la parte de BS del *network entry process* (y debería opcionalmente programar la asignación del ancho de banda de la red, si el modo de programación centralizado es implementado).

El módulo final es el módulo “OFDM\_Mesh”, el cual es responsable de realizar la función de la capa física. Este simula los detalles de la transmisión y recepción de trama. Por ejemplo, el retraso de propagación de un paquete es calculada basado en la distancia entre los nodos origen y destino. El valor señal a ruido de la trama recibida es calculado usando el modelo aplicado. Además, el módulo “OFDM\_Mesh” está también a cargo de la detección de colisión de tramas.

### 2.3.2 Modo PMP IEEE 802.16d

Este modo es una tecnología de última milla para reemplazar soluciones cableadas tradicionales. El enlace o conexión de bajada (*downlink*) desde el nodo *base station (BS)* a los nodos *suscriber station (SS)*, opera sobre bases PMP. Por otro lado, el enlace o conexión de subida (*uplink*) es compartida por todos los nodos SS. En este modo, el tráfico desde un nodo SS hacia el Internet o entre dos nodos SS debe ser enrutado a través de un nodo BS PMP. El modo PMP define la comunicación de *one-hop* entre *base station* y *suscriber station*. [1]

El nodo *BS PMP*  es responsable de asignar recursos de red y coordinar las transmisiones de carga. En NCTUns el nodo SS PMP está subdividido en dos tipos: el nodo *SS gateway PMP* y los nodos *host SS PMP*. El nodo *SS gateway PMP*  puede realizar las funciones de autoconfiguración y enrutamiento. Además, puede actuar como router para conectar redes PMP IEEE 802.16d con otras redes. En cambio el nodo *host SS*

*PMP*  representa un dispositivo terminal equipado con un radio en modo IEEE 802.16d *PMP*. Este nodo no puede funcionar como un router.

La figura 2.23 muestra un ejemplo de una red IEEE 802.16d *PMP*. En esta red, hay un nodo *BS PMP*, un nodo *gateway SS PMP*, y un número de nodos *host SS PMP*. El nodo *BS PMP* (en la parte superior izquierda) se conecta a Internet a través de un enlace fijo mientras que el nodo *gateway SS PMP* (en la parte inferior derecha) se conecta a una subred a través de un enlace fijo. A través de las funciones de enrutamiento de los nodos *BS PMP* y *gateway SS*, los *hosts* de la red *PMP* pueden acceder a Internet y la subred en la parte inferior derecha puede comunicarse con otros.

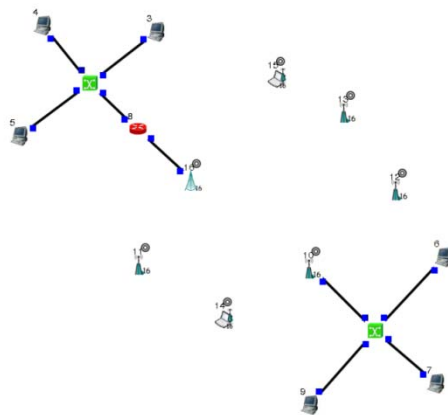


Figura. 2. 23. Red IEEE 802.16d *PMP*

## 1. Configuración de redes *PMP* IEEE 802.16d

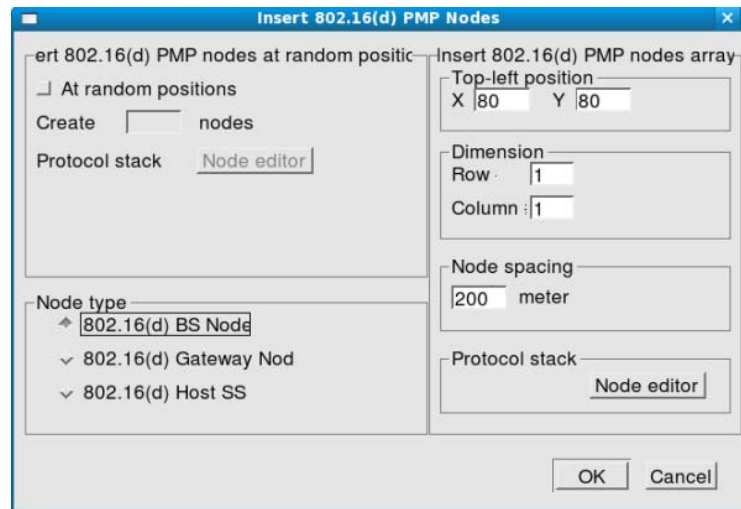
En la siguiente parte se mostrará como usar el programa GUI para generar un caso de simulación de red *PMP* 802.16d.

### 1.1 Insertar nodos *PMP*

Para elaborar redes *PMP* IEEE 802.16(d), el usuario puede ubicar los nodos uno a la vez o ubicar un número de nodos en un solo paso usando la siguiente herramienta: **Menu** → **N\_Tools** → **802.16(d) Network** → **802.16(d) *PMP* Mode Nodes** → **Insert 802.16(d)**



**PMP Mode Nodes.** Después de ejecutar el comando “**Insert 802.16(d) PMP Mode Nodes**”, el cuadro de diálogo de la figura 2.24 aparecerá.




**Figura. 2. 24. Insertar nodos PMP IEEE 802.16(d)**

En el cuadro de diálogo de la figura 2.24, se puede especificar:

1. El tipo y el número de los nodos de red insertados.
2. La posición donde los nodos de red deberían ser ubicados.
3. La configuración específica de protocolo aplicada a cada nodo.

## 1.2 Especificar y administrar subredes PMP IEEE 802.16d

Para especificar una subred PMP IEEE 802.16d, el usuario debe usar la herramienta “*Form wireless subnet*”  para seleccionar los nodos BS PMP y SS PMP, y agruparlos para formar una subred inalámbrica. Las subredes inalámbricas PMP 802.16d formadas pueden ser visualizadas y administradas ejecutando el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.16(d) Network** → **802.16(d) Subnets** → **Manage 802.16(d) Subnets**. En las figuras 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29 y 2.30 se muestran como especificar y administrar subredes PMP IEEE 802.16d.

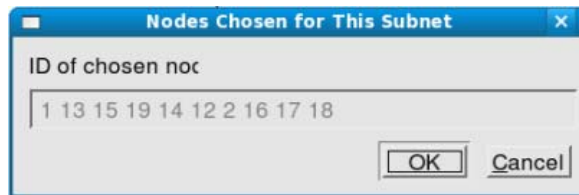


Figura. 2. 25. Nodos escogidos para una subred

Después de especificar las subredes, las direcciones IP de los nodos de la red PMP pueden ser automáticamente generadas y asignadas por el programa GUI. Sin embargo, para generar correctamente los caminos de enrutamiento para estos nodos, se debería especificar *gateways* para las subredes formadas. Para hacer esto, el usuario puede pulsar el botón “*Specify Gateway*” en el cuadro de diálogo del comando “*Subnet Management*”. En el cuadro de diálogo “*Specify Gateway for a Subnet*”, el usuario puede agregar una entrada de *gateway*, modificarlo o borrarlo. Una entrada de *gateway* está compuesto por tres campos: la subred origen, la subred destino, y el ID del nodo *gateway* usado por la subred origen para enrutar paquetes a la subred destino.

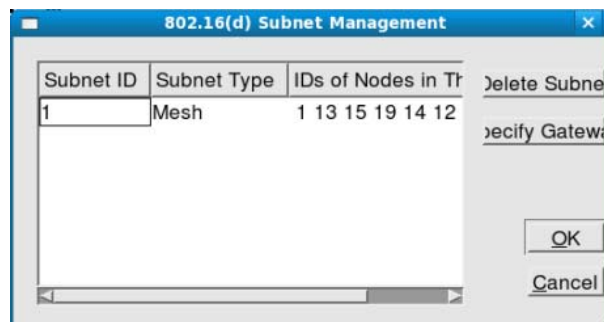


Figura. 2. 26. Administración de una subred

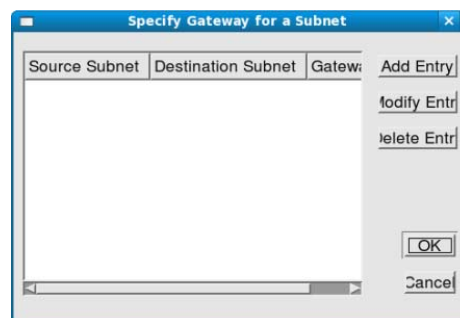


Figura. 2. 27. Especificar un *gateway* para una subred

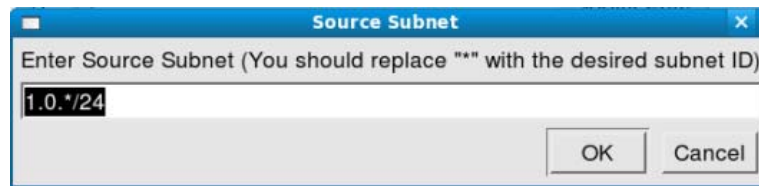


Figura. 2. 28. Subred origen

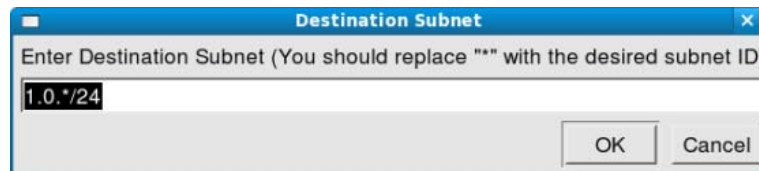


Figura. 2. 29. Subred destino

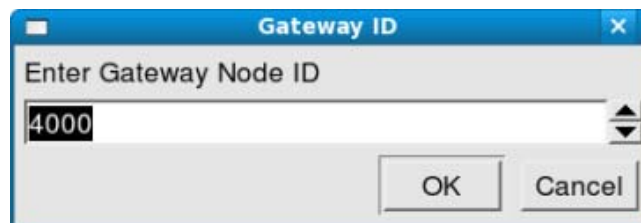


Figura. 2. 30. ID de gateway

### 1.3 Especificar el rango de transmisión máximo para nodos PMP IEEE 802.16d

El usuario puede especificar el rango de transmisión máximo para nodos PMP IEEE 802.16d a través del comando **Menu** → **N\_Settings** → **802.16(d) Network** → **Set Maximum Transmission Range For 802.16(d) Stations**. Entonces, el rango de transmisión máximo para cada tipo de nodos puede ser especificado en el cuadro de diálogo de la figura 2.31.

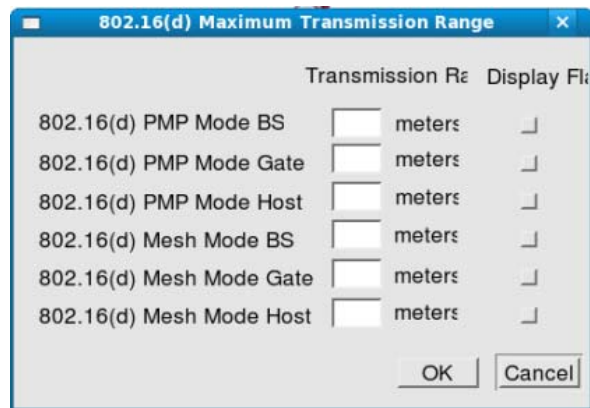


Figura. 2. 31. Rango de transmisión máximo 802.16d

#### 1.4 Especificar tasas sostenidas para nodos SS PMP IEEE 802.16d

Actualmente el *data scheduler* usado en el nodo BS PMP solamente soporta flujos de servicios de concesión no solicitados (UGS *unsolicited grant service*). El usuario puede pulsar dos veces el icono del nodo BS PMP para invocar el su cuadro de diálogo, el cual se muestra en la figura 2.32.

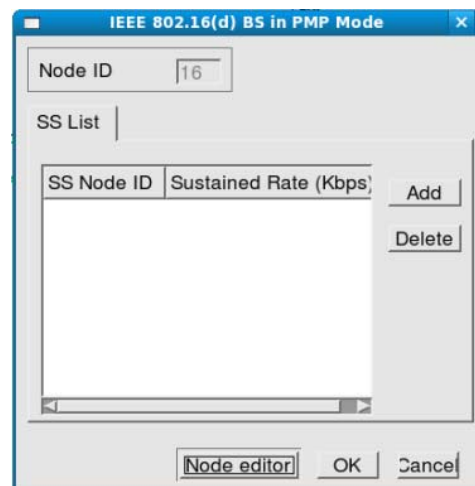


Figura. 2. 32. Tasas sostenidas para nodos SS PMP IEEE 802.16e

Aquí el usuario puede especificar la tasa sostenida en Kbps asignados a cada nodo SS PMP.

## 2. Pila de protocolo de la red PMP IEEE 802.16d

Actualmente, no hay parámetros ajustables en los módulos de este tipo de redes. Si el usuario desea cambiar los valores de los parámetros por defecto usados en estos módulos, el usuario puede modificar el código fuente del módulo y recompilarlo en el programa del motor de simulación NCTUns. En la figura 2.33 se muestra la pila de protocolo de un nodo *PMP BS*.

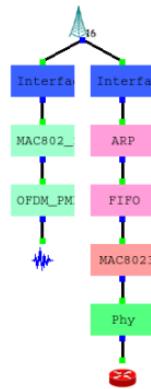


Figura. 2. 33. Pila de protocolo de un nodo *PMP BS*

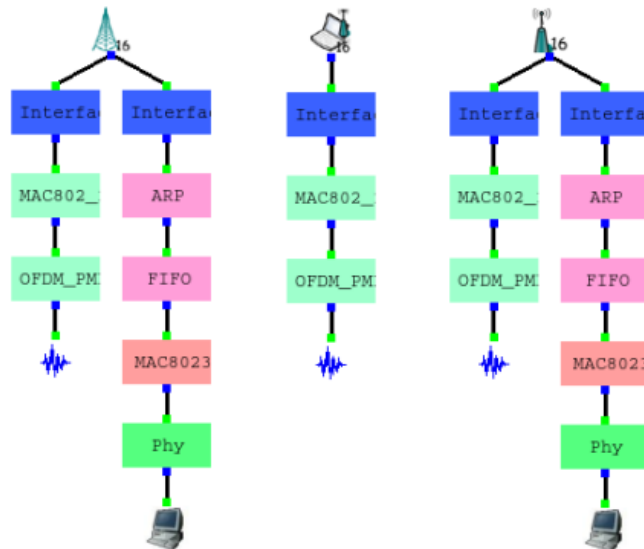


Figura. 2. 34. Pilas de protocolo de nodos PMP 802.16d

Las pilas de protocolo de los tres tipos de nodos mostrados en la figura 2.34 tienen múltiples pilas de protocolo. Una es la pila de protocolo de un radio inalámbrico IEEE 802.16, y las otras son pilas de protocolo de conexión a redes fijas. La pila de protocolo de un radio IEEE 802.16 comprende tres módulos: interfaz, MAC, y OFDM. El módulo de interfaz conecta la capa IP en el kernel de Linux a la capa MAC en el motor de simulación. El módulo MAC es responsable de la simulación de las funciones de la capa MAC del nodo. Para un nodo *PMP BS*, su módulo de la capa MAC es el módulo “MAC802\_16\_PMPBS”, el cual se encarga de la administración de recursos y procedimientos relacionados con la estación base. Los nodos *PMP Gateway SS* y *PMP Host SS*, usan el módulo “MAC802\_16\_PMPSS” para simular funciones de la capa MAC relacionados con el *subscriber station*, por ejemplo, la codificación/decodificación de mensajes de control, fragmentación de tramas, y la comprobación de la integridad de datos. Actualmente, el modo PMP no soporta flujos QoS, es decir, todos los paquetes de datos son procesados usando la clase de mejor esfuerzo. El módulo inferior es el módulo “OFDM”. [2]

Al transmitir una trama de la capa MAC, el módulo OFDM calcula el número de símbolos requeridos para transmitir esta trama. Luego agrega la información necesaria necesitada por los nodos receptores (para calcular la relación señal a ruido) dentro de la trama (usando el campo de *out-of-band*, PT\_INFO, proporcionado por la estructura del paquete NCTUns). El módulo OFDM entonces encapsulará la trama de la capa MAC dentro de una trama de la capa física y finalmente transmitirá esta trama a otros módulos OFDM. Al recibir una trama de la capa física, el módulo OFDM determinará si dentro de la trama recibida algunos símbolos deberían ser convertidos en erróneos debido al decaimiento de la señal o a los efectos de *fading*. Si esto ocurre, el módulo invertirá los valores de esos símbolos erróneos. Después el módulo realizará la demodulación y la decodificación para convertir esta trama de capa física en una trama de capa MAC. Luego de esto, el módulo OFDM enviará este paquete a la capa MAC. La capa MAC primero realizará la comprobación de integridad de la trama y determinará si esta trama es corrupta o no, dependiendo del resultado de su comprobación de integridad. [2]

## 2.4 MANET Táctica y Activa

La red ad hoc móvil (MANET) táctica y activa es caracterizada por nodos de red que pueden moverse activamente en respuesta a condiciones actuales del ambiente. En este tipo de red, cada nodo de red es equipado con un radio inalámbrico para comunicarse con otro para compartir su información recogida localmente. Usando el conocimiento de la información compartida, cada nodo de red puede moverse de una manera coordinada por algunos objetivos, como perseguir un nodo objetivo, explorar un área, etc. [1]

Una de las más importantes aplicaciones de las redes ad hoc inalámbricas es el sistema de comunicaciones táctico móvil. Este sistema es usado para transmitir mensajes importantes como ordenes militares, información estratégica y de inteligencia sobre un campo de batalla. Una red formada por un sistema de comunicaciones táctico móvil se lo llama “red ad hoc móvil táctica”. En dicha red, un soldado o vehículo militar estará equipado con un radio inalámbrico para comunicarse con otros.

Desde que un soldado o vehículo militar es capaz de moverse dinámicamente de acuerdo a órdenes militares que recibe, la topología de esta red ad hoc móvil táctica puede ser cambiada “activamente”. Esto es, los nodos en esta red pueden moverse de una manera coordinada por algunos objetivos, por ejemplo, para maximizar la cobertura de una red ad hoc y formar rutas de comunicación seguras y garantizadas, y de esta manera transmitir información emergente.

Una de los más famosos sistemas de comunicación táctico móvil es el “*Future Combat System*” (FCS), desarrollado por el ejército de los Estados Unidos. El objetivo del FCS es desarrollar una fuerza del siglo 21 que sea más ágil y más letal. En tal fuerza equipada con FCS, los soldados, vehículos, armas y sensores, están equipados con radios inalámbricos avanzados para formar una plataforma de comunicación cooperativa. Como tal, ordenes importantes de inteligencia, estrategias tácticas y militares, son compartidas y actualizadas en toda la fuerza con más rapidez y fiabilidad que antes.

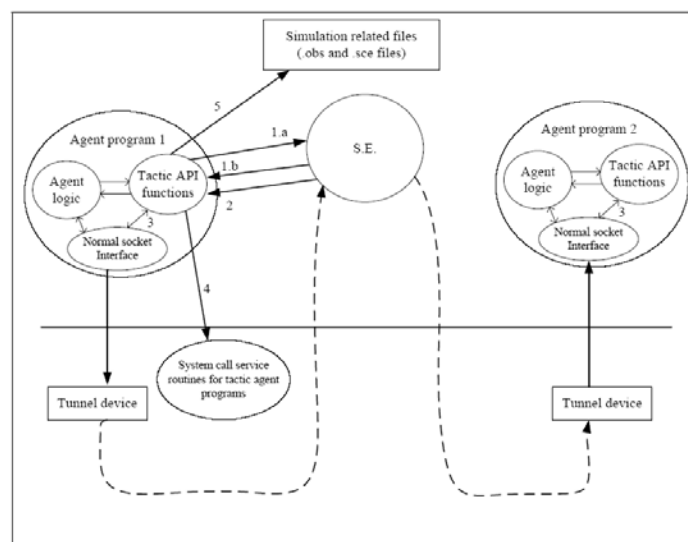
Usando FCS un ejército es capaz de balancear y optimizar su dominio y despliegue en el campo de batalla porque las operaciones militares pueden ser altamente cooperadas e integradas. Debido a la ventaja de la agilidad, velocidad, y circulación de la información, el

ejército gana más comprensión del campo de batalla que su enemigo y entonces gana más ventaja en la campaña.

Debido a la importancia de la red ad hoc móvil táctica, NCTUns brinda funciones API (*Application Programming Interface*) para soportar el desarrollo de este tipo de redes. Además de usos militares, estas funciones API pueden ser usadas para el desarrollo de otros tipos de redes, incluyendo redes vehiculares, redes de sensores activos, etc.

### 2.4.1 Simulación MANET Táctico

Actualmente muchas tácticas han sido propuestas para varios objetivos basados en diferentes situaciones de campo de batalla. Cada uno de ellos puede usar diferentes heurísticas o políticas. Debido a la diversidad y a la complejidad de varias políticas tácticas, integrar tales políticas en el motor de simulación complicará el diseño del motor de simulación y lo hará inmanejable. Para solucionar este problema, NCTUns usa los principios de diseño que se muestran en la figura 2.35 para soportar simulaciones MANET tácticos y activos. [2]



**Figura. 2. 35. Principios de diseño del NCTUns para soportar simulaciones MANET tácticos y activos**

En la figura 2.35, el agente lógico contiene el código base de un programa agente. Este realiza algunas tareas específicas como realizar una estrategia basada en las



condiciones actuales del campo de batalla. Las funciones API tácticas tienen que ser incluidas en un programa agente para brindar la lógica del agente con los servicios esenciales. De acuerdo a los propósitos de estas funciones API tácticas, estas funciones pueden ser categorizadas en cinco grupos diferentes, cada una de las cuales es representada por una flecha enumerada en la figura anterior.

## 1. Modos de Simulación

Dos modos de simulación son soportados por el NCTUns. El primero es “*pure simulation*”, el cual es útil para estudiar estrategias tácticas. El segundo es “*human-in-the-loop simulation*”, el cual es útil para entrenar personas para que respondan a varias situaciones de campo de batalla apropiadamente. También, componentes de redes esenciales, incluyendo obstáculos, persecución de nodos móviles, y apuntar nodos móviles, serán introducidos.

### 1.1 Modo “*Pure Simulation*”

Bajo este modo, la simulación procede como un sistema cerrado. La simulación se ejecuta sin interactuar con humanos. En este tipo de simulación, la simulación puede ser realizada tan rápido como sea posible. La investigación de una táctica puede requerir la realización de varias simulaciones con diversas estrategias heurísticas y combinaciones de valores de parámetros. En estas condiciones, el modo “*pure simulation*” puede generar más resultados de simulación que el otro modo dentro de la misma cantidad de tiempo. Este modo es útil para desarrollar estrategias tácticas. [2]

### 1.2 Modo “*Human-in-the-loop Simulation*”

Bajo este modo, un humano puede controlar los comportamientos de un nodo móvil de red durante la simulación. En este modo, los resultados de la simulación producidas por el motor de simulación son pasados al programa GUI sobre la marcha. Esto es, la pantalla del área de trabajo en el GUI es actualizado frecuentemente. Con la ayuda del programa GUI, el usuario puede interactuar con el motor de simulación usando los botones de las flechas del teclado durante la simulación. Por ejemplo, el usuario puede cambiar la dirección de movimiento de un nodo móvil (el cual puede representar un soldado) o dinámicamente cambiar la estrategia usada por un nodo móvil. Como tal, el modo *human-*

*in-the-loop simulation* es muy útil para entrenamientos militares. Este modo es útil para entrenamiento de personas. [2]

## 2.4.2 Ambiente de Simulación

En la siguiente parte se explicará los componentes esenciales en una red ad hoc móvil táctica.

### 1. Campo, Obstáculo, y sus propiedades

El campo de simulación es el espacio dentro del cual los nodos móviles pueden moverse, mientras que el campo de batalla está definido como un área dentro del cual los miembros de fuerzas como soldados, tanques, etc, pueden moverse para realizar operaciones militares. Como tal, el campo de simulación puede ser visto como un campo de batalla, y los miembros de las fuerzas pueden ser considerados como nodos móviles moviéndose en el campo de simulación. El campo es usualmente definido por un rectángulo, descrito por su largo y ancho. Al ejecutar el comando **G\_Setting** → **Simulation**, se mostrará la figura 2.36, y bajo la pestaña de **Simulation**, los atributos del campo de simulación pueden ser especificados. [1]

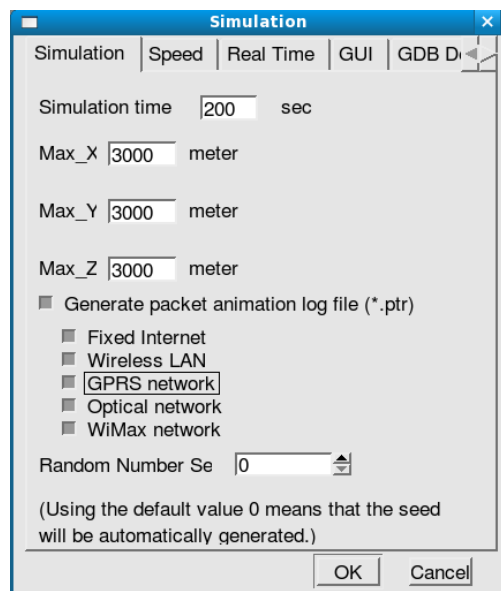


Figura. 2. 36. Atributos del campo de simulación

Un obstáculo es otro componente esencial usado para modelar un campo de batalla real. En el mundo real, hay varios edificios y colinas, los cuales pueden representar alguna clase de obstáculos para los miembros de las fuerzas. Por ejemplo, un río puede parar el movimiento de humanos y vehículos, y una montaña puede bloquear la línea de vista de un humano. Además, desde la perspectiva de una señal inalámbrica, todo objeto que tiene que atravesar puede convertirse en un obstáculo el cual reduce la potencia de la señal.

Para satisfacer todos estos requisitos de la simulación, se diseñó un obstáculo que tenga cuatro atributos importantes además de la ubicación de los puntos de inicio y final. El primero es el ancho, el segundo es si este bloquea el movimiento de los nodos móviles, el tercero es si bloquea la línea de vista de los humanos y el cuarto es si reduce la potencia de la señal inalámbrica o no, en ese caso, la cantidad de atenuación de potencia de la señal puede ser especificada. En el NCTUns, estos cuatro atributos pueden ser establecidos a través del cuadro de diálogo de la figura 2.37 del programa GUI.

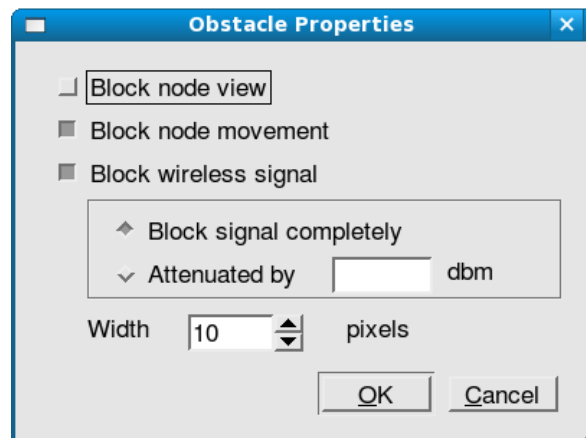


Figura. 2. 37. Propiedades de un obstáculo

## 2. Agentes Tácticos

Un agente táctico es responsable de declarar el papel táctico del nodo y controlar la acción del nodo apropiadamente.

Para cada nodo móvil, el usuario tiene que especificar el programa de su agente táctico, a través de la pestaña “**Application**”, la cual esta en el cuadro de diálogo del nodo.

Por ejemplo, como se muestra en la figura 2.38, el usuario especificó que el agente *Magent5-c* será ejecutado en el nodo 1 durante la simulación. Actualmente los programas de agentes tácticos soportados son *Magent1*, *Magent2*, *Magent3*, *Magent5* y *Magent5-c*. Cada uno de los programas de agentes tácticos usa una estrategia táctica diferente y todos ellos están instalados por defecto en el directorio */usr/local/nctuns/tools*.

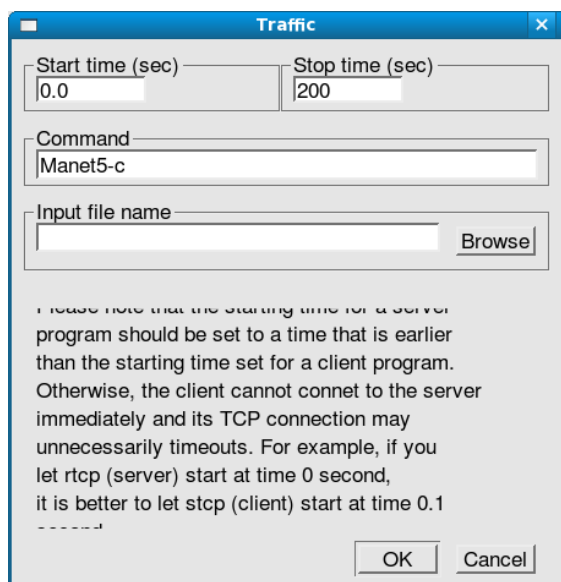
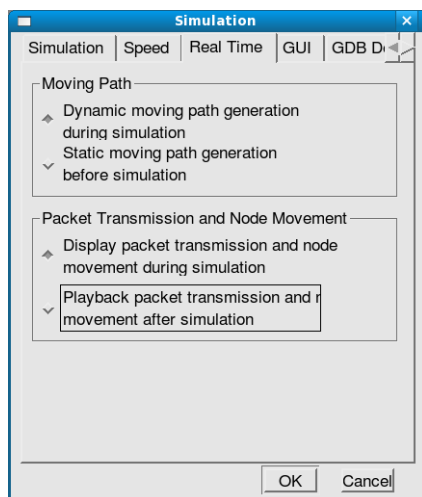


Figura. 2. 38. Especificación del agente táctico

### 3. Configuración de simulación

Antes de iniciar la simulación en el NCTUns, es importante habilitar dos opciones bajo la pestaña “**Real Time**”, el cual está en **Setting** → **Simulation**. La primera opción que se debe marcar es “*Dynamic moving path generation during simulation*” en la sección de *Moving Path* para indicar al motor de simulación que la ruta de movimiento del nodo móvil será generado dinámicamente. La segunda opción importante que se debe marcar es “*Display packet transmission and node movement during simulation*” en la sección *Packet Transmission and Node Movement* para que el programa GUI mostrará en tiempo de ejecución la transmisión de paquetes y el movimiento de nodo cuando la simulación este ejecutándose. En la figura 2.39 se muestra la pestaña *Real Time* del cuadro de diálogo de *Simulation*.




**Figura. 2. 39. Configuración de la simulación**


## CAPITULO III



### WIDE AREA NETWORK (WAN)

#### 3.1 REDES ÓPTICAS

Las redes ópticas son comúnmente usadas en el *backbone* del Internet para brindar enlaces de gran ancho de banda y a largas distancias.

Una red óptica está compuesta de enlaces ópticos, *switches* ópticos, y *routers* ópticos de borde. Los *routers* ópticos de borde están localizados en el límite de una red óptica. Ellos interconectan una red óptica con una red no óptica, por ejemplo a una red fija Ethernet. Un *router* óptico de borde es creado al usar el mismo botón  que se usa para crear un *router* normal en una red no óptica. Esto es porque una vez que un nuevo *router* es conectado a un *switch* óptico, el programa GUI reconoce que este *router* es un *router* óptico de borde. Como tal, el programa GUI instala módulos ópticos relevantes en la pila de protocolo de la interfaz que se conecta al *switch* óptico. [1]

Similarmente, un enlace óptico es creado al usar el mismo botón  usado para crear un enlace Ethernet entre dos dispositivos no ópticos. Esto es porque una vez que un enlace es creado entre dos *switches* ópticos o entre un *switch* óptico y un *router* óptico de borde, el programa GUI reconoce que este nuevo enlace creado debería ser un enlace óptico.

Dentro de una red óptica, solamente los *switches* ópticos pueden ser usados para formar las redes ópticas y ningún otro dispositivo está permitido. Dos tipos de *switches* ópticos son soportados por el NCTUns. El primero es llamado “*optical circuit switch*”  mientras que el segundo es llamado “*optical burst switch*” . Estos no pueden ser

combinados para formar una red óptica. Una red óptica puede ser formada por solamente un tipo de *switches* ópticos.

Al usar la técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), un enlace óptico es dividido en varios canales, cada uno de los cuales opera en una frecuencia diferente (o decir, usa una longitud de onda diferente). En el NCTUns, cuando el primer *switch* óptico es agregado al editor de topología, el programa GUI mostrará un cuadro de diálogo preguntando al usuario cuántos canales tiene un enlace óptico (visualizar la figura 3.1).

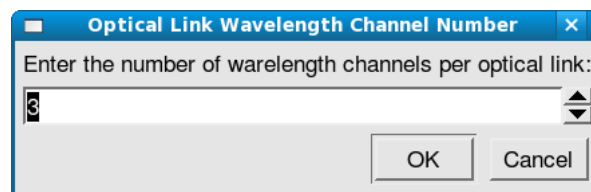


Figura. 3. 1. Número de canales por enlace óptico

En un caso de simulación, todos los enlaces ópticos deben tener el mismo número de canales. Este parámetro también puede ser establecido al ejecutar el comando **Menu** → **N\_Setting** → **Optical Network** → **Set Optical Link Wavelength Channel Number**. Una vez que el primer *switch* óptico es agregado al editor de topología, el usuario no puede cambiar el valor de este parámetro.

Los canales de longitud de onda de un enlace óptico son independientes y pueden ser configurados individualmente. El usuario puede establecer el ancho de banda, el retraso de propagación de la señal, la tasa de error de bit, y los periodos de *down time* de un canal específico de un enlace óptico. Cuando el usuario pulsa dos veces un enlace óptico, un cuadro de diálogo aparecerá preguntando al usuario cuál canal especificar. La figura 3.2 muestra este cuadro de diálogo.

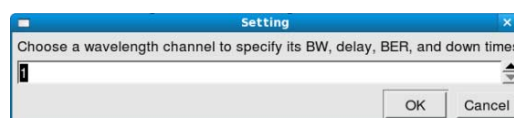


Figura. 3. 2. Especificación del canal

Después de ingresar el ID del canal, un cuadro de diálogo para este canal específico se mostrará, como se muestra en la figura 3.3. En la figura, cuando el usuario pulsa el botón **C.T.A.C** del campo del parámetro, el valor actual del campo será copiado a todos los canales del mismo enlace óptico. Por otro lado, cuando el usuario pulsa el botón **C.T.A.L** del campo del parámetro, el valor actual del campo será copiado a todos los canales de todos los enlaces ópticos en la red.

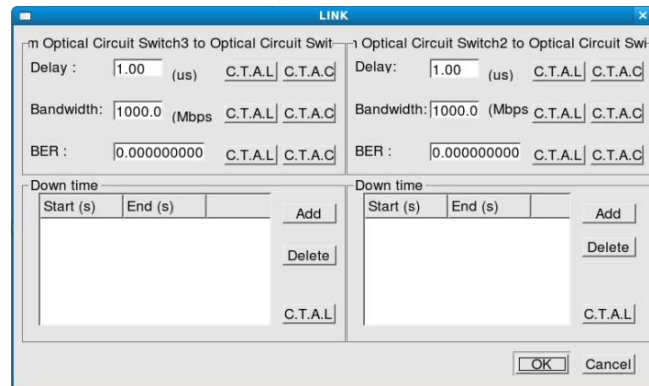


Figura. 3. 3. Cuadro de diálogo del canal

### 3.1.1 Red Óptica de Conmutación de Circuitos

Cuando una red óptica es formada por *optical circuit switches*, se lo llama “Red Óptica de Conmutación de Circuitos”. La figura 3.4 muestra una red que está compuesta por una red óptica de conmutación de circuitos y una red fija Ethernet.

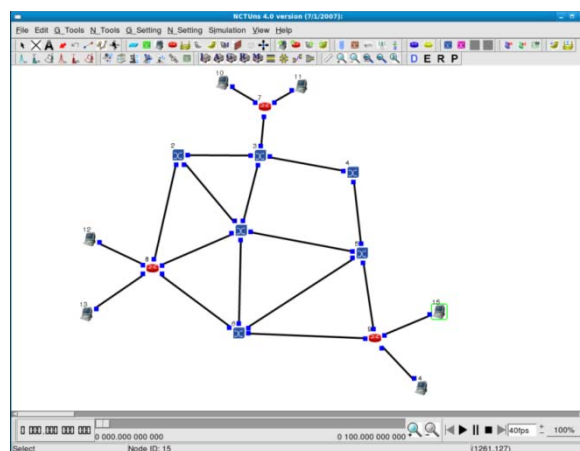


Figura. 3. 4. Red óptica de conmutación de circuitos



Para proteger este tipo de redes ópticas y permitirle recuperarse de cortes de enlaces o nodos, varios esquemas de protección pueden ser usados. Por ejemplo, 1+1 enlace punto a punto unidireccional, 1+1 enlace punto a punto bidireccional, 1:N un enlace de protección compartido con N enlaces de trabajo, 2 *fiber bidireccional line switched ring* (2F-BLSR), 4 *fiber bidireccional line switched ring* (4F-BLSR), etc. El NCTUns usa 2F-BLSR para proteger una red óptica de conmutación de circuitos.

En tal esquema, un anillo bidireccional es usado para conectar todos *switches* ópticos. Los enlaces sobre un anillo unidireccional transportan el tráfico y son llamados “enlaces de trabajo” mientras que los enlaces sobre el otro anillo unidireccional sirven como enlaces de respaldo y son llamados “enlaces de protección”. Si un enlace de trabajo se interrumpe entre dos *switches* ópticos (es decir el enlace del *switch* A al *switch* B), el *switch* A desviará su tráfico al enlace sobre el anillo de protección. El tráfico entonces viajará sobre el anillo de protección y eventualmente arribará al *switch* B. La operación de protección es automáticamente realizada en la capa 2 y es transparente para las capas superiores. Por lo tanto, el tráfico que fluye en la capa IP puede continuar su trayecto a su *switch* destino sin interrupciones. La figura 3.5 muestra el esquema de protección 2F-BLSR. [1]

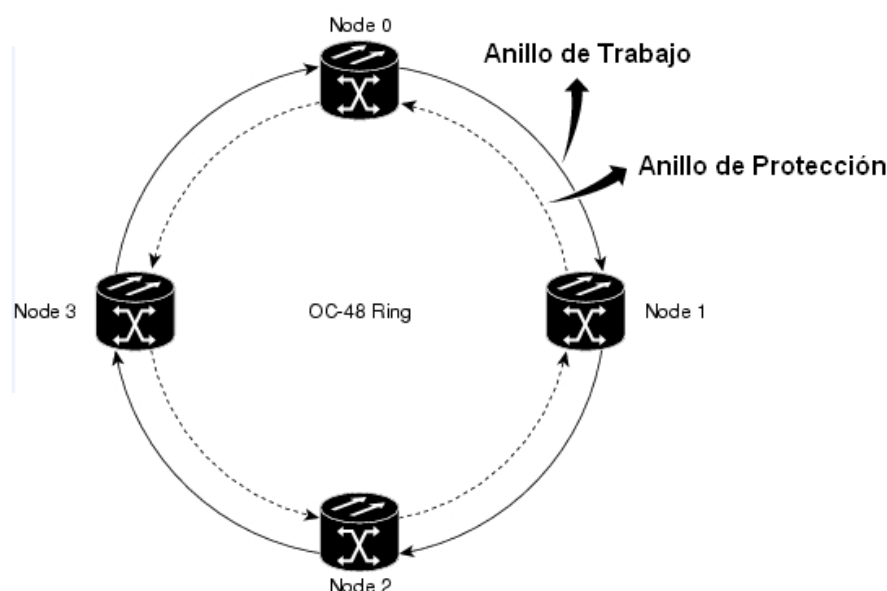



Figura. 3. 5. Esquema de protección 2F-BLSR

En una red óptica de conmutación de circuitos, el usuario puede especificar varios *2F-BLSR* para proteger la red. Si no se necesita la protección, el usuario no necesita especificar ningún *2F-BLSR*. Para especificar un *2F-BLSR*, el usuario puede usar el botón “*optical protection ring*”  para seleccionar secuencialmente los *switches* que deberían formar el anillo. La secuencia de los *switches* seleccionados es importante ya que define la dirección (horaria o antihoraria) del anillo de trabajo del *2F-BLSR*.

La operación usada para seleccionar los *switches* del anillo es como la operación para especificar la ruta de movimiento de un nodo móvil. El usuario primero selecciona un *switch* óptico pulsándolo. Entonces el usuario mueve el cursor del mouse a otro *switch* óptico y lo pulsa para seleccionarlo como el siguiente *switch* óptico del anillo. El *switch* seleccionado debe estar directamente conectado al *switch* anterior por un enlace óptico. Caso contrario, el esquema de protección no funcionará apropiadamente. Si el usuario desea cancelar este anillo, el usuario puede pulsar el botón derecho del *mouse* en cualquier lugar para descartar el anillo actual. [1]

Durante el proceso de creación del anillo, una línea roja gruesa se mostrará sobre la pantalla para indicar el anillo actual. Después de seleccionar todos los *switches* del anillo, el usuario debe pulsar el primer *switch* para cerrar el anillo. En este momento, el anillo especificado es formado y agregado al programa GUI. La figura 3.6 muestra que un anillo de protección *2F-BLSR* ha sido configurado y agregado al programa GUI.

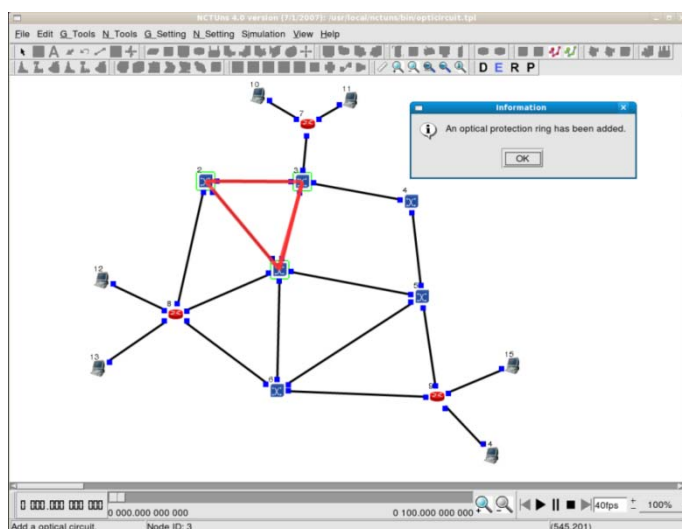
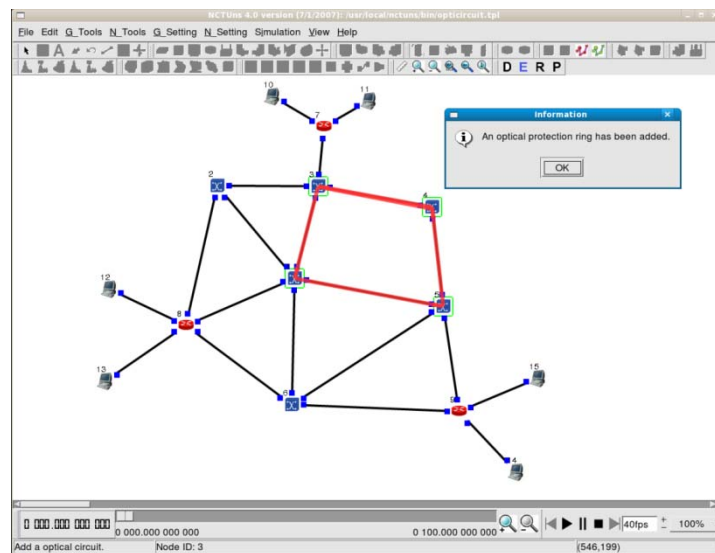
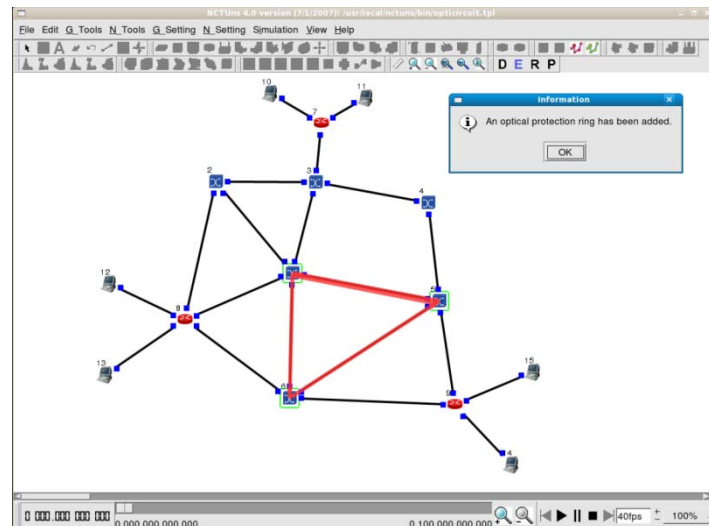


Figura. 3. 6. Primer anillo de protección *2F-BLSR*

Múltiples anillos de protección pueden ser configurados en una red óptica. Si estos anillos no se superponen no hay problema. Sin embargo, si se superponen, se debe tener cuidado para asegurarse que la direcciones de sus anillos de trabajo son las mismas. Las figuras 3.7 y 3.8 muestran el segundo y tercer anillo de protección  $2F-BLSR$  agregados a la misma red para proteger todos los enlaces ópticos.



**Figura. 3. 7. Segundo anillo de protección  $2F-BLSR$**




**Figura. 3. 8. Tercer anillo de protección  $2F-BLSR$**

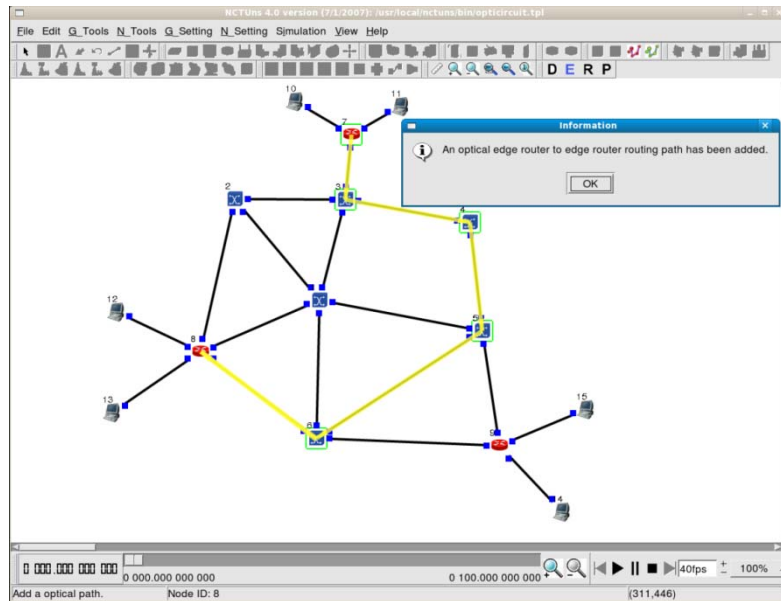
Estos tres anillos deben tener la misma dirección. La razón para esta restricción es que solo puede haber un anillo de trabajo para cada dirección de un enlace óptico.

Siguiendo esta regla de restricción puede asegurarse que esta propiedad se mantenga. Por ejemplo, el enlace óptico entre el *switch* con ID 3 y *switch* con ID 1 está en el primer anillo y en el segundo anillo. Si ambos anillos están en sentido horario o antihorario, hay exactamente un anillo de trabajo para cada dirección del enlace óptico.

Después de configurar los anillos de protección, el siguiente paso es establecer las rutas de la luz para cada par de *routers* ópticos de borde en la red óptica. En una red de conmutación de circuitos, antes que un *router* óptico de borde pueda enviar cualquier tráfico a través de la red óptica a otro *router* de borde, la ruta de la luz debe haber sido configurada y creada entre ellos. Todo el tráfico que es enviado de un *router* de borde a otro *router* de borde debería viajar sobre la ruta de luz configurada.

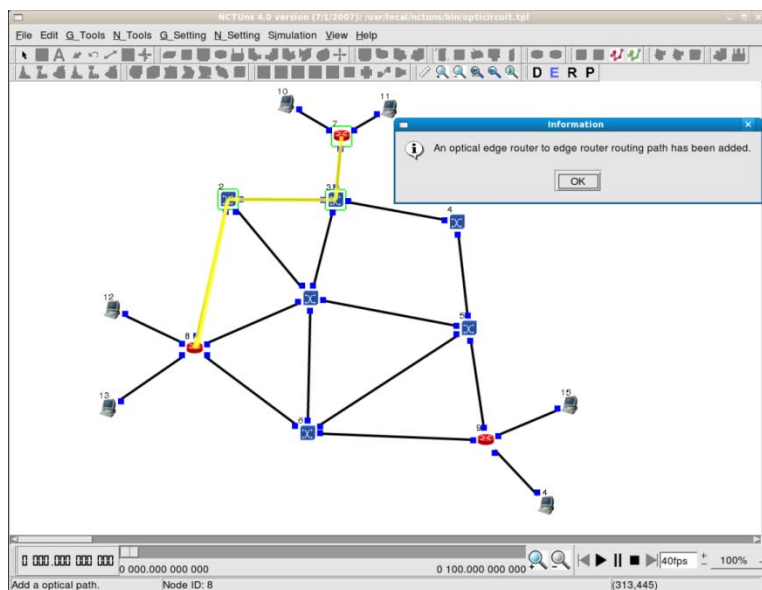
En NCTUns, existen dos métodos para crear una ruta de luz. En el primer método, el usuario puede usar el botón “*optical edge router to edge router routing path*”  para manualmente especificar un camino de enrutamiento entre dos *routers* ópticos de borde. La operación usada para especificar una ruta de luz es similar al que se uso para especificar un anillo de protección. La única diferencia es que la ruta de luz debe iniciar y finalizar en dos diferentes *routers* ópticos de borde mientras que un anillo de protección debe iniciar y finalizar en el mismo *switch* óptico. Durante el proceso de creación de la ruta de luz, el usuario puede cancelar la ruta al pulsar el botón derecho del *mouse* en cualquier lugar. Una línea gruesa amarilla se mostrará sobre la pantalla para indicar la ruta de luz actual. [1]

La secuencia de los *switches* seleccionados determina la ruta de luz y es muy importante. Si la ruta de luz necesita atravesarse por encima de algunos anillos de trabajo, esta debería seguir la dirección de estos anillos para que su tráfico pueda ser transportado sobre estos anillos. Esto es, si un anillo de trabajo está en sentido horario, la ruta de luz también debería estar en sentido horario. Este arreglo es el más eficiente. La figura 3.9 muestra el arreglo correcto de una ruta de luz asumiendo que los anillos de trabajo están en sentido horario.



**Figura. 3. 9 Arreglo correcto de una ruta de luz**

Por el contrario, si el usuario especifica una ruta de luz que tiene diferente dirección en comparación a los anillos de trabajo (aunque esta ruta pueda funcionar apropiadamente), este arreglo es el más ineficiente arreglo debido a que el tráfico de la ruta de luz necesita atravesar todo el anillo de trabajo para alcanzar su próximo *switch*. En la figura 3.10, aunque la ruta de luz es más pequeña que la ruta de luz en la figura 3.9 y parece que el ancho de banda usado por esta ruta es más eficiente, de hecho este no es el caso. En el primer anillo (su dirección es en sentido horario), para enviar tráfico del *switch* con ID 3 al *switch* con ID 2 (en sentido antihorario), el *switch* 2 necesita enviar el tráfico a través del *switch* 1 sobre el anillo de trabajo en sentido horario para permitir al tráfico alcanzar el *switch* 2.



**Figura. 3. 10. Arreglo incorrecto de una ruta de luz**

El segundo método para crear una ruta de luz es crearla dinámicamente. En este método, cuando los paquetes necesitan ser enviados desde un *router* óptico de borde a otro *router* óptico de borde y la ruta de luz entre ellos no ha sido creada, los módulos ópticos en el motor de simulación del NCTUns crearán una ruta de luz para ellos automáticamente. Por lo tanto, el usuario no necesita manualmente configurar las rutas de luz entre cada par de *routers* ópticos de borde.

Después que el usuario ha creado varios anillos de protección y rutas de luz, el usuario puede eliminar alguno de ellos o visualizarlos como ellos atraviesan la red óptica. Para realizar esta operación, el usuario puede ejecutar el comando **Menu** → **N\_Tools** → **Optical Network** → **Manage Optical Network Protection Rings and Edge Router to Edge Router Routing Paths**. La figura 3.11 muestra el cuadro de diálogo de este comando. En este cuadro de diálogo, para eliminar un anillo de protección o una ruta de luz, el usuario necesita seleccionarlo primero. Esta operación puede ser realizada pulsando el ID del anillo o de la ruta de luz. [1]

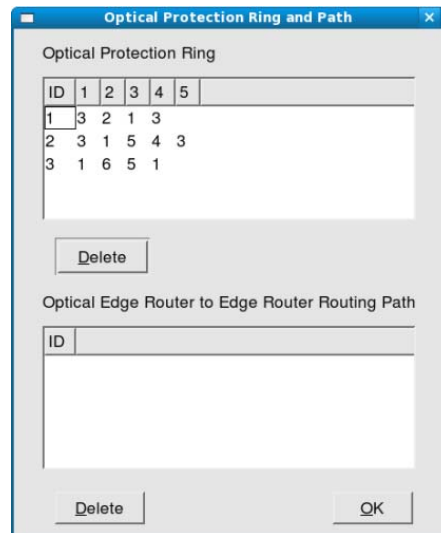
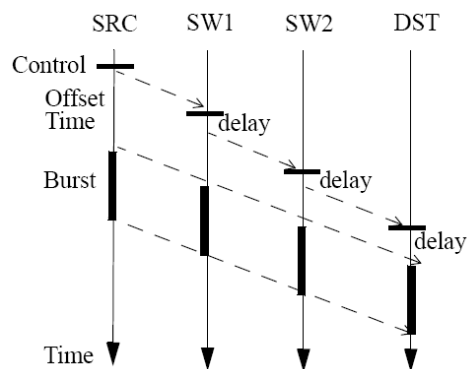


Figura. 3. 11. Administración de los anillos de protección y rutas de luz

Después de estas configuraciones, el usuario puede especificar los programas de aplicación que se ejecutarán en los *hosts* y realizar la simulación.

### 3.1.2 Conmutación Óptica de Ráfagas (OBS)

Conmutación óptica de ráfagas (OBS) [3, 4] es un método para transportar tráfico sobre una red óptica WDM *bufferless*. En el nodo origen, los paquetes son agrupados en una ráfaga y enviados juntos como una unidad antes que sean conmutados a través de la red. Antes de enviar una ráfaga, el nodo origen primero envía un paquete de control a lo largo del camino de enrutamiento de la ráfaga para configurar cada *switch* en el camino. El paquete de control es enviado sobre un canal fuera de banda. Este será electrónicamente procesado en cada *switch* para que el *switch* pueda asignar recursos para sus ráfagas en tiempo real. El *time offset* entre el envío del paquete de control y su ráfaga debería ser lo suficientemente grande. Esto es para asegurar que el paquete de control siempre llegue antes que la ráfaga correspondiente en *switch* intermediario. La figura 3.12 muestra el mecanismo de una red OBS.



**Figura. 3. 12. Mecanismo de una red OBS**

El paquete de control contiene información acerca del enrutamiento, la longitud de la ráfaga, y el *time offset*. La información de enrutamiento es para que el *switch* decida la interfaz de salida de la ráfaga. La información de longitud le dice al *switch* cuanto durará el tiempo la transmisión de ráfaga. La información del *time offset* permite al *switch* saber que una ráfaga llegará después del intervalo de tiempo dado por el *time offset*. Con esta información, el *switch* óptico tratará de reservar el tiempo de periodo para escoger la interfaz de salida de la ráfaga. Si ese periodo de tiempo no ha sido asignado a ninguna otra ráfaga, el *switch* óptico puede realizar satisfactoriamente la reservación. Caso contrario, el *switch* simplemente descartará el paquete de control sin enviar algún mensaje al nodo de origen. En cada *switch* intermedio, cuando llega el paquete de control, el *switch* óptico realiza el mismo procedimiento para reservar recursos para la ráfaga del paquete de control. Esta operación se repite hasta que el paquete de control satisfactoriamente alcanza su nodo de destino o es descartado en algún *switch*. [1]

En OBS, la prioridad de ráfaga y QoS puede ser soportado de varias maneras. Por ejemplo, una ráfaga de alta prioridad puede ser permitida a anticiparse a una ráfaga de baja prioridad que ya ha realizado una reservación satisfactoria. En [5], los autores proponen usar diferentes *times offset* para diferentes prioridades de ráfaga. El *time offset* de una ráfaga de alta prioridad es más largo que el de una ráfaga de baja prioridad. Los paquetes de control asociados con ráfagas de alta prioridad tendrán una mayor oportunidad para reservar satisfactoriamente sus recursos requeridos. Al contrario, los paquetes asociados con ráfagas de baja prioridad tendrán menos reservaciones satisfactorias, por lo que, estos paquetes de control y sus correspondientes ráfagas experimentarán una mayor *drop rate*.



Este protocolo de señalización de paquete de control es diseñado para ser de una vía (one-way) en lugar de dos vías (two-way). Esto es, el nodo de origen no necesita esperar la respuesta de la solicitud de reservación *source-to-destination* antes de enviar su ráfaga. Si se usa un protocolo de señalización de dos vías, en redes ópticas con un gran ancho de banda y grandes RTTs, gran cantidad de ancho de banda sería desperdiciado durante el RTT, debido a que ningún paquete puede ser enviado durante este periodo de tiempo. Al contrario, usando el propuesto protocolo de señalización de una vía, este periodo de tiempo de espera puede ser reducido a un valor fijo y pequeño, el cual es el usado *time offset*.



En las redes WDM actuales, la conmutación de circuitos (longitud de onda), conmutación óptica de paquetes, y conmutación óptica de ráfagas son las tres principales tecnologías. Potencialmente, la tecnología de conmutación óptica de paquetes puede proveer las más alta utilización del enlace entre las tres tecnologías. Sin embargo, no está todavía madura. La tecnología de conmutación de circuitos (longitud de onda) es práctica y está siendo usada. Sin embargo, su utilización del enlace es baja. La tecnología de conmutación óptica de ráfagas está diseñada entre las tecnologías de conmutación de circuitos (longitud de onda) y conmutación óptica de paquetes. Al asignar una longitud de onda de enlace (canal de luz), solamente por la duración de una ráfaga y estadísticamente al compartir el enlace entre ráfagas pertenecientes a diferentes flujos de tráfico, esto brinda una mejor utilización del enlace que la tecnología de conmutación de circuitos (estático).

Aunque la tecnología OBS brinda una mayor utilización del enlace que la tecnología de conmutación de circuitos (longitud de onda), su rendimiento no es satisfactorio. Debido a la propiedad de *bufferless* del *switch* óptico, cuando múltiples ráfagas compiten por el mismo enlace en el mismo tiempo, solamente una ráfaga puede ser satisfactoriamente conmutada en el dominio óptico, y todas las otras ráfagas superpuestas necesitan ser descartadas. Esto tiene como resultado una baja utilización del enlace y una alta tasa de pérdidas de ráfagas.

Algunos argumentos existentes de esquemas de resolución para redes de paquetes fotónicos como las *fiber-delay lines (FDLs)* y el *deflection routing* pueden ser usados en redes ópticas de conmutación de ráfagas. Sin embargo, estos métodos tienen sus propios inconvenientes. Las *FDLs* son costosas y su capacidad de *buffering* es limitada. En el *deflection routing*, los paquetes pueden ser transportados fuera de orden y el *throughput*

de la conexión TCP se reducirá. Otro método es usar múltiples canales de longitud de onda y convertir una longitud de onda de una ráfaga a otra longitud de onda cuando hay una colisión de ráfaga. Sin embargo, la conversión de la longitud de onda óptica es costosa.

En el diseño original, cuando dos ráfagas colisionan, la segunda ráfaga es descartada totalmente. Al parecer, este diseño es ineficiente y no necesita ser el caso. En [6], los autores proponen una aproximación para reducir la tasa de pérdidas de paquetes de un *switch* OBS. En esta aproximación, cuando los tiempos de transmisión deseados de dos ráfagas competidoras se superponen parcialmente, una ráfaga es escogida para ser conmutada en su totalidad mientras que a la otra ráfaga se le permite ser parcialmente conmutada, con la parte superpuesta siendo truncada. Dos diferentes esquemas de truncamiento pueden ser usados. El primer esquema es cortar el encabezado de la segunda ráfaga mientras que el segundo esquema es cortar la cola de la primera ráfaga. Estos tienen diferentes efectos y requieren diferentes protocolos y procesamiento. En [7], los autores proponen una aproximación para usar un esquema de control de congestión TCP para reducir significativamente la tasa de paquetes descartados en una red OBS.

En el NCTUns, para crear una red OBS, el usuario solo usa el botón de “*switch* óptico de ráfaga”  para agregar varios *switches* OBS en la red y se usa el botón de enlace  para conectarlos. Como en una red óptica de conmutación de circuitos, los *routers* ópticos de borde deben estar localizados en el límite de la red OBS para conectar la red OBS con redes fijas exteriores no ópticas. La figura 3.13 muestra un ejemplo de una red OBS en el NCTUns.

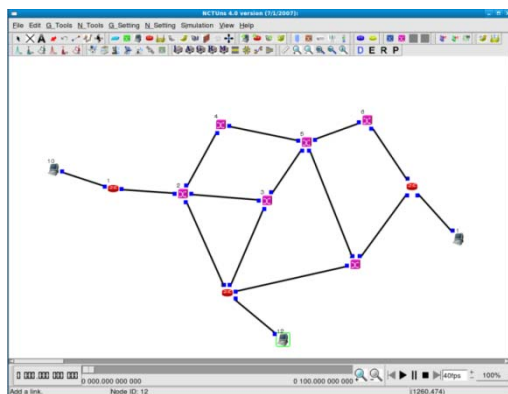


Figura. 3. 13. Red OBS

En un caso de simulación de una red OBS, el usuario no necesita configurar los anillos de protección y especificar las rutas de luz entre cada par de *routers* ópticos de borde. Cuando los paquetes necesitan ser enviados desde un *router* óptico de borde a otro *router* óptico de borde, los módulos de protocolo OBS del NCTUns automáticamente escogerá la ruta más corta entre ellos como su ruta de luz.

### 1. Pila de Protocolo OBS

En las figuras 3.14 y 3.16, se mostrará la pila de protocolo de un *switch* óptico de ráfaga y la pila de protocolo de un *router* óptico de borde en una red OBS. En esta red, un enlace óptico tiene tres canales de longitud de onda.

En la figura 3.15 se muestra el cuadro de diálogo de parámetros de un módulo de protocolo (OPT\_OBSW) usado dentro de la pila de protocolo de un *switch* óptico de ráfaga. Este módulo de protocolo se encarga de dos cosas. Primero, cuando múltiples paquetes de control llegan exactamente al mismo tiempo y todos ellos compiten por el mismo canal de salida, se necesita decidir cual de ellos aceptar, mientras se descartan los otros, debido a que el *switch* óptico de ráfaga solamente puede procesar un paquete de control a la vez. En la actualidad existen tres métodos. En el primer método, el módulo aleatoriamente escoge un paquete de control. En el segundo método el módulo escoge el paquete de control con el más pequeño *time offset*, mientras que en el tercer método el módulo escoge el paquete de control con el más grande *time offset*. Segundo, cuando dos ráfagas compiten y se superponen con el otro parcialmente, se necesita decidir como manejar esta situación. En la actualidad existen tres métodos. En el primer método, el módulo descarta la segunda ráfaga completamente. En el segundo método el módulo descarta el encabezado de la segunda ráfaga mientras que en el tercer método el módulo descarta la cola de la primera ráfaga. [1]

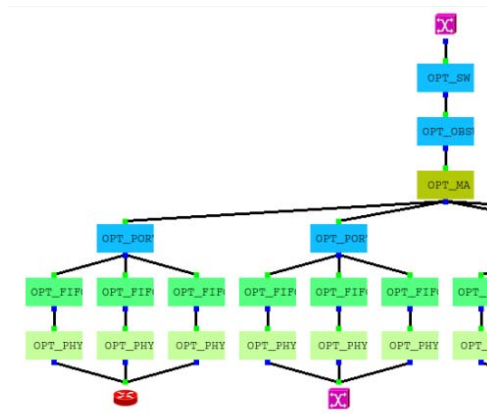


Figura. 3. 14. Pila de protocolo de un *switch* óptico de ráfagas

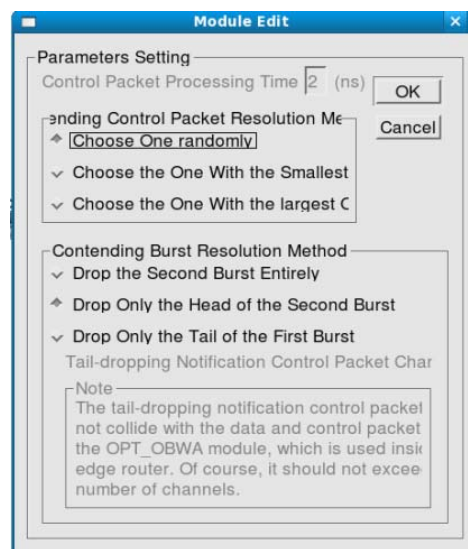


Figura. 3. 15. Cuadro de diálogo del módulo OPT\_OBSW

En la figura 3.17 se mostrará el cuadro de diálogo de parámetros del módulo de protocolo (OPT\_OBWA) usado dentro de la pila de protocolo de un *router* óptico de borde en una red OBS. Este módulo se encarga de realizar el ensamblaje de ráfaga en un *router* óptico de borde. Para ensamblar una ráfaga, varios paquetes necesitan ser acumulados para hacer una ráfaga bastante grande. El campo del “*Maximum Burst Length (MBL)*” especifica cuántos *bytes* de paquetes necesitan ser acumulados antes que una ráfaga pueda ser enviada. Para evitar mucho retraso, una ráfaga pequeña debería ser enviada después de un cierto periodo de tiempo aunque su longitud siga siendo menos que el *MBL*. El campo de “*Timeout to Send a Burst*” especifica este periodo de tiempo. Cuando los paquetes

llegan a un *router* óptico de borde en una tasa más grande que la tasa en la cual las ráfagas pueden ser enviadas, ellos necesitan esperar en una cola para ser ensamblados. La máxima longitud permitida para esta cola es especificada en el campo “*Maximum Queue Length*”. Cuando los paquetes llegan pero encuentran que la cola está llena, estos serán descartados. [1]



Figura. 3. 16. Pila de protocolo de un *router* óptico de borde

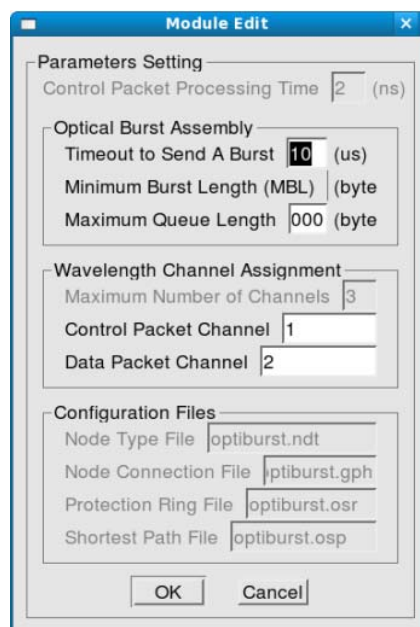


Figura. 3. 17. Cuadro de diálogo del módulo OPT\_OBWA

En una red OBS, los paquetes de control y sus paquetes de datos de ráfagas son enviados sobre diferentes canales de longitud de onda. En este módulo, el usuario puede especificar estos canales.

### 3.2 REDES SATELITALES DVB-RCS

*DVB-RCS (Digital Video Broadcasting – Return Channel Via Satellite)* es el conocido estándar que proporciona canales para un *GEO Satellite* (satélite geoestacionario) y pueda interactuar con *RCTSs (Return Channel Satellite Terminals)* fijas en el suelo. Un sistema *DVB-RCS* habilita dos vías de intercambio de datos entre los proveedores de servicio y los usuarios finales. Como tal, protocolos de internet como TCP/IP y UDP/IP pueden operar en sistemas *DVB-RCS*. [1]

#### 3.2.1 Nodos de Red

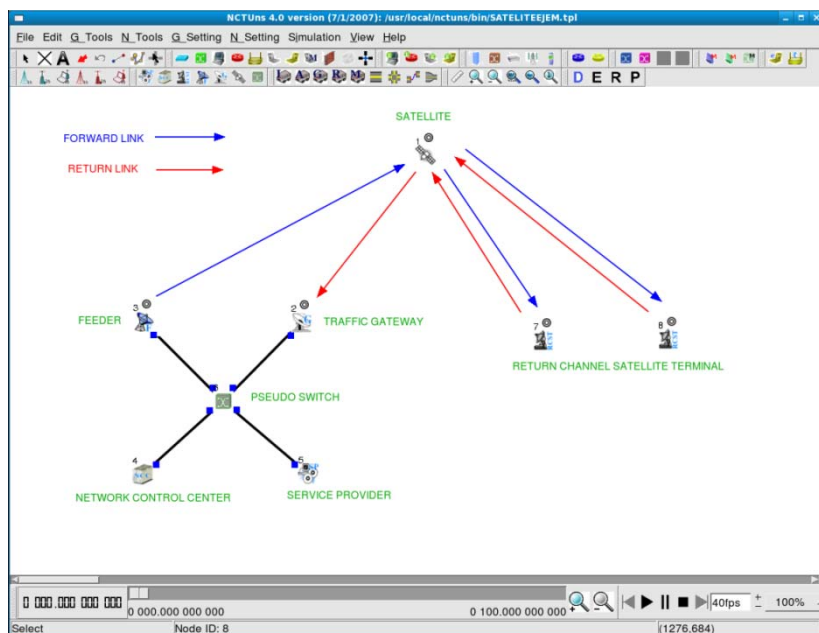
La figura 3.18 muestra (de izquierda a derecha) los siete tipos de de nodos de red que posee una red *DVB-RCS*: *SP (Service Provider)*, *NCC (Network Control Center)*, *RCST (Return Channel Satellite Terminal)*, *Feeder*, *TG (Traffic Gateway)*, *Satellite*, y *Pseudo Switch*.



**Figura. 3. 18. Nodos en una red *DVB-RCST***

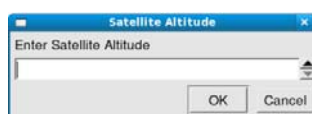
El *NCC* es el control central de toda la red *DVB-RCS*. Es el responsable de administrar el uso de los recursos del canal en el enlace de salida y en el enlace de retorno. El *SP* es el *gateway* que conecta una red *DVB-RCS* a cualquier tipo de red soportada por el NCTUns. En otras palabras, cualquier tráfico de red generado por un *RCST* tiene que ser enrutado a redes externas a través del *SP* y viceversa. El *TG* es el *gateway* que recibe las señales del enlace de retorno emitidas por el *RCSTs*. Es el responsable de entregar las señales al *NCC* y *SP*. EL *Feeder* es el responsable de emitir señales en el enlace de salida que contengan mensajes de datos y administración enviados desde el *NCC* o *SP*. El *Pseudo Switch* es un nodo virtual que no existe realmente en una red *DVB-RCS*. Es usado en el

programa GUI del NCTUns para conectar gráficamente un *NCC*, un *SP*, un *Feeder*, y un *TG*. Durante la simulación, los mensajes transmitidos son intercambiados directamente del *NCC/SP* al *Feeder* o del *TG* al *NCC/SP*, y estos no pasan a través del *Pseudo Switch*. El *Satellite* es un satélite geoestacionario con *transponders* transparentes. En otras palabras, es solamente un repetidor de señal. El satélite recibe las señales de los canales de subida, los amplifica, y los transmite sobre el canal de bajada. El *RCST* puede ser usado como un dispositivo terminal independiente o como un *gateway* a una red cercana como una Intranet empresarial o una LAN remota. Las únicas rutas de comunicación que tiene un *RCST* son en el enlace de salida y el enlace de retorno brindados por la infraestructura del satélite. La figura 3.19 muestra un ejemplo de una red *DVB-RCST*. [1]




**Figura. 3. 19 Red DVB-RCST**

Cuando se coloca en nodo de satélite en el área de trabajo aparecerá un cuadro de diálogo. La altitud del satélite puede ser especificado en el cuadro de diálogo de la figura 3.20.



**Figura. 3. 20. Altitud del satélite**

### 3.2.2 Formación de Subredes

Después de crear la topología de red deseada, el usuario tiene que especificar la subred de la red *DVB-RCS* para que el programa GUI automáticamente pueda asignar una dirección IP a cada interfaz de red de capa 3. Para hacer esto, el usuario primero pulsa el botón izquierdo en el icono de “*form subnet*” , luego se pulsará el botón izquierdo sobre todos los nodos requeridos para formar una red *DVB-RCS*. Los nodos requeridos incluyen un nodo *Satellite*, un nodo *TG*, un nodo *Feeder*, un nodo *NCC*, un nodo *SP*, y uno o varios nodos *RCST*. Después de seleccionar todos los nodos requeridos, el usuario puede pulsar el botón derecho del *mouse* para completar el proceso de formación de subred. La figura 3.21 muestra un ejemplo de la operación “*Form Subnet*”.

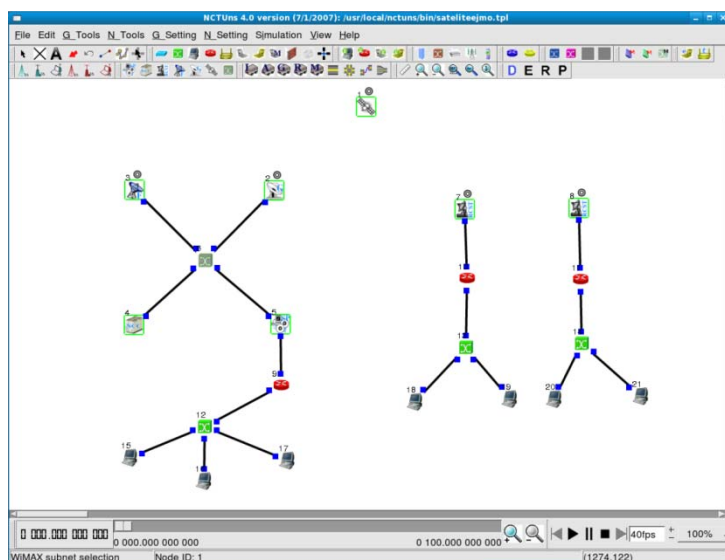


Figura. 3. 21. Operación *Form Subnet*

Después de completar el proceso de formación de subred aparecerá el cuadro de diálogo de la figura 3.22 que muestra el ID del nodo de cada nodo seleccionado. El usuario puede pulsar el botón “OK” para confirmar esta formación o pulsar el botón “Cancel” para cancelar esta formación.



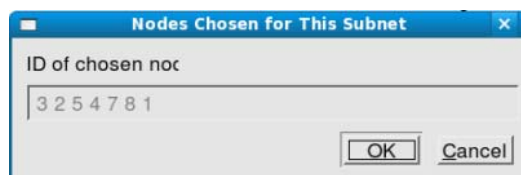


Figura. 3. 22. Nodos escogidos para una subred

El usuario puede comprobar los resultados de la formación y eliminar cualquier subred formada al usar el comando **Menu** → **N\_Tools** → **DBV-RCST Satellite Network** → **Manage DBV-RCST Subnets**. En el cuadro de diálogo de la figura 3.23 de este comando, el usuario puede visualizar los IDs de los nodos pertenecientes a una subred. El usuario puede escoger una red existente de este cuadro de diálogo y eliminarlo pulsando el botón “Delete”.

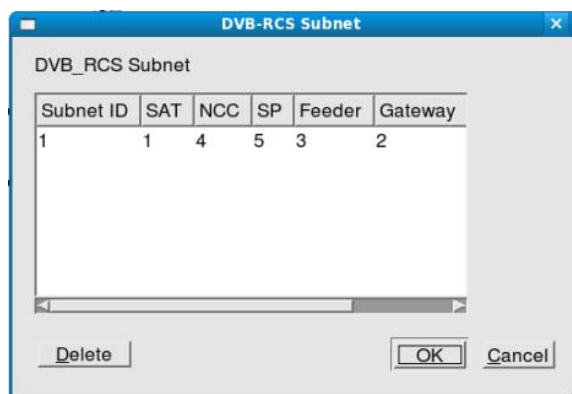


Figura. 3. 23. Subredes DVB-RCS

### 3.2.3 Asignación del canal

En un sistema *DVB-RCS* los enlaces de salida y retorno son empleados para brindar dos vías de intercambio de datos entre los proveedores de servicio y los usuarios finales. El usuario tiene que completar las configuraciones de los canales para estos dos enlaces.

En la implementación actual del *DVB-RCS*, solamente un canal es usado en el *uplink* del *forward link* (enlace de salida), y también solamente un canal es usado en el *downlink* del *forward link*. Como se muestra en la siguiente figura, se tiene que asignar las frecuencias centrales para las bandas de frecuencia del *uplink* y *downlink*. El valor de la

frecuencia central será usado para calcular el *BER* (*Bit Error Rate*) en el *uplink/downlink* cuando una simulación se ejecute. Toda la banda de frecuencia del *uplink* es automáticamente designada al canal 0, y toda la banda de frecuencia del *downlink* es automáticamente designada al canal 1, como se muestra en la figura 3.24.

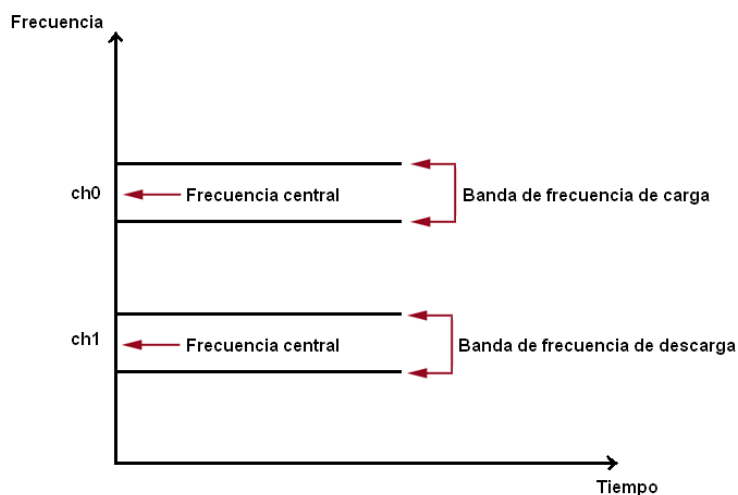


Figura. 3. 24. Asignación de canales en el *forward link*

Para configurar el valor de la frecuencia central, el usuario debe estar en el modo de operación *Edit Property*, y entonces pulsar dos veces el nodo *NCC*. En el cuadro de diálogo que aparecerá, el usuario tiene que escoger la pestaña de *Forward link arrangement*. En esta pestaña, el usuario puede configurar los valores de las frecuencias centrales para los canales del *forward downlink* y *uplink*. La figura 3.25 muestra la pestaña *Forward link arrangement* del cuadro de diálogo del *NCC*.

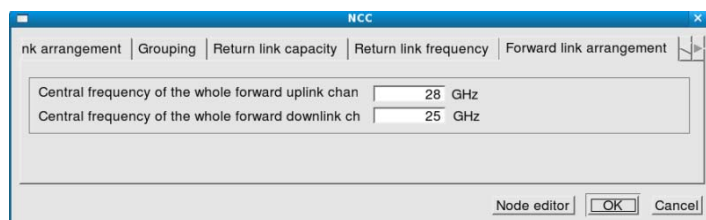
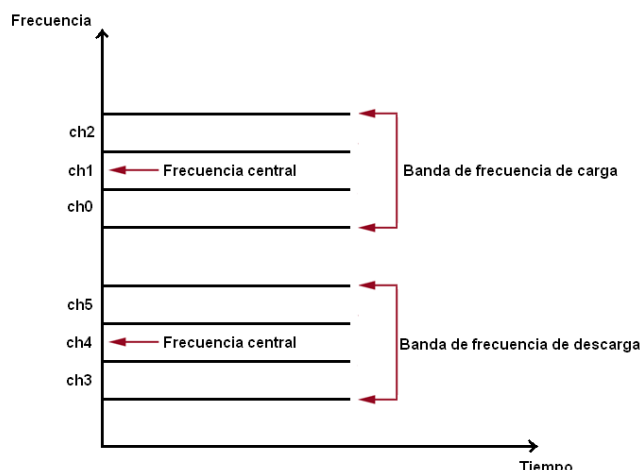


Figura. 3. 25. Frecuencias centrales para los canales *forward uplink* y *forward downlink*

A diferencia del *forward link*, varios canales son usados en el *return link* (enlace de retorno). La figura 3.26 muestra la asignación de canal del *return link*.



**Figura. 3. 26. Asignación de canales en el *return link***

Para el enlace de retorno se tiene que asignar las frecuencias centrales para todas las bandas de frecuencia del *downlink* y *uplink*. Además, el usuario tiene que especificar el ancho de banda de cada canal para que la frecuencia central de cada canal pueda ser derivada automáticamente por el programa GUI. El ancho de banda de cada canal es el mismo en la implementación actual. El valor de la frecuencia central de cada canal será usado para calcular el *BER* en el *uplink/downlink* cuando la simulación se ejecute. El ID del canal (por ejemplo, ch0, ch1, ch2, etc.) es automáticamente designado por el programa GUI. [1]

Para configurar la frecuencia central y el ancho de banda del canal, el usuario debe pulsar dos veces el nodo *NCC*. En el cuadro de diálogo que aparecerá, el usuario puede escoger la pestaña *Return link assignment*. En la parte superior de esta pestaña, el usuario puede configurar el rango de la *superframe (supertrama) ID*. El número de supertramas determina el número de canales usados en el *uplink/downlink* del enlace de retorno. También se tiene que establecer las frecuencias centrales de todas las bandas de frecuencias del *uplink* y *downlink*. El ancho de banda de cada canal es determinado al configurar la tasa de símbolo y el factor *roll off* aplicado en cada canal. El valor resultante de cada ancho de banda canal es calculado por la siguiente ecuación.

$$\text{bandwidth} = \text{symbol rate} * (1 + \text{roll off factor})$$

La figura 3.27 muestra la pestaña *Return link assignment* del cuadro de diálogo del NCC.

