

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

**Simulación de una Red VSAT *Full-Duplex* para acceso a Internet  
usando la plataforma DVB-S y DVB-RCS**

### **TOMO II**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**HERNÁN VINICIO BARBA MOLINA**

**JUAN FRANCISCO CHAFLA ALTAMIRANO**

**DIRECTOR: ING. PABLO HIDALGO L.**

**Quito, Marzo 2006**

# CONTENIDO GENERAL

---

---

## TOMO I

CONTENIDO GENERAL	I
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
RESUMEN	XIX
PRESENTACIÓN	XXII

## CAPÍTULO 1

### Marco Teórico

1.1 Comunicaciones Satelitales Basadas en la Tecnología de Redes VSAT	1
1.1.1 Configuraciones de las Redes VSAT	5
1.1.1.1 Configuración en malla	7
1.1.1.2 Configuración en estrella	8
1.1.1.3 Comparación entre configuraciones malla y estrella	11
1.1.2 Estaciones Terrenas de las Redes VSAT	12
1.1.2.1 Estación VSAT	12
1.1.2.1.1 La unidad externa (ODU)	13
1.1.2.1.2 La unidad interna (IDU)	16
1.1.2.2 Estación <i>Hub</i>	17
1.1.2.2.1 Funciones operacionales	20
1.1.2.2.2 Funciones administrativas	21
1.1.3 Aplicaciones de las Redes VSAT y Tipos de Tráfico	21
1.1.3.1 Comunicaciones de datos	22
1.1.3.2 Comunicaciones de voz	22
1.1.3.3 Comunicaciones de vídeo	23
1.1.3.3.1 En el enlace <i>outbound</i>	23
1.1.3.3.2 En el enlace <i>inbound</i>	23

## CONTENIDO GENERAL

---

---

1.1.3.4	Redes VSAT para aplicaciones civiles	23
1.1.3.4.1	Tipos de servicio	23
1.1.3.4.2	Tipos de tráfico	25
1.1.3.5	Redes VSAT para aplicaciones militares	26
1.1.4	Ventajas y desventajas de una red VSAT	27
1.1.4.1	Ventajas	27
1.1.4.2	Desventajas	28
<b>1.2</b>	<b>Redes Satelitales de Banda Ancha</b>	<b>29</b>
1.2.1	El sistema satelital SKYPLEX	32
1.2.2	El sistema satelital IBIS	34
1.2.3	El sistema satélite SPACEMUX	37
<b>1.3</b>	<b>Redes Satelitales VSAT Basadas en la Tecnología DVB-S/RCS</b>	<b>39</b>
1.3.1	Redes Satelitales VSAT DVB Multimedia Interactivas	41
1.3.2	Ventajas y Desventajas Frente a Esquemas de Utilización Actuales	42
1.3.2.1	Ventajas	42
1.3.2.2	Desventajas	44
	<b>Referencias Bibliográficas del Capítulo 1</b>	<b>45</b>

## CAPÍTULO 2

### Estándares DVB-S/RCS

<b>2.1</b>	<b>El sistema MPEG-2</b>	<b>47</b>
2.1.1	Formación de los flujos de señal MPEG-2	47
2.1.2	Flujo de Programa PS ( <i>Program Stream</i> )	49
2.1.3	Flujo de Transporte TS ( <i>Transport Stream</i> )	49
2.1.3.1	Formación del Múltiplex de Transporte TS	51
2.1.3.2	Estructura del paquete de transporte MPEG-2 TS	52
2.1.3.2.1	Campo de adaptación del paquete MPEG-2	56
2.1.4	Información específica de los programas (PSI)	57
2.1.4.1	<i>Program Association Table</i> (PAT)	58
2.1.4.2	<i>Program Map Table</i> (PMT)	59
2.1.4.3	<i>Conditional Access Table</i> (CAT)	60
<b>2.2</b>	<b>El estándar DVB-S</b>	<b>60</b>

---

## CONTENIDO GENERAL

---

---

2.2.1	Sistema de transmisión DVB-S	61
2.2.1.1	Definición de sistema	61
2.2.1.2	Adaptación a las características del <i>transponder</i> satelital	63
2.2.1.3	Interfaces	64
2.2.1.4	Codificación de canal	64
2.2.1.4.1	Inversión del sincronismo y dispersión de energía	64
2.2.1.4.2	Codificación Reed-Solomon	65
2.2.1.4.3	Entrelazado ( <i>interleaving</i> )	65
2.2.1.4.4	Codificación convolucional y código perforado	66
2.2.1.4.5	Filtrado banda base	66
2.2.1.4.6	Modulación QPSK	67
2.2.2	Información del Servicio (SI)	67
2.2.2.1	<i>Network Information Table</i> (NIT)	68
2.2.2.2	<i>Service Description Table</i> (SDT)	70
2.2.2.3	<i>Event Information Table</i> (EIT)	71
2.2.2.4	<i>Time and Data Table</i> (TDT)	71
2.2.2.5	<i>Bouquet Association Table</i> (BAT)	72
2.2.2.6	<i>Running Status Table</i> (RST)	72
2.2.2.7	<i>Time Offset Table</i> (TOT)	72
2.2.2.8	<i>Stuffing Table</i> (ST)	73
2.2.2.9	Códigos PID especificados por DVB-SI	73
2.2.2.10	Arquitectura de las Tablas de Información del Servicio (SI)	74
2.2.2.10.1	Distribución de las secciones en los paquetes de transporte	74
2.2.3	Especificaciones para la Difusión de Datos	75
2.2.3.1	Tubo de datos ( <i>Data Pipe</i> )	76
2.2.3.2	Carrusel de datos ( <i>Data carousel</i> )	76
2.2.3.3	Flujo continuo de datos ( <i>Data streaming</i> )	77
2.2.3.4	Carrusel de objetos ( <i>Object carousel</i> )	77
2.2.3.5	Encapsulamiento Multi-Protocolo (MPE)	77
2.2.3.5.1	Transporte de datos con MPE	78
2.2.3.5.2	Información en la SI	82
<b>2.3</b>	<b>El Estándar DVB-RCS</b>	<b>82</b>
2.3.1	Modelos de referencia para redes satelitales interactivas DVB	84

## CONTENIDO GENERAL

---

---

2.3.1.1	Modelo de pila de protocolos	84
2.3.1.2	Modelo genérico del sistema	86
2.3.1.3	Modelo de referencia para Redes Satelitales Interactivas	87
2.3.2	El Enlace de Ida o <i>Forward Link</i>	89
2.3.3	Especificaciones para la Capa Física para el Canal de Retorno	89
2.3.3.1	Sincronización de la RCST	90
2.3.3.1.1	Control de temporización	90
2.3.3.1.2	Sincronización de la portadora	91
2.3.3.1.3	Sincronización de la ráfaga	91
2.3.3.1.4	Sincronización del reloj de símbolo	92
2.3.3.2	Formato de ráfaga	92
2.3.3.2.1	Formato de la ráfaga de tráfico (TRF)	93
2.3.3.2.2	Formato de las ráfagas de sincronización (SYNC) y (ACQ)	94
2.3.3.2.3	Formato de la ráfaga de señalización del canal común (CSC)	96
2.3.3.3	Aleatorización para dispersión de energía	98
2.3.3.4	Codificación	98
2.3.3.5	Modulación	98
2.3.3.6	Envío de mensajes MAC	100
2.3.3.6.1	Métodos basados en el campo SAC	101
2.3.3.6.2	Método DULM para la entrega de mensajes MAC	104
2.3.3.7	Acceso múltiple MF-TDMA	108
2.3.3.7.1	MF-TDMA fijo	108
2.3.3.7.2	MF-TDMA dinámico	109
2.3.3.8	Segmentación de la capacidad del enlace de retorno	110
2.3.3.8.1	Supertramas	110
2.3.3.8.2	Tramas	111
2.3.3.8.3	Ranuras de tiempo	112
2.3.3.9	Categorías de Peticiones de Capacidad	113
2.3.3.9.1	Asignación de tasa continua CRA	114
2.3.3.9.2	Asignación de capacidad basada en tasa RBDC	114
2.3.3.9.3	Asignación de capacidad basada en volumen VBDC y AVBDC	115
2.3.3.9.4	Asignación de capacidad disponible FCA	116
2.3.4	Múltiples Canales por Terminal	117

## CONTENIDO GENERAL

---

---

2.3.5	Procedimientos de Sincronización	119
2.3.5.1	Secuencia global de eventos	119
2.3.5.2	Procedimiento inicial de sincronización	123
2.3.5.3	Procedimiento de entrada ( <i>Logon</i> )	124
2.3.5.4	Procedimiento de sincronización gruesa (Opcional)	125
2.3.5.5	Procedimiento de sincronización fina (Opcional)	126
2.3.5.6	Procedimiento para mantener la sincronización	127
2.3.5.7	Procedimiento de salida ( <i>logoff</i> )	127
2.3.5.7.1	Normal	128
2.3.5.7.2	Anormal	128
2.3.6	Pila de Protocolos	128
2.3.6.1	RCST Tipo A (IP)	129
2.3.6.2	RCST Opcional Tipo B (ATM nativo)	131
2.3.7	Direccionamiento de las RCSTs	131
2.3.8	Señalización del Enlace de Ida o FLS ( <i>Forward Link Signalling</i> )	133
2.3.8.1	<i>Superframe Composition Table</i> (SCT)	135
2.3.8.2	<i>Frame Composition Table</i> (FCT)	135
2.3.8.3	<i>Time-Slot Composition Table</i> (TCT)	135
2.3.8.4	<i>Satellite Position Table</i> (SPT)	136
2.3.8.5	<i>Correction Message Table</i> (CMT)	136
2.3.8.6	<i>Terminal Burst Time Plan</i> (TBTP)	136
2.3.8.7	<i>Terminal Information Message</i> (TIM)	137
2.3.9	Acceso al <i>Forward Link Signaling</i> (FLS)	138
2.3.9.1	Sincronización física del enlace	139
2.3.9.2	Localización del enlace de ida	139
2.3.9.3	Sincronización del NCR	140
2.3.9.4	Carga de las tablas DVB-RCS específicas	142
2.3.10	Señalización del Canal de Retorno	142
	<b>Referencias Bibliográficas del Capítulo 2</b>	<b>144</b>

## CAPÍTULO 3

### Network Simulator

<b>3.1 Principios del NS</b>	<b>145</b>
3.1.1 Lenguaje de Usuario Otcl	150
3.1.2 Ejemplo de Simulación Sencillo	153
3.1.3 Componentes de Red	159
3.1.3.1 Nodos y ruteo	160
3.1.3.2 Enlaces	161
3.1.3.2.1 Trazo	162
3.1.3.2.2 Control de cola	163
3.1.3.3 Ejemplo de flujo de paquete	163
3.1.4 Paquete	164
3.1.5 Archivos de Trazo	166
<b>3.2 Manipulación de los Archivos de Trazo</b>	<b>168</b>
3.2.1 Procesamiento de Archivos con AWK	168
3.2.2 Uso de GREP	170
3.2.3 Procesamiento de Archivos de Datos con PERL	171
3.2.4 Graficación con GNUPLOT	173
3.2.5 Graficación con XGRAPH	176
<b>3.3 Variables Aleatorias</b>	<b>177</b>
3.3.1 Semillas y Generadores	177
3.3.2 Creación de Variables Aleatorias	178
<b>3.4 Extensiones a NS</b>	<b>181</b>
3.4.1 Encadenamiento Otcl	183
3.4.1.1 Exportar una clase C++ a Otcl	184
3.4.1.2 Exportar variables de una clase C++ a Otcl	185
3.4.1.3 Exportar comando de control de objeto de C++ a Otcl	186
3.4.1.4 Ejecución de un comando Otcl desde C++	187
<b>3.5 Network Animator (NAM)</b>	<b>188</b>
<b>Referencias Bibliográficas del Capítulo 3</b>	<b>193</b>

## TOMO II

### CAPÍTULO 4

#### Modelo de Simulación de Red

<b>4.1</b>	<b>Arquitectura de Red</b>	<b>194</b>
4.1.1	Consideraciones Específicas a la Red DVB-S/RCS	196
4.1.1.1	Único NCC para toda la red	196
4.1.1.2	Múltiples alimentadores y pasarelas DVB	196
4.1.1.3	Único satélite GEO	197
4.1.2	Propuesta de Arquitectura de Red	197
4.1.3	Aspectos Generales de Diseño	200
4.1.3.1	Elección del tipo de estación RCST	200
4.1.3.2	El NCC o <i>hub</i> central	203
4.1.3.3	Organización del recurso satelital	204
4.1.3.4	Direccionamiento	205
4.1.3.5	Determinación del estado de las RCSTs	206
4.1.3.6	Asignación de los identificadores de paquete PID	207
4.1.3.7	Problema del ensamblado MPE	208
4.1.3.8	Envío de mensajes de señalización	211
4.1.3.8.1	Mensajes de señalización desde la RCST al NCC	212
4.1.3.8.2	Mensajes desde el NCC a la estación RCST	214
4.1.3.8.3	Petición y asignación de recursos satelitales RCS	214
<b>4.2</b>	<b>Pila de protocolos</b>	<b>216</b>
4.2.1	Estaciones RCST como <i>Routers</i> IP	216
4.2.2	Interconexión	216
4.2.3	Arquitectura de protocolos de la red RCS	217
4.2.3.1	Plano de datos y control de las estaciones de usuario	217
4.2.3.2	Plano de datos y control de las estaciones RCST	218
4.2.3.3	Plano de datos y control del servidor	219
4.2.3.4	Plano de control del NCC	220
<b>4.3</b>	<b>Asignación de recursos</b>	<b>220</b>



## CONTENIDO GENERAL

---

---

4.3.1	Asignación Inicial de Recursos del Servidor _____	221
4.3.2	Asignación Dinámica de Recursos a las Estaciones RCST _____	222
<b>4.4</b>	<b>Control de conexión _____</b>	<b>225</b>
4.4.1	Establecimiento de Conexión entre Cliente y Servidor _____	225
<b>4.5</b>	<b>Modelo de simulación _____</b>	<b>226</b>
4.5.1	Validación y Verificación del Modelo _____	226
4.5.1.1	Técnicas de validación _____	227
4.5.1.2	Técnicas de verificación _____	227
4.5.2	Intervalos de Confianza _____	228
4.5.3	Eliminación del Transitorio _____	229
4.5.4	Generación de Números Aleatorios _____	230
4.5.5	Implantación de la Arquitectura de Red _____	231
4.5.5.1	Topología NS de la arquitectura de red _____	235
4.5.6	Descripción de Modelo de Red _____	236
4.5.6.1	Estructura de la multitrama MF-TDMA _____	237
4.5.6.2	Tamaño de la supertrama _____	240
4.5.6.3	Tipos y configuración de portadoras _____	241
4.5.6.4	Ráfagas de señalización CSC y CSYNC _____	242
4.5.6.5	Ráfagas de señalización SYNC _____	243
4.5.6.6	Asignación de recursos basada en volumen VBDC _____	245
4.5.6.7	Asignación de capacidad disponible FCA _____	247
4.5.6.8	Validación de la asignación de recursos TDMA _____	247
<b>4.6</b>	<b>Modelos de tráfico de Internet _____</b>	<b>250</b>
4.6.1	Navegación Web _____	250
4.6.1.1	Modelo de tráfico para servidor Web _____	252
4.6.1.2	Modelo de tráfico de usuario-cliente Web _____	253
4.6.1.3	Modelo UMTS de tráfico Web _____	255
4.6.1.4	Modelo WWW para redes inalámbricas (Único usuario) _____	259
4.6.2	Correo Electrónico e-mail _____	262
4.6.2.1	Modelo SMTP _____	263
4.6.2.2	Modelo POP3/IMAP _____	265
4.6.3	Servicios Remotos Interactivos (IRS) (TELNET/SLOGIN) _____	265

## CONTENIDO GENERAL

---

---

4.6.4	Servicios de Transferencia de Archivos FTP	266
<b>4.7</b>	<b>Análisis Comparativo de los Modelos de Tráfico</b>	<b>267</b>
<b>4.8</b>	<b>Escenario de Simulación</b>	<b>268</b>
4.8.1	Navegación Web ( <i>Web surfing</i> )	269
<b>Referencias Bibliográficas del Capítulo 4</b>		<b>271</b>