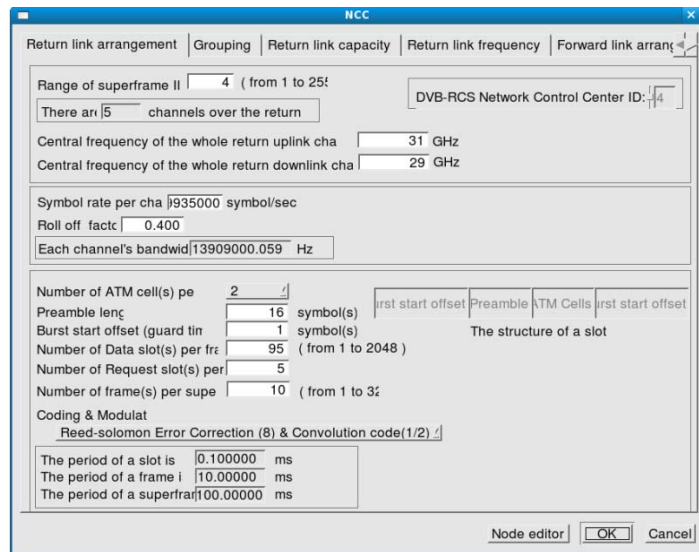


Figura. 3. 27. Cuadro de diálogo de la pestaña *Return link arrangement*

La frecuencia central generada automáticamente de cada canal se muestra en la pestaña de *Return link frequency*, como se muestra en la figura 3.28. Cada vez que el usuario cambia la frecuencia central de toda la banda de frecuencia del *uplink/downlink* o del ancho de banda del canal, el usuario debería pulsar el botón *Show frequency* en esta pestaña para recalcular la frecuencia central de cada canal. Los valores resultantes serán mostrados en esta pestaña.

The screenshot shows the 'Return link frequency' tab of the NCC dialog box. The data is as follows:

| channel | central frequency |
|---------|-------------------|
| 0       | 30972182512       |
| 1       | 30986091512       |
| 2       | 31000000512       |
| 3       | 31013909512       |
| 4       | 31027818512       |

| channel | central frequency |
|---------|-------------------|
| 5       | 28972181488       |
| 6       | 28986090488       |
| 7       | 28999999488       |
| 8       | 29013908488       |
| 9       | 29027817488       |

Figura. 3. 28. Cuadro de diálogo de la pestaña *Return link frequency*

### 3.2.4 Entramamiento de canal del enlace de retorno

De acuerdo al estándar *DVB-RCS* [8], el dominio del tiempo de cada canal en el enlace de retorno está dividido en supertramas consecutivas, cada supertrama está dividida en tramas y finalmente cada trama está dividida en *timeslots*. La figura 3.29 muestra la estructura de entramamiento aplicada a un canal del enlace de retorno.

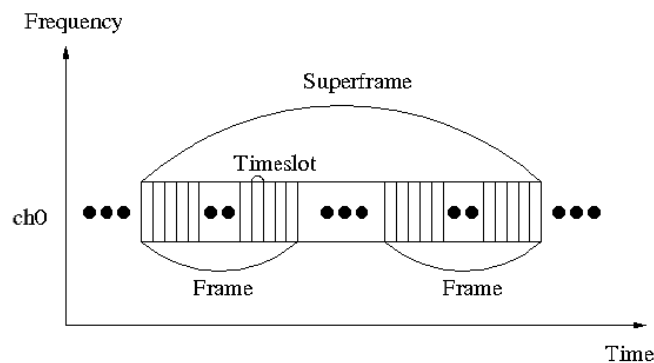


Figura. 3. 29. Estructura de entramamiento aplicada a un canal del enlace de retorno

Como se muestra en la figura 3.30, un *timeslot* está compuesto de un *preamble duration*, un *payload duration*, y un *guard time duration*. El *guard time duration* está dividido en dos *burst start offset*. Un *burst start offset* está ubicado al inicio y el otro está ubicado al final del *timeslot*. Uno, dos, o cuatro celda(s) ATM pueden ser transportados en la porción de *payload* dentro de un *timeslot*.

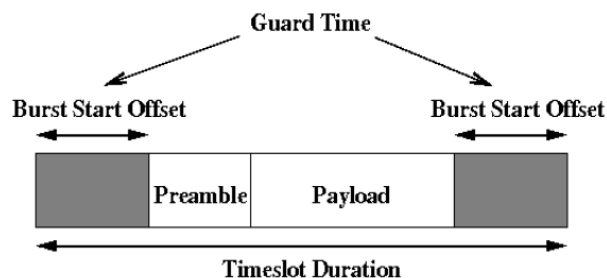


Figura. 3. 30. Composición de un *timeslot*

Se tiene que establecer el número de celdas ATM transportadas en un *timeslot*, el *preamble length*, el *burst start offset* (el cual es la mitad de un *guard time period*), el número de *timeslots* por trama usados por el *bearing data* (llamado “*data slots*” aquí), el número de *timeslots* por trama usados por el *bearing capacity request* (llamado “*request slots*” aquí), el número de tramas por supertrama, y la combinación usada del esquema de codificación y modulación. Con la información anterior, el programa GUI puede automáticamente calcular los periodos de un *timeslot*, una trama, y una supertrama. Además, la máxima capacidad de transmisión de canal puede ser calculada por el programa GUI. [1]

Para configurar los valores de los parámetros mencionados anteriormente, se tiene que pulsar dos veces el nodo *NCC*. En el cuadro de diálogo que aparecerá y que se muestra en la figura 3.31, se tiene que escoger la pestaña *Return link arrangement*. Los valores deseados deberían ser configurados en la parte inferior de la pestaña.

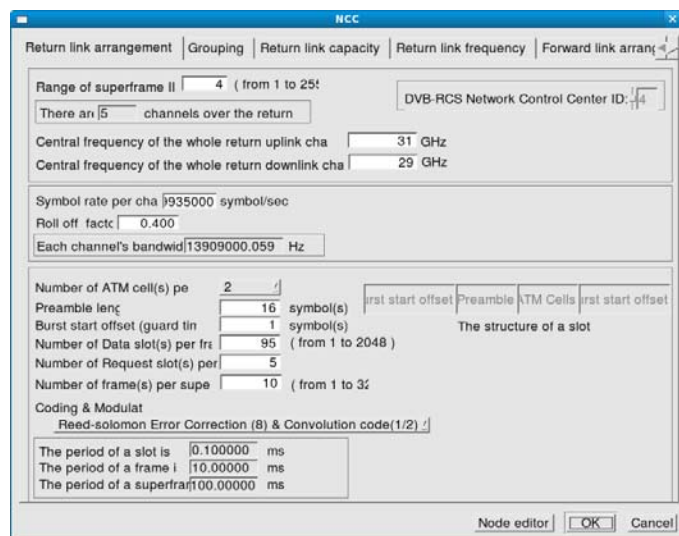


Figura. 3. 31. Configuración de los valores de un *timeslot*

La máxima capacidad de transmisión de canal puede ser visualizada en la pestaña de *Return link capacity*. La figura 3.32 muestra el cuadro de diálogo de esta pestaña.

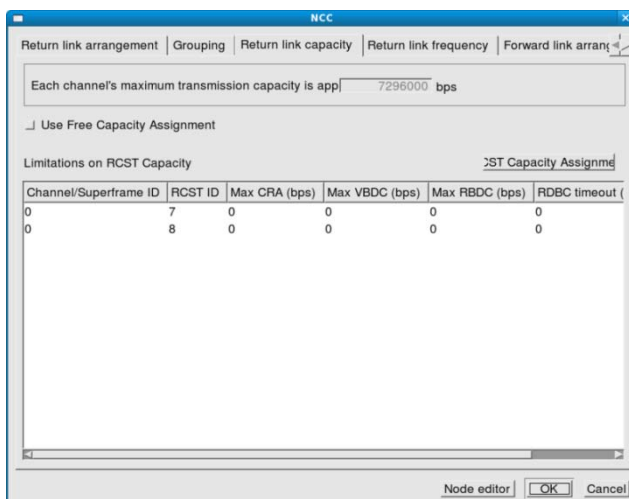


Figura. 3. 32. Cuadro de diálogo de la pestaña *Return link capacity*

Las fórmulas para calcular los periodos de un *timeslot*, una trama, una supertrama, y la máxima capacidad de transferencia de canal se describe a continuación.

### Definiciones

SR: la tasa de símbolo

N\_ATM: el número de celdas ATM por *timeslot*

B\_ATM (53 bytes): la longitud de una celda ATM (5 bytes para el encabezado y 48 bytes para el *data payload*)

RS (16 bytes): *parity-check bytes* adicionales anexados a los datos originales al usar *Reed-Solomon outer coding*

CC (2): el múltiplo en el incremento de longitud de datos cuando se usa la codificación convolucional con tasa de codificación 1/2

QPSK (2): el número de *bits* por símbolo cuando se usa la modulación QPSK

PREAMBLE (symbols): el *preamble length* de un *timeslot*

GUARD (symbols): el *guard time period* de un *timeslot*

N\_DATA\_SLOT: el número de *data timeslots* por trama

N\_REQ\_SLOT: el número de *request timeslots* por trama

N\_FRAME: el número de tramas por supertrama

PAYLOAD\_SYMBOL: el número de símbolos requeridos para soportar el *payload* de un *timeslot*

TIMESLOT: el periodo de un *timeslot*

FRAME: el periodo de una trama

SUPERFRAME: el periodo de una supertrama

### Fórmulas

$$\text{PAYLOAD\_SYMBOL} = \{[(B\_ATM * N\_ATM) + RS] * CC * 8 * (1/QPSK)\}$$

$$\text{TIMESLOT (ms)} = [(\text{PAYLOAD\_SYMBOL} + \text{PREAMBLE} + \text{GUARD}) / \text{SR}] * 1000$$

$$\text{FRAME (ms)} = \text{TIMESLOT} * (N\_DATA\_SLOT + N\_REQ\_SLOT)$$

$$\text{SUPERFRAME (ms)} = \text{FRAME} * N\_FRAME$$

$$\text{The maximum channel transmission capacity (bps)} = [N\_DATA\_SLOT * N\_ATM * (B\_ATM - 5)] / (\text{FRAME} / 1000)$$

### 3.2.5 Agrupamiento RCST

Cada RCST tiene que ser asignado a un grupo y a cada grupo se le asigna un único ID de grupo. Los RCSTs pertenecientes a un mismo grupo usan el mismo canal para la transmisión en el canal de retorno. A cada canal es asignado un único ID de canal (supertrama). Múltiples grupos de RCSTs pueden compartir la capacidad de transmisión de un mismo canal. En otras palabras, la relación entre los IDs de grupo y los IDs de supertramas puede ser una asociación de muchos a uno.

Para especificar la asociación, se tiene que pulsar dos veces el nodo NCC. En el cuadro de diálogo de la figura 3.33, se tiene que escoger la pestaña de *Grouping*. En el lado derecho de la ventana, existen dos botones para la asignación de ID de grupo y para la asociación de ID de grupo a ID de supertrama.

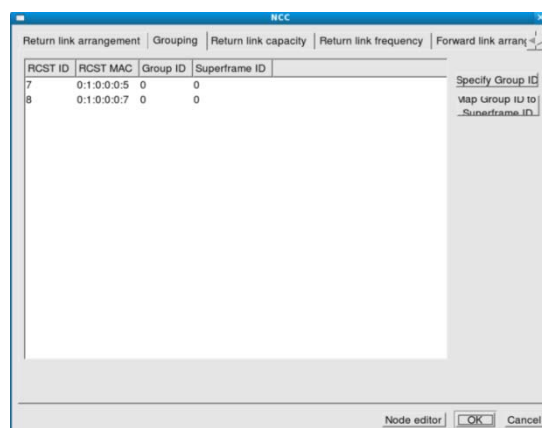


Figura. 3. 33. Cuadro de diálogo de la pestaña *Grouping*



Antes de pulsar el botón *Specify Group ID*, se tiene que escoger primero un *RCST* cuyo ID de grupo esta siendo especificado. La figura 3.34 muestra el cuadro de diálogo que aparecerá después de pulsar el botón *Specify Group ID*. El ID de grupo del seleccionado *RCST* puede ser establecido en este cuadro de diálogo.

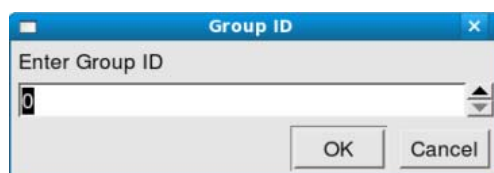


Figura. 3. 34. ID de grupo

Antes de pulsar el botón *Map Group ID to Superframe ID*, se tiene que escoger primero un *RCST* cuyo ID de grupo está siendo asociado al ID de supertrama. La figura 3.35 muestra el cuadro de diálogo que aparecerá después de pulsar el botón *Group ID to Superframe ID*. El ID de grupo del *RCST* seleccionado es mostrado solamente como referencia y no puede ser modificado. Entonces se escoge el deseado ID de supertrama (canal) al cual el mostrado ID de grupo debería ser asociado.

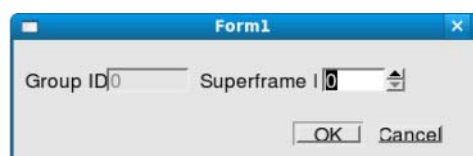


Figura. 3. 35. Asociamiento del ID de grupo con el ID de supertrama

### 3.2.6 Asignación de la capacidad de canal

La capacidad de canal puede ser asignada a cada grupo de *RCSTs*. En otras palabras, la capacidad total de un canal dado puede ser asignada a todos los *RCSTs* que envían/reciben señales en el canal.

La asignación de la capacidad de canal puede ser operada en la pestaña de *Return link capacity*, el cual se encuentra en el cuadro de diálogo que aparecerá al pulsar dos veces el nodo *NCC*. La máxima capacidad de transmisión de cada canal se muestra en la

parte superior de la pestaña. Se puede referir a la máxima capacidad de canal cuando se empieza a asignar una cierta cantidad de capacidad para cada *RCST*. Para iniciar la asignación de capacidad *RCST*, el usuario tiene que pulsar el botón *RCST Capacity Assignment*. La figura 3.36 muestra la pestaña *Return link capacity* del cuadro de diálogo del *NCC*.

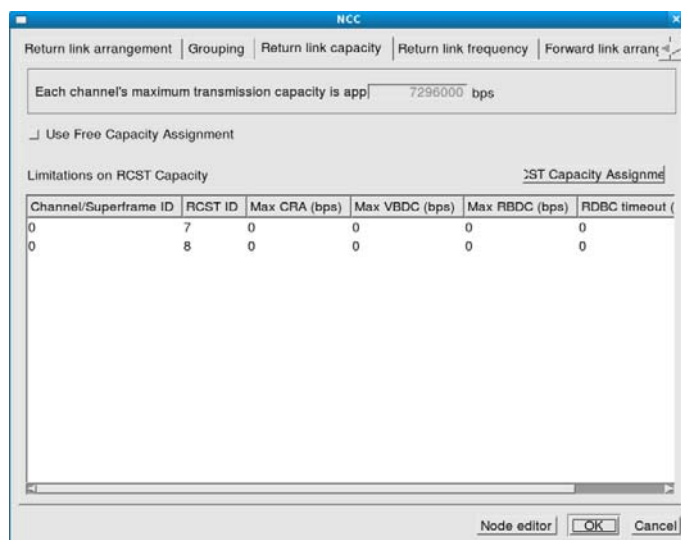


Figura. 3. 36. Asignación de la capacidad de canal en la pestaña *Return link capacity*

La figura 3.37 muestra el cuadro de diálogo que aparecerá cuando se pulsa el botón *RCST Capacity Assignment*. En este cuadro, se muestra la capacidad restante de cada canal. La capacidad restante es la capacidad de canal que todavía puede ser asignado a *RCSTs*. Después de escoger un ID de supertrama/canal, el usuario puede pulsar el botón *Set RCST Capacity* para asignar la capacidad de las señales de envío/recepción de cada *RCST* en el canal seleccionado.

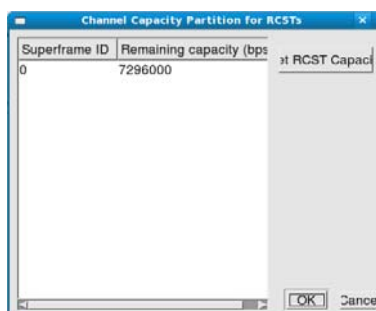
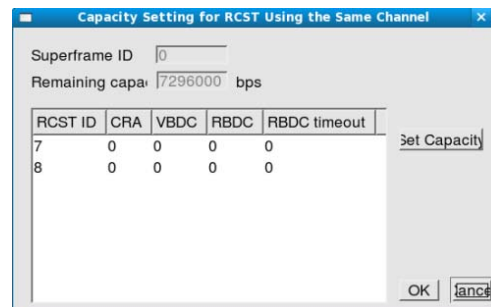


Figura. 3. 37. Capacidad restante de cada canal

La figura 3.38 muestra el cuadro de diálogo que aparecerá cuando se pulsa el botón *Set RCST Capacity*. Este cuadro muestra las asignaciones de capacidad actuales para todos los *RCSTs* que envían/reciben señales en el canal dado. Si se desea cambiar la asignación, el usuario puede pulsar el botón *Set Capacity*.



**Figura. 3. 38. Asignaciones de capacidad**

De acuerdo al estándar *DVB-RCS* [1], cinco categorías de pedido de capacidad son propuestas:

- *CRA (Continuous Rate Assignment)*
- *RBDC (Rate Based Dynamic Capacity)*
- *VBDC (Volume Based Dynamic Capacity)*
- *AVBDC (Absolute Volume Based Dynamic Capacity)*
- *FCA (Free Capacity Assignment).*

Cada categoría brinda diferentes garantías QoS para un *RCST* para satisfacer diferentes tipos de flujos de tráfico (por ejemplo, tiempo real, tasa de *bit* constante, etc). Excepto por *AVBDC*, las otras cuatro categorías de pedido de capacidad son soportadas en la implementación actual del *NCTUns*. La figura 3.39 muestra el cuadro de diálogo que aparecerá cuando se pulsa el botón *Set Capacity* después de escoger un *RCST*. El usuario tiene que especificar las capacidades máximas que un *RCST* puede solicitar para flujos de tráfico *CRA*, *RBDC*, y *VBDC*, respectivamente. Además, el periodo válido en una supertrama para un pedido *RBDC* debería ser establecido en este cuadro.

**Figura. 3. 39. Capacidades máximas para los flujos de tráfico**

El mecanismo de FCA puede ser habilitado al marcar la opción de *Use Free Capacity Assignment* en la pestaña de *Return link capacity*. La figura 3.40 muestra donde esta a opción.

| Channel/Superframe ID | RCST ID | Max CRA (bps) | Max VBDC (bps) | Max RBDC (bps) | RBDC timeout (s) |
|-----------------------|---------|---------------|----------------|----------------|------------------|
| 0                     | 7       | 0             | 0              | 0              | 0                |
| 0                     | 8       | 0             | 0              | 0              | 0                |

**Figura. 3. 40. Opción *Use Free Capacity Assignment***

Después de completar todas las asignaciones de capacidad de canal, el usuario puede examinar los resultados de asignación final en la pestaña de *Return link capacity*. Los resultados de asignación serán automáticamente removidos cuando el usuario cambia los valores de los parámetros en la pestaña de *Return link arrangement* porque estos afectarán la máxima capacidad de transmisión de canal. También, al cambiar la relación de agrupamiento se removerán los resultados de asignación existentes.

Se puede visualizar que la capacidad total asignada final puede ser un poco distinta de la cantidad que el usuario especificó antes. Esto se debe a la limitación del *timeslot-*

*based capacity alignment*. De hecho, el método usado por el *NCC* para garantizar recursos de canal para cada *RCST* es *timeslot-based*. Sin embargo, para permitir que los usuarios GUI intuitivamente se encarguen de la asignación de capacidad de canal, el programa GUI brinda un *bit-rate-based interface* para que asignen la capacidad de canal. Si la especificada *bit-rate-based capacity* no es exactamente igual que el *bit-rate-based value* convertido de un *timeslot-based capacity*, el *timeslot-based capacity alignment* será aplicado.

### 3.2.7 Asignación de ancho de banda *RCST*

Después de asignar la capacidad de canal del enlace de retorno a cada *RCST*, se tiene que especificar como un *RCST* usa la capacidad de canal asignada. La figura 3.41 muestra como un *RCST* clasifica cada flujo de su tráfico saliente, como cada flujo es entregado a una específica cola de salida, y como los datos de la cola son transmitidos de acuerdo a una específica estrategia de pedido de capacidad (*packet scheduling strategy*). Como se menciono anteriormente, cada estrategia se entiende como un tipo específico de servicio QoS. [1]

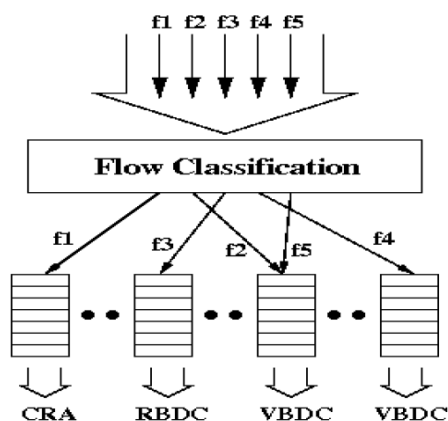


Figura. 3. 41. Clasificación del flujo del tráfico saliente

Para establecer las reglas de clasificación de flujo, se tiene que primero especificar cuántas colas de salida son usadas en un *RCST* dado. Esto se lo puede realizar al pulsar el botón *Create Queue* y el botón *Delete Queue* en la parte superior izquierda de la pestaña de *RCST Bandwidth Allocation*. Esta pestaña aparece cuando se pulsa dos veces un nodo *RCST* y su cuadro de diálogo se muestra en la figura 3.42.

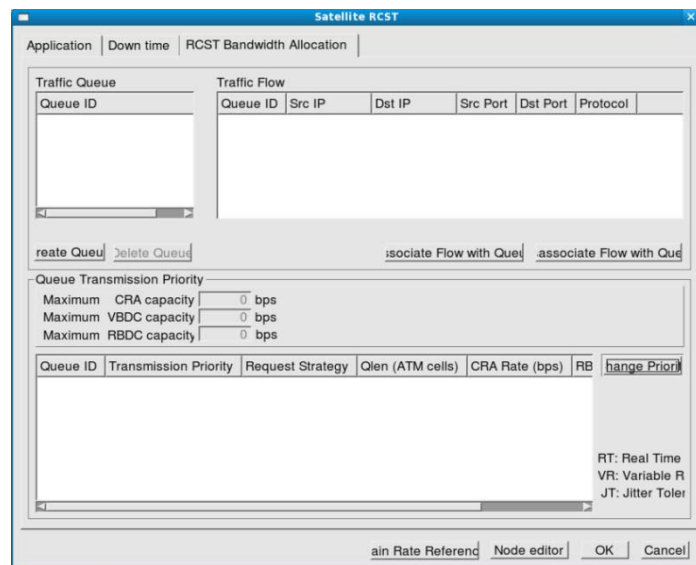


Figura. 3. 42. Cuadro de diálogo de un nodo RCST

Después de crear una cola, se puede especificar que clases de flujo deberían ser entregados a esta cola. Esto se lo puede realizar al pulsar el botón *Associate Flow with Queue* y el botón *Disassociate Flow with Queue* en la parte superior derecha de la pestaña de *RCST Bandwidth Allocation*.

Cuando se pulsa el botón *Associate Flow with Queue*, en el cuadro de diálogo que aparecerá, se puede definir un flujo y especificar a cual cola este flujo está siendo entregado. Los cinco identificadores de flujo incluyen la dirección IP origen, la dirección IP destino, el número de puerto origen, el número de puerto destino, y el protocolo. Solamente los protocolos TCP y UDP son soportados en la implementación actual. La figura 3.43 muestra el cuadro de diálogo de la definición de flujo de tráfico.

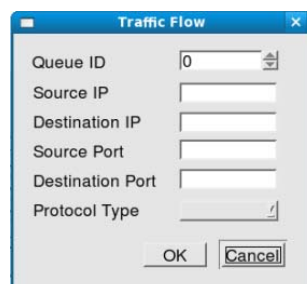
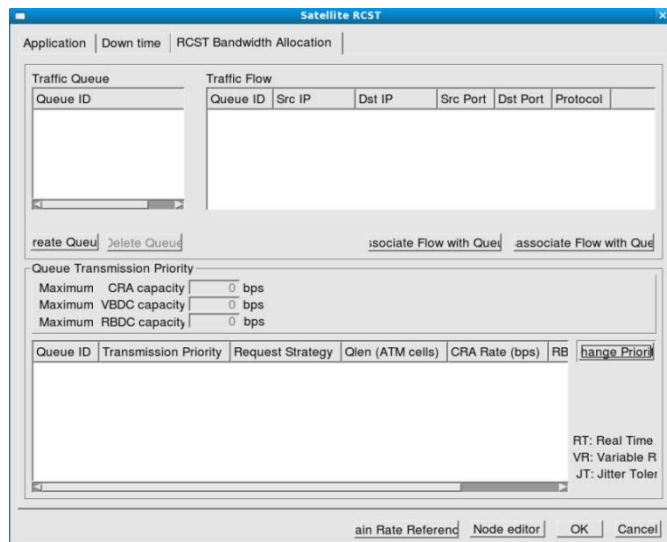


Figura. 3. 43. Definición del flujo de tráfico

Después de completar la definición de flujo y la asignación de flujo a cola, se tiene que especificar la estrategia de pedido de capacidad (*packet scheduling strategy*) aplicado a cada cola. Esto puede ser realizado en la parte inferior de la pestaña de *RCST Bandwidth Allocation*, cuyo cuadro de diálogo se muestra en la figura 3.44.



**Figura. 3. 44. Cuadro de diálogo de la pestaña *RCST Bandwidth Allocation***

En esta área, la máxima capacidad *CRA*, la máxima capacidad *VBDC*, y la máxima capacidad *RBDC* para cada *RCST* son mostradas aquí para referencia del usuario. Estos no pueden ser modificados aquí.

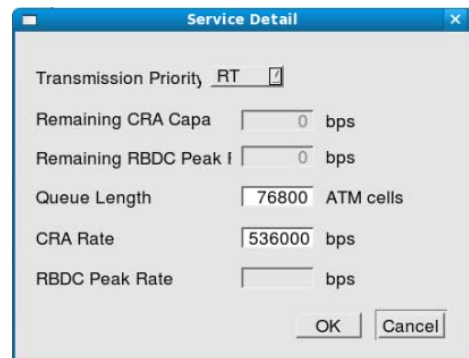
Después de escoger una cola, se puede pulsar el botón *Change Priority* para configurar la estrategia de pedido de capacidad de cola y los parámetros relacionados de esa estrategia. En el cuadro de diálogo que aparecerá después pulsar este botón, se tiene que escoger primero la prioridad de transmisión. Existen cuatro tipos de prioridad de transmisión:

- RT (*Real Time*)
- VR\_RT (*Variable Rate y Real Time*)
- VR\_JT (*Variable Rate y Jitter Tolerant*)
- JT (*Jitter Tolerant*)

Cada prioridad de transmisión corresponde a una específica estrategia de pedido:

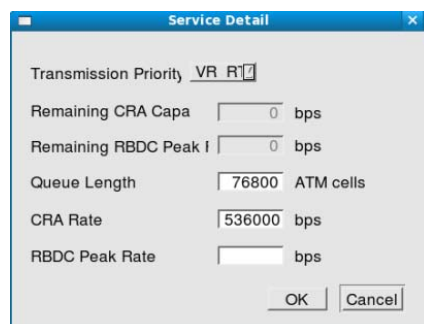
- RT corresponde a CRA
- VR\_RT corresponde a CRA + RBDC
- VR\_JT corresponde a RBDC
- JT corresponde a VBDC

Si la prioridad de transmisión es configurada en RT, se tiene que configurar la longitud de cola y la tasa CRA. El programa GUI deshabilitará automáticamente parámetros irrelevantes. La figura 3.45 muestra el cuadro de diálogo de la prioridad de transmisión RT.



**Figura. 3. 45. Prioridad de transmisión RT**

Si la prioridad de transmisión es configurada en VR\_RT, se tiene que configurar la longitud de cola, la tasa CRA, y la tasa pico RBDC. La figura 3.46 muestra el cuadro de diálogo de la prioridad de transmisión VR\_RT.



**Figura. 3. 46. Prioridad de transmisión VR\_RT**



Si la prioridad de transmisión es configurada en VR\_JT, se tiene que configurar la longitud de cola, y la tasa pico RBDC. La figura 3.47 muestra el cuadro de diálogo de la prioridad de transmisión VR\_JT.

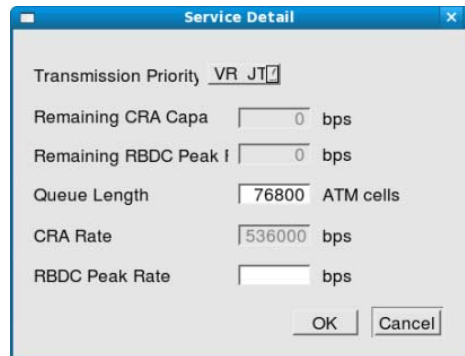


Figura. 3. 47. Prioridad de transmisión VR\_JT

Si la prioridad de transmisión es configurada en JT, solo se tiene que configurar la longitud de cola. La figura 3.48 muestra el cuadro de diálogo de la prioridad de transmisión JT.

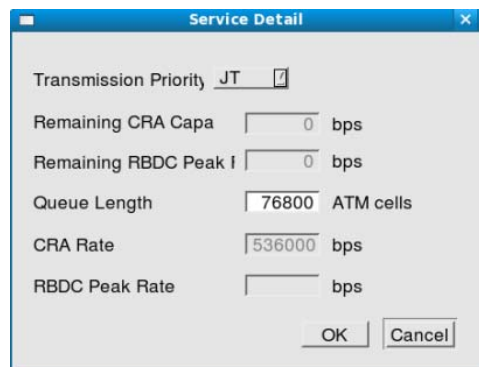


Figura. 3. 48. Prioridad de transmisión JT

### 3.2.8 Pila de Protocolo

En la siguiente parte, la pila de protocolo de cada nodo *RVB-RCS* será mostrado. En una pila de protocolo, algunos módulos de protocolo son usados solamente para el enlace de salida mientras que algunos son usados solamente para el enlace da retorno. La pila de

protocolo de cada nodo *RVB-RCS* puede ser mostrado primero al pulsar dos veces cada nodo y luego pulsar el botón de *Node Editor* en la parte inferior del cuadro de diálogo.

La figura 3.49 muestra la pila de protocolo de un nodo *NCC*.

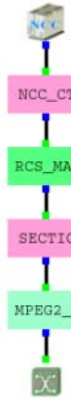


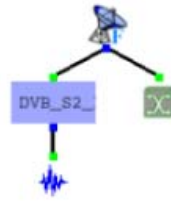
Figura. 3. 49. Pila de protocolo de un nodo *NCC*

La figura 3.50 muestra la pila de protocolo de un nodo *SP*.



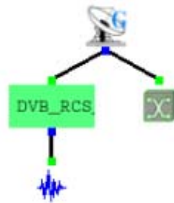
Figura. 3. 50. Pila de protocolo de un nodo *SP*

La figura 3.51 muestra la pila de protocolo de un nodo *Feeder*.



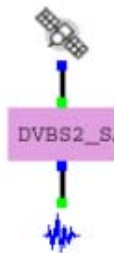
**Figura. 3. 51. Pila de protocolo de un nodo *Feeder***

La figura 3.52 muestra la pila de protocolo de un nodo *TG*.



**Figura. 3. 52. Pila de protocolo de un nodo *TG***

La figura 3.53 muestra la pila de protocolo de un nodo *Satellite*.



**Figura. 3. 53. Pila de protocolo de un nodo *Satellite***

La figura 3.54 muestra la pila de protocolo de un nodo *RCST*.



Figura. 3. 54. Pila de protocolo de un nodo *RCST*

### 3.2.9 Configuraciones de antena y desvanecimiento por lluvia (*rain fade*)

En relación con las configuraciones de antena y desvanecimiento por lluvia (*rain fade*), se tiene que configurar los parámetros relacionados con el enlace de salida y el enlace de retorno.

La figura 3.55 muestra donde se pueden configurar los parámetros para el enlace de salida. Estos lugares incluyen el punto de envío en el nodo *Feeder*, el punto de recepción en el nodo *Sattelite*, el punto de envío en el nodo *Satellite*, y el punto de recepción en un *RCST*.

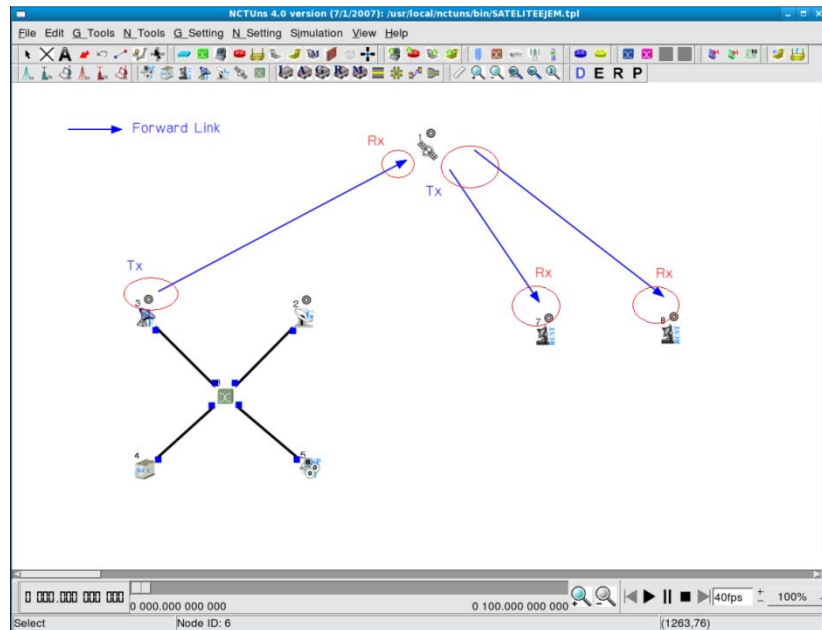


Figura. 3. 55. Parámetros para el enlace de salida

Para configurar el punto de envío en el nodo *Feeder*, primero se tiene que ingresar al editor de nodo del nodo *Feeder*, después pulsar dos veces el módulo DVB\_S2\_FEEDER, entonces aparecerá el cuadro de diálogo que se muestra en la figura 3.56.

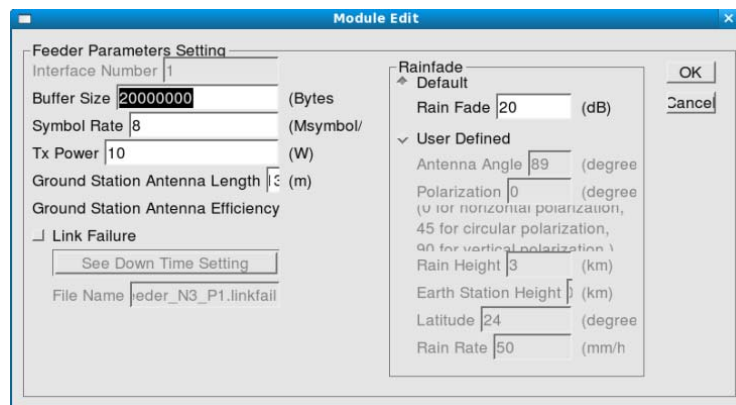
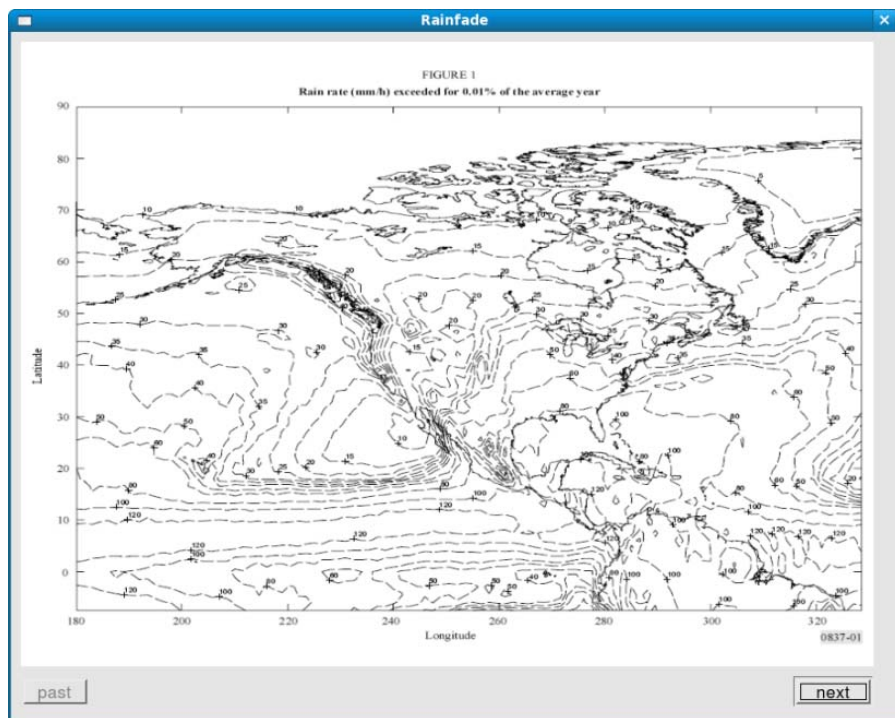


Figura. 3. 56. Cuadro de diálogo del módulo DVB\_S2\_FEEDER

En la parte izquierda de este cuadro, se puede configurar el tamaño del *buffer* de salida, la tasa de símbolo, y los parámetros relacionados con la antena, como la potencia de Tx, la longitud de la antena de la estación terrena, y la eficiencia de la antena de la estación terrena. En la parte derecha de este cuadro, se puede configurar los parámetros del *rain*

*fade*. Se puede configurar el *rain fade* directamente o configurar los parámetros relacionados, como el ángulo de la antena, polarización, altura de la lluvia, altura de la estación terrena, latitud, y la tasa de lluvia, los cuales son usados para calcular el *rain fade*.

Cuando el usuario pulsa dos veces el nodo *Feefer*, en el cuadro de diálogo que aparecerá se puede pulsar el botón *Rain Rate* para averiguar la tasa de lluvia común en cualquier ubicación de la tierra. La figura 3.57 muestra el mapa de la tasa de lluvia.



**Figura. 3. 57. Mapa de la tasa de lluvia**

Para configurar el punto de envío/recepción en el nodo *Satellite*, el usuario primero debe ingresar al editor de nodo de este nodo, luego pulsar dos veces el módulo *DVB\_S2\_SAT* y se mostrará un cuadro de diálogo como se muestra en la figura 3.58. En la parte izquierda del cuadro, se puede configurar los parámetros relacionados con la antena de recepción, como la longitud de la antena y la eficiencia de la antena, y los parámetros relacionados con la antena de transmisión, como la potencia de Tx, longitud de la antena, y la eficiencia de la antena.

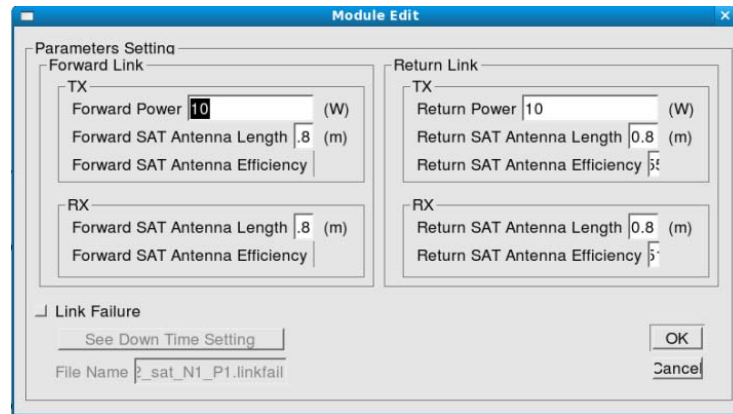


Figura. 3. 58. Cuadro de diálogo del módulo DVB\_S2\_SAT

Para configurar el punto de recepción en el nodo *RCST*, el usuario primero debe ingresar al editor de nodo de este nodo, luego pulsar dos veces el módulo *DVB\_S2\_RCST* y se mostrará un cuadro de diálogo como se muestra en la figura 3.59. En la parte izquierda de cuadro, se puede configurar el *LDPC (Low-Density Parity-Check code) iteration threshold* y los parámetros relacionados con la antena, como la longitud de la antena de la estación terrena y la eficiencia de la antena de la estación terrena. En la parte derecha de este cuadro, se pueden configurar los parámetros del *rain fade*. Se puede configurar el *rain fade* directamente o configurar los parámetros relacionados, como el ángulo de la antena, polarización, altura de la lluvia, altura de la estación terrena, latitud, y la tasa de lluvia, los cuales son usados para calcular el *rain fade*.

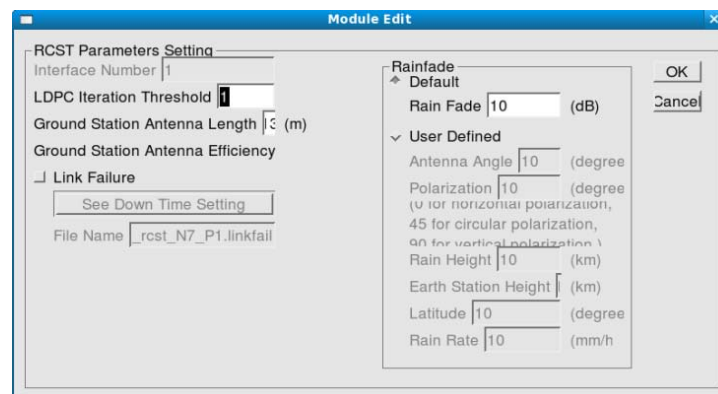
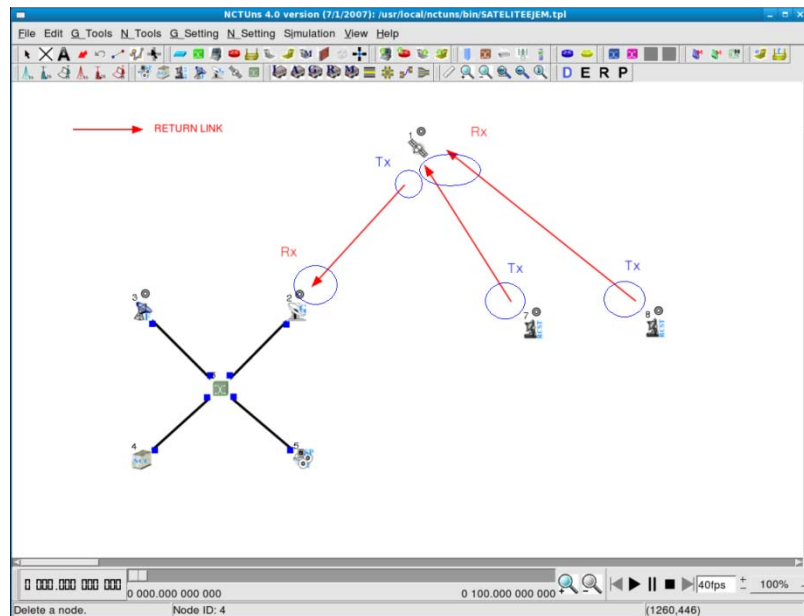


Figura. 3. 59. Cuadro de diálogo del módulo DVB\_S2\_RCST

La figura 3.60 muestra donde se puede configurar los parámetros para el enlace de retorno. Estos lugares incluyen el punto de transmisión en el nodo *RCST*, el punto de

recepción en el nodo *Satellite*, el punto de transmisión en el nodo *Satellite*, y el punto de recepción en el nodo *TG*.



**Figura. 3. 60. Parámetros para el enlace de retorno**

Para configurar el punto de transmisión en el nodo *RCST*, el usuario primero debe ingresar al editor de nodo de este nodo, luego pulsar dos veces el módulo *DVB\_RCS\_RCST* y se mostrará un cuadro de diálogo como se muestra en la figura 3.61. En la parte izquierda de cuadro, se puede configurar los parámetros relacionados con la antena, como la potencia de Tx, la longitud de la antena de la estación terrena y la eficiencia de la antena de la estación terrena. En la parte derecha de este cuadro, se pueden configurar los parámetros del *rain fade*. Se puede configurar el *rain fade* directamente o configurar los parámetros relacionados, como el ángulo de la antena, polarización, altura de la lluvia, altura de la estación terrena, latitud, y la tasa de lluvia, los cuales son usados para calcular el *rain fade*.



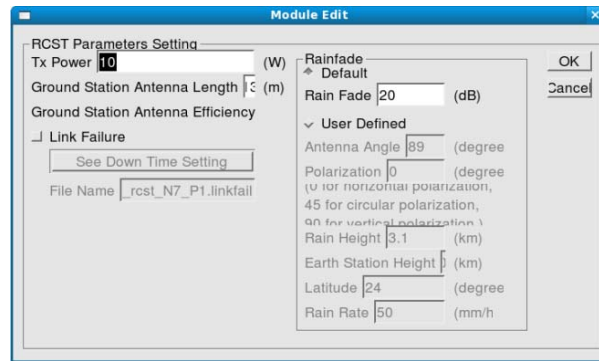


Figura. 3. 61. Cuadro de diálogo del módulo DVB\_RCS\_RCST

Para configurar el punto de envío/recepción en el nodo *Satellite*, el usuario primero debe ingresar al editor de nodo de este nodo, luego pulsar dos veces el módulo DVB\_S2\_SAT y se mostrará un cuadro de diálogo como se muestra en la figura 3.62. En la parte derecha del cuadro, se puede configurar los parámetros relacionados con la antena de recepción, como la longitud de la antena y la eficiencia de la antena, y los parámetros relacionados con la antena de transmisión, como la potencia de Tx, longitud de la antena, y la eficiencia de la antena.

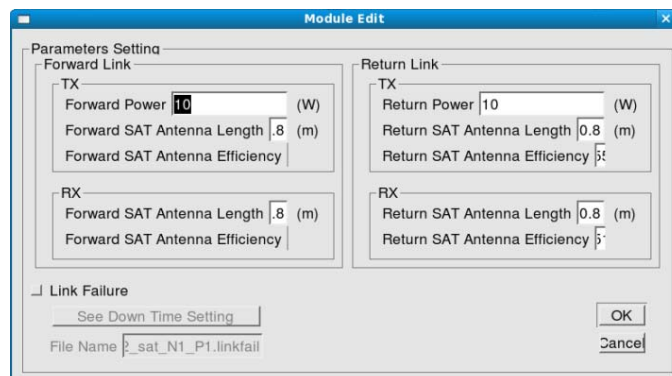


Figura. 3. 62. Cuadro de diálogo del módulo DVB\_S2\_SAT

Para configurar el punto de recepción en el nodo *TG*, el usuario primero debe ingresar al editor de nodo de este nodo, luego pulsar dos veces el módulo DVB\_RCS\_GW y se mostrará un cuadro de diálogo como se muestra en la figura 3.63. En la parte izquierda de cuadro, se puede configurar los parámetros relacionados con la antena, la longitud de la antena de la estación terrena y la eficiencia de la antena de la estación terrena. En la parte derecha de este cuadro, se pueden configurar los parámetros del *rain fade*. Se puede

configurar el *rain fade* directamente o configurar los parámetros relacionados, como el ángulo de la antena, polarización, altura de la lluvia, altura de la estación terrena, latitud, y la tasa de lluvia, los cuales son usados para calcular el *rain fade*.

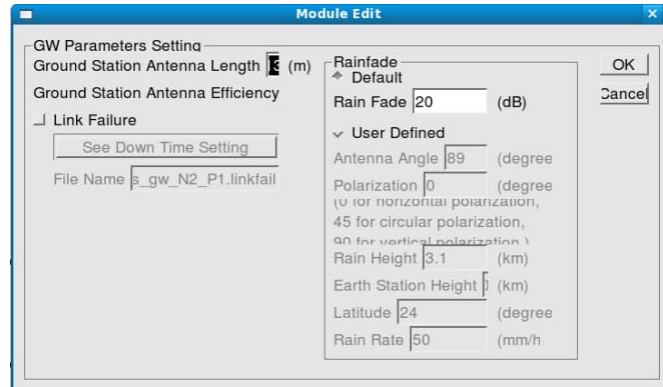


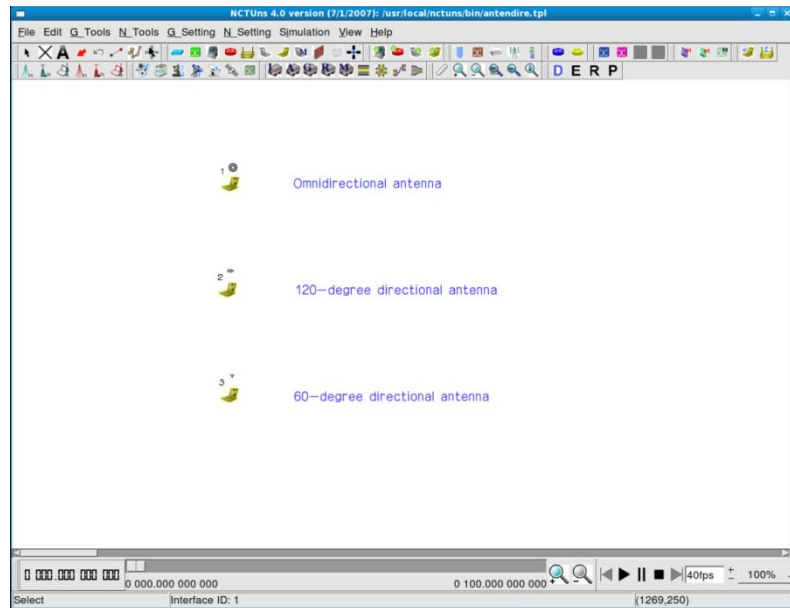
Figura. 3. 63. Cuadro de diálogo del módulo DVB\_RCS\_GW

### 3.3 Antenas Direccionales

Una antena direccional es una antena con diferentes ganancias de transmisión en diferentes direcciones y tiene una mayor ganancia en una dirección en particular. Estas antenas brindan un mayor rango de transmisión y evitan fugas de señal al enemigo. Cuando se usa una antena direccional para comunicación, la dirección de transmisión/recepción de la antena debería ser considerada para obtener una mejor ganancia y así lograr una mejor calidad de comunicación. [1]

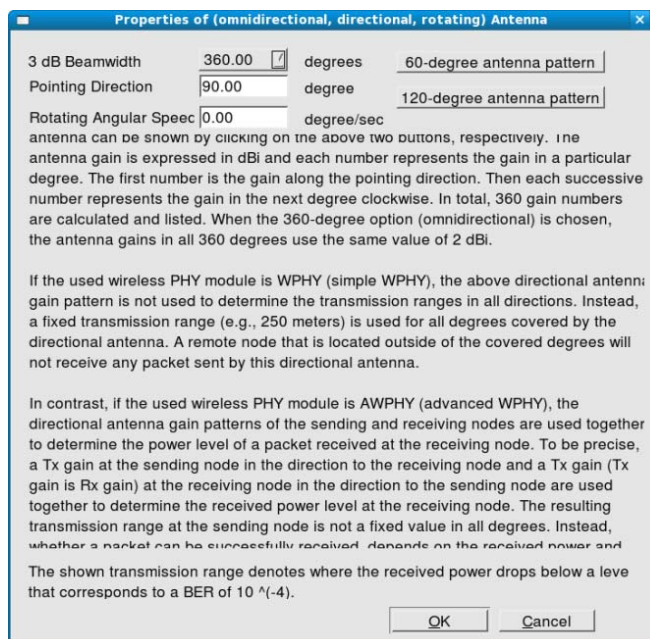
La figura 3.64 muestra los tres tipos de antenas soportadas por el NCTUs, las cuales son:

- Antena *Omni-directional*
- Antena direccional *3dB beamwidth 120-degree*
- Antena direccional *3dB beamwidth 60-degree*



**Figura. 3. 64. Tipos de antenas**

En la figura 6.64 hay que notar que el icono de onda de la señal inalámbrica que se encuentra en la parte superior de cada icono de nodo móvil es diferente para cada tipo de antena. El usuario puede cambiar el tipo de antena usada por el nodo móvil al pulsar dos veces el icono de la antena y luego cambiar la opción de *3dB beamwidth directional antenna* (360, 120, o 60 grados) en el cuadro de diálogo que aparecerá. La dirección de señalamiento (*pointing direction*) y la velocidad angular de rotación también puede ser especificada aquí. Los valores por defecto de una antena son *antenna omni-directional*, *90-degree pointing direction* y *0 degre/sec rotating angula speed*. El usuario puede cambiar los valores por defecto de la antena al usar el comando **Menu** → **G\_Setting** → **Antenna**. La figura 3.65 muestra el cuadro de diálogo de este comando.

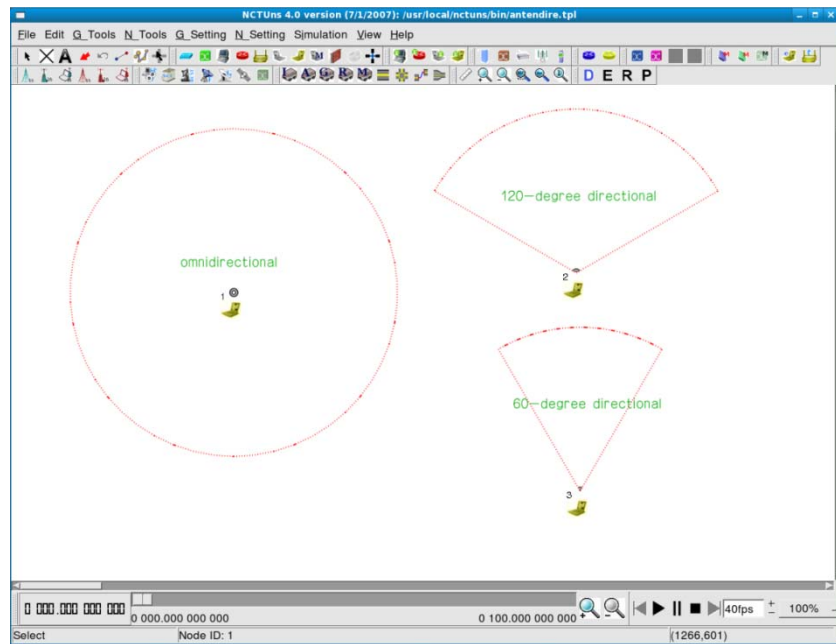


**Figura. 3. 65. Valores por defecto de una antena**

Cuando se escoge la antena *360-degree*, la ganancia de la antena en todos los 360 grados usa el mismo valor de 1. El detallado patrón de ganancia de antena de antenas direccionales de *3dB beamwidth 60-degree* o *3dB beamwidth 120-degree* puede ser mostrado al pulsar el botón correspondiente en el cuadro de diálogo. Las tablas que se encuentran en el **ANEXO A2** muestran las ganancias de antenas direccionales de *60-degree* y *120-degree* en todos los 360 grados [9]. La dirección de 0 grados es el *pointing direction* de una antena. Una antena direccional tiene su máxima ganancia en su *pointing direction*.

### 3.3.1 Módulos WPHY y AWPHY

En la pila de protocolo de un nodo móvil, si el módulo *PHY wireless* usado es *WPHY*, no serán usados los patrones de ganancia de antenas direccionales mostrados en el ANEXO A1 para determinar los rangos de transmisión en todas las direcciones. Por lo tanto, se usará un rango de transmisión fijo (por ejemplo, 250 metros) para todos los grados de cobertura de la antena direccional. Un nodo remoto que se encuentre ubicado fuera de los grados de cobertura no recibirá ningún paquete enviado por esta antena direccional. La figura 3.66 muestra el rango de transmisión de antenas que usan el módulo *WPHY*.



**Figura. 3. 66. Rango de transmisión de antenas que usan el módulo *WPHY***

Por el contrario, si el módulo *PHY wireless* usado es *AWPHY (advanced WPHY)*, se usarán los patrones de ganancia de la antena direccional para determinar el nivel de potencia de un paquete recibido en un nodo receptor. Para ser preciso, la ganancia de Tx en un nodo transmisor en la dirección a un nodo receptor y la ganancia de Rx (la ganancia de Tx es la ganancia de Rx para una antena) en un nodo receptor en la dirección a un nodo transmisor son usados juntos para determinar el nivel de potencia de recepción en el nodo receptor. El rango de transmisión resultante en el nodo de transmisión no es un valor fijo en todos los grados. La recepción de un paquete satisfactoriamente depende si la potencia de recepción calculada está por encima del umbral de recepción. El rango de transmisión mostrado en la siguiente figura corresponde a cuando el *BER* de un paquete recibido es  $10^{-4}$ . La figura 3.67 muestra el rango de transmisión de antenas que usan el módulo *AWPHY*.

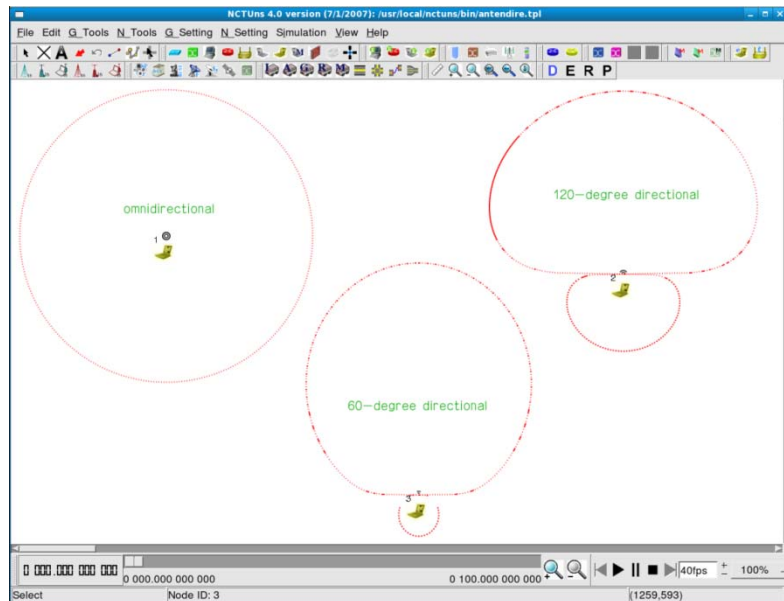
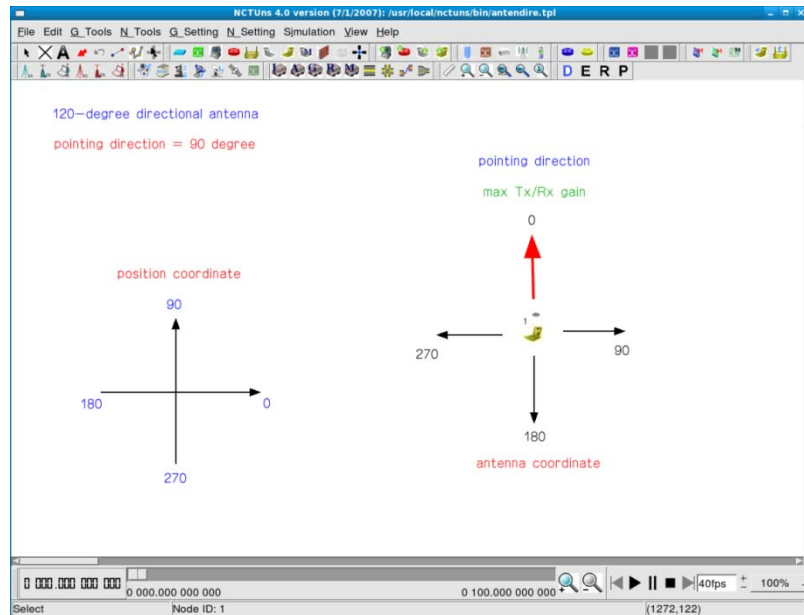


Figura. 3. 67. Rango de transmisión de antenas que usan el módulo *AWPHY*

### 3.3.2 Ejemplo de una antena direccional

En la figura 3.68, se mostrará en la parte inferior izquierda el sistema de coordenadas de ubicación usada en el editor de topología del NCTUns. El sistema de coordenadas de la antena de un nodo móvil que usa una antena direccional *120-degree* y cuya *pointing direction* es *90 degrees* se muestra en la parte derecha. La *pointing direction* es usada para determinar cual dirección tiene la mayor ganancia de antena, y las ganancias en todas las otras direcciones son calculadas en sentido horario en relación al *pointing direction*.



**Figura. 3. 68. Sistemas de coordenadas y el *pointing direction***

La figura 3.69 muestra un ejemplo simple con dos nodos móviles usando antenas direccionales. La *pointing direction* de un nodo móvil 1 es *180-degree* y la *pointing direction* de un nodo móvil 2 es *0-degree*. El nodo móvil 1 usa una antena direccional *120-degree* y el nodo móvil 2 usa una antena direccional *60-degree*. Cuando el nodo móvil 1 envía un paquete al nodo móvil 2, la ganancia de Tx del nodo móvil 1 es su ganancia de antena en dirección *225-degree* ( $180 + 45$  grados) (ganancia de Tx = -10.61975932) y la ganancia de Rx del nodo móvil 2 es su ganancia de antena en dirección *225-degree* (La ganancia de Rx en la dirección 226 grados en la tabla = -26.5416146).

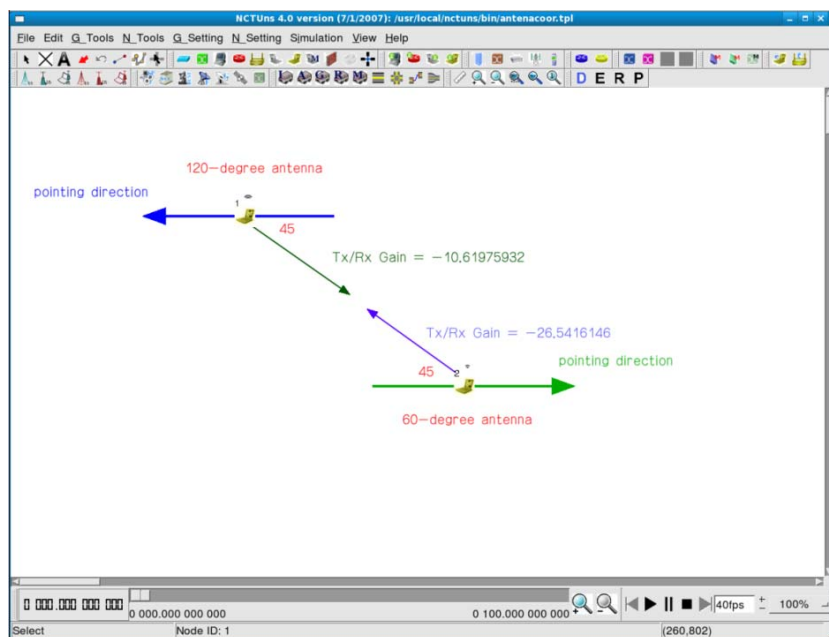


Figura. 3. 69. Dos nodos móviles usando antenas direccionales



## CAPITULO IV

### TELEFONÍA MÓVIL

#### 4.1 REDES GPRS

GPRS (*General packet radio service*) usa la red celular GSM existente para brindar servicios de datos en áreas extensas. El rango inalámbrico de una estación base GPRS puede ser superior a 35 Km pero la tasa de datos brindados para un  $3+1$  (*downlink/uplink time slots*) GPRS user es acerca de 36/12 Kbps para las direcciones de *downlink* y *uplink*.

Un usuario puede usar GPRS para conectarse al Internet para buscar páginas web, revisar correos, descargar archivos, recibir/enviar mensajes importantes cuando el usuario se encuentra fuera de su oficina y redes locales. Debido a que el área de cobertura de una estación base GPRS puede ser muy grande, las aplicaciones de datos habilitados por GPRS están bien diseñadas para usuarios que se encuentran en vehículos en movimiento o afuera de redes fijas. [1]

En una celda GSM/GPRS, el tráfico de voz GSM compite con el tráfico de datos GPRS por el ancho de banda del canal dado por la estación base GSM/GPRS. Normalmente, en una estación base se asignan el mismo número de canales de frecuencia para sus tráficos de descarga (*downlink*) y carga (*uplink*), respectivamente. Esto es, si a una estación base se le asigna 10 canales de frecuencia, esta tendrá 10 canales en la banda de carga y otros 10 canales en la correspondiente banda de descarga. Usando el esquema TDMA, cada canal es dividido en *time slots*, y 8 canales TDMA son formados por estos *time slots*. Esto es, si se agrupan 8 *time slots* consecutivos, entonces el *time slot* número N en cada grupo es usado para el canal TDMA número N, donde  $N = 1,2,3,\dots,8$ . Un usuario GSM usa canales TDMA de descarga y carga para su tráfico de voz durante todo el

periodo de llamada. Los *time slots* de estos canales TDMA no pueden ser usados por otros usuarios aunque el usuario no tenga tráfico de voz para enviar.

Normalmente a un usuario GPRS se le asigna 3 *time slots* y 1 *time slot* para su tráfico de descarga y carga, respectivamente. (Este perfil de servicio es llamado paquete 3+1). Los *time slots* asignados a un usuario GPRS pueden ser usados dinámicamente por otros usuarios GSM o GPRS cuando ellos no están siendo usados por el usuario. Usando el esquema de codificación CS2, en el cual un *time slot* corresponde a un ancho de banda de 12 Kbps, un 3+1 *GPRS user* puede recibir 36 Kbps y 12 Kbps para las direcciones de descarga y carga, respectivamente. Estos números representan las velocidades óptimas que pueden ser logradas bajo condiciones de un canal ideal. En realidad, los números medidos son usualmente menos que esos números ideales debido a la pobre calidad de canal y a *time slots* inadecuados asignados al tráfico GPRS.

#### 4.1.1 Arquitectura de red GPRS

Una red GPRS está compuesta de teléfonos GPRS (MS), estaciones base GPRS (BS), *serving GPRS support nodes (SGSN)*, *gateway GPRS support nodes (GGSN)*. *SGSN* en redes GPRS es equivalente al Centro de Conmutación Móvil (*MSC, Mobile Switching Center*) en redes GSM. *GGSN* permite la interconexión entre una red GPRS y una red de conmutación de paquetes externa como el Internet. *SGSN* está conectado con un *GGSN* a través de una red de *backbone* GPRS basado en IP. La arquitectura de una red GPRS se muestra en la figura 4.1. [1]

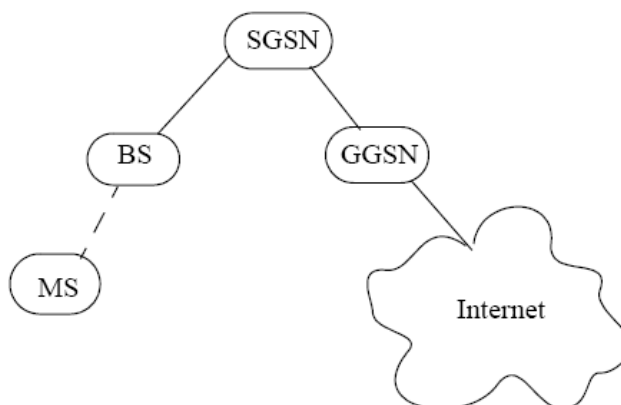
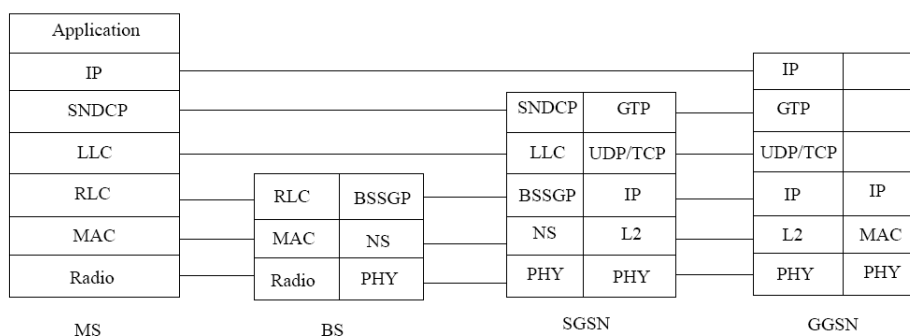


Figura. 4. 1. Arquitectura de la red GPRS

### 4.1.2 Pila de protocolo GPRS

Las pilas de protocolo usados en dispositivos GPRS son mostrados en la figura 4.2.



**Figura. 4. 2. Pilas de protocolo usados en dispositivos GPRS**

Los nombres completos de estos protocolos se describen a continuación:

- SNDCP: *SubNetwork Dependent Convergence*
- LLC: *Logical Link Control*
- RLC: *Radio Link Control*
- MAC: *Medium Access Control*
- Radio: *Radio Physical Layer*
- BSSGP: *BSS GPRS Protocol*
- NS: *Network Service*
- GTP: *GPRS Tunneling Protocol*
- L2 es cualquier protocolo capa 2 como *Frame Relay* o *ATM*

En el NCTUns, estos protocolos son implementados como módulos de protocolo.

Existen algunas diferencias entre una implementación de pila de protocolo de red GPRS real y una implementación de pila de protocolo de red GPRS del NCTUns.

La primera diferencia es que un teléfono GPRS (MS) en el NCTUns tiene una capa de protocolo TCP/UDP en su pila de protocolo, mientras un teléfono GPRS real no lo tiene. En el NCTUns, debido a que internamente un teléfono GPRS juega el mismo papel que un *host*, las capas TCP/UDP e IP de una pila de protocolo de un teléfono GPRS son implementaciones TCP/UDP/IP reales de la máquina de simulación. También, cualquier programa de aplicación puede ser ejecutado en un teléfono GPRS como si fuera un *host*. Estas capacidades han superado las capacidades de teléfonos GPRS actuales en el mundo real y solamente pueden ser posibles en teléfonos 3Gy 4G.

La segunda diferencia es que en el NCTUns un dispositivo *pseudo* llamado “*switch GPRS*” debe ser usado para conectar un *SGSN* con un *GGSN* mientras que en el mundo real esto no es necesario. Esta decisión de diseño se basa en el hecho que múltiples túneles *GPRS* pueden existir entre múltiples *SGSNs* y múltiples *GGSNs*. Para permitir que las direcciones IP de los puntos finales de estos túneles *GPRS* compartan la misma ID de subred para una administración fácil, el GUI del NCTUns hace cumplir que un “*switch GPRS*” debe ser usado para conectar un *SGSN* con un *GGSN* aunque solamente un par de *SGSN* y *GGSN* existan en la red *GPRS* simulada. Hay que notar que el “*switch GPRS*” es solamente un dispositivo usado en el GUI para hacer cumplir dicha conectividad. En realidad no existe en el archivo .tcl file. Esto es, no hay tal dispositivo en la ejecución de la simulación *GPRS*. Los paquetes de un tunnel *GPRS* son entregados de un extremo a otro extremo “inmediatamente” sin simular el retraso y ancho de banda de los enlaces físicos. Efectivamente, se puede observar que el retraso en el enlace simulado es 0 y el ancho de banda en el enlace simulado es infinito para el enlace entre un *SGSN* y *GGSN*. Aunque estas configuraciones pueden ser diferentes de las configuraciones reales, en general no es motivo de preocupación. Al usar un enlace con ancho de banda infinito para simular el enlace entre un *SGSN* y *GGSN* no afecta los resultados de la simulación *GPRS*. [1]

#### 4.1.3 Formar una subred inalámbrica




Los iconos relacionados con redes GPRS se muestran a continuación:



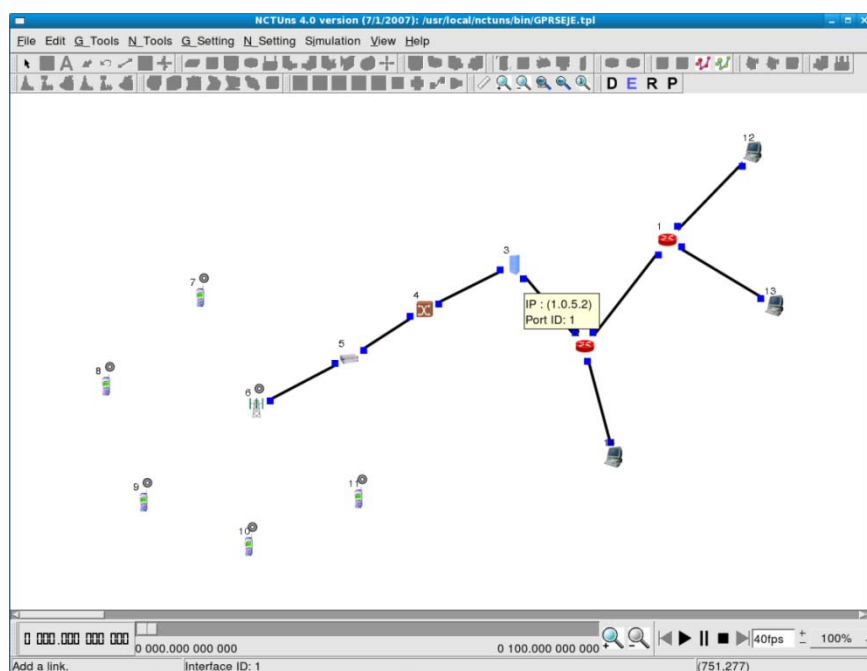
GGSN



SGSN


-  Estación base GPRS
-  Teléfono GPRS
-  Pseudo switch GPRS

La figura 4.3 muestra un ejemplo de un caso de simulación GPRS.

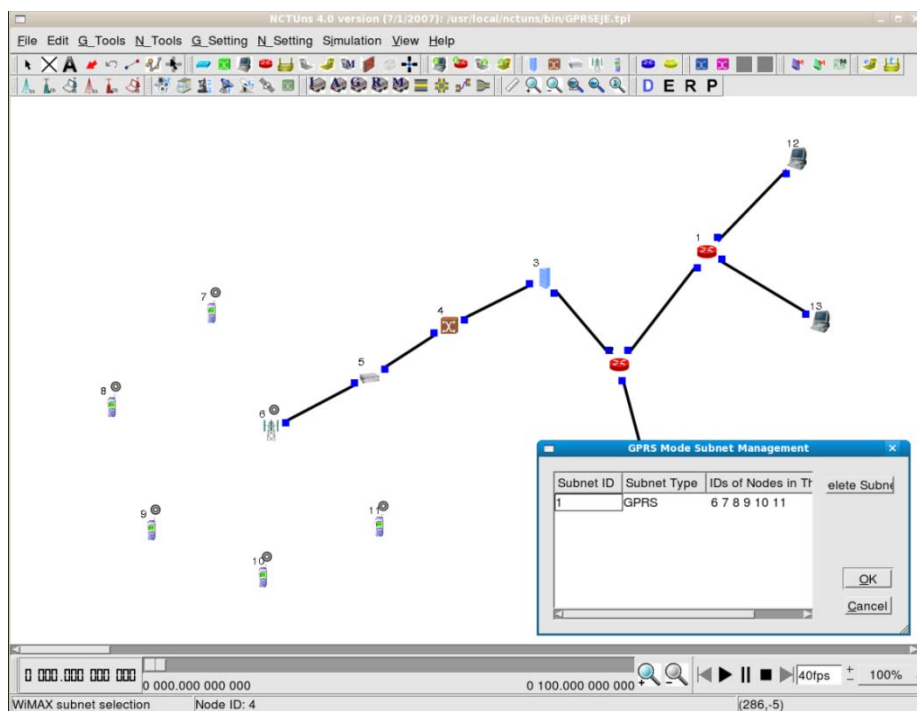


**Figura. 4. 3. Caso de simulación GPRS**

En el NCTUns, la red de *backbone* GPRS forma una única subred a pesar de tener dentro de ella varias *SGSNs*, estaciones base, y teléfonos. Usando la figura anterior como un ejemplo, los dispositivos en el lado izquierdo del *GGSN* forman una única subred. Esto es porque en el NCTUns, *switches GPRS*, *SGSNs*, y estaciones base son tratados como dispositivos de capa 2 mientras que *GGSNs* son tratados como *routers* de capa 3.

Después de insertar los nodos GPRS, el usuario debe usar la herramienta “*Form wireless subnet*”  para seleccionar todos los teléfonos GPRS y todas las estaciones base GPRS para agruparlos juntos y así formar una subred inalámbrica. Al especificar estas relaciones, el programa GUI automáticamente asignará direcciones IP y MAC a todos los teléfonos GPRS, ahorrando mucho tiempo y esfuerzo al usuario. La ID de subred de una

subred GPRS es automáticamente asignada por el programa GUI y puede ser visualizada al mover el cursor del *mouse* sobre el cuadrado azul de la interfaz. Las subredes inalámbricas GPRS formadas pueden ser visualizadas y administradas al ejecutar el comando **Menu** → **N\_Tools** → **GPRS Network** → **Manage GPRS Subnets**. La figura 4.4 muestra el cuadro de diálogo de este comando.



**Figura. 4. 4. Administrar subredes GPRS**

En el NCTUns, las direcciones IP asignadas a los teléfonos GPRS pueden ser vistos como direcciones IP públicas en la red simulada. Cualquier *host* en la red fija simulada puede enviar paquetes a un teléfono GPRS usando la dirección IP del teléfono como la dirección IP destino de esos paquetes. Del mismo modo, un teléfono GPRS puede enviar paquetes a cualquier *host* en la red fija simulada usando la dirección IP del teléfono como dirección IP origen de esos paquetes.

#### 4.1.4 Insertando estaciones base y teléfonos

Si el usuario desea crear e insertar teléfonos GPRS en el área de trabajo en solamente un paso, el comando **Menu** → **N\_Tools** → **GPRS Network** → **GPRS Phone** → **Insert**

**GPRS Phones** puede ser ejecutado. La figura 4.5 muestra el cuadro de diálogo de este comando.

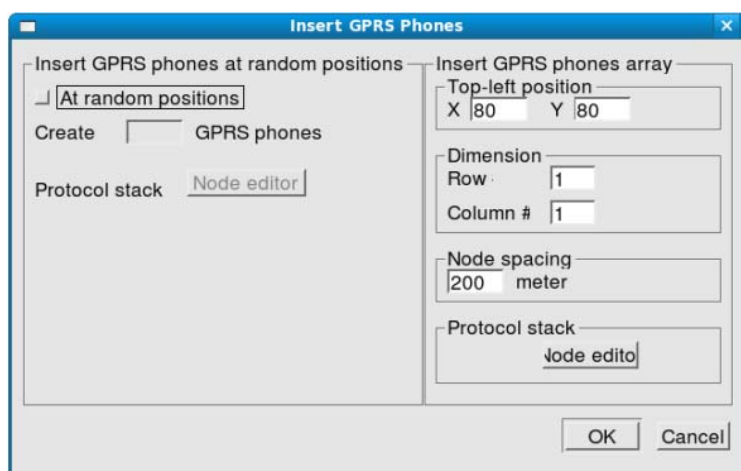


Figura. 4. 5. Insertar teléfonos *GPRS*

Si el usuario desea crear e insertar estaciones base GPRS en el área de trabajo en solamente un paso, el comando **Menu** → **N\_Tools** → **GPRS Network** → **GPRS BS** → **Insert GPRS Base Stations** puede ser ejecutado. Este comando creará múltiples estaciones base y los ubicará en una forma hexagonal. En el cuadro de diálogo mostrado en la siguiente figura, el usuario puede especificar la posición de las estaciones base creadas, el número de estaciones base en el borde del hexágono, y el espaciamiento horizontal en metros entre dos estaciones base vecinas. La figura 4.6 muestra un hexágono que tiene tres estaciones base ubicadas en cada borde.

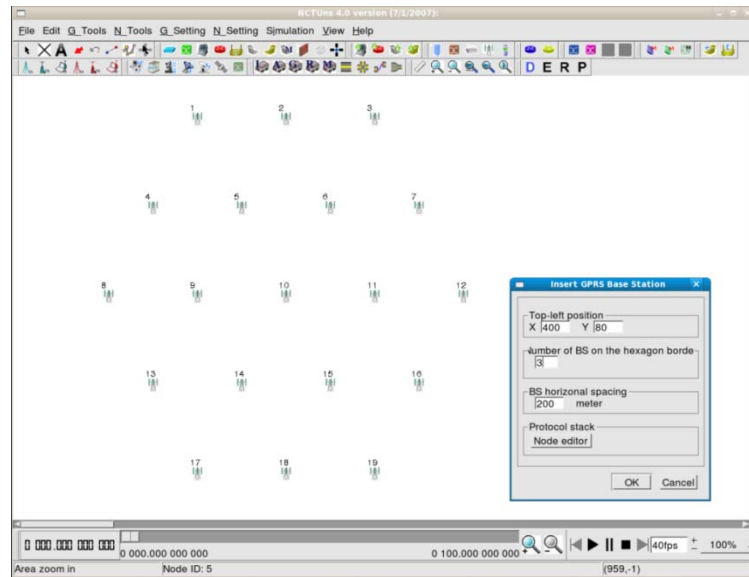


Figura. 4. 6. Insertar estaciones base GPRS

#### 4.1.5 Escogiendo un GGSN saliente

Una red GPRS puede tener múltiples GGSNs conectándola a una red fija. El tráfico saliente de un teléfono con diferente *NSAPI* (*Network Service Access Point Identifier*) y *QoS level* puede ser enrutado y dirigido a diferentes *GGSNs* para recibir diferentes tratamientos *QoS*. La figura 4.7 muestra una red GPRS con tres *GGSNs*.

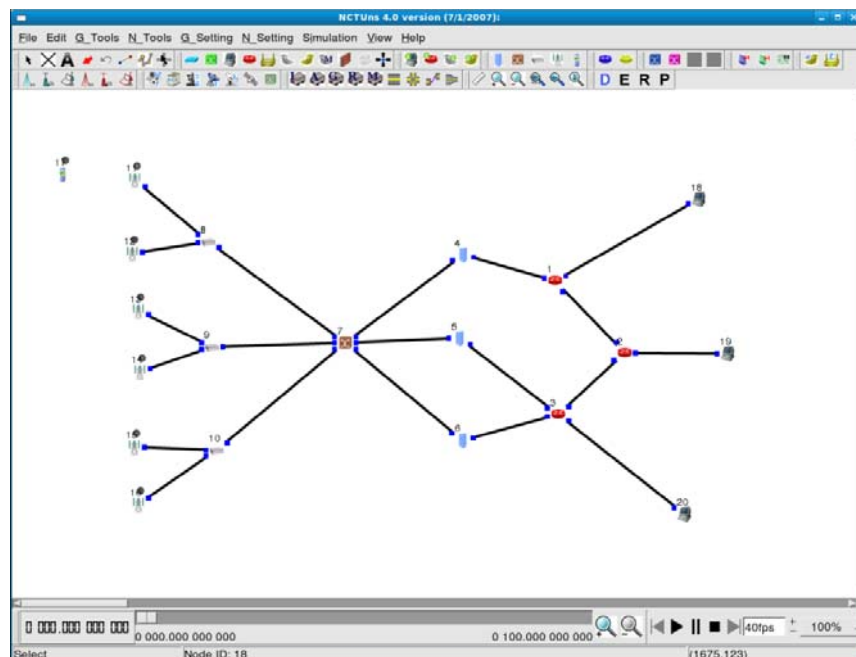


Figura. 4. 7. Red GPRS con tres GGSNs



Para especificar la asociación entre *NSAPI*, *QoS level* y el *GGSN* saliente, el comando **Menu** → **N\_Tools** → **GPRS Network** → **GPRS GGSN** → **Edit GPRS Service Table** puede ser ejecutado. La figura 4.8 muestra su cuadro de diálogo. Hay que notar que esta tabla de asociación es solamente significativa para el tráfico del teléfono que sale de una red GPRS. Para el tráfico que es generado en una red fija y tiene como destino un teléfono en una red GPRS, el usuario no puede controlar cual *GGSN* será escogido como el punto de entrada en una red GPRS. Las entradas de enrutamiento que determinan cual *GGSN* será usado serán automáticamente generados por el programa GUI.