## CAPÍTULO 5

### Simulación y Análisis de Resultados

<b>5.1</b>	<b>Consideraciones Generales</b>	<b>274</b>
5.1.1	Consideraciones del Escenario de Simulación	274
5.1.2	Consideraciones de la Topología de Red	276
5.1.3	Consideraciones del Entorno de Simulación	277
5.1.4	Consideraciones de los Archivos de Trazo	279
5.1.4.1	Archivos de Trazo Generales	280
5.1.4.1.1	Archivo de Trazo General <i>out.tr</i>	281
5.1.4.1.2	Archivo de Trazo General <i>graph.txt</i>	282
5.1.4.1.3	Archivo de Trazo General <i>rcs.out</i>	283
5.1.4.2	Archivos de Trazo Específicos	287
5.1.4.2.1	Archivos de Trazo Específicos de <i>Throughput</i>	288
5.1.4.2.2	Archivos de Trazo Específicos de Retardos	288
5.1.4.3	Archivos de Trazo de Resultados	291
<b>5.2</b>	<b>Evaluación de la Arquitectura de Red</b>	<b>292</b>
<b>5.3</b>	<b>Análisis de Sensibilidad y Saturación</b>	<b>307</b>
<b>5.4</b>	<b>Análisis de la Factibilidad de la Implementación del Sistema</b>	<b>320</b>
<b>Referencias Bibliográficas del Capítulo 5</b>		<b>324</b>

## CAPÍTULO 6

### Conclusiones y Recomendaciones

<b>6.1</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>325</b>
<b>6.2</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>334</b>

<b>Lista de Acrónimos</b>	<b>336</b>
---------------------------	------------

## **Anexo A**

### **Instalación de NS**

<b>A.1 Consideraciones para la instalación de <i>Linux</i></b>	<b>340</b>
<b>A.2 Instalación de NS</b>	<b>340</b>
A.2.1 Obtención del <i>software</i> gratuito	340
A.2.2 Configuración de NS en <i>Linux</i>	342
<b>A.3 Explore2fs</b>	<b>343</b>

## **Anexo B**

### **Manual del Usuario**

<b>B.1 Iniciación de una simulación</b>	<b>344</b>
B.1.1 Configuración para un grupo de simulaciones	345
B.1.2 Configuración de parámetros de simulación	346
<b>B.2 Formato de los archivos de trazo</b>	<b>347</b>
B.2.1 Archivos de trazo específicos	347
<b>B.3 Mensajes del archivo <i>res.out</i></b>	<b>350</b>

## **Anexo C**

### **Estructuras de los Programas**

<i>residencial.tcl</i>	366
<i>init.tcl</i>	368
<i>gentop.tcl</i>	369
<i>trafficgen.tcl</i>	372
<i>ncc.tcl</i>	374
<i>constants.tcl</i>	375
<i>rv_source.tcl</i>	376
<i>scenario.tcl</i>	377
<i>throughput.tcl</i>	378

## CONTENIDO GENERAL

---

---

res.cc	379
RCST.cc	380
server.cc	388
ncc.cc	389
calc_test.c (a.out)	397
promedio_retard.awk	399
promedio_retard2.awk	400
promedio_thr.awk	401
promedio_thr2.awk	402
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>403</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.1</b> VSAT un paso hacia la reducción de estaciones terrenas. _____	2
<b>Figura 1.2</b> Estaciones Troncales. _____	3
<b>Figura 1.3</b> Desde estaciones troncales hasta VSATs. _____	4
<b>Figura 1.4</b> Definición de <i>uplink</i> y <i>downlink</i> . _____	6
<b>Figura 1.5</b> Satélite Geoestacionario. _____	6
<b>Figura 1.6</b> Configuración en malla. _____	8
<b>Figura 1.7</b> Configuración en estrella bidireccional. _____	9
<b>Figura 1.8</b> Configuración en estrella unidireccional. _____	10
<b>Figura 1.9</b> Conectividad del usuario terminal dentro de una red VSAT malla. _____	11
<b>Figura 1.10</b> Conectividad del usuario terminal usando el <i>hub</i> como un relevador en una red VSAT estrella. _____	12
<b>Figura 1.11</b> Diagrama de bloques de una estación terrena. _____	13
<b>Figura 1.12</b> Fotografía de una ODU de una estación VSAT. _____	13
<b>Figura 1.13</b> Fotografía de un contenedor electrónico. _____	15
<b>Figura 1.14</b> Vista frontal de una IDU de una estación VSAT. _____	17
<b>Figura 1.15</b> Fotografía de una estación <i>hub</i> . _____	19
<b>Figura 1.16</b> Subsistemas del <i>hub</i> . _____	19
<b>Figura 1.17</b> Esquema general de un sistema satelital de servicios múltiples. _____	31
<b>Figura 1.18</b> Arquitectura del sistema Skyplex. _____	32
<b>Figura 1.19</b> Arquitectura de multiplexación del sistema Skyplex. _____	33
<b>Figura 1.20</b> Concepto del sistema IBIS de Alcatel. _____	35
<b>Figura 1.21</b> Arquitectura general del sistema SpaceMux. _____	37
<b>Figura 1.22</b> Principio de funcionamiento de una red ICMSN. _____	41
<b>Figura 2.1</b> Esquema conceptual de la formación de flujos de señal MPEG-2. _____	48
<b>Figura 2.2</b> División de un PES en una serie de paquetes MPEG-2 TS. _____	50
<b>Figura 2.3</b> Conformación del Múltiplex de Transporte TS. _____	51
<b>Figura 2.4</b> Paquete de transporte MPEG-2. _____	52
<b>Figura 2.5</b> Detalle del campo de adaptación del paquete MPEG-2. _____	56
<b>Figura 2.6</b> Forma de una Tabla PAT. _____	58
<b>Figura 2.7</b> Estructura de una Tabla PMT. _____	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

---

<b>Figura 2.8</b>	Diagrama de bloques funcional del Sistema de Transmisión DVB-S. _____	62
<b>Figura 2.9</b>	Ejemplo de Transferencia de Servicios a un nuevo Sistema de Entrega. ____	70
<b>Figura 2.10</b>	Primer comienzo de sección dentro de un paquete TS. _____	75
<b>Figura 2.11</b>	Organización de la dirección MAC en campos de sección MPE. _____	80
<b>Figura 2.12</b>	Estructura en capas de un Modelo de Referencia para un Sistema Genérico DVB-S/RCS. _____	85
<b>Figura 2.13</b>	Modelo de Referencia de un Sistema Genérico para Sistemas Interactivos. _	87
<b>Figura 2.14</b>	Modelo de referencia para Redes Satelitales Interactivas. _____	89
<b>Figura 2.15</b>	Diagrama de Bloques del procesamiento de señal en banda base del canal de retorno en un transmisor RCST. _____	90
<b>Figura 2.16</b>	Composición de un ráfaga ATM. _____	93
<b>Figura 2.17</b>	Composición de una ráfaga MPEG2-TS. _____	93
<b>Figura 2.18</b>	Composición de una ráfaga SYNC. _____	95
<b>Figura 2.19</b>	Composición de la ráfaga ACQ. _____	95
<b>Figura 2.20</b>	Composición de una ráfaga CSC. _____	96
<b>Figura 2.21</b>	Proceso de Modulación. _____	99
<b>Figura 2.22</b>	Asignación de bits dentro de la constelación QPSK. _____	99
<b>Figura 2.23</b>	Formato del Mensaje DULM con el formato ATM. _____	105
<b>Figura 2.24</b>	DULM sobre paquetes MPEG. _____	106
<b>Figura 2.25</b>	MF-TDMA de ranuras fijas. _____	108
<b>Figura 2.26</b>	MF-TDMA de ranuras dinámicas, usando una RCST flexible. _____	109
<b>Figura 2.27</b>	Ejemplo típico de supertramas de una Red Satelital Interactiva. _____	110
<b>Figura 2.28.</b>	Ejemplo de composición de una supertrama. _____	112
<b>Figura 2.29</b>	Ejemplo de composición de una trama. _____	113
<b>Figura 2.30</b>	Representación funcional del uso de los canales. _____	117
<b>Figura 2.31</b>	Diagrama del estado del procedimiento de entrada y sincronización de una RCST. _____	121
<b>Figura 2.32</b>	Ejemplo del flujo de señalización de entrada entre el NCC y la RCST. ____	122
<b>Figura 2.33</b>	Procedimiento de entrada. _____	124
<b>Figura 2.34</b>	Procedimiento de sincronización gruesa. _____	125
<b>Figura 2.35</b>	Procedimiento de sincronización fina. _____	126
<b>Figura 2.36</b>	Procedimiento para mantener la sincronización. _____	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

---

<b>Figura 2.37</b> Ejemplo de una pila de protocolos para tráfico de usuario con un RCST Tipo A (IP/AAL5/ATM/MPEG2/DVBS es opcional en el enlace de ida). _____	130
<b>Figura 2.38</b> Pila de protocolos para señalización. _____	130
<b>Figura 2.39</b> <i>Stack</i> de Protocolos para el FLS. _____	134
<b>Figura 2.40</b> Ejemplo de localización del enlace de ida. _____	141
<b>Figura 3.1</b> Esquema de simulación en NS. _____	146
<b>Figura 3.2</b> Dualidad C++ y Otcl. _____	148
<b>Figure 3.3</b> Arquitectura de NS. _____	149
<b>Figura 3.4</b> Una topología de red simple y un escenario de simulación. _____	153
<b>Figura 3.5</b> Jerarquía de clases (parcial). _____	159
<b>Figura 3.6</b> Nodo ( <i>Unicast</i> y <i>Multicast</i> ). _____	160
<b>Figura 3.7</b> Enlace. _____	161
<b>Figura 3.8</b> Objetos de trazo insertados. _____	162
<b>Figura 3.9</b> Control de cola. _____	163
<b>Figura 3.10</b> Ejemplo de flujo de paquete. _____	164
<b>Figura 3.11</b> Formato de un paquete NS. _____	165
<b>Figura 3.12</b> Ejemplo de formato de trazo. _____	167
<b>Figura 3.13</b> Ejemplo de GNUPLOT. _____	176
<b>Figura 3.14</b> Ejemplo de uso del XGraph. _____	177
<b>Figura 3.15</b> Estructura del directorio NS. _____	182
<b>Figura 3.16</b> Visualización en el NAM del ejemplo 3.15 a los 6.6 seg. _____	191
<b>Figura 4.1</b> Esquema general de la arquitectura de red. _____	197
<b>Figura 4.2</b> Esquema de la red satelital para acceso a Internet. _____	203
<b>Figura 4.3</b> Encapsulamiento IP sobre MPE/MPEG-2. _____	209
<b>Figura 4.4</b> Intercalado de secciones MPE con un mismo PID. _____	210
<b>Figura 4.5</b> Formato DULM sobre paquetes MPEG-2. _____	214
<b>Figura 4.6</b> Planos de datos y control de las estaciones de usuario. _____	217
<b>Figura 4.7</b> Planos de datos y control de las RCSTs. _____	218
<b>Figura 4.8.</b> Planos de datos y control del servidor. _____	219
<b>Figura 4.9.</b> Plano de control del NCC. _____	220
<b>Figura 4.10</b> Adquisición inicial de recursos del servidor. _____	221

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

---

<b>Figura 4.11</b> Composición del campo SAC. _____	223
<b>Figura 4.12</b> Petición de recursos DVB-RCS por parte de las RCSTs. _____	224
<b>Figura 4.13</b> Conexión cliente – servidor. _____	226
<b>Figura 4.14</b> Jerarquía de clases RCS NS. _____	232
<b>Figura 4.15</b> Estructura interna de un nodo RCS NS. _____	233
<b>Figura 4.16</b> Modelo NS de la arquitectura de red. _____	235
<b>Figura 4.17</b> Validación del envío de ráfagas de sincronización SYNC. _____	245
<b>Figura 4.18</b> Retardo medio de paquete (trama 70,311 ms). _____	249
<b>Figura 4.19</b> Retardo medio de paquete (trama 46.87 ms). _____	249
<b>Figura 4.20</b> Tiempos medios inter-peticiones. _____	252
<b>Figura 4.21</b> Característica típica de una sesión de servicio de paquete. _____	256
<b>Figura 4.22</b> Fases de actividad WWW. _____	260
<b>Figura 5.1</b> Topología básica de la Red para Acceso a Internet DVB-S/RCS. _____	276
<b>Figura 5.2</b> Ejemplo de un archivo <i>out.tr</i> . _____	281
<b>Figura 5.3</b> Visualización NAM de <i>graph.txt</i> . _____	283
<b>Figura 5.4</b> Esquema de obtención de los archivos de <i>throughput</i> . _____	289
<b>Figura 5.5</b> Esquema de obtención de los archivos de retardos. _____	290
<b>Figura 5.6</b> Esquema de obtención de los archivos de resultados. _____	291
<b>Figura 5.7</b> Retardo de tráfico BE desde el ISP (FCA - activado). _____	294
<b>Figura 5.8</b> Retardo de tráfico BE desde el RCST (FCA - activado). _____	295
<b>Figura 5.9</b> <i>Throughput</i> de tráfico BE desde el ISP (FCA - activado). _____	296
<b>Figura 5.10</b> <i>Throughput</i> de tráfico BE desde el RCST (FCA - activado). _____	296
<b>Figura 5.11</b> Retardo de tráfico BE desde el RCST (FCA - desactivado). _____	300
<b>Figura 5.12</b> <i>Throughput</i> de tráfico BE desde el ISP (FCA - desactivado). _____	301
<b>Figura 5.13</b> <i>Throughput</i> de tráfico BE desde el RCST (FCA - desactivado). _____	302
<b>Figura 5.14</b> Comparación entre el <i>throughput</i> de un RCST y el del RCS_SAT. _____	305
<b>Figura 5.15</b> Comparación entre el <i>throughput</i> del ISP el del RCS_SAT. _____	306
<b>Figura 5.16</b> Tráfico BE del ISP para un ambiente con 16 RCST y otro con 18 RCST. _____	310
<b>Figura 5.17</b> Retardo de tráfico BE desde el ISP (18 RCST). _____	311
<b>Figura 5.18</b> Retardo Tráfico BE desde el RCST vs. No. de Usuarios. _____	312
<b>Figura 5.19</b> Retardo Tráfico BE desde el ISP vs. No. de Usuarios. _____	313
<b>Figura 5.20</b> Tráfico BE DVB-RCS vs. No. de Usuarios. _____	314



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

---

<b>Figura 5.21</b> Tráfico BE ISP vs. No. de Usuarios. _____	315
<b>Figura 5.22</b> Utilización de los Mensajes de Señalización MAC. _____	316
<b>Figura 5.23</b> Caudal reservado vs. Caudal cursado. _____	317
<b>Figura 5.24</b> Tráfico BE del ISP para un ambiente con 26 RCST y otro con 28 RCST. _	319
<b>Figura A.1</b> Explore2fs. _____	343
<b>Figura B.1</b> Formato del nombre del archivo de trazo específico de <i>throughput</i> . _____	347
<b>Figura B.2</b> Archivo de Trazo General rcs.out. _____	348
<b>Figura B.3</b> Formato del nombre del archivo de trazo de retardo. _____	349

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.1</b> Valores típicos para las partes de la ODU de una estación VSAT. _____	16
<b>Tabla 1.2.</b> Valores típicos para las partes de la ODU de una estación <i>hub</i> . _____	18
<b>Tabla 2.1</b> Estructura de la cabecera de un Paquete MPEG-2 TS. _____	52
<b>Tabla 2.2</b> Tabla general de PIDs. _____	54
<b>Tabla 2.3</b> Valores del control de enmascaramiento de transporte. _____	55
<b>Tabla 2.4</b> Valor del control del campo de adaptación. _____	55
<b>Tabla 2.5</b> Constitución del campo de adaptación del paquete MPEG-2. _____	57
<b>Tabla 2.6</b> Interfaces del sistema. _____	64
<b>Tabla 2.7</b> Valores de PID para las Tablas SI. _____	73
<b>Tabla 2.8</b> Sintaxis de la Sección de Datagrama MPE. _____	79
<b>Tabla 2.9</b> Parámetros del campo de datos de la ráfaga CSC. _____	97
<b>Tabla 2.10</b> Campo <i>RCST Capability</i> de la Ráfaga CSC. _____	97
<b>Tabla 2.11</b> Sintaxis del campo SAC. _____	101
<b>Tabla 2.12</b> <i>Scaling_Factor</i> . _____	102
<b>Tabla 2.13</b> <i>Capacity_Request_Type</i> . _____	102
<b>Tabla 2.14</b> <i>M_and_C_Message</i> . _____	103
<b>Tabla 2.15</b> Tipos de IE en MPEG. _____	107
<b>Tabla 2.16</b> Distribución de los PID y <i>Table_id</i> para las tablas SI. _____	134
<b>Tabla 4.1</b> Tipos de terminales interactivos por satélite. _____	200
<b>Tabla 4.2</b> Comparación de eficiencia entre MPEG2/MPE y ATM/AAL5. _____	202
<b>Tabla 4.3</b> Estructura de trama para una tasa de símbolo de 270 ksymb/s. _____	238
<b>Tabla 4.4</b> Tasas de usuario (Tasa de símbolo 270 ksymb/s). _____	240
<b>Tabla 4.5</b> Tipos de portadoras y tasas de bits por portadora. _____	242
<b>Tabla 4.6</b> Parámetros del modelo y sus correspondientes distribuciones. _____	254
<b>Tabla 4.7</b> Parámetros del modelo considerando las fuentes ON/OFF. _____	254
<b>Tabla 4.8</b> Parámetros del modelo con escenarios corporativos y educacionales. _____	255
<b>Tabla 4.9</b> Valores medios definidos para una distribución típica del servicio WWW. _____	259
<b>Tabla 4.10</b> Variables aleatorias que describen el modelo. _____	261
<b>Tabla 4.11</b> Distribuciones para las variables aleatorias de la tabla 4.10. _____	262

## ÍNDICE DE TABLAS

---

---

<b>Tabla 4.12</b> Número de sesiones promedio para <i>Web Surfing</i> . _____	268
<b>Tabla 4.13</b> Velocidad de generación de sesión para un número promedio y pico de sesiones. _____	270
<b>Tabla 5.1</b> Parámetros de tráfico para el escenario residencial (17:00 – 24:00). _____	275
<b>Tabla 5.2</b> Parámetros de configuración de la red. _____	279
<b>Tabla 5.3</b> Prestaciones del escenario residencial (1 RCST - FCA activado). _____	293
<b>Tabla 5.4</b> Prestaciones del escenario residencial (1 RCST - FCA desactivado). _____	299
<b>Tabla 5.5</b> Prestaciones del escenario residencial (6 RCST). _____	304
<b>Tabla 5.6</b> Prestaciones del escenario residencial (8 RCST – 240 usuarios). _____	307
<b>Tabla 5.7</b> Prestaciones del escenario residencial (10 RCST – 300 usuarios). _____	308
<b>Tabla 5.8</b> Prestaciones del escenario residencial (16 RCST – 480 usuarios). _____	309
<b>Tabla 5.9</b> Prestaciones del escenario residencial (18 RCST – 540 usuarios). _____	309
<b>Tabla 5.10</b> Retardos Tráfico BE RCST/ISP vs. No. de usuarios. _____	312
<b>Tabla 5.11</b> <i>Throughput</i> Tráfico BE vs. No. de usuarios. _____	314
<b>Tabla 5.12</b> Porcentajes de utilización de los mensajes MAC. _____	315
<b>Tabla 5.13</b> Retardos Tráfico BE vs. No. de usuarios (fuera de la hora pico). _____	318
<b>Tabla 5.14</b> <i>Throughput</i> Tráfico BE vs. No. de usuarios (fuera de la hora pico). _____	318
<b>Tabla 5.15</b> Consideraciones de diseño de un ISP. _____	321
<b>Tabla B.1</b> Variables configurables en <i>init.tcl</i> . _____	346
<b>Tabla B.2</b> Sintaxis del nombre de los archivos de <i>throughput</i> _____	349
<b>Tabla B.3</b> Sintaxis del nombre de los archivos de retardo _____	350

# **CAPÍTULO 4**

## **MODELO DE SIMULACIÓN DE RED**

En el presente capítulo, se desarrolla el modelo de simulación de Red VSAT *Full-Duplex* para acceso a Internet, partiendo de la descripción de su arquitectura, la cual está basada en ciertas consideraciones propuestas por las redes ICMSN (*Interactive Channel Multimedia Satellite Network*).

En primera instancia se describirá la arquitectura de red, la cual servirá como base para el modelo de simulación. En ella se presentarán aspectos básicos de diseño, tales como elección del tipo de terminal RSCT, organización del recurso satelital, etc.

Posteriormente se describirá el modelo de simulación para la evaluación de la red para acceso a Internet, junto con una breve descripción de los aspectos más generales que constituyen el paso previo al análisis de los resultados que arroja la simulación, tales como técnicas de validación y verificación, definición de intervalos de confianza, etc. Seguidamente se describirá la implantación del modelo de red en la herramienta de simulación escogida (*Network Simulator*).

También se incluyen algunos modelos de tráfico de Internet, de los cuales, a través de un análisis comparativo, se seleccionará el que se adapte de mejor manera a los requerimientos del presente proyecto.

#### **4.1 ARQUITECTURA DE RED**

Una vez que se ha decidido simular una red interactiva para acceso a Internet usando la plataforma DVB-S/RCS, resulta imprescindible tener en cuenta el modelo de referencia descrito en la norma ETSI EN 301 790, sobre el cual se realizará la propuesta de arquitectura de red a implementarse en el simulador.

Como se menciona en el capítulo 2, una red completamente interactiva por satélite cuenta con los elementos que se describen de manera resumida a continuación:

- Centro de Control de la Red NCC (*Network Control Center*). El NCC realiza las funciones de monitorización y control. Genera las señales de control y sincronización para la operación de la red interactiva y envía esta información a través de una o varias cabeceras de difusión DVB-S. Una red interactiva está definida por un grupo de terminales a los que da servicio un único NCC.
- Pasarela de Tráfico (*Gateways*). Una pasarela recibe las señales de retorno de las RCST; ofrece funciones de manejo de las suscripciones, servicios interactivos o conexiones a proveedores de servicios públicos, propietarios o privados (bases de datos, *pay-per-view*, juegos interactivos, etc.) y a diferentes redes (Internet, RDSI, RTC, etc.).
- Alimentador DVB-S, cabecera de difusión (*Feeder Stations*). Un alimentador transmite el canal de difusión siguiendo la norma DVB-S. En este canal se encuentran multiplexados los datos de usuario junto con la información de señalización del NCC.
- Estaciones interactivas RCST. Terminales satelitales interactivos a través de canales ascendentes de formato DVB-RCS.

Puede observarse que el modelo de referencia es bastante abierto en cuanto a las posibilidades de implantación de la red satelital interactiva. Por ejemplo, comparado con el modelo tradicional de una red DVB-S de solo difusión donde el alimentador de difusión, la pasarela y la estación de control satelital son una misma estación o por lo menos se encuentran ubicados en una misma localidad (*gateway and feeder colocated*).

El modelo de referencia plantea que las funciones de estos tres elementos pueden estar distribuidas y desempeñadas por estaciones distintas, aunque en la

práctica las realiza una única estación o *hub* central, como es el caso de las redes ICMSN.

Otro aspecto interesante a tener en cuenta en la propuesta de red interactiva, es la posibilidad de utilizar satélites distintos para el canal de difusión DVB-S y retorno DVB-RCS. Esta situación permite por ejemplo la cooperación entre satélites de banda Ku, para el canal de difusión DVB-S, con satélites de banda Ka para el canal de retorno DVB-RCS.

#### **4.1.1 CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS A LA RED DVB-S/RCS**

En este momento se precisa acotar la arquitectura de red interactiva satelital que servirá de base en la definición de la propuesta para la implantación de la red DVB-S/RCS, teniendo como punto de partida el modelo de referencia anterior.

##### **4.1.1.1 Único NCC para toda la red**

Se toma en primer lugar la decisión de utilizar una única estación de control de la red NCC para toda la red DVB-S/RCS, ya que en la norma RCS se explica la posibilidad del reparto lógico de funciones entre varias redes interactivas y que depende de la capacidad de proceso del mismo.

##### **4.1.1.2 Múltiples alimentadores y pasarelas DVB**

En la norma RCS se indica que en una red interactiva puede existir más de un alimentador DVB-S y que éstos se encuentren en localidades diferentes, por lo que necesariamente utilizarán canales de difusión DVB-S individuales.

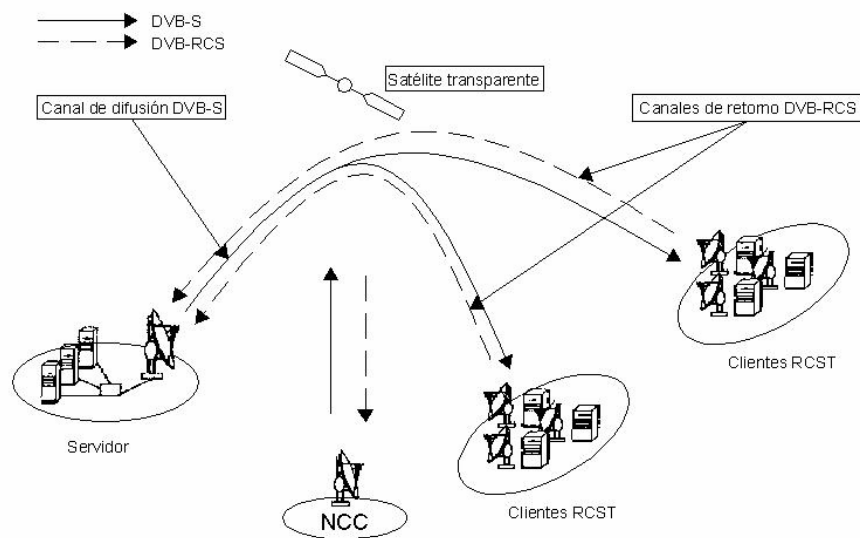
Para la red DVB-S/RCS objeto del presente proyecto, no se considerarán los alimentadores y pasarelas, ya que como se verá más adelante, ésta trabaja con un satélite transparente y módulos DVB-S y DVB-RCS.

#### 4.1.1.3 Único Satélite GEO

Se puede también observar en el modelo de referencia RCS, la posibilidad de usar satélites independientes para los canales de difusión y retorno, lo que permite reutilizar aquellos que trabajan en la banda Ku para la difusión DVB-S.

La mayor parte de los sistemas satelitales de banda ancha actualmente en funcionamiento y propuestos para el futuro, se basan en satélites transparentes GEO. Por esta razón, en el modelo de red se utilizará un único satélite GEO transparente a efectos de contar con una mayor sencillez en la definición de la arquitectura. Esta decisión se encuentra también respaldada por varios de los nuevos sistemas satelitales interactivos basados en el estándar RCS, que utilizan un único satélite para la provisión de servicios multimedia, y que se mencionaron en el capítulo 1.

#### 4.1.2 PROPUESTA DE ARQUITECTURA DE RED



**Figura 4.1** Esquema general de la arquitectura de red.

La arquitectura de red propuesta se desarrolla principalmente teniendo en cuenta la característica del satélite a utilizar. Como ya se indicó en la sección



anterior, esta arquitectura utilizará satélites GEO transparentes o BPS (*Bent Pipe Satellite*); más específicamente el satélite no realizará ningún tipo de remultiplexación MPEG2 a bordo.

El servidor empleará portadoras independientes DVB-S y las estaciones remotas corresponden a estaciones RCST con canales de retorno DVB-RCS. El esquema general de la arquitectura se muestra en la figura 4.1.

Las funciones de control y manejo de la asignación de recursos (DVB-RCS y DVB-S) estarán a cargo del NCC. Tanto el servidor como los clientes se convierten en clientes RCST del NCC para el intercambio de información de señalización, que consiste básicamente en peticiones de recursos, establecimiento de conexiones, control de entrada de las estaciones a la red y las funciones de mantenimiento de sincronización.

El servidor por tanto no asigna recursos de retorno RCS a sus clientes. Las RCSTs envían sus peticiones de capacidad de forma directa al NCC, con la excepción de las peticiones embebidas en ranuras de tráfico (DULM), para las que el servidor realizará las funciones de relé hasta el NCC. Para el envío de señalización embebida se utilizará un PID diferente al de datos.

El NCC tendrá asignada una portadora DVB-S exclusiva MO (*Master Outbound*) o TS primario, donde se encuentra multiplexada la información de señalización RCS (SCT, TCT, FCT, TBTP, *unicast/broadcast* TIM, entre otras) por lo que se debe recibir por todas las estaciones RCST, sea el servidor o los clientes.

Al ser el MO un canal DVB-S independiente podría también transportar tráfico de datos junto con el de señalización; por ejemplo, en el caso de que un proveedor de servicios se encuentre ubicado en la misma localidad del NCC, tal como se contempla en las redes ICMSN. En todo caso, el objetivo principal del MO será el transporte de señalización entre los clientes y el NCC.

Como se mencionó anteriormente, el servidor es también un cliente RCST del NCC con la diferencia de que cuenta con una portadora de transmisión DVB-S independiente (LSO, *Local Server Outbound*), con la que da servicio a su población de clientes RCST, y además le es asignado un conjunto de portadoras RCS, sobre las que se construirán los canales de retorno de los clientes RCST que acceden al servidor. Por tanto, el servidor únicamente recibirá ráfagas de tráfico TRF desde sus clientes RCST.

Debido a que la información de señalización de los clientes puede enviarse a través del método DULM, lo que implica que el servidor retransmitirá por su LSO esta información a fin de que la reciba el centro de control de la red, el NCC contará con un receptor DVB-S destinado para recibir este tipo de tráfico.

La información de señalización enviada por los clientes utilizará identificadores de paquetes PID previamente definidos por el operador de la red, facilitando el filtrado de los mismos por parte del servidor y el NCC. Esta característica no añade demasiada complejidad ni coste al NCC teniendo en cuenta que este tipo de receptores son de consumo masivo y de bajo precio.

Los clientes RCST reciben el MO y el LSO en portadoras DVB-S independientes, por lo que deberán entonces contar con al menos dos receptores DVB-S, además de un modulador DVB-RCS para el canal de retorno. Esta característica de tener más de un receptor satelital DVB-S está contemplada en el estándar RCS, donde el número de receptores con los que cuenta un terminal se indica en la tabla de capacidades que la RCST envía al NCC durante el proceso de entrada al sistema en las ráfagas CSC.

El servidor, a pesar de que es una estación RCST, posee adicionalmente un modulador DVB-S y un demodulador DVB-RCS para la recepción de las ráfagas de tráfico que el NCC le ha asignado.

### 4.1.3 ASPECTOS GENERALES DE DISEÑO

Considerando la funcionalidad y requisitos de la red, se han tomado las siguientes decisiones en cuanto al diseño, aplicables a la arquitectura propuesta para su implantación.

#### 4.1.3.1 Elección del tipo de estación RCST

Las estaciones que utilizan el canal de retorno DVB se las conoce dentro de la norma RCS como terminales satelitales con canal de retorno o RCST (*Return Channel Satellite Terminal*); en el plano comercial se las denomina también como terminales satelitales interactivos SIT (*Satellite Interactive Terminal*). [5]

En la tabla 4.1 se muestra un ejemplo típico de categorización de los terminales RCST en función de su tamaño, potencia y capacidad de transmisión.

Tipo	Tamaño de antena	Velocidad de transmisión	Potencia	Velocidad de recepción (DVB MPEG2)
SIT I	60 cm	150 kbps	0.5 W	38 Mbps
SIT II	90 cm	385 kbps	1.0 W	38 Mbps
SIT III	120 cm	2048 kbps	2.0 W	38 Mbps

**Tabla 4.1** Tipos de terminales interactivos por satélite. [5]

Las RCSTs son también consideradas como estaciones VSAT dadas sus características de tamaño, precio, facilidad de instalación y de cálculo de enlace (*link budget*), por lo que una estrella satelital con estaciones RCST será también una estrella VSAT.