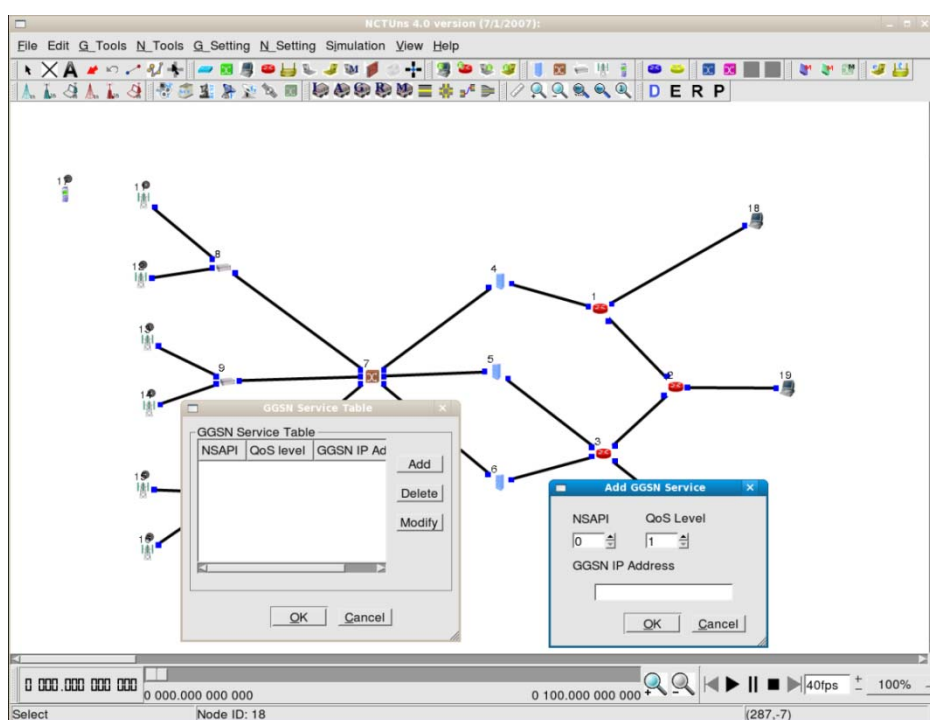


Figura. 4. 8. Asociación entre *NSAPI*, nivel *QoS* y *GGSN* saliente

#### 4.1.6 Configuración del teléfono y estación base

##### 1. Teléfono

Antes de usar un teléfono GPRS, el usuario primero debe conectarlo a la red GPRS. Esta operación permite a la red GPRS conocer la existencia del teléfono. Además, antes de enviar tráfico desde un teléfono, a través de un *SGSN* y un *GGSN*, a un *host* en una red fija,

el usuario primero debe activar el teléfono para que un *PDP (Packet Data Protocol)* sea instalado en el escogido *SGSN* y *GGSN* para enrutamiento. Después de la activación, el usuario debe actualizar el *QoS level* del tráfico del teléfono. Cuando la transferencia de datos es completado, el usuario puede desactivar el teléfono, y entonces desconectar el teléfono de la red GPRS. Estos cinco comandos se encuentran en la pestaña **Action** del cuadro de diálogo del teléfono. La figura 4.9 muestra el cuadro de diálogo de este comando.

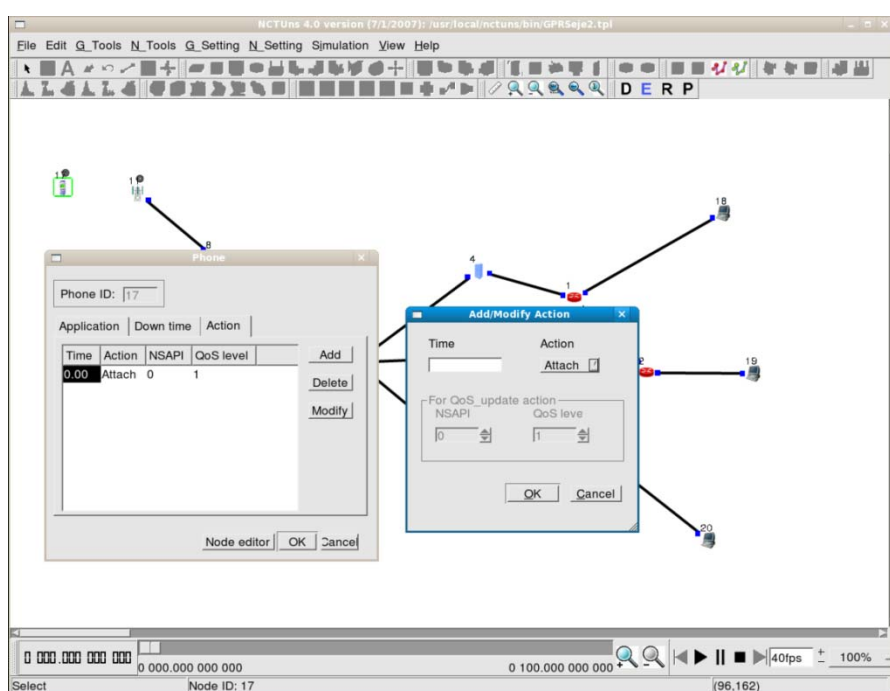


Figura. 4. 9. Cuadros de diálogo del teléfono *GPRS*

Debido a que internamente un teléfono funciona como un *host*, cualquier programa de aplicación real puede ser ejecutado en un teléfono GPRS. Hay que notar que el tiempo de inicio de cualquier programa de aplicación debe ser más tardío que el tiempo de inicio del comando de acción “*attach*” del teléfono. Caso contrario, los paquetes del programa de aplicación lanzado no serán aceptados por la red GPRS.

## 2. Estación base

En la pestaña **Frequency Channel** del cuadro de diálogo de la estación base, el usuario puede especificar un rango de canales de frecuencia asignados y usados por esta estación base. Este rango es especificado por los números de canal de inicio y fin. En una red GPRS, las estaciones base vecinas usan diferentes canales de frecuencia para evitar interferencia de señal y colisiones de paquetes. Por lo tanto, el usuario necesita ser cuidadoso cuando se asigna los canales de frecuencia a las estaciones base. En la figura 4.10 se muestra el cuadro de diálogo de la pestaña *Frequency channel* de la estación base.

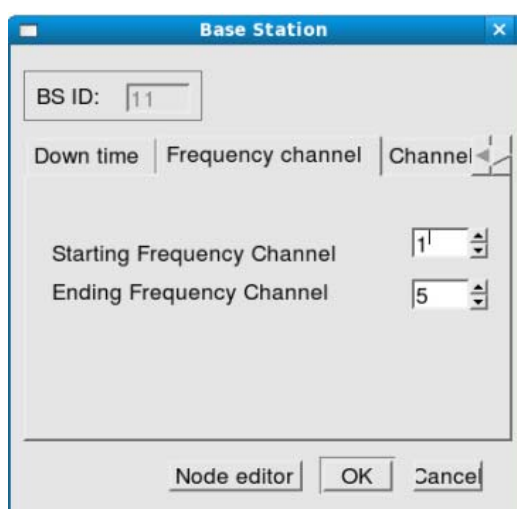


Figura. 4. 10. Cuadro de diálogo de la pestaña *Frequency channel* de la estación base

Cuando hay muchas estaciones base en una red GPRS, abrir el cuadro de diálogo de cada estación base para configurar sus canales puede ser tedioso. Para hacer esta tarea, el usuario puede ejecutar el comando **Menu** → **N\_Tools** → **GPRS Network** → **GPRS BS** → **Assign Frequency Channel** para especificar cuántos canales debería usar una estación base. La figura 4.11 muestra el cuadro de diálogo de este comando. Este comando dará automáticamente a cada estación base el número de canales especificado. Hay que notar que los canales que son automáticamente asignados por el GUI son totalmente diferentes. En el mundo real, el reuso de canales es comunmente realizado para ahorrar el número de canales requeridos por una red GPRS. Sin embargo, durante el proceso de asignación de canales automático, no se intenta el reuso de canales debido a que el GUI carece de la inteligencia requerida para realizar esta tarea.

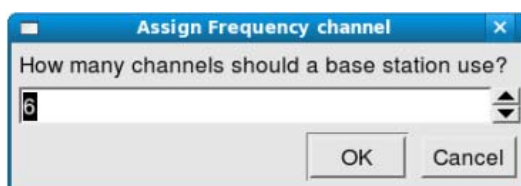


Figura. 4. 11. Asignación del canal de frecuencia en la estación base

En la pestaña **Channel Slot** del cuadro de diálogo de la estación base, el usuario puede especificar cuántos *time slots* son asignados al tráfico de descarga y carga para un usuario GPRS. Los valores por defecto son 3 y 1 para el tráfico de descarga y carga, respectivamente. Para permitir que las otras estaciones base usen el mismo número de *time slots*, el usuario puede pulsar el botón “C.T.A.B.S” para copiar las configuraciones a todas las estaciones base. En la figura 4.12 se muestra el cuadro de diálogo de la pestaña *Channel slot* de la estación base.

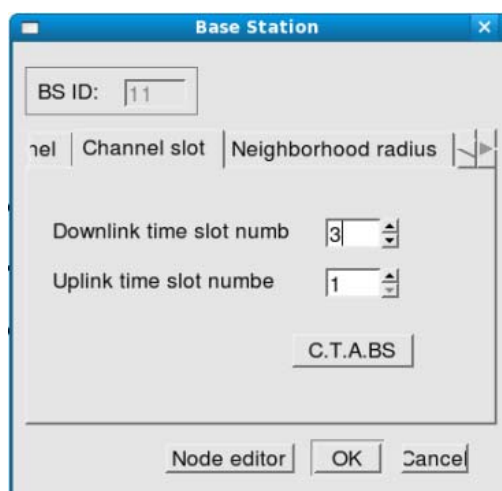


Figura. 4. 12. Cuadro de diálogo de la pestaña *Channel slot* de la estación base

En la pestaña **Neighborhood Radius** del cuadro de diálogo de la estación base, el usuario puede especificar el radio del círculo centrado en esta estación base. Cada estación base dentro de este círculo es considerado como una estación base vecina de esta estación base. Cuando un teléfono GPRS es asociado con esta estación base, esta estación base le notificará de la existencia de estas estaciones base vecinas. El teléfono GPRS entonces usa sus *time slots* inactivos para controlar la fuerza de la señal de estas estaciones base vecinas.

Este diseño facilitará el *roaming* y *handoff* entre las estaciones base vecinas. El valor por defecto es 100 metros. El usuario puede cambiar este valor dependiendo de sus necesidades. En la figura 4.13 se muestra el cuadro de diálogo de la pestaña *Neighborhood Radius* de la estación base.

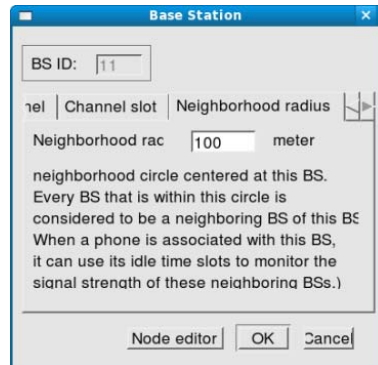


Figura. 4. 13. Cuadro de diálogo de la pestaña *Neighborhood radius* de la estación base

#### 4.1.7 Pila de protocolo

En la siguiente parte, las pilas de protocolo usados por dispositivos GPRS son mostrados.

##### 1. Teléfono

La figura 4.14 muestra la pila de protocolo del teléfono *GPRS*.



Figura. 4. 14. Pila de protocolo del teléfono *GPRS*

## 2. Estación base

La figura 4.15 muestra la pila de protocolo de la estación base *GPRS*.

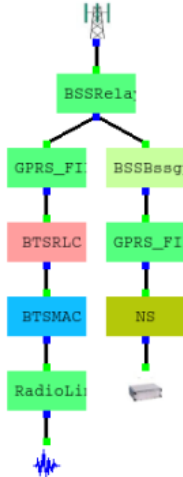


Figura. 4. 15. Pila de protocolo de la estación base *GPRS*

## 3. SGSN

La figura 4.16 muestra la pila de protocolo del *SGSN*.

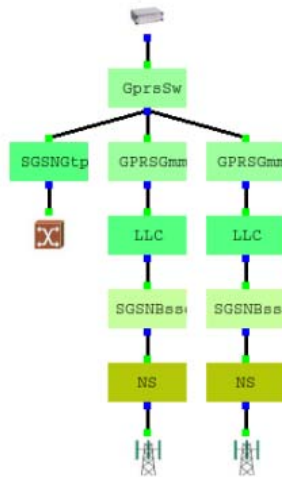


Figura. 4. 16. Pila de protocolo del *SGSN*

## 4. GGSN

La figura 4.17 muestra la pila de protocolo del *GGSN*.

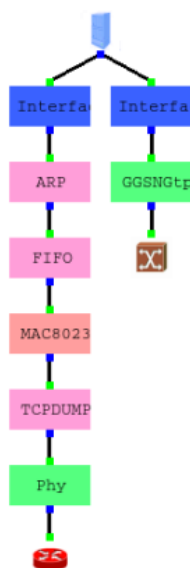


Figura. 4. 17. Pila de protocolo del *GGSN*

### 4.1.8 Módulos de protocolo

En la siguiente parte, los parámetros de algunos módulos de protocolo son mostrados y explicados.

#### 1. *RadioLink*

Los parámetros que se encuentran en el módulo de *radiolink* se encargan del radio de la capa física. En el cuadro de diálogo de la figura 4.18 de este módulo, el usuario puede especificar la potencia de transmisión de la interfaz inalámbrica del radio, el nivel de potencia del ruido circundante a este radio, y la ganancia de la antena. Para un usuario, aunque configurar la potencia de transmisión es el camino correcto para establecer el rango de cobertura del radio, el usuario generalmente no conoce que rango de cobertura corresponde a una potencia de transmisión. Esto es debido a que la asociación entre diferentes potencias de transmisión y sus correspondientes rangos de cobertura en realidad están afectados por el esquema de codificación usado.

Para resolver este problema, el NCTUns brinda una tabla de asociación pre-generada para el esquema de codificación CS2, el cual es usado en la codificación de datos GPRS. La siguiente figura muestra esta asociación. El usuario puede visualizar esta tabla y usar su rango de cobertura para encontrar la potencia de transmisión correspondiente. La información en esta tabla es generada asumiendo que el nivel de potencia de ruido en el radio receptor es 0 dbm. Si el nivel de potencia de ruido no es 0 en todos los radios receptores y en vez de eso es N dbm, entonces el usuario debería usar (Nivel de potencia de transmisión en el radio transmisor – Nivel de potencia del ruido en el radio receptor) como clave para estimar el rango de cobertura eficaz correspondiente. [1]

Debido a los efectos de multi-trayecto y *fading*, aunque la distancia entre los radios de transmisión y recepción sean más grandes que el rango de cobertura, algunos paquetes todavía pueden ser recibidos satisfactoriamente.

Hay que notar que el parámetro “*Surrounding Noise*” es usado cuando un paquete es recibido por el radio en lugar de cuando el radio envía un paquete. Esto se debe a que el *BER* de un paquete recibido es calculado basado en (la potencia de señal de un paquete recibido – la potencia del *surrounding noise*).

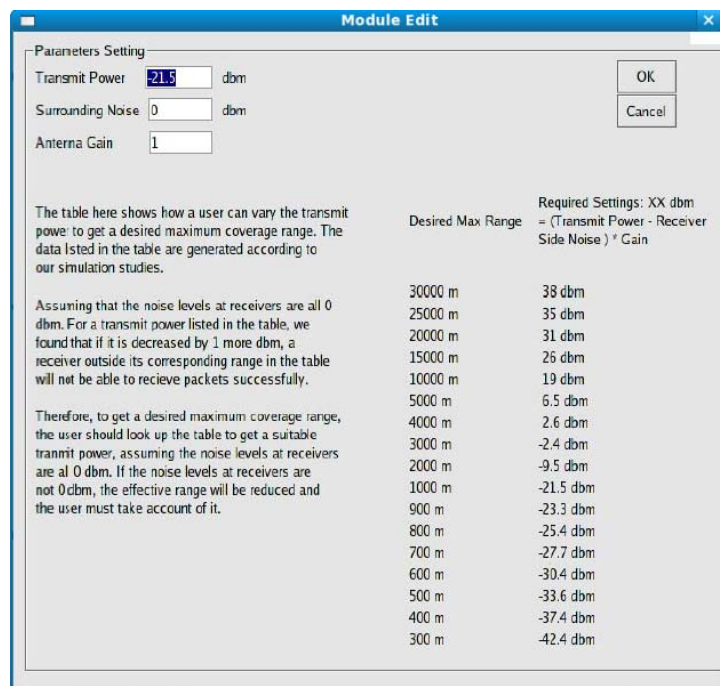


Figura. 4. 18. Módulo de protocolo *RadioLink*



## 2. *BTSMAC*

Los parámetros que se encuentran en el módulo *BTSMAC* se encargan de los usos del canal y *time slot*. Los valores de estos parámetros mostrados en el cuadro de diálogo del módulo reflejan los valores configurados en las pestañas **Frecuency Channel** y **Channel Slot** del cuadro de diálogo de la estación base. El *BSIC* (*Base Station Identity Code*) es asignado por el GUI automáticamente. A cada una de las estaciones base que se conectan a un unico *SGSN* se les asigna un número diferente que va desde el 0 al 7. El número máximo de estaciones base que se pueden conectar a un *SGSN* es 8. La figura 4.19 muestra el cuadro de diálogo de un módulo *BTSMAC*. [1]

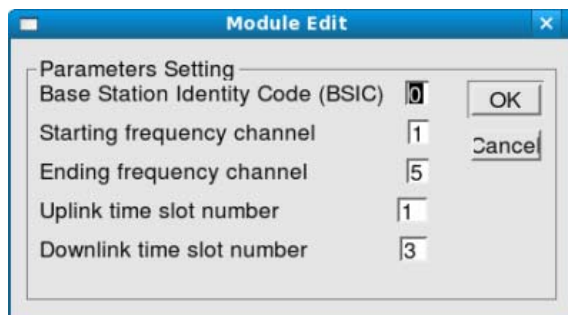


Figura. 4. 19. Módulo de protocolo *BTSMAC*

## CAPITULO V

### *ITS Y NODOS MÓVILES MULTI-INTERFACES*

#### 5.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE

*ITS* (Sistemas de Transporte Inteligente) aplica tecnologías de información, comunicación y de redes para infraestructura y vehículos de transporte. NCTUns integra simulaciones de red, tráfico y sus interacciones en tiempo real. Esta es una herramienta útil para investigaciones *ITS* como lo son comunicación inalámbrica vehículo a vehículo (*V2V*) y vehículo a infraestructura (*V2I*). [1]

##### 5.1.1 Construcción de la red de carreteras

El primer paso en la realización de una investigación *ITS* acerca de comunicación vehicular inalámbrica es la construcción de la red de carreteras. En tal investigación, los vehículos son nodos móviles que tienen capacidades de comunicación y de red, y solamente pueden moverse sobre la red de carreteras. Cada vehículo usa su propia inteligencia para moverse sobre las carreteras y evitar colisiones con otros vehículos. La figura 5.1 muestra (de izquierda a derecha) las cuatro clases de carreteras usadas para construir una red de carreteras: segmento de carretera general, encrucijada, enlace de carretera, y fusión de carretera. El enlace de carretera es usado para brindar conexiones de carretera de un segmento de carretera general a una encrucijada o a una fusión de carretera.



Figura. 5. 1. Clases de carreteras

Con lo mencionado anteriormente, el usuario puede construir una red de carreteras como se muestra en la figura 5.2.

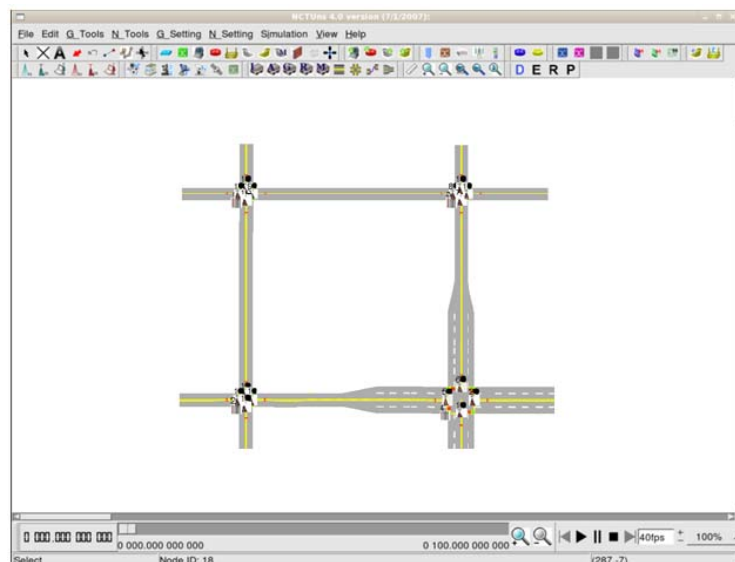


Figura. 5. 2. Red de carreteras

### 5.1.2 Inserción y ubicación de un carro ITS

Cinco tipos diferentes de vehículos ITS existen en la implementación actual y se muestran en la figura 5.3 (de izquierda a derecha): vehículo I (con una interfaz en modo infraestructura 802.11(b)), vehículo A (con una interfaz en modo ad hoc 802.11(b)), vehículo G (con un radio GPRS), vehículo R (con una interfaz RCST satellite), y un vehículo M (con todos los diferentes tipos de interfaces). Para ubicar los vehículos ITS en la red de carreteras el usuario primero debe pulsar el icono deseado del tipo de vehículo ITS y luego pulsar en la ubicación deseada para el vehículo. El usuario debe ubicar el vehículo ITS sobre la carretera, caso contrario este carro no se moverá durante la simulación.



Figura. 5. 3. Tipos de carros ITS

Ubicar los carros *ITS* uno por uno puede tomar mucho tiempo y esfuerzo para el usuario. Para resolver este problema, se brinda una función que automáticamente ubicará un número grande de carros *ITS* sobre la carretera. El usuario puede usar esta función al ejecutar el comando **Menu** → **N\_tools** → **ITS Network** → **Deploy cars automatically**.

La figura 5.4 muestra el cuadro de diálogo usado para insertar un número grande de vehículos *ITS* de una sola vez. En este cuadro, el usuario puede especificar que tipos de vehículos deberían ser usados, la densidad de utilización, y el número máximo de los carros utilizados. Hay que notar que el número real de vehículos utilizados puede ser más pequeño que el número máximo especificado debido a la limitación de la densidad de utilización.

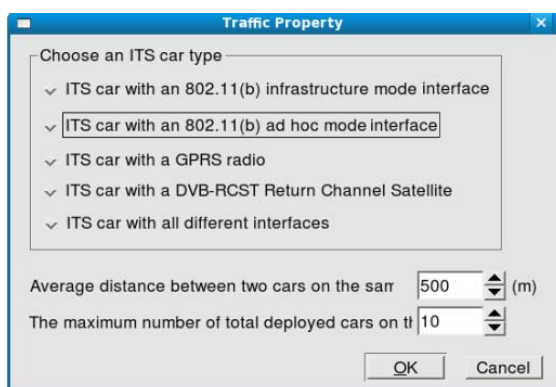


Figura. 5. 4. Insertar un número grande de carros *ITS*

### 5.1.3 Especificación de perfil de carro

Cada vehículo *ITS* puede ser especificado con diferentes comportamientos de auto-manejo. Un comportamiento de manejo es definido por un perfil de vehículo. Después de insertar vehículos *ITS*, el usuario puede especificar que tipos de perfiles deberían ser aplicados a un vehículo *ITS*. Esto puede ser realizado el usar el comando **Menu** → **N\_Tools** → **ITS Network** → **Configure Cars profiles**. [1]

La figura 5.5 muestra el cuadro de diálogo usado para la asociación de vehículos *ITS* a perfiles de carros. Actualmente, existen cinco perfiles para la asignación. El usuario

puede especificar cuánto porcentaje de vehículos *ITS* deberían usar un perfil dado. Después de finalizar la asignación de porcentajes, el usuario puede pulsar el botón ***Generate the car-profile mapping file*** para completar la asociación. El programa GUI automáticamente asignará cada vehículo a un perfil aleatorio basado en estas configuraciones de porcentajes. Estas asignaciones son guardadas en un archivo, el cual será leído por todos los agentes de vehículos (cada uno de los cuales controla el comportamiento de manejo de un vehículo) en el comienzo de la simulación. Cada vez que se pulsa el botón ***Generate the car-profile mapping file***, la operación anterior será realizada de nuevo. Las nuevas asignaciones pueden diferir de las asignaciones anteriores.

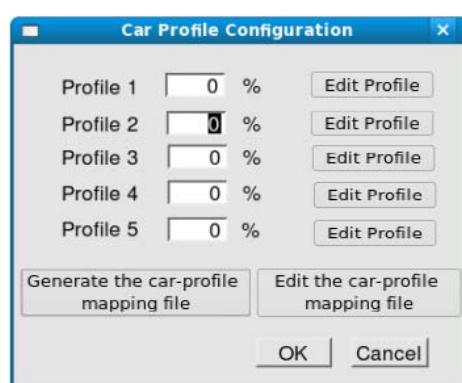


Figura. 5. 5. Asociación de carros *ITS* a perfiles de carros

Cuando el botón ***Edit profile*** asociado con un perfil específico es pulsado, un editor *vim* será ejecutado y el archivo que almacena el perfil correspondiente será abierto por el editor. El usuario puede editar el contenido de este archivo para cambiar el perfil del vehículo. Un perfil contiene los valores característicos que un vehículo debería seguir. Por ejemplo, la velocidad máxima de manejo, la aceleración máxima, la desaceleración máxima, etc. La figura 5.6 muestra el editor *vim* del perfil de vehículo *ITS*.

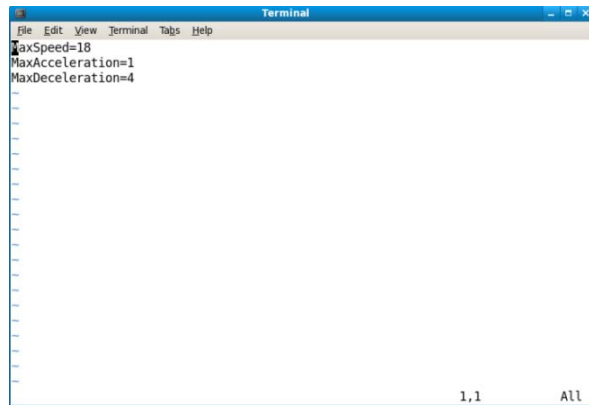


Figura. 5. 6. Perfil de carro ITS

Si el usuario desea cambiar la asociación de perfil de vehículo generado automáticamente, el usuario puede pulsar el botón *Edit car-profile mapping file*. Esta función puede ser deseada cuando el usuario quiere especificar explícitamente cual vehículo debería usar un perfil de vehículo durante la simulación. La figura 5.7 muestra el cuadro de diálogo que aparecerá después de pulsar este botón. En este cuadro, el usuario primero debe pulsar el vehículo deseado para elegirlo y luego pulsar el botón *Change Profile* para cambiar el perfil asignado al vehículo seleccionado.

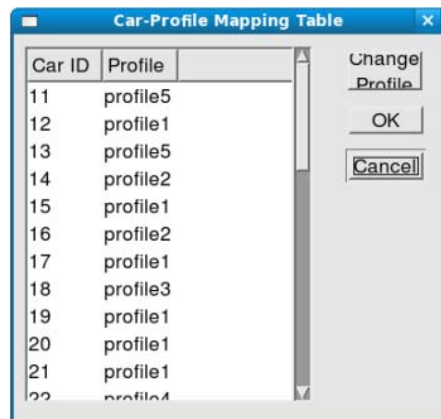


Figura. 5. 7. Cambio de perfil de un carro ITS

La figura 5.8 muestra el cuadro de diálogo en el cual el usuario puede cambiar el perfil asignado al vehículo ITS seleccionado.



Figura. 5. 8. Selección del perfil de carro ITS

#### 5.1.4 Programas agentes

Cuando una encrucijada es utilizada, una señal agente será automáticamente ejecutada cuando una simulación inicia. La señal agente es responsable de cambiar los estados del semáforo. Del mismo modo, cuando un carro ITS es utilizado, un agente de vehículo automáticamente será ejecutado cuando la simulación inicie. El agente de vehículo es responsable de manejar el vehículo basado en su perfil de vehículo asignado. Cuando un segmento de carretera general es conectado a una encrucijada, una unidad de carretera será automáticamente utilizada y un agente de unidad de carretera será automáticamente ejecutado cuando una simulación inicie. Un agente de unidad de carretera puede transmitir/recibir paquetes a un vehículo ITS para brindar funciones V2I.



Al igual que un programa de aplicación real a nivel de usuario, todos estos programas de agentes son programas a nivel de usuario escritos en C/C++ y las cadenas de comandos que lanzan estos programas durante la simulación deberían ser escritos en la pestaña “*Application*” de cada uno de estos nodos. Sin embargo, si se considera que se deben usar cientos de carros ITS y el usuario debe escribir cadenas de comandos en cada uno de ellos, esta tarea sería muy tediosa y tomaría mucho tiempo y esfuerzo. Por esta razón, el programa GUI automáticamente ingresará una cadena de comando en la pestaña “*Application*” en cada vehículo ITS utilizado. Esta cadena de comando es “*CarAgent*” y lanzará el programa de agente de vehículo por defecto. Si el usuario desea usar otro programa agente de vehículo con un comportamiento diferente de manejo, el usuario puede reemplazar el programa agente de vehículo por defecto con el suyo propio. El usuario puede encontrar y modificar el código fuente del programa agente de carro por defecto en

el paquete NCTUns para satisfacer sus necesidades. Este se encuentra en el directorio *tools/tacticMANET/lib* en el paquete NCTUns.

El programa agente de vehículo por defecto que se encuentra en el paquete NCTUns representa una implementación de referencia que muestra que este agente puede manejar un vehículo sobre una red de carreteras con un comportamiento de manejo razonable. El usuario puede agregar más comportamientos de manejo reales e inteligencia al agente por defecto.

## 5.2 NODOS MÓVILES MULTI-INTERFACES

Como la tecnología *IC* avanza, actualmente muchos dispositivos electrónicos están equipados con múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas. Tales dispositivos han permitido nuevas investigaciones incluyendo *heterogeneous network handover* y *wireless trunking*. Para estas investigaciones, NCTUns soporta nodos móviles multi-interfaz, los cuales son nodos móviles equipados con múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas.

Actualmente, un nodo móvil multi-interfaz está equipado con cuatro diferentes tipos de interfaces inalámbricas: una interfaz en modo infraestructura 802.11(b), una interfaz en modo ad hoc 802.11(b), una interfaz GPRS, y una interfaz *DVB-RCST satellite*. Hay dos tipos de nodos multi-interfaz: (1) nodo móvil multi-interfaz  y (2) vehículo *ITS* multi-interfaz . Como se muestra en la figura 5.9, a un nodo móvil multi-interfaz se le permite moverse en cualquier patrón en el campo. Sin embargo, a un vehículo *ITS* multi-interfaz solamente se le permite moverse sobre la red de carreteras. [1]



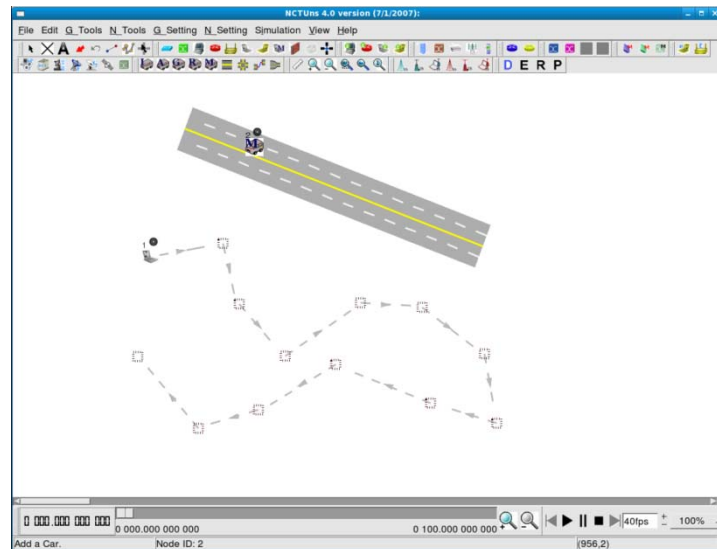


Figura. 5. 9. Movimiento de un nodo multi-interfaz y de un carro ITS multi-interfaz

### 5.2.1 Agregando y configurando nodos móviles multi-interfaz

El usuario puede seleccionar los iconos de los nodos móviles multi-interfaz (o de los vehículos ITS multi-interfaz) y luego pulsar el botón izquierdo del *mouse* en el campo para agregar un nodo móvil multi-interfaz (carro ITS). Una alternativa es usar la herramienta automática para agregar un número de nodos móviles multi-interfaz (vehículos) al mismo tiempo. La ubicación de esta herramienta para nodo móviles multi-interfaz es **Menu** → **N\_Tools** → **Heterogeneous Network** → **Insert multi-interface Nodes**, mientras que la ubicación de esta herramienta para carros ITS multi-interfaz es **Menu** → **N\_Tools** → **ITS Network** → **Deploy cars automatically**. La figuras 5.10 y 5.11 muestran los cuadros de diálogo de estas dos herramientas.

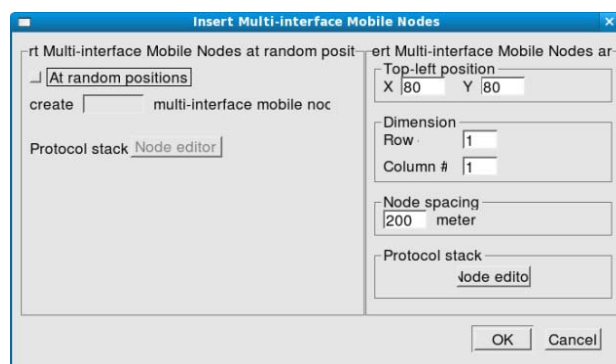


Figura. 5. 10. Insertando nodos móviles multi-interfaz

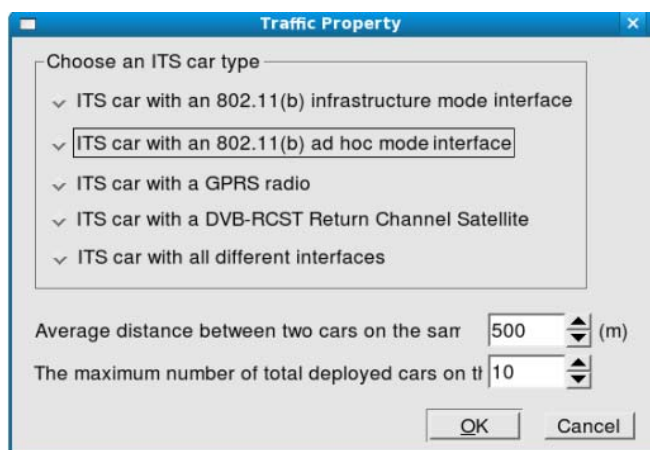


Figura. 5. 11. Insertando carros *ITS* multi-interfaz

En la siguiente parte, se mostrará como configurar un nodo móvil multi-interfaz (vehículo *ITS*). El cuadro de diálogo de la figura 5.12 de un nodo móvil multi-interfaz (vehículo *ITS*) aparecerá después de pulsar dos veces el respectivo icono.

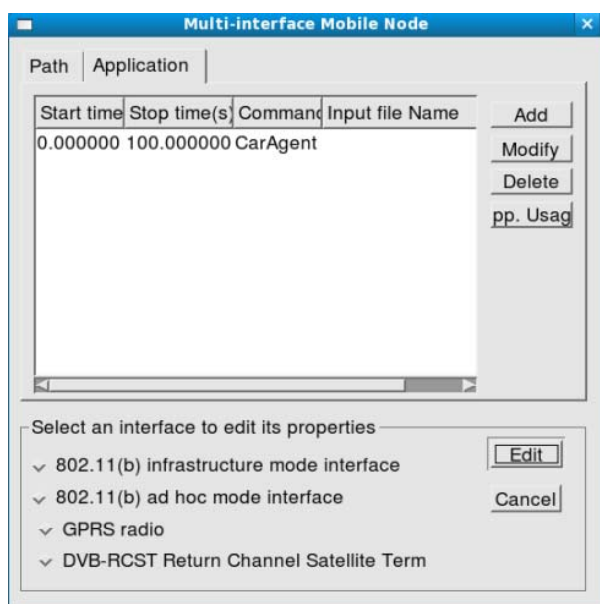


Figura. 5. 12. Pestaña *Application* en el cuadro de diálogo de un carro *ITS* multi-interfaz

Bajo la pestaña “*Path*”, el usuario puede especificar la ruta de movimiento de este nodo móvil multi-interfaz. La siguiente figura muestra un ejemplo de la configuración de ruta. Otro método para especificar la ruta de movimiento es usar el *mouse* para pulsar-

arrastrar-pulsar... y así gráficamente especificar la ruta de movimiento en el área de trabajo. Esta operación es exactamente la misma que para especificar la ruta de movimiento de un nodo móvil de una sola interfaz. En la sección “*Select an interface to edit its property*”, el usuario puede seleccionar una de sus cuatro interfaces inalámbricas y entonces pulsar el botón “*Edit*” para editar su pila de protocolo. Bajo la pestaña “*Application*”, el usuario puede especificar los programas de aplicación que serán ejecutados en este nodo móvil multi-interfaz durante la simulación. En la figura 5.13 se muestra el cuadro de diálogo de la pestaña *Path* de un vehículo *ITS* multi-interfaz.

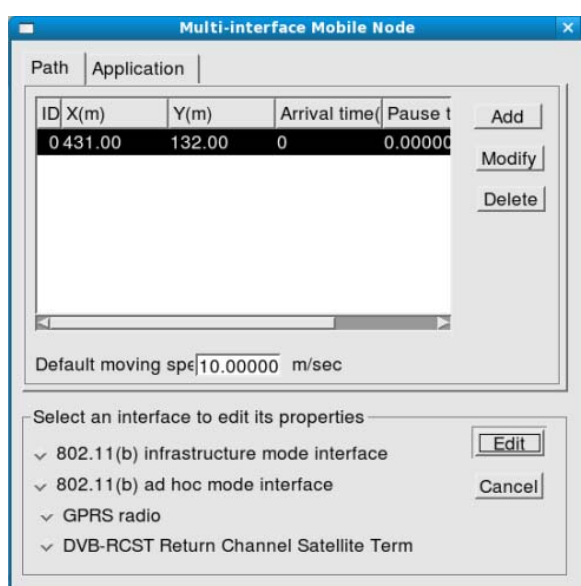


Figura. 5. 13. Pestaña *Path* en el cuadro de diálogo de un carro *ITS* multi-interfaz

## 5.2.2 Explotando múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas

Como se muestra en la figura 5.14, los programas de aplicación ejecutados en un nodo móvil multi-interfaz (vehículo *ITS*) pueden utilizar múltiples interfaces inalámbricas para transmitir/recibir paquetes. Para utilizar tales interfaces heterogéneas, los programas de aplicación deberían saber las direcciones IP asignadas a estas interfaces. El usuario debería dar explícitamente tal información a los programas de aplicación usando argumentos de líneas de comandos. Esto se debe a que hasta ahora los programas de aplicación no poseen sistemas para obtener tal información.

Dadas las direcciones IP asignadas a estas interfaces, un programa de aplicación primero puede crear *sockets* para estas interfaces, y entonces llamar al sistema de llamada “*bind()*” para enlazar cada uno de estos *sockets* a cada una de las direcciones IP. Después de realizar estas operaciones de enlazamiento, el programa de aplicación puede enviar paquetes a través de cualquier interfaz deseada. Similarmente, el programa de aplicación puede recibir paquetes de cualquier interfaz deseada. Con un enlazamiento explícito, un programa de aplicación ejecutado en un nodo móvil multi-interfaz (vehículo *ITS*) puede utilizar múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas al mismo tiempo.

Hay que notar que cuando se ejecuta un nodo de una sola interfaz, un programa de aplicación no necesita enlazar un *socket* a una dirección IP asignada a esta interfaz. Esto se debe a que el sistema de operación automáticamente puede usar la interfaz correcta al buscar en la tabla de enrutamiento. En un nodo móvil multi-interfaz, sin embargo, si un programa de aplicación no enlaza una correcta dirección IP a un *socket* creado, el sistema de operación usará una interfaz por defecto para transmitir paquetes. Este resultado puede ser no deseado por el programa de aplicación.

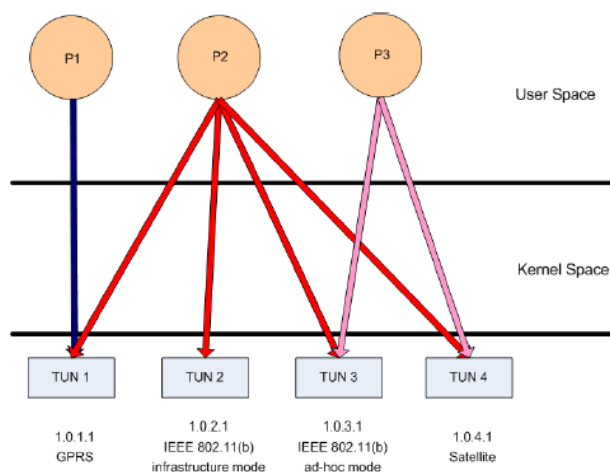


Figura. 5. 14. Múltiples interfaces inalámbricas heterogéneas

## CAPITULO VI

### SIMULACIONES

#### 6.1 REDES EN MALLA 802.11b

##### 6.1.1 Configuración de la simulación

Primero se inserta los puntos de acceso que ejecutan OSPF como protocolo de enrutamiento, para lo cual usamos el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(b) Wireless Mesh Network** → **Insert 802.11(b) Mesh Access Points**, en este cuadro de diálogo se escogerá el protocolo de enrutamiento usado y se ingresará el número de columnas y filas para insertar los nodos deseados, como se muestra en la figura 6.1.

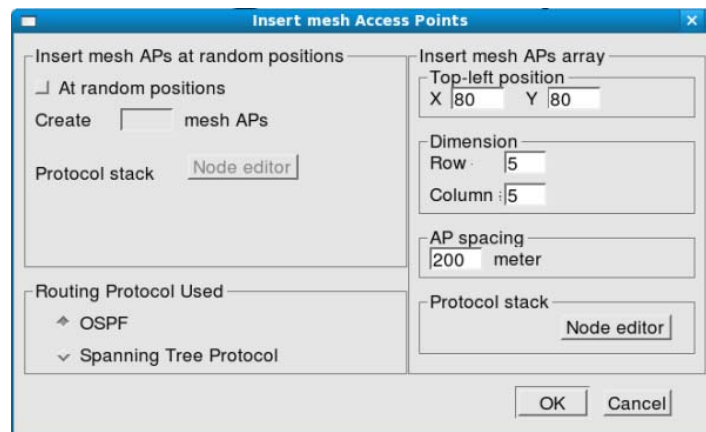


Figura. 6. 1. Ingreso de puntos de acceso en malla

Luego se agregarán a la topología un *switch multi-gateway* de malla, un *router*, un *host* y un *host* móvil inalámbrico en modo infraestructura. Después se realizarán los correspondientes enlaces como se muestra en la figura 6.2.

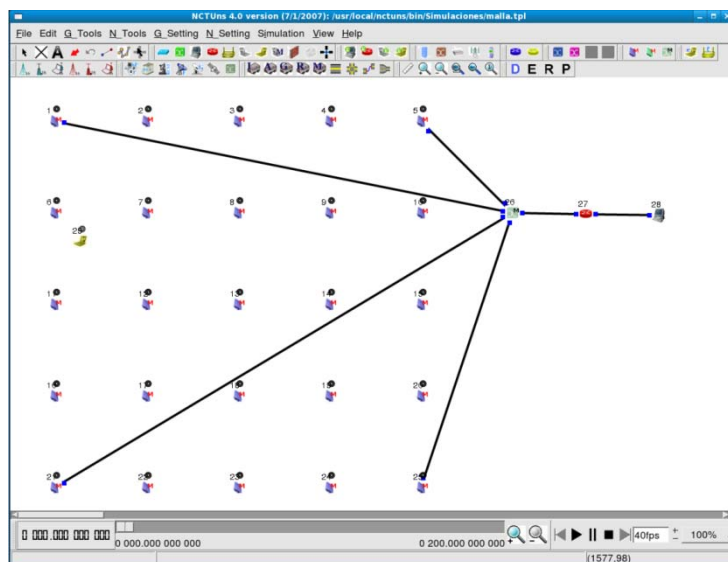



Figura. 6. 2. Topología de red simulada

El siguiente paso será formar una subred con el *host* inalámbrico (ID: 29) y el punto de acceso OSPF (ID: 5), para lo cual se usará la herramienta “*Form wireless subnet*” , como se muestra en la figura 6.3.

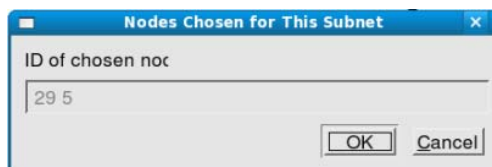


Figura. 6. 3. Nodos escogidos para la subred

Después ingresamos en el editor de nodo del punto de acceso OSPF (ID: 5) y en el módulo de protocolo *MeshOSPF* se habilita el parámetro que permite usar *ETX* como métrica del protocolo de enrutamiento OSPF. Luego en el editor de nodo de este punto de acceso se pulsa el botón *C.T.A.N* para que se copie esta configuración a todos los módulos. Los pasos anteriores se muestran en las figuras 6.4 y 6.5.

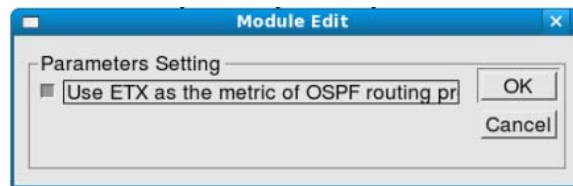


Figura. 6. 4. Habilitar *ETX* en el módulo *MeshOSPF* del punto de acceso

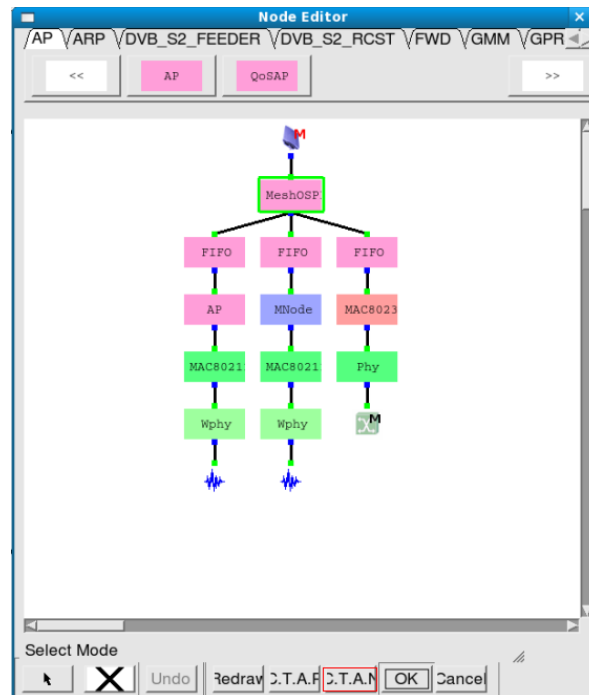


Figura. 6. 5. Pila de protocolo del punto de acceso OSPF

Luego se configurará el tráfico de red de la siguiente manera.

- Nodo Transmisor (*host* inalámbrico con ID 29):

La figura 6.6 muestra el cuadro de diálogo del *host* móvil con ID 29

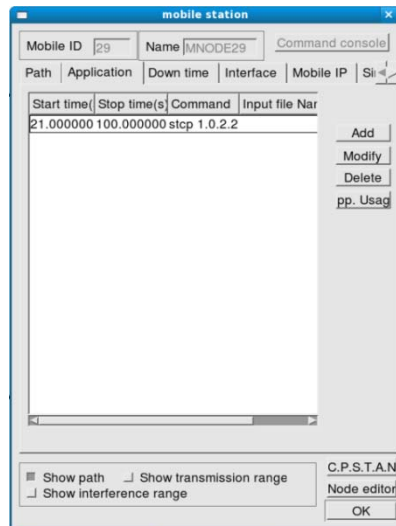


Figura. 6. 6. *Host* inalámbrico con ID 29

- Nodo Receptor (*host* con ID 28):

La figura 6.7 muestra el cuadro de diálogo del *host* con ID 28

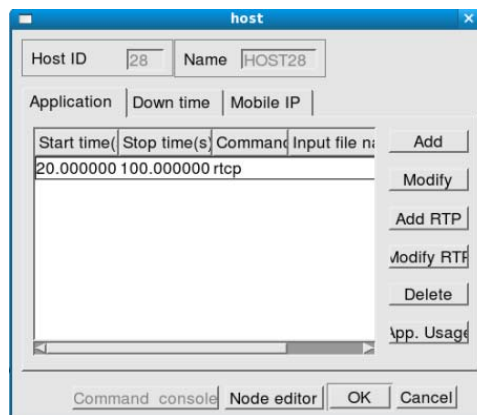


Figura. 6. 7. *Host* con ID 28

### 6.1.2 Análisis de resultados

Para analizar el rendimiento de la red, antes de realizar la ejecución de la simulación, primero se debe habilitar:



- En el nodo transmisor la opción *Log Packet Statistics* y *Throughput (KB/sec) of Outgoing Packets* en el modulo *MAC80211* en la pila de protocolo del editor de nodo. La figura 6.8 muestra la habilitación del *Log Packet Statistics* en el nodo transmisor.

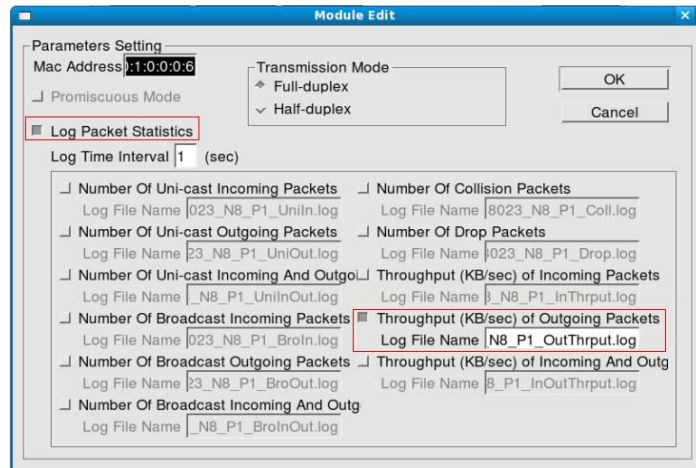


Figura. 6. 8. Habilitación del *Log Packet Statistics* en el nodo transmisor

- En el nodo receptor la opción *Log Packet Statistics* y *Throughput (KB/sec) of Incoming Packets* en el modulo *MAC8023* en la pila de protocolo del editor de nodo. La figura 6.9 muestra la habilitación del *Log Packet Statistics* en el nodo receptor.

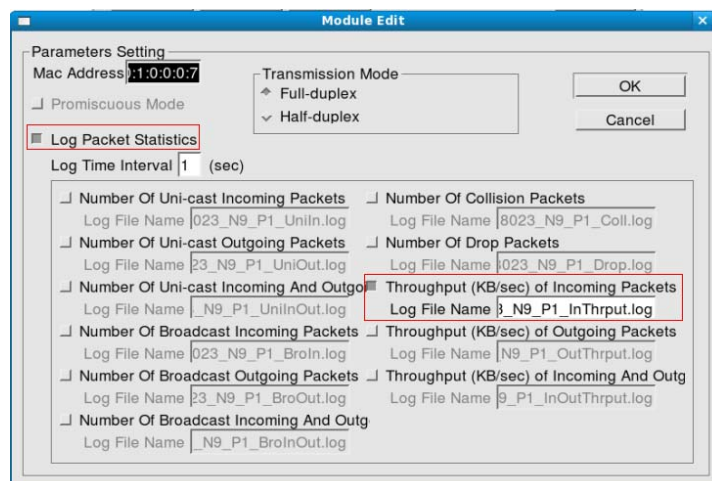


Figura. 6. 9. Habilitación del *Log Packet Statistics* en el nodo receptor

Durante la ejecución de la simulación observamos que el tráfico de red es enviado desde el transmisor hasta receptor como se muestra en las figuras 6.10, 6.11, 6.12, 6.13 y 6.14.

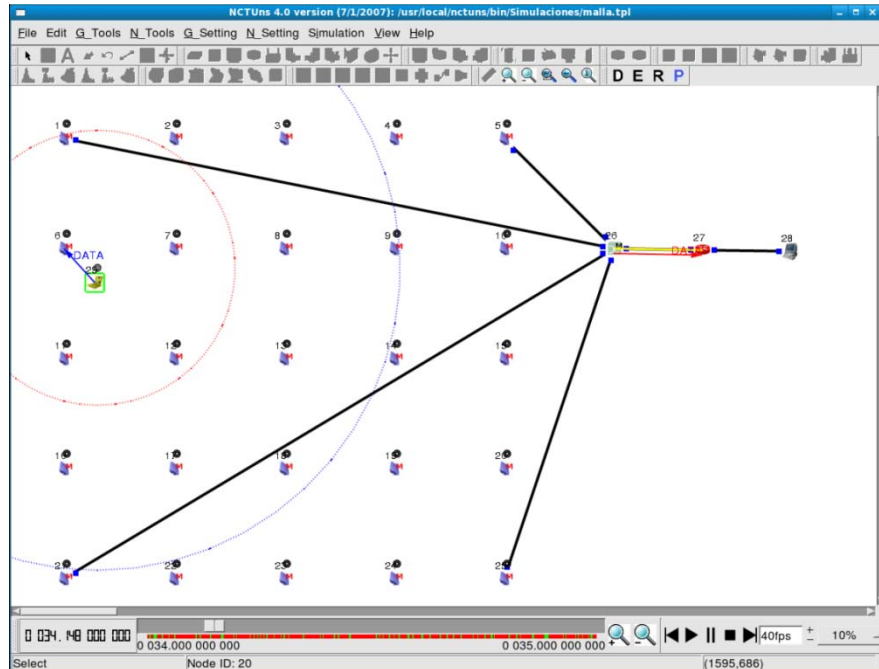


Figura. 6. 10. Flujo de tráfico (a)

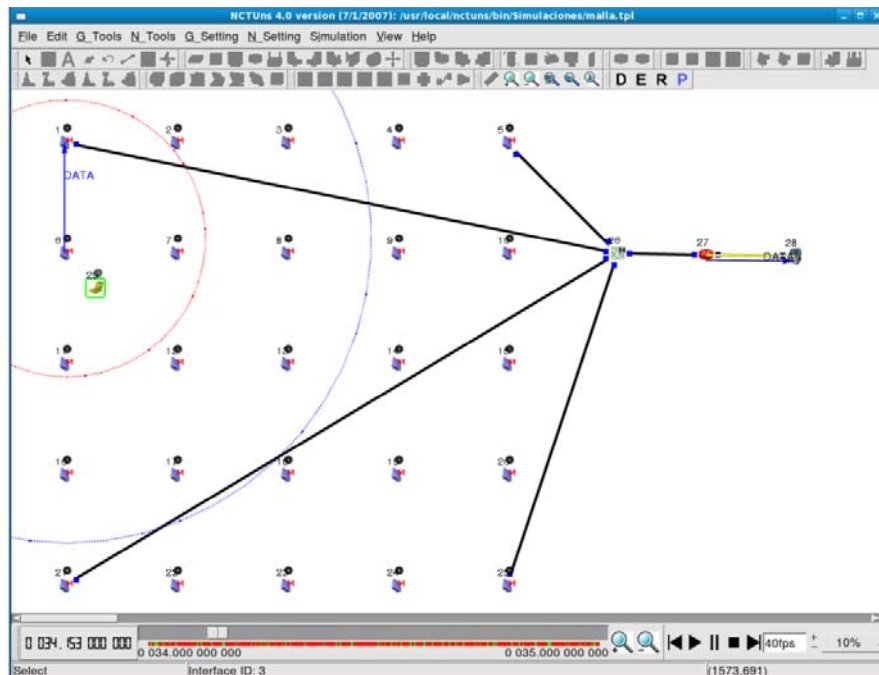


Figura. 6. 11. Flujo de tráfico (b)

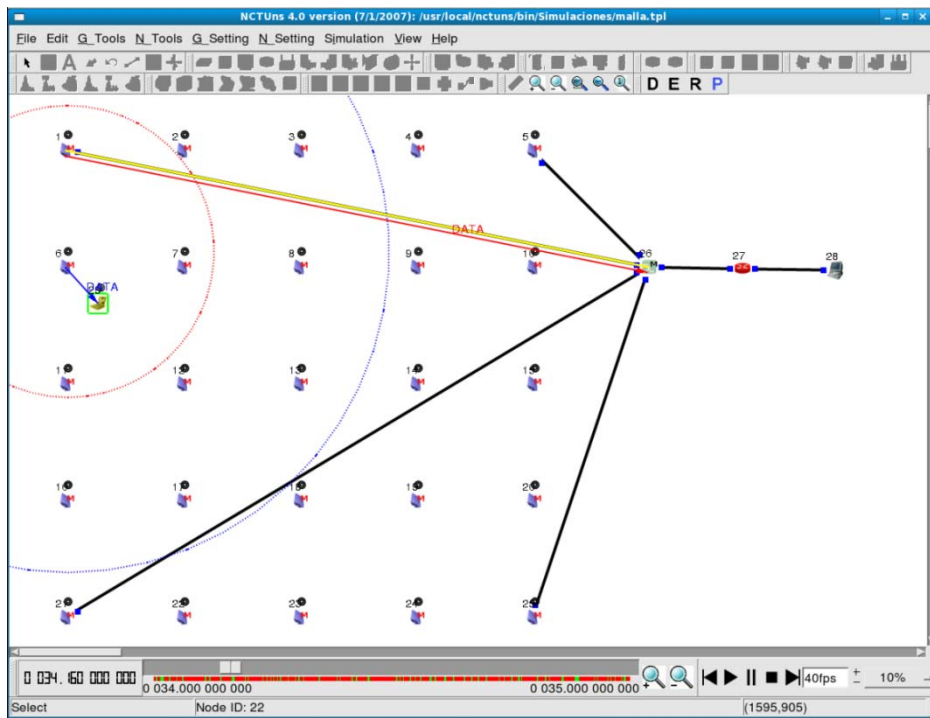


Figura. 6. 12. Flujo de tráfico (c)

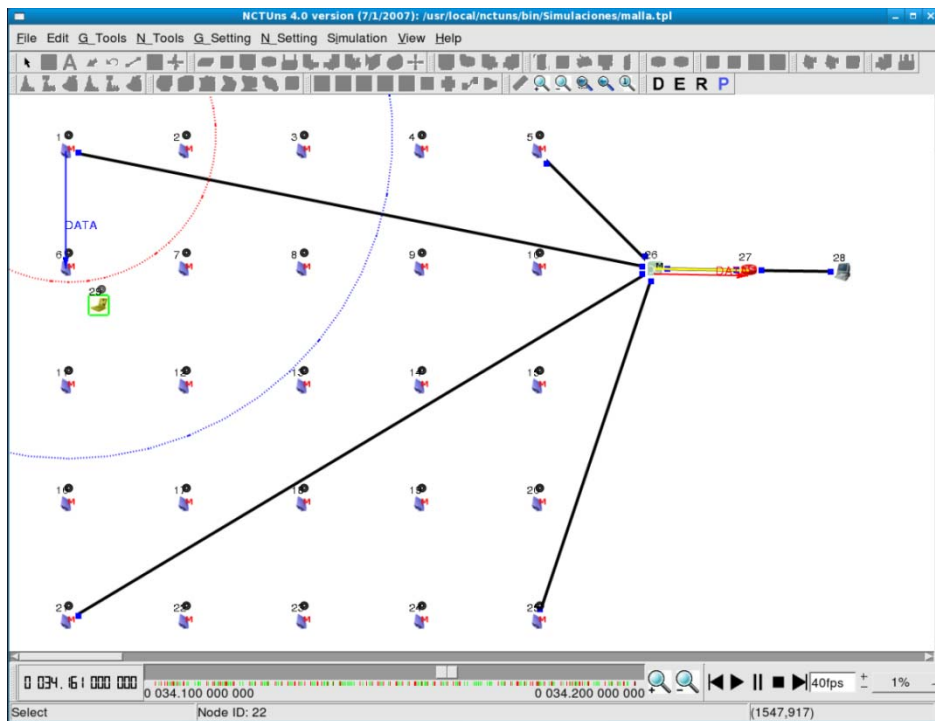


Figura. 6. 13. Flujo de tráfico (d)

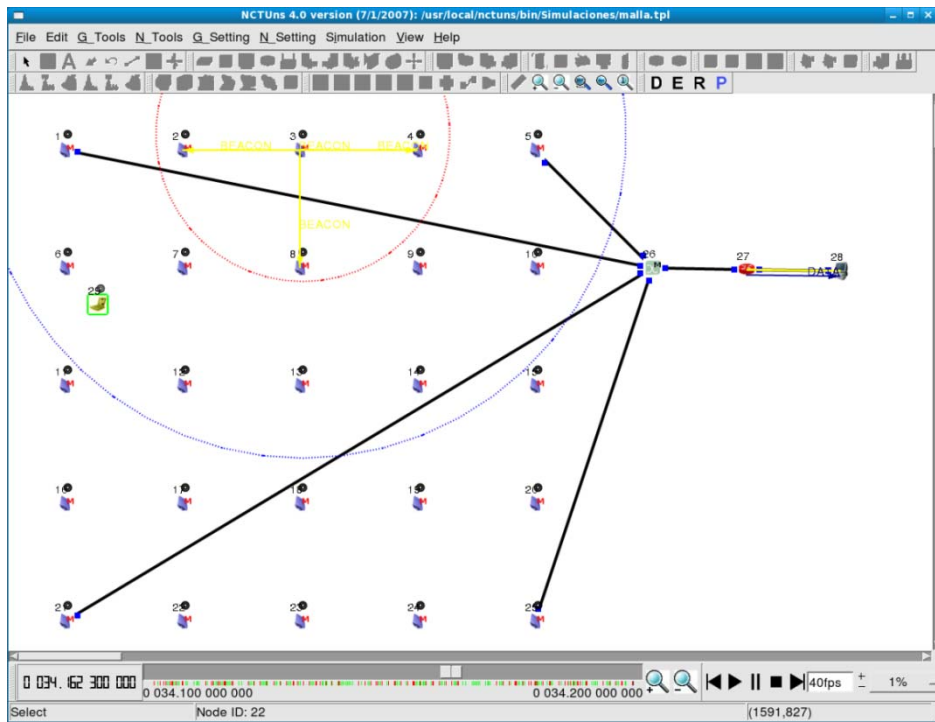


Figura. 6. 14. Flujo de tráfico (e)

Para finalizar se observó el comportamiento de la red en las siguientes gráficas. La figura 6.15 muestra el *Throughput (KB/seg)* de paquetes salientes en el nodo con ID 29.

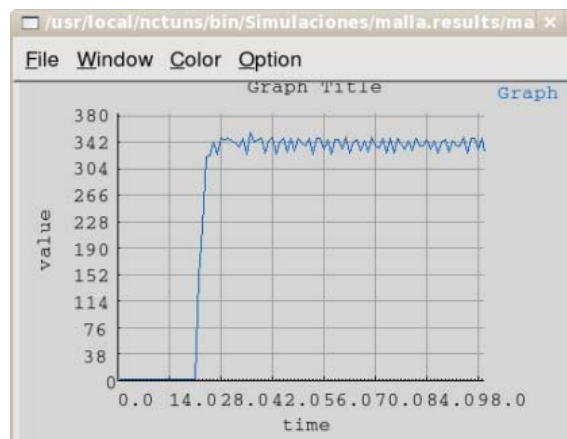


Figura. 6. 15. Throughput (KB/seg) de paquetes salientes en el nodo con ID 29

La figura 6.16 muestra el *Throughput (KB/seg)* de paquetes entrantes en el nodo con ID 28.

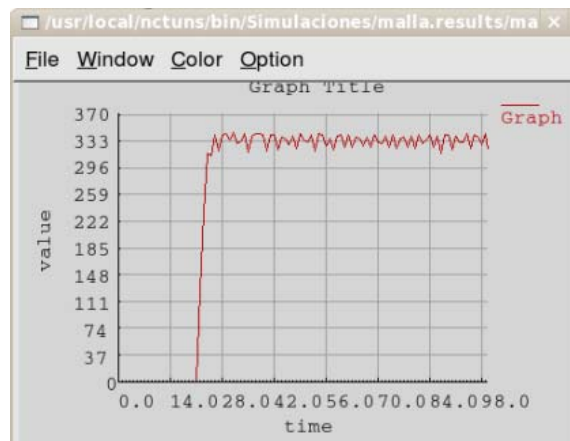


Figura. 6. 16. Throughput (KB/seg) de paquetes entrantes en el nodo con ID 28

## 6.2 REDES QoS 802.11e

En esta simulación se estudio un caso en el cual 5 familias q viven en un edificio se han puesto de acuerdo en alquilar un proveedor de internet por cable para un acceso de 10 Mbps. Cada familia posee un *host* inalámbrico en su casa. El objetivo principal será distribuir el ancho de banda de acuerdo a las necesidades de cada familia para lo cual se usó la norma IEEE 802.11e que dispone de QoS (calidad de servicio).

La simulación tiene los siguientes dispositivos:

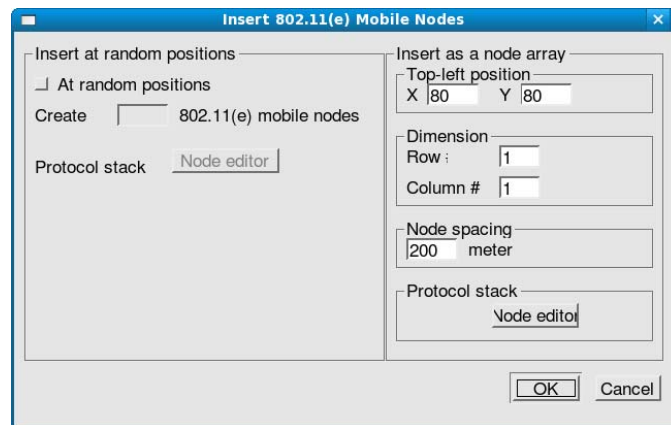
- 1 *host* que representa la parte del proveedor de Internet.
- 1 punto de acceso 802.11e.
- 5 *hosts* inalámbricos con interfaces IEEE 802.11e.

De acuerdo a las necesidades de cada familia, los *hosts* tendrán los siguientes *Mean data rate*:

- *host* 1: 200 KB/seg
- *host* 2: 100 KB/seg
- *host* 3: 300 KB/seg
- *host* 4: 200 KB/seg
- *host* 5: 100 KB/seg

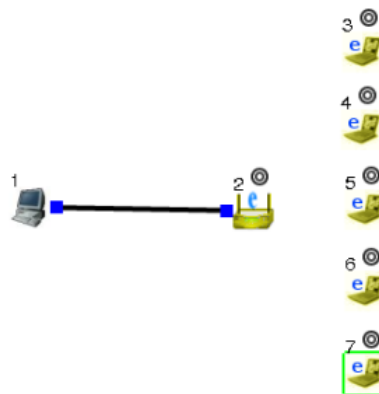
### 6.2.1 Configuración de la simulación

Lo primero que se debe realizar es insertar el número deseado de *hosts* móviles 802.11e en el área de trabajo para lo cual usamos el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(e) Wireless Network** → **Insert 802.11(e) Mobile Nodes**, luego en el cuadro de diálogo que aparecerá, como se muestra en la figura 6.17, se podrá configurar parámetros como el número de nodos, el espacio entre nodos, la pila de protocolos de los nodos que se insertarán.



**Figura. 6. 17. Insertar nodos móviles 802.16(e)**

Luego insertamos el *host* y el punto de acceso 802.11e. La topología final se muestra en la figura 6.18.



**Figura. 6. 18. Topología final**

Para configurar el tráfico de red ingresamos a cada uno de los *hosts* móviles y en la pestaña de “*Application*” pulsamos el botón “*Add*” para agregar los comandos correspondientes, como también se realizará la especificación de tráfico (*TSPEC*).

Los comandos que se usaron fueron los siguientes:

- `ttcp -t [-options] HostIPaddr del receptor` → Nodo Transmisor
- `ttcp -r [-options]` → Nodo Receptor

Uso: `[-options]` → `-u` → Usa UDP en lugar de TCP  
`-p ##` → número de puerto

- `stcp [-p port] HostIPaddr del receptor` → Nodo Transmisor
- `rtcp [-p port]` → Nodo Receptor

A continuación en las figuras 6.19, 6.20, 6.21, 6.22, 6.23 y 6.24 se presentará la configuración de cada uno de los *hosts*.

- *host 1*:

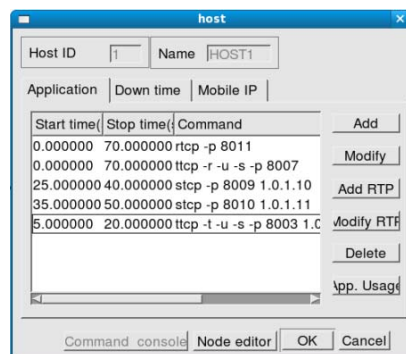


Figura. 6. 19. Configuración en el *host* con ID 1

- *host 3*:

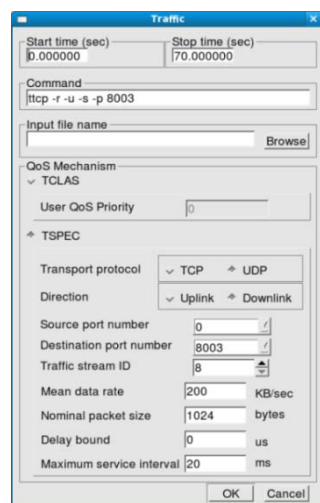


Figura. 6. 20. Configuración en el *host* con ID 3



- *host 4*:

The screenshot shows the 'Traffic' configuration window for host 4. The 'Start time (sec)' is set to 15.000000 and the 'Stop time (sec)' is 30.000000. The 'Command' field contains 'ttcp -t -u -s -p 8007 1.0.1.1'. The 'Input file name' field is empty with a 'Browse' button. Under 'QoS Mechanism', 'TCLAS' is expanded and 'User QoS Priority' is 0. 'TSPEC' is expanded, showing 'Transport protocol' as TCP, 'Direction' as Uplink, 'Source port number' as 0, 'Destination port number' as 8007, 'Traffic stream ID' as 8, 'Mean data rate' as 100 KB/sec, 'Nominal packet size' as 1024 bytes, 'Delay bound' as 0 us, and 'Maximum service interval' as 20 ms. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Figura. 6. 21. Configuración en el *host* con ID 4

- *host 5*:

The screenshot shows the 'Traffic' configuration window for host 5. The 'Start time (sec)' is 0.000000 and the 'Stop time (sec)' is 70.000000. The 'Command' field contains 'rtcp -p 8009'. The 'Input file name' field is empty with a 'Browse' button. Under 'QoS Mechanism', 'TCLAS' is expanded and 'User QoS Priority' is 0. 'TSPEC' is expanded, showing 'Transport protocol' as UDP, 'Direction' as Downlink, 'Source port number' as 0, 'Destination port number' as 8009, 'Traffic stream ID' as 8, 'Mean data rate' as 300 KB/sec, 'Nominal packet size' as 1460 bytes, 'Delay bound' as 0 us, and 'Maximum service interval' as 20 ms. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Figura. 6. 22. Configuración en el *host* con ID 5

- *host 6:*

The screenshot shows the 'Traffic' configuration dialog box. The 'Start time (sec)' is 0.000000 and the 'Stop time (sec)' is 70.000000. The 'Command' field contains 'rtcp -p 8010'. The 'Input file name' field is empty with a 'Browse' button. Under 'QoS Mechanism', 'TCLAS' is expanded and 'User QoS Priority' is 0. 'TSPEC' is expanded, showing 'Transport protocol' as TCP, 'Direction' as Uplink, 'Source port number' as 0, 'Destination port number' as 8010, 'Traffic stream ID' as 8, 'Mean data rate' as 200 KB/sec, 'Nominal packet size' as 1460 bytes, 'Delay bound' as 0 us, and 'Maximum service interval' as 20 ms. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

**Figura. 6. 23. Configuración en el *host* con ID 6**

- *host 7:*

The screenshot shows the 'Traffic' configuration dialog box. The 'Start time (sec)' is 50.000000 and the 'Stop time (sec)' is 65.000000. The 'Command' field contains 'stcp -p 8011 1.0.1.1'. The 'Input file name' field is empty with a 'Browse' button. Under 'QoS Mechanism', 'TCLAS' is expanded and 'User QoS Priority' is 0. 'TSPEC' is expanded, showing 'Transport protocol' as TCP, 'Direction' as Uplink, 'Source port number' as 0, 'Destination port number' as 8011, 'Traffic stream ID' as 8, 'Mean data rate' as 100 KB/sec, 'Nominal packet size' as 1460 bytes, 'Delay bound' as 0 us, and 'Maximum service interval' as 20 ms. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

**Figura. 6. 24. Configuración en el *host* con ID 7**

Hay que notar que cada conexión TCP y UDP usa distinto número de puerto para obtener una correcta simulación.

En cuanto a los parámetros del *TSPEC*, los valores de *Nominal Packet Size* son 1024 bytes para *ttcp -u* y 1460 bytes para *stcp*, y el *Maximum Service interval* es 20 ms. Estos valores son usados de acuerdo a la referencia “IEEE Std 802.11e-2005”.

### 6.2.2 Análisis de Resultados

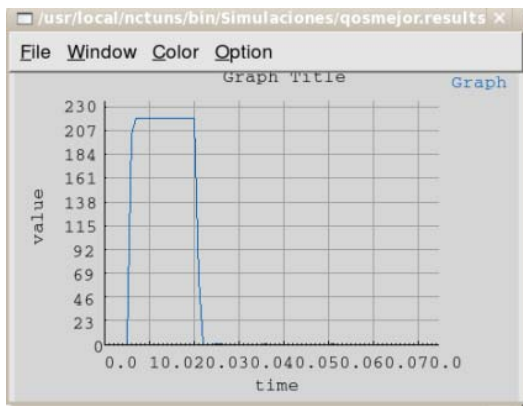


Figura. 6. 25. *Throughput* (KB/seg) en el nodo con ID 3

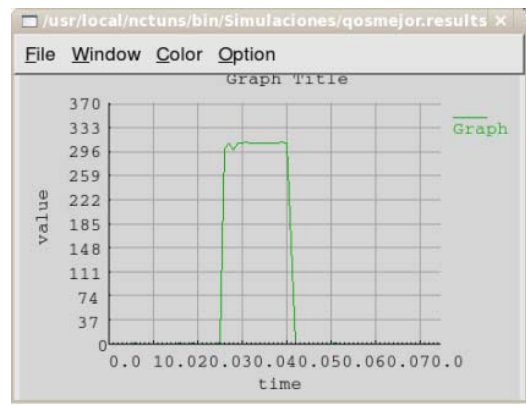


Figura. 6. 27. *Throughput* (KB/seg) en el nodo con ID 5

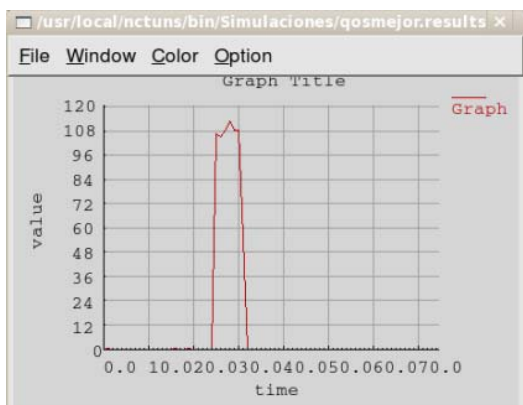


Figura. 6. 26. *Throughput* (KB/seg) en el nodo con ID 4

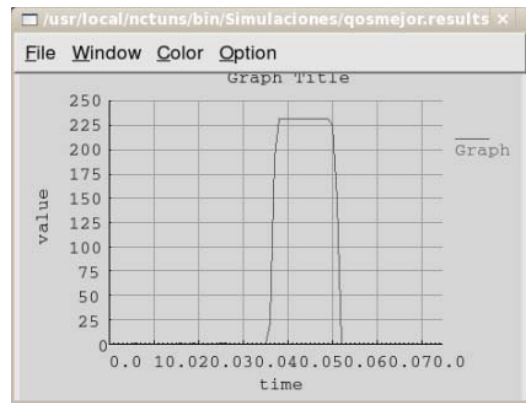


Figura. 6. 28. *Throughput* (KB/seg) en el nodo con ID 6

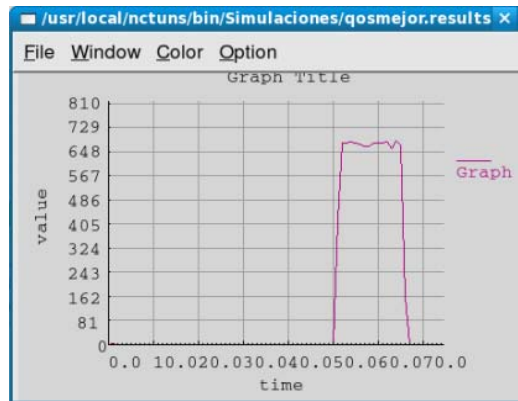


Figura. 6. 29. *Throughput* (KB/seg) en el nodo con ID 7

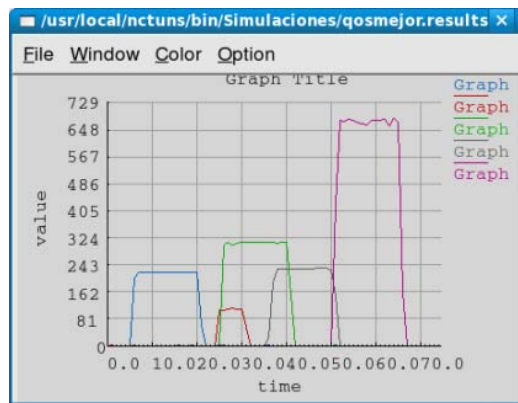


Figura. 6. 30. Comparación entre *hosts*

Como se observa en la figuras 6.25, 6.26, 6.27, 6.28, 6.29 y 6.30 cada *host* inalámbrico de cada familia, pudo usar el ancho de banda requerido durante el tiempo establecido sin ninguna interrupción, es decir, se cumplió el objetivo de priorizar el ancho de banda mediante el uso de la norma IEEE 802.11e.

## 6.3 REDES WIMAX

### 6.3.1 Configuración de la simulación

Primero se inserta los dispositivos necesarios con sus respectivos enlaces para diseñar la red Wimax PMP como se muestra en la figura 6.31. Después se selecciona la estación base PMP y los *SS gateway* PMP para formar la subred.

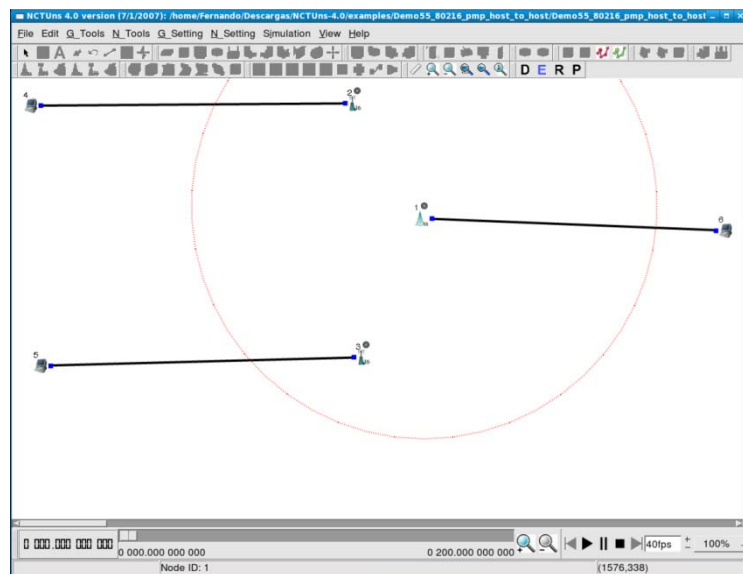


Figura. 6. 31. Red Wimax PMP

En el enlace entre el *host* con ID 4 y el *SS gateway* PMP con ID 2, ingresamos 10000 (us) en el campo de *Delay* en ambas direcciones, como se muestra en la figura 6.32.

Figura. 6. 32. Enlace entre el *host* con ID 4 y el *SS gateway* PMP con ID 2

Luego se ingresa en la estación base PMP para especificar la tasa sostenida en Kbps asignados a cada nodo SS PMP, como se muestra en la figura 6.33.

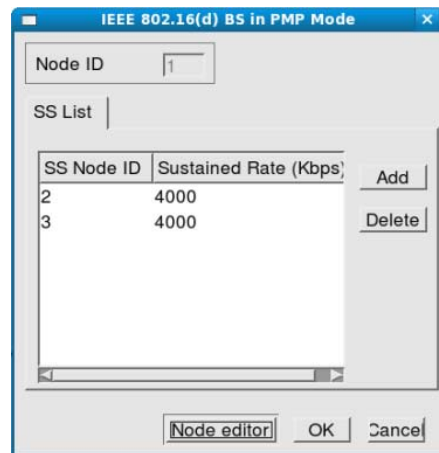


Figura. 6. 33. Tasas sostenidas en la estación base

Después se configura el tráfico de red de la siguiente manera:

Conexión 1:

- *Host* transmisor (ID 4): “stg -t 20 -p 1111 1.0.1.2”
- *Host* receptor (ID 6): “rtg -t -w log1 -p 1111”

Conexión 2:

- *Host* transmisor (ID 4): “stg -t 30 -p 2222 1.0.3.2”
- *Host* receptor (ID 5): “rtg -t -w log2 -p 2222”

Es importante mencionar que la conexión 1 inicia a los 22 segundos y termina a los 40 segundos, mientras que la conexión 2 inicia a los 52 segundos y termina a los 80 segundos. Con los programas de aplicación para generar tráfico que se mencionaron antes, se generó tráfico TCP, y archivos *log1* y *log2* para visualizar el *throughput* en cada segundo simulado.

### 6.3.2 Análisis de resultados

Antes de ejecutar la simulación se habilitarán la opciones *Log Packet Statistics* y *Throughput (KB/sec) of Outgoing Packets* en el *host* transmisor (ID 4) y *Log Packet Statistics* y *Throughput (KB/sec) of Incoming Packets* en los *hosts* receptores de ambas conexiones en el modulo *MAC8023* en la pila de protocolo del editor de nodo correspondiente.

Se uso el comando **Menu** → **G\_Tools** → **Plot Graph**, para visualizar el *throughput* de la red, como se muestran en las figuras 6.34, 6.35 y 6.36.