Respecto a este punto, se debe únicamente tomar en cuenta que las capacidades de transmisión de una RCST pueden llegar a ser muy superiores a las de una estación VSAT tradicional, como por ejemplo la *SkyStar Advantage* de *Gilat* que puede transmitir hasta 154 Kbps. [3]

Además de la clasificación de acuerdo a las características físicas de las RCSTs, éstas pueden agruparse de acuerdo al servicio y funcionalidad que ofrecen. De tal forma, y según se indica en el estándar RCS, existen los siguientes tipos de terminales interactivos [2]:

- RCST Tipo A (modo ATM). Soporta servicios IP y utiliza celdas ATM con el nivel de adaptación AAL5 para las funciones de segmentación y reensamblado (SAR). Las celdas ATM corresponderán a ráfagas MF-TDMA y se utilizan tanto para tráfico de datos (ráfagas TRF) como de señalización (ráfagas CSC, SYNC y ACQ). Las celdas ATM seguirán el formato de celdas UNI. Se utiliza el campo PT de la cabecera ATM para distinguir entre el tráfico de usuario y el de señalización.
- RCST Tipo A (modo MPEG). Existe un modo opcional de operación para las estaciones RCST del tipo A, que es el MPEG. El encapsulamiento multiprotocolo MPE (*Multiprotocol Encapsulation*) de DVB provee las funciones de segmentación y reensamblado de IP usando paquetes MPEG2 como contenedores. Al igual que en el caso anterior, los paquetes MPEG2 corresponderán a ráfagas MF-TDMA que se utilizan para el tráfico de datos y de señalización. La estación utiliza PIDs diferentes para distinguir entre el tráfico de usuario del tráfico de control.
- RCST Tipo B (ATM Nativo). Este tipo de terminales deberá ser capaz de operar como una RCST tipo A y también tener la capacidad de soportar protocolos nativos de ATM mediante el encapsulamiento de celdas ATM tanto en el canal de retorno como en el DVB-S de difusión; es decir, serán capaces de soportar circuitos virtuales permanentes y conmutados en ambas direcciones y no solamente en el canal de retorno, como en el caso de la estación RCST tipo A.

Considerando la arquitectura propuesta para la implantación de la red para acceso a Internet, se toma la decisión de emplear terminales RCST del tipo A y que utilizan paquetes MPEG-2 como contenedores de tráfico (modo MPEG). Con

este modo de operación se evita realizar una conversión de protocolo y re-encapsulado a bordo del satélite ya que en cualquier situación el enlace descendente tendrá el formato DVB-S.

En caso de utilizar ráfagas ATM (RCST A y Tipo B) habría que realizar una conversión de protocolo en el satélite, es decir, de ATM a MPEG para luego realizar el proceso de conversión contrario en los clientes.

Además, al utilizar paquetes MPEG-2 en lugar de celdas ATM resulta más conveniente en cuanto a la sobrecarga introducida por las cabeceras de este último. Por ejemplo, en la transmisión de un datagrama IP de longitud de 512 bytes, para el caso de ATM/AAL5 (8 bytes adicionales de sobrecarga por datagrama) se requieren 11 celdas ATM, lo que equivale a una eficiencia del 87.8%. Para el caso de MPEG-2, utilizando el encapsulado MPE (16 bytes de sobrecarga por sección MPE) se necesitan 3 paquetes MPEG y una única sección MPE, lo que equivale a una eficiencia del 95%.

En la tabla 4.2 se muestra una comparación de la eficiencia entre ATM y MPEG2 para diferentes tamaños de datagramas IP. [4]

Tamaño del datagrama IP	No. Celdas ATM	No. Paquetes MPEG2	No. Secciones MPE por paquete MPEG2	Eficiencia de ATM/AAL5	Eficiencia de MPEG2/MPE
32	1	1	3.83	60.4%	65.2%
48	2	1	2.88	45.3%	72.8%
64	2	1	2.30	60.4%	78.3%
20	2	1	1.91	75.5%	81.2%
128	3	1	1.28	80.5%	87.0%
256	6	2	1.35	80.5%	92.1%
512	11	3	1.05	87.8%	94.9%
1024	22	6	1.06	87.8%	96.4%

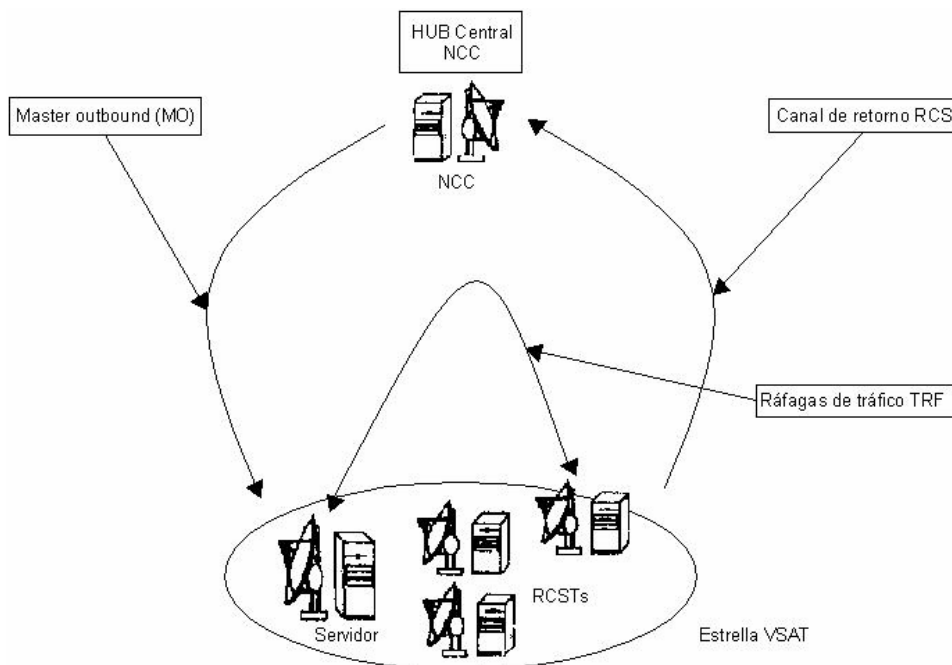
**Tabla 4.2** Comparación de eficiencia entre MPEG2/MPE y ATM/AAL5.

Desafortunadamente, no existen solamente ventajas al utilizar los terminales RCST con funcionalidad MPEG2, sino que esta elección implica también otros aspectos a tener en cuenta como por ejemplo, problemas relacionados con la asignación del limitado número de identificadores de paquetes PIDs, aproximadamente 8192 identificadores (13 bits de la cabecera MPEG-2), entre todas las terminales clientes RCST de las que, en una red real, habría un gran número.

#### 4.1.3.2 El NCC o *hub* central

Se ha mencionado que las redes interactivas por satélite basadas en la tecnología DVB cuentan con un centro de control de red denominado NCC, o llamado también *hub* central en la ICMSN. Para la arquitectura de red propuesta, el NCC será único.

El esquema a ser utilizado para la red de acceso a Internet es el que se muestra en la figura 4.2.



**Figura 4.2** Esquema de la red satelital para acceso a Internet.

Todos los nodos de la red, clientes y servidor, forman una red satelital en estrella con el NCC, donde básicamente se intercambia información de señalización que tiene que ver con peticiones de recursos RCS, entrada de las estaciones a la red, establecimiento de conexiones y de mantenimiento de la sincronización.

Puede observarse en la figura 4.2 la presencia del canal de difusión del NCC, denominado MO o TS primario, sobre el que se multiplexa la información de señalización hacia los clientes, por lo que todas las estaciones RCST incluido el servidor deben recibirlo. La información de retorno se construye sobre los canales de señalización RCS (ráfagas SYNC, CSC y ACQ), las ráfagas de tráfico de datos (TRF) se enviarán al servidor.

#### 4.1.3.3 Organización del recurso satelital

El NCC realizará la asignación de recursos RCS a los clientes RCST, de acuerdo a la disponibilidad de recursos de la supertrama que corresponde al servidor con el que los clientes establecerán una comunicación, teniendo en cuenta además el tipo de estación y configuración de portadoras a las que tienen acceso. La asignación de recursos hecha por el NCC se da a conocer a través del plan de ráfagas TBTP difundido a través del MO.

La norma del canal de retorno DVB-RCS establece que la asignación de ráfagas de tráfico (TRF) a cada estación RCST se realiza de forma exclusiva, la única forma de contienda se da en el canal común de señalización CSC (utilizado para el acceso de la estación al sistema durante el TLP) y cuando se implanta el método de peticiones de recurso mediante mini-ranuras en contienda (CSYNC).

El recurso satelital está conformado por un canal *outbound* asignado de forma exclusiva al servidor para la comunicación con sus clientes o RCSTs. En cuanto a los canales de retorno (enlaces *inbound*) se construirán sobre la supertrama asignada al servidor por el NCC.

En la arquitectura de red, donde el servidor cuenta con receptores DVB-RCS, solamente se cursarán ráfagas de tráfico RCS (ráfagas TRF). Las ráfagas de señalización (CSC, SYNC y ACQ) formarán parte únicamente de la supertrama que tiene asignado el NCC para este efecto y que es accesible a todas las estaciones de la red. Cabe anotar que es posible que los clientes envíen información de señalización embebida en las ráfagas de tráfico (método DULM), por lo que el servidor deberá redifundir estos paquetes por su *outbound* local (LSO) a fin de que el NCC reciba esta información.

Todos los clientes y el servidor se encuentran sincronizados con una única multitrama MF-TDMA, que como se ha dicho anteriormente, es controlada por el NCC. Esta sincronización global es posible debido a que el sistema utiliza un único satélite GEO para el canal de retorno y de difusión.

#### **4.1.3.4 Direccionamiento**

En el canal de difusión DVB-S, las RCSTs se identifican de forma única por su dirección física (MAC) y su dirección lógica (Group ID + Logon ID), esta última asignada por el NCC durante el proceso de entrada de la estación a la red (TLP).

La dirección MAC RCS se utilizará dentro de las ráfagas CSC y las secciones DSM-CC llevadas por los mensajes TIM; así mismo, se utilizará también en las secciones del encapsulamiento multiprotocolo MPE para el transporte de datagramas IP sobre MPEG-2.

La dirección lógica sirve para referenciar a la estación en los mensajes de señalización y mientras ésta permanezca activa.

El identificador Group\_ID (campo de 8 bits) corresponde a un grupo de RCSTs que han ingresado al sistema. El identificador Logon\_ID (campo de 16 bits) identifica la RCST dentro del grupo definido por el Group\_ID.



#### 4.1.3.5 Determinación del estado de las RCST

Los procedimientos de entrada y de mantenimiento de sincronización que realizan las RCSTs, permiten al NCC conocer en todo momento la ubicación de un determinado cliente RCST y su estado actual (detenido, inactivo, en espera, sincronizado, en proceso de sincronización). [2]

Al conocer el NCC la posición exacta de una RCST, el problema causado por el desplazamiento del reloj de referencia (*Doppler Shift Error*<sup>1</sup>) debido al movimiento del satélite, es resuelto por el mismo NCC, reduciendo de esta forma el costo de las RCSTs. [5]

Por otra parte, cabe señalar que la norma DVB-RCS deja abierta la posibilidad de que el mantenimiento de la sincronización de los clientes no sea periódico, sino que obedezca a un requerimiento en concreto del NCC. La desventaja del mantenimiento periódico de sincronización se encuentra en la asignación exclusiva de recursos RCS a cada RCST (ráfagas SYNC) aunque existe la posibilidad de realizar ajustes en la periodicidad de las ráfagas e incluso éstas podrían asignarse en contienda (CSYNC).

Por otro lado, si el mantenimiento de sincronización no es periódico, los clientes podrían aparecer como registrados pero no estar activos, es decir, no tienen establecida ninguna conexión en ese momento. Por esta razón, sería necesario verificar su estado antes de establecer una conexión a través de una petición de sincronización mediante un mensaje *unicast*.

Añadido a este inconveniente, está el hecho de que la estación podría tener que realizar nuevamente el proceso de sincronización y de control de potencia antes de enviar una ráfaga de tráfico, en el caso de que el NCC detecte problemas en sus transmisiones. Esta situación se hubiera ido corrigiendo de forma continua en el caso de una asignación periódica de las ráfagas SYNC.

---

<sup>1</sup> La desviación DSE depende de la velocidad y posición actual del satélite, y de la posición de las RCSTs.

Si un cliente se ha mantenido inactivo por un período de tiempo extenso, necesitará realizar nuevamente el TLP y adquirir los identificadores de entrada y de grupo. La petición de entrada al sistema del NCC al cliente RCST se realiza a través de un mensaje *unicast* TIM (mensaje *Wake up*). De esta forma, el proceso de localización tendría que complementarse con el de verificación del estado de la RCST o incluso con una petición de reentrada al sistema. [2]

La petición de estado a la RCST antes de establecer una conexión involucra al menos dos saltos satelitales, lo que equivaldría a un servicio de conexión confirmado. El proceso de mantenimiento de sincronización periódico, permite un mejor control del estado de todas las estaciones RCST y tomando en consideración que las conexiones deben realizarse con el menor retardo de propagación posible, es una alternativa aceptable.

#### 4.1.3.6 Asignación de los identificadores de paquetes PID

Para el tráfico de datos entre cliente y servidor o viceversa, el transporte de datos se realiza sobre paquetes de transporte MPEG-2 que se identifican mediante un PID, que debido a su limitado número (13 bits de la cabecera del paquete MPEG2) hace necesario establecer un mecanismo de asignación, en el caso de que la red esté prevista a soportar un gran número de clientes RCSTs.

La red contará con al menos cuatro identificadores de paquetes (PIDs) independientes, dos de los cuales representan el canal de difusión y retorno para el tráfico de datos, y los dos restantes identifican el canal de difusión y retorno para el envío de señalización. Nótese que los clientes utilizarán el PID de señalización para enviar peticiones de recursos embebidas en ráfagas de tráfico previamente asignadas (método DULM).

El servidor recibirá del NCC la asignación de los PIDs que le corresponden para la identificación de sus canales de difusión y retorno al momento de su entrada a la red. Los PIDs pueden ser reservados previamente durante el establecimiento del contrato con el proveedor del servicio satelital. De la misma

forma que el servidor, y una vez completado el TLP, los clientes RCST recibirán del NCC la información de los PIDs que deben utilizar, a través de las tablas PAT.

En el sentido NCC → RCST la norma RCS establece los PIDs que se utilizarán para la transmisión de la información de señalización RCS (PMT, PAT, SCT, FCT, TCT, TIM). En el descriptor de inicialización que el NCC envía a la RCST durante el TLP, se indica a las estaciones RCST el PID a utilizar para el envío de información de señalización y control en el sentido RCST → NCC.

Según lo expuesto anteriormente, queda claro que el rango de asignación de PIDs no representa un problema, ya que la red necesita sólo unos cuantos PIDs para sus canales de difusión y retorno, para señalización y tráfico de datos.

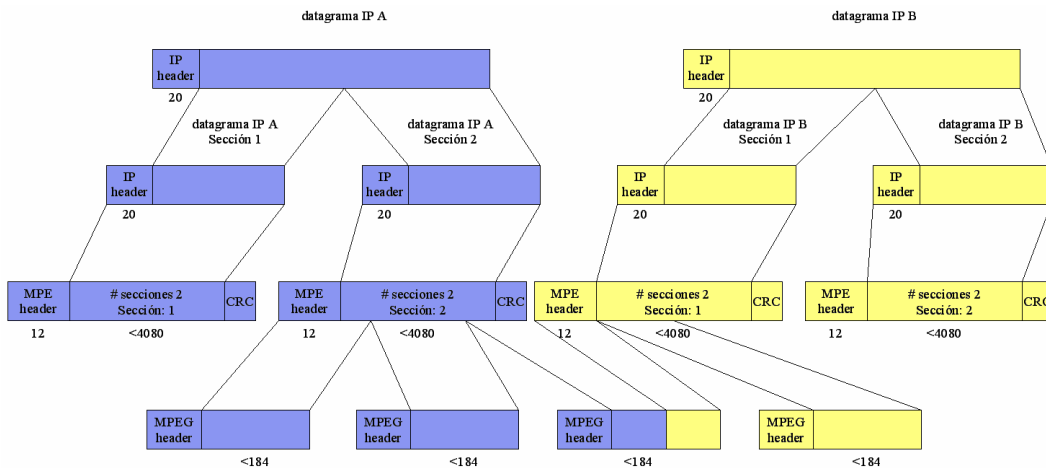
Incluso podrían ofrecerse muchos más servicios dentro de un mismo flujo de transporte TS complementarios al servicio de tráfico de datos que ofrece la red (por ejemplo: TV digital, Push/Cache, Radio, etc). En realidad esto es cierto siempre y cuando los clientes (de los cuales puede haber un gran número) compartan un mismo PID para interactuar con el NCC.