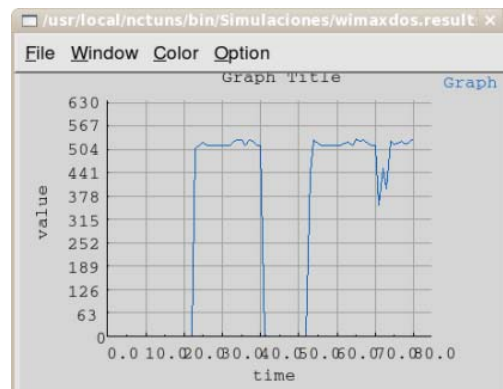


Figura. 6. 34. *Throughput* (KB/seg) en el *host* transmisor con ID 4

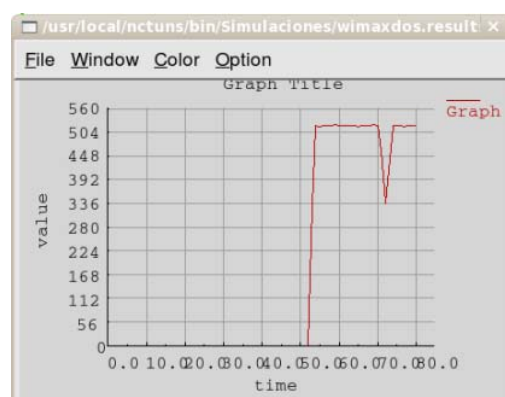


Figura. 6. 35. *Throughput* (KB/seg) en el *host* receptor con ID 6

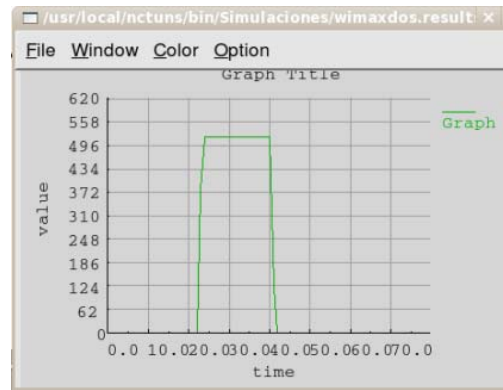


Figura. 6. 36. *Throughput* (KB/seg) en el *host receptor* con ID 7

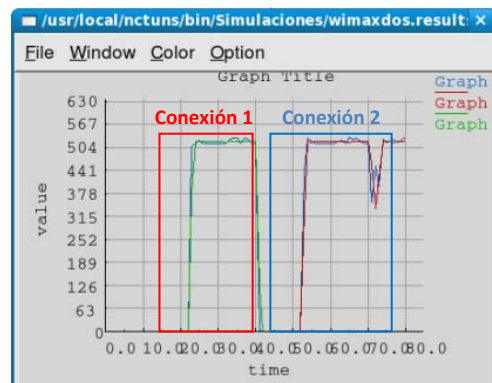


Figura. 6. 37. Comparación entre la transmisión y recepción

Como se observa en la figura 6.37 en la conexión 1 tenemos un valor medio de *throughput* de 504 KB/seg, y en la conexión 2 tenemos un valor medio de *throughput* de 504 KB/seg. Estos valores coinciden con la tasa sostenida que se ingreso en la estación base PMP para cada uno de los nodos SS PMP.

El tráfico de la red también puede ser observada en los archivos *log1* y *log2*. Como se muestra en las figuras 6.38 y 6.39.



The screenshot shows a terminal window titled 'Fernando@cpe-0016ec7bdca6:/usr/local/nctuns/bin/Simulaciones/wimax'. The window displays a list of network performance metrics for a simulation. The data is as follows:

| Line | Value 1    | Unit 1    | Value 2  | Unit 2   |
|------|------------|-----------|----------|----------|
| 23   | 359.616000 | Kbyte/sec | 2.809500 | Mbit/sec |
| 24   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 25   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 26   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 27   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 28   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 29   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 30   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 31   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 32   | 494.416000 | Kbyte/sec | 3.862625 | Mbit/sec |
| 33   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 34   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 35   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 36   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 37   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 38   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 39   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 40   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |

At the bottom of the terminal, it shows 'Log1\* 18L, 972C', '1,1', and 'Todo'.

Figura. 6. 38. Archivo Log1

The screenshot shows a terminal window titled 'Fernando@cpe-0016ec7bdca6:/usr/local/nctuns/bin/Simulaciones/wimaxd'. The window displays a list of network performance metrics for a simulation. The data is as follows:

| Line | Value 1    | Unit 1    | Value 2  | Unit 2   |
|------|------------|-----------|----------|----------|
| 53   | 313.200000 | Kbyte/sec | 2.447500 | Mbit/sec |
| 54   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 55   | 492.968000 | Kbyte/sec | 3.851313 | Mbit/sec |
| 56   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 57   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 58   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 59   | 497.312000 | Kbyte/sec | 3.885250 | Mbit/sec |
| 60   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 61   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 62   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 63   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 64   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 65   | 492.968000 | Kbyte/sec | 3.851313 | Mbit/sec |
| 66   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 67   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 68   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 69   | 497.312000 | Kbyte/sec | 3.885250 | Mbit/sec |
| 70   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 71   | 437.944000 | Kbyte/sec | 3.421438 | Mbit/sec |
| 72   | 320.008000 | Kbyte/sec | 2.500062 | Mbit/sec |
| 73   | 397.976000 | Kbyte/sec | 3.109187 | Mbit/sec |
| 74   | 495.424000 | Kbyte/sec | 3.870500 | Mbit/sec |
| 75   | 495.944000 | Kbyte/sec | 3.874563 | Mbit/sec |
| 76   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 77   | 492.968000 | Kbyte/sec | 3.851313 | Mbit/sec |
| 78   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 79   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |
| 80   | 495.864000 | Kbyte/sec | 3.873937 | Mbit/sec |

At the bottom of the terminal, it shows '1,1' and 'Todo'.

Figura. 6. 39. Archivo Log2

A continuación se analizará que tipos de paquetes se enviaron durante el flujo de tráfico para la cual usamos el comando **Menu** → **G\_Tools** → **View Packet Trace** y se abrirá una ventana para elegir el archivo .ptr correspondiente. En este archivo se puede visualizar la siguiente información (esta información varía dependiendo de la tecnología que se usa):

- Columna 1: Protocolo
- Columna 2: Tipo de evento → Tx (Transmisión), Rx (Recepción)
- Columna 3: Tiempo en el cual el evento inicio. Unidad: tick
- Columna 4: Duración de este evento. Unidad: tick
- Columna 5: Tipo de paquete

- Columna 6: IDs del nodo origen/destino basadas en las direcciones IP
- Columna 7: IDs del nodo transmisor/receptor basadas en las direcciones MAC
- Columna 8: IDs de paquetes
- Columna 9: Longitud de ráfaga. Unidad: bit
- Columna 10: Cuenta de retransmisiones sucesivas.
- Columna 11: Razón de descarte de paquetes
- Columna 12: Canal de frecuencia (protocolo GPRS)

Para una mayor información sobre los campos de este archivo, el usuario puede usar el comando **Menu → G\_Tools → Show Packet Trace Format**.

Este archivo .ptr se muestra en las figuras 6.40 y 6.41.

```

more
802.3 TX 237403385 12557 DATA <4 6> <4 2> 10742 1518 0 NONE
802.3 RX 237403385 572 DATA <4 6> <2 4> 10720 70 0 NONE
802.16 TX 237413186 6804 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <2 1> 0 6912 0 NONE 0
802.16 RX 237413196 6802 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <2 1> 0 6912 0 NONE 0
802.3 TX 237415942 12169 DATA <4 6> <4 2> 10743 1518 0 NONE
802.3 TX 237419997 12532 DATA <4 6> <1 6> 10785 1518 0 NONE
802.3 RX 237419997 12354 DATA <4 6> <1 6> 10728 1518 0 NONE
802.3 TX 237428111 12776 DATA <4 6> <4 2> 10744 1518 0 NONE
802.3 TX 237432351 600 DATA <6 4> <6 1> 10788 70 0 NONE
802.3 RX 237432351 13142 DATA <4 6> <1 6> 10729 1518 0 NONE
802.3 TX 237432529 12207 DATA <4 6> <1 6> 10786 1518 0 NONE
802.3 TX 237440887 12817 DATA <4 6> <4 2> 10745 1518 0 NONE
802.3 TX 237444736 12738 DATA <4 6> <1 6> 10787 1518 0 NONE
802.3 RX 237444978 560 DATA <6 4> <6 1> 10732 70 0 NONE
802.3 RX 237445493 13187 DATA <4 6> <1 6> 10730 1518 0 NONE
802.3 TX 237453704 12146 DATA <4 6> <4 2> 10746 1518 0 NONE
802.3 TX 237456880 589 DATA <6 4> <6 1> 10790 70 0 NONE
802.3 RX 237456880 12620 DATA <4 6> <1 6> 10731 1518 0 NONE
802.3 TX 237465950 12811 DATA <4 6> <4 2> 10747 1518 0 NONE
802.3 TX 237478661 12631 DATA <4 6> <4 2> 10748 1518 0 NONE
802.3 TX 237491292 12971 DATA <4 6> <4 2> 10749 1518 0 NONE
802.16 BTX 237500000 1805 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 0> 0 312 0 NONE 0
802.16 RX 237500287 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 15 0 NONE 0
802.16 RX 237500288 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 15 0 NONE 0
802.3 TX 237502091 609 DATA <6 4> <2 4> 10794 70 0 NONE
802.16 TX 237502091 3332 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 2> 0 143 0 NONE 0
802.16 RX 237502092 3332 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 2> 0 143 0 NONE 0
802.3 RX 237502785 569 DATA <6 4> <2 4> 10739 70 0 NONE
802.3 RX 237503354 576 DATA <6 4> <2 4> 10740 70 0 NONE
802.3 RX 237503385 12557 DATA <4 6> <4 2> 10742 1518 0 NONE
802.3 TX 237504263 12696 DATA <4 6> <4 2> 10750 1518 0 NONE
802.16 TX 237512432 6804 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <2 1> 0 6912 0 NONE 0
802.16 RX 237512501 6802 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <2 1> 0 6912 0 NONE 0
802.3 RX 237515942 12169 DATA <4 6> <4 2> 10743 1518 0 NONE
802.3 TX 237516958 12580 DATA <4 6> <4 2> 10751 1518 0 NONE
802.3 TX 237519303 13152 DATA <4 6> <1 6> 10803 1518 0 NONE
802.3 RX 237519997 12532 DATA <4 6> <1 6> 10785 1518 0 NONE
802.3 TX 237528111 12776 DATA <4 6> <4 2> 10744 1518 0 NONE
802.3 TX 237529538 12689 DATA <4 6> <4 2> 10752 1518 0 NONE
802.3 RX 237532351 600 DATA <6 4> <6 1> 10788 70 0 NONE
802.3 TX 237532455 12630 DATA <4 6> <1 6> 10804 1518 0 NONE
802.3 TX 237532529 608 DATA <6 4> <6 1> 10808 70 0 NONE
802.3 RX 237532529 12207 DATA <4 6> <1 6> 10786 1518 0 NONE
802.3 RX 237540887 12817 DATA <4 6> <4 2> 10745 1518 0 NONE
802.3 TX 237542227 12943 DATA <4 6> <4 2> 10753 1518 0 NONE
802.3 RX 237544736 12738 DATA <4 6> <1 6> 10787 1518 0 NONE
802.3 TX 237545688 12639 DATA <4 6> <1 6> 10805 1518 0 NONE
802.3 RX 237553704 12146 DATA <4 6> <4 2> 10746 1518 0 NONE
802.3 TX 237555170 12230 DATA <4 6> <4 2> 10754 1518 0 NONE
802.3 TX 237557474 585 DATA <6 4> <6 1> 10812 70 0 NONE
802.3 TX 237557774 13214 DATA <4 6> <6 1> 10806 1518 0 NONE
802.3 RX 237558880 589 DATA <6 4> <6 1> 10790 70 0 NONE
802.3 RX 237565950 12811 DATA <4 6> <4 2> 10747 1518 0 NONE
802.3 TX 237567400 13002 DATA <4 6> <4 2> 10755 1518 0 NONE
802.3 RX 237578661 12631 DATA <4 6> <4 2> 10748 1518 0 NONE
802.3 TX 237580402 12185 DATA <4 6> <4 2> 10756 1518 0 NONE
802.3 RX 237591292 12971 DATA <4 6> <4 2> 10749 1518 0 NONE
802.3 TX 237592587 13150 DATA <4 6> <4 2> 10757 1518 0 NONE
802.16 BTX 237600000 2499 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 0> 0 432 0 NONE 0
802.16 RX 237600287 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 20 0 NONE 0
802.16 RX 237600288 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 20 0 NONE 0
802.3 TX 237602091 609 DATA <6 4> <2 4> 10794 70 0 NONE
802.3 TX 237602785 578 DATA <6 4> <2 4> 10821 70 0 NONE
802.16 RX 237602785 3332 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 2> 0 203 0 NONE 0
802.16 RX 237602786 3332 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 2> 0 203 0 NONE 0
    
```

Figura. 6. 40. Flujo de tráfico durante la conexión 1

```

more
802.3 TX 530755733 13210 DATA <4 5> <4 2> 59805 1518 0 NONE
802.3 RX 530767704 588 DATA <5 4> <5 3> 59791 70 0 NONE
802.3 RX 530768317 12498 DATA <4 5> <3 5> 59784 1518 0 NONE
802.3 TX 530768943 12649 DATA <4 5> <4 2> 59806 1518 0 NONE
802.3 TX 530771946 586 DATA <5 4> <2 4> 59842 70 0 NONE
802.16 RX 530771946 3332 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 2> 0 6179 0 NONE 0
802.3 TX 530771946 12764 DATA <4 5> <3 5> 59848 1518 0 NONE
802.16 RX 530771946 3332 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 2> 0 6179 0 NONE 0
802.16 TX 530775542 416 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <3 1> 0 288 0 NONE 0
802.16 RX 530775542 414 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <3 1> 0 288 0 NONE 0
802.3 TX 530780815 577 DATA <5 4> <5 3> 59860 70 0 NONE
802.3 RX 530780815 12254 DATA <4 5> <3 5> 59855 1518 0 NONE
802.3 TX 530781592 13200 DATA <4 5> <4 2> 59807 1518 0 NONE
802.16 TX 530782346 6804 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <2 1> 0 6912 0 NONE 0
802.16 RX 530782395 6802 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <2 1> 0 6912 0 NONE 0
802.3 TX 530784710 12888 DATA <4 5> <3 5> 59849 1518 0 NONE
802.3 RX 530793493 563 DATA <5 4> <5 3> 59802 70 0 NONE
802.3 TX 530794792 2343 DATA <4 5> <4 2> 59808 286 0 NONE
802.3 TX 530800287 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 403 0 NONE 0
802.3 TX 530797598 13201 DATA <4 5> <3 5> 59850 1518 0 NONE
802.16 BTX 530800000 5688 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 0> 0 9624 0 NONE 0
802.16 RX 530800287 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 403 0 NONE 0
802.16 RX 530800288 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 403 0 NONE 0
802.3 TX 530809487 12348 DATA <4 5> <4 2> 59810 1518 0 NONE
802.3 TX 530810799 12409 DATA <4 5> <3 5> 59851 1518 0 NONE
802.3 TX 530821835 12788 DATA <4 5> <4 2> 59811 1518 0 NONE
802.3 TX 530834623 12862 DATA <4 5> <4 2> 59812 1518 0 NONE
802.3 TX 530847485 12257 DATA <4 5> <4 2> 59813 1518 0 NONE
802.3 RX 530855733 13210 DATA <4 5> <4 2> 59805 1518 0 NONE
802.3 TX 530855975 572 DATA <5 4> <2 4> 59875 70 0 NONE
802.16 RX 530855975 3332 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 2> 0 4799 0 NONE 0
802.3 TX 530859376 12498 DATA <4 5> <3 5> 59862 1518 0 NONE
802.16 RX 530859376 3332 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 2> 0 4799 0 NONE 0
802.3 TX 530856547 586 DATA <5 4> <2 4> 59876 70 0 NONE
802.3 TX 530857133 590 DATA <5 4> <2 4> 59877 70 0 NONE
802.16 TX 530859571 277 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <3 1> 0 144 0 NONE 0
802.16 RX 530859581 275 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <3 1> 0 144 0 NONE 0
802.3 TX 530859742 12399 DATA <4 5> <4 2> 59814 1518 0 NONE
802.16 TX 530866375 6804 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <2 1> 0 6912 0 NONE 0
802.16 RX 530866384 6802 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <2 1> 0 6912 0 NONE 0
802.3 TX 530868474 13288 DATA <4 5> <3 5> 59833 1518 0 NONE
802.3 RX 530868943 12649 DATA <4 5> <4 2> 59806 1518 0 NONE
802.3 RX 530871946 586 DATA <5 4> <2 4> 59842 70 0 NONE
802.3 RX 530871946 12764 DATA <4 5> <3 5> 59848 1518 0 NONE
802.3 TX 530872141 12622 DATA <4 5> <4 2> 59815 1518 0 NONE
802.3 RX 530880815 577 DATA <5 4> <5 3> 59860 70 0 NONE
802.3 TX 530881592 13200 DATA <4 5> <4 2> 59807 1518 0 NONE
802.3 TX 530881762 13042 DATA <4 5> <3 5> 59894 1518 0 NONE
802.3 TX 530884710 604 DATA <5 4> <5 3> 59905 70 0 NONE
802.3 RX 530884710 12888 DATA <4 5> <3 5> 59849 1518 0 NONE
802.3 TX 530884763 12728 DATA <4 5> <4 2> 59816 1518 0 NONE
802.3 RX 530894792 2343 DATA <4 5> <4 2> 59808 286 0 NONE
802.3 RX 530897135 12252 DATA <4 5> <4 2> 59809 1518 0 NONE
802.3 TX 530897491 12543 DATA <4 5> <4 2> 59817 1518 0 NONE
802.3 RX 530897598 13201 DATA <4 5> <3 5> 59850 1518 0 NONE
802.16 BTX 530900000 71659 WIMAX_PMP_UBURST <0 0> <1 0> 0 12384 0 NONE 0
802.16 RX 530900287 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 518 0 NONE 0
802.16 RX 530900288 138 WIMAX_PMP_DLFP <0 0> <1 2> 0 518 0 NONE 0
802.3 TX 530909487 12348 DATA <4 5> <4 2> 59810 1518 0 NONE
802.3 TX 530910034 12507 DATA <4 5> <4 2> 59810 1518 0 NONE
802.3 TX 530910799 12409 DATA <4 5> <3 5> 59851 1518 0 NONE
802.3 TX 530910799 571 DATA <5 4> <5 3> 59910 70 0 NONE
802.3 RX 530921835 12788 DATA <4 5> <4 2> 59811 1518 0 NONE
802.3 TX 530922541 13065 DATA <4 5> <4 2> 59819 1518 0 NONE
802.3 RX 530934623 12862 DATA <4 5> <4 2> 59812 1518 0 NONE
    
```

Figura. 6. 41. Flujo de tráfico durante la conexión 2

Las dos figuras anteriores corresponden a los flujos de tráfico de las conexiones 1 y 2 en un periodo de tiempo. Como se observó existen los siguientes tipos de paquetes:

- DATA (802.3)
- WIMAX\_PMP\_UBURST (802.16)
- WIMAX\_PMP\_DLFP (802.16)

Estos paquetes pueden ser visualizados en la red al ubicarse en el tiempo en el cual inicia este evento, por ejemplo si en la columna 3 tenemos el número 237602786, y después se ingresa este número en el reloj de la simulación, se podrá observar este paquete en la pantalla.

## 6.4 REDES AD HOC

En esta simulación se estudio y comparo el rendimiento de los protocolos de enrutamiento AOVD (*Ad Hoc On Demand Distance Vector*), DSR (*Dynamic Source Routing*) y DSVD (*Destination-Sequenced Distance Vector*) en una red inalámbrica *ad hoc* usando el simulador NCTUns 4.0.

El análisis de la simulación está basado en la variación del número de nodos en la red *ad hoc*. Ocho simulaciones para cada uno de los protocolos de enrutamiento se llevaron a cabo variando el número de nodos en múltiplos de 5. Por lo tanto se realizarán 24 simulaciones en cada métrica a considerar para el estudio del rendimiento de los tres protocolos de enrutamiento. Las simulaciones se realizarán en 70 segundos de tiempo de simulación. El DFC (*IEEE 802.11 Distributed Coordination Function*) es usado como el Protocolo de Control de Acceso al Medio (*Medium Access Control Protocol*). El modelo de movimiento aleatorio fue usado. El tráfico de la red fue UDP. La distancia entre nodos es 100m. Inicialmente los nodos fueron ubicados en lugares específicos y luego los nodos se movieron con velocidades constantes hacia nuevos lugares. Los nodos se movieron con velocidades de 5 m/seg. Para mantener equidad, se usaron idénticos escenarios de movilidad y tráfico en las diferentes simulaciones.

Con el fin de evaluar el rendimiento de los protocolos de enrutamiento de redes *ad hoc*, las siguientes métricas fueron consideradas:

- *Number of packets dropped*: El número de paquetes de datos que no son enviados satisfactoriamente al destino.
- *End-to-End Delay*: El retraso experimentado por un paquete desde que es enviado por el origen hasta que es recibido por el destino.

### 6.4.1 Configuración de la simulación

Lo primero que se debe realizar es insertar el número deseado de *hosts* móviles en el área de trabajo para lo cual usamos el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(b) Wireless Network** → **Insert 802.11(b) Mobile Nodes**, luego en el cuadro de diálogo que aparecerá,

como se muestra en la figura 6.42, se podrá configurar parámetros como el número de nodos, el espacio entre nodos, la pila de protocolos de los nodos que se insertarán.

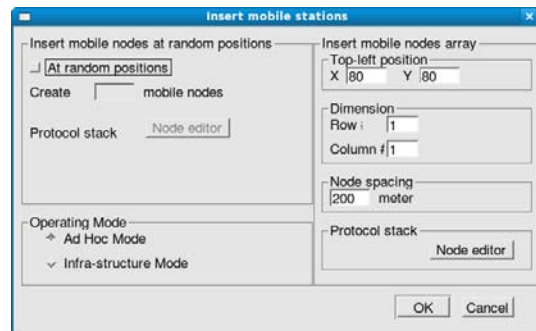


Figura. 6. 42. Insertar estaciones móviles

Como se menciona anteriormente en esta simulación se compararán tres tipos de protocolos de enrutamiento, por los que al insertar los nodos se deberá cambiar sus pilas de protocolo con el protocolo de enrutamiento a analizar, esto se lo realiza al pulsar el botón *Node editor* en el cuadro de diálogo anterior, después aparecerá la pila de protocolos de la figura 6.43 en donde se reemplazará el módulo *GOD* con el correspondiente protocolo de enrutamiento que se encuentra en la pestaña *MROUTED*.

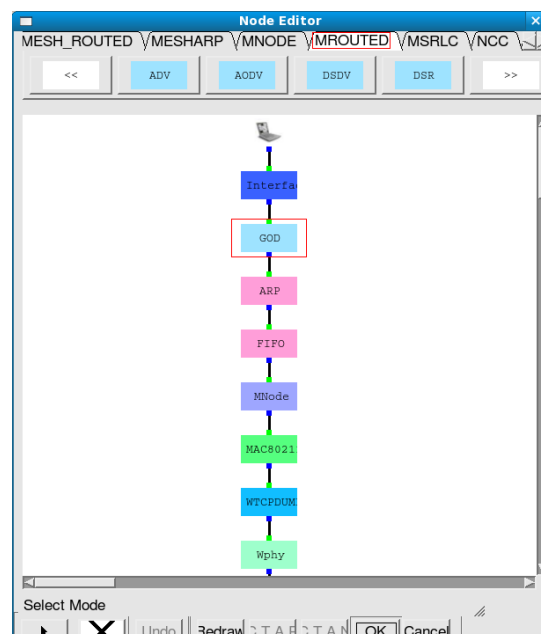


Figura. 6. 43. Reemplazo del módulo *GOD*

Después de insertar los nodos, se generarán movimientos aleatorios para cada uno de los nodos, esto se lo realiza con el comando **Menu** → **G\_Tools** → **Generate Random Wawpoints Paths for Mobile Nodes**, luego en el cuadro de diálogo que aparecerá, como se muestra en la figura 6.44, se podrá configurar la velocidad de movimiento y al pulsar el botón *Generate the next point* se generarán los movimientos aleatorios de los nodos.

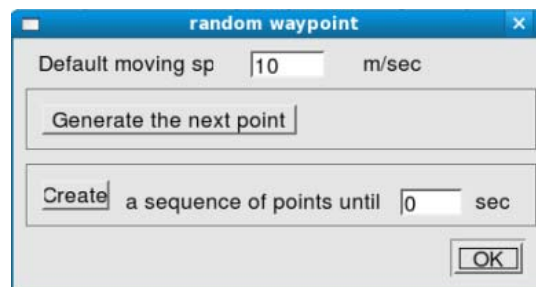


Figura. 6. 44. Generación de movimientos aleatorios

Luego para generar el tráfico que va a fluir en la red, se usarán comandos en los nodos señalados en la figura 6.45 (ejemplo).

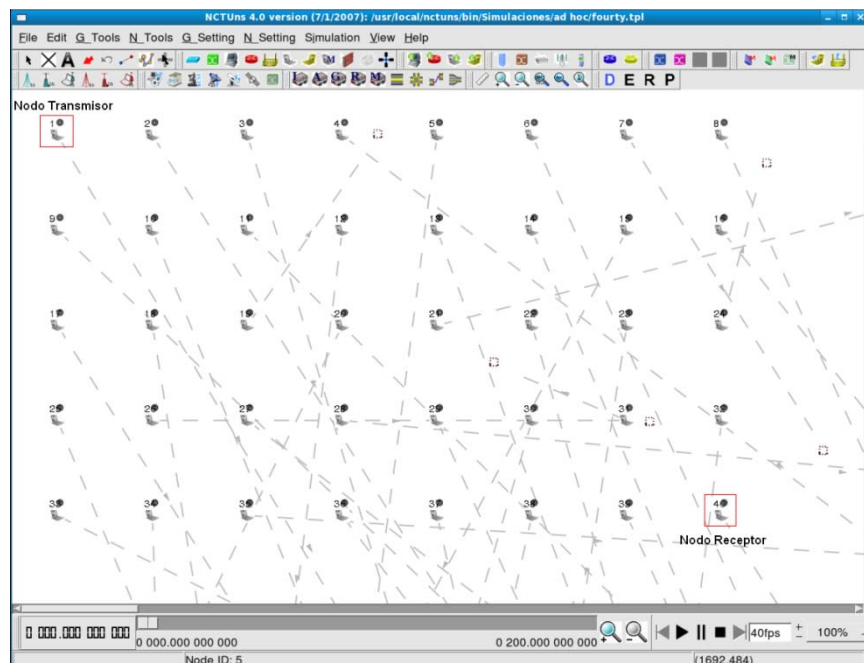


Figura. 6. 45. Nodo transmisor y nodo receptor

Los comandos son los siguientes:

Nodo Transmisor:

La figura 6.46 muestra el cuadro de diálogo del *host* transmisor.

- `stg -u 1500 70 1.0.1.40`

Uso: `stg -modes HostIPaddr del receptor`

`[-modes]` → UDP *greedy mode*:

`-u PacketDataPayLoadSize (byte) Duration(sec)`



Figura. 6. 46. Nodo transmisor

Nodo Receptor:

La figura 6.47 muestra el cuadro de diálogo del *host* receptor.

- `rtg -u -o log -w log1`

Uso: `rtg -type [-options]`

`[-type]` → `-u` conexión UDP

`[-options]` → `-o LogFilename` → graba los resultados dentro de un archivo (solamente soporta UDP)

`-w LogFilename` → reporta el *throughput* por segundo y lo guarda en un archivo



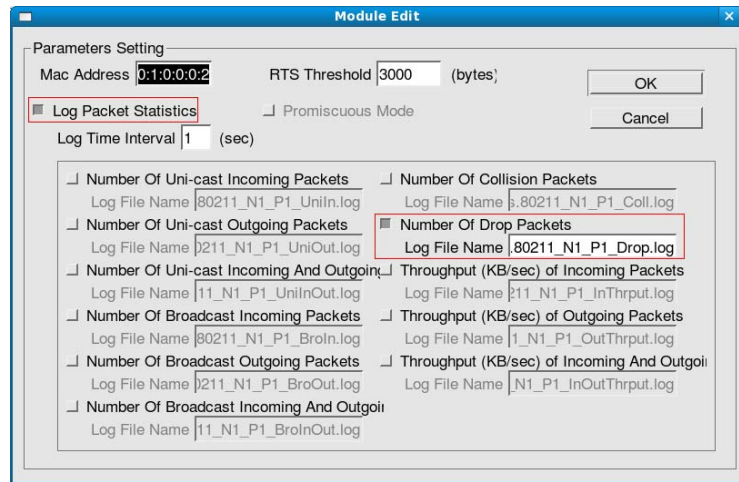
**Figura. 6. 47. Nodo receptor**

En cuanto a los comandos, el tiempo de inicio del rtg debe ser más temprano que el del stg para que funcione correctamente la simulación.

#### **6.4.2 Resultados del rendimiento del AODV, DSR Y DSDV**

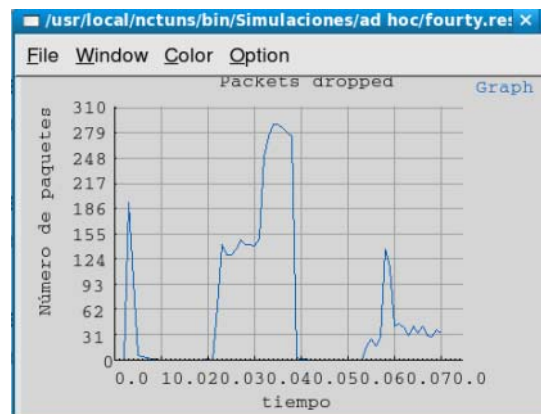
Para realizar el análisis del rendimiento de los protocolos de enrutamiento, se realizó el estudio de las gráficas “*Number of Drop Packets*” en cada simulación, y se obtuvo un valor promedio el cual será graficado para la comparación. Para poder visualizar estas gráficas se tiene que habilitar en el módulo “80211” de la pila de protocolo del nodo correspondiente la opción “*Log Packet Statistics*” y después “*Number Of Drop Packets*” como se muestra en la figura 6.48.





**Figura. 6. 48. Habilitación del *Log Packet Statistics***

Un ejemplo de la gráfica “*Number of Drop Packets*” se muestra en la figura 6.49.



**Figura. 6. 49. Número de paquetes descartados**

De la misma manera se realizó el estudio del archivo *log*, *log1* en cada una de las simulaciones, y se obtuvo un valor promedio el cual será graficado para la comparación. Un ejemplo de estos archivos se muestra en las figuras 6.50 y 6.51.

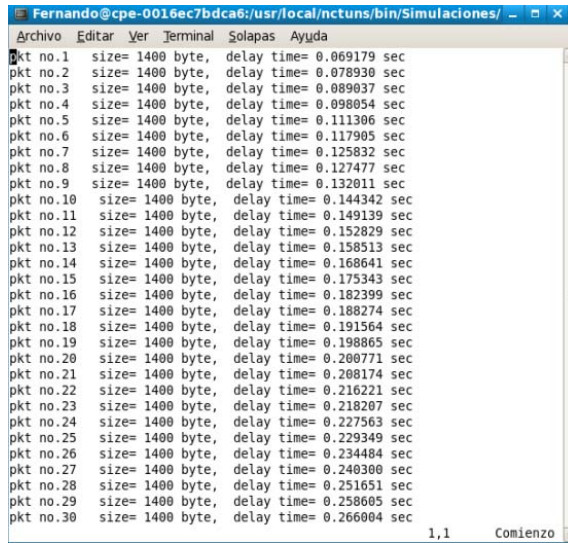


Figura. 6. 50. Archivo Log

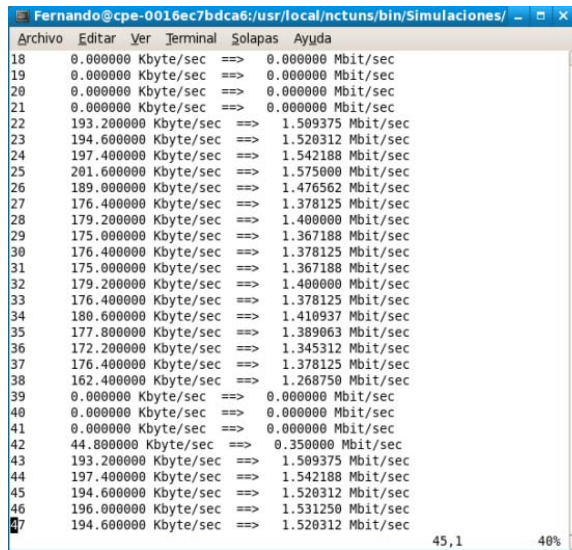
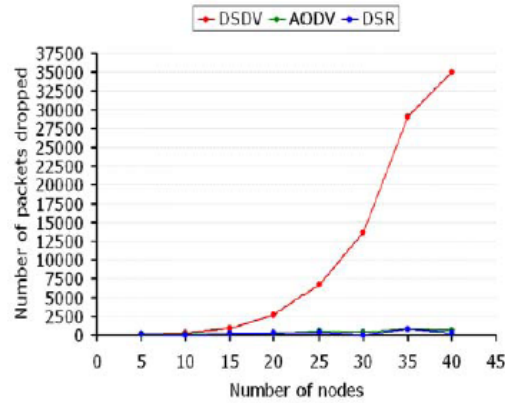


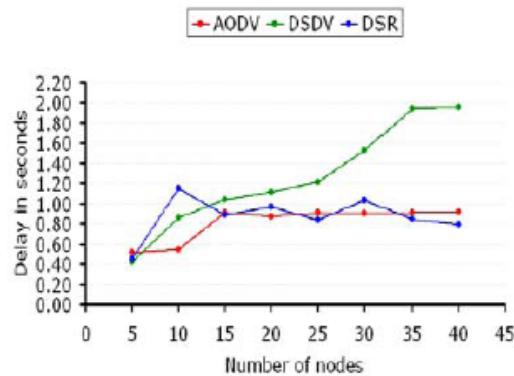
Figura. 6. 51. Archivo Log1

Los gráficos mostrados a continuación muestran el rendimiento del protocolo de enrutamiento con respecto a diferentes métricas que se consideraron anteriormente. El eje X muestra el número de nodos y el eje Y muestra la métrica considerada.



**Figura. 6. 52. Comparación del rendimiento de protocolos en términos de *dropped packets***

En términos de *dropped packets* (figura 6.52), el rendimiento del DSDV es el peor. El rendimiento decae con el incremento del número de nodos. El rendimiento del AODV y DSR es constantemente bueno con el incremento del número de nodos.



**Figura. 6. 53. Comparación del rendimiento de protocolos en términos de *End-to-End Delay***

En términos de *End-to-End Delay* (figura 6.53), los rendimientos del DSR y AODV son casi uniformes. Sin embargo, el rendimiento del DSDV se degrada debido al incremento del número de nodos, la carga de intercambio de las tablas de enrutamiento aumenta y la frecuencia de intercambio también incrementa debido a la movilidad de los nodos.

## 6.5 REDES OBS

En esta simulación se analizó la tasa de pérdidas de las redes OBS al variar el tamaño de ráfaga.

### 6.5.1 Configuración de la simulación

Para la simulación vamos a requerir un gráfico de fondo para realizar una ubicación adecuada de los *switches*. El gráfico debe ser un archivo .bmp para que pueda ser utilizado. Se usó comando **Menu** → **G\_Settings** → **Background Graph** para pegar el gráfico de fondo, ubicarlo en un lugar específico sobre el área de trabajo, especificar su factor de escala (si el factor de escala no es el adecuado, se puede escalar el gráfico) y establecer su brillo.

Después se insertó los correspondientes *switches* ópticos de ráfaga, *routers* y *hosts*. Cuando se insertó el primer *switch* apareció un cuadro de diálogo que pregunto cuántos canales tendrá el enlace óptico y se escogió el número que estaba por defecto que es “3”. Luego se realizó los enlaces entre los dispositivos, como también se estableció la ruta óptica entre los *routers* 18 y 16, y entre los *routers* 21 y 20 como se muestra en las figuras 6.54 y 6.55.

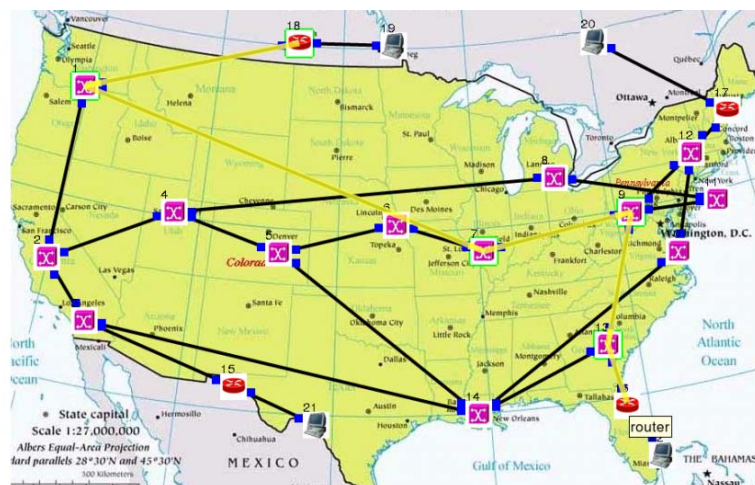


Figura. 6. 54. Ruta óptica entre los routers 18 y 16



Figura. 6. 55. Ruta óptica entre los routers 21 y 20

Una vez diseñada la topología se configuró el tráfico que atravesó la red óptica de la siguiente manera:

Conexión 1:

- Nodo Transmisor → host 19

En la figura 6.56 se muestra la configuración del nodo transmisor con ID 19.

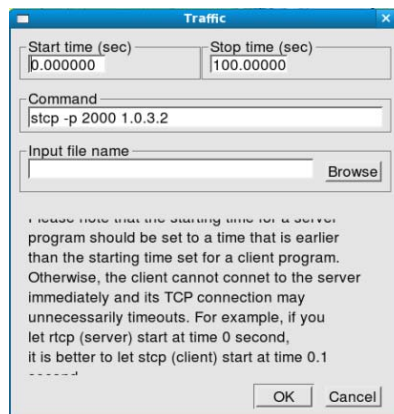


Figura. 6. 56. Configuración del nodo transmisor con ID 19

- Nodo Receptor → *host 22*

En la figura 6.57 se muestra la configuración del nodo receptor con ID 22.



Figura. 6. 57. Configuración del nodo receptor con ID 22

Conexión 2:

- Nodo Transmisor → *host 21*

En la figura 6.58 se muestra la configuración del nodo transmisor con ID 21.

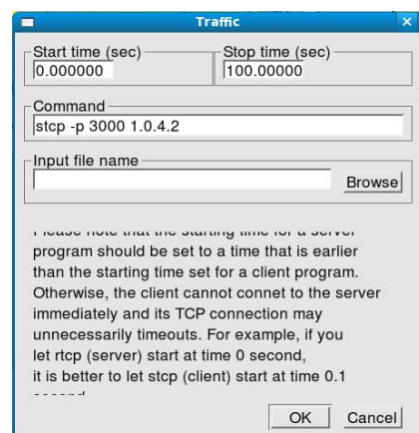


Figura. 6. 58. Configuración del nodo transmisor con ID 21

- Nodo Receptor → host 20

En la figura 6.59 se muestra la configuración del nodo receptor con ID 20.



Figura. 6. 59. Configuración del nodo receptor con ID 20

Los comandos que se usaron fueron los siguientes:

- `stp [-p port] HostIPaddr del receptor` → Nodo Transmisor
- `rtcp [-p port]` → Nodo Receptor

Como se observa en las figuras 6.60 y 6.61, el nodo19 envía tráfico tcp al nodo 22, y el nodo 21 envía tráfico al 20. Se observa el camino de los datos hasta que llegan al destino. Se ha de tener en cuenta que las rutas de las conexiones 1 y 2 se establecieron anteriormente al configurarse la ruta óptica entre los *routers* correspondientes. En el caso que no se configure la ruta óptica, esta se escogerá de manera aleatoria y va variando dependiendo de las características de la red (congestión, topología, etc). Por lo general se elige el camino más corto entre la fuente y el destino.



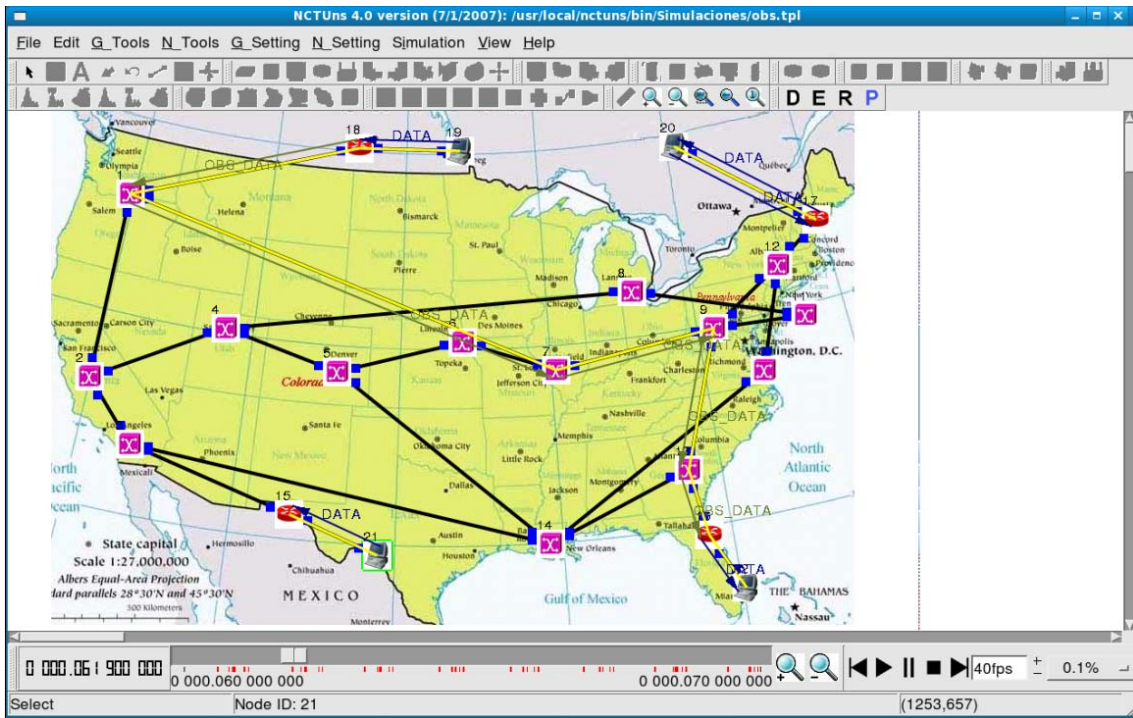


Figura. 6. 60. Flujo de tráfico en la conexión 1

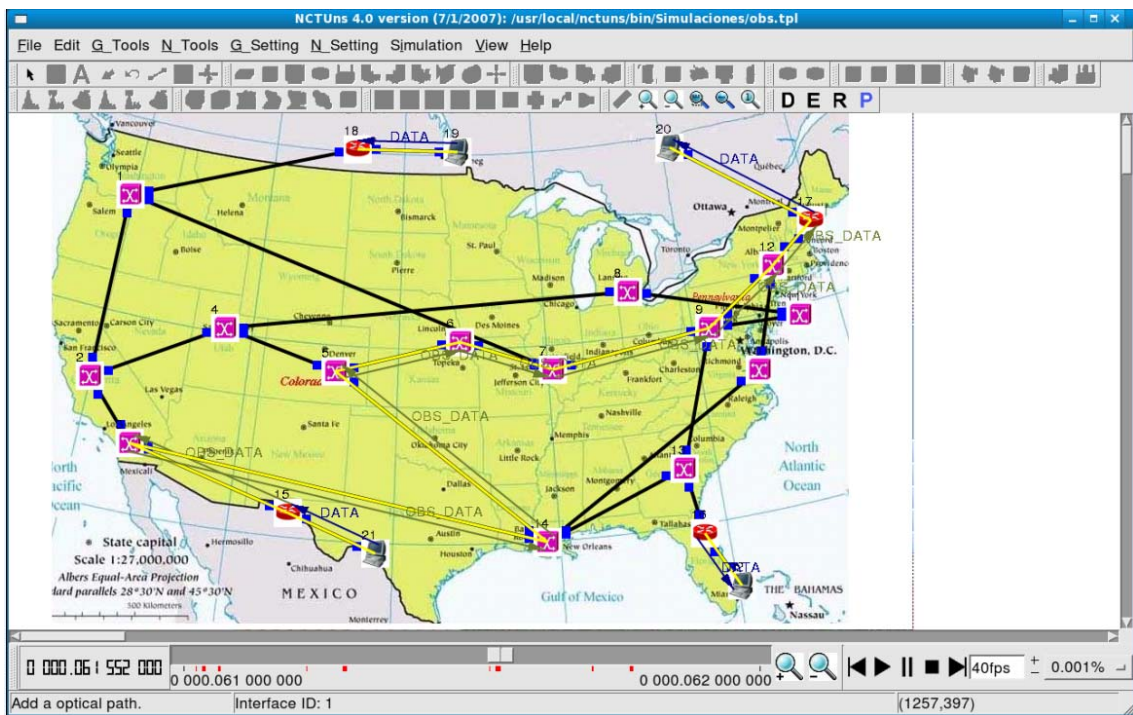


Figura. 6. 61. Flujo de tráfico en la conexión 2



## 6.5.2 Análisis de Resultados

Como se pudo observar anteriormente cuando se envió tráfico sobre la red, en el nodo 7 se produjo colisiones entre ráfagas, por lo tanto en este punto se realizará el análisis.

Para calcular las pérdidas en este tipo de redes se tendrán en cuenta tres situaciones. En la primera situación, cuando se produzca una colisión se descartará la cabecera de la ráfaga que colisiona. En la segunda, cuando se produzca una colisión, se descartará por completo la ráfaga colisionada. Y en la tercera, se descartará el final de la ráfaga original.

Estas situaciones las podemos seleccionar en el cuadro de diálogo del módulo OPT\_OBSW del editor de nodo del *switch* óptico de ráfagas, como se muestra en la figura 6.63. La figura 6.62 muestra el editor de nodo del *switch* óptico de ráfagas.

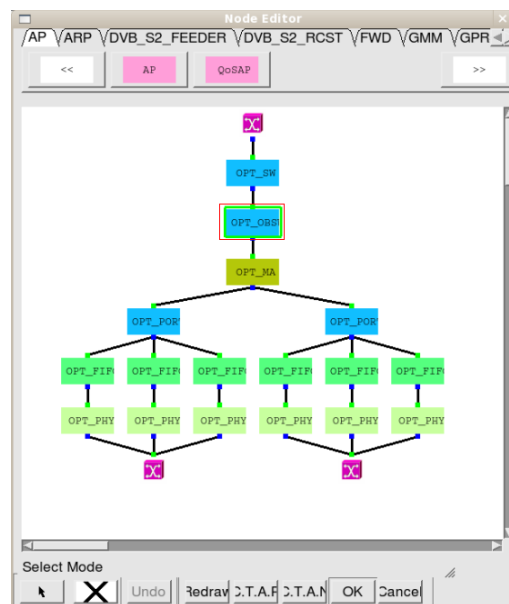


Figura. 6. 62. Pila de protocolo de un *switch* óptico de ráfagas

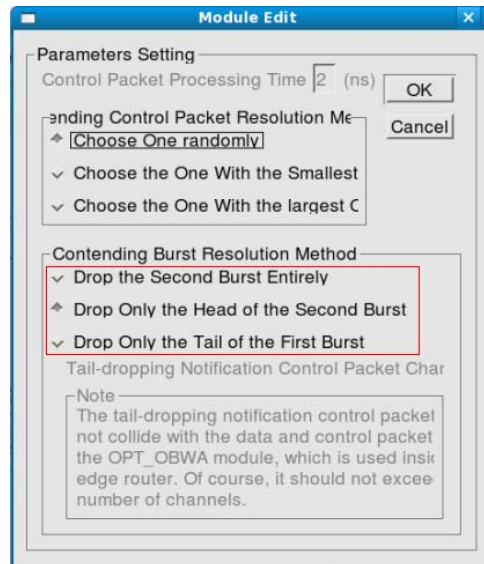


Figura. 6. 63. Cuadro de diálogo del módulo *OPT\_OBSW*

Para observar los resultados de la simulación se analizó el archivo .ptr en cada situación en el cual se puede visualizar el tráfico de la red óptica. Para abrir este archivo se usa el comando **Menu → G\_Tools → View Packet Trace**. Un ejemplo de este archivo se muestra en la figura 6.64.

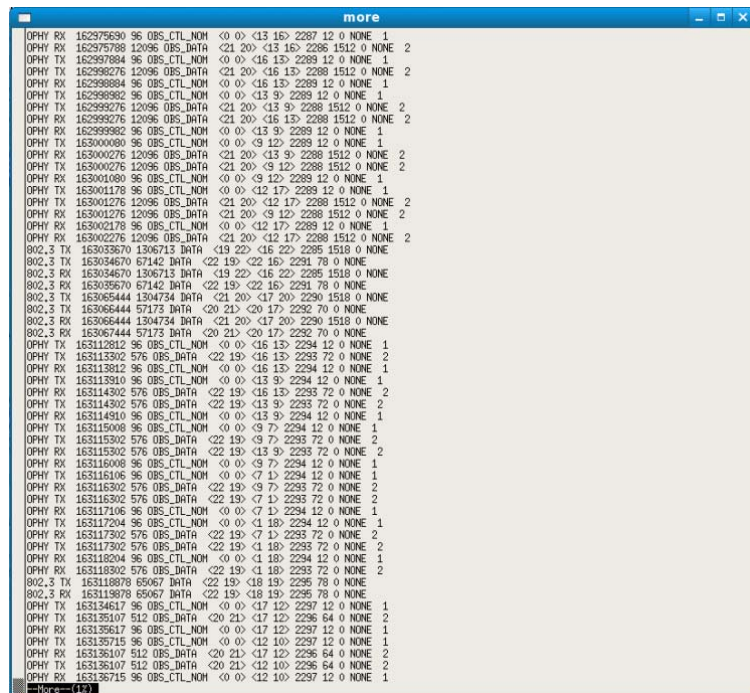
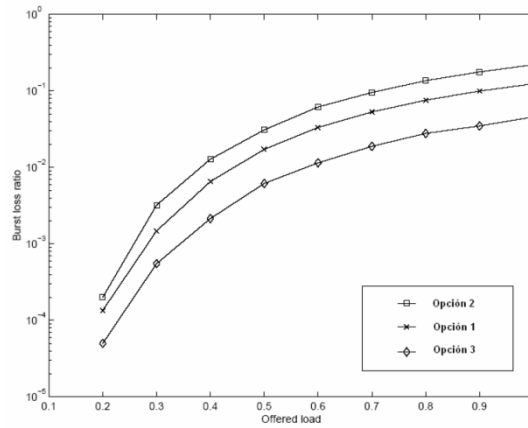


Figura. 6. 64. Archivo .ptr

Al comparar las tres situaciones como se muestra en la figura 6.65, se observa que la probabilidad más alta de pérdida se tiene cuando se escoge la opción de perder toda la ráfaga que colisiona y esto es totalmente razonable ya que es cuando se pierden más *bytes*. Respecto a las otras dos opciones son bastante parecidas.

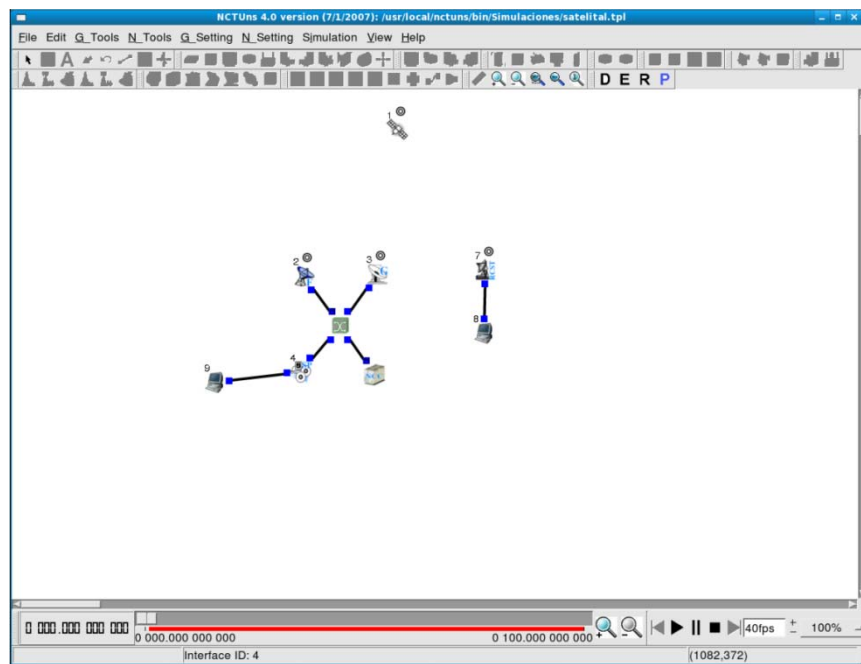


**Figura. 6. 65. Comparación de las tres situaciones**

## 6.6 REDES SATELITALES

### 6.6.1 Configuración de la simulación

Primero se inserta los dispositivos necesarios con sus respectivos enlaces para diseñar la red satelital como se muestra en la figura 6.66. Después se seleccionan los nodos *SP*, *NCC*, *RCST*, *Feeder*, *TG* y *Satellite* para formar la subred.



**Figura. 6. 66. Red Satelital**

En el *NCC* lo primero que se realizó es el agrupamiento *RCST* en la pestaña *Grouping*, aquí se selecciona el *RCST ID* “7” y se pulsa el botón *Specify Group ID* para ingresar el ID de grupo “0” y este será asignado por defecto al *Superframe ID* “0”. En el caso de tener varios *RCSTs* que necesiten usar otro canal para transmitir, estos serán agrupados en otro *Group ID* y se les asignará otro *Superframe ID*, este procedimiento se lo puede realizar al pulsar el botón *Map Group ID to Superframe ID* en esta pestaña. Cada *RCST* tiene que ser asignado a un grupo y a cada grupo se le asigna un único ID de grupo. Los *RCSTs* pertenecientes a un mismo grupo usan el mismo canal para la transmisión en el canal de retorno. A cada canal es asignado un único ID de canal (*Superframe ID*). Luego se configuró el canal de retorno de la siguiente manera, en la pestaña *Return link capacity* se

pulsó el botón *RCST Capacity Assignment* para iniciar la asignación de capacidad *RCST*, después en el cuadro de diálogo que apareció se escogió el *Superframe ID* “0” y se pulsa el botón *Set RCST capacity*, entonces en este nuevo cuadro se selecciona el *RCST ID* y se pulsa el botón *Set capacity* y finalmente en el cuadro de diálogo que aparece se configura como se muestra en la figura 6.71. Toda esta configuración se muestra en las figuras 6.67, 6.68, 6.69 y 6.70

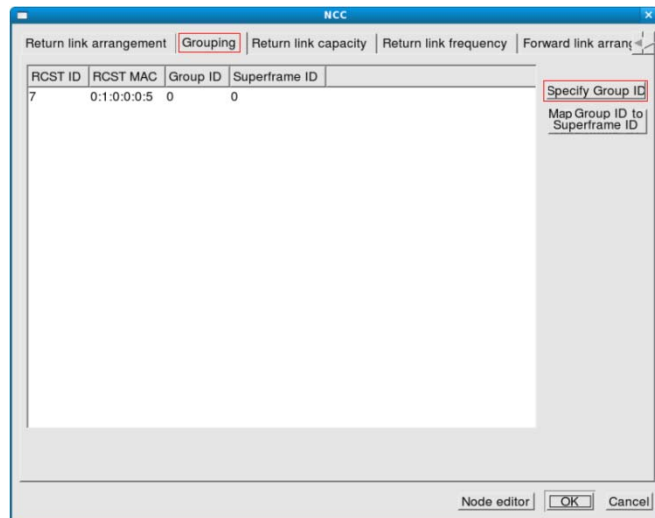


Figura. 6. 67. Cuadro de diálogo de la pestaña *Grouping* del *NCC*

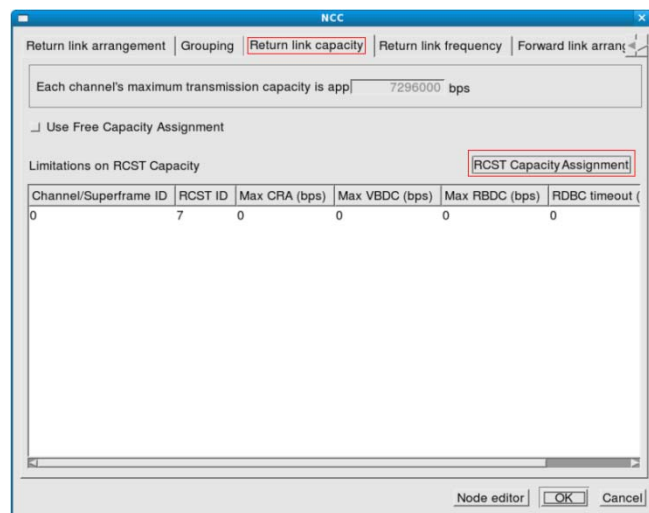


Figura. 6. 68. Cuadro de diálogo de la pestaña *Return link capacity* del *NCC*

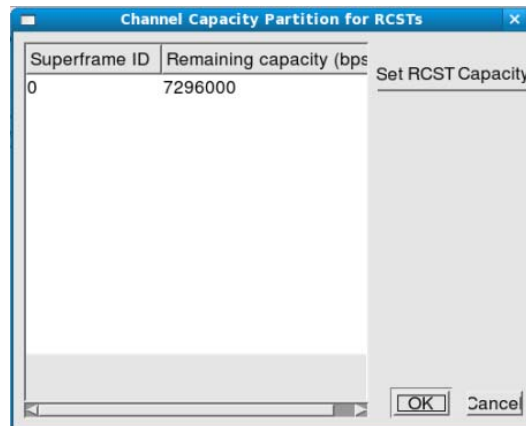


Figura. 6. 69. Capacidad restante del canal

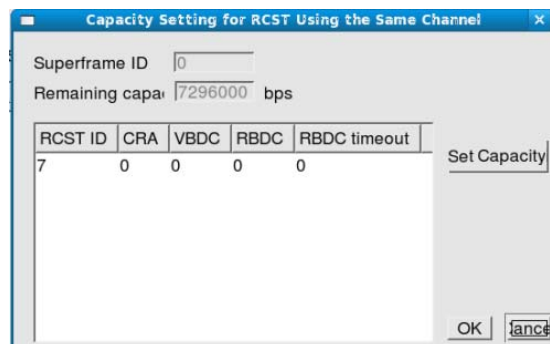


Figura. 6. 70. Capacidad asignada a cada categoría

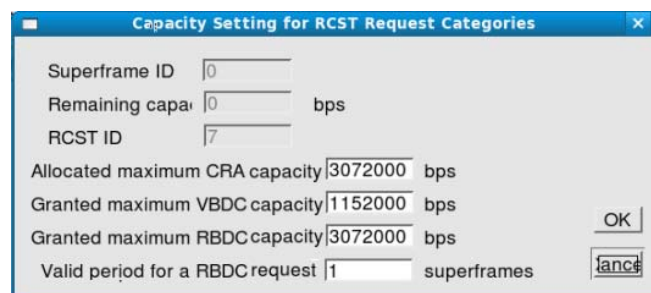


Figura. 6. 71. Asignación de capacidad para cada categoría de pedido RCST

Finalizada esta parte se procede a configurar el RCST con ID “7”, en la pestaña *RCST Bandwidth Allocation* de este nodo se puede establecer la asignación de ancho de banda RCST, aquí se pulsó el botón *Create Queue* para crear las colas de salida que son usadas en este RCST. Se crearon 4 colas con diferentes estrategias de pedido de capacidad

de cola, para realizar esto se escogió la cola deseada y se pulsó el botón *Change Priority*. La figura 6.72 muestra el cuadro de diálogo de la pestaña *RCST Bandwidth Allocation* del *RCST*. Las estrategias de cada cola se muestran en las figuras 6.73, 6.74 y 6.75.

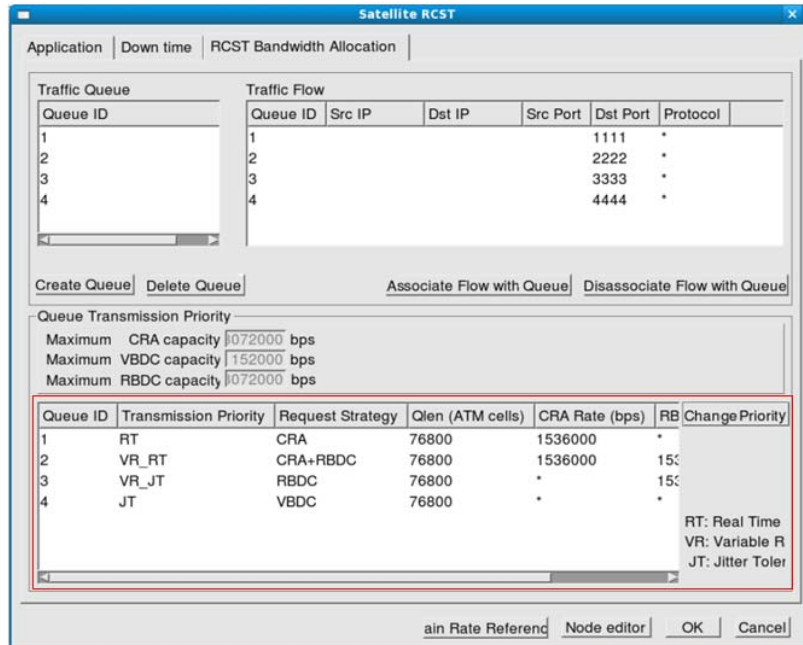


Figura. 6. 72. Asignación de ancho de banda *RCST* en el cuadro de diálogo de la pestaña *RCST Bandwidth Allocation* del *RCST*

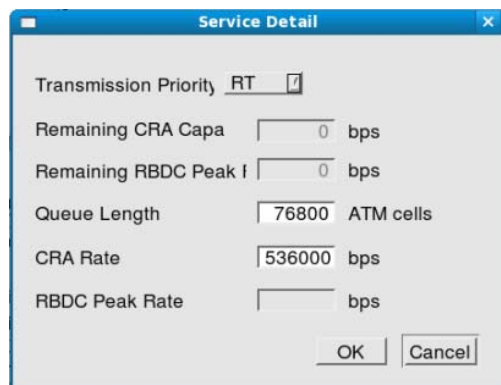
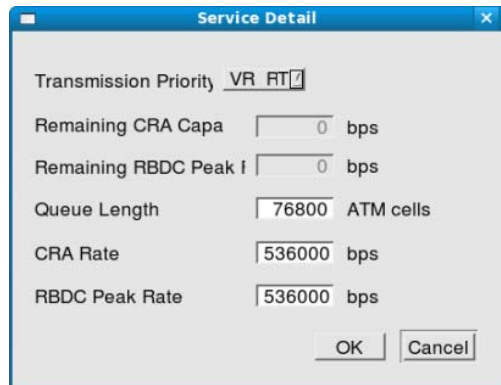
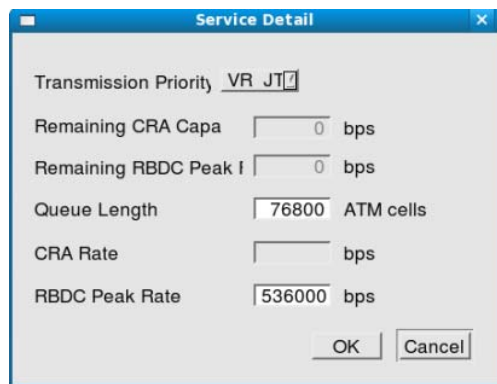


Figura. 6. 73. Prioridad de transmisión *RT*



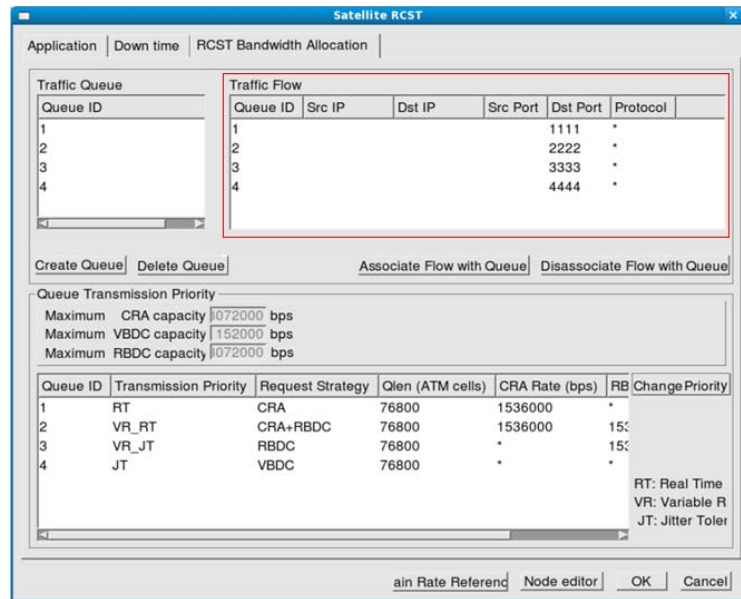
**Figura. 6. 74. Prioridad de transmisión *VR\_RT***



**Figura. 6. 75. Prioridad de transmisión *VR\_JT***

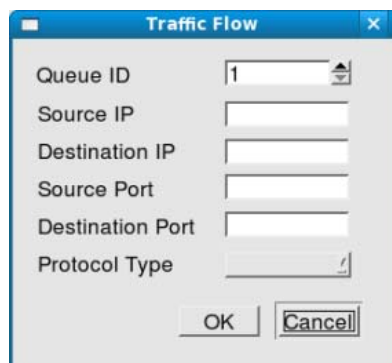
Después de crear las colas, se pueden asociar los flujos de tráfico con las colas correspondientes como se muestra en la figura 6.76.





**Figura. 6. 76. Asociación de los flujos de tráfico con las colas correspondientes**

Para realizar este procedimiento se pulsó el botón *Associate Flow with Queue* y apareció un cuadro de diálogo como se muestra en la figura 6.77 donde se seleccionó el ID de cola y se insertó el número de puerto de destino correspondiente.



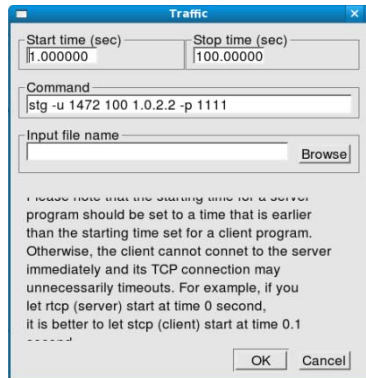
**Figura. 6. 77. Flujo de tráfico**

A continuación se configurará el tráfico de la red de la siguiente manera.

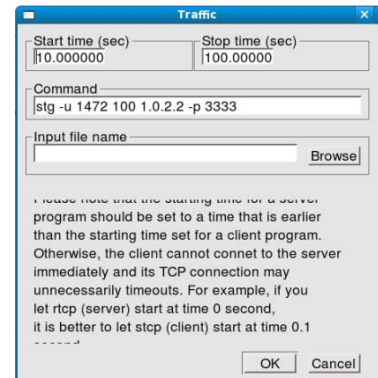
Las figuras 6.78, 6.79, 6.80 y 6.81 muestran los programas de aplicación para generar tráfico de red en el nodo transmisor.

Las figuras 6.82, 6.83, 6.84 y 6.85 muestran los programas de aplicación en el nodo receptor.

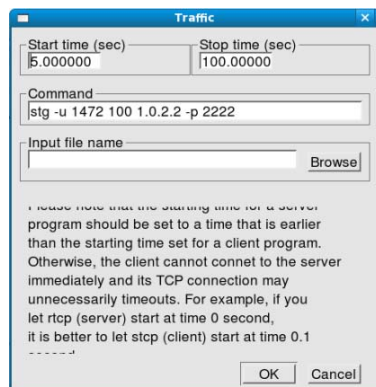
- Nodo Transmisor:



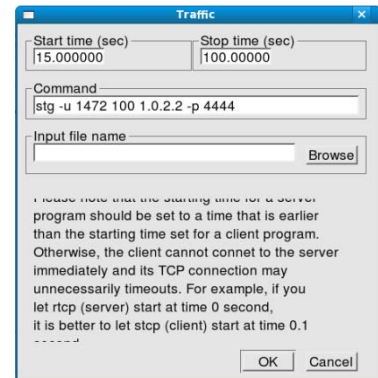
**Figura. 6. 78. Configuración en el nodo transmisor (a)**



**Figura. 6. 80. Configuración en el nodo transmisor (c)**



**Figura. 6. 79. Configuración en el nodo transmisor (b)**



**Figura. 6. 81. Configuración en el nodo transmisor (d)**

- Nodo Receptor:

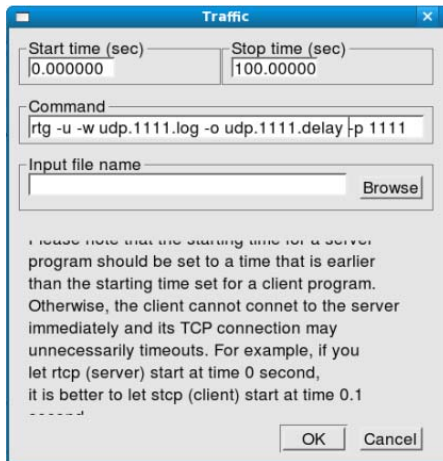


Figura. 6. 82. Configuración en el nodo receptor (a)

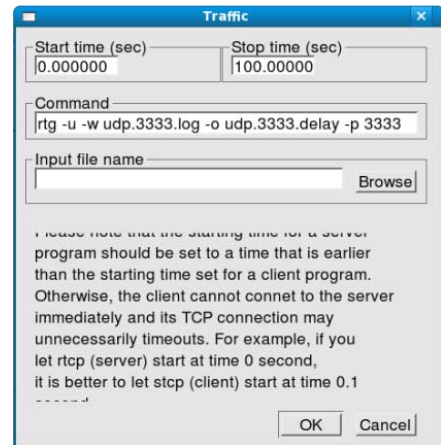


Figura. 6. 84. Configuración en el nodo receptor (c)

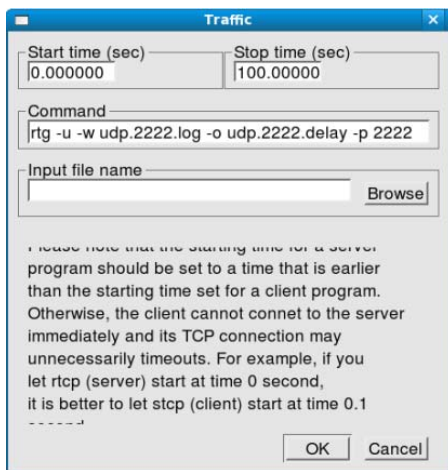


Figura. 6. 83. Configuración en el nodo receptor (b)

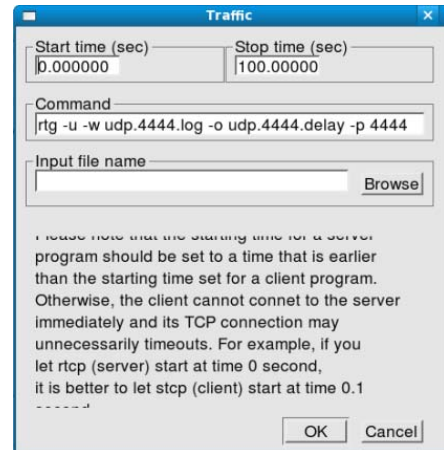


Figura. 6. 85. Configuración en el nodo receptor (d)

## 6.6.2 Análisis de Resultados

Para analizar el rendimiento de la red, antes de realizar la ejecución de la simulación, primero debemos habilitar:

- En el nodo transmisor la opción *Log Packet Statistics* y *Throughput (KB/sec) of Outgoing Packets* en el modulo *MAC8023* en la pila de protocolo del editor de nodo. En la figura 6.86 se muestra la habilitación del *Log Packet Statistics* en el nodo transmisor.

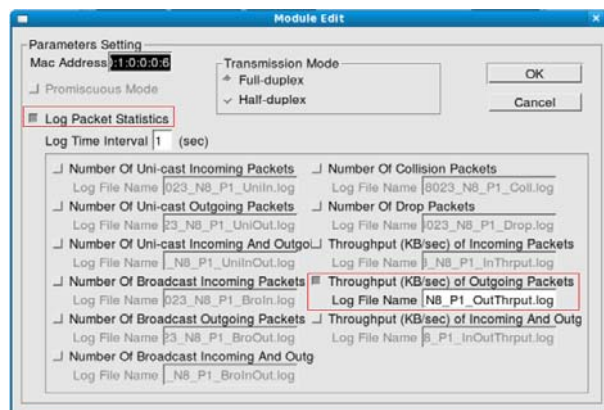


Figura. 6. 86. Habilitación del *Log Packet Statistics* en el nodo transmisor

- En el nodo receptor la opción *Log Packet Statistics* y *Throughput (KB/sec) of Incoming Packets* en el modulo *MAC8023* en la pila de protocolo del editor de nodo. En la figura 6.87 se muestra la habilitación del *Log Packet Statistics* en el nodo receptor.

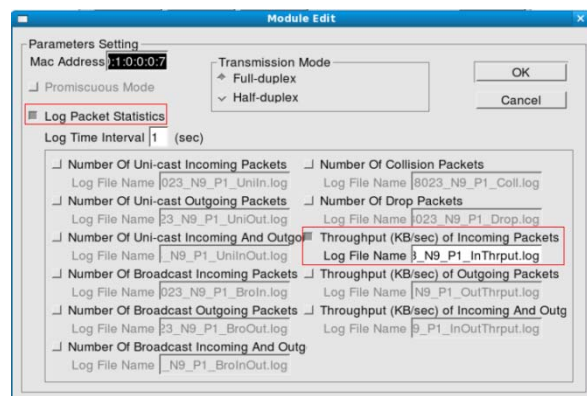


Figura. 6. 87. Habilitación del *Log Packet Statistics* en el nodo receptor

Durante la ejecución de la simulación observamos que el tráfico de red es enviado desde el transmisor hasta receptor como se muestra en la figura 6.88.

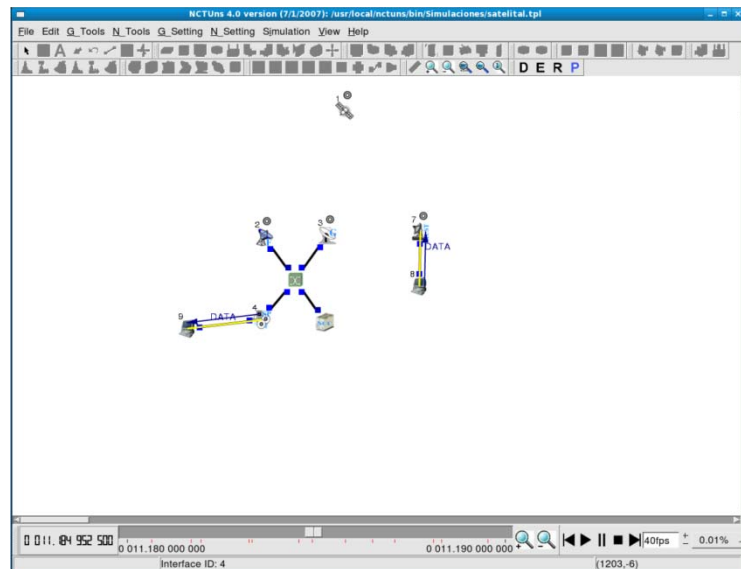


Figura. 6. 88. Flujo de tráfico en la red

Terminada la simulación se puede visualizar el *throughput* de la red, mediante el uso del comando **Menu** → **G\_Tools** → **Plot Graph**. Como se muestra en las figuras 6.89, 6.90 y 6.91. Con el uso de este comando se pueden abrir los archivos creados cuando se habilito la opción *Log Packet Statistics*.

- Nodo Transmisor

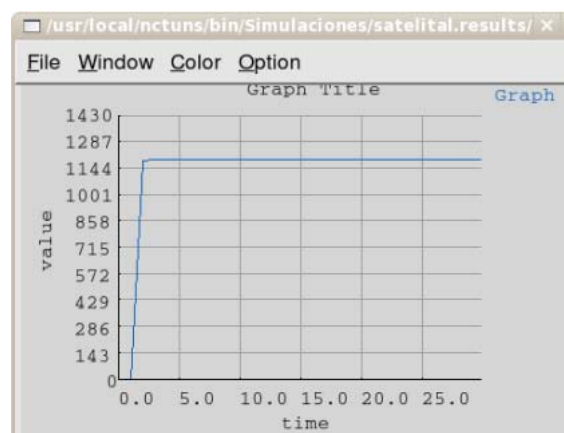


Figura. 6. 89. *Throughput* (KB/seg) en el nodo transmisor

- Nodo Receptor

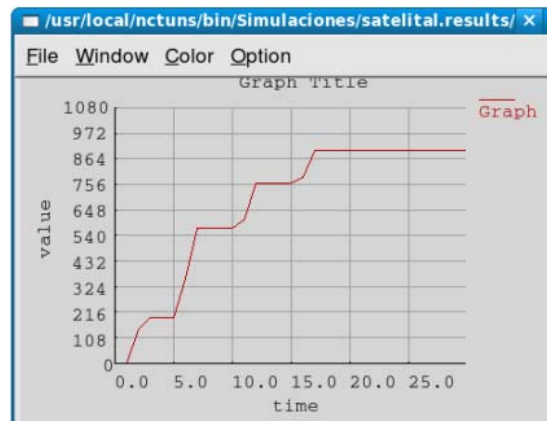


Figura. 6. 90. *Throughput* (KB/seg) en el nodo receptor

- Comparación entre los dos nodos

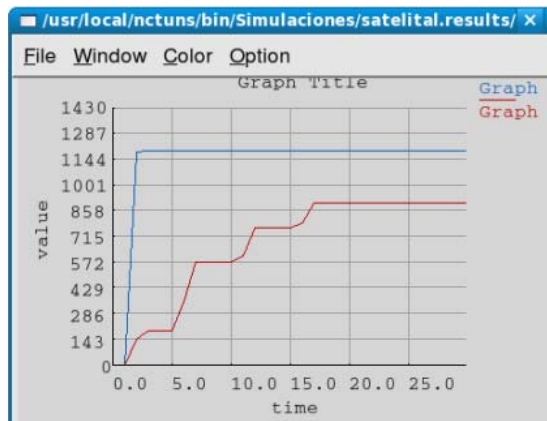


Figura. 6. 91. Comparación entre nodo transmisor y receptor

Como se observó en los gráficos anteriores se tienen 4 flujos que inician en 1, 5, 10 y 15 segundos, donde sus *throughputs* son 138.5, 368.0, 184.0 y 138.5 KB/seg respectivamente.

También se puede visualizar el rendimiento de la red a través de:

- Los archivos `udp.XXX.log` y `udp.XXX.delay` creados mediante los comandos de programas de aplicación. Un ejemplo de estos archivos se muestran en las figuras 6.92 y 6.93.

```

Fernando@cpe-0016ec7bdca6:/usr/local/nctuns/bin/Simulac
Archivo Editar Ver Terminal Solapas Ayuda
2 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
7 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
8 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
9 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
10 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
11 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
12 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
13 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
14 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
15 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
16 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
17 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
18 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
19 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
20 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
21 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
22 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
23 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
24 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
25 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
26 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
27 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
28 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
29 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
30 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
31 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
32 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
33 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
34 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
35 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
36 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
37 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
38 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
39 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
40 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
41 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
42 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
43 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
44 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
45 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
46 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
47 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
48 368.000000 Kbyte/sec ==> 2.875000 Mbit/sec
Comienzo
1,1

```

Figura. 6. 92. Archivo `udp.XXX.log`

```

Fernando@cpe-0016ec7bdca6:/usr/local/nctuns/bin/Simulac
Archivo Editar Ver Terminal Solapas Ayuda
packet no.1 to no.49 lost, accumulate 49 pkts lost!!
pkt no.50 size= 1472 byte, delay time= 0.252238 sec
packet no.51 to no.52 lost, accumulate 51 pkts lost!!
pkt no.53 size= 1472 byte, delay time= 0.255940 sec
pkt no.54 size= 1472 byte, delay time= 0.265536 sec
pkt no.55 size= 1472 byte, delay time= 0.275136 sec
pkt no.56 size= 1472 byte, delay time= 0.276744 sec
pkt no.57 size= 1472 byte, delay time= 0.286344 sec
pkt no.58 size= 1472 byte, delay time= 0.295943 sec
pkt no.59 size= 1472 byte, delay time= 0.305543 sec
pkt no.60 size= 1472 byte, delay time= 0.315138 sec
pkt no.61 size= 1472 byte, delay time= 0.316745 sec
pkt no.62 size= 1472 byte, delay time= 0.326345 sec
pkt no.63 size= 1472 byte, delay time= 0.335943 sec
pkt no.64 size= 1472 byte, delay time= 0.345541 sec
pkt no.65 size= 1472 byte, delay time= 0.355141 sec
pkt no.66 size= 1472 byte, delay time= 0.356736 sec
pkt no.67 size= 1472 byte, delay time= 0.366345 sec
pkt no.68 size= 1472 byte, delay time= 0.375935 sec
pkt no.69 size= 1472 byte, delay time= 0.385541 sec
pkt no.70 size= 1472 byte, delay time= 0.395143 sec
pkt no.71 size= 1472 byte, delay time= 0.396743 sec
pkt no.72 size= 1472 byte, delay time= 0.406340 sec
pkt no.73 size= 1472 byte, delay time= 0.415939 sec
pkt no.74 size= 1472 byte, delay time= 0.425542 sec
pkt no.75 size= 1472 byte, delay time= 0.435136 sec
pkt no.76 size= 1472 byte, delay time= 0.436743 sec
pkt no.77 size= 1472 byte, delay time= 0.446334 sec
pkt no.78 size= 1472 byte, delay time= 0.455935 sec
pkt no.79 size= 1472 byte, delay time= 0.465544 sec
pkt no.80 size= 1472 byte, delay time= 0.475134 sec
pkt no.81 size= 1472 byte, delay time= 0.476739 sec
pkt no.82 size= 1472 byte, delay time= 0.486343 sec
pkt no.83 size= 1472 byte, delay time= 0.495944 sec
pkt no.84 size= 1472 byte, delay time= 0.505538 sec
pkt no.85 size= 1472 byte, delay time= 0.515135 sec
pkt no.86 size= 1472 byte, delay time= 0.516745 sec
pkt no.87 size= 1472 byte, delay time= 0.526336 sec
pkt no.88 size= 1472 byte, delay time= 0.535944 sec
pkt no.89 size= 1472 byte, delay time= 0.545545 sec
pkt no.90 size= 1472 byte, delay time= 0.555138 sec
pkt no.91 size= 1472 byte, delay time= 0.556743 sec
pkt no.92 size= 1472 byte, delay time= 0.566342 sec
Comienzo
43,1

```

Figura. 6. 93. Archivo `udp.XXX.delay`



- El comando **Menu** → **G\_Tools** → **View Packet Trace** como se observa en la figura 6.94.

```

002.3 RX 4003559 12440 DATA 00 50 00 70 6030 1510 0 NONE
002.3 TX 4004757 13051 DATA 00 50 00 70 6037 1510 0 NONE
002.3 RX 4004757 13051 DATA 00 50 00 70 6037 1510 0 NONE
002.3 TX 4006099 13132 DATA 00 50 00 70 6030 1510 0 NONE
002.3 RX 4006099 13132 DATA 00 50 00 70 6030 1510 0 NONE
002.3 TX 4007240 12772 DATA 00 50 00 70 6039 1510 0 NONE
002.3 RX 4007240 12772 DATA 00 50 00 70 6039 1510 0 NONE
002.3 TX 4009873 12523 DATA 00 50 00 70 6040 1510 0 NONE
002.3 RX 4009873 12523 DATA 00 50 00 70 6040 1510 0 NONE
002.3 TX 4009998 13209 DATA 00 50 00 70 6046 1510 0 NONE
002.3 RX 4009998 13209 DATA 00 50 00 70 6046 1510 0 NONE
002.3 TX 4011317 12518 DATA 00 50 00 70 6047 1510 0 NONE
002.3 RX 4011317 12518 DATA 00 50 00 70 6047 1510 0 NONE
002.3 TX 4012089 1288 DATA 00 50 00 70 6082 1510 0 NONE
002.3 RX 4012089 1288 DATA 00 50 00 70 6082 1510 0 NONE
002.3 TX 4012109 1289 DATA 00 50 00 70 6082 1510 0 NONE
002.3 RX 4012109 1289 DATA 00 50 00 70 6082 1510 0 NONE
002.3 TX 4012939 12948 DATA 00 50 00 70 6088 1510 0 NONE
002.3 RX 4012939 12948 DATA 00 50 00 70 6088 1510 0 NONE
002.3 TX 4013384 12780 DATA 00 50 00 70 6043 1510 0 NONE
002.3 RX 4013384 12780 DATA 00 50 00 70 6043 1510 0 NONE
002.3 TX 4013385 12780 DATA 00 50 00 70 6043 1510 0 NONE
002.3 RX 4013385 12780 DATA 00 50 00 70 6043 1510 0 NONE
002.3 TX 4015141 12182 DATA 00 50 00 70 6090 1510 0 NONE
002.3 RX 4015141 12182 DATA 00 50 00 70 6090 1510 0 NONE
002.3 TX 4015383 13184 DATA 00 50 00 70 6088 1510 0 NONE
002.3 RX 4015383 13184 DATA 00 50 00 70 6088 1510 0 NONE
002.3 TX 4017677 13045 DATA 00 50 00 70 6089 1510 0 NONE
002.3 RX 4017677 13045 DATA 00 50 00 70 6089 1510 0 NONE
002.3 TX 4017678 13045 DATA 00 50 00 70 6089 1510 0 NONE
002.3 RX 4017678 13045 DATA 00 50 00 70 6089 1510 0 NONE
002.3 TX 4018978 13260 DATA 00 50 00 70 6060 1510 0 NONE
002.3 RX 4018978 13260 DATA 00 50 00 70 6060 1510 0 NONE
002.3 TX 4020362 12483 DATA 00 50 00 70 6061 1510 0 NONE
002.3 RX 4020362 12483 DATA 00 50 00 70 6061 1510 0 NONE
002.3 TX 4021958 12501 DATA 00 50 00 70 6062 1510 0 NONE
002.3 RX 4021958 12501 DATA 00 50 00 70 6062 1510 0 NONE
002.3 TX 4021959 12501 DATA 00 50 00 70 6062 1510 0 NONE
002.3 RX 4021959 12501 DATA 00 50 00 70 6062 1510 0 NONE
002.3 TX 4021709 1224 DATA 00 50 00 70 6001 1510 0 NONE
002.3 RX 4021709 1224 DATA 00 50 00 70 6001 1510 0 NONE
002.3 TX 4022036 12786 DATA 00 50 00 70 6069 1510 0 NONE
002.3 RX 4022036 12786 DATA 00 50 00 70 6069 1510 0 NONE
002.3 TX 4022046 12786 DATA 00 50 00 70 6069 1510 0 NONE
002.3 RX 4022046 12786 DATA 00 50 00 70 6069 1510 0 NONE
002.3 TX 4024022 12439 DATA 00 50 00 70 6070 1510 0 NONE
002.3 RX 4024022 12439 DATA 00 50 00 70 6070 1510 0 NONE
002.3 TX 4024032 12439 DATA 00 50 00 70 6070 1510 0 NONE
002.3 RX 4024032 12439 DATA 00 50 00 70 6070 1510 0 NONE
002.3 TX 4025271 12672 DATA 00 50 00 70 6071 1510 0 NONE
002.3 RX 4025271 12672 DATA 00 50 00 70 6071 1510 0 NONE
002.3 TX 4025272 12672 DATA 00 50 00 70 6071 1510 0 NONE
002.3 RX 4025272 12672 DATA 00 50 00 70 6071 1510 0 NONE
002.3 TX 4025583 12473 DATA 00 50 00 70 6072 1510 0 NONE
002.3 RX 4025583 12473 DATA 00 50 00 70 6072 1510 0 NONE
002.3 TX 4027848 12482 DATA 00 50 00 70 6080 1510 0 NONE
002.3 RX 4027848 12482 DATA 00 50 00 70 6080 1510 0 NONE
002.3 TX 4029088 12144 DATA 00 50 00 70 6081 1510 0 NONE
002.3 RX 4029088 12144 DATA 00 50 00 70 6081 1510 0 NONE
002.3 TX 4029089 12144 DATA 00 50 00 70 6081 1510 0 NONE
002.3 RX 4029089 12144 DATA 00 50 00 70 6081 1510 0 NONE
002.3 TX 4029242 12742 DATA 00 50 00 70 6082 1510 0 NONE
002.3 RX 4029242 12742 DATA 00 50 00 70 6082 1510 0 NONE
002.3 TX 4029362 12742 DATA 00 50 00 70 6082 1510 0 NONE
002.3 RX 4029362 12742 DATA 00 50 00 70 6082 1510 0 NONE
002.3 TX 4031289 12223 DATA 00 50 00 70 6085 1510 0 NONE
002.3 RX 4031289 12223 DATA 00 50 00 70 6085 1510 0 NONE
002.3 TX 4031309 12223 DATA 00 50 00 70 6085 1510 0 NONE
002.3 RX 4031309 12223 DATA 00 50 00 70 6085 1510 0 NONE
002.3 TX 4031784 12244 DATA 00 50 00 70 6088 1510 0 NONE
002.3 RX 4031784 12244 DATA 00 50 00 70 6088 1510 0 NONE
002.3 TX 4032908 12672 DATA 00 50 00 70 6084 1510 0 NONE
002.3 RX 4032908 12672 DATA 00 50 00 70 6084 1510 0 NONE
002.3 TX 4032909 12672 DATA 00 50 00 70 6084 1510 0 NONE
002.3 RX 4032909 12672 DATA 00 50 00 70 6084 1510 0 NONE
002.3 TX 4034170 12089 DATA 00 50 00 70 6091 1510 0 NONE
002.3 RX 4034170 12089 DATA 00 50 00 70 6091 1510 0 NONE

```

Figura. 6. 94. Programa *more*

- El *Command Console*. Esta opción se la puede habilitar al pulsar el botón *Command Console* durante la ejecución de la simulación en el nodo correspondiente, luego en la ventana que aparecerá se escribirá “*tcpdump -i eth1*” para observar el tráfico de red como se muestra en la figura 6.95.



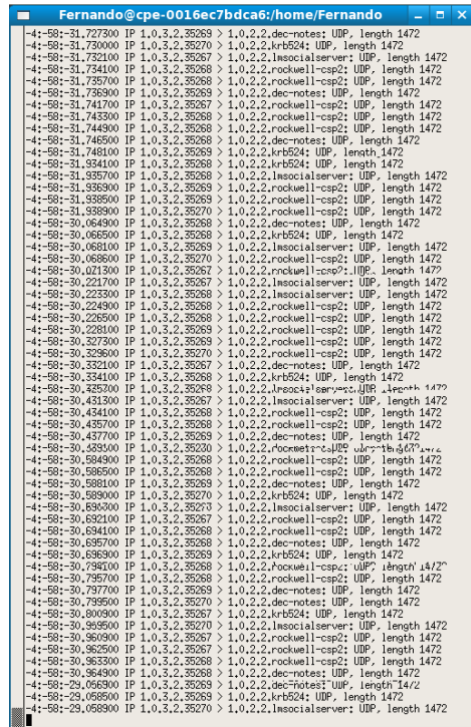


Figura. 6. 95. Command Console

- El *coordinator*, como se muestra en la figura 6.96.

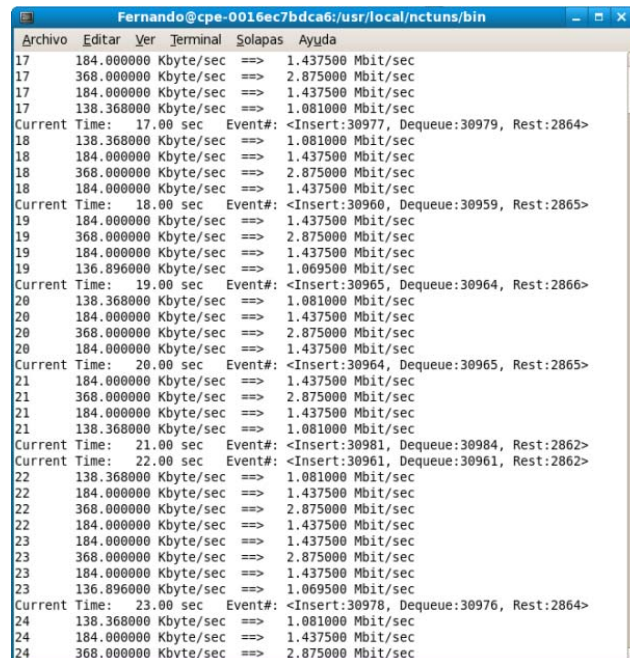


Figura. 6. 96. Coordinator



## 6.7 REDES GRPS

### 6.7.1 Configuración de la simulación

Primero se inserta los dispositivos necesarios con sus respectivos enlaces para diseñar la red GPRS como se muestra en la figura 6.97. Después se seleccionan las estaciones base GPRS y los teléfonos GPRS para formar la subred.

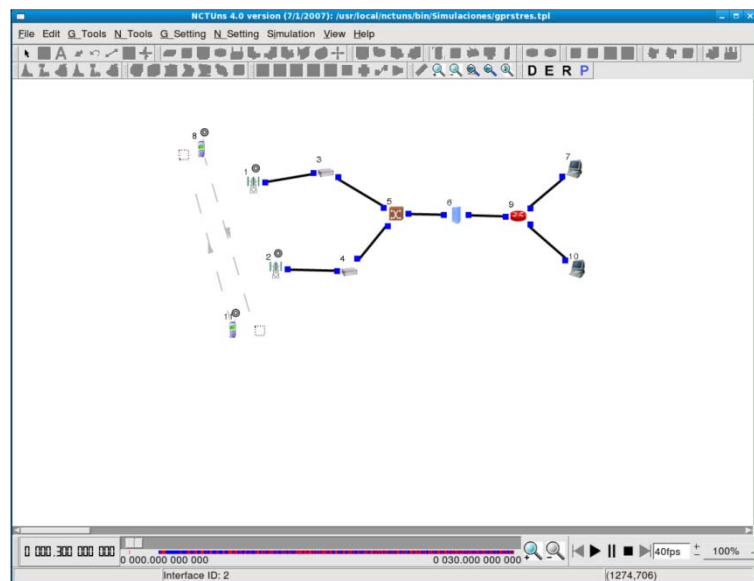


Figura. 6. 97. Red GPRS

Luego se configura los canales de frecuencias que usarán las estaciones base, para lo cual se ejecuta el comando **Menu** → **N\_Tools** → **GPRS Network** → **GPRS BS** → **Assign Frequency Channel**, después aparecerá un cuadro de diálogo y escogemos el número que se encuentra por defecto que es “6”. Como se muestra en la figura 6.98.

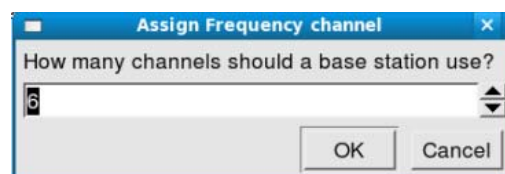


Figura. 6. 98. Canales usados por una estación base

Si ingresamos en la pestaña *Frequency channel* de la estación base con ID “1” observamos que el *Starting Frequency Channel* es “1” y el *Ending Frequency Channel* es “6”, en cambio en la estación base con ID “2” observamos que el *Starting Frequency Channel* es “7” y el *Ending Frequency Channel* es “12”, es decir cada estación base tiene 6 canales para su uso. Como se muestran en las figuras 6.99 y 6.100.

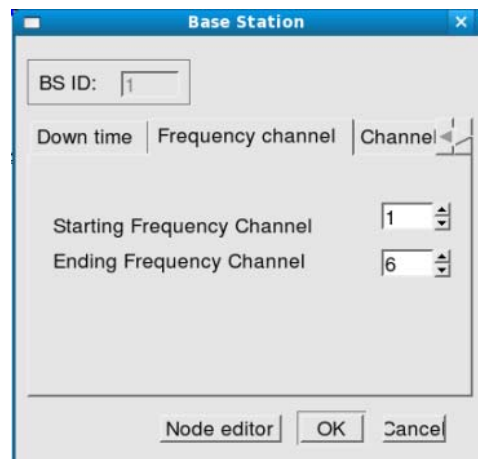


Figura. 6. 99. Cuadro de diálogo de la pestaña *Frequency channel* de la estación base con ID 1

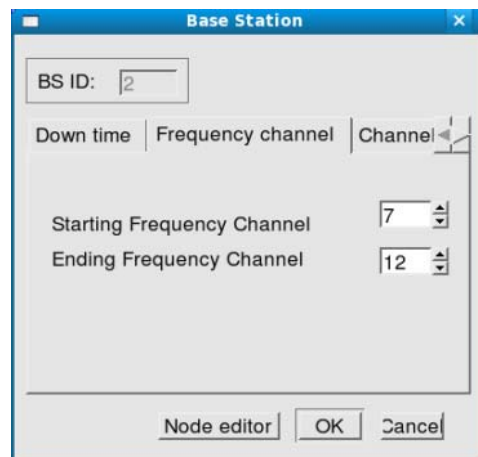


Figura. 6. 100. Cuadro de diálogo de la pestaña *Frequency channel* de la estación base con ID 2

Así mismo, en la pestaña *Neighborhood radius* de la estación base se configurará la distancia de este radio en 200 metros. Como se muestran en las figuras 6.101 y 6.102.

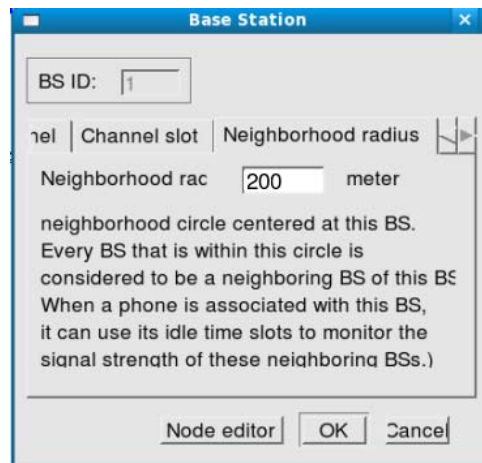


Figura. 6. 101. Cuadro de diálogo de la pestaña *Neighborhood radius* de la estación base con ID 1

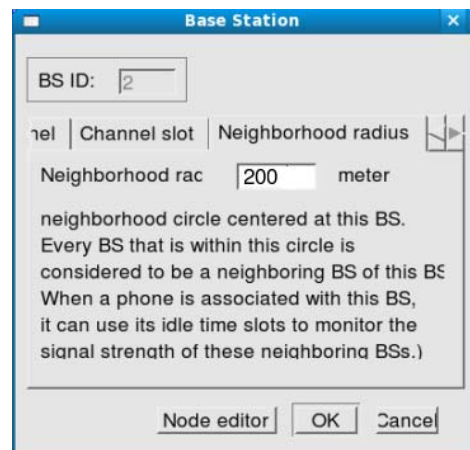


Figura. 6. 102. Cuadro de diálogo de la pestaña *Neighborhood radius* de la estación base con ID 2

A continuación se procede a configurar los teléfonos GPRS. Primero el teléfono debe ser conectado a la red GPRS, esta operación permite a la red GPRS conocer la existencia del teléfono. Para realizar este proceso se ingresa a la pestaña *Action* del teléfono GPRS y en la parte de acción se escoge *Attach* y en el campo *Time* el tiempo en el cual se iniciará la acción, como se muestran en las figuras 6.103 y 6.104.

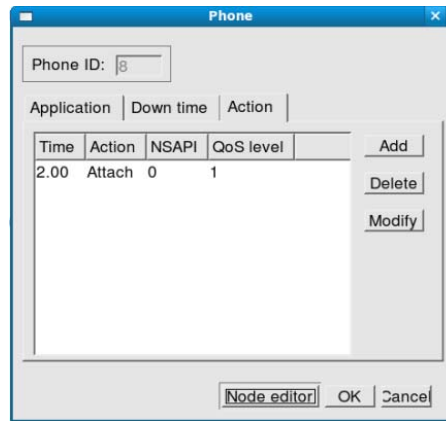


Figura. 6. 103. Configuración del teléfono *GPRS* con ID 8

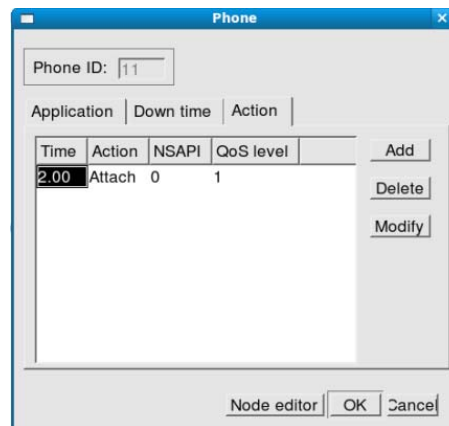


Figura. 6. 104. Configuración del teléfono *GPRS* con ID 11

Para simular el tráfico de red se realizarán dos conexiones:

- Conexión 1:
  - Nodo Transmisor (Teléfono GPRS) → “stcp -p 1111 1.0.3.1”
  - Nodo Receptor (Host) → “rtcp -p 1111”
  
- Conexión 2:
  - Nodo Transmisor (Host) → “stcp -p 2222 1.0.1.3”
  - Nodo Receptor (Teléfono GPRS) → “rtcp -p 2222”

### 6.7.2 Análisis de resultados

Antes de ejecutar la simulación se habilitarán la opciones *Log Packet Statistics* y *Throughput (KB/sec) of Incoming Packets* en el *host* receptor de la conexión 1 y *Log Packet Statistics* y *Throughput (KB/sec) of Outgoing Packets* en el *host* transmisor de la conexión 2 en el modulo *MAC8023* en la pila de protocolo del editor de nodo correspondiente.

La simulación duro un tiempo de 30 segundos, se uso el comando **Menu** → **G\_Tools** → **Plot Graph**, para visualizar el *throughput* de la red, como se muestra en la figuras 6.105 y 6.106.

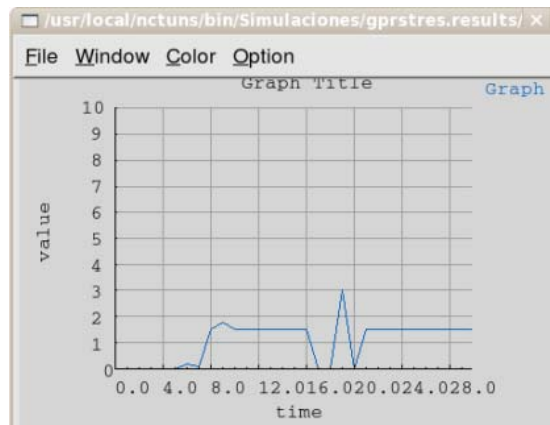


Figura. 6. 105. *Throughput* (KB/seg) de la conexión 1

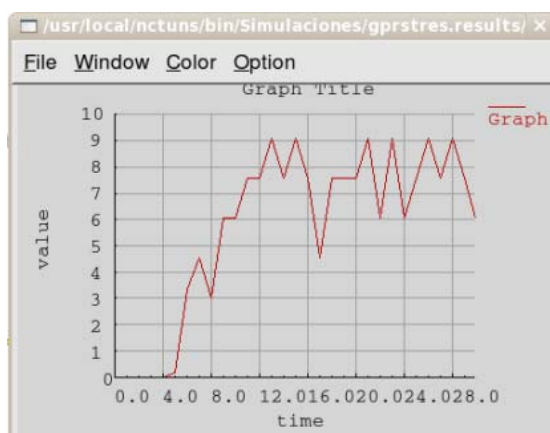
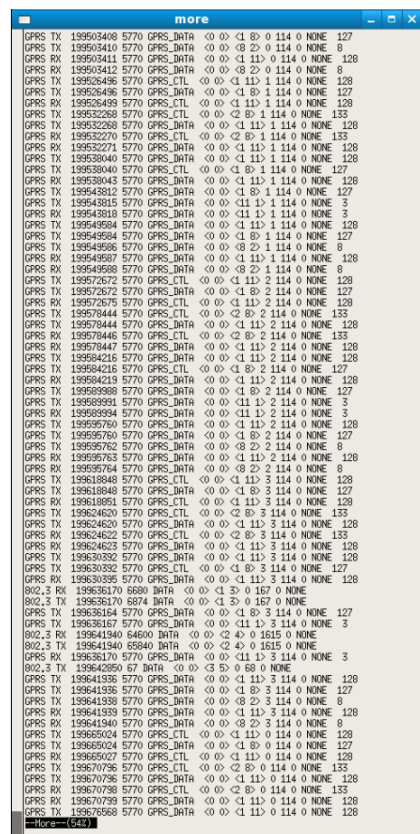


Figura. 6. 106. *Throughput* (KB/seg) de la conexión 2

Como se observó la descarga de información del teléfono GPRS de la conexión 2 tiene un mayor *throughput* que la carga de información del teléfono GPRS de la conexión 1. La conexión 1 tiene un valor de *throughput* medio de 1.6 KB/seg y la conexión 2 tiene un valor de *throughput* medio de 7.5 KB/seg.

Para realizar un análisis más preciso del tráfico de red se usó el comando **Menu** → **G\_Tools** → **View Packet Trace** y se abrirá una ventana para elegir el archivo .ptr correspondiente, como se observa en la figura 6.107.



```

more
GPRS TX 199503408 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 0 114 0 NONE 127
GPRS TX 199503410 5770 GPRS_DATA <0 0> <8 2> 0 114 0 NONE 8
GPRS RX 199503411 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 0 114 0 NONE 128
GPRS RX 199503412 5770 GPRS_DATA <0 0> <8 2> 0 114 0 NONE 8
GPRS TX 1995026486 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS TX 1995026496 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 1 114 0 NONE 127
GPRS RX 1995026499 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS TX 199532268 5770 GPRS_CTL <0 0> <2 0> 1 114 0 NONE 133
GPRS TX 199532268 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS RX 199532270 5770 GPRS_CTL <0 0> <2 0> 1 114 0 NONE 133
GPRS TX 199532271 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS TX 199530040 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS TX 199530040 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 0> 1 114 0 NONE 127
GPRS RX 199530045 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS TX 199543812 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 1 114 0 NONE 127
GPRS TX 199543815 5770 GPRS_DATA <0 0> <11 1> 1 114 0 NONE 3
GPRS RX 199543815 5770 GPRS_DATA <0 0> <11 1> 1 114 0 NONE 3
GPRS TX 199543694 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS TX 199543694 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS TX 199543694 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 1 114 0 NONE 127
GPRS TX 199543696 5770 GPRS_DATA <0 0> <8 2> 1 114 0 NONE 8
GPRS RX 199543697 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 1 114 0 NONE 128
GPRS RX 199543698 5770 GPRS_DATA <0 0> <8 2> 1 114 0 NONE 8
GPRS TX 199572672 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS TX 199572672 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 2 114 0 NONE 127
GPRS RX 199572675 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS TX 199572675 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS TX 199578444 5770 GPRS_CTL <0 0> <2 0> 2 114 0 NONE 133
GPRS TX 199578444 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS RX 199578446 5770 GPRS_CTL <0 0> <2 0> 2 114 0 NONE 133
GPRS TX 199578447 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS TX 199594215 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS TX 199594216 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 0> 2 114 0 NONE 127
GPRS RX 199594219 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS TX 199593988 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 2 114 0 NONE 127
GPRS TX 199593991 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 3
GPRS RX 199593994 5770 GPRS_DATA <0 0> <11 1> 2 114 0 NONE 3
GPRS TX 199595760 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS TX 199595760 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 2 114 0 NONE 127
GPRS TX 199595762 5770 GPRS_DATA <0 0> <8 2> 2 114 0 NONE 8
GPRS RX 199595763 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 2 114 0 NONE 128
GPRS RX 199595764 5770 GPRS_DATA <0 0> <8 2> 2 114 0 NONE 8
GPRS TX 199618848 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 11> 3 114 0 NONE 128
GPRS TX 199618848 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 3 114 0 NONE 127
GPRS RX 199618851 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 11> 3 114 0 NONE 128
GPRS TX 199624620 5770 GPRS_CTL <0 0> <2 0> 3 114 0 NONE 133
GPRS TX 199624620 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 3 114 0 NONE 128
GPRS RX 199624622 5770 GPRS_CTL <0 0> <2 0> 3 114 0 NONE 133
GPRS RX 199624623 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 3 114 0 NONE 128
GPRS TX 199630332 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 3 114 0 NONE 128
GPRS TX 199630332 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 0> 3 114 0 NONE 127
GPRS RX 199630336 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 3 114 0 NONE 128
802.3 RX 199636170 6680 DATA <0 0> <1 2> 0 167 0 NONE
802.3 TX 199636170 6674 DATA <0 0> <1 2> 0 167 0 NONE
GPRS TX 199636184 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 3 114 0 NONE 127
GPRS TX 199636187 5770 GPRS_DATA <0 0> <11 1> 3 114 0 NONE 3
802.3 RX 199641340 64600 DATA <0 0> <2 4> 0 1615 0 NONE
802.3 TX 199641340 65840 DATA <0 0> <2 4> 0 1615 0 NONE
GPRS RX 199636170 5770 GPRS_DATA <0 0> <11 1> 3 114 0 NONE 3
802.3 TX 199642850 67 DATA <0 0> <3 5> 0 68 0 NONE
GPRS TX 199641336 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 3 114 0 NONE 128
GPRS TX 199641336 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 3 114 0 NONE 127
GPRS TX 199641338 5770 GPRS_DATA <0 0> <8 2> 3 114 0 NONE 8
GPRS RX 199641343 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 3 114 0 NONE 128
GPRS RX 199641340 5770 GPRS_DATA <0 0> <8 2> 3 114 0 NONE 8
GPRS TX 199665024 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 11> 0 114 0 NONE 128
GPRS TX 199665024 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 0> 0 114 0 NONE 127
GPRS RX 199665027 5770 GPRS_CTL <0 0> <1 11> 0 114 0 NONE 128
GPRS TX 199670796 5770 GPRS_CTL <0 0> <2 0> 0 114 0 NONE 133
GPRS TX 199670796 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 0 114 0 NONE 128
GPRS RX 199670798 5770 GPRS_CTL <0 0> <2 0> 0 114 0 NONE 133
GPRS RX 199670799 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 0 114 0 NONE 128
GPRS TX 199676568 5770 GPRS_DATA <0 0> <1 11> 0 114 0 NONE 128

```

Figura. 6. 107. Archivo .ptr

En este archivo se puede visualizar la siguiente información (esta información varía dependiendo de la tecnología que se usa):

- Columna 1: Protocolo
- Columna 2: Tipo de evento → Tx (Transmisión), Rx (Recepción)
- Columna 3: Tiempo en el cual el evento inicio. Unidad: tick
- Columna 4: Duración de este evento. Unidad: tick






- Columna 5: Tipo de paquete
- Columna 6: IDs del nodo origen/destino basadas en las direcciones IP
- Columna 7: IDs del nodo transmisor/receptor basadas en las direcciones MAC
- Columna 8: IDs de paquetes
- Columna 9: Longitud de ráfaga (en GPRS). Unidad: bit
- Columna 10: Cuenta de retransmisiones sucesivas.
- Columna 11: Razón de descarte de paquetes
- Columna 12: Canal de frecuencia (protocolo GPRS)

Para una mayor información sobre los campos de este archivo, el usuario puede usar el comando **Menu** → **G\_Tools** → **Show Packet Trace Format**.

## 6.8 REDES ITS

### 6.8.1 Configuración de la simulación

En la siguiente simulación lo primero que se realizará es diseñar la carretera para lo cual se agrega un encrucijada  (el número de líneas en la carretera en ambas direcciones es 4), luego se añaden los segmentos de carretera  (el número de líneas en la carretera en ambas direcciones es 4) y finalmente se realiza el enlace de carretera  entre los segmentos y la encrucijada para tener la red de carretera que se muestra en la figura 6.109. La figura 6.108 muestra el diseño de la red de carreteras.

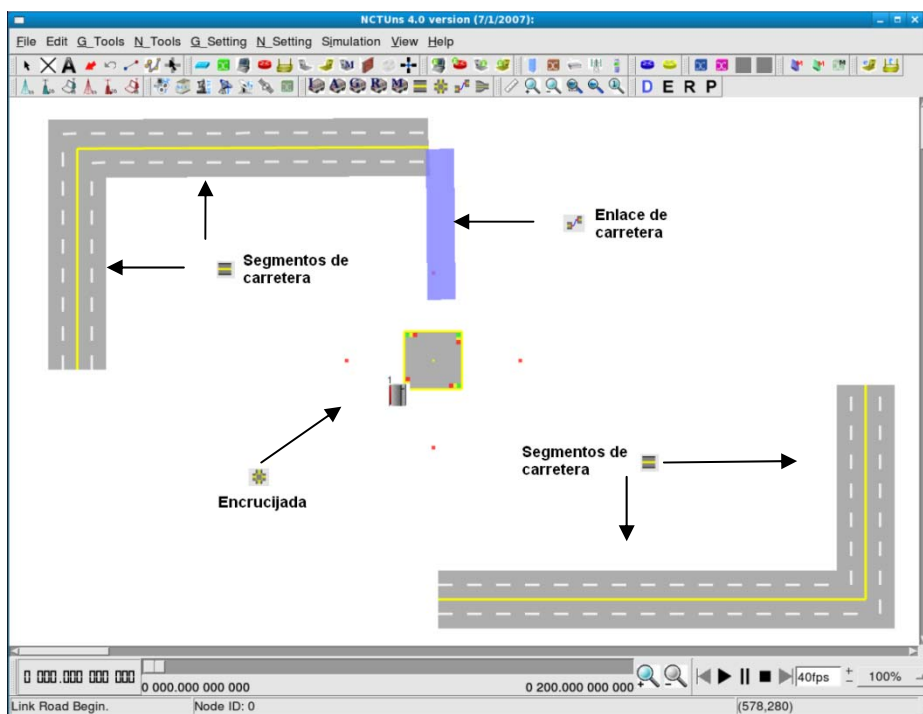


Figura. 6. 108. Diseño de la red de carreteras

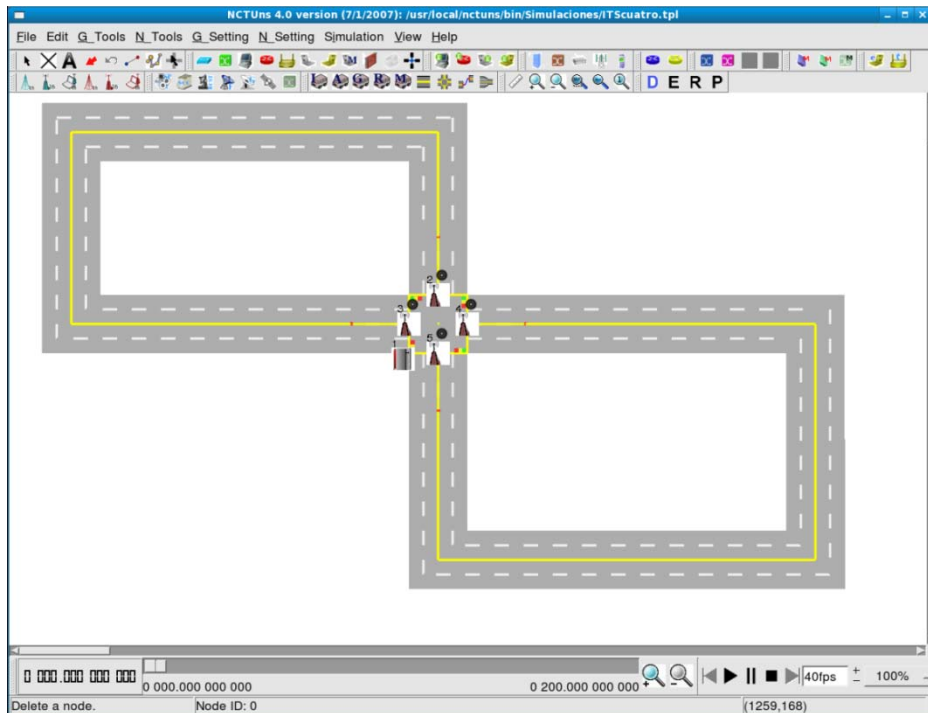


Figura. 6. 109. Red de carreteras terminada

Luego se usará el comando **Menu** → **N\_tools** → **ITS Network** → **Deploy cars automatically** para insertar 9 carros, con una distancia entre dos carros en la misma línea de 100 metros y se escogerá un tipo de carro ITS que para esta simulación será uno con una interfaz en modo *ad hoc*, como se muestra en la figura 6.110.

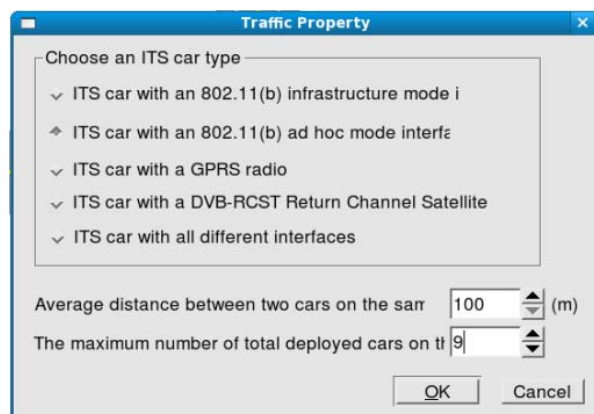


Figura. 6. 110. Ingreso de carros ITS

La figura 6.111 muestra la red de carreteras con carros ITS.

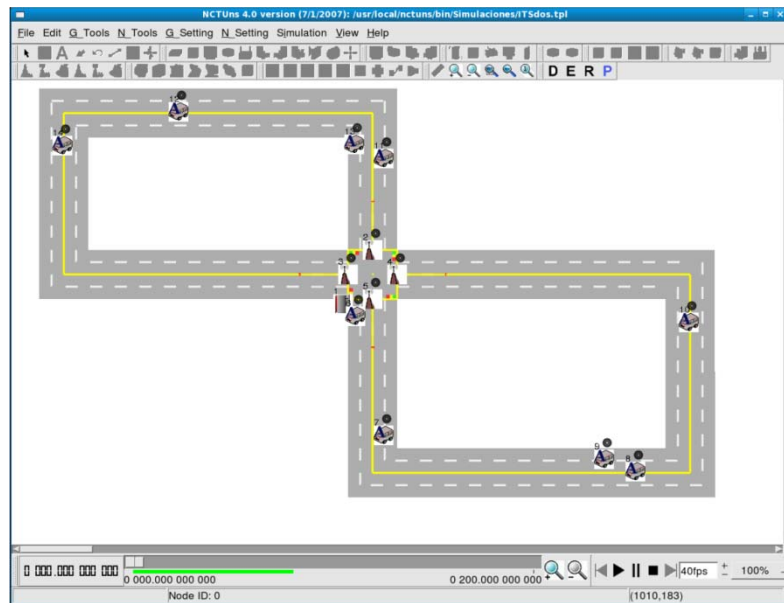


Figura. 6. 111. Red de carreteras con carros *ITS*

Después se especificará el perfil del carro con ID 9, para lo cual se usará el comando **Menu** → **N\_Tools** → **ITS Network** → **Configure Cars profiles**. Luego en el cuadro de diálogo que aparece, se pulsará el botón *Edit car-profile mapping file* y en el nuevo cuadro de diálogo que aparecerá se escogerá el ID de carro 9 y se pulsará el botón *Change Profile* para cambiar el perfil asignado al carro seleccionado, en este cuadro de diálogo se escogerá el *Profile 4*. Este procedimiento se muestra en las figuras 6.112, 6.113 y 6.114.

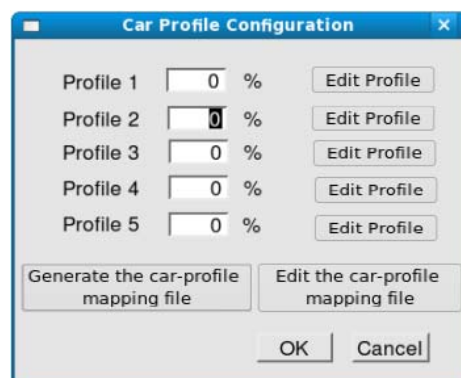


Figura. 6. 112. Configuración de perfil de carro

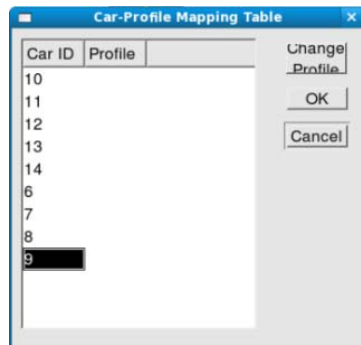


Figura. 6. 113. Tabla de asociación carro – perfil

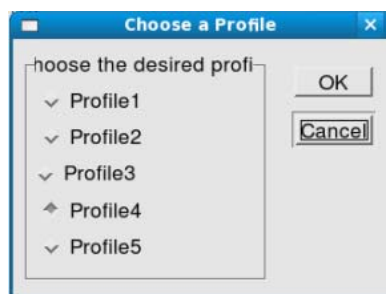
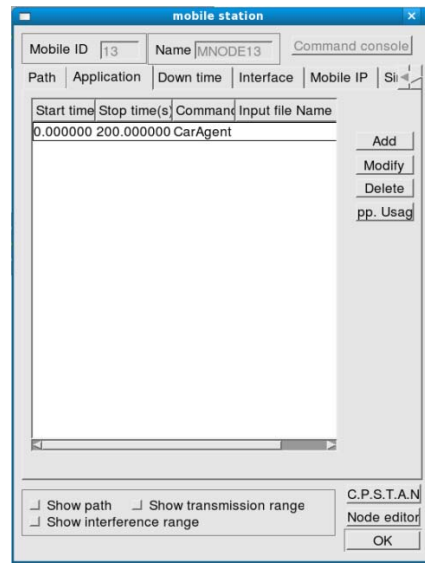
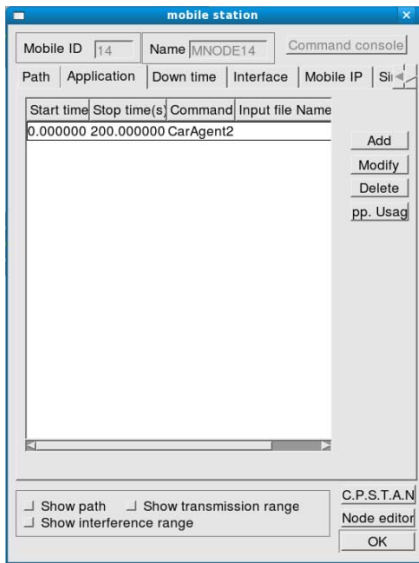


Figura. 6. 114. Selección de perfil

Una vez finalizada esta parte se procederá a especificar los agentes en el resto de carros, para lo cual se ingresa en la pestaña de *Application* de cada uno de los carros y se escribe los agentes como se muestra en las figuras 6.115, 6.116, 6.117, 6.118, 6.119, 6.120, 6.121 y 6.122,. En esta simulación se podrá visualizar 4 casos que se explicarán más adelante.

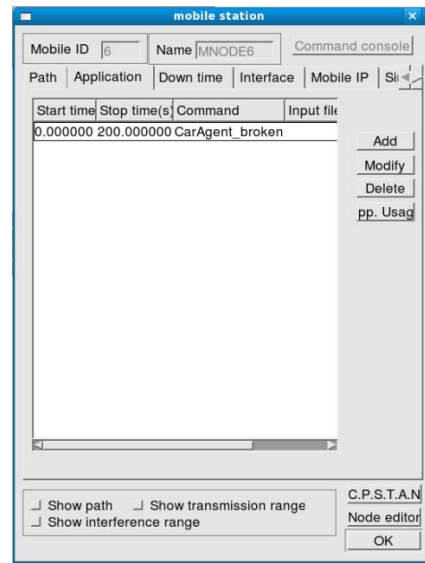
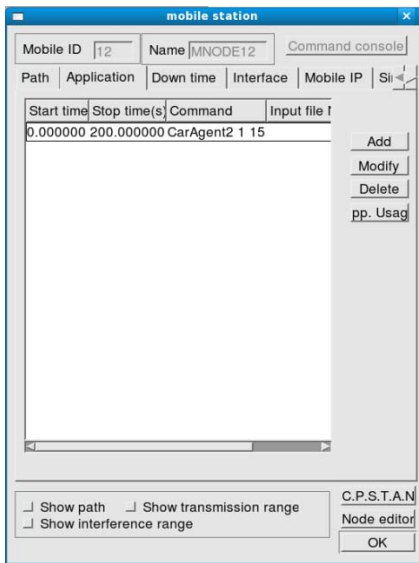
Primer caso:

Segundo caso:



**Figura. 6. 115. Configuración del carro ITS con ID 14**

**Figura. 6. 117. Configuración del carro ITS con ID 13**



**Figura. 6. 116. Configuración del carro ITS con ID 12**

**Figura. 6. 118. Configuración del carro ITS con ID 6**

Tercer caso:

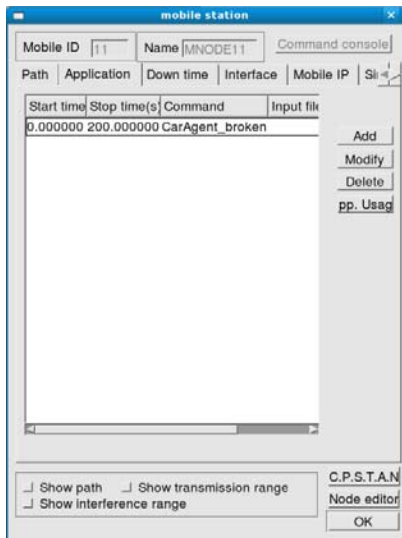


Figura. 6. 119. Configuración del carro *ITS* con ID 11

Cuarto caso:

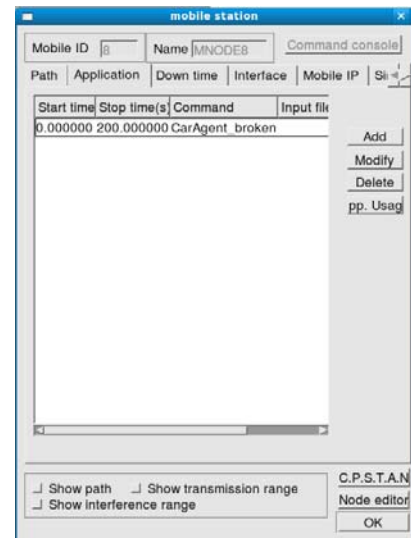


Figura. 6. 121. Configuración del carro *ITS* con ID 8

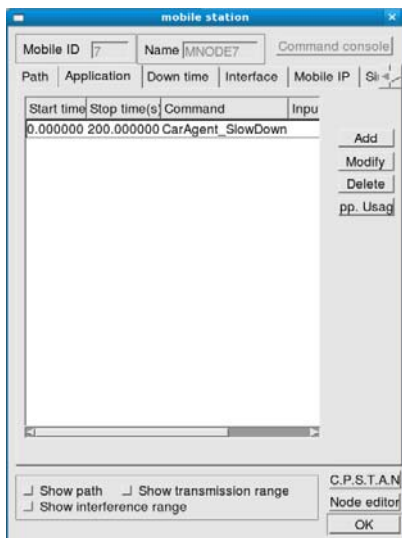


Figura. 6. 120. Configuración del carro *ITS* con ID 7

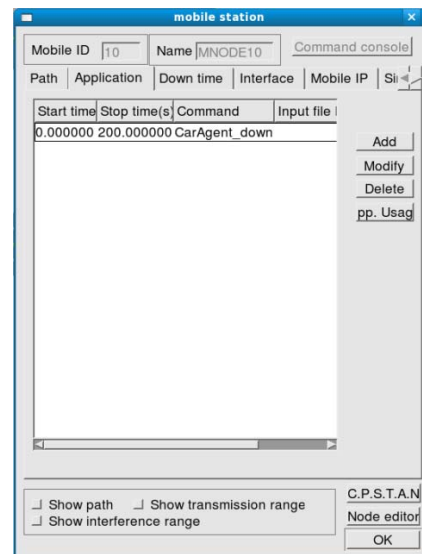


Figura. 6. 122. Configuración del carro *ITS* con ID 10

En el primer caso se mostrará que este agente permite a un carro cambiar de línea de carretera cuando este se encuentra muy cerca de otro. Los agentes que se usarán en este caso son:

- “*CarAgent 2*” (ID de carro: 14), representa que no se habilito el *CarAgent2* para cambiar de línea y su velocidad por defecto es 7 m/s.
- “*CarAgent2 1 15*” (ID de carro: 12), representa que se habilito el *CarAgent2* para cambiar de línea y su velocidad es 15 m/s.

En el segundo caso se mostrará como el sistema *ITS* puede mejorar la seguridad de manejo. Los agentes que se usarán en este caso son:

- “*CarAgent\_broken*” (ID de carro: 6), es usado para simular un carro con una llanta baja. Este agente detiene el carro y periódicamente emite el mensaje *BROKEN\_CAR* a los otros *CarAgents* adyacentes.
- “*CarAgent*” (ID de carro: 13), es usado para simular un carro con los radios habilitados.

En el tercer caso también se mostrará como el sistema *ITS* puede mejorar la seguridad de manejo. Los agentes que se usarán en este caso son:

- “*CarAgent\_broken*” (ID de carro: 11), el mismo que se uso en el segundo caso.
- “*CarAgent\_SlowDown*” (ID de carro: 7), es usado para que un carro pueda desacelerar y frenar para evitar una colisión con otro carro.

En el cuarto caso también se mostrará como el sistema *ITS* puede mejorar la seguridad de manejo. Los agentes que se usarán en este caso son:

- “*CarAgent\_broken*” (ID de carro: 8), el mismo que se uso anteriormente.
- “*CarAgent\_down*” (ID de carro: 10), es usado para simular un carro con los radios deshabilitados.

Luego se cambiará el protocolo de enrutamiento usado por los carros para lo cual se ingresa al editor de nodo en cualquiera de los carros insertados y se cambiará el protocolo de enrutamiento *GOD* por el de *ADV*, y finalmente en el cuadro de diálogo del nodo se pulsará el botón C.P.S.T.A.N para copiar la pila de protocolo de este nodo a todos los nodos del mismo tipo. Como se muestra en las figuras 6.123 y 6.124.



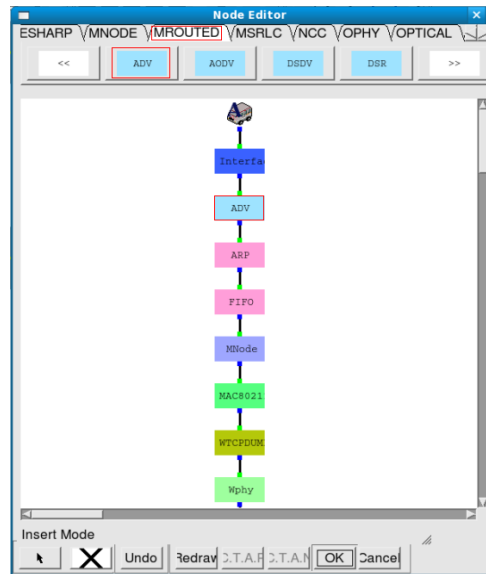


Figura. 6. 123. Pila de protocolo del carro ITS

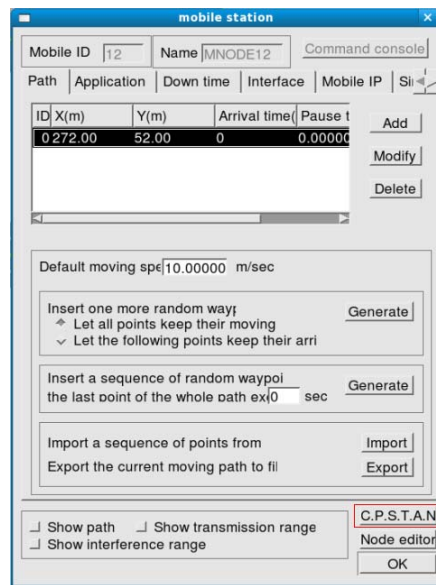
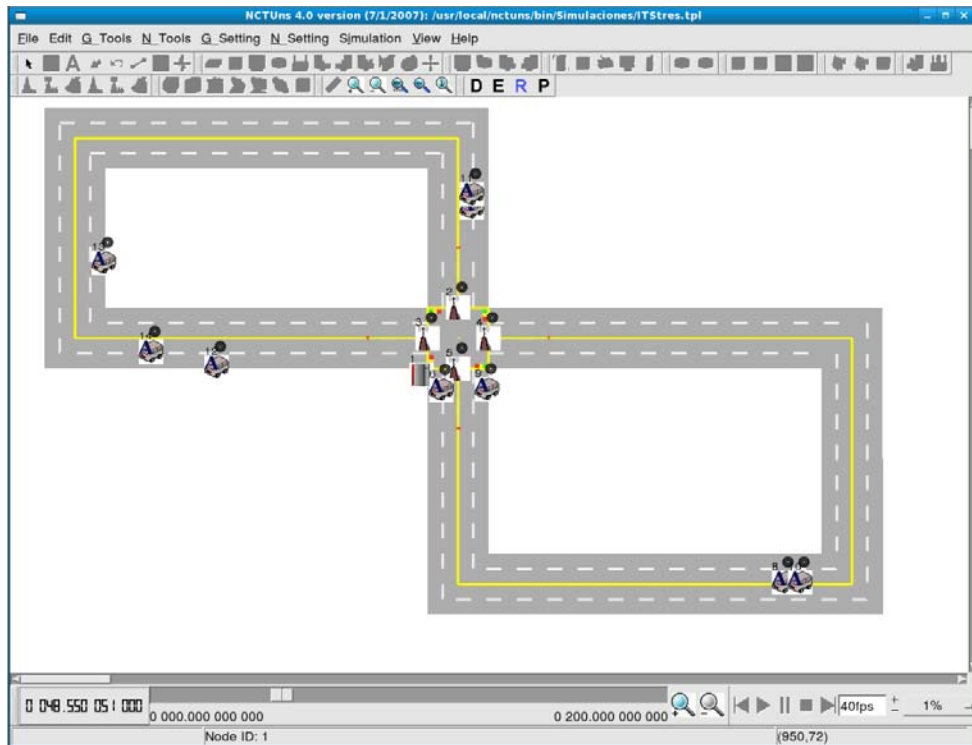


Figura. 6. 124. Cuadro de diálogo de un carro ITS

### 6.8.2 Análisis de resultados

Después de 49 segundos de simulación observamos la figura 6.125.



**Figura. 6. 125. Simulación después de 49 segundos**

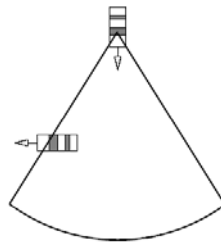
Con respecto al primer caso se visualizó que el carro con ID 12 ha cambiado de línea debido a que estaba muy cerca del carro con ID 14, es decir este agente permitió cambiar a la línea vecina si dos agentes en la misma línea están muy cerca, y así se puede evitar una colisión.

En cuanto al segundo caso, se observó que el carro con ID 13 recibió el mensaje de *BROKEN\_CAR* del carro con ID 6, por lo tanto el carro con ID 13 escogió otra ruta para prevenir la colisión.

Con respecto al tercer caso se visualizó que el carro con ID 7 recibió el mensaje de *BROKEN\_CAR* del carro con ID 11, por lo tanto el carro con ID 7 desacelera para detenerse y evitar una colisión con el carro con ID 11.

En cuanto al cuarto caso, se observó que aunque el carro con ID 10 tiene deshabilitado el radio y no recibió el mensaje de *BROKEN\_CAR* del carro con ID 8, este pudo desacelerar y detenerse para evitar la colisión, esto se debe a que el agente lógico recuperó la posición del carro con ID 8 al visualizarlo como se muestra en la figura 6.126,

y este agente lo consideró un obstáculo y procedió a frenar el carro con ID 10. En el caso que hubiera existido un obstáculo en la esquina (por ejemplo, un edificio), este hubiera bloqueado la visualización del carro con ID 8, por lo que al momento de curvar el carro con ID 10 no tendría suficiente tiempo para detenerse y finalmente terminaría con colisionar con el carro con ID 8. Es importante mencionar que el agente *CarAgent\_down* incrementa el tiempo de reacción del carro. El tiempo de reacción de un carro se refiere al tiempo para frenar el carro después de observar un evento emergente.



**Figura. 6. 126. Visualización de un carro ITS**

También se pudo comprobar que el agente lógico de los carros habilitados recuperó información del estado de los semáforos que se encuentran más cerca a ellos. Es decir, un carro puede observar el semáforo antes de pasar a través de la intersección. Si la luz está roja, este carro se detendrá en frente de la intersección. Además, la señal del semáforo es controlado por otro agente llamado *SignalAgent*. El *SignalAgent* cambia las señales del semáforo periódicamente.

## CONCLUSIONES

- Se analizó los fundamentos teóricos y prácticos básicos, del modelado y simulación de redes de comunicaciones, utilizando el simulador NCTUns 4.0
- Se identificó los componentes teóricos del simulador NCTUns 4.0, involucrados en la creación de redes de comunicaciones, para permitir la formulación de futuros proyectos.
- Este *software* puede ser usado como una herramienta de investigación, un investigador puede usar el NCTUns 4.0 para desarrollar un nuevo protocolo y probar su funcionalidad y rendimiento bajo varias condiciones de red.
- El NCTUns 4.0 puede ser usado como una herramienta para evaluar el rendimiento de un programa de aplicación, por ejemplo un desarrollador de *software* puede usar este programa para predecir los rendimientos a nivel de aplicación de un sistema distribuido, por ejemplo un juego multi-usuario *on-line* en el *Internet*, bajo varias condiciones de red.
- El NCTUns 4.0 permite la manipulación del modelo de la red para efectuar cambios y experimentos que resultarían muy costosos, difíciles o hasta imposibles de realizar sobre el sistema real.
- Este *software* permite mejorar la planeación y el diseño de nuevas redes y servicios de telecomunicaciones, sin importar la complejidad de las topologías.

## RECOMENDACIONES

- Cuando se realiza la ejecución de una simulación y la velocidad de simulación está establecida como "*As fast as posible*", la simulación se realizará lo más rápido posible, pero en el caso en que la computadora no disponga de un potente

procesador, la simulación en esta velocidad dará resultados erróneos por lo que para evitar este problema se puede establecer la velocidad de simulación en “*As fast as the real-world clock*”.

- Para realizar la instalación del NCTUns 4.0 se recomienda tener conocimientos básicos sobre *Linux*, principalmente como deshabilitar *SELINUX*, como configurar una red de área local, como deshabilitar *iptables services*, como modificar un archivo con el *vim*, como configurar rutas estáticas, como obtener privilegios de superusuario, y como explorar carpetas, archivos y directorios.
- Para modificar los parámetros de configuración en cada una de las tecnologías se recomienda realizar un estudio previo de los conceptos básicos del funcionamiento de la correspondiente tecnología.
- Si se desea diseñar un nuevo módulo de protocolo se recomienda analizar un módulo ya creado, copiarlo y realizar las correspondientes modificaciones.
- Una vez que el NCTUns 4.0 se ha instalado en la máquina, puede surgir el inconveniente que los botones de las ventanas de los cuadros de diálogo del programa no se visualicen correctamente, por lo tanto se recomienda instalar los correspondientes *drivers* de la tarjeta de video de la máquina.
- Si ocurre algún error durante la ejecución de la simulación se recomienda observar los programas *dispatcher* y *coordinator*, y tratar de identificar el porque de ese error.
- En el caso que ocurran errores graves que no se puedan solucionar se recomienda ingresar a la página <http://nsl10.csie.nctu.edu.tw/phpBB/>, aquí se encontrarán foros en los cuales se brindan soluciones para problemas que se puedan presentar el NCTUns 4.0, como también se pueden realizar preguntas acerca de cualquier tema relacionado con este programa.

- Se recomienda usar el NCTUns 4.0 en el desarrollo de investigaciones en el área de redes cableadas e inalámbricas, ya que es una poderosa herramienta para analizar el rendimiento de redes, brindando resultados muy confiables ya que se trabaja con tráfico real creado por los programas de aplicación.
- Esta herramienta de simulación permitiría a los estudiantes del área de telecomunicaciones modelar, planear, configurar y analizar el desempeño de varios tipos de redes; por tal motivo, se recomienda usar el NCTUns 4.0 para la enseñanza de los fundamentos teóricos de las redes de comunicaciones y que sirva como complemento a los conceptos de las redes manejadas durante el desarrollo de los cursos teóricos.

## REFERENCIAS

- [1] S. Y. Wang and C. H. Huang, "The GUI User Manual for the NCTUns 4.0 Network Simulator and Emulator", Dept. of computer Science, National Chiao Tung University, Taiwan, 2007.
- [2] S. Y. Wang and C. L. Chou, "The Protocol Developer Manual for the NCTUns 4.0 Network Simulator and Emulator", Dept. of computer Science, National Chiao Tung University, Taiwan, 2007.
- [3] C. Qiao and M. Yoo, "Optical Burst Switching (OBS) - A New Paradigm for an Internet," *Journal of High Speed Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 69-84, Jan. 1999.
- [4] S. Verma, H. Chaskar, and R. Ravikanth, "Optical Burst Switching: A Viable Solution for Terabit IP Backbone," *IEEE Network Magazine*, Vol. 14, No. 6, pp. 48-53, November 2000.
- [5] M. Yoo, C. Qiao, and S. Dixit, "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-over-WDM Networks," *IEEE JSAC*, Vol. 18, No. 10, pp. 2062-2071, October 2000.
- [6] A. Detti, V. Eramo and M. Listanti, "Optical Burst Switching with Burst Drop (OBS/BD): An Easy OBS Improvement," *Proceedings IEEE ICC'02 (International Conference on Conference) April-May, 2002, New York, USA*
- [7] S.Y. Wang, "Using TCP Congestion Control to Improve the Performances of Optical Burst Switched Networks," *IEEE ICC'03 (International Conference on Communication)*, May 11-15 2003, Anchorage, Alaska, USA.
- [8] ETSI EN 301 790 v1.4.1, "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems," Sep. 2005.
- [9] Li-Chun Wang, Shi-Yen Huang, and Anderson Chen, "On the Throughput Performance of CSMA-based Wireless Local Area Network with Directional Antennas and Capture Effect: A Cross-layer Analytical Approach," *IEEE WCNC*, pp. 1879- 1884, Mar. 2004.

## **BIBLIOGRAFIA**

- S. Y. Wang and C. H. Huang, “The GUI User Manual for the NCTUns 4.0 Network Simulator and Emulator ”, Dept. of computer Science, National Chiao Tung University, Taiwan, 2007.
- S. Y. Wang and C. L. Chou, “The Protocol Developer Manual for the NCTUns 4.0 Network Simulator and Emulator”, Dept. of computer Science, National Chiao Tung University, Taiwan, 2007.
- S.Y. Wang, C.L. Chou, “The Design and Implementation of the NCTUns 1.0 Network Simulator”, Department of Computer Science and Information Engineering National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan
- S.Y. Wang \*, C.L. Chou, “The design and implementation of the NCTUns network simulation engine”, Department of Computer Science, National Chiao Tung University, Taiwan
- Shie-Yuan Wang, “NCTUns network simulation and emulation for wireless resource management”, Department of Computer Science and Information Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan
- M.C. Yu, H.J. Tsai, C.Y. Huang, and S.Y. Wang, “Supporting Optical Network Simulations (OBS) on the NCTUns Network Simulator and Emulator”, Department of Computer Science National Chiao Tung University, Taiwan
- Shie-Yuan Wang, “INNOVATIVE NETWORK EMULATIONS USING THE NCTUNS TOOL”, Department of Computer Science and Information Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.

### **Internet:**

- <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/> (página oficial)



## ANEXOS

### A1

#### 1.1 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN

El usuario lo primero que debe hacer es descargar el paquete del NCTUns 4.0 de la página web <http://nsl10.csie.nctu.edu.tw/>, entrar a Productos (Products), luego a NCTUns, después a Descarga (Download), registrarse y proceder a descargarse el paquete. NCTUns se ejecutará en la distribución Red Hat's Fedora Core 8 del sistema operativo LINUX, el cual usa la versión de kernel 2.6.24 de Linux.

Antes de realizar la instalación del programa NCTUns 4.0 el usuario debe leer las instrucciones y explicaciones de instalación (*INSTALL*, *README*, *FAQ*, *KNOWN.PROBLEM*, *RELEASE.NOTE*) que se encuentran dentro del paquete. Uno de los requisitos para el funcionamiento del NCTUns 4.0 es que el Fedora Core 8 tenga instalado el compilador *gcc* y debido a que el DVD del Fedora Core 8 no lo posee, se tiene que descargar el paquete "*arm-gp2x-linux-gcc-c++-4.1.2-7.fc8.i386.rpm*" e instalarlo, como también descargar los paquetes necesarios para su correcto funcionamiento.

Para realizar la instalación del programa se ejecutará el *install.sh*, después de esto se creará un directorio llamado *nctuns* en el directorio */usr/local/* el cual tendrá varios subdirectorios llamados "bin", "etc", "tools", "BMP", y "lib". A continuación una explicación de cada uno de los directorios.

**(1)** */usr/local/nctuns/bin*

Este directorio almacena programas ejecutables de los programas GUI, dispatcher, coordinator, y del motor de simulación. Sus nombres son "nctunsclient", "dispatcher", "coordinator", y "nctunsse" respectivamente.

**(2)** */usr/local/nctuns/tools*

Este directorio almacena programas ejecutables de varias aplicaciones y herramientas pre-intaladas por el NCTUns 4.0. Por ejemplo: "stcp," "rtcp," "ttcp," "tcpdump," "ripd," "ospfd," "nctunstesh," "script," "stg," "rtg," "tsetenv,"

“ifconfig,”y “ping”, algunos programas daemon, los programas agentes usados en simulaciones de redes ad-hoc móviles también son almacenados aquí.

**(3)** /usr/local/nctuns/etc

Este directorio almacena los archivos de configuración que necesitan los programas *dispatcher* y *coordinator*. Sus nombres son “dispatcher.cfg” y “coordinator.cfg” respectivamente. Otros archivos de configuración usados por el NCTUns 4.0 son almacenados aquí, por ejemplo el “app.xml” que es leído por el programa GUI para explicar los usos de los programas de aplicación pre-instalados. Un subdirectorio “mdf” (*module definition file*) es creado aquí, dentro de este directorio, las definiciones de los parámetros y el cuadro de dialogo de diseño de los módulos de protocolo, son almacenados en subdirectorios separados basados en su módulo de relaciones de grupo. El programa GUI leerá los archivos dentro del directorio *mdf* para saber la definición de los módulos de protocolo soportados. El archivo “ps.cfg” describe la pila de protocolo interno usado por cada nodo de red.

**(4)** /usr/local/nctuns/BMP

Este directorio almacena los archivos de los iconos bmp usados por el programa GUI. Estos archivos de iconos son usados para mostrar varios iconos de dispositivos y botones de control.

**(5)** /usr/local/nctuns/lib

Este directorio almacena las librerías usadas por el motor de simulación. NCTUns soporta protocolos RTP/RTCP/SDP e implementa alguna de sus funciones como una librería que pueden ser llamadas por los programas de aplicación RTP/RTCP/SDP.

Al ejecutar el “install.sh” se instalará un parche de la imagen del kernel de Linux pre-compilada para el NCTUns 4.0. También se construirán todos los programas ejecutables y serán copiados a sus subdirectorios por defecto. Además se crearán 4.096 interfaces de túnel en /dev. Estos pasos pueden tomar algún tiempo.

Durante la instalación el usuario debe estar atento a cualquier mensaje de error que se pueda generar, ya que estos errores pueden provocar que falle la instalación. Algunos de los errores que se pueden presentar se muestran en las figuras 1.1, 1.2 y 1.3 (se recomienda que la máquina se encuentre conectada a Internet, ya que para solucionar algunos problemas se instalarán paquetes que requieren de la descarga de otros paquetes para su correcto funcionamiento).

(1)

```

**                                     **
**      Install NCTUns Kernel          **
**                                     **
STATE: install new nctuns kernel or upgrade older nctuns kernel
error: can't create transaction lock on /var/lib/rpm/__db.000

STATE: You already have the newer version.
STATE: modify grub configure to disable hiddenmenu function and extend timeout limit
/bin/sed: no se puede leer /boot/grub/grub.conf: Permiso denegado

ERROR: sed command failed...
```

**Figura. 1. 1. Error en los previligios de *root***

*Solución:* Para que el usuario pueda ejecutar correctamente el “install.sh” debe tener los privilegios de *root*, es decir, poseer los derechos de superusuario como se muestra en la siguiente figura.

```

[Fernando@localhost NCTUns-4.0]$ su
Contraseña:
[root@localhost NCTUns-4.0]#
```

**Figura. 1. 2. Previliegios de *root***

(2)

```

**                                     **
**      Install and enable rsh-server for command-console          **
**                                     **
STATE: install Xinetd Internet services daemon
STATE: The xinetd daemon is already installed.
STATE: install rsh server
STATE: The rsh server is already installed.
STATE: enable rlogin and rsh
ERROR: /etc/xinetd.d/rlogin do not exist!
ERROR: Please check if you have installed the rsh server
```

**Figura. 1. 3. Error con el *rsh server***

*Solución:* El usuario debe instalar el paquete *rsh-server-0.17-44.fc8.i386.rpm*.

Para evitar un futuro problema se recomienda instalar el paquete *tcl-8.4.17-1.fc8.i386.rpm*

Una vez que la instalación ha finalizado satisfactoriamente, la máquina debe ser reiniciada y el usuario debe escoger el kernel del NCTUns al iniciar. Finalmente el usuario debería leer cuidadosamente el archivo FINALCHECK. Este archivo contiene operaciones importantes que el usuario debe realizar para ejecutar el NCTUns correctamente, entre estas operaciones se encuentran:

**(1) Crear tres variables de entorno**

Antes que el usuario pueda ejecutar el *dispatcher*, el *coordinator* y el programa GUI, el usuario debe crear primero las variables de entorno NCTUNSHOME, NCTUNS\_TOOLS y NCTUNS\_BIN; si se usa bash (intérprete de órdenes de Unix) esto se lo hace agregando las siguientes líneas en el *[.bashrc]* shell file, como se muestra en la figura 1.4. [1]

```
export NCTUNSHOME=/usr/local/nctuns/  
export NCTUNS_TOOLS= /usr/local/nctuns/tools/  
export NCTUNS_BIN= /usr/local/nctuns/bin/
```

```
# .bashrc  
export NCTUNSHOME=/usr/local/nctuns/  
export NCTUNS_TOOLS=/usr/local/nctuns/tools/  
export NCTUNS_BIN=/usr/local/nctuns/bin/  
# Source global definitions  
if [ -f /etc/bashrc ]; then  
    . /etc/bashrc  
fi  
  
# User specific aliases and functions
```

**Figura. 1. 4. Tres variables de entorno**

**(2) Detener el *iptables* service**

Se lo realiza ejecutando el “service iptables stop”, como se muestra en la figura 1.5.

```
[root@localhost Fernando]# /sbin/service iptables stop
[root@localhost Fernando]# /sbin/service iptables status
iptables: Firewall is not running.
```

**Figura. 1. 5. Iptables Service**

También se puede deshabilitar el Firewall al momento que se realiza la instalación del Fedora Core 8.

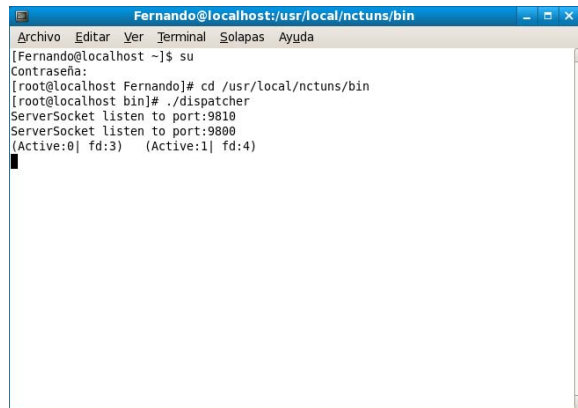
### (3) Deshabilitar el SELINUX

Se lo realiza estableciendo el “SELINUX=disabled” en /etc/sysconfig/selinux, como se muestra en la figura 1.6.

```
# This file controls the state of SELinux on the system.
# SELINUX= can take one of these three values:
#     enforcing - SELinux security policy is enforced.
#     permissive - SELinux prints warnings instead of enforcing.
#     disabled - No SELinux policy is loaded.
SELINUX=disabled
# SELINUXTYPE= can take one of these two values:
#     targeted - Targeted processes are protected,
#     mls - Multi Level Security protection.
SELINUXTYPE=targeted
# SETLOCALDEFS= Check local definition changes
SETLOCALDEFS=0
```

**Figura. 1. 6. Selinux**

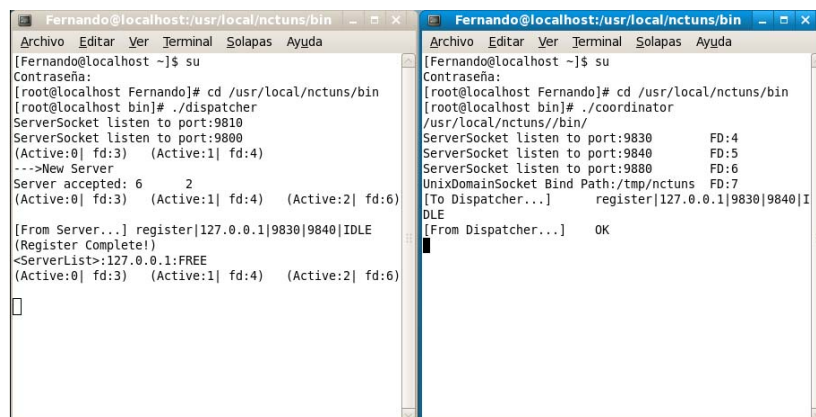
Después de haber realizado estas operaciones el usuario ya puede ejecutar el *dispatcher* el cual se encuentra localizado en /usr/local/nctuns/bin. Hay que recordar que el usuario deber ser usuario de la raíz (user root) para ejecutar el *dispatcher* correctamente. El número de puerto por defecto usado por el dispatcher para recibir mensajes enviados del programa *coordinator* es 9810. El número de puerto 9800 es usado por el *dispatcher* para recibir mensajes enviados del programa GUI. Estas configuraciones por defecto pueden ser encontradas y cambiadas en el archivo dispatcher.cfg, el cual está localizado en /usr/local/nctuns/etc/. La figura 1.7 muestra la ejecución del *dispatcher*.



```
Fernando@localhost:/usr/local/nctuns/bin
[Fernando@localhost ~]$ su
Contraseña:
[root@localhost Fernando]# cd /usr/local/nctuns/bin
[root@localhost bin]# ./dispatcher
ServerSocket listen to port:9810
ServerSocket listen to port:9800
(Active:0| fd:3) (Active:1| fd:4)
```

Figura. 1. 7. *Dispatcher*

Ahora el usuario puede ejecutar el *coordinator*, el cual está localizado en `/usr/local/nctuns/bin`. Hay que recordar que el usuario deber ser usuario de la raíz (user root) para ejecutar el *coordinator* correctamente. Como el *coordinator* necesita registrarse asimismo con el *dispatcher*, se debe permitir que el *coordinator* conozca el puerto usado por el *dispatcher* para recibir los mensajes de registro. Esta información de puerto es especificada y puede ser cambiada en el archivo *coordinator.cfg* localizado en `/usr/local/nctuns/etc/`. La segunda información importante que el *coordinator* debe saber es la dirección IP usada por el *dispatcher*. Si el usuario está usando el modo “single-machine”, la dirección IP puede ser especificada como 127.0.0.1, la cual es la dirección IP por defecto asignada a la interfaz de red “loopback”. En el caso que la dirección IP 127.0.0.1 no funcione, el usuario puede reemplazarla con la propia dirección IP de la máquina. Si el usuario usa el modo “multi-machine” y el *dispatcher* está ejecutándose en una máquina remota, la dirección IP debería ser la dirección IP de la máquina remota. La figura 1.8 muestra la ejecución del *coordinator*. [1]

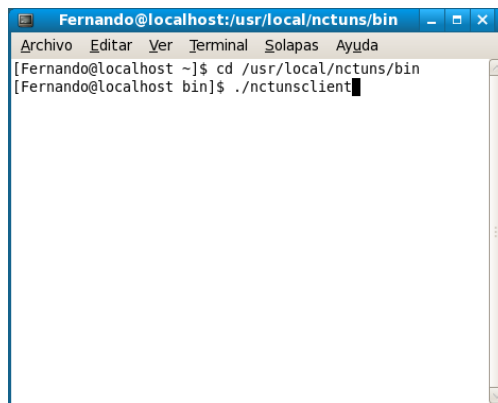


```
Fernando@localhost:/usr/local/nctuns/bin
[Fernando@localhost ~]$ su
Contraseña:
[root@localhost Fernando]# cd /usr/local/nctuns/bin
[root@localhost bin]# ./dispatcher
ServerSocket listen to port:9810
ServerSocket listen to port:9800
(Active:0| fd:3) (Active:1| fd:4)
-->New Server
Server accepted: 6 2
(Active:0| fd:3) (Active:1| fd:4) (Active:2| fd:6)
[From Server...] register|127.0.0.1|9830|9840|IDLE
(Register Complete!)
<ServerList>:127.0.0.1:FREE
(Active:0| fd:3) (Active:1| fd:4) (Active:2| fd:6)

Fernando@localhost:/usr/local/nctuns/bin
[Fernando@localhost ~]$ su
Contraseña:
[root@localhost Fernando]# cd /usr/local/nctuns/bin
[root@localhost bin]# ./coordinator
/usr/local/nctuns//bin/
ServerSocket listen to port:9830 FD:4
ServerSocket listen to port:9840 FD:5
ServerSocket listen to port:9880 FD:6
UnixDomainSocket Bind Path:/tmp/nctuns FD:7
[TO Dispatcher...] register|127.0.0.1|9830|9840|I
DLE
[From Dispatcher...] OK
```

**Figura. 1.8. Coordinator**

Después de que todos los pasos anteriores han sido realizados, finalmente el usuario puede ejecutar el programa GUI del NCTUns llamado *nctunsclient*. Este programa está localizado en /usr/local/nctuns/bin. Para ejecutar el programa GUI satisfactoriamente, el usuario no necesita ser usuario de raíz (*root user*). La figura 1.9 muestra la ejecución del *nctunsclient*.



**Figura. 1.9. Nctunsclient**

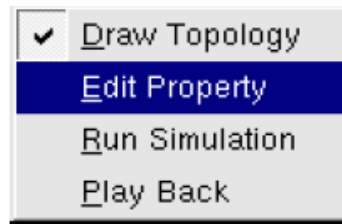
## 1.2 EDITOR DE LA TOPOLOGÍA

Diseñar una topología de red es el primer paso para ejecutar una simulación. Puede ser fácilmente realizada mediante el uso del editor de topología del NCTUns.

### 1.2.1 Cuatro modos de operación

NCTUns dispone de cuatro modos de operación como se muestra en la figura 1.10, los cuales se pueden visualizar de la siguiente manera:

**Menu → File → Operating mode → (Draw Topology, Edit Property, Run Simulation, Play Back)**



**Figura. 1. 10. Cuatro modos de operación**

A continuación una explicación de cada uno de los modos.

**Modo 1: Draw Topology (Dibujo de Topología).** En este modo el usuario puede añadir nuevos nodos/enlaces o eliminar nodos/enlaces para diseñar una topología de red. Si la ruta de movimiento de un nodo móvil necesita ser especificada antes que inicie la simulación, este trabajo debe ser realizado en este modo. Hay que notar que para los nodos móviles de la redes ad-hoc y para los carros móviles en el *ITS*, las rutas de movimiento no son especificadas antes que la simulación inicie.

**Modo 2: Edit Property (Editor de Propiedades).** En este modo, el usuario puede editar las propiedades de un nodo. Por ejemplo, el usuario puede especificar cuales módulos de protocolo deberían ser usados en un nodo y que valores deberían tener los parámetros de esos módulos. El usuario también puede especificar los programas de aplicación que deberían ser ejecutados en un nodo durante la simulación. Sin embargo, en este modo el usuario no puede cambiar la topología de la red que ha sido realizada en el modo 1.

**Modo 3: Run Simulation (Ejecución de la Simulación).** En este modo, el usuario puede ejecutar (run), pausar (pause), continuar (continue), parar (stop), abortar (abort), desconectar (disconnect), reconectar (reconnect) y presentar (submit) una simulación en este modo. Las características de la simulación no pueden ser cambiadas en este modo.

**Modo 4: Play Back (Reproducir).** Después que la simulación ha finalizado, el archivo .ptr (packet animation trace) automáticamente se enviará al programa GUI. El programa GUI automáticamente entrará a este modo. En este modo el usuario puede



representar (play), pausar (pause), continuar (continue), parar (stop) la animación de la transferencia de paquete.

En la barra de herramientas se puede observar **DERP**, estos botones corresponden a los cuatro diferentes modos, respectivamente. Si el usuario necesita cambiar de modo de operación muy seguido, sería muy conveniente usar estos botones para cambiar al modo escogido. El modo que ha sido escogido por el usuario se mostrará en color azul. Cuando la simulación está ejecutándose, todos los botones serán deshabilitados temporalmente. Serán habilitados automáticamente cuando la simulación termine, pare o aborte.

### 1.2.2 Agregando nodos con la barra de herramientas

La barra de herramientas contiene muchos tipos de iconos de dispositivos de red, entre los cuales tenemos:



Host



Hub



Router



Switch



Punto de acceso en *WLAN 802.11(b)*



Nodo móvil en modo *WLAN ad hoc*



Nodo móvil en modo *WLAN infrastructure*



Nodo móvil multi-interfaz (teniendo una interfaz en modo *WLAN ad hoc*, una interfaz en modo *WLAN infrastructure*, un radio *GPRS*, y una interfaz satelital *DVB-RCST*)



Obstáculo (puede bloquear/atenuar señales inalámbricas, bloquear el movimiento de nodos móviles, y bloquear la vista de nodos móviles)



Abstracción de la *WAN (Wide Area Network)*



Subred de hosts

Cuatro tipos de iconos de dispositivos de red relacionados con la emulación:



Host externo



Nodo externo móvil en modo *WLAN ad hoc*



Nodo externo móvil en modo *WLAN infrastructure*



Router externo

Otros iconos de dispositivos de red a continuación:



Router de frontera de la red QoS DiffServ



Router interior de la red QoS DiffServ



Dispositivo GGSN de la red GPRS



Dispositivo SGSN de la red GPRS



Estación base de la red GPRS



Teléfono (radio) de la red GPRS



Pseudo switch de la red GPRS



Switch de circuito de la red óptica



Switch de ráfaga de la red óptica



Herramienta de creación de anillo de protección de redes ópticas



Herramienta de creación de la ruta más corta de la red óptica



Punto de acceso del dual-radio mesh OSPF 802.11(b) (usando el protocolo en enrutamiento OSPF)



Punto de acceso del dual-radio mesh STP 802.11(b) (usando el protocolo Spanning Tree)



Switch dual-radio mesh multi-gateway 802.11(b)



Nodo móvil en modo WLAN infrastructure 802.11(e)



Punto de acceso WLAN 802.11(e)

Los iconos de dispositivos de red para redes *WIMAX* IEEE 802.16(d) son clasificados en dos grupos.

El primer grupo es para el modo PMP e incluyen:



Estación base 802.16(d) en modo PMP



*Gateway subscriber station (SS)* 802.16(d) en modo PMP



*Host subscriber station* 802.16(d) en modo PMP

El segundo grupo es para el modo malla e incluyen:



Estación base 802.16(d) en modo malla



*Gateway subscriber station (SS)* 802.16(d) en modo malla



*Host subscriber station (SS)* 802.16(d) en modo malla

Los iconos de los dispositivos de red para redes satelitales *DVB-RCST* incluyen:



Proveedor del servicio DVB-RCST



Centro de control de red DVB-RCST (NCC)



Terminal satelital de retorno de canal (RCST)



Alimentador DVB-RCST



Puerta de enlace de tráfico DVB-RCST (traffic gateway)



Satélite DVB-RCST



Pseudo switch DVB-RCST

Los iconos para redes vehiculares inalámbricas en sistemas de transporte inteligente están divididos en dos grupos.

El primer grupo es para construir una red de carreteras e incluyen:



Segmento de carretera ITS



Encrucijada ITS



Enlace de carretera ITS



Fusión de carreteras ITS

El segundo grupo incluye carros *ITS* que se desplazan sobre una red de carreteras construidas e incluyen:



Carro ITS con interfaz en modo infrastructure 802.11(b)



Carro ITS con interfaz en modo ad-hoc 802.11(b)



Carro ITS con radio GPRS




Carro ITS con interfaz satelital DVB-RCST

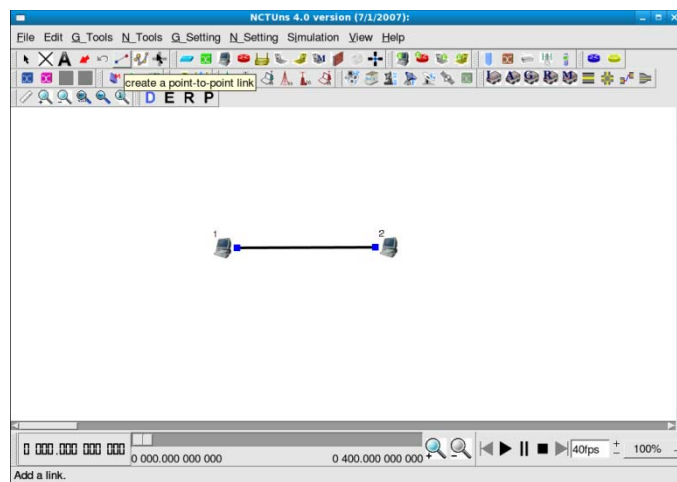


Carro ITS con todas las interfaces anteriores

El usuario puede escoger el dispositivo pulsando el botón izquierdo del mouse sobre el icono en la barra de herramientas. El usuario entonces mueve el cursor del mouse al área

de trabajo y pulsa de nuevo para insertar el dispositivo escogido en la posición actual del cursor. [1]


Una topología de red consiste de nodos y de enlaces entre ellos. Los enlaces pueden ser añadidos fácilmente en la topología de red. El usuario puede pulsar el icono de enlace , mover el cursor a un nodo, pulsar el nodo para fijar el un extremo del enlace, arrastrar el enlace al otro nodo, y después soltar el botón del mouse para fijar el otro extremo del enlace. El usuario observará que una línea recta ha sido creada entre los dos nodos. En la figura 1.11 se mostrará dos nodos conectados mediante un enlace en el área de trabajo.