Efectivamente, los problemas de asignación de PID aparecen si los clientes no utilizan un mismo PID para identificar sus canales de retorno, situación que parece no tener sentido, teniendo en cuenta que la identificación de los paquetes que se envían, se hará en base a la dirección MAC, por lo que aún en el caso de compartir un mismo PID, los paquetes pueden ser filtrados correctamente por el destino.

#### **4.1.3.7 Problema del ensamblado MPE**

La red de acceso a Internet soportará el encapsulamiento multi-protocolo MPE (*Multi-Protocol Encapsulation*) definido en el reporte técnico *ETSI Technical Report 101 202* y que forma parte de la norma DVB. El encapsulamiento MPE permite a los terminales RCST realizar un filtrado de paquetes a nivel de direcciones MAC al poder reconocer de forma directa la estructura del

encapsulado mediante el uso de demultiplexores *hardware* (bytes 5 y 6 de la dirección MAC de la estructura DSM\_CC) y demultiplexores *software*. [6]



**Figura 4.3** Encapsulamiento IP sobre MPE/MPEG-2. [4]

La MTU (*Maximum Transfer Unit*) debe ser definida de manera que no exceda el tamaño máximo de una sección MPE, que es de 4080 bytes (4096 menos 12 bytes de cabecera y 4 bytes de CRC). La figura 4.3 muestra un ejemplo del encapsulamiento de IP sobre MPE.

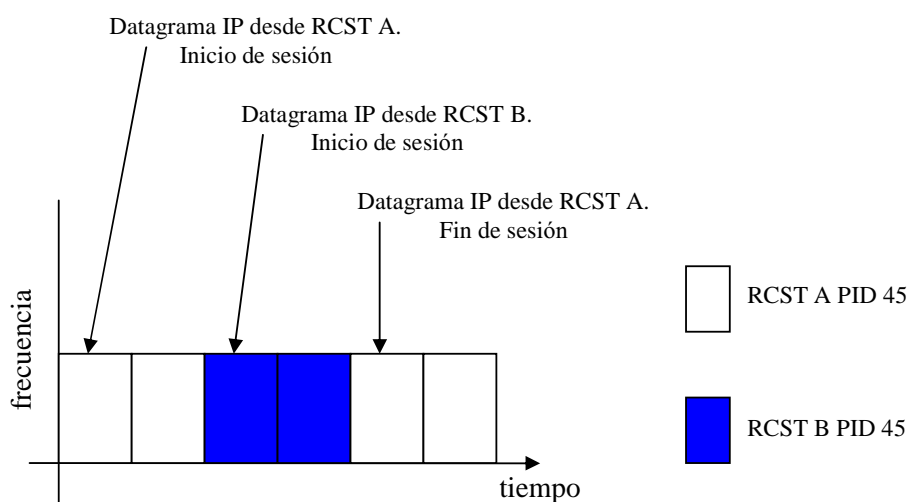
Cuando se utiliza un esquema de acceso MF-TDMA, como el propuesto por la norma DVB-RCS, los datagramas IP enviados por las RCSTs y que emplean el mismo PID en una conexión Multipunto-Punto pueden ser intercalados de acuerdo a la asignación de recursos, tal como se muestra en la figura 4.4.

El intercalado de las ranuras de tráfico RCS asignadas a las estaciones RCST, puede generar que el receptor reciba un inicio de sección MPE sin haber finalizado la anterior. Las posibles alternativas para resolver este problema de las secciones MPE intercaladas son las siguientes [4]:

- Utilizar PIDs diferentes para cada RCST, el receptor podría discriminar los datagramas IP que pertenecen a una u otra estación, pero dada la limitación del uso de identificadores esta solución podría no ser aplicable,

excepto que los PIDs se fueran asignando dinámicamente, en función del tráfico que desee enviar la RCST y no de forma permanente. Esta solución implicaría una mayor señalización al tener que comunicar tanto al receptor como al emisor de los nuevos PIDs que se utilizan para una transmisión y recepción, incluso si ambos extremos son los mismos de una comunicación anterior.

- Forzar que las secciones MPE empiecen y finalicen dentro de un mismo paquete MPEG. Esto implica que los datagramas IP no podrán superar los 188 bytes incluidos la cabecera del MPE (16 Bytes) y de IP (20 Bytes). Esta solución tiene la desventaja de una sobrecarga por cada paquete del orden del 20%, además del coste de la fragmentación.



**Figura 4.4** Intercalado de secciones MPE con un mismo PID. [4]

En el proyecto IBIS “*Integrated Broadcast Interaction System*” también se proponen otros mecanismos para tratar el problema de reensamblado de MPE que permitirían un ilimitado número de conexiones junto con un máximo de eficiencia en la sobrecarga. Los mecanismos propuestos son:

- Añadir una información extra en la cabecera MPEG. Esto puede realizarse con el campo de adaptación. De esta forma un identificador de la fuente

como la dirección lógica RCS podría incluirse en el paquete de tal forma que el receptor pueda discriminarlos de forma correcta.

- Añadir un nivel de adaptación entre las capas MPE y MPEG. Este nivel permitiría discriminar entre diferentes fuentes que usan el mismo PID.
- Añadir una nueva tabla en el DVB-S, la cual contendría la información de correspondencia entre diferentes fuentes y el enlace descendente DVB-S TDM. Las estaciones receptoras podrían discriminar los paquetes de acuerdo con su posición en el flujo DVB-S TDM.

Teniendo en cuenta que las estaciones utilizarán un mismo PID para interactuar con el servidor, la solución de utilizar PIDs diferentes queda descartada.

Forzar que el tamaño de los datagramas IP no supere los 188 bytes, incluidas las cabeceras de los protocolos y del ensamblado MPE, parece no ser la mejor alternativa debido a la sobrecarga añadida a cada paquete MPEG.

Por las razones descritas anteriormente, se toma la decisión de incluir en el campo de adaptación de los paquetes MPEG la dirección lógica de los RCSTs. Esta solución implica incluir en cada paquete la dirección lógica del RCST, es decir, 2 bytes correspondientes al identificador de entrada (*Logon\_ID*) y 1 byte al identificador de grupo (*Group\_ID*). La cabecera del campo de adaptación añade otros 3 bytes de sobrecarga por lo que en total la carga útil del primer paquete MPEG-2 se reduce a 178 bytes. [7]

#### 4.1.3.8 Envío de mensajes de señalización

Una conexión de señalización es necesaria entre la RCST y el NCC para enviar mensajes de control, manejo, mantenimiento de sincronización y peticiones de capacidad, propios de la norma RCS.

La conexión de señalización con el NCC se establece durante el proceso de entrada de la RCST, donde se indica a la estación el PID a utilizar para el envío de los mensajes de control y puede considerarse como una conexión permanente. El identificador de canal asociado a esta conexión será el de omisión (*channel\_id = 0*). [2]

#### 4.1.3.8.1 Mensajes de señalización desde la RCST al NCC

En el sentido RCST → NCC, el envío de la información de control podría llevarse a cabo a través de los siguientes métodos: ráfagas CSC, ráfagas de sincronización con mini-ranuras exclusivas (SYNC) o en contienda (CSYNC) y mediante el método DULM. [2]

De acuerdo con el estándar RCS, las ráfagas CSC se usan solamente para la propia identificación de la RCST al momento de la entrada a la red interactiva. Existe un campo reservado en este tipo de ráfagas que podría utilizarse para el envío de información de señalización de la red aunque las estaciones hayan completado el proceso de entrada, es decir, un acceso en contienda similar al CSYNC.

Como se verá más adelante, el tamaño disponible en las ráfagas CSC es insuficiente para enviar los elementos de información (IE, *Information Elements*) de las unidades de datos.

Las ráfagas SYNC se utilizan principalmente para el envío de información de sincronización aunque también es posible enviar peticiones de capacidad RCS utilizando el campo SAC.

Las ráfagas de sincronización en contienda CSYNC se utilizan exclusivamente para el envío de peticiones de capacidad.

Se propone por lo tanto utilizar el método DULM, donde los mensajes de señalización se transfieren en la carga útil de las ranuras asignadas para el tráfico de datos (ráfagas TRF).

El PID que debe emplearse para enviar tráfico de señalización se indica en el descriptor de entrada LID que el NCC envía al RCST durante el TLP. En caso de que varias estaciones utilicen el mismo PID para interactuar con el NCC, los mensajes tendrán que incluir la dirección lógica de la RCST que los transmite (Logon\_ID + Group\_ID).

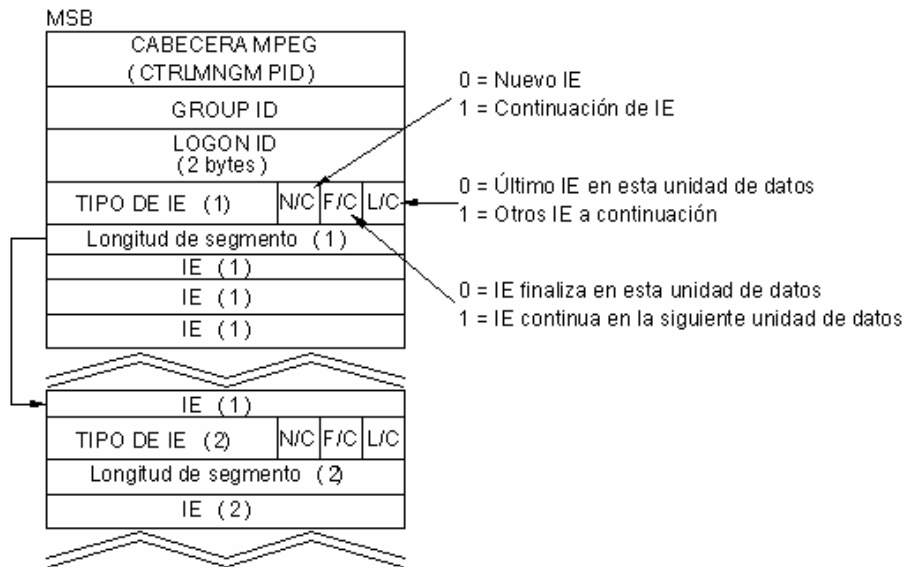
Con el método DULM, existe la posibilidad de que la estación RCST necesite enviar información de señalización cuando no tenga asignada ninguna ráfaga de tráfico RCS, en cuyo caso la petición de recursos para enviar el tráfico de señalización se realizará a través de una ráfaga de sincronización (mini-ranuras fijas o en contienda) en términos del campo SAC (*Satellite Access Control*), solicitando por ejemplo la cantidad de *bytes* necesarios para enviar el mensaje de señalización (categoría de petición de capacidad AVBDC).

En esta última situación la petición de recursos a través de una ráfaga de sincronización se realizará en función de un identificador de canal previamente definido por la red y asignado únicamente para el transporte de tráfico de señalización en el sentido RCST → NCC, que como ya se mencionó anteriormente será el identificador de canal por omisión (*channel\_id = 0*).

La norma DVB-RCS especifica el formato para el envío de señalización DULM sobre paquetes MPEG-2 que básicamente consiste en el envío concatenado de los IEs, donde además se incluye la dirección lógica de la estación que lo transmite.

La estructura de los mensajes DULM sobre paquetes MPEG se muestra en la figura 4.5. La descripción de los IEs que se envían en las unidades de datos de protocolo de asignación de recursos de la red se realizará en secciones posteriores.





**Figura 4.5** Formato DULM sobre paquetes MPEG-2. [2]

#### 4.1.3.8.2 Mensajes desde el NCC a la estación RCST

En cuanto a la información de señalización en el sentido NCC → RCST, ésta se multiplexa en el mismo canal *outbound* DVB-S (MO). Para el transporte de tráfico de señalización, se utilizará el mismo método de la norma DVB-RCS para el transporte de información de señalización RCS a las estaciones, es decir, el envío de mensajes TIM *unicast*, dirigidos a un único terminal (modo *unicast*) o a todos los clientes de la red interactiva (modo *broadcast*).

Una posibilidad adicional es la utilización de un PID específico de señalización en el sentido NCC → RCST y emplear un método similar al DULM en cuanto al encapsulamiento de información de señalización en paquetes MPEG-2.

#### 4.1.3.8.3 Petición y asignación de recursos satelitales RCS

Siguiendo la especificación de la norma RCS, el envío de peticiones de recursos dentro de la red se realizará a través de peticiones encapsuladas en

ráfagas de tráfico (método DULM), además de la utilización de las ráfagas SYNC (en exclusiva o contienda).

Las estaciones darán prioridad al envío de señalización DULM sobre cualquier otro método considerando que las ráfagas de tráfico se asignan de forma exclusiva a la estación. Los pasos que sigue una estación para la elección del método de envío de señalización se detallan a continuación:

- Verificar si la estación cuenta con una asignación de ráfagas de tráfico, en caso afirmativo enviar la petición embebida en la siguiente ranura TRF disponible. El tráfico de señalización tendrá prioridad sobre cualquier tipo de tráfico por lo que será filtrado de forma inmediata para su transmisión.
- En caso de no disponer ráfagas de tráfico asignadas, comparar el tiempo de espera para el envío de la siguiente ráfaga de sincronización SYNC con el tiempo de espera para el envío de la señalización en una ráfaga en contienda CSYNC y escoger la ráfaga cuya transmisión sea más inmediata. Si los tiempos de espera son idénticos enviar la petición en una ráfaga de sincronización de asignación exclusiva (SYNC).

El NCC actualizará el TBTP de acuerdo con las peticiones de recursos recibidas y que hacen referencia a un identificador de canal y no a un identificador de conexión en particular.

De acuerdo con los requisitos de tráfico y teniendo como base las categorías de capacidad RCS descritas en el capítulo 2, se propone como estrategia de asignación de recursos las siguientes:

- Asignaciones de capacidad basadas en volumen (VBDC, AVBDC), adecuadas para el transporte de tráfico sin requisitos de QoS; como es el caso del Internet y navegación Web.

- Asignación libre de capacidad disponible (FCA), este tipo de asignación no requiere de una petición de capacidad sino que el NCC asigne los recursos que de otra manera estarían sin utilizarse. Es adecuada para tráfico sin restricciones de calidad de servicio y tolerantes a la variación del retardo.

## 4.2 PILA DE PROTOCOLOS

En esta sección se presentará la pila de protocolos de la red RCS en forma de planos de control y de datos para los distintos nodos satelitales (RCSTs, servidor y NCC).

### 4.2.1 ESTACIONES RCST COMO *ROUTERS* IP

Los nodos de la red RCS realizarán las funciones de *routers* IP. Cuando un datagrama IP llega al nodo, se examina la tabla de enrutamiento con el fin de seleccionar la siguiente entidad para que así el datagrama llegue a su destino.

Es por eso que los nodos tendrán asignados direcciones IP tanto para su interfaz terrestre como para la satelital, y toda la red será considerada como una sola subred IP administrada, seguramente, por un mismo operador.

### 4.2.2 INTERCONEXIÓN

En el modelo de referencia TCP/IP, se habla del segundo nivel o capa Internet como aquel basado en servicios no orientados a conexión (básicamente transporte de datagramas IP), y debajo de éste, tantos niveles *Host-SubNetwork* como número de subredes a las que un nodo esté conectado.

Ya que los flujos de tráfico que generan los usuarios de la red satelital RCS serán IP, los aspectos de interconexión y señalización de la red estarán implementados a nivel Internet (según TCP/IP).