**Figura. 1. 11. Enlace entre dos nodos**

Cuando nodos y enlaces son añadidos o borrados de una topología de red, el ID de un nodo y el ID de sus puertos (interfaces) serán automáticamente asignado y ajustados por el programa GUI. El programa GUI enumerará de nuevo cada ID de nodo cuando cualquier nodo es eliminado de la topología para asegurarse que los IDs de los nodos sean continuamente enumerados. Para un nodo, cuando uno de sus enlaces es borrado, el programa GUI también enumerará de nuevo los IDs de todos de sus puertos (interfaces) para asegurarse que los IDs de los puertos siempre inicien en 1 y sean continuamente enumerados.


Para ver por donde un nodo móvil se ha movido durante la reproducción de la animación, un ID del nodo es mostrado junto a su icono en todo momento en la pantalla. Un puerto (interfaz) de un nodo de una red fija es representado por un cuadro azul. Para

interfaces inalámbricas como aquellas usadas por nodos móviles *WLAN*, puntos de acceso *WLAN*, teléfonos GPRS, y estaciones base GPRS, son representadas por ondas de señales de propagación inalámbricas , la cual indica la antena utilizada. Por defecto, la antena utilizada es una antena omni-direccional. En este caso, el icono de la antena se muestra como círculos de 360 grados. Si se usa una antena direccional de 60 grados y 3db de ancho de haz, solamente 60 grados de los 360 grados del icono de la antena será mostrado y su orientación es la dirección señalada por la antena direccional. Una antena direccional de 120 grados con 3db de ancho de haz es mostrado de una manera similar.

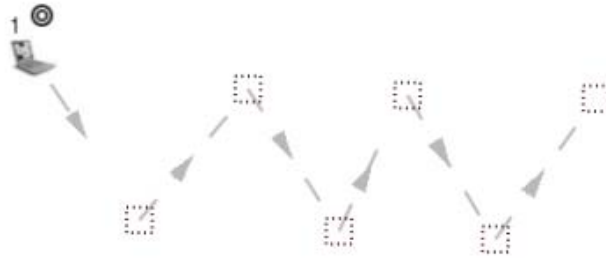
Cuando el usuario cambia al modo “*Edit Property*”, el programa GUI automáticamente genera y asigna direcciones IP y MAC a cada puerto (interfaz) de un dispositivo capa 3. En este modo, si el usuario mueve el curso del mouse y lo ubica sobre la interfaz por un momento, la información de puerto (por ejemplo, su ID del puerto y la dirección IP asignada) será mostrada en la pantalla. Hay que notar que la información mostrada para un puerto capa 1 (por ejemplo, un puerto de un hub) o un puerto capa 2 (por ejemplo, un puerto de switch) solamente contiene la información del ID de puerto.

En un ambiente de una red real, un nodo móvil puede moverse. En el NCTUns para especificar la ruta de movimiento de un nodo, el usuario primero selecciona el icono de ruta de movimiento  en la barra de herramientas. Entonces el usuario pulsa el nodo móvil e inicia desplazando y pulsando el botón izquierdo del mouse repetidamente para construir toda la ruta del movimiento. Esta operación continúa hasta que el usuario pulsa el botón derecho del mouse.

La ruta de movimiento esta compuesta de una secuencia de puntos de inflexión y segmentos. Después que una ruta de movimiento es construida, cualquiera de sus puntos de inflexión puede ser fácilmente movido a cualquier lugar para ajustar la forma de la ruta.

Cada punto de inflexión es representado por un cuadrado entrecortado gris  y contiene su (posición X, posición Y, tiempo de arribo, tiempo de pausa, velocidad de movimiento al siguiente punto) información. Esta información puede ser cambiada pulsando dos veces el cuadrado en el modo “*Edit Property*”.

Si el usuario desea cambiar la ubicación de un punto de inflexión, el usuario puede pulsar el botón izquierdo del mouse sobre el cuadrado, mantenerlo presionado y desplazarlo a cualquier lugar. Cuando un nodo móvil es movido de un punto al siguiente, su velocidad de movimiento es fija. Si el usuario mueve el nodo móvil en lugar de uno de sus puntos de inflexión, toda su ruta de movimiento se moverá. La figura 1.12 muestra los puntos de inflexión de un nodo móvil.



**Figura. 1. 12. Puntos de inflexión**

Hay otras herramientas útiles en la barra de herramientas.

-  Seleccionar
-  Eliminar, borrar
-  Etiqueta
-  Flecha
-  Deshacer
-  Regla
-  Acercar
-  Alejar
-  Zoom en un área
-  Toda la red



Establecer el factor de escala del zoom a 1

A continuación se explican cada uno de los iconos:

La función “**seleccionar**” es la operación más básica. Si el usuario desea mover el icono de un dispositivo, el usuario debe seleccionar esta herramienta. Entonces el usuario pulsa el botón izquierdo del mouse sobre el icono del dispositivo, lo mantiene presionado, y lo desplaza al lugar deseado. Además, si un usuario desea configurar un dispositivo en el área de trabajo debería usar la herramienta “seleccionar” y pulsar dos veces el dispositivo.

La función “**eliminar**” borra o elimina el nodo tocado y todos los enlaces conectados a él.

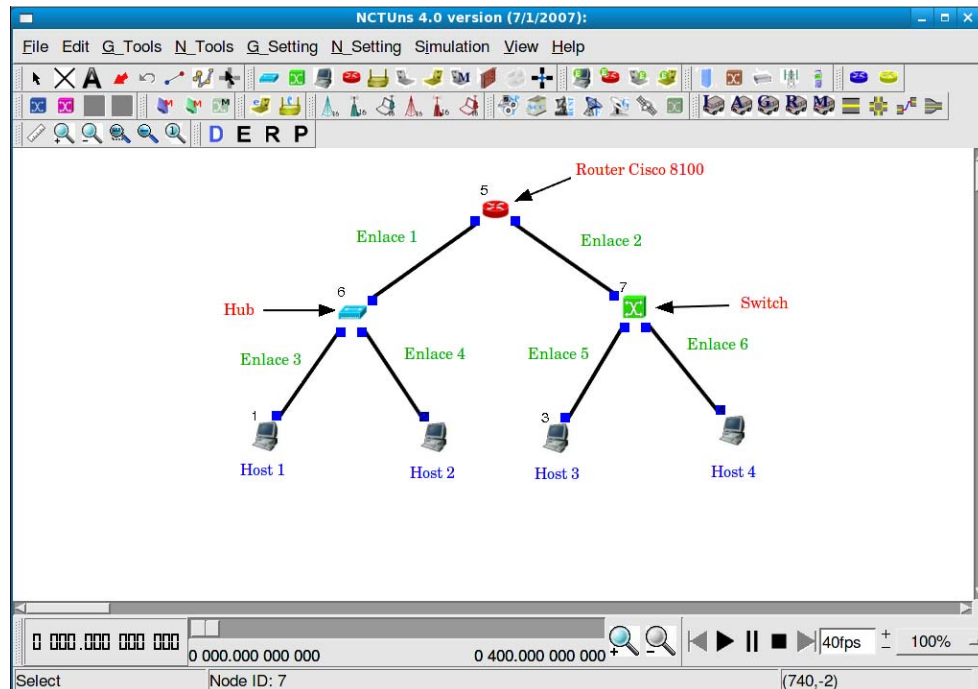
La función “**deshacer**” puede deshacer la última operación de borrado. Esta es una función útil porque a veces los humanos cometen errores y puede tomar mucho tiempo y esfuerzo recuperarse de un error. Hay que notar que para deshacer una operación de “eliminar”, no debería haber otra operación realizada entre las operaciones de “eliminar” y “deshacer”, de lo contrario, la función “deshacer” será deshabilitada del GUI.

La herramienta “**etiqueta**” permite al usuario ingresar una etiqueta como “router Cisco 8100” en la topología de red. El usuario puede establecer el color, fuente, estilo de fuente y el tamaño de la fuente de la etiqueta después que la etiqueta es agregada. Después que la etiqueta es agregada, el usuario puede usar la herramienta “seleccionar” para moverla a cualquier lugar deseado o cambiar sus atributos pulsándola dos veces.

La herramienta “**flecha**” permite al usuario agregar una flecha en la topología de red. Una flecha es agregada de la misma manera que un enlace. El usuario pulsa y mantiene presionado el botón izquierdo del mouse sobre el lugar para fijar la cola de la flecha, luego el usuario desplaza el mouse a la posición deseada y entonces deja de pulsar el botón del mouse para fijar la cabeza de la flecha. El usuario puede mover la flecha en de tres diferentes maneras. Primero, el usuario puede usar la herramienta “seleccionar” para mover la cabeza de la flecha. Segundo, el usuario puede usar la herramienta “seleccionar” para mover la cola de la flecha. Tercero, el usuario puede mover toda la flecha pulsando el botón izquierdo del mouse en el medio de la flecha, mantener presionado el botón, y luego desplazar el mouse. Para cambiar el color y el ancho de la flecha, es usuario puede usar la



herramienta “seleccionar” y pulsar dos veces en cualquier parte de la flecha. La figura 1.13 muestra un ejemplo de una red donde etiquetas y flechas han sido agregadas para hacer la red más legible.

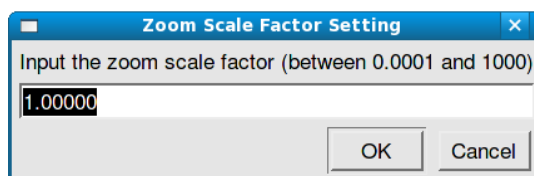


**Figura. 1. 13. Red con etiquetas y flechas**

La operación de la “**regla**” es la misma como crear un enlace entre dos nodos. Un cuadro con un mensaje aparecerá mostrando la distancia (en metros) entre los dos nodos seleccionados. Es usado principalmente para ubicar nodos móviles *WLAN*, puntos de acceso *WLAN*, estaciones base y teléfonos *GPRS*, equipos de usuario y estaciones base *WIMAX*, etc, en lugares adecuados a fin de que sus señales inalámbricas puedan o no alcanzar a otros según lo planeado.


Los botones “**acercar**” y “**alejarse**” están provistos para permitir al usuario visualizar la topología de red en una vista adecuada. Las funciones de algunos de estos botones están ubicados también en **Menu** → **View**. Después de escoger la herramienta “zoom de un área”, el usuario puede usar el mouse para seleccionar una región (área) rectangular a la cual se le va a acercar. Se selecciona una región, pulsando el botón izquierdo del mouse, mantenerlo presionado, y desplazarlo a la esquina diagonal de la región y luego dejar de

pulsar el botón. Normalmente después de ver los detalles de un área, el usuario puede querer que el factor de escala del zoom regrese al valor por defecto que es 1. Esta operación puede ser realizada usando el botón “establecer el factor de escala del zoom a 1”. Si el factor de escala del zoom necesita ser establecido, un usuario puede ejecutar el comando **Menu** → **View** → **Set Zoom Scale Factor**. La figura 1.14 muestra el cuadro de diálogo de esta función.




**Figura. 1. 14. Factor de escala del *zoom***

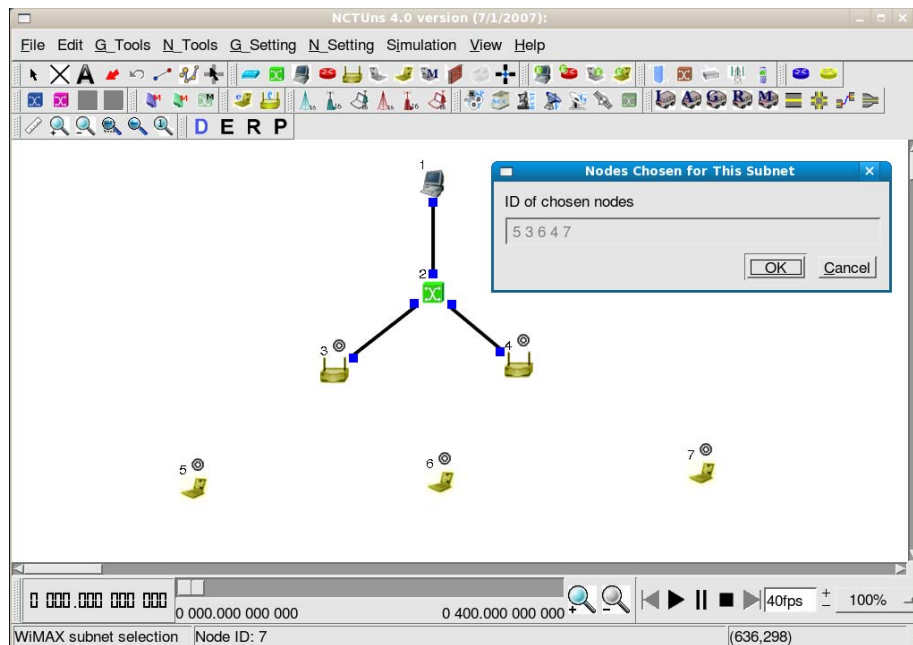
### 1.2.3 Formar una subred inalámbrica

La herramienta “Formar una subred inalámbrica”  es una herramienta muy importante para casos de simulación de redes inalámbricas.

Recordemos que el GUI ahorra tiempo y esfuerzo al usuario, ya que el programa GUI automáticamente identifica subredes y asigna direcciones IP y MAC a interfaces de capa 3. El programa GUI realiza este trabajo muy bien sobre una red cableada porque todos los nodos en la red están conectados y todas las subredes de la red pueden ser identificadas. Sin embargo, para una red inalámbrica donde los nodos móviles son nodos aislados, el programa GUI no tiene la inteligencia para saber cuales nodos móviles y puntos de acceso IEEE 802.11(b) deberían pertenecer a la misma subred. Sin esa información, el programa GUI no puede automáticamente asignar direcciones IP y MAC a los nodos móviles. [1]

Para solucionar este problema, el programa GUI dispone de la herramienta “Formar una subred inalámbrica”  para que el usuario agrupe manualmente los nodos móviles inalámbricos juntos y forme una subred. Para hacer esto, el usuario primero debe seleccionar esta herramienta y entonces usar el botón izquierdo del mouse para pulsar todos los nodos requeridos. Cuando todos los nodos requeridos han sido seleccionados, el usuario pulsa el botón derecho del mouse para terminar el proceso de selección. El usuario

debe usar esta herramienta para seleccionar todos los nodos requeridos y formar una subred. La figura 1.15 muestra un ejemplo del uso de esta herramienta. Para esta red, el usuario debería usar esta herramienta para seleccionar los tres nodos móviles y los dos puntos de acceso y formar una subred.



**Figura. 1.15. Formación de una subred inalámbrica**

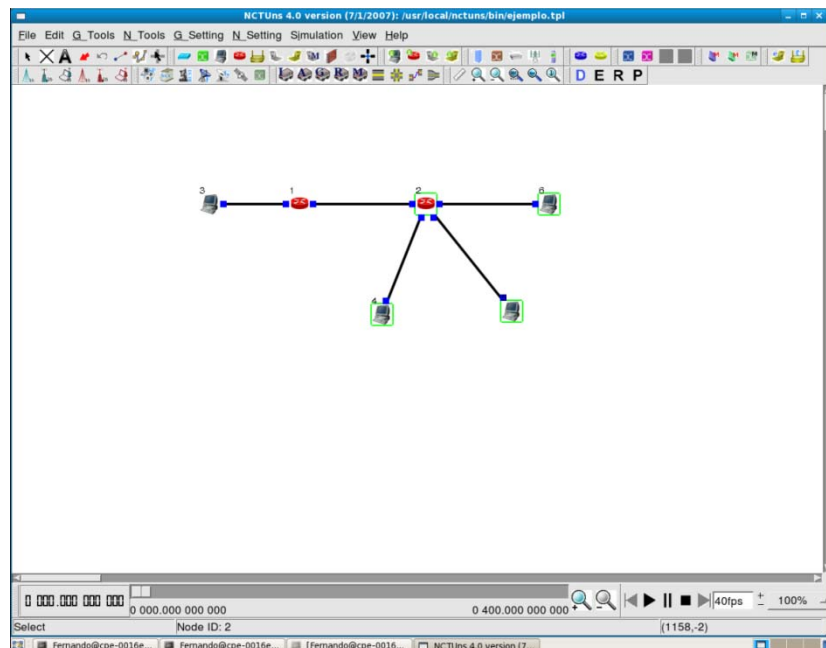
Con esta información, el programa GUI sabe que los tres nodos móviles están en una subred a la cual pertenecen los puntos de acceso. Como tal, las direcciones IP y MAC de estos nodos móviles pueden ser asignadas automáticamente.

#### **1.2.4 Seleccionando un grupo de nodos**

Para ahorrar tiempo y esfuerzo, un usuario puede seleccionar un grupo de nodos y entonces aplicar una operación a todos ellos. Estas operaciones que pueden ser aplicados a un grupo de nodos incluyen (1) mover y (2) eliminar.

Usando la herramienta “seleccionar”, el usuario puede seleccionar un nodo pulsando el botón izquierdo del mouse sobre el nodo. Para seleccionar múltiples nodos, el usuario puede presionar el botón “Ctrl” mientras pulsa estos nodos. Otro método es usar la herramienta “seleccionar” para dibujar un área rectangular para seleccionar todos los nodos

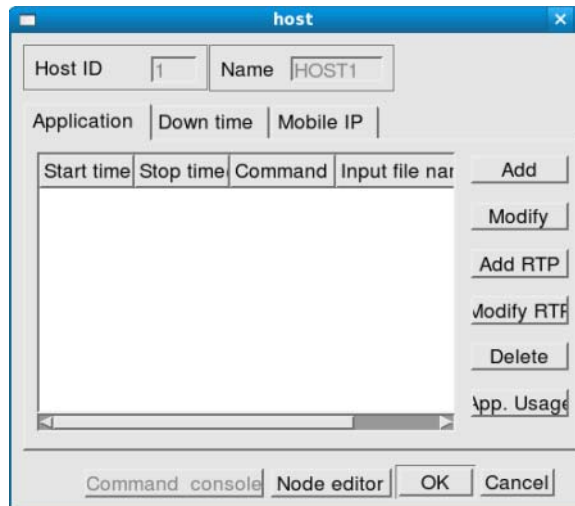
en esa área. Para dibujar un área rectangular, cuando la herramienta “seleccionar” es usada el usuario puede pulsar el botón izquierdo del mouse sobre un punto, mantener presionado el botón, y desplazarlo a otro punto. La figura 1.16 muestra el resultado de una posible selección.



**Figura. 1.16. Selección de un grupo de nodos**

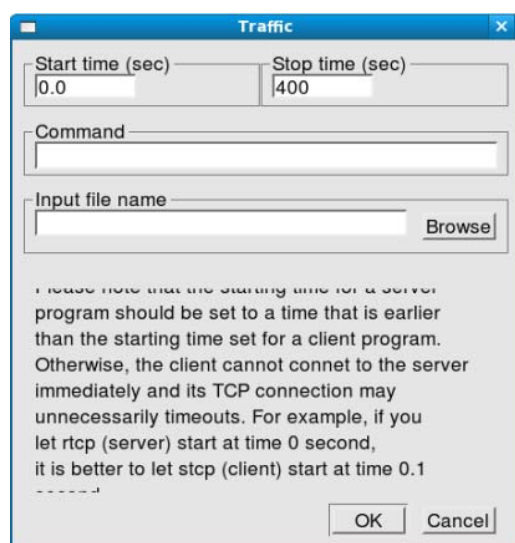
## 1.2.5 Estableciendo los atributos de los nodos

Después de que los nodos son añadidos, el usuario puede entrar al modo “Edit Property” para establecer los atributos detallados de cualquiera de los nodos pulsando dos veces el icono. Varios atributos y funciones como “*Application*”, “*Down Time*”, y “*Command Console*” se prestan para muchos tipos de dispositivos. En la figura 1.17 se muestra un cuadro de dialogo de *host*, y después se explicarán sus usos. [1]



**Figura. 1. 17. Atributos del nodo**

En la pestaña de “**Application**”, el usuario puede especificar cuales programas de aplicación deberían ser ejecutados en este nodo. Dentro de esta función, el usuario puede pulsar el botón “Add” para ingresar una cadena de comandos en el campo “Command”, el “start time” (tiempo de inicio), el “stop time” (tiempo de parada) y el argumento del programa específico. El usuario puede usar el botón “Modify” para modificar lo que se ingreso anteriormente o usar el botón “Delete” para eliminar lo que se ingreso. Los botones “Add RTP” y “Modify RTP” son para simulaciones RTP. La figura 1.18 muestra el cuadro de diálogo después de que el botón “Add” es presionado.



**Figura. 1. 18. Cuadro de diálogo del botón “Add”**

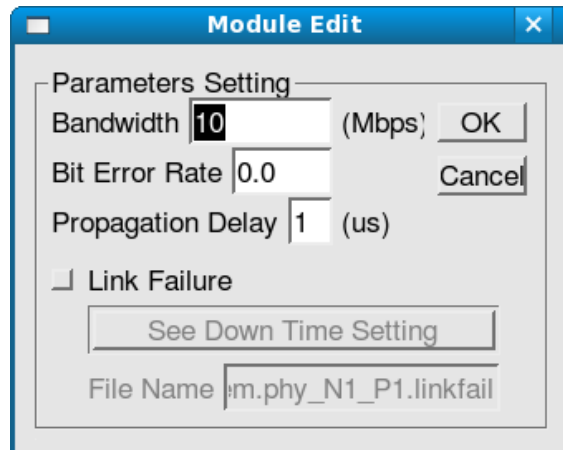
Si el programa de aplicación necesita leer un archivo de configuración cuando es ejecutado, la ruta y el nombre de este archivo también debe ser ingresado con el resto de la información. De lo contrario, el programa GUI no tendrá la inteligencia para mover el archivo de configuración necesitada a la máquina remota (o local) del “*simulation server*”. Para especificar la ruta y el nombre del archivo se usa la función “Browse” del cuadro de dialogo de “Add”.

Por ejemplo, supóngase que cuando el programa de aplicación stg se ejecute, se quiere leer en un archivo de configuración llamado trace.cfg y este archivo está ubicado en /usr/local/testuser, entonces la cadena de comando ingresada debería ser “stg -i trace.cfg ...” y el campo “Input file name” debería ser “/usr/local/testuser/trace.cfg”, el cual puede ser realizado con la función “browse”.

Hay que notar que el propósito de dar la ruta y nombre del archivo en el campo “Input file name” es para que el programa GUI pueda localizar satisfactoriamente el archivo y lo transfiera a la máquina del “*simulation server*”. En la máquina del “*simulation server*”, el archivo transferido es ubicado en el mismo directorio de todos los archivos de descripción de simulación como \*.tcl. Por tanto, la ruta del archivo (por ejemplo, /usr/local/testuser/trace.cfg) no debería ser dado en la cadena de comandos como un argumento a la aplicación. Por el contrario, solo su nombre de archivo (por ejemplo, test.cfg) debería ser dado en la cadena de comandos.

Por ejemplo, la cadena de comandos no debería ser algo como “stg -i /usr/local/testuser/trace.cfg ..”. Esto es porque la máquina GUI y la máquina de simulación pueden ser máquinas diferentes y usar sistemas de archivos diferentes. Una ruta de archivo usada en la máquina GUI puede referirse a nada en la máquina de simulación. Desde que el motor de simulación almacena el archivo de configuración especificado en el directorio de trabajo de su caso de simulación, el cual es también el directorio de trabajo de todos los programas de aplicación para este caso, el nombre del archivo dado al programa de aplicación puede ser y debería ser solamente el nombre de archivo sin cualquier especificación de ruta.

En cuanto a la pestaña “**Down time**” (tiempo de inactividad), el usuario puede establecer los intervalos durante los cuales el nodo esta *down* (no puede enviar ni recibir ningún paquete). Los periodos de *down time* especificados aquí serán propagados y establecidos en los módulos Phy (o WPhy) de todas las interfaces de nodos. Esto es porque los módulos Phy es el lugar correcto para deshabilitar o habilitar la transmisión y recepción de paquetes. El cuadro de diálogo del módulo Phy se muestra en la figura 1.19.

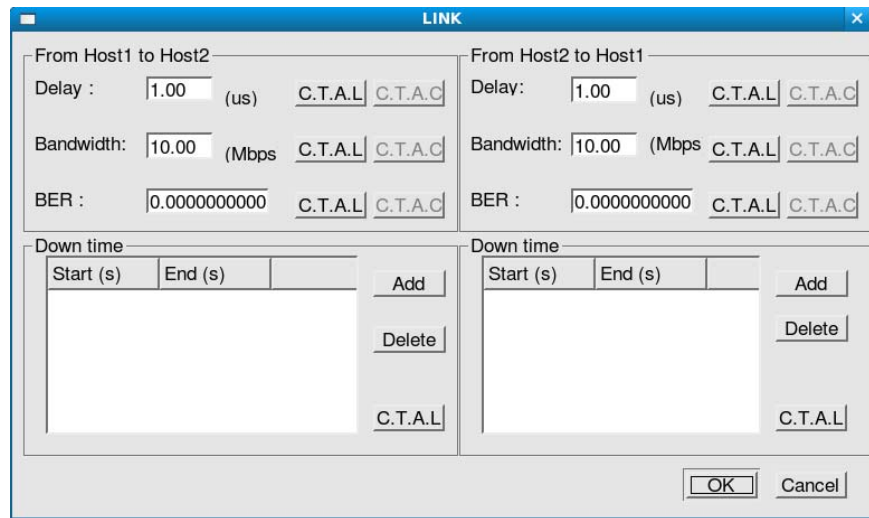


**Figura. 1.19.** El módulo *Phy* en el editor de nodo

Para el efecto del establecimiento del *down time* de una interfaz, el usuario necesita abrir el *note editor* (editor de nodo) del nodo, pulsar dos veces en el módulo de la capa física de la interfaz (PHY, WPHY, AWPKY o OPT\_PHY), y asegurarse que la opción “Link Failure” sea revisada. Si esta opción no es revisada apropiadamente, los periodos de *down time* de la interfaz que provienen ya sea de un nodo o de un enlace no tendrán efecto durante la simulación. Para ver el actual *down time* en interfaz, el usuario puede pulsar el botón “See Down Time Setting”.

El usuario también puede establecer los periodos de *down time* de un enlace. Pulsando dos veces un enlace, el cuadro de dialogo de las propiedades del enlace se mostrará. En el cuadro de dialogo, el usuario puede establecer el ancho de banda (bandwidth) del enlace, el retraso de la señal de propagación (signal propagation delay), la tasa de error de bit (BER), y los periodos de *down time* para cada dirección del enlace. Si el enlace es un enlace óptico con múltiples canales, el mismo cuadro de dialogo puede ser

usado para establecer las propiedades de cada canal. La figura 1.20 muestra el cuadro de diálogo de propiedades de un enlace.



**Figura. 1. 20. Cuadro de diálogo de propiedades de enlace**

El botón C.T.A.L significa “*Copy To All Channels*” (de este enlace seleccionado). Esta función es habilitada únicamente cuando el usuario está especificando las propiedades de un canal de un enlace óptico. (Cuando se pulsa dos veces en un enlace óptico, el GUI preguntará primero al usuario cual canal del enlace el usuario quiere configurar). Pulsando este botón se copiará el valor actual del campo al mismo campo de todos los canales del enlace seleccionado. Sin embargo, el mismo campo de los canales de todos los otros enlaces no será afectado. Este botón puede ahorrar al usuario mucho tiempo, cuando el usuario quiere cambiar las propiedades de todos canales de un enlace óptico a una configuración específica.

El botón C.T.A.L significa “*Copy To All Links*” (y a todos de sus canales). Pulsando este botón se copiará el valor actual del campo al mismo campo de todos los enlaces (y a todos de sus canales si son enlaces ópticos) en la red simulada. Este botón puede ahorrar al usuario mucho tiempo. Por ejemplo, si el usuario desea configurar en ancho de banda de todos los enlaces a 20 Mbps, el usuario puede abrir cualquier cuadro de diálogo en propiedades de enlace, cambiar el ancho de banda de 10 a 20 Mbps, y entonces pulsar el botón “C.T.A.L” junto al campo de ancho de banda. El ancho de banda de todos los enlaces (y sus canales si hay alguno) en la red simulada será cambiado a 20 Mbps.



Como los enlaces son bidireccionales, el usuario puede especificar separadamente los periodos de *down time* para cada dirección del enlace. Los periodos de *down time* especificados para una dirección del enlace son automáticamente propagados y configurados en el módulo de la capa física del nodo. Por lo tanto, los periodos de *down time* configurados en el módulo de la capa física de una interfaz en realidad es la unión de los periodos de *down time* del nodo al cual la interfaz está atada y los periodos de *down time* del enlace al cual la interfaz está conectado.

Además de la información del *down time*, otros atributos del enlace pueden ser automáticamente propagados a los módulos apropiados de los dos nodos conectados a este enlace. Por ejemplo, el ancho de banda (*bandwidth*), el retraso de la señal de propagación (*signal propagation delay*), y la tasa de error de bit (*BER*) son propagados y configurados en los correspondientes módulos de la capa física. Cabe señalar que este proceso automático de propagación de parámetros anulará la configuración especificada por el usuario en el editor de nodo para ese módulo de la capa física. El programa GUI adopta este diseño porque es más intuitivo configurar los atributos de un enlace pulsándolo dos veces. Ingresando individualmente a los editores de nodo de los dos nodos conectados al enlace para configurar sus atributos de enlace es menos intuitivo y puede resultar en configuraciones incompatibles.

El botón “**Command console**” se presenta en los cuadros de diálogo de varios nodos. Esta función es habilitada solamente cuando una simulación está ejecutándose. El usuario puede usar esta consola para ingresar en el nodo actual. Luego aparecerá una ventana de terminal. En esta ventana de terminal, el usuario puede ejecutar el programa *tcpdump* para capturar paquetes que pasan a través de uno de estos interfaces de nodo o lanzar programas de aplicación en este nodo en tiempo de ejecución. La figura 1.21 muestra un uso del “Command console” en el cual el *tcpdump* está capturando paquetes.

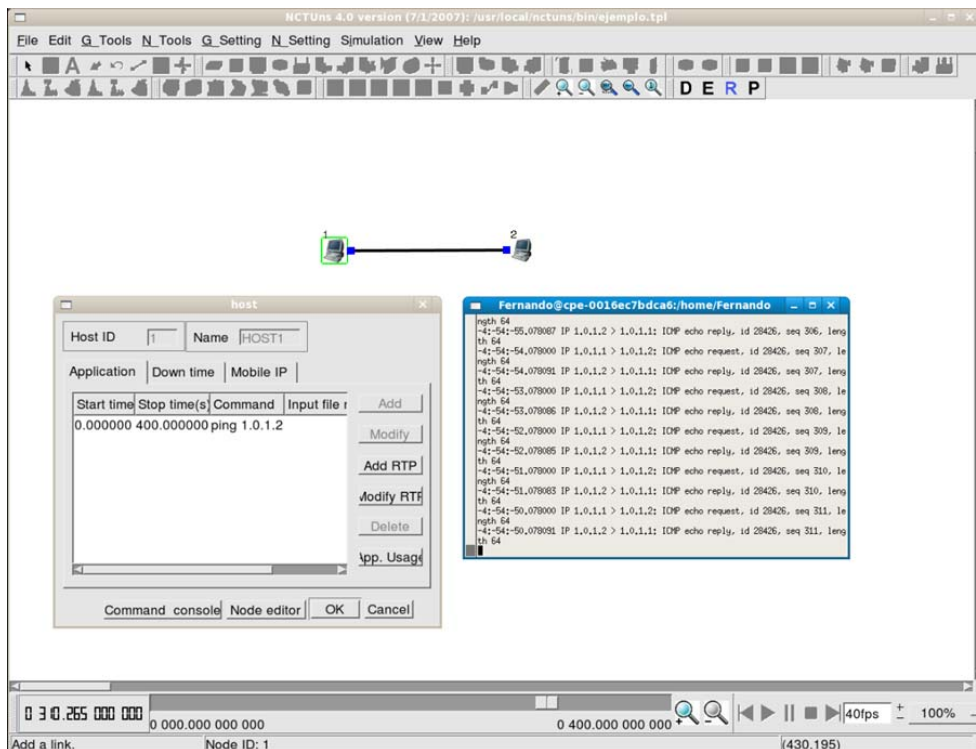


Figura. 1. 21. El “Command Console” invocado durante la simulación

Para un router, suponiendo que el usuario quiere capturar los paquetes que fluyen a través de una de sus interfaces y la dirección IP asignada a esta interfaz particular es 1.0.2.3, entonces lo que el usuario hace primero es ejecutar el comando “ifconfig -a” para averiguar la información acerca de todas las interfaces del router, luego de la salida obtenida, el usuario puede encontrar el nombre de la interfaz deseada a la cual esta asignada la dirección IP 1.0.2.3. En el NCTUns, un nombre de interfaz está en el formato *ethXXX*, donde XXX es el ID del puerto de la interfaz. Después de encontrar el nombre de la interfaz deseada, el usuario puede ejecutar el siguiente comando “*tcpdump -i ethXXX*” para lanzar el programa tcpdump. Todas las opciones tcpdump son soportadas. Esto significa que el usuario puede usar cualquier regla de filtrado de paquete como “*tcpdump -i eth2 src 1.0.2.1*” o “*tcpdump -i eth3 -w tdump.log dst port 8002*”.

Este “Command console” es una función muy útil. El usuario puede usar esta consola para lanzar programas de aplicación en tiempo de ejecución para generar tráfico. Por ejemplo, mientras la simulación está ejecutándose, el usuario puede abrir un “Command console” del nodo receptor para lanzar el programa de recepción TCP “*rtcp -p 8000*” y entonces abrir el “Command console” del nodo emisor para lanzar el programa de

envío TCP “`step -p 8000 1.0.1.2`”, asumiendo que el nodo receptor tiene asignada a su interfaz la dirección IP 1.0.1.2.

Además, ejecutando el comando ping en un “Command console” es muy útil. Esto puede ayudar a un usuario a averiguar si el camino de enrutamiento entre los dos nodos ha sido correctamente configurado durante la simulación.

El motor de simulación del NCTUns es un motor de simulación de eventos discretos. Así, su reloj de simulación puede avanzar más rápido que el reloj real. Para permitir que el usuario se tome su tiempo para escribir comandos en el “Command console”, se sugiere que la velocidad de simulación se establezca a “As fast as the real-world clock” (tan rápido como el reloj real), lo cual puede ser realizado en **Menu** → **G\_Setting** → **Simulation** → **[Speed tab]** en lugar del que se encuentra por defecto que es “As fast as possible”.

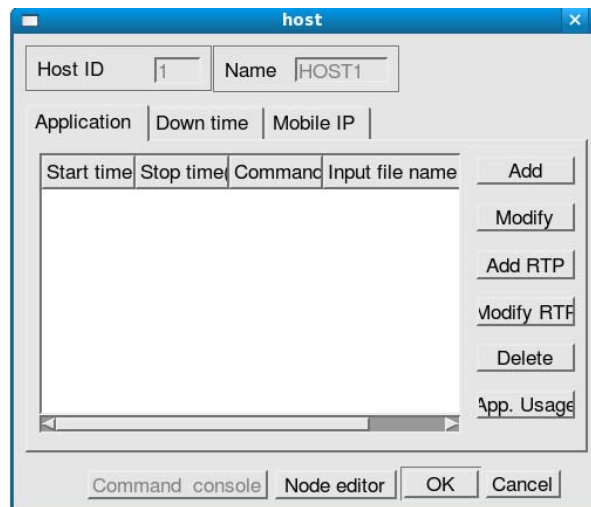
Para quitar el “Command console”, el usuario puede usar el mouse para cerrar la ventana. Además, todos los comandos de consola automáticamente serán cerrados por el programa GUI cuando la simulación termine, pare, aborte o desconecte.

Hay que notar que el archivo de salida generado por un programa de aplicación invocado en el “Command console” será devuelto al directorio *XXX.results* del caso de simulación en la máquina GUI. Por ejemplo, el `tdump.log` generado por el anterior comando “`tcpdump -i eth3 -w tdump.log dst port 8002`” será transferido y almacenado en el directorio *XXX.results* del caso.

Además, cada dispositivo tiene sus propias pestañas, como se muestran en las siguientes figuras.

- **Host**

En la figura 1.22 se muestra el cuadro de diálogo de un *host*.



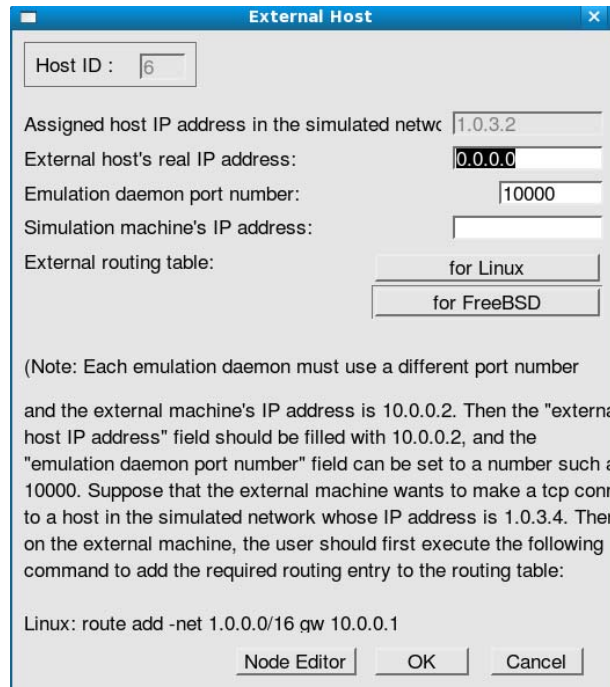
**Figura. 1. 22. Pestañas de un *host***

La pestaña de “**Mobile IP**” está relacionada con el protocolo *Mobile IP*. NCTUns soporta el protocolo *Mobile IP*, incluyendo el esquema básico y el esquema de optimización de ruta (RO) avanzada. Los tipos de nodos involucrados en *Mobile IP* son *host* (*host* correspondiente), nodo móvil (en modo infraestructura), y *routers* (donde el agente local o el agente extranjero está ejecutándose). Todos estos tipos de nodos tienen la pestaña *Mobile IP*.

Los botones “Add RTP” y “Modify RTP” son para los protocolos RTP, RTCP y SDP. El usuario puede usar “Add RTP” para especificar los varios parámetros dados a un programa de aplicación RTP. Igual que el botón “Modify”, el botón “Modify RTP” es usado para modificar una cadena de comandos generados por una operación anterior “Add RTP”. El botón “Delete” es un botón de propósito general y puede ser usado para borrar una entrada de aplicación RTP o no RTP.

- **Host, nodos móviles y router externos**

En la figura 1.23 se muestra el cuadro de diálogo de un *host* externo.

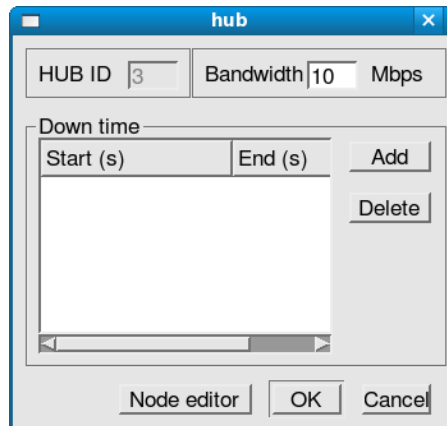


**Figura. 1.23. Host externo**

Host, nodo móvil en modo ad-hoc, nodo móvil en modo infraestructura o *router* externos representan dispositivos reales. Ellos son usados para propósitos de emulación.

- **Hub**

En la figura 1.24 se muestra el cuadro de diálogo de un *hub*.

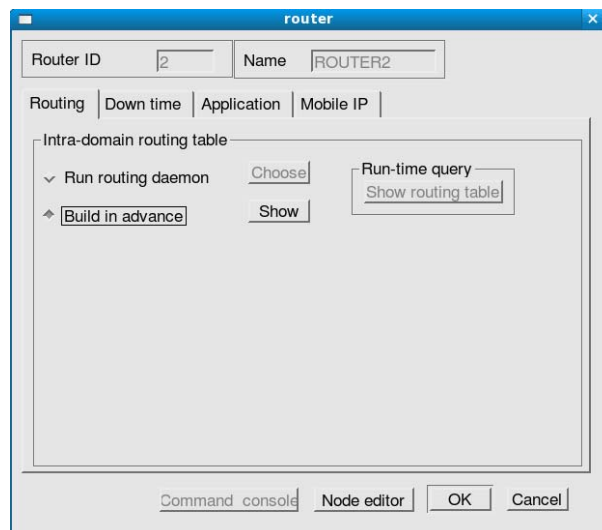


**Figura. 1.24. Hub**

Porque cada puerto de un hub debe usar el mismo ancho de banda, existe aquí un campo para configurar el ancho de banda del hub.

- **Router**

En la figura 1.25 se muestra el cuadro de diálogo de un *router*.



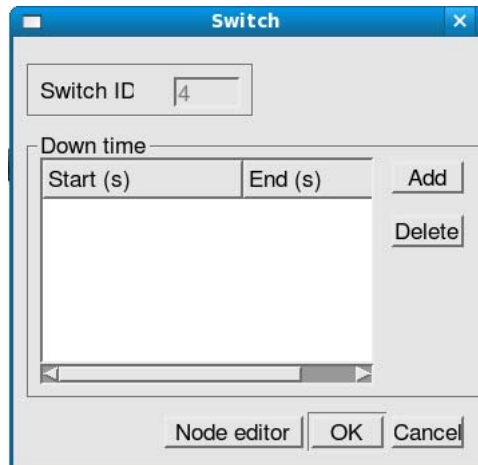
**Figura. 1.25. Router**

En este cuadro de diálogo, el usuario puede especificar si todos los routers en el caso deberían ejecutar los *daemons* de enrutamiento (por ejemplo, RIP, OSPF) para construir sus tablas de enrutamiento o si sus tablas de enrutamiento deberían ser calculadas por el programa GUI. Se puede realizar la búsqueda del contenido

de la tabla de enrutamiento en tiempo de ejecución pulsando el botón “*Show routing table*” cuando la simulación este ejecutándose.

- **Switch**

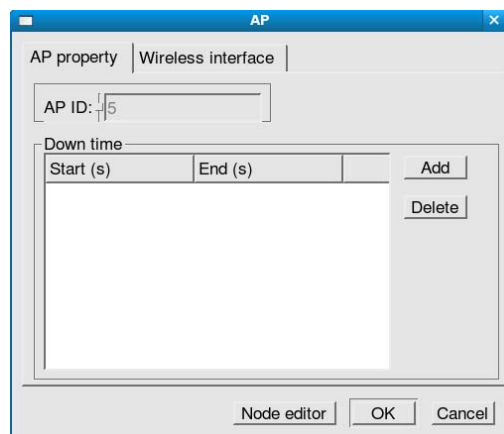
En la figura 1.26 se muestra el cuadro de diálogo de un *switch*.



**Figura. 1.26. Switch**

- **Punto de acceso (Access Point)**

En las figuras 1.27 y 1.28 se muestran las pestañas del cuadro de diálogo de un punto de acceso.



**Figura. 1.27. Pestaña “AP property” en un punto de acceso**

Bajo la pestaña “**AP Property**”, el usuario puede configurar los periodos de *down time* para el punto de acceso.

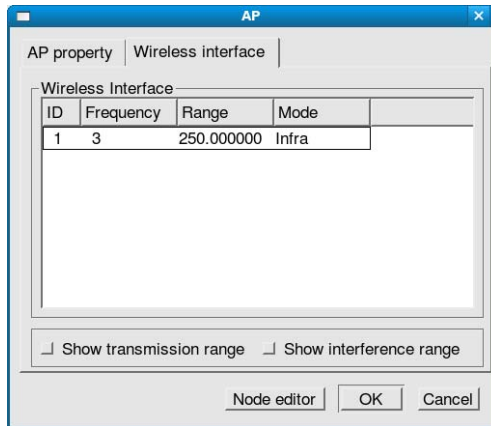


Figura. 1. 28. Pestaña “*Wireless Interface*” en un punto de acceso

Bajo la pestaña “**Wireless Interface**”, el usuario puede examinar los atributos de la interfaz (por ejemplo, el canal de frecuencia usado y el rango de transmisión de la señal inalámbrica).

- **Nodo móvil (modo infraestructura y ad-hoc)**

En la figura 1.29 se muestra el cuadro de diálogo de un nodo móvil.

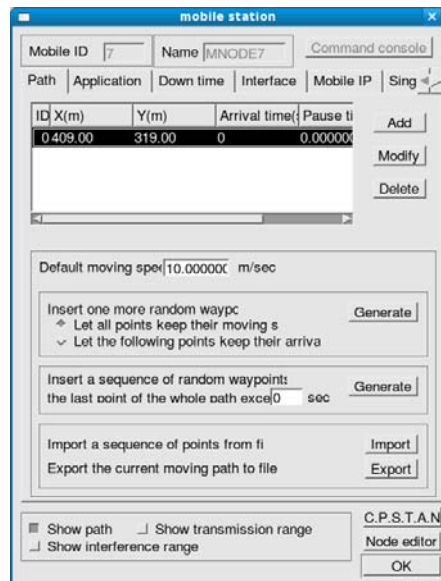


Figura. 1.29. Nodo móvil



Un poderoso y flexible cuadro de diálogo de configuración es provisto para los nodos móviles WLAN. Bajo la pestaña “**Path**” se puede configurar la velocidad de movimiento, ubicación(X, Y) de cada punto de inflexión, la duración del tiempo de pausa en el cual un nodo móvil permanece en un punto.

Para agregar un punto de camino en medio de una ruta existente, el usuario primero puede usar el mouse para pulsar el apropiado punto de inserción en el cuadro de diálogo “Path” y entonces pulsar el botón “Generate”. Existen dos métodos de ajuste. En el método “*Let all points keep their moving speeds*”, el tiempo de arribo del nuevo punto será calculado basado en la velocidad del punto anterior y en la distancia entre el punto anterior y el nuevo punto. Los tiempos de arribo de todos los puntos que le siguen a este nuevo punto pueden ser cambiados. Por otro lado, en el método “*Let the following points keep their arrival times*”, el tiempo de arribo del nuevo punto puede ser especificado pero los tiempos de arribo de los puntos que le siguen al nuevo punto seguirán siendo el mismo. Para hacerlo, la velocidad de movimiento entre el punto anterior y el nuevo punto puede ser cambiado. Además, la velocidad de movimiento entre el nuevo punto y el siguiente punto debe ser automáticamente calculado por lo que el tiempo de arribo del siguiente punto no necesita ser cambiado. [1]

Para generar una ruta de puntos de referencia aleatoriamente, existen varios métodos. El usuario puede pedir al programa GUI que genere aleatoriamente puntos de referencia sobre la marcha; ya sea un punto a la vez o pedirle que se mantenga generando puntos de referencia hasta que el tiempo de arribo del último punto de referencia exceda el tiempo especificado. El usuario puede también importar la ruta de un nodo móvil de un archivo existente \*.mpt. Cada línea en un archivo mpt representa un punto de referencia y su formato es (X\_pos, Y\_pos, Arrival Time, Pausa Time, Moving Speed). Este archivo puede ser generado por un programa (por ejemplo, un simulador de tráfico vehicular) o como resultado de exportar la ruta de movimiento de un nodo móvil. En el editor de topología, el usuario puede también arrastrar y soltar el mouse para directamente ubicar los puntos de referencia de la ruta.

Bajo la pestaña “**Single-hop connectivity**”, el programa GUI calculará y mostrará en que tiempo este nodo móvil puede/no puede alcanzar otros nodos móviles en su rango de transmisión single-hop (único salto).

Bajo la pestaña “**Multi-hop connectivity**”, el programa GUI calculará y mostrará en que tiempo este nodo móvil puede/no puede alcanzar otros nodos móviles a través de múltiples saltos, a través de la ayuda del modo *ad-hoc forwarding*.

Estas dos funciones son usadas para comparar resultados de investigación con los resultados ideales. La salida de estas dos funciones representan los caminos de enrutamiento más exactos e ideales. Estas dos funciones son significativas solamente cuando el módulo *wireless* usado es el *simple WPHY*, el cual tiene un rango de transmisión específico y no es muy real. Cuando el módulo *wireless* usado es el *advanced AWPHY*, el cual no tiene un rango de transmisión claro pero es más real, las dos funciones de conectividad no son muy significativas. [1]

Bajo la pestaña “**Interface**”, el usuario puede examinar los atributos de la interfaz (por ejemplo, el canal de frecuencia usada y el rango de transmisión de la señal inalámbrica).

El botón “**C.P.S.T.A.N**” significa “*Copy Protocol Stack To All Nodes*”. Si el usuario ejecuta esta función, la pila de protocolo usado por este nodo móvil *WLAN* será copiado a todos los nodos móviles con el mismo modo de operación. Esto es, la pila de protocolo de todos los otros nodos móviles *WLAN* con el mismo modo de operación será reemplazada por el actual. Por ejemplo, si un nodo móvil *WLAN* actual es un nodo móvil en modo ad-hoc, su pila de protocolo será copiada a todos los nodos móviles.

El “**C.P.S.T.A.N**” es una función útil. Supóngase que el usuario quiere comparar los rendimientos de dos diferentes protocolos de enrutamiento (A y B), el usuario puede probar el rendimiento de estos dos módulos de protocolos bajo la misma topología de red y configuración. Esto es, la ubicación inicial y las rutas de movimiento de todos los nodos móviles en estos dos casos deberían ser

exactamente el mismo; la diferencia debería ser solamente en la pila de protocolo usada.

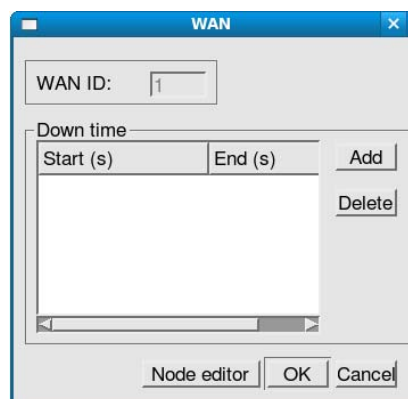
Con esta función, esta tarea puede ser fácilmente realizada en los siguientes pasos.

- (1) El usuario primero prueba el rendimiento de módulo de protocolo en un caso de simulación.
- (2) El usuario ejecuta el comando **Menu** → **File** → **Save As** para salvar el caso actual en otro.
- (3) En el nuevo caso, el usuario invoca cualquier editor de nodo del nodo móvil para reemplazar el módulo de protocolo A por el módulo de protocolo B en la pila de protocolo del nodo.
- (4) El usuario usa el botón *C.P.S.T.A.N* para reemplazar las pilas de protocolo de todos los otros nodos móviles con el nuevo.
- (5) Finalmente, el usuario ejecuta el nuevo caso de simulación y obtiene el resultado del rendimiento del módulo de protocolo B bajo la misma topología de red y configuración.

La tarea anterior puede ser fácilmente realizada ejecutando los comandos **Menu** → **G\_Tools** → **Export Mobile Nodes and Their Paths to File** y **Menu** → **G\_Tools** → **Import Mobile Nodes and Their Paths from File** y el comando **Menu** → **G\_Tools** → **Import Network Traffic Application File**.

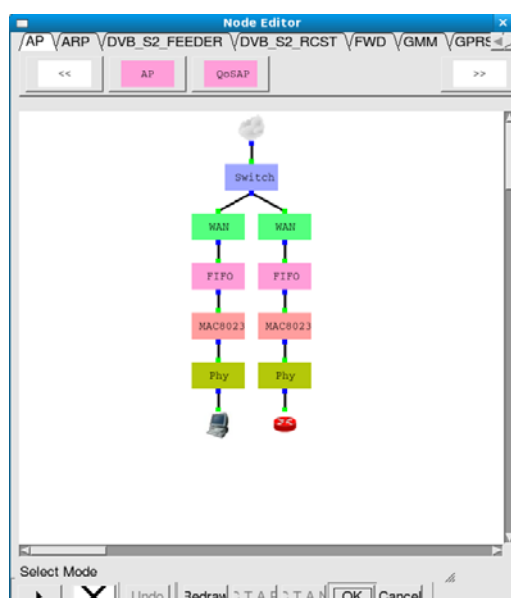
- **WAN (Wide Area Network Abstraction)**

En la figura 1.30 se muestra el cuadro de diálogo de una *wan*.



**Figura. 1.30. WAN**

Una *WAN* es un nodo de capa 2 que simula varias propiedades de una *Wide-Area-Network*. Puede demorar, disminuir y/o reordenar los paquetes que pasan de acuerdo a una distribución especificada. Dentro del motor de simulación, una *WAN* es implementada como un switch capa 2 con solamente dos puertos. Las funciones de disminución, retraso y reordenamiento de paquetes son logradas a través del módulo *WAN* usado en el nodo *WAN*. En un nodo *WAN*, un módulo *WAN* existe en cada uno de sus dos puertos. Este módulo retrasa, disminuye y/o reordena los paquetes salientes del puerto. El flujo de paquetes que atraviesa una *WAN* puede recibir diferentes tratamientos. La figura 1.31 muestra el editor de nodo de una *wan*. [1]



**Figura. 1.31. Un módulo WAN en cada puerto de un nodo WAN**

En el cuadro de diálogo de parámetros de un módulo *WAN*, la función de retraso, disminución y reordenamiento de paquetes puede ser usado independientemente. Soporta distribuciones de tiempo de retardo constante, uniforme, exponencial y normal. La figura 1.32 muestra el cuadro de diálogo de un módulo *WAN*.

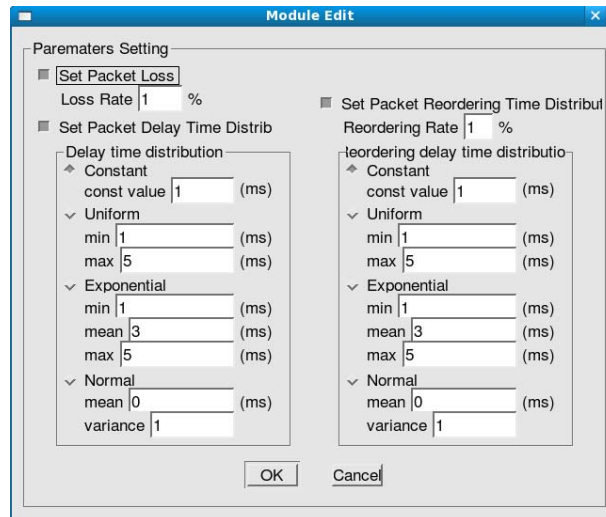


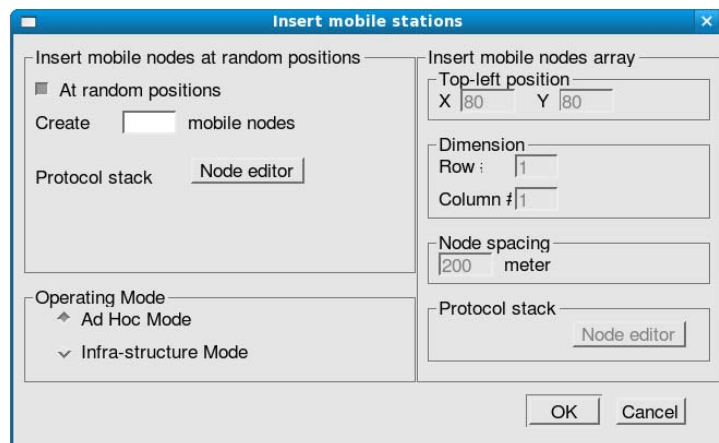
Figura. 1.32. Cuadro de diálogo de parámetros de un módulo WAN

## 1.2.6 Otros métodos para agregar nodos móviles

Además de la simple manera mediante la cual el usuario del GUI pulsa el mouse para agregar un nodo móvil a la vez, hay otros métodos que pueden ser usados para agregar múltiples nodos móviles en solo un paso.

### 1. Insertar múltiples nodos móviles

El usuario puede insertar múltiples nodos móviles usando la misma pila de protocolo y los parámetros de configuración ejecutando un solo comando. Cada clase de redes inalámbricas dispone de sus propios comandos para este propósito y estos comandos están localizados en **Menu** → **N\_Tools**. La figura 1.33 muestra el cuadro de diálogo de este comando para redes WLAN IEEE 802.11(b). Los nodos móviles agregados pueden ser ubicados en posiciones aleatorias o en un arreglo MxN. Su modo de operación puede ser escogido.



**Figura. 1.33. Cuadro de diálogo para insertar nodos móviles**

El usuario puede generar un número extenso de nodos móviles *WLAN* que usen la pila de protocolo que no sea el predeterminado. Para hacer esto, el usuario primero puede invocar el editor de nodo en este cuadro de diálogo para especificar la pila de protocolo usado por estos nodos móviles. Si esta operación no es realizada antes de agregar el gran número de nodos, el usuario después debe invocar los editores de nodo de todos los nodos móviles para configurar sus pilas de protocolo individualmente.

## **2. Importar/Exportar nodos móviles y sus rutas de/hacia un archivo (Import/Export Mobile Nodes and Their Paths from/to File)**

Estos dos comandos están localizados en **Menu** → **G\_Tools**. La función importar carga todos los nodos móviles y sus rutas de movimientos de un archivo\*.mdt, mientras que la función exportar guarda la misma información en un archivo mdt. [1]

Es conveniente y útil para un usuario guardar las rutas de movimiento de los nodos móviles a un archivo y luego recargarlos para usarlos de nuevo. Por ejemplo, para comparar el rendimiento relativo de varios protocolos de enrutamiento de redes ad-hoc móviles bajo el mismo patrón de movimiento, el usuario puede:

- (1) Crear un caso de simulación en la cual los nodos móviles se muevan en un patrón deseado.
- (2) Exportar estos nodos móviles y sus rutas de movimiento a un archivo mdt.

- (3) Crear un nuevo caso de simulación para estudiar el rendimiento de los diferentes protocolos de enrutamiento.
- (4) Importar el mismo archivo mdt en cada uno de estos casos de simulación.
- (5) Usar el botón “Node Editor” en el cuadro de diálogo de un nodo móvil para utilizar el módulo del protocolo de enrutamiento deseado.
- (6) Usar el botón C.P.ST.A.N para reemplazar las pilas de protocolo de todos los otros nodos móviles con pila de protocolo deseada.
- (7) Finalmente, ejecutar el nuevo caso de simulación y obtener los resultados de rendimiento de los diferentes protocolos de enrutamiento bajo la misma topología de red y configuración.

El formato de el archivo mdt es simple y se explica en el mismo archivo. El usuario puede exportar primero las rutas de movimiento de un caso a un archivo mdt y entonces ver su contenido. La función importar es muy útil en casos de simulación de gran escala donde el número de nodos móviles es muy grande y la longitud de sus rutas de movimiento son muy largas. En esa situación, la ubicación de los nodos móviles y sus rutas de movimiento pueden ser generados por un *scrip program* , el cual ahorrará al usuario mucho tiempo y esfuerzo. Esto es también muy útil para usar patrones de movimiento especiales que no son soportados por el NCTUns. Actualmente, el NCTUns puede solamente generar automáticamente rutas de puntos de referencia aleatorias para nodos móviles o permitir al usuario especificar manualmente las rutas de movimientos de los nodos móviles. Sin embargo, en algunos casos, el usuario puede desear estudiar una red móvil con patrones de movilidad diferentes. [1]

Por ejemplo, cuando se usa NCTUns para estudiar problemas *ITS* (sistemas de transporte inteligente), primero se puede usar un simulador de tráfico vehicular microscópico (por ejemplo, VISSIM) para generar rutas de movimiento más reales de vehículos sobre una autopista o una ciudad. El usuario puede escribir un programa simple para convertir el archivo *log* de las rutas de movimiento generado por este programa a un archivo mdt y luego importarlo al GUI.

Después de importar el archivo mdt, el usuario puede usar la función del NCTUns “Background Graph” para pegar el mapa de la autopista o ciudad usado en el fondo del editor de topología. Con un mapa de fondo, cuando la simulación está ejecutándose o

cuando se está realizando la reproducción, el usuario visualizará los movimientos de los vehículos sobre autopistas o carreteras sobre el mapa y el intercambio inalámbrico de los paquetes entre vehículos. Esto brindará al usuario una visión global de las actividades de transmisión inalámbrica en una autopista o ciudad.

### 1.2.7 Generar puntos de referencia aleatorios

El comando **Menu** → **G\_Tools** → **Generate Random Waypoints for Mobile Nodes** puede ser ejecutado para generar puntos de referencia aleatorios para todos los nodos móviles *WLAN*. Hay dos maneras de hacer este trabajo. El primero es generar el siguiente punto de referencia aleatoriamente para todos los nodos móviles. Cuando el usuario pulsa el botón, un punto de referencia aleatorio más será generado para cada nodo móvil. El usuario puede presionar el botón continuamente para generar más puntos de referencia aleatorios. Otra manera es generar automáticamente puntos de referencia aleatorios hasta que el tiempo de arribo del último punto de referencia exceda un tiempo específico. La figura 1.34 muestra el cuadro de diálogo de esta función.

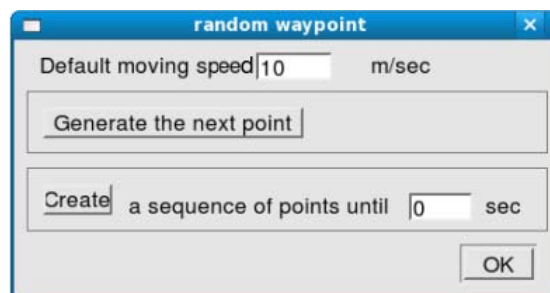


Figura. 1.34. Cuadro de diálogo para generar puntos de referencia aleatorios

### 1.2.8 Remover todas las rutas de movimiento

Ejecutar esta función borrará todas las rutas de movimiento de los nodos móviles. Esto brindará al usuario un área de trabajo limpio. La función está localizada en **Menu** → **G\_Tools** → **Remove All Moving Paths of Mobile Nodes**.

### 1.2.9 Importar el archivo de aplicación de tráfico de red



Para una red grande que tiene cientos de nodos, pulsando dos veces el icono de cada uno de estos nodos para entrar a la cadena de comandos de aplicación del nodo es un trabajo tedioso y consume tiempo. Para evitar perder tiempo y esfuerzo en hacer este trabajo, el usuario puede usar el comando **Menu** → **G\_Tools** → **Import Network Traffic Application File** para leer el archivo de configuración de tráfico (.tfc). El formato de un archivo .tfc es exactamente el mismo de un archivo .tfc exportado por el programa GUI para un caso de simulación cuando este cambia su modo a “Run Simulation”. Por tanto, para entender el formato de un archivo .tfc, el usuario primero puede hacer un caso simple y entonces exportar el archivo .tfc del caso. Cada línea del archivo .tfc especifica el ID del nodo, tiempo de inicio, tiempo final, y la cadena de comando de aplicación para un nodo. El formato de una línea es \$node\_(nodeID) start\_time end\_time application\_command\_string.

Normalmente un archivo .tfc importado del comando “Import *Network Traffic Application File*” es generado por un script o un programa escrito por el usuario. Cada cadena de comando de generador de tráfico (por ejemplo, un programa de aplicación) especificado en el archivo .tfc será puesto en la pestaña “*Applications*” del nodo específico. Esto puede ahorrar al usuario mucho tiempo porque el usuario no necesita invocar cada cuadro de diálogo de nodo individualmente para entrar a sus cadenas de comando de aplicación usadas. [1]

### 1.2.10 Remover toda la aplicación de tráfico de red

El comando **Menu** → **G\_Tools** → **Remove Network Traffic Applications** realiza el trabajo contrario. Remueve las cadenas de comandos de aplicación de todos los nodos de sus respectivas pestañas de “Applications”. Estos dos comando son útiles para casos de redes grandes porque ahorran mucho tiempo y esfuerzo al usuario. La figura 1.35 muestra donde están localizados estos dos comandos.

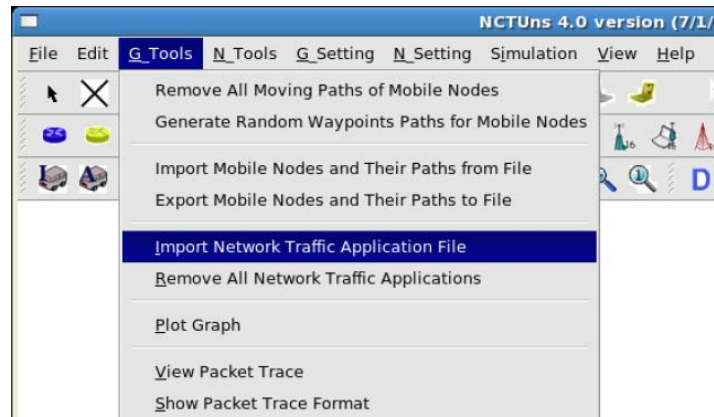


Figura. 1.35. Importar y remover aplicaciones de tráfico de red

### 1.2.11 Configuración para nodos móviles WLAN

Varias ventanas desplegables se prestan para nodos móviles *WLAN* en **Menu** → **N\_Setting** → **802.11(b) Wireless Network**.

#### 1. Show Moving Path (Mostrar la ruta de movimiento)

Este comando permite mostrar o no las rutas de movimiento de los nodos móviles *WLAN*, como se muestra en la figura 1.36.

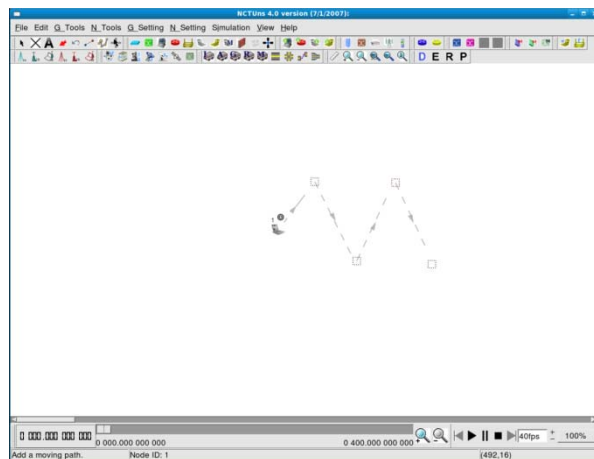


Figura. 1.36. Mostrar la ruta de movimiento

## 2. Show Transmission Range (Mostrar el rango de transmisión)

Este comando permite mostrar o no el rango de transmisión inalámbrico (el valor por defecto es 250 metros) del nodo móvil *WLAN*, como se muestra en la figura 1.37. El rango de transmisión de un nodo móvil es representado por un círculo rojo cuyo centro es el nodo.

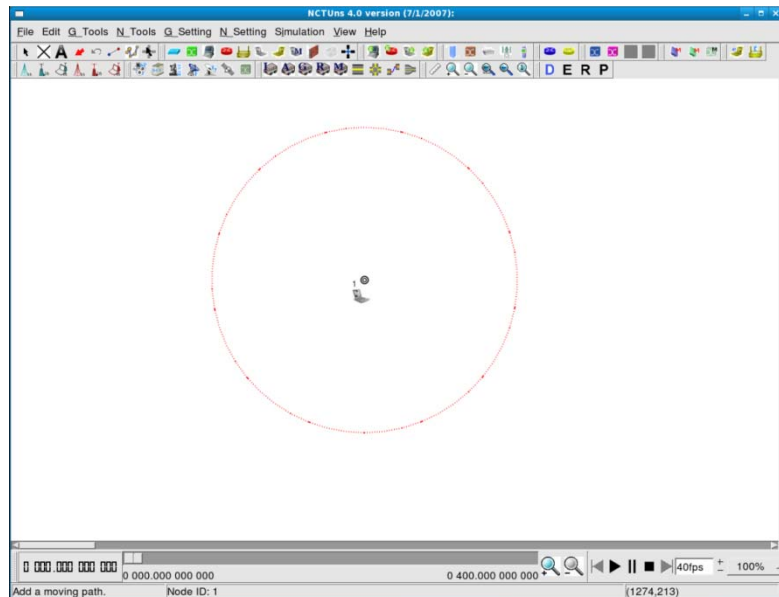
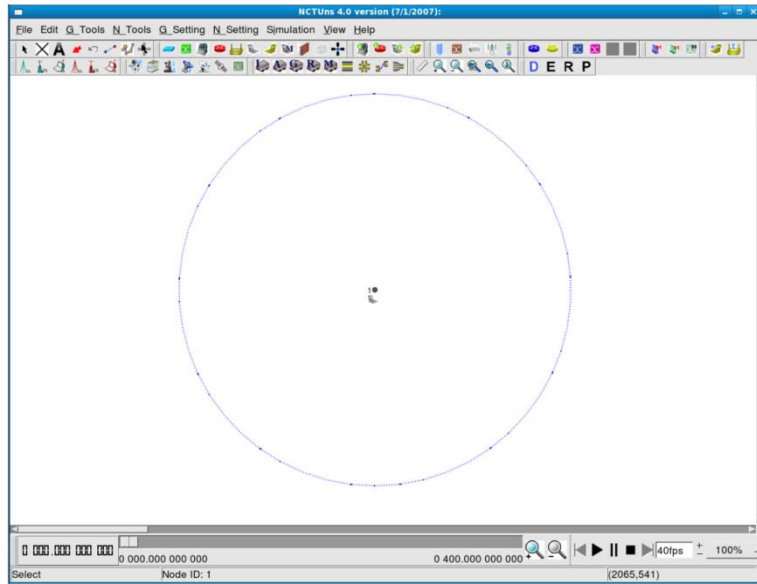


Figura. 1.37. Mostrar el rango de transmisión

## 3. Show Interference Range (Mostrar el rango de interferencia)

Este comando permite mostrar o no el rango de interferencia inalámbrico (el valor por defecto es 550 metros) del nodo móvil *WLAN*, como se muestra en la figura 1.38. El rango de interferencia del nodo móvil es representado por círculo azul cuyo centro es el nodo. [1]



**Figura. 1.38. Mostrar el rango de interferencia**

#### **4. Show icon (Mostrar icono)**

Este comando permite mostrar o no los iconos de los nodos móviles.

#### **5. Show ID (Mostrar ID)**

Este comando permite mostrar o no los ID de los nodos móviles.

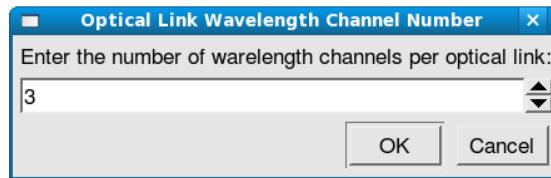
### **1.2.12 Configuración para redes ópticas**

Los siguientes comandos pueden ser ejecutados para cambiar las características de las redes ópticas. Estos comandos están localizados en **Menu** → **N\_Setting** → **Optical Network**.

#### **1. Set Optical Link Wavelength Channel Number (Configurar el número de canales por enlace óptico)**

En redes ópticas WDM, un enlace óptico usualmente tiene múltiples canales usando diferentes longitudes de onda. En NCTUns, todos los enlaces ópticos en redes ópticas WDM deben tener el mismo número de canales. Este comando configura el número

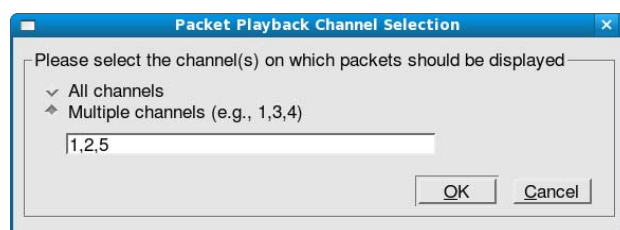
canales por enlace óptico, como se muestra en la figura 1.39. El número por defecto es 3. Si un usuario desea usar un número diferente, el usuario debe ejecutar este comando para cambiar la configuración antes de agregar cualquier enlace óptico en el editor de topología. No es permitido ejecutar este comando después de que un enlace es agregado.



**Figura. 1.39. Número de canales por enlace óptico**

## **2. Set Optical Link Packet Playback Channel(s) (Configurar la reproducción de paquetes del canal o canales del enlace óptico)**

Los paquetes transmitidos en una red óptica pueden ser reproducidos para mostrar sus movimientos sobre enlaces ópticos. Como el enlace óptico WDM tiene múltiples canales y el usuario puede estar interesado en visualizar el flujo de paquetes en solamente uno, varios o todos los canales de un enlace, este comando brinda al usuario la posibilidad de seleccionar en cuales canales los paquetes serán mostrados. La figura 1.40 muestra el cuadro de diálogo de este comando.



**Figura. 1.40. Reproducción de paquetes del canal o canales**

## **3. Set Optical Link Packet Playback Color (Configurar el color de la reproducción de paquete en el enlace óptico)**

Este comando configura el color de la reproducción de paquetes sobre canales diferentes de un enlace óptico WDM, como se muestra en la figura 1.41.

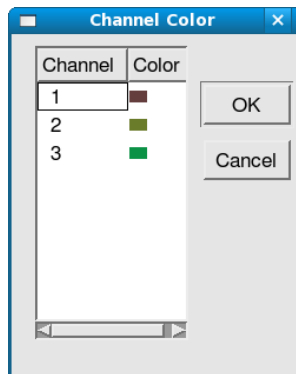


Figura. 1.41. Color de la reproducción de paquetes

#### 4. Set Maximum OBS Control Paquet Processing Time

Este comando se explicará el correspondiente capítulo. La figura 1.42 muestra el cuadro de diálogo de este comando.

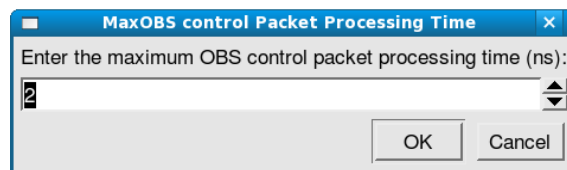


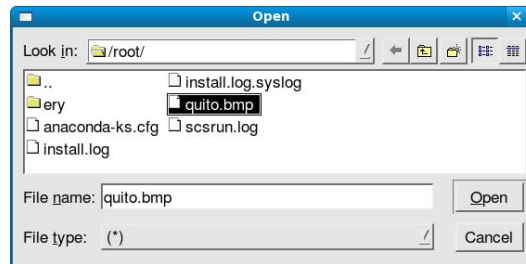
Figura. 1.42. Tiempo máximo de procesamiento de paquetes de control OBS

#### 1.2.13 Establecer un gráfico de fondo

A veces ubicar un gráfico de fondo en el área de trabajo de una topología de red puede brindar un gran valor. Por ejemplo, cuando el usuario estudia como ubicar puntos de acceso inalámbricos o estaciones base en una ciudad para lograr un óptimo rendimiento, utilización y cobertura, es mucho mejor si el usuario puede ubicar un mapa de la ciudad sobre el área de trabajo como gráfico de fondo. El comando relacionado con la función de gráfico de fondo está ubicado en **Menu → G\_Settings → Background Graph**.

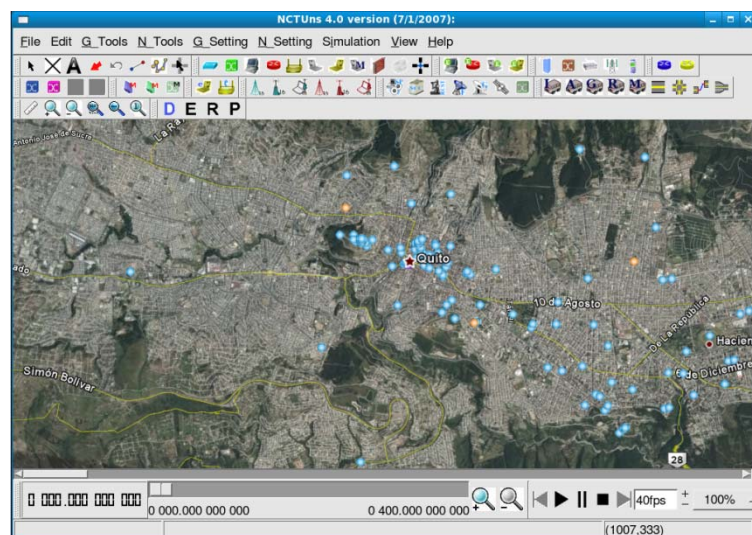
##### 1. Pegar un gráfico de fondo

Este comando selecciona un archivo .bmp y lo pega como gráfico de fondo. La selección se muestra en la figura 1.43.



**Figura. 1.43. Selección de un archivo .bmp**

En la figura 1.44, se usa el mapa de la ciudad de Quito como gráfico de fondo.



**Figura. 1.44. Gráfico de fondo**

## 2. Posición del gráfico de fondo

Después de pegar el gráfico de fondo, el usuario puede ubicarlo en cualquier lugar sobre el área de trabajo y especificando su factor de escala, como se muestra en la figura 1.45.

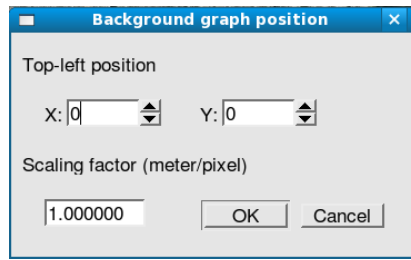


Figura. 1. 45. Posición del gráfico de fondo

### 3. Escala del gráfico de fondo

Después de ejecutar este comando, el usuario automáticamente entra al modo “background graph scaling”. En este modo, igual al uso de la función de la regla, el usuario puede arrastrar y soltar el mouse sobre una línea. Un cuadro de diálogo aparecerá preguntando al usuario cuán largo (en metros) corresponde la línea en la vida real.

Por ejemplo, si el usuario conoce el valor en metros de un segmento en el mapa real, este puede arrastrar y soltar el mouse sobre este segmento e ingresar este valor en el cuadro de diálogo. Por lo general, después de escalar el mapa, el gráfico de fondo tendrá un tamaño muy grande y solamente una pequeña parte de el puede ser mostrado en la pantalla. El usuario puede usar el botón “*view the whole field*” para visualizar todo el gráfico de fondo. La figura 1.46 muestra el cuadro de diálogo de este comando.

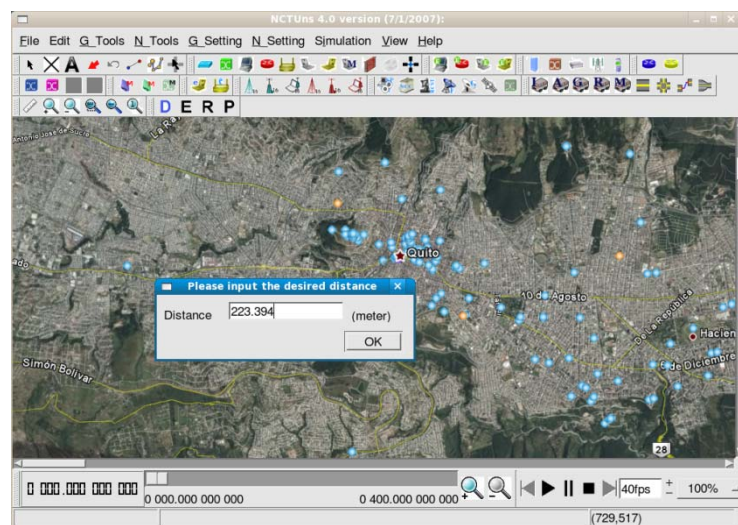


Figura. 1.46. Escala del gráfico de fondo



#### 4. Configurar el brillo del gráfico de fondo

Normalmente el usuario puede ubicar los iconos de los nodos de red sobre el gráfico de fondo. Para lograr una mejor calidad visual, es mejor disminuir el brillo del gráfico de fondo un poco. Este comando permite al usuario ajustar el brillo del gráfico de fondo de una fina manera. La figura 1.47 muestra el cuadro de diálogo de este comando.

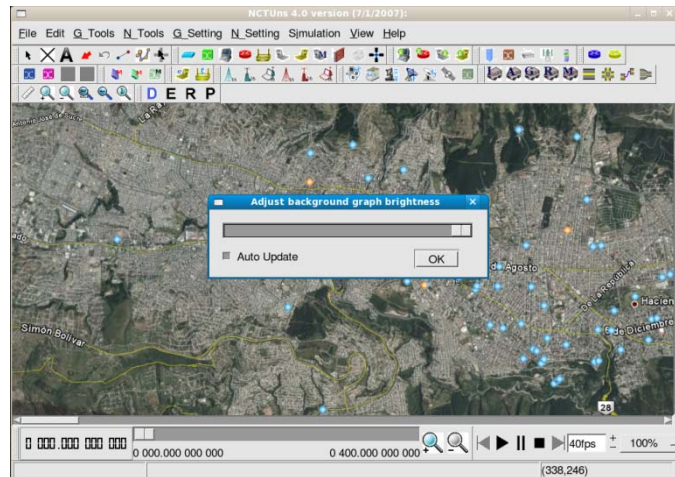



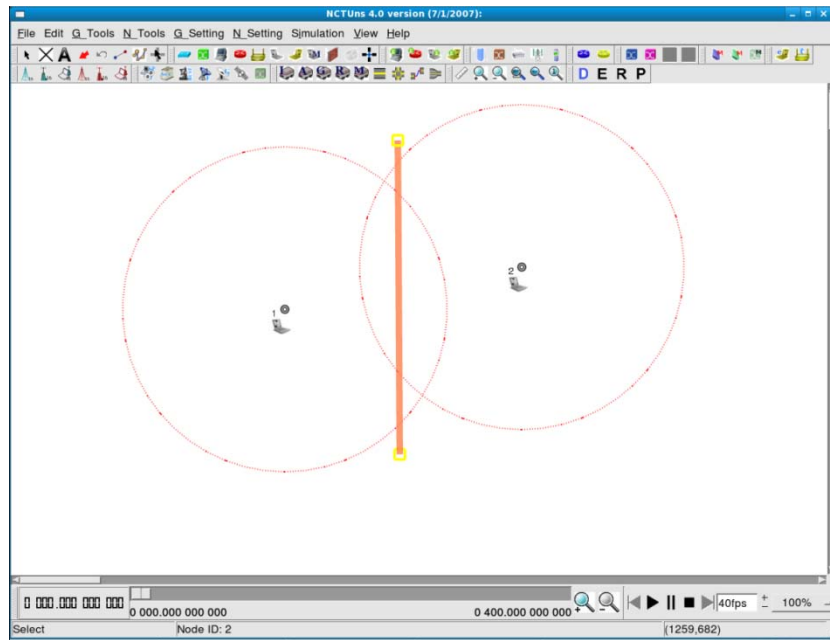
Figura. 1.47. Brillo del gráfico de fondo

Cuando el usuario guarda un caso de simulación con un gráfico de fondo, este y sus características serán guardadas en el archivo y la próxima ocasión que el usuario abra el archivo .tpl del caso de simulación, el gráfico de fondo automáticamente se creará sin la ayuda del usuario.