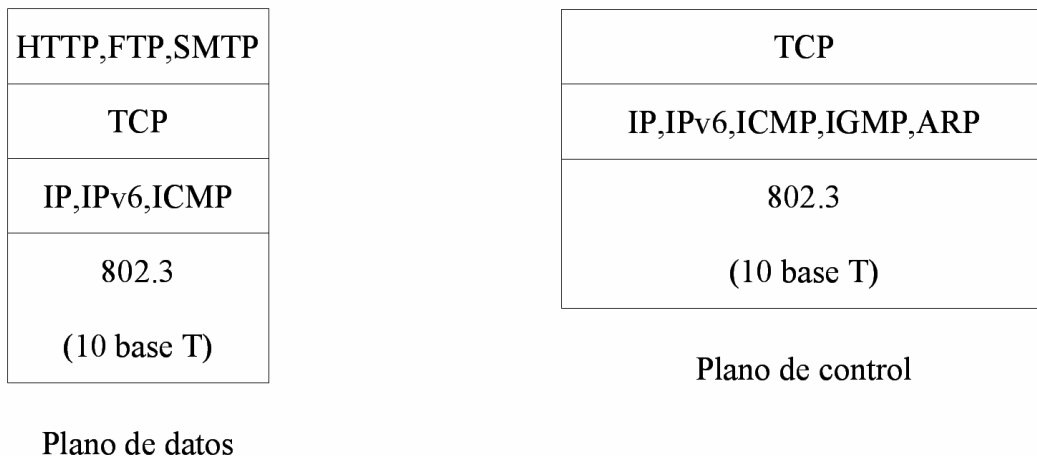
### 4.2.3 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE LA RED RCS

Las arquitecturas de protocolos para la red RCS comprenden el plano de control (señalización) y el plano de datos (datagramas IP de usuario).

El plano de datos se refiere a la pila de protocolos que los datos de usuario recorren a través del sistema. El plano de control se refiere a la pila de protocolos asociada a la señalización, que es necesaria para soportar la transferencia de datos anterior y que contiene la señalización propia de las plataformas DVB-S/RCS (tablas de información del sistema SI/PSI, mensajes MAC, tablas específicas DVB-RCS, etc.).

En las secciones posteriores se presentan las pilas de protocolos para las estaciones RCST, servidor y NCC.

#### 4.2.3.1 Plano de datos y control de las estaciones de usuario

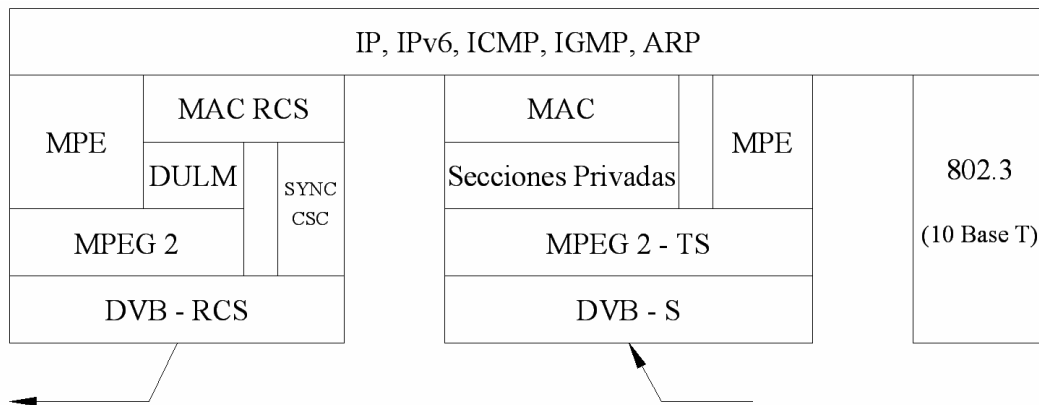


**Figura 4.6** Planos de datos y control de las estaciones de usuario. [2]

Como se ha mencionado anteriormente, las estaciones RCST (clientes y servidor) de la arquitectura de red tienen la funcionalidad de *routers* IP, de manera que un grupo de estaciones de usuario pueden usarlos como tal, por ejemplo, accediendo a ellos a través de una red *Ethernet*.

La pila de protocolos de las estaciones de usuario se muestra en la figura 4.6.

#### 4.2.3.2 Plano de datos y control de las estaciones RCST



**Figura 4.7** Planos de datos y control de las RCSTs. [2]

La pila de protocolos de las terminales RCST se muestra en la figura 4.7. Las estaciones RCST cuentan con al menos dos interfaces satelitales (DVB-S y DVB-RCS) para su interacción con la red. Junto con estas interfaces, las estaciones tienen una interfaz terrestre (LAN Ethernet) con la que pueden comunicarse de forma directa con las estaciones de usuario, o en su defecto, por medio de un *router* local.

Las estaciones RCSTs entonces tendrán al menos dos receptores DVB-S, uno para recibir la información de la señalización del NCC y otro para el tráfico de datos desde el servidor local. Cabe recordar que el NCC y el servidor utilizan *outbounds* en formato DVB-S.

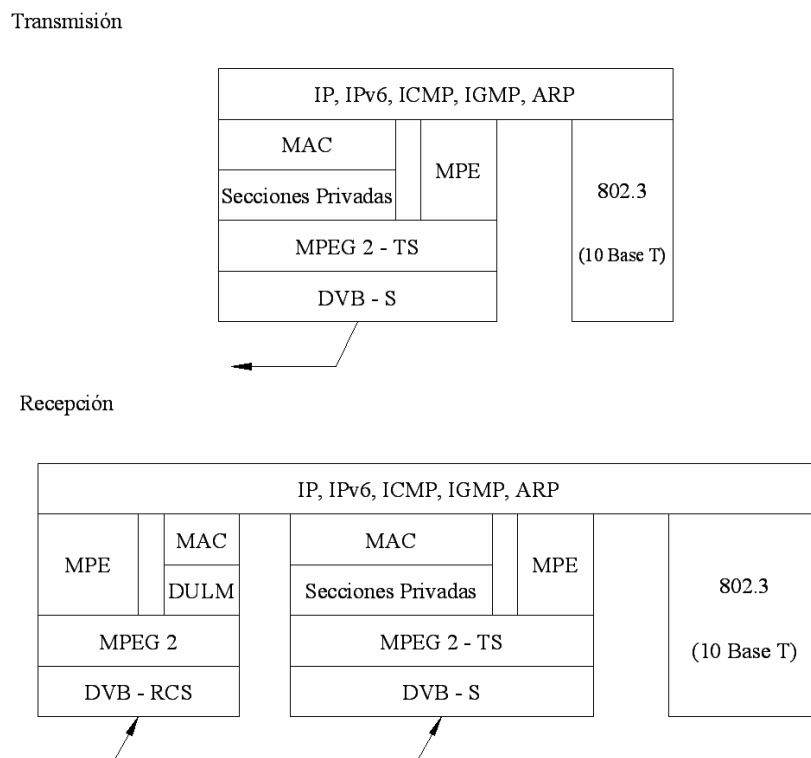
El filtrado de la información de señalización que recibe la estación por el *outbound* del NCC se realiza mediante la dirección lógica RCS del terminal, mientras que el filtrado del tráfico de datos que recibe del servidor se realiza por la dirección MAC.

La estación no necesita de una dirección IP independiente para cada interfaz de recepción DVB-S, el filtrado de los paquetes puede realizarse de forma independiente aún en el caso de que el *outbound* del NCC transmita datos (en el caso de la arquitectura de red propuesta, el *outbound* del NCC solamente se utiliza para el envío de señalización).

Nótese que previo al filtrado de la información de señalización y tráfico de datos descritos anteriormente, las estaciones RCST deben realizar un filtrado de los paquetes MPEG-2 de acuerdo al PID definido para señalización y datos.

#### 4.2.3.3 Plano de datos y control del servidor

En la figura 4.8 se muestran los planos de control y datos para el servidor, a diferencia de las RCSTs, cuenta con un interfaz de salida adicional DVB-S que le sirve como *outbound* para la difusión a sus clientes RCST.

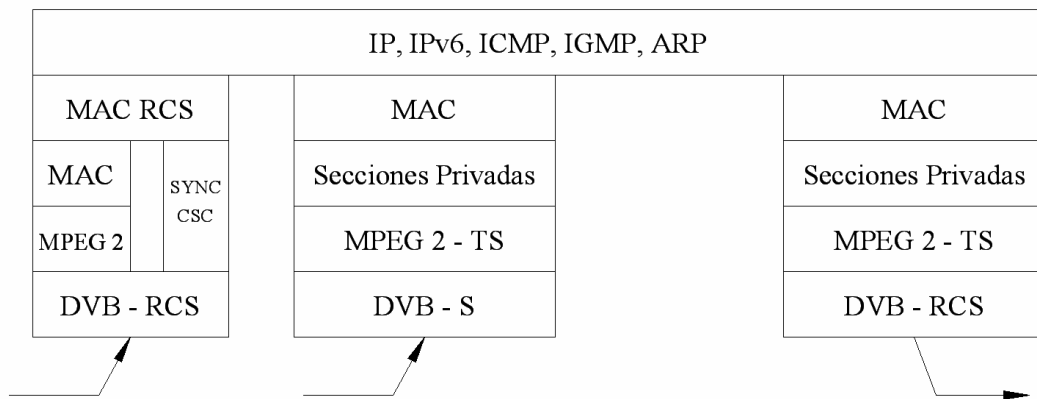


**Figura 4.8.** Planos de datos y control del servidor.

El servidor utiliza una única dirección IP para las dos interfaces satelitales. Cabe indicar que para el envío al NCC de la información de señalización DULM que el servidor reciba de sus clientes RCST, se utiliza únicamente la interfaz DVB-S.

#### 4.2.3.4 Plano de control del NCC

La función principal del NCC es el procesar la información de señalización RCS, peticiones de recursos y de mantenimiento de sincronización. El plano de control del NCC se muestra en la figura 4.9.



**Figura 4.9.** Plano de control del NCC.

Una vez revisados los aspectos generales de diseño así como las pilas de protocolos de las estaciones de usuario, RCST, servidor y NCC, se detalla a continuación el funcionamiento de los módulos añadidos al simulador NS para realizar la asignación de recursos y control de conexión de dichas entidades.

### 4.3 ASIGNACIÓN DE RECURSOS

Cuando un nodo arranca, no tiene recursos de tráfico asignados sino que se convierte en cliente RCST del NCC antes de poder realizar una petición de recursos. El nodo deberá por tanto completar el procedimiento de entrada (TLP) y

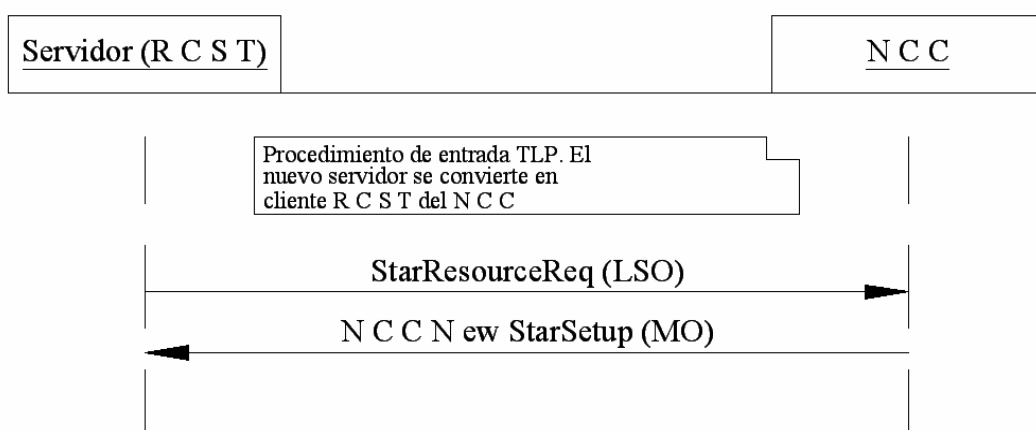
luego recibir la asignación de ráfagas SYNC para el mantenimiento de sincronización. La asignación de ráfagas de sincronización puede ser periódica u obedecer a una petición de sincronización explícita del NCC. [2]

En esta sección se definirán entonces cómo se da la asignación de recursos de los clientes y el servidor una vez que ya han completado el TLP y son clientes RCST del NCC. Además, se mostrará la asignación dinámica de recursos a las estaciones RCST.

#### 4.3.1 ASIGNACIÓN INICIAL DE RECURSOS DEL SERVIDOR

El servidor es la única estación que al momento de su entrada al sistema solicita un canal de difusión (*outbound* DVB-S) y una supertrama RCS para los canales de retorno de los clientes (*inbounds*).

La asignación de recursos de la supertrama del servidor se encuentra bajo el control del NCC, que podrá automáticamente liberar o asignar recursos RCS en función de la demanda de los clientes RCST de toda la red.



**Figura 4.10** Adquisición inicial de recursos del servidor.



En el diagrama de la figura 4.10 se muestra el procedimiento que realiza el servidor para solicitar los recursos iniciales.

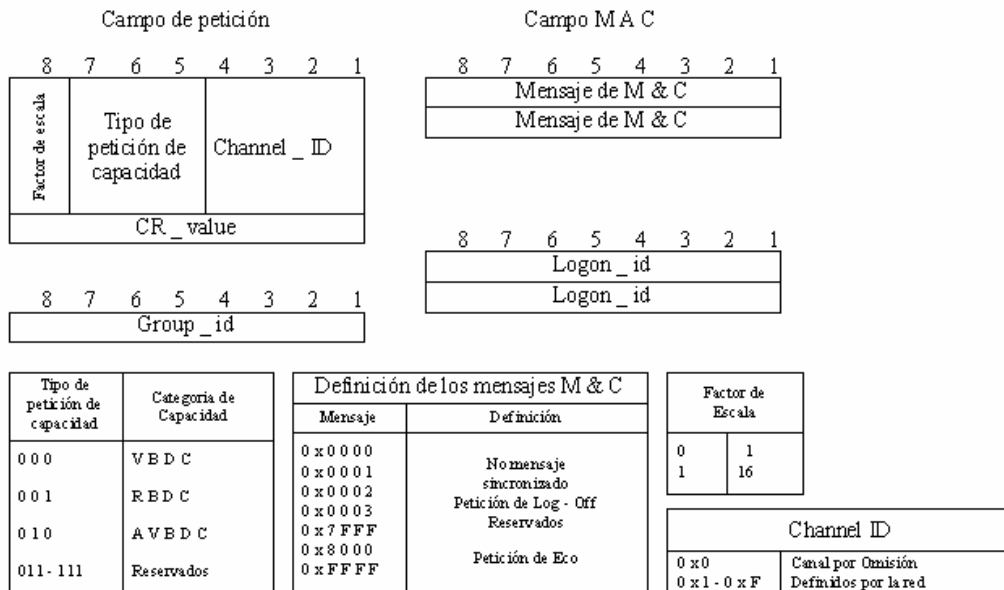
Puede observarse también en la figura 4.10, que el servidor utiliza la PDU *StarResourceReq* para realizar su primera petición de recursos de difusión y retorno. En esta PDU el servidor enviará la información de los PIDs que ha de utilizar para transmisión y recepción (señalización y datos), además del ancho de banda solicitado en ambas direcciones.

El NCC responde a la petición de recursos a través de la PDU *NCCNewStarSetup* que sirve a su vez de asentimiento de la petición del servidor. Básicamente la respuesta del NCC incluye los descriptores del canal de difusión (DVB-S) y de la supertrama (Superframe\_Id). La no recepción de esta PDU, determinaría la retransmisión de la solicitud de recursos hecha por el servidor.

#### 4.3.2 ASIGNACIÓN DINÁMICA DE RECURSOS A LAS ESTACIONES RCST

Al momento de la entrada de las estaciones RCST a la red, no se les asignará recursos de transmisión, las peticiones de recursos se realizarán de manera exclusiva como respuesta a una primitiva que se transforma en un mensaje de acceso al medio MAC, enviado al NCC a través de cualquiera de los métodos especificados en la norma DVB-RCS (DULM, SYNC o CSYNC). [2]

Para el envío de peticiones de recursos a través de ráfagas SYNC (mini-ranuras de sincronización o de acceso en contienda) se utiliza el campo SAC (*Satellite Access Control*), cuya composición se muestra en la figura 4.11. Para las peticiones embebidas en ráfagas de tráfico (DULM) se utilizará el elemento de información de Petición de Capacidad sobre un paquete MPEG definido por la norma RCS. [2]



**Figura 4.11** Composición del campo SAC. [2]

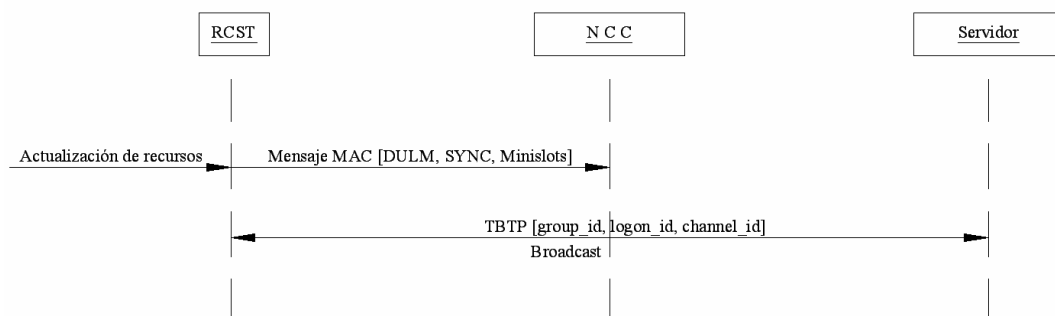
La figura 4.12 muestra el diagrama para realizar una petición de recursos asociada a un *channel\_id*. La petición de recursos se puede realizar mediante cualquiera de los métodos antes indicados, aunque habría que tomar en cuenta en este punto, la periodicidad de asignación de las ráfagas SYNC ya que podría ser más conveniente, en términos de retardo, enviar la petición a través de una ranura de tráfico asignada a la estación, antes que esperar el próximo turno de envío de la ráfaga de sincronización.

Otra alternativa que se toma en cuenta para el envío de peticiones de recursos, es la utilización de ranuras de sincronización en contienda CSYNC (*Contention SYNC*). [1]

Una vez recibida la petición por parte del NCC, éste envía la correspondiente asignación de recursos a través del plan de asignación de ráfagas por terminal TBTP. La asignación de recursos hecha a un cliente RCST

debe también informarse al servidor por lo que se emplea la misma difusión del TBTP para este propósito.

El servidor mediante la monitorización del plan de ráfagas podrá conocer los recursos RCS asignados de su supertrama y la dirección lógica de los clientes que tienen acceso a ella. Es necesaria esta información con el fin de configurar su receptor MF-TDMA.



**Figura 4.12** Petición de recursos DVB-RCS por parte de las RCSTs.

Si el NCC no dispone de los recursos suficientes para atender la petición de una estación RCST, el TBTP no será actualizado con la petición de recursos solicitada por la estación RCST. De esta forma el rechazo o la aceptación de la petición por parte del NCC se encuentran implícitos en la difusión del plan de ráfagas TBTP. El criterio es suponer que si en el siguiente TBTP recibido después de un RTT satélite no hay asignación de recursos, la petición ha sido rechazada.

Cabe señalar que la norma DVB-RCS, especifica la utilización de diferentes *channel\_id* para diferenciar entre distintos tipos de tráfico, tal como se mencionó en el capítulo 2. Sin embargo, para el propósito del presente proyecto, sólo se contempla la existencia de un tipo de tráfico (*Best Effort*), el cual corresponde a un *channel\_id* determinado.

## 4.4 CONTROL DE CONEXIÓN

El objetivo de esta sección es realizar una descripción del establecimiento de conexión de la red interactiva. La conexión que ofrece el sistema es del tipo punto a punto P-P. Previo a la descripción, solamente se debe indicar que los clientes antes de realizar una petición de conexión al NCC, deberán haber completado el procedimiento RCS de entrada a la red interactiva (TLP).

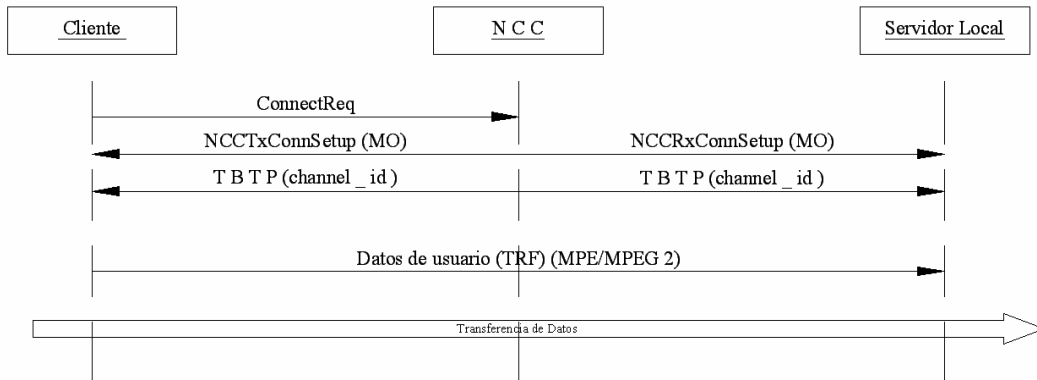
### 4.4.1 ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN ENTRE CLIENTE Y SERVIDOR

Una vez generada la petición de conexión del cliente, el proceso de establecimiento está a cargo del NCC. El diagrama para el establecimiento de la conexión entre un cliente y el servidor, se muestra en la figura 4.13.

Se observa como primera unidad de datos involucrada, la petición de conexión que realiza la RCST mediante la PDU *ConnectReq*, con indicación de la dirección IP de la RCST destino y la dirección lógica de la estación origen.

El NCC envía la confirmación de la conexión a la RCST a través de la PDU *NCCTxConnSetup*, donde se indicará básicamente el PID de transmisión, los identificadores de canal y de grupo asociados a la conexión; además, envía la indicación de conexión al servidor a través de la PDU *NCCRxConnSetup*.

La fase de transferencia de datos del cliente puede comenzar inmediatamente después de recibida la asignación de recursos del NCC mediante el TBTP. Como ya se ha dicho anteriormente, se utilizará el encapsulamiento multiprotocolo MPE/MPEG para el envío de tráfico de datos.



**Figura 4.13** Conexión cliente – servidor.

## 4.5 MODELO DE SIMULACIÓN

### 4.5.1 VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO

Durante el desarrollo de un modelo de simulación es necesario tener la certeza de que este modelo se encuentra correctamente implementado y que además es representativo del sistema real, estos dos pasos reciben el nombre de verificación y validación del modelo.

Se entiende que un modelo de simulación es mejor en tanto que sus resultados sean lo más cercanos a los obtenidos por sistemas reales. Teniendo en cuenta que durante el desarrollo del modelo de simulación es necesario realizar un conjunto de suposiciones del comportamiento del sistema real, existen dos pasos para medir en qué medida el modelo es bueno.

El primer paso consiste en analizar si las suposiciones son razonables, y el segundo, es verificar si el modelo las implanta correctamente. Estos dos pasos reciben el nombre de validación y verificación, respectivamente.

En resumen, la validación tiene que ver con la representatividad de las suposiciones que se tiene del modelo real, y la verificación está relacionada con la

correcta implantación de estas suposiciones y por esta razón al proceso de verificación se lo conoce también como de depuración.

#### 4.5.1.1 Técnicas de validación

El proceso de validación consiste en validar tres aspectos claves del modelo de simulación que son: [8]

1. Suposiciones con respecto al sistema real
2. Valores de los parámetros de entrada y distribuciones
3. Resultados y conclusiones

Cada uno de estos tres aspectos puede estar sujeto a pruebas de validación comparándolos con las tres alternativas siguientes:

1. Intuición de un experto
2. Medidas de sistemas reales
3. Análisis teórico

Considerando que no es posible medir todos los aspectos del modelo de simulación con cada una de las alternativas, se tratará en lo posible de contrastar los resultados de la simulación a través de modelos teóricos.

Teniendo en cuenta que la aprobación del estándar de retorno satélite DVB-RCS es relativamente reciente, no está al alcance el contrastar el comportamiento de la red con medidas de sistemas reales.

#### 4.5.1.2 Técnicas de verificación

La verificación tiene que ver con la correcta implantación de las suposiciones del modelo de simulación. Una de las técnicas de verificación que se utilizará es la depuración a través de las herramientas propias del lenguaje de programación C++ bajo Linux como por ejemplo el *GNU Debugger* (GDB).

Una de las técnicas más importantes de verificación utilizada es el trazado de los eventos que realiza el simulador NS y que permite generar trazas con diferentes niveles de detalle y que se encuentran ordenadas en el tiempo siendo susceptibles de depuración.

Este tipo de traza permitirá por un lado comprobar el tipo de paquetes enviados y sus retardos asociados, y por otro el envío de la señalización específica DVB.

Finalmente, se empleará como técnica de verificación la visualización que añade una representación dinámica del comportamiento de la red. Para este propósito se ha utilizado la herramienta de animación NAM que está disponible junto con la distribución del simulador NS. [9]

La visualización a través del programa NAM se utilizará principalmente para comprobar, en simulaciones cortas, el correcto intercambio de la información de la señalización.

#### 4.5.2 INTERVALOS DE CONFIANZA

Tomando en consideración la dificultad de obtener la media perfecta de un número finito de muestras, la mejor opción para su estimación es presentarla junto con fronteras probabilísticas. En efecto, si se tiene dos fronteras como por ejemplo  $a_1$  y  $a_2$  tal que exista una alta probabilidad,  $1 - \alpha$ , de que la media  $\mu$  esté dentro del intervalo definido por  $a_1$  y  $a_2$  ( $a_1 \leq \mu \leq a_2$ ), al intervalo  $(a_1, a_2)$  se conoce como intervalo de confianza para la media de la población y  $\alpha$  se denomina nivel de significación.

Los resultados de las simulaciones presentarán valores de la media de la población con un intervalo de confianza del 95%, es decir, con un nivel de significación del 5%.

La precisión esperada de la media obtenida será del 10%. El número de muestras por experimento está en función directa con el intervalo de confianza y el nivel de precisión de la media de la población.

#### 4.5.3 ELIMINACIÓN DEL TRANSITORIO

En la mayoría de simulaciones es de interés el análisis del rendimiento cuando el sistema se encuentra estable (*steady state*) para lo cual hace falta eliminar el tiempo transitorio. En estas situaciones los resultados iniciales del período de simulación no serán incluidos en los cálculos finales. La mayor dificultad se encuentra en la forma de determinar el tiempo transitorio a eliminar, debido a que no es posible definir exactamente lo que constituye el transitorio y cuando finaliza.

Existen seis métodos heurísticos para la remoción del transitorio que consisten en: **[8]**

1. Ejecuciones largas
2. Inicialización apropiada
3. Truncado
4. Eliminación inicial de datos
5. Remoción de la media de réplicas independientes
6. Bloques de media

Uno de los métodos que se utilizarán para las simulaciones será una variante del método de inicialización apropiada. Este método sugiere que la simulación debería empezar con una carga representativa de tráfico en lugar de empezar con una carga igual a cero.

En lugar de que el sistema inicie con una carga determinada, se calculará de forma analítica el instante en que los usuarios han lanzado al menos una sesión del servicio y a partir de ese momento realizar las medidas.



Este método se respaldará con el de truncado que indica que la variabilidad que existe en el período de estabilidad es menor al transitorio, afirmación que es generalmente verdadera.

Finalmente, la determinación del transitorio también se respaldará de forma visual, mediante la herramienta de visualización NAM del NS.

En las simulaciones se esperará que al menos el 90 % de los usuarios hayan iniciado alguna sesión del servicio. Hay que notar que ésta es una estimación pesimista del tiempo transitorio para el peor caso.

Para una distribución exponencial con media  $\mu$ , la probabilidad del 90% se supera para valores por encima de  $\mu \cdot \ln 10 = 2,3 \cdot \mu$ . Por lo tanto se tomará como transitorio 2,3 veces el máximo tiempo medio de llegadas del servicio de la red.

Para el escenario de la presente implementación de red (escenario residencial), la duración estimada del transitorio en caso de las cargas al 95% de la función de distribución normal, que describe la variación de la carga durante la hora pico, es de aproximadamente 48 minutos.

Observando el tiempo obtenido para eliminar el transitorio se ha tomado la decisión de que el tiempo transitorio sea de 65 minutos con el fin de agregar un tiempo de guarda para que los datos arrojados mediante monitoreos sean lo más cercanos a la realidad.

#### 4.5.4 GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS

El generador de números aleatorios contiene la implantación del generador de congruencia lineal multiplicativo MLCG (*Multiplicative Linear Congruential Generator*) que posee la siguiente forma: [10]

$$x_n = (ax_{n-1} + c) \bmod m \quad (4.1)$$

Donde  $a$  es el multiplicador, y  $m$  el módulo,  $X_0$  es el valor de la semilla o valor inicial que corresponde a un valor entero no negativo.

El valor de  $c$  es igual a cero ya que el método es de congruencia multiplicativa. Cuando  $c$  es diferente a cero se trata entonces del método de congruencia mixta.

El simulador NS utiliza un valor de  $a = 7^5$  y  $m = 2^{31} - 1$ , por lo que el MLCG utilizado es de la forma siguiente:

$$x_n = 7^5 x_{n-1} \bmod (2^{31} - 1) \quad (4.2)$$

Para estos valores el generador tiene un período completo (mayor ciclo posible) y es uno de los más utilizados y probados en la práctica. **[10]**

#### 4.5.5 IMPLANTACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE RED

Ciertamente la mayor parte del funcionamiento general de la arquitectura de red no se encuentra disponible a través de las bibliotecas de módulos de NS, por tal razón será necesario crear distintos módulos que simulen el comportamiento de los nodos y de una red basada en los estándares DVB-S/RCS.

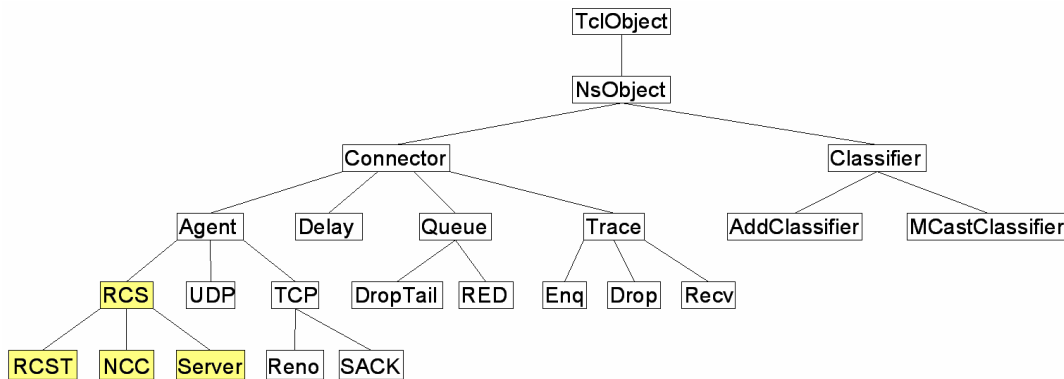
La mayor parte del código que define la arquitectura de red se escribirá en módulos C++; la interacción entre C++ y OTcl es obligatoria y para lo cual se escribirá un módulo principal (llamado `residencial.tcl`) y varios módulos secundarios que definirán las variables globales de configuración (`init.tcl`), de creación de la topología de red (`gentop.tcl`), entre otras.

En resumen, será necesario utilizar tres tipos de agentes: `NCC_Agent`, `Server_Agent` y `RCST_Agent`<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> La descripción de la estructura de la programación de los agentes se encuentra los diagramas de flujo del anexo C.

Dentro de la jerarquía de objetos del simulador, estos agentes estarían ubicados tal como se muestra en la figura 4.16.