#### 1.2.14 Obstáculos

En la vida real, no todos los lugares son espacios abiertos para señales inalámbricas. Puede haber montañas o edificios altos que bloquean la propagación de señales inalámbricas o atenúan su potencia. En algunos casos, el usuario desea agregar obstáculos  para bloquear/atenuar las señales inalámbricas. En NCTUns, un obstáculo es un rectángulo que puede bloquear la vista de los nodos móviles, bloquear el movimiento de los nodos móviles, o bloquear completamente la señal inalámbrica o solo atenuar la potencia de la señal inalámbrica. Estas propiedades son importantes para simular redes ad-hoc móviles. [1]

Un obstáculo puede ser agregado de la misma manera como se agrega una flecha. Con obstáculos, el usuario puede simular características de lugares más complicados e interesantes. Esto puede facilitar la prueba de redes inalámbricas y rendimientos de protocolos bajo características más reales. La figura 1.48 muestra un ejemplo del uso de un obstáculo.



**Figura. 1.48.** La comunicación entre dos nodos móviles es afectada por el obstáculo localizado en la mitad de ellos

Hay que notar que los cálculos de conectividad *single-hop* y *multi-hop* que existen en los cuadros de diálogo de un nodo móvil toma en cuenta la existencia de obstáculos. Además, el *God routing daemon* para nodos móviles en modo ad-hoc *WLAN* toma en cuenta la existencia de obstáculos. El nombre del archivo que describe los obstáculos en un caso de simulación es XXX.obs.

Si el usuario pulsa y mantiene presionado sobre un lado del obstáculo, una caja cuadrada de color amarillo aparecerá en ese lado y el usuario puede rotar o extender el obstáculo. El otro lado del obstáculo es un punto fijo para las operaciones de rotación o extensión. Si el usuario pulsa en la mitad del obstáculo, unas cajas cuadradas de color

amarillo aparecerán en ambos lados y el usuario puede mover el obstáculo seleccionado a cualquier lugar.

Si el usuario pulsa dos veces el obstáculo, un cuadro de diálogo de propiedades aparecerá. El usuario puede especificar las propiedades del obstáculo como su ancho, si debe bloquear la vista de los nodos móviles, si debería bloquear el movimiento de los nodos móviles y si debería bloquear señales inalámbricas o solo atenuar la potencia de la señal. La figura 1.49 muestra las propiedades de un obstáculo.

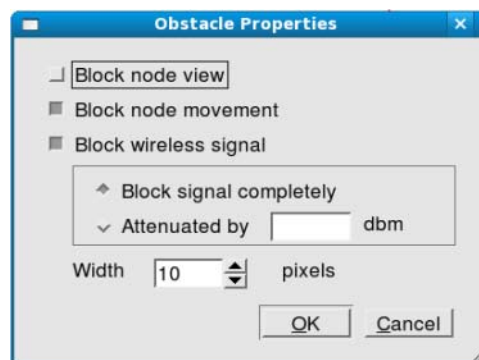


Figura. 1.49. Propiedades del obstáculo

A veces el usuario puede desear que todos los obstáculos tengan las mismas propiedades que son diferentes de las propiedades por defecto. Es tedioso cambiar las propiedades de cada obstáculo uno por uno después de que cada obstáculo es ubicado. Por lo tanto, para evitar esto el usuario puede cambiar las propiedades por defecto del obstáculo antes de ubicar cualquier obstáculo usando el comando **Menu** → **G\_Settings** → **Obstacle**. Después de esta operación, todos los obstáculos agregados tendrán las nuevas propiedades. Si el usuario necesita ubicar más obstáculos con diferentes propiedades, el usuario puede usar el comando anterior de nuevo para cambiar las propiedades de un obstáculo.

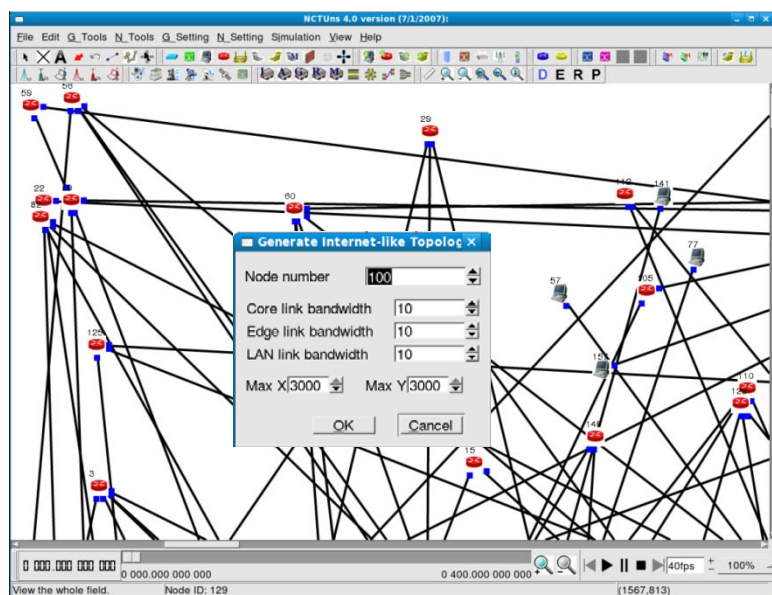
### 1.2.15 Generar grandes redes

Para generar topologías de red grandes, es tedioso para el usuario agregar nodos y enlaces uno a la vez en el editor de topología. NCTUns brinda una herramienta para el usuario para generar automáticamente redes grandes las cuales su estructura es similar al

de Internet. El usuario puede ejecutar el comando **Menu** → **G\_Tools** → **Generate Large Internet-like Network** para especificar los parámetros de una red grande que se va a crear.


En el cuadro de diálogo de parámetros de la figura 1.50, el campo “**Node Number**” especifica el número de nodos de la red que se van a crear. Este número no puede ser muy pequeño. Caso contrario, la topología generada no compartirá las mismas propiedades que una topología de Internet. Los enlaces en la topología generada están clasificados en tres diferentes categorías y cada categoría puede usar distinto ancho de banda. Estas categorías son *core link*, *edge link* y *LAN link*, respectivamente. La unidad del ancho de banda en este cuadro de diálogo es *Mbps*. [1]

Los campos “Max X” y “Max Y” especifican el largo y ancho del campo sobre el cual la red generada será establecida. Sus valores pueden ser configurados en **Menu** → **G\_Settings** → **Simulation**. Cada nodo en la topología generada será ubicada sobre el campo de acuerdo a sus ubicaciones (x,y) generadas. El retraso de la propagación de la señal de un enlace entre dos nodos será automáticamente calculado y configurado. Esto es la distancia entre estos dos nodos dividido para la velocidad de la luz.



**Figura. 1.50. Generar grandes redes**

## 1.2.16 Subred

Para ampliar rápidamente una simple topología de red, el usuario puede escoger la función subred  en la barra de herramientas y entonces pulsar sobre el área de trabajo para insertar un grupo de *hosts*. El grupo de *hosts* agregados son todos conectados a un *switch*. Cuando el cuadro de diálogo de la subred aparece, el usuario puede ingresar el número de hosts y el radio de la subred deseados. La figura 1.51 muestra el cuadro de diálogo de la subred. [1]

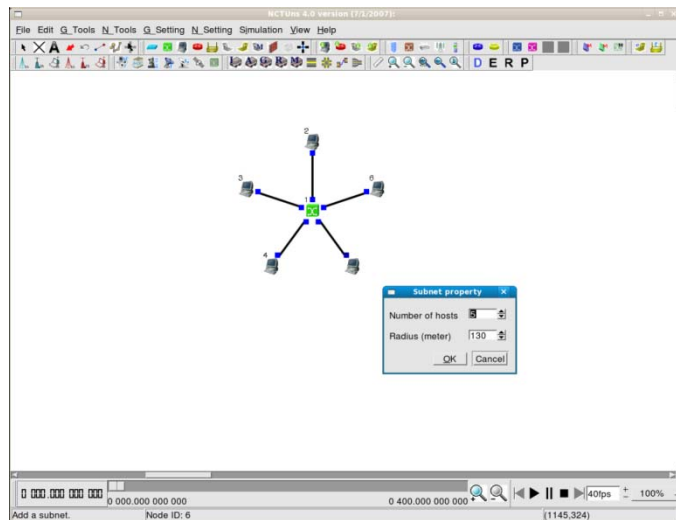


Figura. 1.51. Cuadro de diálogo de una subred

## 1.2.17 Manipulaciones de archivos

Existen varios comandos para manipular archivos. Ellos están localizados en **Menu** → **File**. Estos comandos se explicarán a continuación.

### 1. New (Nuevo)

Ejecutando este comando se cerrará el caso de simulación actual y limpiará el área de trabajo para el nuevo caso.

### 2. Open (Abrir)

Carga un caso de simulación existente. El archivo .tpl del caso deseado debería ser seleccionado para abrir el caso.

### 3. Save (Guardar)

Guarda la topología del caso de simulación actual y las configuraciones de nodo en un archivo .tpl y .tcl respectivamente.

### 4. Save as (Guardar como)

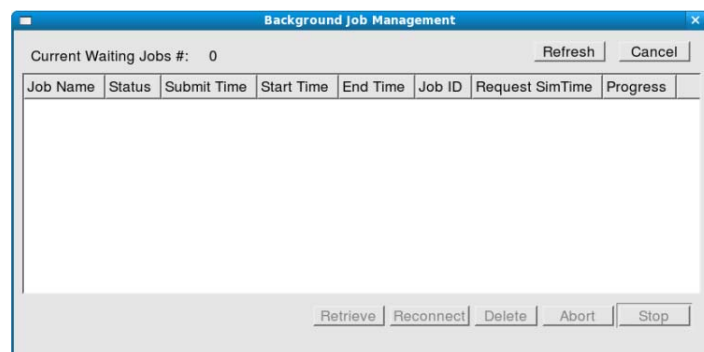
Guarda la topología del caso de simulación actual y las configuraciones de nodo en un nuevo archivo. El nombre del caso mostrado en la pantalla es cambiado del nombre del caso actual al nombre del nuevo caso.

### 5. Print to File (Imprimir al archivo)

Captura el área de la topología de red mostrado en la pantalla y lo guarda en un archivo .bmp. El gráfico capturado más tarde puede ser impreso o ser incluido en un reporte técnico para ilustración.

### 6. Background Job Management (Antecedentes de administración de trabajos)

Cualquier trabajo presentado al *dispatcher* puede ser manipulado aquí. Puede ser borrado, parado, abortado, o recuperado. La figura 1.52 muestra el cuadro de diálogo de esta función.



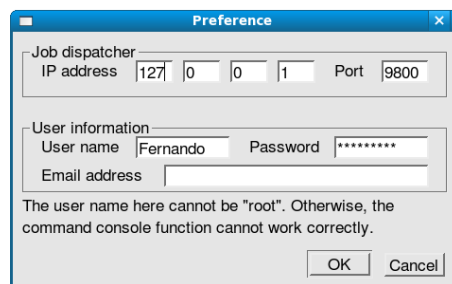
**Figura. 1.52. Cuadro de diálogo de los antecedentes de administración de trabajos**

El botón “**Refresh**” es usado para actualizar la información mostrada en esta tabla. Cada vez que el usuario pulsa este botón, el programa GUI recuperará la información más actualizada acerca de cada trabajo del dispatcher.

## 1.2.18 Configuración de la Simulación

### 1. Dispatcher

El comando para configurar el dispatcher usado para el caso de simulación esta ubicado en **Menu** → **G\_Settings** → **Dispatcher**. La figura 1.53 muestra el cuadro de diálogo de este comando.

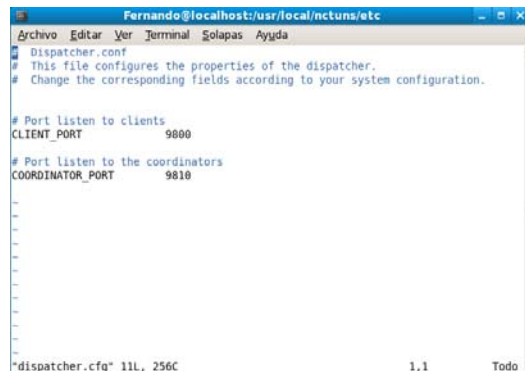


**Figura. 1.53. Configuración del *dispatcher***

El cuadro de diálogo solicita al usuario una dirección IP y un número de puerto usado por el dispatcher. La cuenta de registro del usuario GUI y la contraseña para usar el servidor de simulación remoto (puede ser local) también se solicita aquí. Es muy importante que el nombre de la cuenta de usuario GUI usado en la máquina GUI local y el usado en el servidor de simulación remoto (puede ser local) sean exactamente el mismo. Caso contrario, el simulador de red no funcionará correctamente. Para el modo *single-machine*, el nombre del usuario especificado aquí debe ser el mismo nombre de la cuenta de usuario por medio de cual el usuario se registra en esta máquina local. Por razones de seguridad, la cuenta “root” no es permitido y es bloqueado por el GUI.

Si el usuario esta usando el modo *single-machine*, la dirección IP ingresada puede ser 127.0.0.1 (dirección IP de la interfaz de loopback lo0). El número de puerto ingresado debe

ser el mismo que el CLIENT\_PORT especificado en el dispatcher.cfg. La figura 1.54 muestra el dispatcher.cfg.



```
Fernando@localhost:/usr/local/nctuns/etc
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Solapas  Ayuda
Dispatcher.conf
# This file configures the properties of the dispatcher.
# Change the corresponding fields according to your system configuration.

# Port listen to clients
CLIENT_PORT 9800

# Port listen to the coordinators
COORDINATOR_PORT 9810

"dispatcher.cfg" 11L, 256C 1,1 Todo
```

Figura 1.54. *Dispatcher.conf*

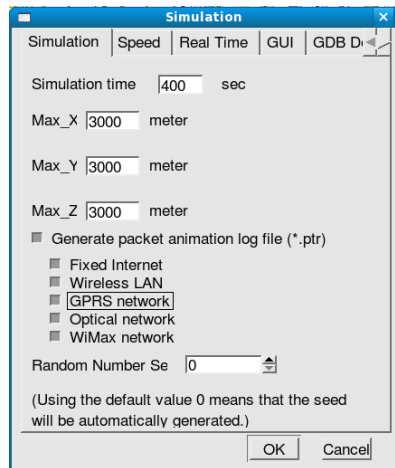
## 2. Simulación

El comando para configurar varios parámetros globales del caso de simulación está localizado en **Menu** → **G\_Settings** → **Simulation**.

Bajo la pestaña de “*Simulation*” (simulación), el tiempo de simulación total en tiempo virtual y las coordenadas máximas X,Y,Z pueden ser especificadas. Actualmente el tiempo máximo que puede ser simulado es 4200 segundos en tiempo virtual. El usuario puede seleccionar si el archivo .ptr (*packet transfer trace*) debería ser generado o no. El usuario puede seleccionar cuales tipos de transferencias paquetes de red deberían ser registrados en el archivo ptr.

El *random number seed* dado al motor de simulación para este caso de simulación también puede ser especificado. Usando el valor por defecto 0 indica al motor de simulación que puede escoger un número aleatorio para el *random number seed*. Esto es, cada vez que el mismo caso de simulación se ejecute, un diferente *random number seed* será usado. Si el *random number seed* se fija a un valor superior a cero, NCTUns puede generar resultados repetibles para cada ejecución del mismo caso de simulación. La figura 1.55 muestra el cuadro de diálogo de la pestaña “*Simulation*”.

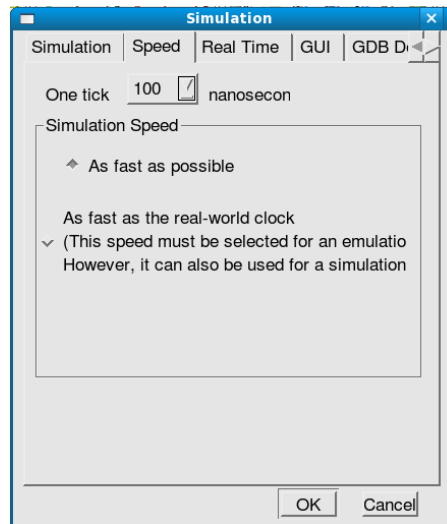




**Figura. 1.55. Cuadro de diálogo de la pestaña “Simulation”**

Bajo la pestaña “**Speed**” (velocidad), el *tick time* puede ser especificado. La configuración por defecto es que un *tick* representa 100 nanosegundos en tiempo virtual en una simulación. Esta configuración puede ser cambiada a un valor más pequeño como 10 o 1 nanosegundo, el cual es útil para generar resultados más precisos en redes de alta velocidad (por ejemplo, en enlaces con más de 1 Gbps de ancho de banda).

La velocidad del motor de simulación puede ser configurado como “*As fast as possible*” o “*As fast as the real-world clock*”. Normalmente, un usuario desearía que un caso de simulación finalice lo más pronto posible. Sin embargo, cuando el NCTUns se convierte en un emulador, la velocidad del motor de simulación debería ser establecida en “*As fast as the real-world clock*”. Esta opción es también útil cuando el usuario quiere usar el “*Command Console*” durante una simulación. La figura 1.56 muestra el cuadro de diálogo de la pestaña “*Speed*”. [1]



**Figura. 1.56. Cuadro de diálogo de la pestaña “Speed”**

Bajo la pestaña “**Real Time**”, dos opciones de visualización GUI para simulaciones táctico militar MANET pueden ser especificados. En general en los casos de simulación MANET, cada ruta de movimiento del nodo móvil es pre-especificado antes que la simulación inicie. En cambio, en los casos de simulaciones táctico militar MANET o en casos de simulación de Sistemas de Transporte Inteligente las rutas de movimiento de los nodos móviles son dinámicamente generados por programas agentes ejecutados sobre los nodos móviles durante la simulación. Para permitir tal tipo de simulaciones, la opción “*Dynamic moving path generation during simulation*” (Generación dinámica de rutas de movimiento durante la simulación) debe ser escogido. Además, si el usuario desea visualizar la transmisión de paquetes y el movimiento del nodo durante la simulación, la opción “*Display packet transmission and node movement during simulation*” tiene que ser escogido. La figura 1.57 muestra el cuadro de diálogo de la pestaña “Real Time”. [1]

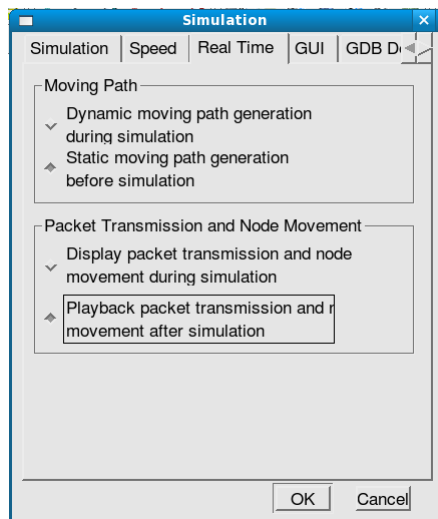


Figura. 1.57. Cuadro de diálogo de la pestaña “Real Time”

Bajo la pestaña “GUI”, el radio del metro/píxel puede ser especificado. Cambiando ésta característica a un valor grande (por ejemplo 100) es útil para redes cuyo tamaño es físicamente muy grande.

Usando un valor grande puede permitir que toda la red sea mostrada claramente en la pantalla sin usar la función “Zoom Out”. Aunque el usuario puede usar el valor por defecto (es decir 1) y la función “Zoom Out” para mostrar toda la topología de red en la pantalla, los iconos de los nodos se harán muy pequeños para ser vistos en la pantalla y será muy difícil para el usuario manipular estos iconos. La figura 1.58 muestra el cuadro de diálogo de la pestaña “GUI”.

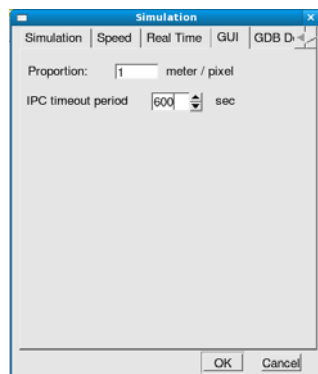


Figura. 1.58. Cuadro de diálogo de la pestaña “GUI”

Bajo la pestaña “**System command**”, los comandos a ser ejecutados del sistema y sus nombres de archivo de salida se pueden especificar aquí. Un comando del sistema es un comando que, cuando es ejecutado, conseguirá o fijará el valor de un objeto en el tiempo especificado. La salida del comando será guardado en un archivo de salida específico, el cual más tarde será devuelto al programa GUI cuando la simulación finalice.

Además de conseguir/fijar el valor de un único objeto, el valor de todos los objetos de la misma clase pueden ser conseguidos o fijados al mismo tiempo para tomar una foto global de la red entera. Por ejemplo, esta función puede ser usada para tomar una foto de las tablas de enrutamiento actuales de todos los routers. Esta foto de información global puede ayudar a los investigadores a estudiar la convergencia de un protocolo.

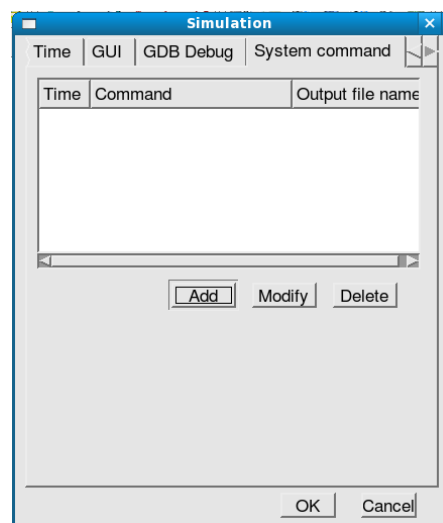
En la pestaña “System command”, se tiene la siguiente información:

**Time:** el tiempo de inicio para ejecutar este comando.

**Command:** la cadena de comandos del sistema.

**Output file name:** el nombre del archivo de salida.

La figura 1.59 muestra el cuadro de diálogo de la pestaña “System command”.



**Figura. 1.59.** Cuadro de diálogo de la pestaña “System command”

Los comandos del sistema brindados por NCTUns se enlistan abajo. Su sintaxis y significado también son explicados.

**Set:** fija el valor de una variable en un módulo.

Set {node} {port} {module} {tag} {value}

**Get:** obtiene el valor de una variable de un módulo

Get {node} {port} {module} {tag}

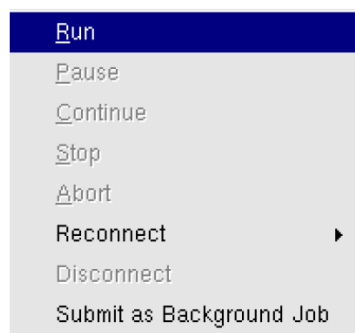
**GetAll:** igual que Get, pero obtiene el valor de las variables requeridas de los mismos módulos usados en todos los puertos de todos los nodos

GetAll {module} {tag}

Hay que notar que un *tag* (etiqueta) es una cadena asociada con una variable particular declarada y usada en un módulo de protocolo.

### 1.2.19 Ejecutando la simulación

Existen varios comandos para controlar la ejecución de los casos de simulación. Estos comandos están localizados en **Menu** → **Simulation**. La figura 1.60 muestra estos comandos.



**Figura. 1.60.** Comandos para controlar la ejecución de la simulación

#### 1. Ejecutar, pausar, continuar, parar, abortar

Después que el usuario cambia al modo “Run Simulation”, el usuario puede iniciar la simulación ejecutando el comando “Run” en este grupo.

Durante la simulación, el usuario puede usar los comandos “Pause”, “Continue”, “Stop”, y “Abort” para pausar, continuar, parar y abortar la simulación. La diferencia entre el comando “Stop” y “Abort” es que el primer comando regresará los resultados de la simulación actual al programa GUI mientras que el segundo comando no.

## 2. Reconectar, desconectar

El usuario puede desconectar el GUI del trabajo de simulación que se está ejecutando. Hacer esto permite al usuario quitar el programa GUI y hacer otras cosas. El usuario puede regresar después, reiniciar el programa GUI, y entonces reconectar el trabajo de simulación desconectado.

## 3. Enviar como *Background Job*

El usuario puede directamente enviar un *simulation job* como un *background job* al dispatcher para su ejecución. Su efecto es el mismo que ejecutar primero la simulación y luego desconectar el GUI de solo el *simulation job* lanzado. Para reconectar el *background job* o recuperar resultados de un *background job* finalizado, el usuario debería usar el comando **Menu** → **File** → **Background Job Management**.

### 1.2.20 Visualizar la traza del paquete

Visualizar el archivo de traza de paquete puede ayudar al investigador a depurar una red o un protocolo. Para hacer esto, el usuario puede ejecutar **Menu** → **G\_Tools** → **View Packet Trace** para abrir el archivo .ptr deseado. El archivo binario .ptr será convertido automáticamente a texto por la herramienta “printPtr” y mostrado en la ventana que aparecerá. El texto es mostrado por el programa “more”, el cual soporta comandos de búsqueda *vi-like*. En las figuras 1.61 y 1.62 se muestran el archivo .ptr y el programa *more*.

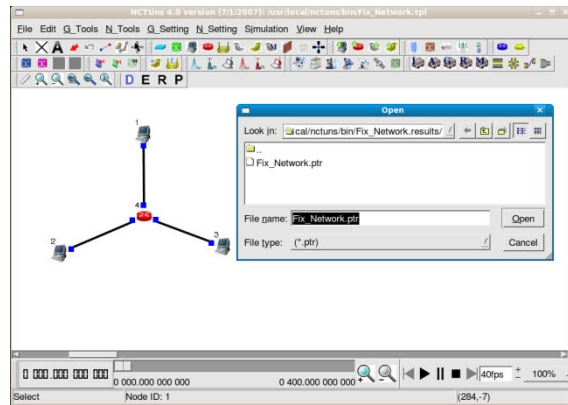


Figura. 1. 61. Abrir archivo .ptr

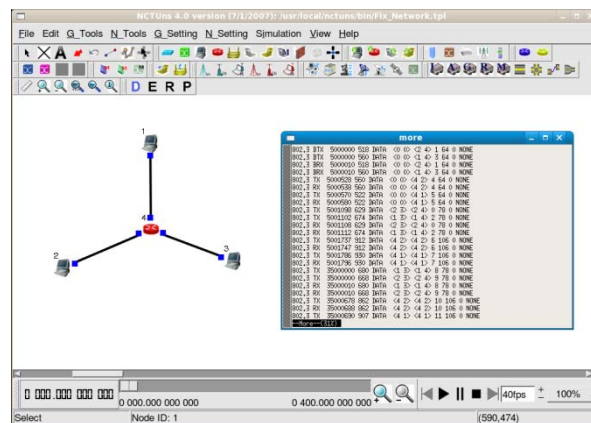


Figura. 1. 62. Programa “more”

### 1.2.21 Mostrar el formato de la traza de paquete

Este comando **Menu** → **G\_Tools** → **Show Packet Trace Format** muestra y explica el formato de la salida generada por el comando **Menu** → **G\_Tools** → **View Packet Trace**. La figura 1.63 muestra el resultado de ejecutar este comando.

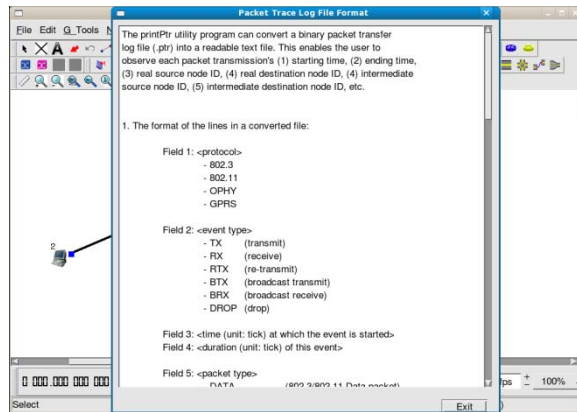


Figura. 1. 63. Formato de la traza de paquete

### 1.2.22 Mostrar todos los *down time* de nodos y enlaces

El usuario puede configurar los *down time* de nodos y enlaces para probar como los protocolos de red responderían a esos *down time*. Para enlaces ópticos WDM, los *down time* también pueden ser configurados para cada canal WDM. Este comando → **G\_Tools** → **Display All Node and Links Down Times** muestra los *down time* especificados por todos los nodos y enlaces en una red simulada. El usuario puede ejecutar este comando para tener una visión global de los *down time* especificados por toda la red simulada. La figura 1.64 muestra el cuadro de diálogo de este comando. [1]

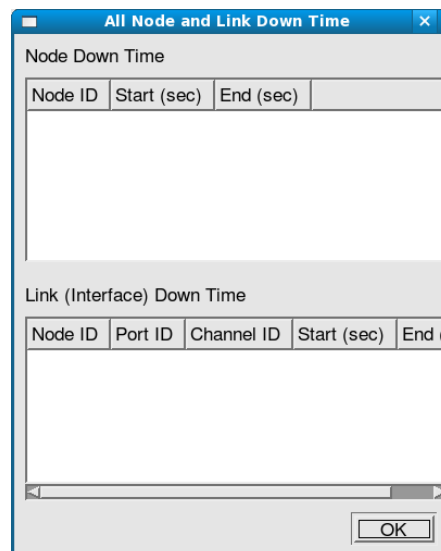


Figura. 1.64. *Down time* de nodos y enlaces



## **1.3 EDITOR DE NODO**

El editor de nodo brinda al usuario un ambiente muy flexible para la configuración de los módulos de protocolo que se usan en un nodo. Mediante esta herramienta el usuario fácilmente puede agregar, borrar o reemplazar un módulo con su propio módulo para probar el rendimiento de un nuevo protocolo.

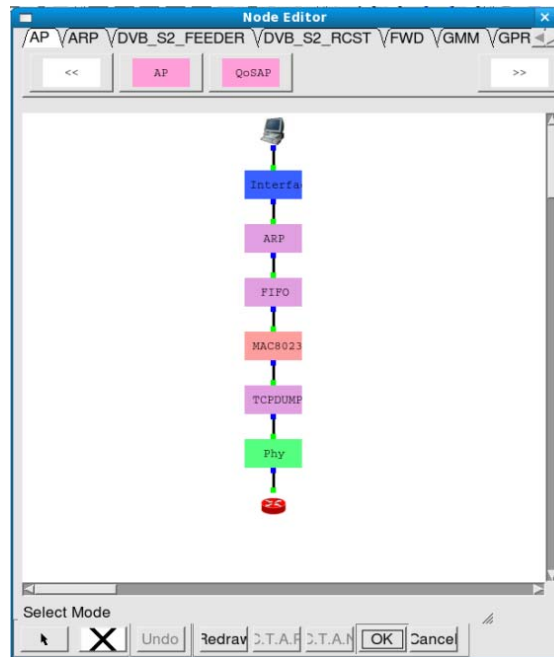
### **1.3.1 Concepto de Módulo de Protocolo**

El módulo de protocolo implementa un protocolo en particular como el ARP o una función particular como la estructura de datos FIFO. En el editor de nodo, todos los módulos que están agrupados en el mismo grupo de módulos comparten propiedades similares.

NCTUns brinda varios módulos de protocolo. El usuario puede agregar nuevos módulos de protocolo en el editor de nodo o reemplazar módulos existentes con sus propios módulos.

### **1.3.2 Diseño de la Pantalla del Editor de Nodo**

Para visualizar el editor de nodo, en el editor de topología el usuario primero debe cambiar al modo “*Edit Property*”, luego el usuario pulsa dos veces el nodo que quiere editar. Después el cuadro de diálogo del nodo aparece y el usuario puede pulsar el botón “*Node Editor*” para llamar al editor de nodo y editar la pila de protocolo del nodo. La figura 1.65 muestra el editor de nodo de un *host*.



**Figura. 1.65. Editor de nodo**

En la parte superior del editor de nodo existen varios grupos de módulos. Los módulos de protocolo que se encuentran dentro de un grupo comparten el mismo rol en una pila de protocolo. Cuando el usuario pulsa un botón del grupo de módulos, todos los módulos que pertenecen al grupo se mostrarán justo debajo de los botones de grupos de módulos. Debido a que solo cuatro módulos pueden ser mostrados al mismo tiempo, el usuario puede usar los botones “<<” y “>>” para visualizar otros módulos no mostrados en la pantalla.

Los módulos de protocolo usado por un nodo son mostrados en la mitad del área de trabajo. Aquí una cadena de módulos de protocolo representa la pila de protocolo usado por el puerto (interfaz). El usuario puede usar el mouse para agregar, borrar o reemplazar los módulos de protocolo en el área de trabajo.

En la parte inferior de la pantalla existen varios botones de control y son los siguientes:

- (1) “Cancel”. Descarta todos los cambios que han sido realizados en los módulos de protocolo del nodo.
- (2) “Ok”. Acepta todos los cambios realizados.

- (3) “Undo”. Elimina el efecto de la última operación de borrado. (Solamente la última operación de borrado se puede ser deshacer).
- (4) “Redraw”. Rehace el diseño del dibujo de la cadena de módulos de protocolo para que sean visualizados de mejor manera cuando se muestren en la pantalla.
- (5) “C.T.A.P”(Copy To All Port). Copia los valores de los parámetros del módulo seleccionado a los mismos módulos en todos los puertos de este nodo.
- (6) “C.T.A.N”(Copy To All Node). Realiza un trabajo similar que el botón anterior a diferencia que copia los valores a los mismos módulos en todos los puertos de todos los nodos en toda la red simulada.
- (7) “X”. Significa borrar. Después que el usuario pulsa este botón, el editor de nodo entra al modo borrar, entonces cuando el usuario pulsa el botón derecho del mouse sobre un módulo o enlace, este será borrado.
- (8) “Arrow”. Significa seleccionar. Después que el usuario pulsa este botón, el editor de nodo entra al modo seleccionar, entonces el usuario puede mover un módulo de protocolo a cualquier lugar deseado.

El usuario también puede escoger un módulo de un grupo de módulos, insertarlo y ubicarlo en el área de trabajo.

En el editor de nodo, una cadena de módulos de protocolo representa la pila de protocolo usada por una interfaz. Si un router posee interfaces, este tendrá dos cadenas de módulos. La figura 1.66 muestra el editor de nodo de un router con dos interfaces.

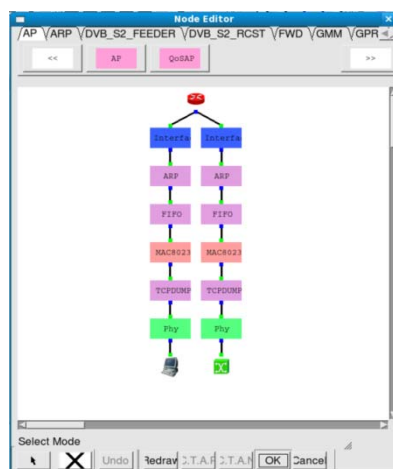
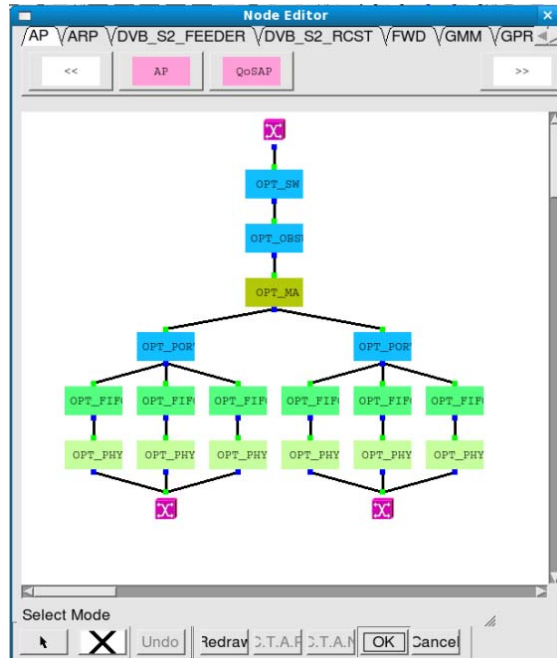


Figura. 1.66. Editor de nodo de un router con dos interfaces

Para ayudar al usuario a distinguir cual cadena de módulos corresponde a cada interfaz, el icono del nodo remoto que está conectado a través de un enlace a la interfaz se muestra en la parte inferior.

Si los nodos remotos a los cuales está conectado el nodo son del mismo tipo, mostrar los iconos de los nodos remotos en la parte inferior no ayuda a distinguir las interfaces. En este caso, el usuario puede ubicar el cursor del mouse sobre el icono de un nodo remoto en el editor del nodo, el ID del nodo del nodo remoto seleccionado y el ID del puerto al cual el nodo remoto está conectado será mostrado en la parte inferior del editor de nodo. Esta información puede ayudar al usuario a distinguir interfaces cuando los nodos remotos son del mismo tipo.

La pila de protocolo de un nodo puede tener dos niveles. En simulaciones de red ópticas WDM, cada canal WDM de una interfaz necesita una pila de protocolo. Por lo tanto, dos niveles de la pila de protocolo pueden ser mostrados en el editor de nodo para nodos WDM, como se muestra en la figura 1.67.



**Figura. 1.67. Dos niveles de la pila de protocolo**

### 1.3.3 Agregar, borrar o reemplazar un módulo

Aquí se usará un ejemplo para ilustrar como reemplazar un módulo FIFO con un módulo RED.

**Paso 1.** Se llama al editor de nodo del router. En la figura 1.68 se muestra el editor de nodo de un *router*.

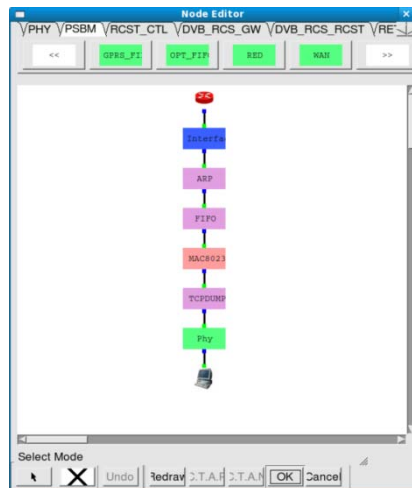


Figura. 1.68. Editor de nodo del *router*

**Paso 2.** Luego se escoge el módulo RED de la parte superior y se lo ubica en el área de trabajo. En la figura 1.69 se muestra la selección del módulo *RED*.

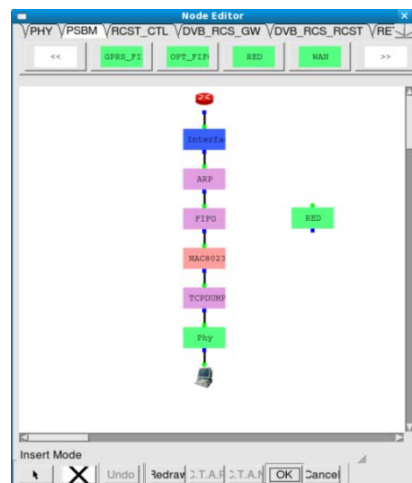
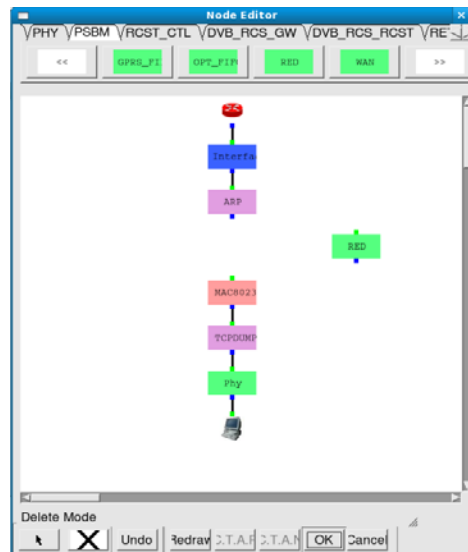


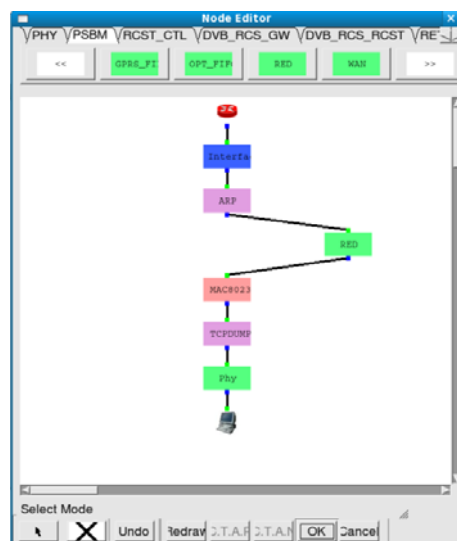
Figura. 1.69. Selección del módulo *RED*

**Paso 3.** Se selecciona el botón “X” y se pulsa el *mouse* sobre el módulo FIFO para borrarlo. En la figura 1.70 se muestra el borrado del módulo *FIFO*.



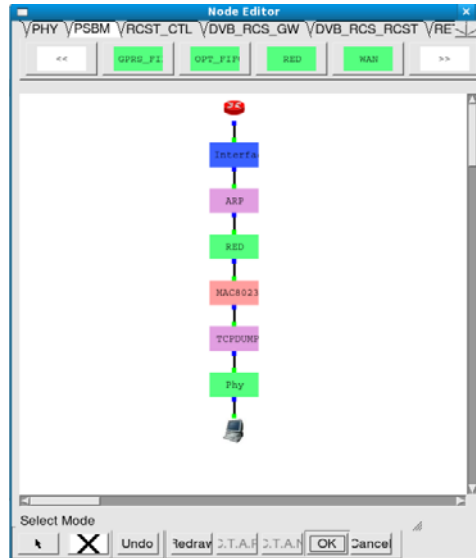
**Figura. 1.70.** Borrado del módulo *FIFO*

**Paso 4.** Después se enlaza el módulo RED con los módulos ARP y el MAC802.3. Para enlazar dos módulos, el usuario realiza el mismo procedimiento como cuando se crea un enlace entre dos nodos en el editor de topología. En la parte superior e inferior del módulo, hay unos pequeños cuadrados. Los enlaces deben iniciar y terminar sobre estos cuadrados. En la figura 1.71 se muestra el enlazamiento del módulo *RED*.



**Figura. 1.71. Enlazamiento del módulo RED**

**Paso 5.** Finalmente el usuario pulsa el botón “Redraw” en el editor de nodo. En la figura 1.72 se muestra el editor de nodo del *router* después de pulsar el botón “Redraw”.

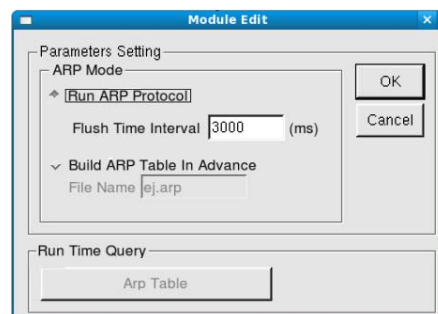


**Figura. 1.72. Redraw**

**Paso 6.** Si se desea mantener los cambios realizados hasta ahora, el usuario debe pulsar el botón “Ok”. Caso contrario, se debe pulsar el botón “Cancel”.

### 1.3.4 Configurar o visualizar los parámetros de módulo

Para realizar esto, el usuario debe pulsar dos veces el módulo y entonces su cuadro de diálogo de parámetros del módulo aparecerá. La figura 1.73 muestra el cuadro de diálogo de parámetros de un módulo ARP.



**Figura. 1.73. Parámetros de un módulo ARP**

### **1.3.5 Agregar un nuevo módulo al NCTUns**

Después que el usuario a desarrollado su propio módulo, dos tareas deben ser realizadas para integrar el nuevo módulo al NCTUns. La primera tarea es introducir el nuevo módulo al editor de nodo para que aparezca en el apropiado grupo de módulos y su cuadro de diálogo de parámetros pueda se mostrado cuando se lo pulse dos veces. La segunda tarea es registrar el nuevo módulo con el motor de simulación para que su código sea ejecutado cuando el caso simulación que usa el nuevo módulo se ejecute. [1]

#### **1. Agregar un nuevo módulo al editor de nodo**

Para permitir que el editor de nodo conozca que un nuevo módulo ha sido agregado a él, el usuario debe agregar u ubicar la definición del módulo en el archivo de descripción del módulo (mdf.cfg).

#### **2. Registrar al nuevo módulo con el motor de simulación**

Para permitir que el motor de simulación encuentre el código del nuevo módulo y satisfactoriamente lo ejecute, el usuario debe registrar el código del módulo con el motor de simulación.

## **1.4 REPRODUCTOR DE ANIMACIÓN DE PAQUETE**

Después que la ejecución de la simulación ha terminado, los resultados de la simulación automáticamente serán enviados al programa GUI y después guardados en el disco duro local del usuario. Si el archivo de la topología del caso de simulación se llama “prueba.tpl”, entonces el nombre del archivo de la animación del paquete será “prueba.ptr”. Después si el usuario desea realizar un análisis de los resultados de la simulación, este puede usar el “Paquet Animation Player” para reproducir la animación.



### 1.4.1 Recargando los resultados de la simulación

Para visualizar la animación de paquete, el usuario primero debería abrir el correspondiente archivo de la topología.

#### Menu → File → Open

En la figura 1.74 se muestra en cuadro de diálogo de este comando

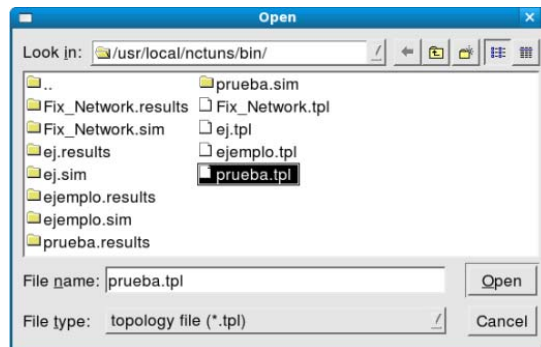


Figura. 1.74. Abrir archivo de topología

Después el usuario cambia al modo “Play Back”. El programa GUI automáticamente cargará los resultados de la simulación (incluyendo el archivo de animación de paquete). Si el archivo de animación es muy extenso, este puede tomar algún tiempo en cargarse. La barra de progreso se muestra en la figura 1.75.

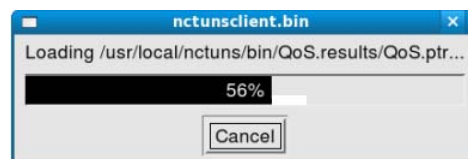


Figura. 1.75. Barra de progreso

Luego que el archivo de la animación de paquete se ha cargado, el usuario puede pulsar el botón de inicio ▶ de la barra de control de tiempo localizado en la parte inferior. La figura 1.76 muestra la barra de control de tiempo.



Figura. 1.76. Barra de control de tiempo

### 1.4.2 Opciones generales para la animación de paquete

Durante la reproducción de la animación de paquete, el usuario puede cambiar algunas opciones del programa GUI de acuerdo a sus necesidades. Estas opciones se describen a continuación.

- **Barra de tiempo**



La barra de tiempo muestra el progreso de la animación de paquete en un intervalo de tiempo, el cual es llamado ventana de tiempo. El usuario puede arrastrar *knot* de tiempo a cualquier tiempo deseado. Dos botones pueden cambiar el tamaño de la ventana de tiempo en un factor de 10, esto es, que la ventana de tiempo puede ser aumentada 10 veces o disminuida 10 veces. El usuario puede realizar esta operación pulsando el botón izquierdo del mouse en el botón “zoom-out” (aumentar)  o en el botón “zoom-in” (disminuir) . La figura 1.77 muestra la barra de tiempo.



Figura. 1.77. Barra de tiempo y su *knot*

Justo debajo de la barra de tiempo, una línea vertical roja indica que la transmisión de paquetes de una red cableada inicia en este tiempo, una línea vertical verde indica que la transmisión de paquetes en una red inalámbrica inicia en este tiempo, y una línea vertical azul indica que la transmisión de paquetes en una red GPRS inicia en este tiempo. Los tiempos en los cuales finaliza la transmisión de paquetes no están representados aquí. Por lo tanto, estas líneas verticales son representadas para propósitos de referencia solamente. El programa GUI ignora los paquetes de *broadcast* WLAN y no traza las líneas verticales para

ellos en la barra de tiempo, esto es, porque los puntos de acceso emiten sus *beacon frames* cada 0.1 segundos y graficar estos paquetes de *broadcast* en la barra de tiempo desconcentrará la atención del usuario sobre los paquetes importantes generados por los programas de aplicación.

Para saber exactamente cuando la transmisión de un paquete inicia y termina, el usuario puede usar el programa *printPtr* para convertir el archivo de animación binario a un archivo de texto y luego buscarlo en el archivo.






La figura 1.78 muestra los botones de reproducción de animación



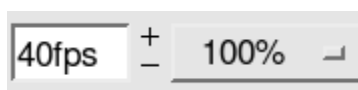
**Figura. 1.78. Botones de reproducción de animación**

Estos botones pueden alterar la secuencia de reproducción. Pueden ser ejecutados pulsando el botón izquierdo del mouse sobre el correspondiente botón.

Los botones de reproducción son:

-  Reproducir la animación. Si el usuario lo pulsa mientras el reproductor animación está inactivo, el reproductor empezará a reproducir la animación de paquetes. Si el usuario lo pulsa mientras el reproductor animación está ejecutándose, el *time knot* saltará directamente al tiempo más cercano donde hay una transmisión de paquete. Esta característica es muy útil cuando el tráfico es escaso.
-  Pausa la animación.
-  Para la animación.
-  Mueve la ventana de tiempo de animación por el tamaño de una ventana de tiempo en dirección hacia atrás.
-  Mueve la ventana de tiempo de animación por el tamaño de una ventana de tiempo en dirección hacia adelante.

La figura 1.79 muestra los cuadros de selección.



**Figura. 1.79. Cuadros de selección**

El cuadro de selección de 40fps (frames-per-sec) controla la calidad de la animación. Este cuadro define cuantas tramas deberían ser reproducidas en un segundo en tiempo real. Usando un valor pequeño puede incrementar la velocidad de animación porque se necesitan pocos ciclos de CPU para refrescar la pantalla. Sin embargo, esta animación no puede ser muy precisa.

El cuadro de selección de 100% controla el progreso de la animación. Afecta la cantidad de adelanto del tiempo del reloj de reproducción. Durante la reproducción, el reloj de reproducción avanza con un tiempo fijo en cada bucle de reproducción. Después que el reloj avanza, todas las transferencias de paquetes cuyo periodo de transmisión (es decir, el periodo entre la transmisión y la recepción) abarca el actual reloj de tiempo de reproducción son seleccionados para ser mostrados en la pantalla. Escogiendo un valor grande para este parámetro, el progreso de la reproducción de la animación avanzará más rápidamente. Sin embargo, más transferencias de paquetes no serán mostrados en la reproducción de animación. Por lo tanto, si el tiempo de transmisión de paquete sobre el enlace en una red simulada es pequeño (por ejemplo, paquetes pequeños TCP ACK de 58-bytes transmitidos sobre un enlace de 10 Mbps o paquetes de datos TCP de 1500-byte transmitidos sobre un enlace de 1 Gbps), es mejor usar un valor pequeño para este parámetro para verlos. [1]

El valor por defecto de este parámetro es 100%. Existen otros valores como 200% y 50%. Si la relación del valor seleccionado para el valor por defecto es X, la cantidad de avance de tiempo usado será X veces la cantidad del tiempo por defecto.

Si el reloj de reproducción no está avanzando, el *time knot* puede ser arrastrado a cualquier ubicación para saltar directamente al tiempo deseado. La figura 1.80 muestra la barra de tiempo.



**Figura. 1.80. Barra de tiempo**

Si el usuario conoce el tiempo exacto a donde el reloj de reproducción debería saltar, el usuario puede pulsar dos veces el área del reloj para ingresar el tiempo. La unidad del tiempo ingresado debería ser en *tick* y la relación entre un *tick* y su duración en tiempo virtual está especificado en **Menu** → **G\_Setting** → **Simulation** en la pestaña “**Speed**”. Esta función es útil cuando el usuario ha usado el programa “*printPtr*” para leer el archivo de la traza de paquete ptr y quiere saltar el reloj directamente a un tiempo específico para visualizar las actividades de la transferencia de paquete ocurridas hasta ese momento. La figura 1.81 muestra el cuadro de diálogo de esta función.



**Figura. 1.81. Saltar a un tiempo exacto de la reproducción**

### 1.4.3 Efectos de animación

Redes cableadas y redes inalámbricas tienen diferentes características. Por lo tanto, se demostrarán sus correspondientes efectos de animación separadamente.

#### 1. Redes cableadas

- Un enlace es pintado de color amarillo si hay un paquete que fluye a través de él.

- En paquete es representado por un segmento con una flecha.
- La colisión de un paquete es representado con una flecha con una cruz sobre ella.
- Durante la transferencia de paquete, si el enlace es pintado de rojo, significa que este enlace es un enlace intermediario para este paquete. En cambio, si este enlace es pintado de amarillo, significa que este enlace es el nodo real de origen o destino del paquete.
- La longitud de la flecha es determinado por la longitud del paquete. La longitud del segmento del paquete de un particular enlace es determinado por el tiempo de transmisión de ese paquete sobre ese enlace, relativo al retraso de la señal de propagación del enlace.

## 2. Redes inalámbricas

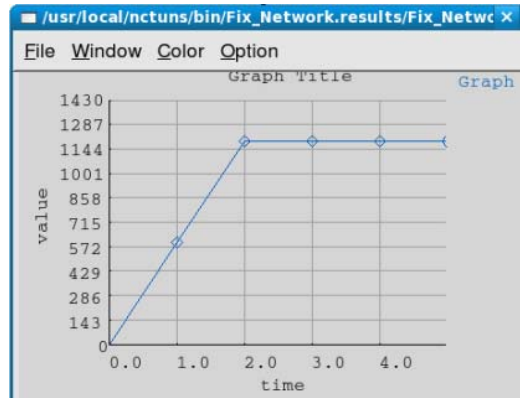
- Dos círculos concéntricos están centrados en el nodo transmisor. El círculo pequeño representa el rango de transmisión mientras que el círculo grande representa el rango de interferencia. Con el rango de interferencia, una estación puede sentir la existencia de otras señales de nodos. Sin embargo, solamente cuando la estación receptora está dentro del rango de transmisión del nodo transmisor, los paquetes enviados alcanzarán la estación receptora satisfactoriamente.
- Una trama de datos IEEE 802.11 (b) es representada por una flecha con la palabra “DATA”.
- Un paquete de *acknowledgement* es representado por una flecha con la palabra “ACK”.

## 1.5 MONITOR DE RENDIMIENTO

El monitor de rendimiento es una herramienta muy útil que puede gráficamente mostrar las métricas de rendimiento.


### 1.5.1 Ejecutar el monitor de rendimiento

El usuario puede ejecutar el comando **Menu** → **G\_Tools** → **Plot Graph** para ejecutar el monitor de rendimiento. La figura 1.82 muestra la ventana del monitor de rendimiento.



**Figura. 1.82. Monitor de rendimiento**

En la ventana del monitor de rendimiento (PM), el usuario puede ejecutar el comando **PM.Menu** → **File** → **Open** para seleccionar el archivo log deseado para abrir.

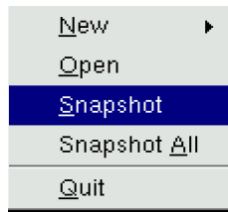
El usuario puede pulsar el botón izquierdo del mouse en el icono de inicio  de la barra de tiempo en la parte inferior de la pantalla. Como la animación de paquete inicia, la ventana del monitor de rendimiento mostrarán las correspondientes curvas de rendimiento sobre el tiempo. Hay que notar que el monitor de rendimiento puede ser usado como una herramienta independiente sin que el reproductor de animación este ejecutándose.

### 1.5.2 Operaciones del monitor de rendimiento

Existen varios comandos en el menú de la ventana de monitor de rendimiento, los cuales se explicarán a continuación.

- **PM.Menu** → **File**

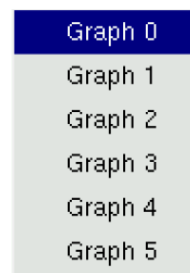
La figura 1.83 muestra la ventana de este comando.



**Figura. 1.83. Comandos en el menú de la ventana de monitor de rendimiento**

## 1. New (Nuevo)

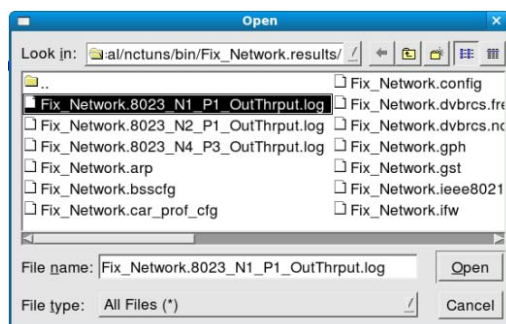
Cuando el usuario ejecuta este comando, una nueva ventana gráfica se abrirá. Se pueden mostrar seis ventanas gráficas en la pantalla al mismo tiempo. La figura 1.84 muestra esta ventana gráfica.



**Figura. 1.84. Nuevo**

## 2. Open (Abrir)

El usuario puede ejecutar este comando para abrir un archivo log deseado como el archivo fuente de datos de la ventana gráfica. La figura 1.85 muestra el cuadro de diálogo de la opción abrir.

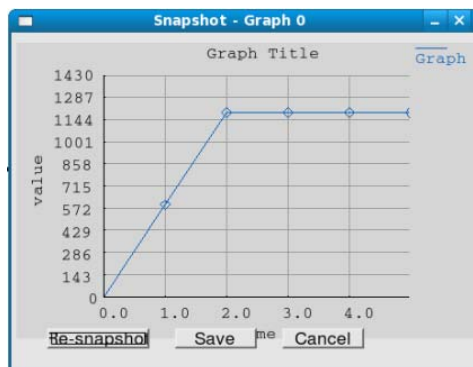




**Figura. 1.85. Abrir**

### 3. Snapshot

El usuario puede ejecutar este comando para aparecer una ventana que posee botones que ayudarán a la captura de la curva de rendimiento que se muestra en la ventana. La figura 1.86 muestra la ventana de la opción *snapshot*.



**Figura. 1.86. Snapshot**

En esta ventana, al pulsar el botón “*Re-snapshot*” se capturará la curva de rendimiento que está siendo mostrada. Al pulsar el botón “*Save*” se guardará la imagen como un archivo tipo “bmp” y al pulsar el botón “*Cancel*” se cerrará la ventana.

### 4. Snapshot all

El usuario puede ejecutar este comando para tomar fotos de todas las ventanas gráficas existentes. Esta característica es muy útil para comparar distintas métricas de rendimiento al mismo tiempo.

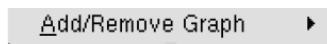
### 5. Quit (Salir)

El usuario puede ejecutar este comando para cerrar la ventana gráfica.

- **PM.Menu → Window**

- 1. Add/Remove Graph (Agregar/Remover el gráfico)**

Este comando brinda un sub-menú en el cual el usuario puede escoger diferentes gráficos de archivos de fuentes de datos. El gráfico seleccionado se muestra con una marca. El usuario puede usar este comando para mostrar varias curvas de rendimiento en la misma ventana. Es útil para comparar diferentes métricas de rendimiento al mismo tiempo. La figura 1.87 muestra el comando para agregar o remover gráficos.



**Figura. 1.87. Agregar o remover gráficos**

- **PM.Menu → Color**

Existen varios comandos en el sub-menú de color para configurar los colores de las diferentes partes de la ventana gráfica.

- 1. Background (Fondo)**

Ejecutando este comando el usuario puede escoger el color del fondo de la ventana.

- 2. Axis (Ejes)**

Ejecutando este comando el usuario puede escoger el color de los ejes X y Y del gráfico.

- 3. Grid (Malla)**

Ejecutando este comando el usuario puede escoger el color de la malla del gráfico.

#### 4. Graph (Gráfico)

Este comando brinda un sub-menú en el cual el usuario puede escoger cualquier gráfico con su correspondiente curva de rendimiento que se encuentre en la ventana y escoger su color.

#### 5. Use Default Settings (Usar la configuración por defecto)

Al ejecutar este comando se aplicarán los colores por defecto al *background*, *axis* y *grid* en la ventana gráfica.

- **PM.Menu → Option**

La figura 1.88 muestra el menú “*option*”

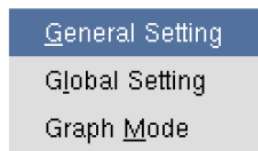


Figura. 1.88. Menú “*Option*”

#### 1. General Setting (Ajustes Generales)

Al ejecutar este comando se pueden establecer varios parámetros de la ventana gráfica. La siguiente figura muestra el cuadro de diálogo de este comando.

##### a. Graph Title

Este campo establece el título del gráfico.

##### b. Show Grids in Background

Este campo establece si las mallas deberían ser visibles.

**c. X label**

Este campo establece la etiqueta del eje X.

**d. Width (X-axis)**

Este campo especifica cuantos segundos deberían ser mostrados en la ventana gráfica.

**e. Interval of Grid (X-axis)**

Este campo establece el intervalo entre líneas de la malla del eje X. Este valor será multiplicado por 0.1 para obtener el intervalo.

**f. Y label**

Este campo establece la etiqueta del eje Y.

**g. Range-Y min**

Este campo establece el mínimo valor del eje Y.

**h. Range-Y max**

Este campo establece el máximo valor del eje Y.

**i. Interval of Grid (Y axis)**

Este campo establece el intervalo entre líneas de la malla del eje Y.

**j. Performance Curve Style – Line – Points**

Seleccionando esta opción especifica que la curva de rendimiento debería ser dibujada usando líneas rectas para conectar puntos adyacentes.

**k. Performance Curve Style – State – Transition**

Seleccionando esta opción especifica que la curva de rendimiento debería ser dibujada usando líneas horizontales para conectar puntos adyacentes.

Además el color y leyenda de la curva de rendimiento puede ser fácilmente configurada pulsando dos veces la leyenda de la curva localizada en la esquina superior derecha. La figura 1.89 muestra la configuración de las características de las gráficas de rendimiento.

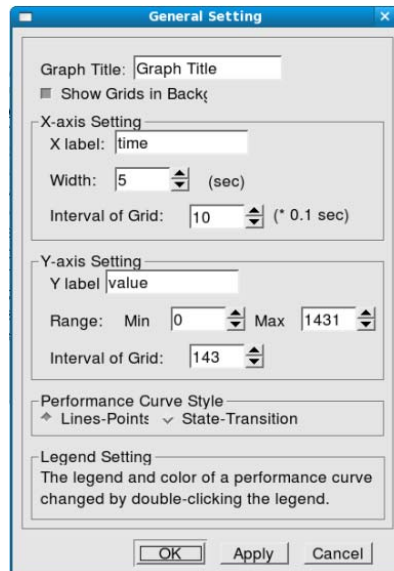


Figura. 1.89. Ajustes generales

## 2. Global Setting (Ajuste Globales)

Al ejecutar este comando se puede asociar un gráfico con un archivo log. Hasta seis asociaciones se puede especificar en este cuadro de diálogo. Para seleccionar el archivo log del host local, el usuario puede pulsar el botón “Browse”. La figura 1.90 muestra el cuadro de diálogo de este comando.



Figura. 1.90. Ajustes globales

## 3. Graph Mode (Modo de Gráfico)

Al ejecutar este comando se puede controlar como mostrar la curva de rendimiento. Existen dos modos. El primer modo es “*line points*” mientras que el segundo modo es “*state transition*”. Las figuras 1.91 y 1.92 muestran las diferencias entre estos dos modos.

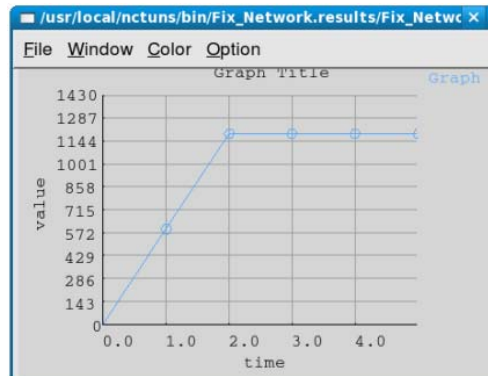


Figura. 1.91. Modo de gráfico “*line points*”

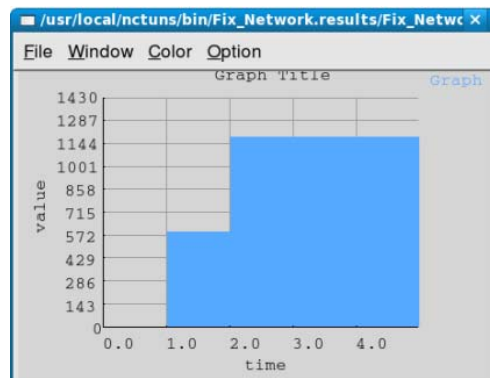



Figura. 1.92. Modo gráfico “*state transition*”

## 1.6 EMULACIÓN

El simulador de red NCTUns 4.0 puede convertirse fácilmente en emulador. Un emulador permite a una máquina real interactuar con una red simulada y hace que los paquetes reales experimenten condiciones de red especificadas por el usuario. La

emulación es muy útil para probar el funcionamiento y rendimiento de máquinas reales y visualizar como funcionaría bajo varias condiciones de red. [1]

### 1.6.1 Características

En una emulación los dispositivos reales que pueden intercambiar sus paquetes TCP con cualquier nodo en una red simulada son llamados *host* externo, *host* móvil externo en modo ad-hoc, *host* móvil externo en modo infraestructura y *router* externo y se los representa en la topología de red emulada mediante los siguiente iconos respectivamente . Además, dos *host* reales pueden intercambiar sus paquetes a través de una red simulada por el NCTUns.

Emular tiene varias ventajas, entre las cuales tenemos:

- Primero, el tráfico real y el tráfico simulado pueden interactuar entre ellos.
- Segundo, el tráfico real puede estar sujeto a especificaciones del usuario como retraso, disminución y reordenamiento de paquetes y esquemas de programación y/o administración de búfer de paquetes. Con la emulación, se puede probar el funcionamiento y rendimiento de *hosts* reales y observar como funcionarían bajo varias condiciones de red sin saber o modificar su pila de protocolo interno.

Para lograr la emulación se debe realizar lo siguiente:

1. Especificar a cual nodo en la red simulada debería estar conectado el *host/router* externo.
2. Conectar físicamente el *host/router* externo a la máquina de simulación a través de una red.
3. Establecer la velocidad del motor de simulación a “As fast as the real-world clock”.
4. Realizar algunos ajustes sobre la máquina de simulación y *hosts/routers* reales externos para que el tráfico real pueda ser dirigida a y recibida de la red simulada.

Para permitir que los paquetes generados por un *host* externo entren a la red simulada o permitir que un *host* externo reciba paquetes originados de una red simulada, el *host*

externo debe estar conectado físicamente a la máquina de simulación a través de una red (el cual puede ser tan simple como un cable). En el NCTUns, un host externo debe encontrarse en la misma subred que la máquina de simulación, caso contrario la función de emulación no funcionará apropiadamente.

Cuando un *host* externo envía sus paquetes, estos fluirán en la red y serán recibidos por la máquina de simulación. Para recibir estos paquetes y después introducirlos en la red simulada, un *daemon* de emulación a nivel de usuario debe ser ejecutado en la máquina de simulación para cada *host* externo. Estos *daemons* desempeñan un papel similar que el *daemon* NAT a nivel de usuario. Ellos interceptan paquetes, traducen direcciones IP y números de puerto, y entonces introducen paquetes en la red simulada o envían paquetes originados de la red simulada a los *hosts* externos.

Los comandos para ejecutar estos *daemons* son automáticamente generados por el programa GUI. Como tal, al inicio de la simulación, los *daemons* de emulación se ejecutarán automáticamente por el motor de simulación. Debido a que estos *daemons* son ejecutados a nivel de usuario y toma algún tiempo, para reducir la latencia de operación es recomendable que la máquina de simulación sea una máquina de alta velocidad. [1]

Para dirigir los paquetes de un *host* externo a la máquina de simulación, algunas entradas de enrutamiento deben ser configuradas en el *host* externo. Para dirigir los paquetes originados de la red simulada al *host* externo, el *daemon* de emulación también necesita alguna información. Entonces el usuario del GUI necesita realizar algunas configuraciones en el *host* externo y en la máquina de simulación para hacer que el caso de emulación funcione correctamente.

### **1.6.2 Ajustar la velocidad del motor de simulación**

Después que el usuario agregue un *host* externo en la topología de red, la velocidad del motor de simulación automáticamente se establecerá a la velocidad de reloj real. Durante la simulación, el reloj de simulación será sincronizado con el reloj real cada 1 ms. Por lo tanto, la precisión de latencia de la función de emulación es 1 ms.



De resultados experimentales, se ha encontrado que la precisión puede degradarse y variar si el NCTUns es usado en el modo *single-machine*. En este modo, durante una emulación, el programa GUI, el motor de simulación, los programas de aplicación generadores de tráfico, y algunos programas *daemons* necesitan ser ejecutados en una sola máquina. Debido a que ellos necesitan competir por ciclos de CPU de la máquina, la precisión de emulación puede degradarse. Sin embargo, se ha encontrado que si el NCTUns es usado en el modo *multi-machine*, la precisión es muy alta y no se degrada. [1]

Cuando todos los *hosts* externos son removidos de la topología de red, el GUI no cambia automáticamente la velocidad de simulación a la opción “*As fast as posible*”. La figura 1.93 muestra la velocidad del motor de simulación.

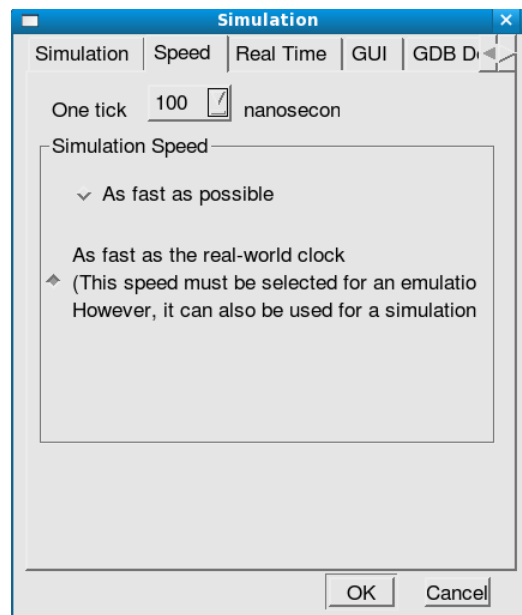


Figura. 1.93. Velocidad del motor de simulación

### 1.6.3 Agregando un *host* externo a la topología de red

Primero el usuario debe pulsar el icono de *host* externo en la barra de herramientas y después agregarlo a la topología de red. Segundo el usuario cambia al modo “*Edit Property*” e ingresa la dirección IP usada por el *host* externo en el mundo real. Esta información debe ser conocida por el *daemon* de emulación, caso contrario no podrá enviar paquetes originados desde la red simulada al *host* externo. El número de puerto de

emulación puede ser cualquier número de puerto disponible en la máquina de simulación. Cada *daemon* de emulación debe usar un número de puerto diferente para interceptar los paquetes. Además el usuario necesita ingresar la dirección IP usada por la máquina de simulación en el mundo real. [1]

En el cuadro de diálogo de un *host* externo la “Assigned host IP address” (dirección IP asignada al host) es la dirección IP asignada a este *host* externo en la red simulada. Si un nodo en la red simulada desea enviar paquetes al *host* externo, el nodo puede usar la dirección IP asignada al *host* externo como la dirección IP destino de esos paquetes. Estos paquetes atravesarán la red simulada y alcanzarán al *host* externo. El *daemon* de emulación que soporta este *host* externo interceptará estos paquetes y los enviará al *host* externo en el mundo real. La figura 1.94 muestra el cuadro de diálogo de un *host* externo.

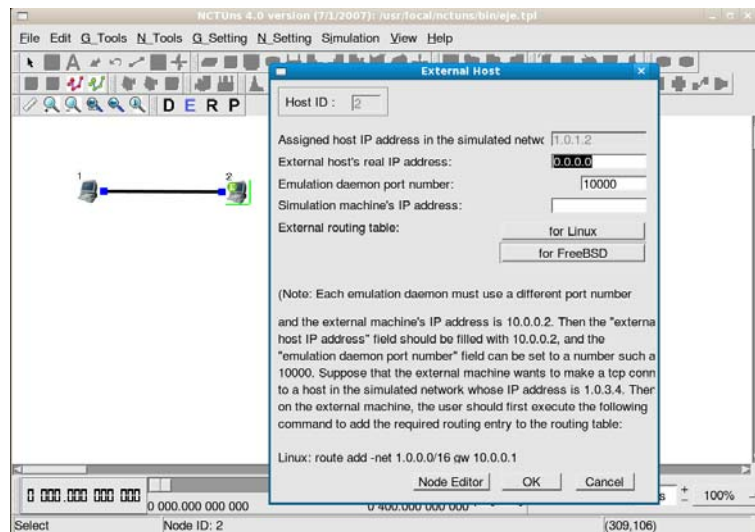


Figura. 1.94. Host externo

#### 1.6.4 Dirigir el tráfico a la red simulada

Suponiendo que en el mundo real la dirección IP de la máquina de simulación es 10.0.0.1, que la dirección IP de la máquina externa es 10.0.0.2 y están físicamente conectados a través de un cable, además la máquina externa quiere realizar una conexión TCP a un nodo en la red simulada, el cual tiene la dirección IP 1.0.3.1 asignada, entonces en la máquina externa el usuario primero debe ejecutar el siguiente comando FreeBSD para agregar la entrada de enrutamiento al sistema de tabla de enrutamiento.

```
route add 1.0/16 10.0.0.1
```

En el comando anterior, 1.0/16 significa que la dirección de la red de destino es 1.0.X.X (16 significa que la máscara es 255.255.0.0). Hay que notar que cada nodo en la red simulada tiene asignado una dirección IP de la forma 1.0.X.X. Como tal, el comando anterior indica que todos los paquetes salientes cuya dirección IP destino es 1.0.X.X deberían ser enviados al *gateway* que tiene dirección IP 10.0.0.1. En este caso 10.0.0.1 es la dirección IP de la máquina de simulación, por lo tanto los paquetes enviados serán recibidos por la máquina de simulación

Si la máquina externa es una máquina Linux, el comando de enrutamiento debería ser el siguiente:

```
route add -net 1.0.0.0/16 gw 10.0.0.1
```

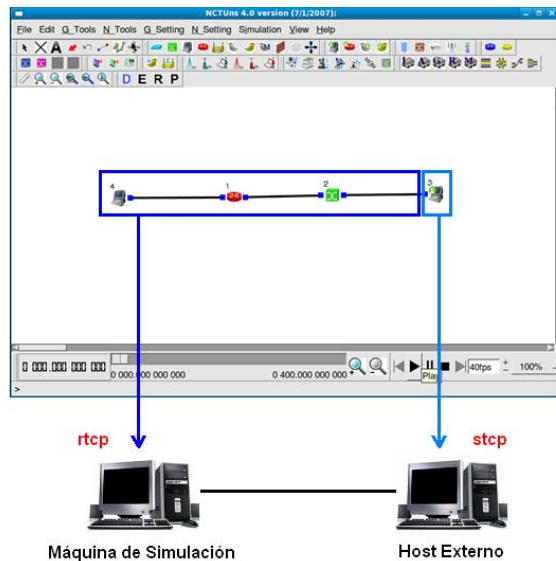
### 1.6.5 Ejemplos de emulación

En la siguiente parte se ilustrará como usar un host externo, un nodo móvil externo en modo ad-hoc, un nodo móvil en modo infraestructura, y un router externo en emulaciones.

#### 1. Host externo

La figura 1.95 muestra un ejemplo. En esta figura, un *host* externo es conectado a una red simulada a través de un enlace simulado que se encuentra entre el *switch* y el *host* externo. El *host* externo desea intercambiar paquetes TCP con el host en la red simulada. Se supone que la dirección IP asignada al *host* simulado es 1.0.1.1 y la dirección IP asignada al *host* externo en la red simulada es 1.0.2.1.

Para que *host* externo realice una conexión TCP con el *host* simulado, el comando “*rtcp -p 8000*” puede ser ingresado en la pestaña “**Application**” del *host* simulado. Al realizar esto se ejecutará un programa de recepción TCP en el *host* simulado durante la emulación. Después de iniciar la emulación, el usuario GUI puede ejecutar el comando “*stcp -p 8000 1.0.1.1*” en el *host* externo para ejecutar el programa de envío TCP.



**Figura. 1.95. Ejemplo de *host* externo**

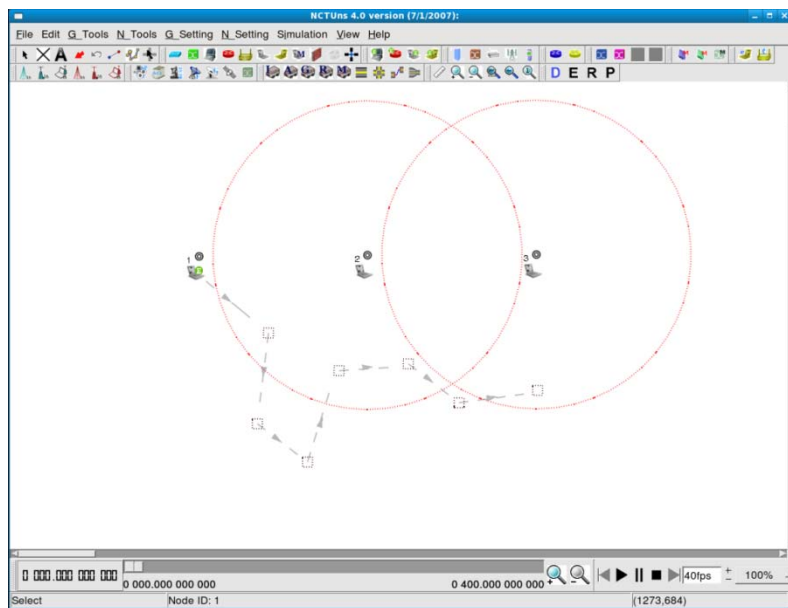
Si el *host* externo está físicamente conectado a la máquina de simulación y su configuración de enrutamiento ha sido propiamente configurada de acuerdo a las explicaciones anteriores, los paquetes TCP serán intercambiados entre el *host* simulado y el *host* externo.

En el caso que el *host* simulado desee realizar una conexión TCP con el *host* externo, el comando “*rtcp -p 8000*” debe ser ejecutado en el *host* externo y el comando “*stcp -p 8000 1.0.2.1*” debe ser ingresado en la pestaña “**Application**” del *host* simulado.

## **2. *Host* móvil externo en modo ad-hoc**

Para la emulación, un *host* móvil externo en modo ad-hoc no necesita ser un dispositivo móvil real (por ejemplo, una computadora portátil equipada con una interfaz IEEE 802.11). En realidad, este puede ser un *host* fijo, el cual usa un enlace Ethernet normal para conectarse a la red simulada, debido a que el protocolo IEEE 802.11 MAC del nodo móvil externo es simulado en la red simulada, el protocolo IEEE 802.11 MAC en el nodo móvil externo real no es usado entre el nodo móvil externo y la máquina de simulación para intercambiar sus paquetes. Además, la movilidad es simulada por el simulador. Por estas razones, el dispositivo móvil externo puede ser un *host* fijo.

La figura 1.96 muestra un ejemplo de emulación en el cual un *host* móvil externo en modo ad-hoc se comunica con un *host* móvil simulado a través de otro *host* móvil simulado. Inicialmente, el *host* móvil externo de la izquierda puede intercambiar paquetes con el *host* móvil simulado a través del *host* móvil intermedio. Sin embargo, a medida que el tiempo avanza, el *host* móvil externo comienza a alejarse del *host* móvil simulado (en la red simulada) y eventualmente estará fuera del rango de transmisión del *host* móvil intermedio, en este momento, no podrá comunicarse con el *host* móvil simulado.



**Figura. 1.96. Ejemplo de *host* móvil externo en modo ad hoc**

El *host* móvil externo puede usar un enlace Ethernet normal o una interfaz inalámbrica IEEE 802.11b para conectarse a la máquina de simulación. En realidad no importa que tipo de enlace de red sea usada entre la máquina de simulación y el *host* móvil externo, siempre y cuando sus paquetes IP puedan ser intercambiados en el medio de red usada.

Como en el caso de emulación de un *host* externo, la máquina de simulación y el *host* móvil externo deberían estar en la misma subred. Asumiendo que la dirección IP de la máquina de simulación es 10.0.0.1 y la dirección IP de la máquina externa es 10.0.0.2 y están físicamente conectados a través de un cable Fast Ethernet, entonces en el *host* móvil

externo, el usuario debería ejecutar el siguiente comando para agregar la entrada de enrutamiento a su tabla de enrutamiento.

```
route add 1.0/16 10.0.0.1 (FreeBSD)
route add 1.0.0.0/16 gw 10.0.0.1 (Linux)
```

El uso de un *host* móvil externo en modo ad-hoc es similar al del *host* externo.

### 3. *Host* móvil externo en modo infraestructura

El uso de un *host* móvil externo en modo infraestructura es similar al *host* externo y al *host* móvil externo en modo ad-hoc. La única excepción es que en el cuadro de diálogo del GUI del *host* móvil externo en modo infraestructura, el usuario necesita proveer la información de la dirección IP de *gateway*. Este requerimiento es razonable ya que en el cuadro de diálogo GUI de un nodo móvil normal en modo infraestructura (en la pestaña “**Interface**”) se necesita esta información y el usuario también debe proveerla en un *host* móvil externo en modo infraestructura. [1]

La figura 1.97 muestra un ejemplo de emulación en el cual un *host* móvil externo en modo infraestructura se comunica con un *host* simulado a través de un punto de acceso simulado.

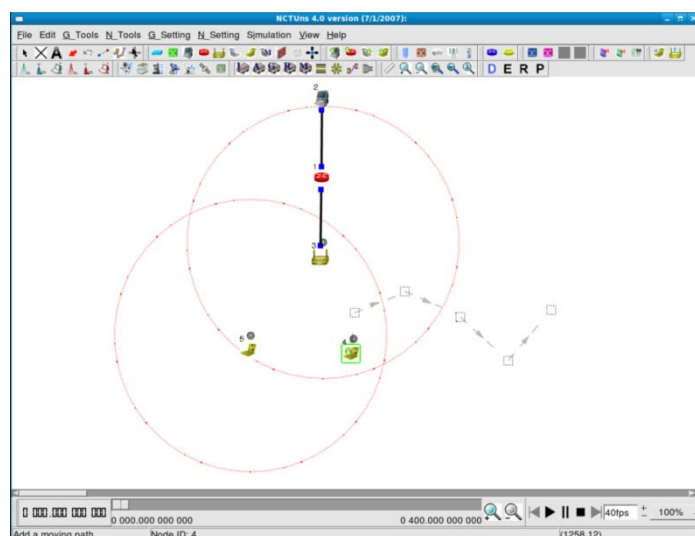


Figura. 1.97. Ejemplo de *host* móvil externo en modo infraestructura

Inicialmente, el *host* móvil externo en modo infraestructura puede comunicarse con el *host* simulado. Sin embargo, cuando este sale del área de cobertura del punto de acceso inalámbrico no podrá comunicarse con el *host* simulado.

La configuración física y de enrutamiento para este caso es la misma que la usada por el caso del *host* móvil externo en modo ad-hoc.

#### 4. Router externo

Un *router* externo también puede interactuar con una red simulada. Esta es una característica muy útil ya que el tráfico originado de una red simulada puede ser direccionado al *router*, experimentar el *packet scheduling* y el proceso de administración del buffer del *router* y entonces regresarlo a la red simulada. Con esta capacidad, fácilmente se puede probar la funcionalidad del *router* (por ejemplo, enviar virus y paquetes peligrosos para la red para visualizar si el *router* puede detectarlos).

La figura 1.98 muestra un ejemplo de emulación donde tres *hosts* simulados son conectados a un *router* externo. En esta topología, se tiene dos conexiones TCP. La primera inicia en el *host* 1 y termina en el *host* 3, mientras que la segunda inicia en el *host* 2 y termina en el *host* 3. Los paquetes de estas dos conexiones TCP necesitan pasar por el *router* externo. Es decir, estos paquetes necesitan salir de la red simulada (*host* 1 y *host* 2), entrar a la red real para alcanzar el *router* externo, salir del *router*, y entonces reingresar a la red simulada (*host* 3).

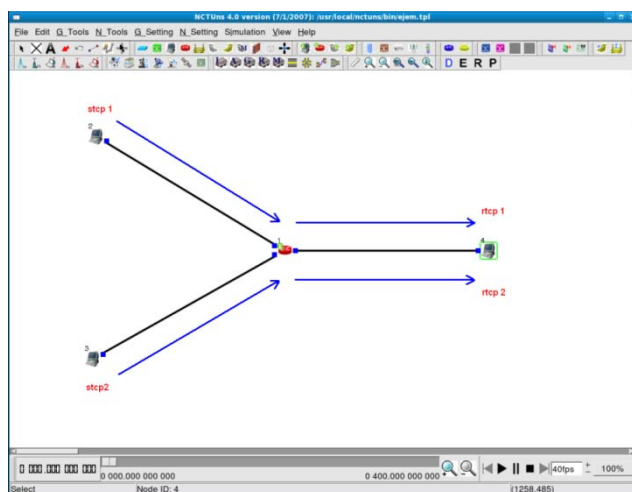
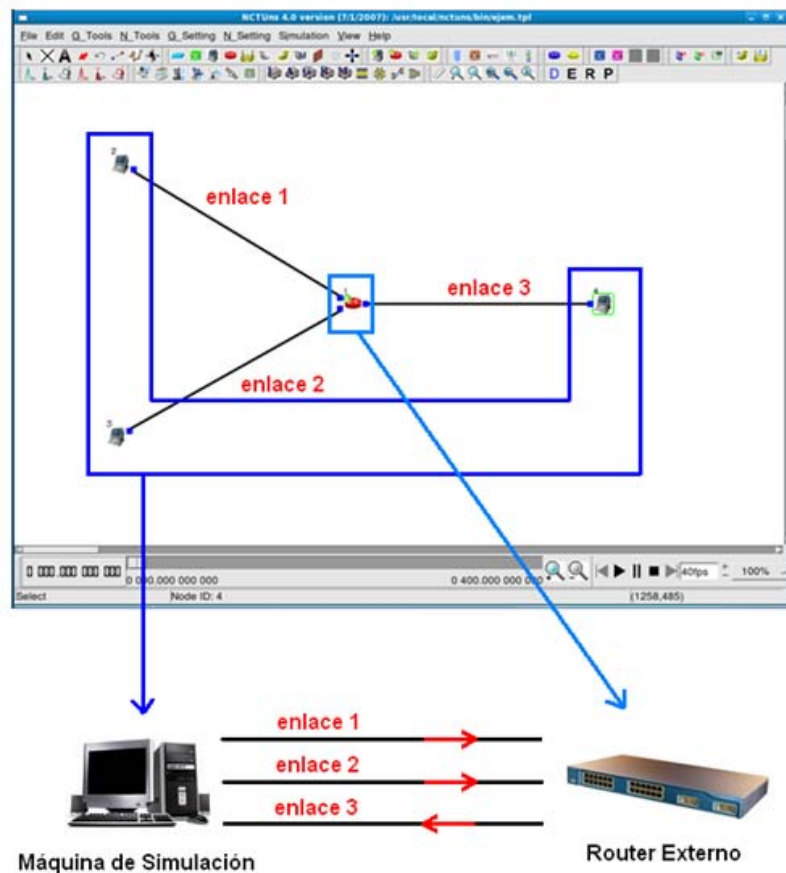


Figura. 1.98. Ejemplo de *router* externo

La configuración física de la red para ejecutar esta emulación se muestra en la figura 1.99. La máquina de simulación necesita tener tres interfaces de red y cada una debería conectarse a un puerto del *router* externo. Hay que notar que el ancho de banda y retrasos de estos enlaces son especificados y simulados por la máquina de simulación. Debido a que estos enlaces físicos son usados para entregar paquetes lo más rápido posible, el ancho de banda de los enlaces físicos usados debería ser lo más elevado posible y los retrasos de estos enlaces lo más pequeños posibles.

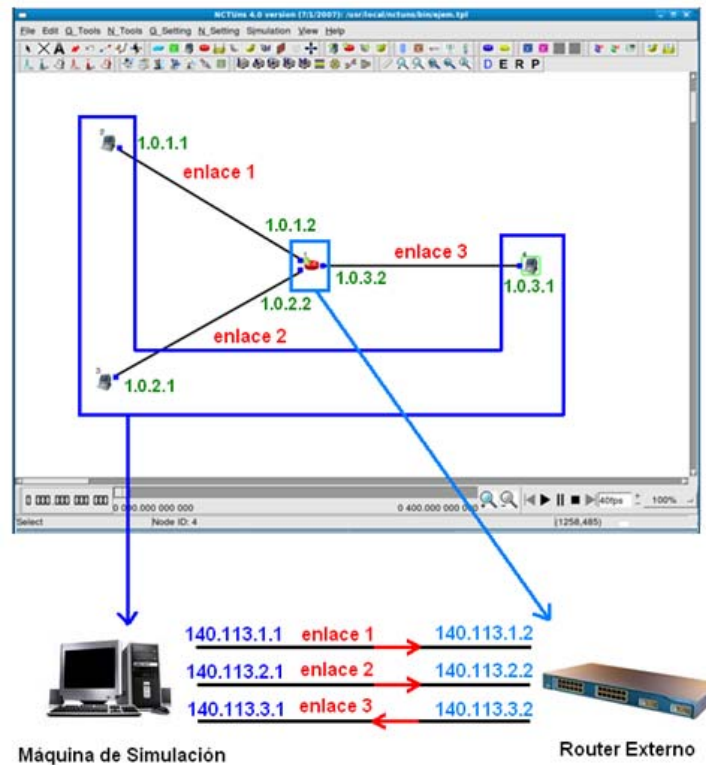


**Figura. 1.99. Enlaces en el ejemplo de *router* externo**

El motor de simulación necesita información acerca del *router* externo. Por lo tanto, el usuario necesita dar información en el cuadro de diálogo GUI del *router* externo, el cual se muestra en la figura 1.100. Para cada puerto del *router* externo real, el usuario necesita dar la asociación entre la siguiente información: su dirección IP asignada en la red simulada (esta información es automáticamente dada por el GUI en la segunda columna de esta tabla de asociación después de la columna del ID de puerto), la dirección IP real de la







**Figura. 1. 101. Configuraciones de la red emulada**

En el *router* externo real, algunas entradas de enrutamiento necesitan ser agregadas a su tabla de enrutamiento para que los paquetes originados desde la red simulada puedan ser regresados a la red simulada. Estas rutas serán ingresadas de acuerdo al tipo de *router* que se use para la emulación.

## 1.7 PROTOCOLOS IP MÓVIL, RTP/RTCP/SDP

Antes de realizar el estudio de los diferentes tipos de redes se deben entender los conceptos y funcionamiento de estos protocolos.

### 1.7.1 IP Móvil

Este protocolo permite a un *host* móvil en modo infraestructura desplazarse en diferentes puntos de acceso (roaming), es decir, salir de su red local e ingresar en una red diferente sin romper su conexión. NCTUns soporta el IP móvil, incluyendo su esquema básico y el esquema más avanzado llamado “*route optimization*”. [1]

Las entidades que participan en el IP Móvil son el *host* móvil, el correspondiente *host*, el agente local, y el agente extranjero. Normalmente los programas de agente local y agente extranjero son ejecutados en *routers* y las conexiones son creadas entre el *host* móvil y el correspondiente *host* (en la red fija).

## 1. Usando IP Móvil

A continuación se mostrará como habilitar la función IP Móvil en NCTUns.

- **Host correspondiente**

En la figura 1.102 se muestra la pestaña “*Mobile IP*” del cuadro de diálogo de un *host*.

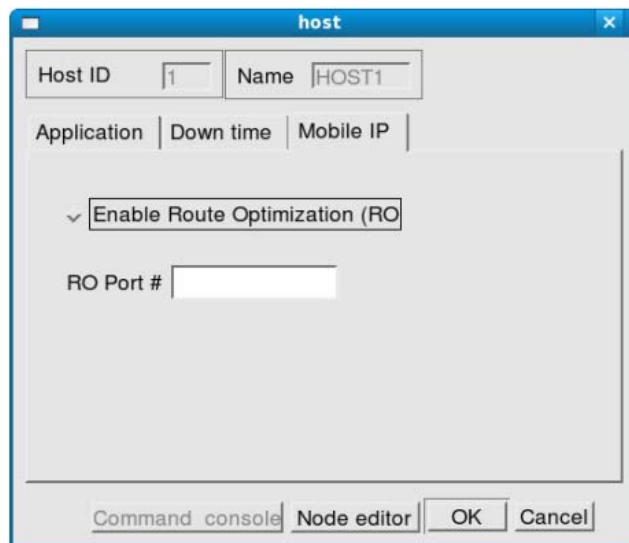


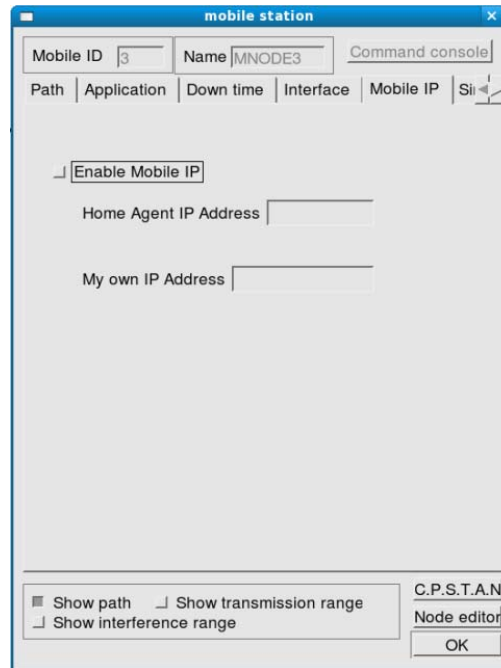
Figura. 1. 102. Habilitar optimización de ruta

En el esquema básico del IP Móvil, no se necesita hacer nada en el *host* correspondiente. Sin embargo, si el *host* correspondiente desea usar el esquema avanzado “*Route Optimization*”, la opción “*Enable Route Optimization (RO)*” debe ser marcada. Debido a que el agente RO (*daemon*) necesita ser ejecutado en este *host*, el usuario debe especificar un número de puerto UDP para este *daemon*. Este

número de puerto debería ser diferente de todos los números de puertos usados por otros *daemons*.

- **Host móvil en modo infraestructura**

En la figura 1.103 se muestra la pestaña “*Mobile IP*” del cuadro de diálogo de un *host* móvil.

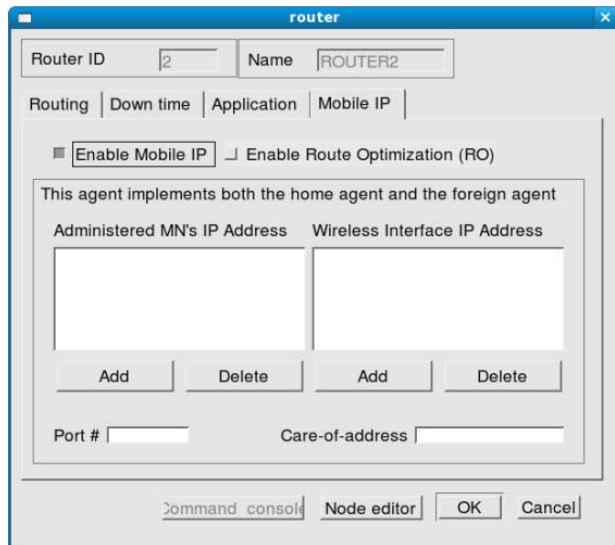


**Figura. 1. 103. Habilitar *Mobile IP* en *host* móvil en modo infraestructura**

Si un *host* móvil desea usar el IP Móvil, la opción “*Enable Mobile IP*” de la figura anterior necesita ser marcada. También el usuario necesita especificar la dirección IP del *router* de la red local donde el agente local del *host* móvil reside. El usuario también necesita dar la dirección IP usada por el *host* móvil al agente móvil. Esta información es requerida en el protocolo IP Móvil porque el agente móvil necesita registrar su propia dirección IP con su agente local.

- **Router**

En la figura 1.104 se muestra la pestaña “*Mobile IP*” del cuadro de diálogo de un *router*.



**Figura. 1. 104. Habilitar *Mobile IP* en *router***

Los *routers* son los lugares donde residen el agente local y el agente extranjero. En NCTUns, un *router* puede actuar como un agente local y como un agente extranjero al mismo tiempo.

Para que un agente local funcione en el *router*, el usuario necesita ingresar una lista de direcciones IP de los *hosts* móviles, los cuales este agente visualiza como su agente local. Esta información permite al agente local saber si un *host* móvil ha salido de su red local o si ha regresado a su red local. El usuario también necesita especificar un número de puerto UDP para el agente local (*daemon*). Este número de puerto no debería ser usado por otros programas *daemon* usados en el caso de simulación.

Para que un agente extranjero funcione en el *router*, el usuario debería dar la dirección IP de una interfaz (en este *router*) que se conecta al punto de acceso inalámbrico. Esta configuración le dice al agente extranjero que brinde servicios a esta subred inalámbrica especificada. Si el *router* tiene muchas interfaces y cada una esta conectada a diferentes puntos de acceso inalámbricos, y el usuario desea

que el agente extranjero brinde servicios a todas estas subredes inalámbricas, entonces el usuario puede ingresar las direcciones IP de todas estas interfaces en la lista.

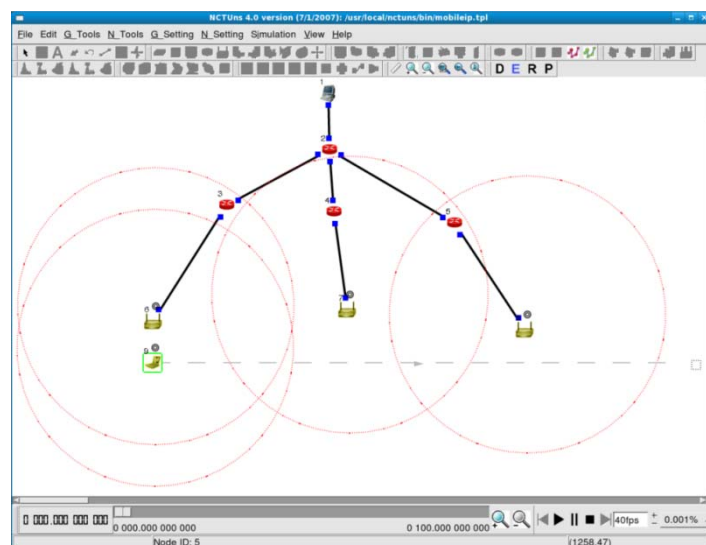
El usuario también necesita especificar el *care-of-address* usado por el agente extranjero. Normalmente es la dirección IP de la interfaz de red que es usada por este *router* para comunicarse al host correspondiente.

Finalmente, si el usuario desea usar el esquema “*Route Optimization*” en este *router*, esta opción necesita ser marcada.


## 2. Ejemplo

En la figura 1.105 se mostrará un ejemplo del uso del IP Móvil. En esta red hay tres diferentes subredes inalámbricas, cada subred usa un punto de acceso IEEE 802.11 (b) para permitir al *host* móvil en modo infraestructura conectarse con la red fija.

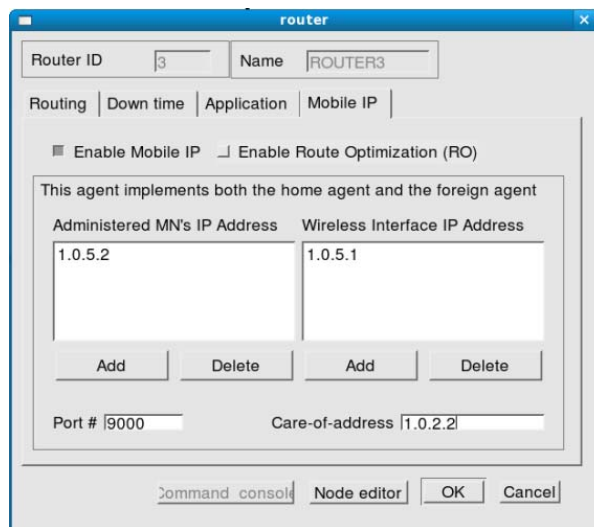
Inicialmente el *host* móvil en modo infraestructura está en su subred local. Una conexión TCP es creada entre el *host* móvil y el *host* en la red fija. Entonces, el *host* móvil abandona su subred local, entra en la subred inalámbrica intermedia y luego a la subred inalámbrica de la derecha. Con el IP Móvil, la conexión TCP se puede mantener activa aún cuando el *host* móvil ha ingresado en una diferente subred.



**Figura. 1. 105. Uso del *IP* móvil**

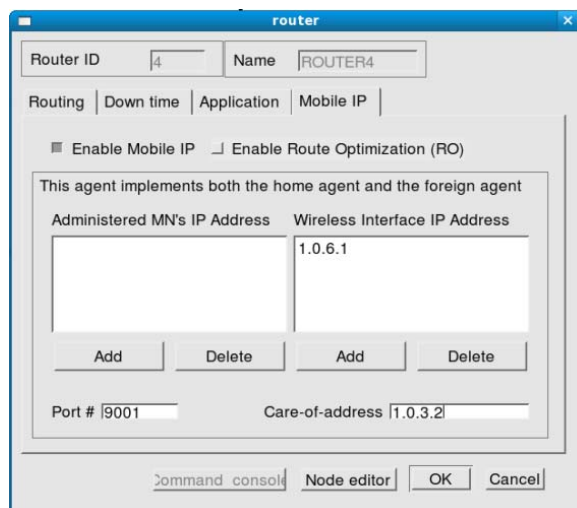
Después de realizar topología que se muestra en la figura anterior, el usuario deberá seleccionar el *host* móvil y el punto de acceso de la subred local para formar una subred, esto se lo realiza con la herramienta “*Form wireless subnet*” . Las subredes inalámbricas formadas pueden ser visualizadas y administradas ejecutando el comando **Menu** → **N\_Tools** → **802.11(b) Wireless Network** → **Manage 802.11(b) Infrastructure Mode Subnets**.

Las configuraciones de los *routers* se muestran en las figuras 1.106, 1.107 y 1.108:



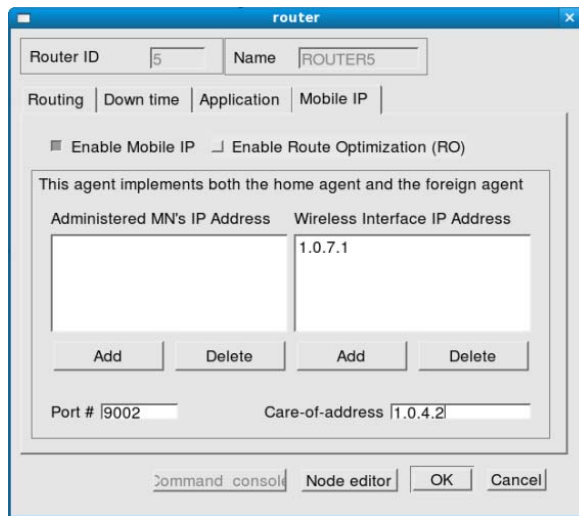
| Administered MN's IP Address | Wireless Interface IP Address |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1.0.5.2                      | 1.0.5.1                       |

**Figura. 1. 106. Configuración del *router* con ID 3**



| Administered MN's IP Address | Wireless Interface IP Address |
|------------------------------|-------------------------------|
|                              | 1.0.6.1                       |

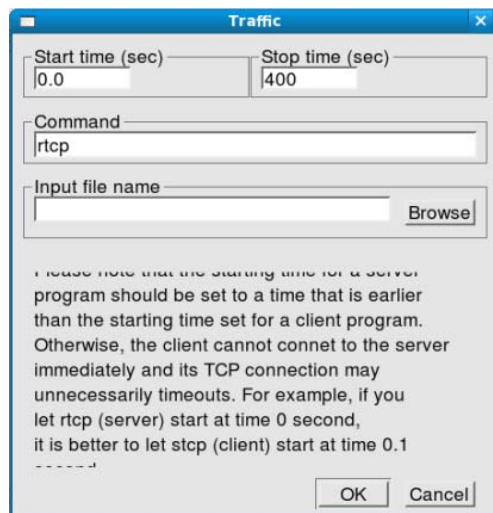
**Figura. 1. 107. Configuración del *router* con ID 4**



**Figura. 1. 108. Configuración del *router* con ID 5**

Para realizar la conexión TCP entre el *host* móvil y el *host* correspondiente se ejecutarán los comandos que se muestran en las figuras 1.109, 1.110 y 1.111:

- En el *host* móvil:



**Figura. 1.109. Comando en el *host* móvil**



Y se marca “Enable Móbile IP”

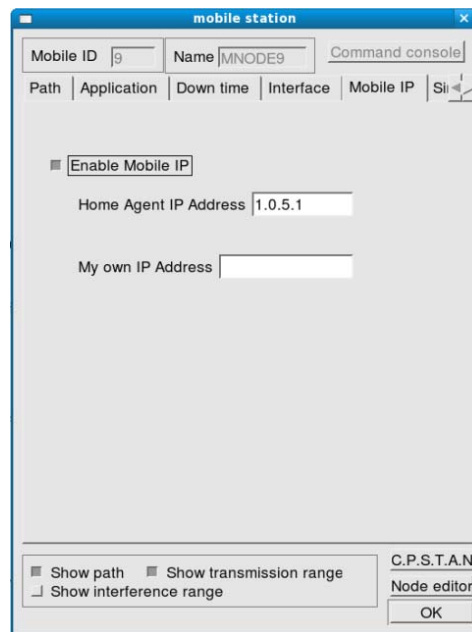


Figura. 1. 110. Habilitar *Mobile IP*

- En el *host* correspondiente:

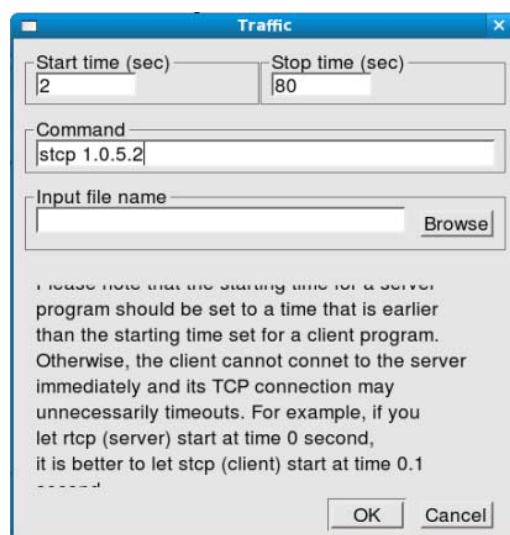


Figura. 1. 111. Comando en el *host* correspondiente

Luego de realizar estos pasos se puede realizar la simulación y se podrá visualizar como se mantiene la conexión TCP mientras el *host* móvil se desplaza de su red local hacia las otras redes, como se muestra en las figuras 1.112, 1.113 y 1.114.

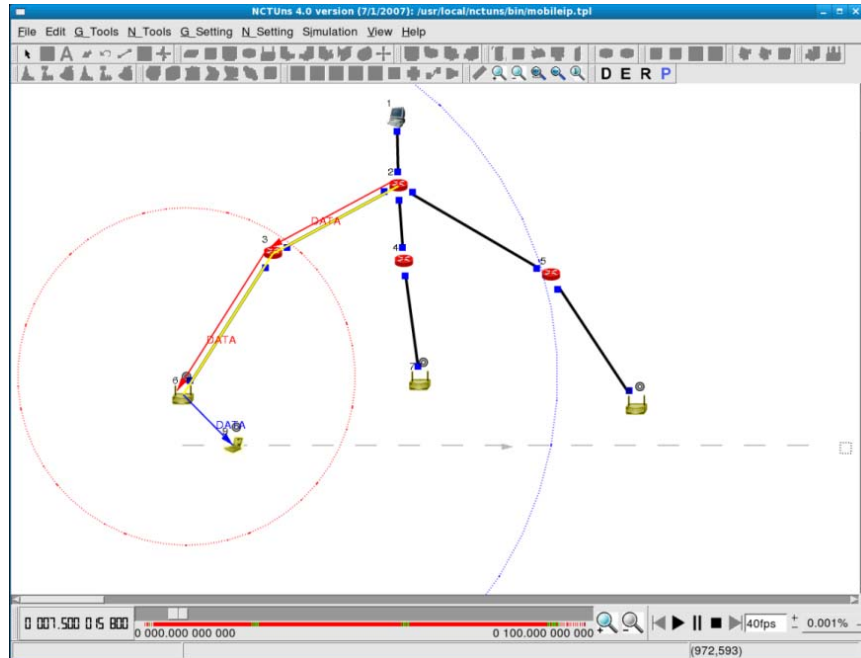


Figura. 1. 112. Conexión *TCP* usando el primer punto de acceso

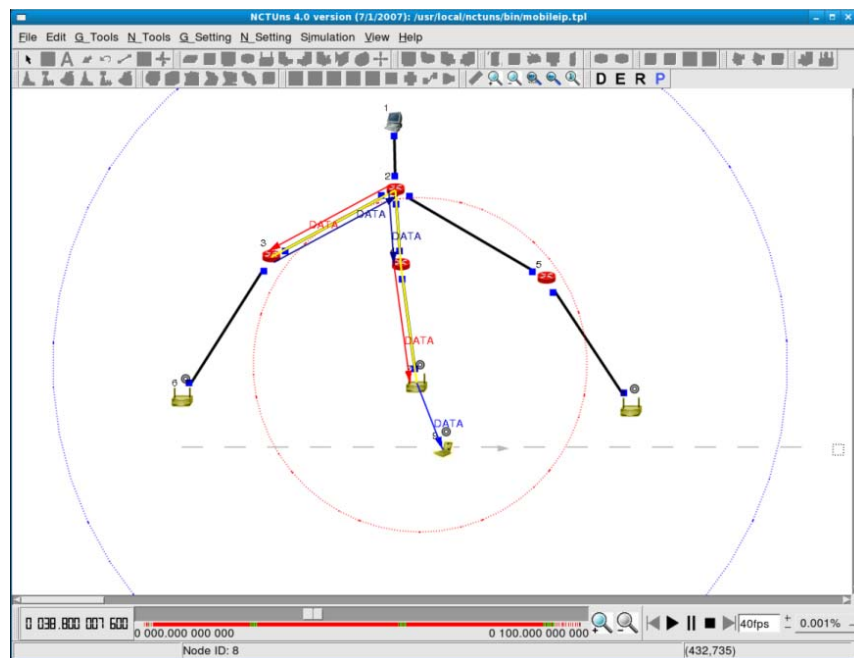
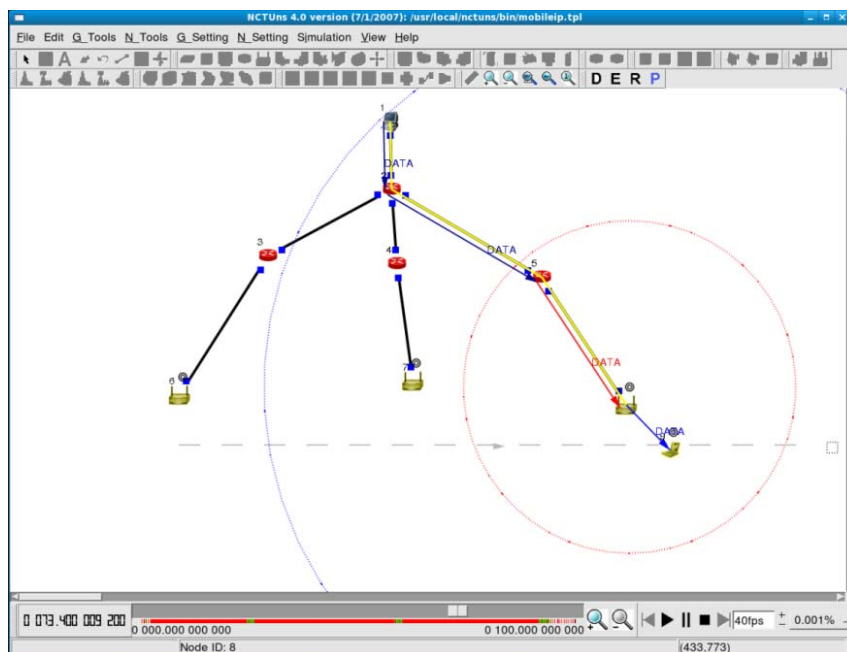


Figura. 1. 113. Conexión *TCP* usando el segundo punto de acceso



**Figura. 1. 114. Conexión TCP usando el tercer punto de acceso**

## 1.7.2 RTP/RTCP/SDP

El protocolo de transporte en tiempo real (RTP), protocolo de control RTP (RTCP), y protocolo de descripción de sesión (SDP) son usados para transportar tráfico en tiempo real como audio y video. [1]

RTP es un protocolo de transporte que puede ser usado para dar el servicio de voz sobre IP (VoIP). RTP está compuesto por un componente de datos y de control. El componente de control es llamado RTCP.

El componente de datos del RTP es un protocolo simple que brinda soporte para aplicaciones en tiempo real (por ejemplo, un servidor de audio y/o video). El soporte incluye detección de paquetes perdidos, seguridad de datos, y otras funciones.

RTCP por otro lado, brinda soporte para conferencias en tiempo real de grupos. Este soporte incluye identificación de fuente de tráfico, *gateways* de audio/video, y otras funciones. Receptores de tráfico pueden usar RTCP para enviar un *feedback* de la calidad de servicio a un grupo determinado para que la tasa de envío de tráfico de la fuente pueda ser ajustada de acuerdo al ancho de banda disponible. RTCP también soporta la sincronización. [2]

SDP está destinado para describir sesiones multimedia, para propósitos de anuncio de sesión, invitación de sesión, y otras formas de iniciación de sesión multimedia. Este protocolo brinda un formato para describir información de sesión a participantes de sesión. Esta información incluye parámetros de nivel de sesión y parámetros de nivel de medio. Los parámetros de nivel de sesión pueden incluir el nombre de la sesión y los parámetros de nivel de medio pueden incluir el tipo de medio y formato.

Debido a que SDP brinda solamente descripciones de sesión y no brinda un camino para transportar y anunciar sesiones, necesita ser usado con otros protocolos como el protocolo de iniciación de sesión (SIP). SIP es un protocolo de señalamiento que lleva a cabo la configuración, modificación, y *tear-down* de sesiones multimedia. Un uso común es que el SIP contenga información SDP dentro de su mensaje para configurar o *tear-down* sesiones multimedia.

## 1. Librería RTP/RTCP

En NCTUns, la librería RTP/RTCP permite que los programas de aplicación puedan fácilmente usar RTP y RTCP para transportar datos en tiempo real. Los archivos fuente y binario de esta librería están en el directorio `/usr/local/nctuns/lib/librtp`.

En NCTUns existen tres ejemplos de programas de aplicación que usan la librería RTP para demostrar como se usan las funciones API. Los nombres de estos programas son *rtprecvonly*, *rtpsendrecv*, y *adapt\_bw*, respectivamente. Las diferencias entre estos programas se explican a continuación. *Rtprecvonly* recibe paquetes RTP y RTCP, envía paquetes RTCP, pero no envía paquetes RTP. *Rtpsendrecv* envía y recibe paquetes RTP y RTCP. Los dos programas anteriores usan una tasa fija para enviar sus paquetes RTP basados en un ancho de banda específico, en un tipo de medio seleccionado, y un esquema de códec usado. Por otro lado, *adapt\_bw* usa paquetes RTCP para reportar la calidad de

servicio recibida en el receptor, por lo que el emisor puede dinámicamente ajustar la tasa de envío de sus paquetes RTP.

En el cuadro de diálogo de cada *host*, un menú del comando RTP es dado para el usuario para que rápidamente seleccione un programa de estos. Los archivos fuente de estos programas son almacenados en el directorio *tool/traffic-gen/rtp\_examples* del paquete para la referencia del usuario. El usuario puede referenciar estos archivos fuente para entender como usar el RTP API. Si el usuario desea experimentar una nueva forma de usar RTP, puede cambiar el código fuente de estos programas. Mientras los nombres de estos programas no sean cambiados, estos nuevos ejemplos de programas RTP serán usados después que sean copiados al directorio */usr/local/nctuns/tools/*.

## 2. Usando RTP

En la siguiente parte se ilustrará como ejecutar los programas de ejemplo RTP en las simulaciones de NCTUns

En el cuadro de diálogo de *host* de la figura 1.115 se dispone de los botones “*Add RTP*” y “*Modify RTP*” para hacer uso de los programas RTP.

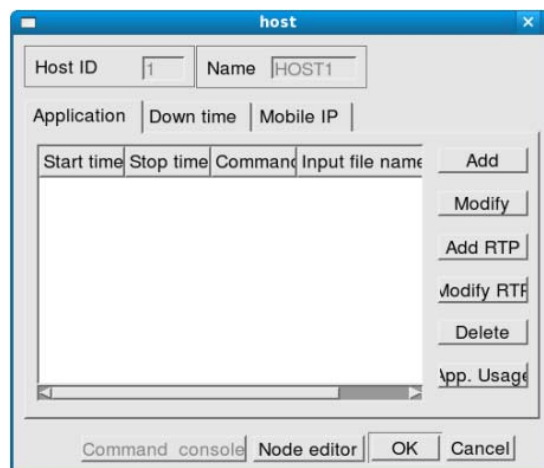
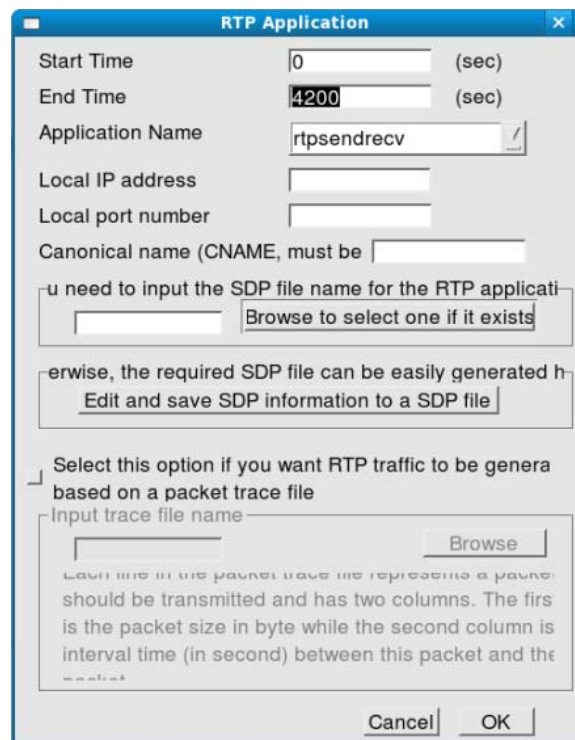


Figura. 1. 115. Botones “*Add RTP*” y “*Modify RTP*”

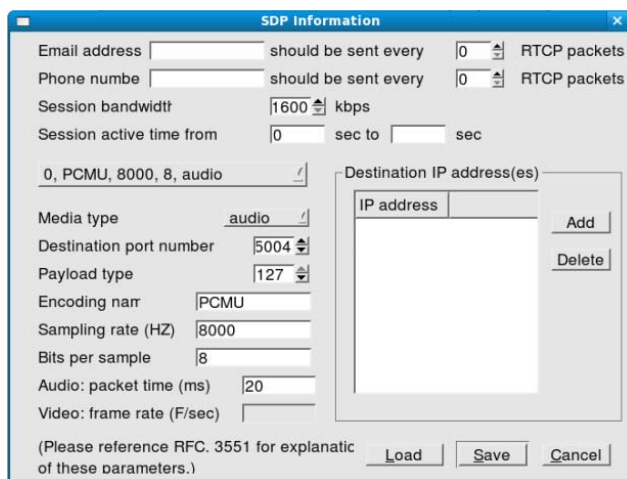
Cuando el usuario pulsa el botón “*Add RTP*”, el cuadro de diálogo RTP de la figura 1.116 se mostrará. En este cuadro de diálogo, el usuario puede establecer el tiempo de

inicio y final del programa RTP. Uno de los tres programas RTP pueden ser seleccionados del menú del comando “*Application Name*”. El usuario ingresa la dirección IP de este *host* en el campo “Local IP Address” y especifica un número de puerto UDP no usado para este programa RTP. Para el campo “*Canonical name*”, el usuario necesita ingresar un único nombre como fernandoh9.



**Figura. 1. 116. Aplicación RTP**

El usuario necesita especificar la sesión y los parámetros relacionados con el medio para el programa RTP seleccionado. Estos parámetros deberían ser almacenados en un archivo de configuración SDP, el cual será leído por el programa RTP seleccionado. En este momento, el usuario puede pulsar el botón “*Edit and save SDP information to a SDP file*” para mostrar el cuadro de diálogo SDP de la figura 1.117. Si un archivo SDP existe y puede ser modificado por este programa RTP, el usuario puede pulsar el botón “*Load*” para cargar su contenido. De lo contrario, el usuario iniciará con un cuadro de diálogo SDP en blanco y más tarde se guardará la información SDP ingresada en un archivo SDP.



**Figura. 1. 117. Información SDP**

Si antes que el usuario pulse el botón “*Edit and save SDP information to a SDP file*”, el nombre del archivo SDP ha sido especificado en el campo de nombre del archivo SDP, su contenido será cargado automáticamente para editar.

En el cuadro de diálogo SDP, la información de “*Email*” y el “*Phone number*” puede ser omitida. El usuario necesita especificar el ancho de banda y el periodo activo de la sesión. En la izquierda, un menú del tipo de medio es dado para que el usuario pueda fácilmente seleccionar un tipo de medio sin ingresar manualmente sus valores de parámetros asociados. En la derecha, el usuario puede ingresar la dirección o direcciones IP destino de los paquetes RTP. Si varias direcciones IP son ingresadas, el programa RTP en este *host* usará múltiples sesiones *unicast* para entregar paquetes RTP a cada uno de los nodos destino.

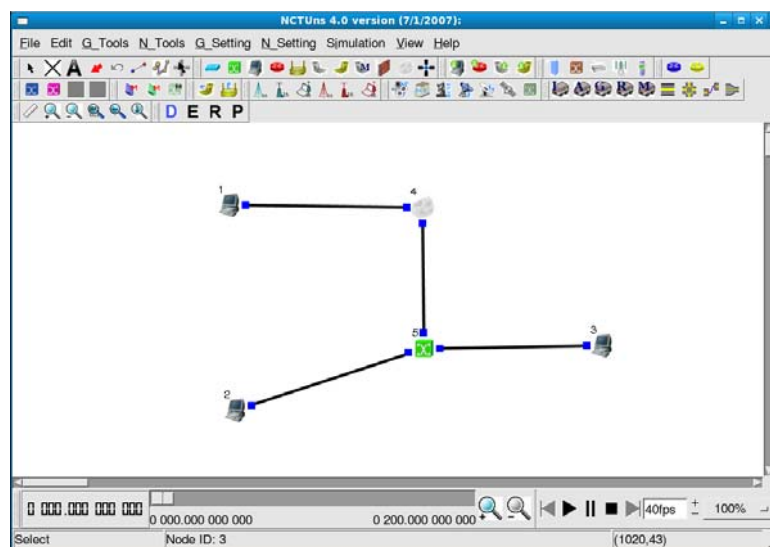
Después que toda la información ha sido ingresada en el cuadro de diálogo SDP, el usuario puede pulsar el botón “*Save*” para guardar los valores de los parámetros en el archivo SDP. El nombre de este nuevo y creado archivo (o del archivo existente) debe ser puesto en el campo “*SDP file name*” para que el programa RTP seleccionado pueda encontrarlo y leerlo. El nombre del archivo SDP puede ser ingresado en el campo manualmente o a través del botón “*Browse to select one if it exists*”

El programa *rtpsendrecv* usa una tasa fija para enviar sus paquetes RTP. Si un usuario desea que este programa envíe sus paquetes RTP basado en un archivo

de trazo de paquete, el usuario puede marcar la opción “*Select packet trace file*” en el cuadro de diálogo RTP y seleccionar un archivo para esto. El formato del archivo de trazo de paquete es simple. La primera columna es el tamaño del paquete en *bytes* mientras que la segunda columna es el intervalo de tiempo (el cual esta en segundos y puede ser menos que 1 como 0.01) entre este paquete y el siguiente paquete. Esta opción es útil para transferir archivos de medios reales como una película MPEG-2 sobre una red simulada.

### 3. Ejemplo

Se usará un ejemplo para ilustrar el uso de RTP, RTCP y SDP en NCTUns. En la figura 1.118, el *host1* envía paquetes RTP al *host2* y al *host3*, el *host 2* envía paquete RTP al *host1* y al *host3*, pero el *host3* no puede enviar paquetes RTP al *host1* y al *host2*.



**Figura. 1.118. Diseño del ejemplo para ilustrar el uso de *RTP*, *RTCP* y *SDP***

La tasa de pérdidas de paquetes configurados en la WAN para la dirección desde el *host1* al *host2* (y al *host3*) es 10% mientras que la tasa de pérdidas de paquetes para la dirección contraria es 5%. Los programas RTP que se ejecutan en el *host1*, *host2* y *host3* usan RTCP para reportar las medidas de (1) tiempo de ida y vuelta de paquetes también llamado *round-trip-time RTT*, (2) *delay jitter* de paquetes, (3) tasa de pérdida de paquetes, y (4) número acumulado de paquetes perdidos entre un par de hosts. Esta información es generada por estos programas RTP y guardados dentro de archivos log con los siguientes

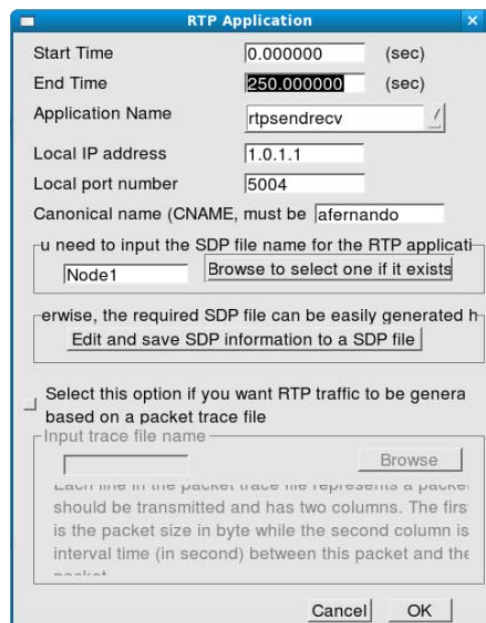


nombres  $IP(i) - IP(j) - IP(k).delay$ ,  $IP(i) - IP(j) - IP(k).jitter$ ,  $IP(i) - IP(j) - IP(k).pktlossrate$ ,  $IP(i) - IP(j) - IP(k).pktloss$ , respectivamente.

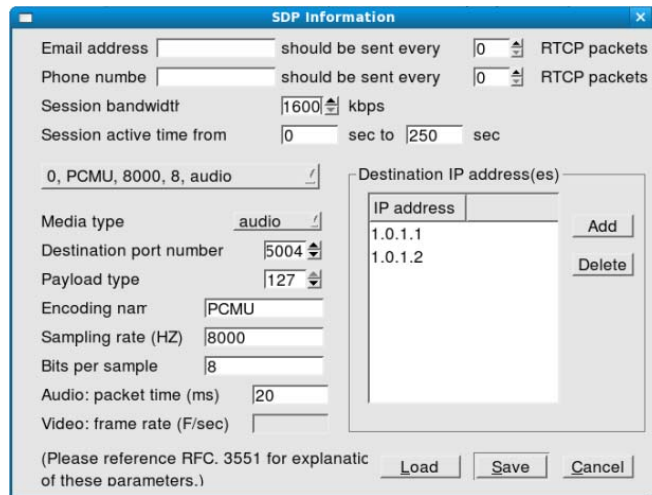
En los nombres anteriores  $IP(i) - IP(j) - IP(k)$ ,  $IP(i)$ ,  $IP(j)$  y  $IP(k)$  serán reemplazados con la dirección IP del  $host(i)$ ,  $host(j)$  y  $host(k)$  en la red simulada, respectivamente. Este nombre del archivo significa que el rendimiento registrado (por ejemplo, *delay*, *jitter*, *loss rate*) es el rendimiento medido de los paquetes intercambiados entre el  $host(i)$  y el  $host(j)$  y reportado por el  $host(k)$ . El usuario puede visualizar estos archivos *log* RTP para chequear si la tasa de paquetes perdidos reportados por el RTCP son consistentes con la tasa de paquetes perdidos en la WAN.

En las figuras 1.119, 1.120, 1.121, 1.122, 1.123 y 1.124 se mostrarán las configuraciones RTP y SDP para el  $host1$ ,  $host2$  y el  $host3$ . En este ejemplo la configuración SDP para el  $host1$  es almacenado en un archivo llamado  $XXX\_Node(i).sdp$  y este nombre de archivo debe ser ingresado en el cuadro de diálogo RTP del  $host(i)$ , donde  $i = 1, 2, 3$ .

### **Host 1:**

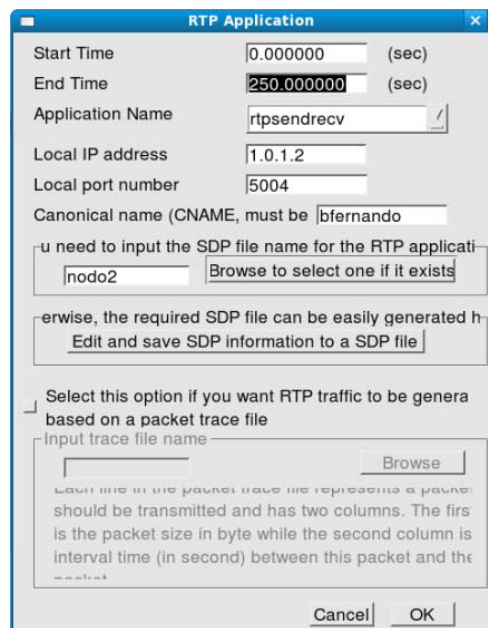


**Figura. 1.119. Aplicación RTP para el host 1**

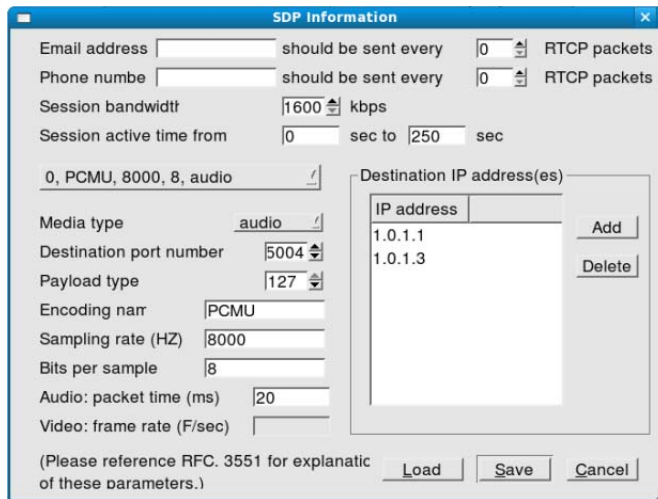


**Figura. 1. 120. Información SDP para el host 1**

*Host 2:*

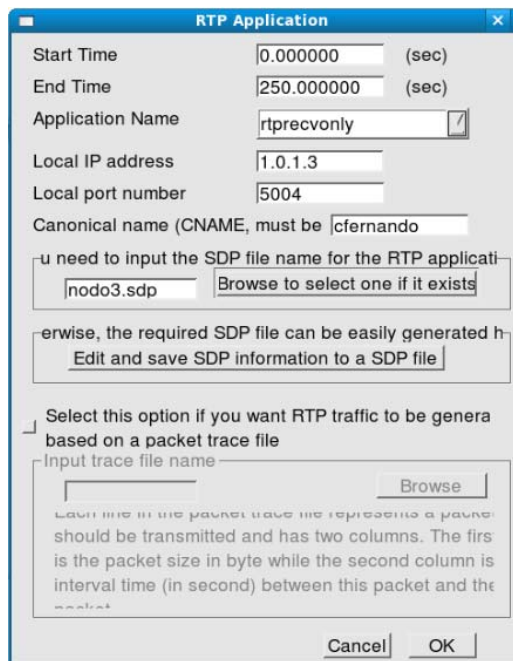


**Figura. 1. 121. Aplicación RTP para el host 2**

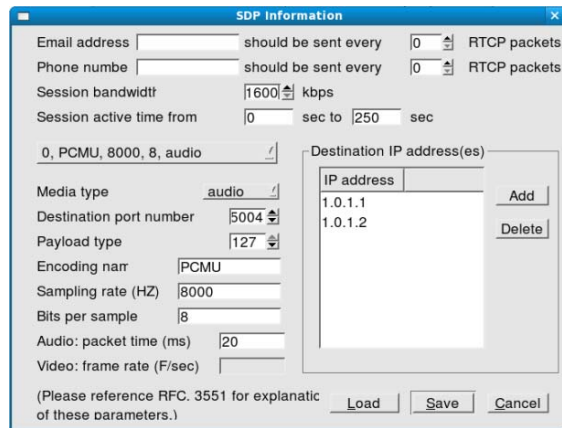


**Figura. 1. 122. Información SDP para el host 2**

*Host 3:*



**Figura. 1. 123. Aplicación RTP para el host 3**





**Figura. 1. 124. Información SDP para el host 1**

## 1.8 REDES QoS DIFFSERV

Calidad de servicio (*QoS*) es deseado por usuarios que piden un mejor servicio de red que el servicio ofrecido de “mejor esfuerzo” por el actual Internet. Servicio Diferenciado (*DiffServ*) es una clase de mecanismo *QoS* propuesto para proveer servicios diferenciados entre diferentes usuarios. [1]

En *DiffServ*, un método simple es usado para proveer clases diferenciadas de servicios para el tráfico de Internet. El enfoque *DiffServ* usa una pequeña y bien definida configuración de bloques desde los cuales varios comportamientos pueden ser construidos. Un pequeño patrón de *bit* en cada paquete, el cual está en el campo *IPV4 TOS*, es usado para marcar un paquete para recibir un tratamiento de envío particular, o un *PHB (per-hop behavior)*, en cada nodo de red.

En un dominio *DiffServ (DS)*, existen dos diferentes tipos de *routers*. Estos son el *router* de frontera (*boundary router*)  y el *router* interior (*interior router*) , respectivamente. En un *router* de frontera, el tráfico que ingresa en el *DS* necesita ser clasificado y condicionado. La clasificación de tráfico es llevado a cabo por un clasificador el cual clasifica el tráfico en diferentes clases basado en el perfil de tráfico o en el contrato del servicio. Por ejemplo, se puede usar la dirección IP origen, la dirección IP destino, el número de puerto origen, el número de puerto destino, el protocolo para especificar un flujo de tráfico y clasificar sus paquetes en una clase de tráfico. El condicionamiento de

tráfico es llevado a cabo por un condicionador, el cual puede constar de un medidor, marcador, *shaper* y descartador. La función de un condicionador de tráfico es medir el flujo de tráfico para observar si este excede su perfil de tráfico, marcar los paquetes cuyos usos excedan el perfil de tráfico como paquetes de baja prioridad, retrasar la transmisión de estos paquetes, o incluso descartar estos paquetes. Normalmente, el esquema *token bucket* es usado para especificar un perfil de tráfico.

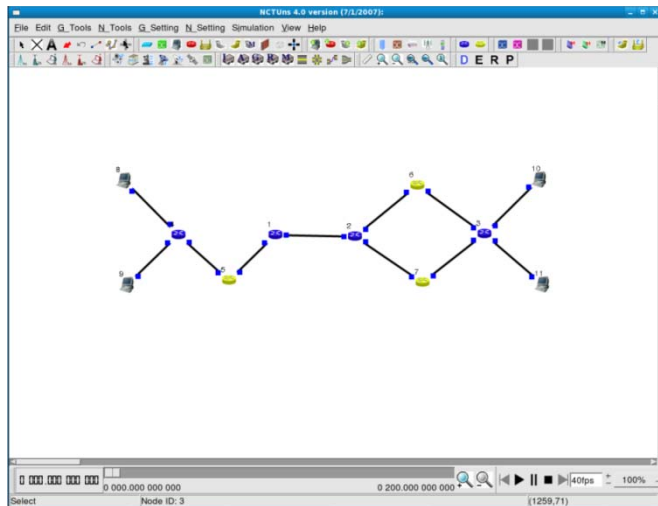
En un *router* interior, los paquetes que ingresan son despachados a diferentes colas de clases de tráfico para recibir diferentes tratamientos *QoS*. Al despachar un paquete se basa en un *DiffServ codepoint* (patrón de *bit*) marcado en su campo *TOS*, el cual es marcado cuando el paquete pasa a través de un *router* de frontera *DiffServ*.

Varios tratamientos de envío, o llamados *PHB*, son definidos por una red *DiffServ*. Estos son, “*best effort*” (*BE*), “*Expedited Forwarding*” (*EF*), “*Assured Forwarding*” (*AF*). El servicio brindado por el *BE PHB* es equivalente al servicio “*best effort*” dado por el actual Internet. El servicio brindado por el *EF PHB* puede ser descrito como un servicio *premium* por el cual los paquetes de un flujo de tráfico experimentarán muy pequeños retrasos y sin pérdida de paquetes. El servicio brindado por el *AF PHB* es para enviar los paquetes de un flujo de tráfico con una alta confiabilidad. Este servicio es mejor que el servicio *BE* pero es peor que el servicio *EF*. [1]

*DiffServ* está compuesto por varios esquemas y protocolos.

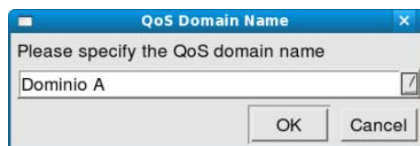
### **1.8.1 Creación de una red *DiffServ***

En la figura 1.125, existen dos dominios *DS*. Uno en la izquierda y otro en la derecha.

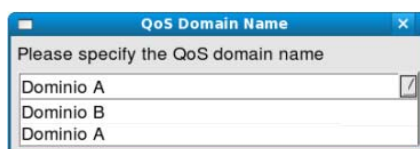


**Figura. 1. 125. Red DiffServ**

Cuando un usuario inserta un *router* de frontera o un *router* interior en el área de trabajo, el *GUI* mostrará un cuadro de diálogo preguntando al usuario el nombre del dominio *DS* al cual pertenece este *router*. El usuario deberá ingresar el nombre del dominio *DS*, si el nombre del dominio *DS* para este nuevo *router* es el mismo que uno especificado anteriormente, el usuario puede seleccionarlo en el menú de nombres de dominios *DS* dado en este cuadro de diálogo para evitar escribirlo. Las figuras 1.126 y 1.127 muestran estas operaciones.



**Figura. 1. 126. Ingreso del nombre del dominio QoS**



**Figura. 1. 127. Selección entre dos dominios**

Los *routers* de frontera e interiores *DiffServ* que pertenecen al mismo dominio *DS* usarán la misma configuración de clasificador, condicionador y *PHB* de tráfico para los paquetes que pasen a través de ellos. Múltiples dominios *DS* pueden existir en una red simulada. Los parámetros y reglas para un dominio *DS* existente en una red simulada deberían ser especificados en un archivo de configuración y leídas por el *GUI* y el motor de simulación. Este archivo de configuración es un archivo texto y puede ser editado por cualquier editor como el *vi* o *emacs*. El usuario puede ejecutar el comando **Menu** → **N\_Tools** → **QoS DiffServ Network** → **Select Configuration File** para seleccionarlo. Este archivo será copiado en el directorio *.sim* de este caso de simulación y renombrado a *dsdmdf.txt*. Los módulos de protocolo relacionados al *DiffServ* leerán el archivo *dsdmdf.txt* durante la simulación. La figura 1.128 muestra el cuadro de diálogo de este comando. [1]



Figura. 1. 128. Archivo de configuración *DiffServ*

### 1.8.2 Formato del archivo de configuración de dominio *Diffserv*

Quince *codepoints* son dados en el NCTUns. Estos son para servicios *BE* (*best effort*), *EF* (*expedited forwarding*), *NC* (*network control*) y 12 *AF* (*Assured forwarding*). El grupo *AF* (*Assured forwarding*) *PHB* brinda envíos de paquetes *IP* en 4 independientes clases *AF*. Dentro de cada clase *AF*, un paquete *IP* puede ser asignado uno de los 3 diferentes niveles de *drop precedence*. Un paquete *IP* que pertenece a una clase *AF i* y tiene *drop precedence j* es marcado con el *codepoint* *AF AFij*.

Estos servicios *PHB* y sus correspondientes *codepoints* están enlistados como sigue.

| <i>[PHB service]</i> | <i>[Codepoint]</i>                    |
|----------------------|---------------------------------------|
| AF1                  | 001010 001100 001110 (AF11 AF12 AF13) |
| AF2                  | 010010 010100 010110 (AF21 AF22 AF23) |
| AF3                  | 011010 011100 011110 (AF31 AF32 AF33) |

|     |        |        |        |                  |
|-----|--------|--------|--------|------------------|
| AF4 | 100010 | 100100 | 100110 | (AF41 AF42 AF43) |
| EF  | 101110 |        |        |                  |
| NC  | 111000 | 110000 | 101000 | 100000           |
| BE  | 000000 |        |        |                  |

En el archivo de configuración de dominio *DS*, múltiples dominios *DS* pueden ser definidos. Las definiciones de cada uno son especificadas en el siguiente formato.

### **DefineDSDomain**

**Name** *Enter\_A\_DS\_Domain\_Name\_Here*

**RuleAdd** [*sip*] [*dip*] [*sport*] [*dport*] [*proto*] [*PHB*] [*rate:Mbps*] [*size:Mb*] [*maxqlen*]

**RuleAdd ..**

**QueAdd** [*type*] [*name*] [*weight*] [*maxqlen*] [*ts1*] [*ts2*] [*MDR*]

**QueAdd ...**

**EndDomainDefine**

En el formato anterior, las palabras en negrita son los *keywords* y las palabras en *italic* representan las palabras que deberían ser reemplazadas por el usuario con configuraciones apropiadas. Múltiples líneas *RuleAdd* y *QueAdd* pueden existir en una definición de dominio *DS*. Las líneas *RuleAdd* son para el clasificador y condicionador de tráfico localizados en los *routers* de frontera mientras que las líneas *QueAdd* son para los *packet schedulers* localizados en los *routers* interiores. *RuleAdd* usa la dirección IP origen, la dirección IP destino, el número de puerto origen, el número de puerto destino, el protocolo para especificar el flujo de tráfico. El campo de “protocolo” puede ser TCP o UDP. En cualquiera de estos campos se puede ingresar el “\*” *wild card*, en cual significa “no importa”. Los paquetes del flujo de tráfico especificado son clasificados para recibir el especificado servicio *PHB*, el cual puede ser uno de *BE*, *NC*, *EF*, *AF11*, *AF12*, *AF13*, *AF21*, *AF22*, *AF23*, *AF31*, *AF32*, *AF33*, *AF41*, *AF42*, y *AF43*. [1]

El medidor utilizado para medir el uso de un flujo de tráfico es un *token bucket*. Su tasa de *token* es *rate Mbps* y su tamaño de *bucket* es *size Mbits*. Cuando un paquete llega al *token bucket* pero no puede encontrar un *token*, este no puede ser enviado y necesita esperar en una cola de espera por el *token* requerido. La máxima longitud de cola permitida para esta cola está establecida en *maxqlen* paquetes. Cuando un paquete llega y encuentra



que su cola está llena, esta situación se maneja de acuerdo a las siguientes reglas. Primero, si es un paquete *EF*, este será descartado. Segundo, si es un paquete *AF11*, este será degradado a un paquete *AF12* y puesto en la cola nuevamente. Tercero, si es un paquete *AF12*, este será degradado a un paquete *BE* y puesto en la cola. Finalmente, si es un paquete *BE*, este será descartado si la actual longitud de cola es más grande que  $2 * maxqlen$ , de otro modo permanece como un paquete *BE* y es puesto en la cola.

*QueAdd* especifica cuántos recursos de ancho de banda y *buffer* de memoria de una interfaz debería ser asignada a un servicio *PHB*. El campo *type* especifica el servicio *PHB*. El campo *name* especifica el nombre de este servicio, el cual no es importante y puede ser el mismo que el del tipo. (Por ejemplo, este puede ser especificado como oro, plata o bronce). El campo *weight* afecta la cantidad de ancho de banda que es asignado a este *PHB*. La cantidad actual es una fracción del ancho de banda de la interfaz. Esta fracción es la relación entre el *weight* y la suma de todos los *weights* especificados en todas las líneas *QueAdd*. Por ejemplo, al suponer que hay cuatro líneas *QueAdd* y los *weights* de estas colas son 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Entonces, a la cola 1 se le asignará  $1/(1+2+3+4) = 1/10$  del ancho de banda de interfaz.

El campo *maxqlen* especifica la máxima longitud de cola permitida para cola usada para almacenar (*buffer*) paquetes marcados con este *codepoint* de *PHB*. Los campos *ts1*, *ts2* y *MDR* son significantes solamente para el tráfico *AF*. El *ts1* y *ts2* especifican el umbral bajo y el umbral alto de la longitud de cola. Estos son usados para brindar diferentes probabilidades de descarte de paquetes para diferentes *dropping precedences* dentro de una clase *AF*. La actual longitud de cola es comparada con estos dos umbrales para determinar la tasa de paquetes descartados para los paquetes que ingresan. [1]

Usando la clase *AF1* como un ejemplo, cuando la actual longitud de cola es más grande que *ts1*, los paquetes *AF11* empezaran a ser descartados. Sin embargo, solamente cuando la actual longitud de cola es más grande que *ts2*, los paquete *AF12* empezaran a ser descartados. El campo *MDR* (*máximum packet drop rate*) especifica la máxima tasa de paquetes descartados para paquetes *AF12*. Su valor por defecto es 80%. La relación entre estos parámetros es ilustrado en la figura 1.129.

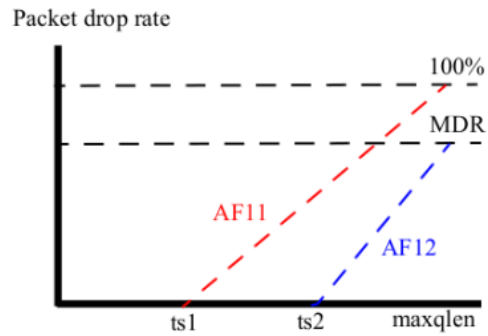


Figura. 1.129. Relación entre parámetros

### 1.8.3 Pila de protocolo *DiffServ*

En la figura 1.130, la pila de protocolo del *router* de frontera *DiffServ* es mostrada. En la pila de protocolo de la interfaz que conecta el *router* de frontera a un *router* interior, los módulos de protocolo DS\_TC y DS\_I son usados. El primer módulo se encarga de la clasificación y condicionamiento de tráfico, mientras que el segundo módulo se encarga del *packet scheduling*.

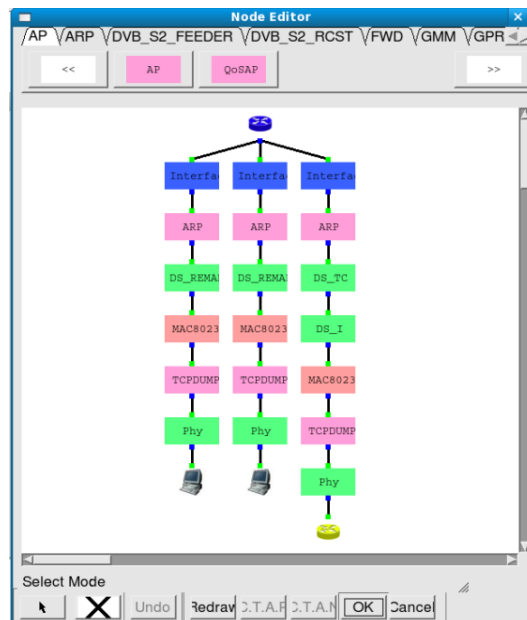
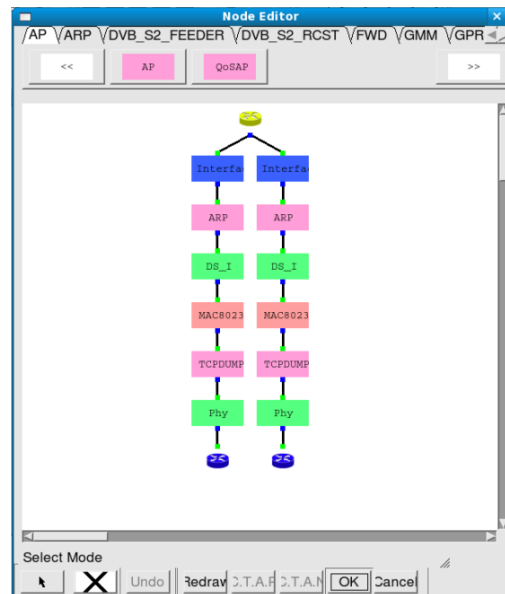


Figura. 1. 130. Pila de protocolo de un *router* de frontera con un *router* interior y con dos *hosts*

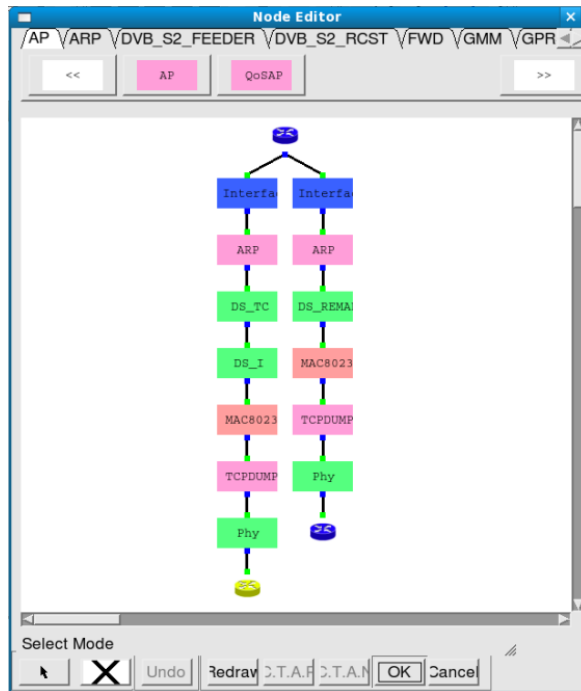
En la figura 1.131 la pila de protocolo del *router* interior *DiffServ* es mostrada. En la pila de protocolo de cada interfaz, un módulo de protocolo DS\_I es usado. Este módulo es

el mismo que el módulo DS\_I usado en un *router* de frontera. Su tarea es programar (*schedule*) las transmisiones de paquetes basados en sus *codepoints*.



**Figura. 1. 131. Pila de protocolo de un *router* interior con dos *routers* de frontera**

Si un *router* de frontera se conecta a otro *router* de frontera que pertenece a un diferente dominio *DS*, en la pila de protocolo de la interfaz que conecta este *router* de frontera a ese *router* de frontera, un módulo de protocolo DS\_REMARK es usado. Este módulo limpia los *codepoints* *DS* llevados en los paquetes que abandonan el actual dominio *DS* para que el *router* de frontera en el siguiente dominio *DS* pueda correctamente marcarlos. La figura 1.132 muestra este tipo de pila de protocolo.



**Figura. 1. 132. Pila de protocolo de un *router* de frontera con un *router* interior y con un *router* de frontera**

#### **1.8.4 Módulo de protocolo *DiffServ***

El usuario no necesita configurar algún parámetro en los cuadros de diálogo de los módulos de protocolo DS\_TC, DS\_I y DS\_REMARK. Los valores requeridos de parámetros deberían ser especificados en el archivo de configuración *DiffServ* descrito anteriormente.

## A2

### PATRONES DE GANANCIAS

**Gain Pattern for 60-Degree Directional Antenna**

| Degree | Gain (dBi)  | Degree | Gain (dBi)  |
|--------|-------------|--------|-------------|
| 0      | 10.01294452 | 1/359  | 10.00975522 |
| 2/358  | 10.00018706 | 3/357  | 9.98423924  |
| 4/356  | 9.96191042  | 5/355  | 9.93319875  |
| 6/354  | 9.89810182  | 7/353  | 9.85661667  |
| 8/352  | 9.80873981  | 9/351  | 9.75446718  |
| 10/350 | 9.69379418  | 11/349 | 9.62671561  |
| 12/348 | 9.55322571  | 13/347 | 9.47331814  |
| 14/346 | 9.38698596  | 15/345 | 9.29422163  |
| 16/344 | 9.19501698  | 17/343 | 9.08936326  |
| 18/342 | 8.97725106  | 19/341 | 8.85867035  |
| 20/340 | 8.73361046  | 21/339 | 8.60206008  |
| 22/338 | 8.46400726  | 23/337 | 8.31943940  |
| 24/336 | 8.16834327  | 25/335 | 8.01070498  |
| 26/334 | 7.84651005  | 27/333 | 7.67574336  |
| 28/332 | 7.49838921  | 29/331 | 7.31443136  |
| 30/330 | 7.12385298  | 31/329 | 6.92663681  |
| 32/328 | 6.72276509  | 33/327 | 6.51221970  |
| 34/326 | 6.29498217  | 35/325 | 6.07103380  |
| 36/324 | 5.84035573  | 37/323 | 5.60292903  |
| 38/322 | 5.35873486  | 39/321 | 5.10775455  |
| 40/320 | 4.84996979  | 41/319 | 4.58536278  |
| 42/318 | 4.31391642  | 43/317 | 4.03561454  |
| 44/316 | 3.75044209  | 45/315 | 3.45838540  |
| 46/314 | 3.15943247  | 47/313 | 2.85357323  |
| 48/312 | 2.54079984  | 49/311 | 2.22110704  |
| 50/310 | 1.89449243  | 51/309 | 1.56095682  |
| 52/308 | 1.22050454  | 53/307 | 0.87314373  |
| 54/306 | 0.51888660  | 55/305 | 0.15774961  |
| 56/304 | -0.21024640 | 57/303 | -0.58507627 |
| 58/302 | -0.96671075 | 59/301 | -1.35511688 |
| 60/300 | -1.75025882 | 61/299 | -2.15209902 |
| 62/298 | -2.56059997 | 63/297 | -2.97572664 |
| 64/296 | -3.39744986 | 65/295 | -3.82575085 |
| 66/294 | -4.26062725 | 67/293 | -4.70210113 |
| 68/292 | -5.15022937 | 69/291 | -5.60511737 |

| Degree  | Gain (dBi)    | Degree  | Gain (dBi)   |
|---------|---------------|---------|--------------|
| 70/290  | -6.06693667   | 71/289  | -6.53594808  |
| 72/288  | -7.01253175   | 73/287  | -7.49722645  |
| 74/286  | -7.99078140   | 75/285  | -8.49422510  |
| 76/284  | -9.00895785   | 77/283  | -9.53687808  |
| 78/282  | -10.08055809  | 79/281  | -10.64349440 |
| 80/280  | -11.23047450  | 81/279  | -11.84813303 |
| 82/278  | -12.50583056  | 83/277  | -13.21711414 |
| 84/276  | -14.00230068  | 85/275  | -14.89342343 |
| 86/274  | -15.94475128  | 87/273  | -17.25871164 |
| 88/272  | -19.06608410  | 89/271  | -22.10439603 |
| 90/270  | -166.66272129 | 91/269  | -52.10439603 |
| 92/268  | -49.06608410  | 93/267  | -47.25871164 |
| 94/266  | -45.94475128  | 95/265  | -44.89342343 |
| 96/264  | -44.00230068  | 97/263  | -43.21711414 |
| 98/262  | -42.50583056  | 99/261  | -41.84813303 |
| 100/260 | -41.23047450  | 101/259 | -40.64349440 |
| 102/258 | -40.08055809  | 103/257 | -39.53687808 |
| 104/256 | -39.00895785  | 105/255 | -38.49422510 |
| 106/254 | -37.99078140  | 107/253 | -37.49722645 |
| 108/252 | -37.01253175  | 109/251 | -36.53594808 |
| 110/250 | -36.06693667  | 111/249 | -35.60511737 |
| 112/248 | -35.15022937  | 113/247 | -34.70210113 |
| 114/246 | -34.26062725  | 115/245 | -33.82575085 |
| 116/244 | -33.39744986  | 117/243 | -32.97572664 |
| 118/242 | -32.56059997  | 119/241 | -32.15209902 |
| 120/240 | -31.75025882  | 121/239 | -31.35511688 |
| 122/238 | -30.96671075  | 123/237 | -30.58507627 |
| 124/236 | -30.21024640  | 125/235 | -29.84225039 |
| 126/234 | -29.48111340  | 127/233 | -29.12685627 |
| 128/232 | -28.77949546  | 129/231 | -28.43904318 |
| 130/230 | -28.10550757  | 131/229 | -27.77889296 |
| 132/228 | -27.45920016  | 133/227 | -27.14642677 |
| 134/226 | -26.84056753  | 135/225 | -26.54161460 |
| 136/224 | -26.24955791  | 137/223 | -25.96438546 |
| 138/222 | -25.68608358  | 139/221 | -25.41463722 |
| 140/220 | -25.15003021  | 141/219 | -24.89224545 |
| 142/218 | -24.64126514  | 143/217 | -24.39707097 |

| Degree  | Gain (dBi)   | Degree  | Gain (dBi)   |
|---------|--------------|---------|--------------|
| 144/216 | -24.15964427 | 145/215 | -23.92896620 |
| 146/214 | -23.70501783 | 147/213 | -23.48778030 |
| 148/212 | -23.27723491 | 149/211 | -23.07336319 |
| 150/210 | -22.87614702 | 151/209 | -22.68556864 |
| 152/208 | -22.50161079 | 153/207 | -22.32425664 |
| 154/206 | -22.15348995 | 155/205 | -21.98929502 |
| 156/204 | -21.83165673 | 157/203 | -21.68056060 |
| 158/202 | -21.53599274 | 159/201 | -21.39793992 |
| 160/200 | -21.26638954 | 161/199 | -21.14132965 |
| 162/198 | -21.02274894 | 163/197 | -20.91063674 |
| 164/196 | -20.80498302 | 165/195 | -20.70577837 |
| 166/194 | -20.61301404 | 167/193 | -20.52668186 |
| 168/192 | -20.44677429 | 169/191 | -20.37328439 |
| 170/190 | -20.30620582 | 171/189 | -20.24553282 |
| 172/188 | -20.19126019 | 173/187 | -20.14338333 |
| 174/186 | -20.10189818 | 175/185 | -20.06680125 |
| 176/184 | -20.03808958 | 177/183 | -20.01576076 |
| 178/182 | -19.99981294 | 179/181 | -19.99024478 |
| 180     | -19.98705548 |         |              |

#### Gain Pattern for 120-Degree Directional Antenna

| Degree | Gain (dBi) | Degree | Gain (dBi) |
|--------|------------|--------|------------|
| 0      | 5.88539066 | 1/359  | 5.88472915 |
| 2/358  | 5.88274425 | 3/357  | 5.87943472 |
| 4/356  | 5.87479855 | 5/355  | 5.86883292 |
| 6/354  | 5.86153415 | 7/353  | 5.85289775 |
| 8/352  | 5.84291841 | 9/351  | 5.83158993 |
| 10/350 | 5.81890525 | 11/349 | 5.80485642 |
| 12/348 | 5.78943460 | 13/347 | 5.77262998 |
| 14/346 | 5.75443184 | 15/345 | 5.73482844 |
| 16/344 | 5.71380703 | 17/343 | 5.69135381 |
| 18/342 | 5.66745391 | 19/341 | 5.64209131 |
| 20/340 | 5.61524882 | 21/339 | 5.58690803 |
| 22/338 | 5.55704926 | 23/337 | 5.52565148 |
| 24/336 | 5.49269228 | 25/335 | 5.45814777 |
| 26/334 | 5.42199253 | 27/333 | 5.38419950 |

| Degree  | Gain (dBi)    | Degree  | Gain (dBi)    |
|---------|---------------|---------|---------------|
| 28/332  | 5.34473993    | 29/331  | 5.30358324    |
| 30/330  | 5.26069697    | 31/329  | 5.21604661    |
| 32/328  | 5.16959549    | 33/327  | 5.12130468    |
| 34/326  | 5.07113279    | 35/325  | 5.01903585    |
| 36/324  | 4.96496710    | 37/323  | 4.90887682    |
| 38/322  | 4.85071210    | 39/321  | 4.79041660    |
| 40/320  | 4.72793032    | 41/319  | 4.66318929    |
| 42/318  | 4.59612524    | 43/317  | 4.52666529    |
| 44/316  | 4.45473156    | 45/315  | 4.38024068    |
| 46/314  | 4.30310339    | 47/313  | 4.22322396    |
| 48/312  | 4.14049961    | 49/311  | 4.05481982    |
| 50/310  | 3.96606562    | 51/309  | 3.87410869    |
| 52/308  | 3.77881044    | 53/307  | 3.68002091    |
| 54/306  | 3.57757751    | 55/305  | 3.47130367    |
| 56/304  | 3.36100717    | 57/303  | 3.24647830    |
| 58/302  | 3.12748773    | 59/301  | 3.00378402    |
| 60/300  | 2.87509070    | 61/299  | 2.74110295    |
| 62/298  | 2.60148357    | 63/297  | 2.45585830    |
| 64/296  | 2.30381027    | 65/295  | 2.14487325    |
| 66/294  | 1.97852366    | 67/293  | 1.80417077    |
| 68/292  | 1.62114483    | 69/291  | 1.42868227    |
| 70/290  | 1.22590750    | 71/289  | 1.01180983    |
| 72/288  | 0.78521430    | 73/287  | 0.54474406    |
| 74/286  | 0.28877141    | 75/285  | 0.01535296    |
| 76/284  | -0.27785758   | 77/283  | -0.59372901   |
| 78/282  | -0.93582024   | 79/281  | -1.30862089   |
| 80/280  | -1.71790704   | 81/279  | -2.17128493   |
| 82/278  | -2.67905630   | 83/277  | -3.25566463   |
| 84/276  | -3.92226369   | 85/275  | -4.71164926   |
| 86/274  | -5.67876416   | 87/273  | -6.92660771   |
| 88/272  | -8.68641770   | 89/271  | -11.69605616  |
| 90/270  | -15.624480078 | 91/269  | -26.69605616  |
| 92/268  | -23.68641770  | 93/267  | -51.92660771  |
| 94/266  | -30.67876416  | 95/265  | -91.71164926  |
| 96/264  | -38.92226369  | 97/263  | -161.25566463 |
| 98/262  | -47.67905630  | 99/261  | -271.17128493 |
| 100/260 | -56.71790704  | 101/259 | -461.30862089 |

| Degree  | Gain (dBi)   | Degree  | Gain (dBi)   |
|---------|--------------|---------|--------------|
| 102/258 | -15.93582024 | 103/257 | -15.59372901 |
| 104/256 | -15.27785758 | 105/255 | -14.98464704 |
| 106/254 | -14.71122859 | 107/253 | -14.45525594 |
| 108/252 | -14.21478570 | 109/251 | -13.98819017 |
| 110/250 | -13.77409250 | 111/249 | -13.57131773 |
| 112/248 | -13.37885517 | 113/247 | -13.19582923 |
| 114/246 | -13.02147634 | 115/245 | -12.85512675 |
| 116/244 | -12.69618973 | 117/243 | -12.54414170 |
| 118/242 | -12.39851643 | 119/241 | -12.25889705 |
| 120/240 | -12.12490930 | 121/239 | -11.99621598 |
| 122/238 | -11.87251227 | 123/237 | -11.75352170 |
| 124/236 | -11.63899283 | 125/235 | -11.52869633 |
| 126/234 | -11.42242249 | 127/233 | -11.31997909 |
| 128/232 | -11.22118956 | 129/231 | -11.12589131 |
| 130/230 | -11.03393438 | 131/229 | -10.94518018 |
| 132/228 | -10.85950039 | 133/227 | -10.77677604 |
| 134/226 | -10.69689661 | 135/225 | -10.61975932 |
| 136/224 | -10.54526844 | 137/223 | -10.47333471 |
| 138/222 | -10.40387476 | 139/221 | -10.33681071 |
| 140/220 | -10.27206968 | 141/219 | -10.20958340 |
| 142/218 | -10.14928790 | 143/217 | -10.09112318 |
| 144/216 | -10.03503290 | 145/215 | -9.98096415  |
| 146/214 | -9.92886721  | 147/213 | -9.87869532  |
| 148/212 | -9.83040451  | 149/211 | -9.78395339  |
| 150/210 | -9.73930303  | 151/209 | -9.69641676  |
| 152/208 | -9.65526007  | 153/207 | -9.61580050  |
| 154/206 | -9.57800747  | 155/205 | -9.54185223  |
| 156/204 | -9.50730772  | 157/203 | -9.47434852  |
| 158/202 | -9.44295074  | 159/201 | -9.41309197  |
| 160/200 | -9.38475118  | 161/199 | -9.35790869  |
| 162/198 | -9.33254609  | 163/197 | -9.30864619  |
| 164/196 | -9.28619297  | 165/195 | -9.26517156  |
| 166/194 | -9.24556816  | 167/193 | -9.22737002  |
| 168/192 | -9.21056540  | 169/191 | -9.19514358  |
| 170/190 | -9.18109475  | 171/189 | -9.16841007  |
| 172/188 | -9.15708159  | 173/187 | -9.14710225  |
| 174/186 | -9.13846585  | 175/185 | -9.13116708  |

| Degree  | Gain (dBi)  | Degree  | Gain (dBi)  |
|---------|-------------|---------|-------------|
| 176/184 | -9.12520145 | 177/183 | -9.12056528 |
| 178/182 | -9.11725575 | 179/181 | -9.11527085 |
| 180     | -9.11460934 |         |             |