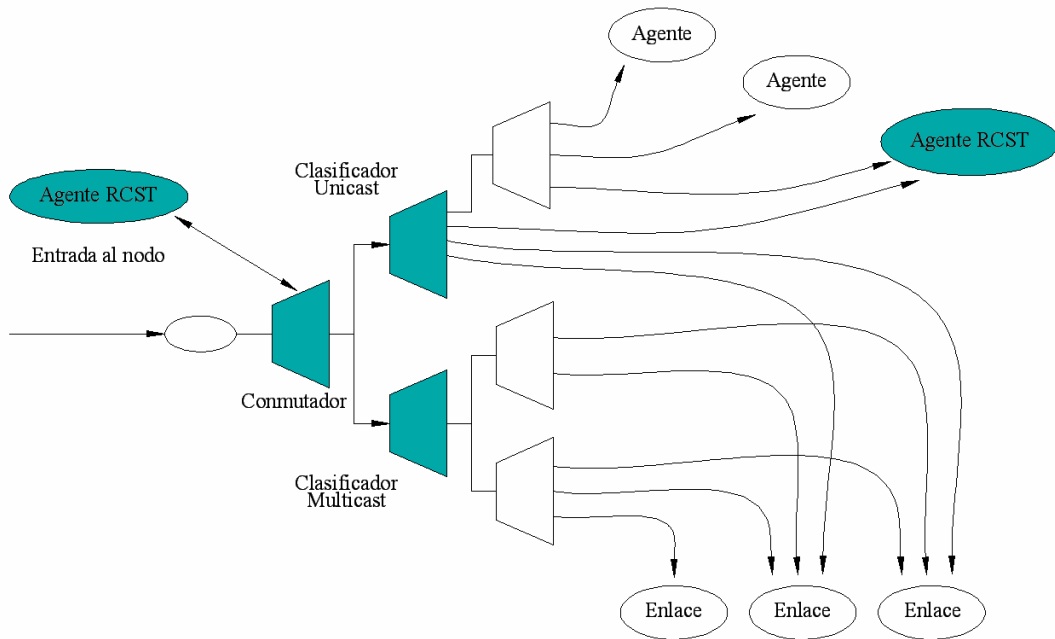


**Figura 4.14** Jerarquía de clases RCS NS.

Los agentes RCS manejan la mayor parte de la funcionalidad básica de los nodos de la red, sin embargo, solo constituyen un subconjunto de la estructura de un nodo NS por lo que se modificarán otros objetos de la jerarquía, como por ejemplo aquellos que manejan los enlaces entre nodos y sus retardos (*Delay Object*) o los que toman las decisiones de encaminamiento (*Classifier Object*).

La estructura básica de un nodo RCST NS se muestra en la figura 4.15, en ella se observa en color verde un agente RCST y los objetos de la estructura del nodo NS de multidifusión (*multicast*) que han sufrido modificaciones para la implantación de la funcionalidad de la red. Una estructura muy similar presenta el NCC, cuya estructura encierra una mayor complejidad.

Puede inferirse de la figura 4.15 que el agente RCST interactúa de forma directa con el conmutador de entrada del nodo NS; esta característica es necesaria ya que este objeto realiza la conmutación de los paquetes entrantes o salientes del nodo en función de su dirección NS y el número de puerto, el agente RCST por tanto debe filtrar los mensajes de señalización propia de la red satelital.



**Figura 4.15** Estructura interna de un nodo RCS NS.

A pesar de que el nodo NS cuenta con una sola interfaz física hacia un mismo destino (el nodo satélite), la planificación y clasificación de los paquetes que genere el nodo se realizará de forma individual de acuerdo al identificador de canal, como si la RCST contará con diferentes interfaces. Esto es con el fin de diferenciar entre el tráfico de señalización RCST → NCC y el de datos propiamente dicho.

El conjunto de la red encierra otras características y por tanto modificaciones que se han hecho a varios objetos del simulador; como por ejemplo, el objeto de "enlace" que deberá realizar la transmisión de los paquetes encapsulados en el formato MPE/MPEG-2. La transmisión de los segmentos MPE debe coincidir con la asignación de ranuras que reciba la estación de ahí que el agente RCST deba interactuar de forma directa con este objeto.

Además, la información de señalización que genera la estación, como las ráfagas CSC, CSYNC, SYNC o DULM deben transmitirse de forma directa sobre el enlace del nodo.

Existen nodos NS que componen la red satelital y que no tienen asociado un agente RCS, como por ejemplo, el nodo que realiza las funciones de satélite. Sin embargo, este nodo ejecuta otros procedimientos como el manejo de los retardos de propagación.

El simulador NS provee un conjunto de módulos y bibliotecas para la simulación de comunicaciones satelitales para sistemas geoestacionarios e incluso existen contribuciones para la simulación de constelaciones de satélites de órbita baja.

Dicha implantación es especialmente adecuada cuando es necesario evaluar aspectos como la posición relativa de las estaciones terrestres y las variaciones de retardo producidas por ésta. Esta biblioteca no cuenta con la funcionalidad de *multicast* y tampoco con canales en formato DVB-S o DVB-RCS por lo que no se adoptará para la implantación de la arquitectura de red.

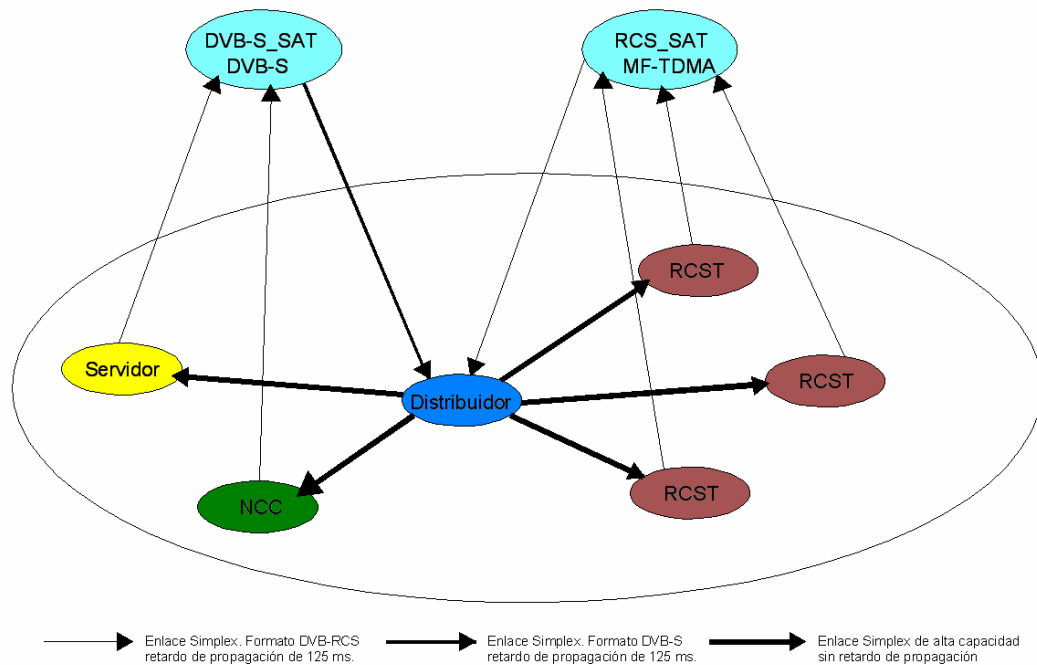
Al no ser la posición relativa de las estaciones un aspecto a evaluar dentro de la arquitectura de red, ya que se considera que todas las estaciones se encuentran localizadas a la misma distancia del satélite GEO (35786 Km), se optará por simular el retardo de propagación satelital utilizando enlaces simples con un retardo de propagación igual a 125 milisegundos, lo que resulta en un retardo por salto de satélite de 250 milisegundos.

Los problemas de sincronización que puedan originarse por la posición de la estación RCST respecto al satélite se resolverán durante el proceso de entrada al sistema y mediante el proceso de mantenimiento de sincronización que realizan de forma continua las estaciones RCST. [2]

La característica de difusión de una red satelital se simulará utilizando un nodo de distribución que conecta al nodo que representa el satélite con todos los nodos de la topología a través de enlaces que no introducen retardo de propagación ni de transmisión. De esta forma es posible utilizar la funcionalidad *multicast* NS que está implantada para redes de comunicación terrestre.

Respecto al formato de los canales satelitales DVB-S y DVB-RCS, éste se implantará casi en su totalidad mediante módulos que se incluirán como bibliotecas en el simulador. Esta situación era previsible tomando en consideración la relativa reciente aprobación del estándar DVB para el canal de retorno satélite y que la producción comercial de equipos apenas ha comenzado.

#### 4.5.5.1 Topología NS de la arquitectura de red



**Figura 4.16** Modelo NS de la arquitectura de red.

En esta sección se presenta de forma general la topología y componentes del modelo NS de la arquitectura de red. El esquema de la arquitectura puede observarse en la figura 4.16.

La figura 4.16 muestra un sistema con una población de clientes RCSTs y un servidor de Internet ISP. Las funciones del satélite para el canal de difusión y

de retorno se realizan con dos tipos de nodos NS, es decir, los nodos que utilizan canales DVB-S, como el servidor y el NCC, acceden a un único nodo DVBS\_SAT.

Por otro lado, las estaciones clientes RCST acceden a nodos NS que simulan el acceso RCS y que se denominan RCS\_SAT. El modelo de simulación adoptado permite de esta forma evaluar las necesidades del canal de retorno y de difusión.

Tal como se había mencionado en la sección anterior, la simulación de la difusión del satélite se realiza a través de un nodo Distribuidor que no introduce retardo de propagación ni de transmisión en los enlaces que mantiene con todos los nodos de la red.

Esta característica hace posible utilizar la funcionalidad NS implantada para redes terrestres (por ejemplo la multidifusión *multicast*) al mismo tiempo que permite evaluar de forma más sencilla la utilización del ancho de banda de los enlaces descendentes, ya que éstos son únicos desde los nodos que simulan el satélite hasta el nodo Distribuidor.

#### **4.5.6 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE RED**

En esta sección se realiza una descripción de los parámetros de configuración adoptados dentro del sistema DVB-S/RCS, como la estructura de la multitrama TDMA, tipo de portadoras RCS, períodos de envío de ráfagas de señalización y las categorías de asignación de capacidad. Siempre que sea posible se realizará la correspondiente verificación de la implantación mediante modelos teóricos.

Cabe señalar que parte de la verificación del modelo se realizará también en el capítulo siguiente donde se ejecuta la simulación del modelo con la fuente de tráfico establecida.

#### 4.5.6.1 Estructura de la multitrama MF-TDMA

El canal de retorno RCS será segmentado de acuerdo a ranuras de tiempo MPEG, aunque la norma especifica también la utilización de ranuras con formato ATM. La justificación de la elección de ranuras en formato MPEG se encuentra detallada en la sección 4.1.3.1, y se basa esencialmente en la eficiencia del encapsulamiento.

A continuación se muestra la segmentación de la capacidad de retorno basada en ranuras MPEG, segmentación que se realiza de acuerdo, con las guías para la implantación del canal de retorno propuestas en el reporte técnico *ETSI Technical Report 101 790*. El diseño de referencia está basado en una tasa de símbolo de 270 ksymb/s. La elección de una tasa básica ( $R_b$ ) de 270 ksymb/s está motivada por la relación que existe con la referencia de reloj de red NCR de 27 Mhz. Esta elección no significa que otras tasas de símbolo no puedan aplicarse de acuerdo a otros criterios.

Los objetivos de diseño se muestran a continuación:

- Las ranuras de tráfico TRF transportan un paquete MPEG (por ejemplo 752 símbolos modulados más preámbulo, tiempo de guarda y redundancia de corrección de error de acuerdo a la tasa FEC).
- El equivalente a una ranura de tráfico se usa para el envío de señalización. Por simplicidad se utilizará el inicio de trama que estará dividido en *mini-slots*.
- El tamaño de trama estará en torno a los 70 milisegundos, mientras que la sobrecarga por *mini-slots* de señalización será menor al 15%. Si bien es cierto que en el reporte técnico antes mencionado se sugiere un tamaño de trama de alrededor de los 40 milisegundos para mantener los retardos bajos, se ha escogido una duración de trama superior debido a que de esta forma se tiene un mayor número de ranuras por trama. En todo caso, la



duración de la trama es un parámetro configurable del modelo de simulación por lo que su efecto en los resultados podría también ser evaluado.

- Los *mini-slots* se ubican de forma indistinta, por simplicidad, CSC, ACQ y SYNC.
- Las ráfagas cortas son siempre de 16 bytes de tamaño, incluyendo los 2 bytes de CRC y codificadas con un código Turbo (*Turbo Code*) de  $\frac{1}{2}$ .
- El preámbulo TDMA es igual a 48 símbolos para todas las clases de ráfaga. Podrían utilizarse preámbulos de duración menor, pero esto ya dependerá del rendimiento del demodulador y de la capacidad de la RCST de mantener la sincronización.
- El tiempo de guarda deberá estar en un rango de incertidumbre de 4 km. para ranuras de tráfico TRF y mayor que 50 Km. para los otros tipos de ranuras.

La tabla 4.3., muestra varias composiciones de la trama donde se cumplen los objetivos de diseño antes propuestos.

FEC	TRF_symb: ranura TRF en símbolos 4+48+752	No. de <i>mini-slots</i> por ranura	Tamaño del <i>mini-slot</i> (símbolos) GT + 48 + 64	Tamaño del GT para <i>mini-slots</i> (símbolos)	Incertidumbre en distancia que permite el GT	No. ranuras por trama	Tamaño de trama (ms)	Sobrecarga por señalización	Tramas por segundo
1/2	1556	7	222	46	51	12	69.156	8.3%	14.46
2/3	1180	5	236	60	66	16	69.926	6.3%	14.30
3/4	<b>1055</b>	<b>5</b>	<b>211</b>	<b>35</b>	<b>38</b>	<b>18</b>	<b>70.311</b>	<b>5.6%</b>	<b>14.22</b>
4/5	992	4	248	72	79	19	69.807	5.3%	14.33
6/7	929	4	232	56	62	20	68.840	5.0%	14.53

**Tabla 4.3** Estructura de trama para una tasa de símbolo de 270 ksymb/s.

Para el modelo de simulación se ha escogido un tamaño de trama de 70,311 milisegundos (FEC 3/4) ya que permite disponer de un mayor número de ranuras de tráfico (18) y de *mini-slots* (5), aunque de ser necesario se podría reducir el número de *mini-slots* por TRF para incrementar el tiempo de guarda (GT).

Se utilizará solamente la primera ranura de la trama para señalización dejando un total de 17 ranuras asignables para el envío de tráfico para las portadoras de tasa básica (Rb).

Como podrá observarse en la siguiente sección el número de ranuras por trama depende de la velocidad de la portadora, pero en cualquier caso solamente la primera ranura de la trama se asignará para el envío de ráfagas CSC, SYNC y CSYNC.

La asignación del número de *mini-slots* disponibles será la siguiente:

- Primer *mini-slot*: asignado a ráfagas CSC y SYNC para las estaciones que intenten realizar la entrada al sistema (*logon procedure*) con una periodicidad de 10 tramas (700 milisegundos) y para envío de información de sincronización periódica.
- Segundo *mini-slot*: asignado para el envío de ráfagas de sincronización periódicas, cada estación recibirá un SYNC dedicado con una periodicidad de 20 tramas (1.4 segundos). En la sección 4.5.6.5., se explica más en detalle la configuración del período de asignación de las ráfagas de sincronización SYNC.
- Tercer a quinto *mini-slot*: asignados a ráfagas en contienda CSYNC (ráfagas de sincronización para peticiones de recursos). El número de *mini-slots* en contienda puede reducirse a 2 para incrementar el tiempo de guarda. El modelo de simulación tendrá en cuenta 3 *mini-slots* en contienda por trama.

En la tabla 4.4., se muestra las tasas de usuario que resultan de la tasa de símbolo adoptada.

FEC	No. de slots TRF por trama (Total ranuras – 1)	TRF_symb: TRF slots en símbolos 4 + 48 + 752	Tramas por segundo	Tasa de usuario por ranura TRF (kbps)	Max Tasa de usuario (kbps)	Tasa de bits por portadora (kbps)
1/2	11	1556	14.46	21.75	239.23	260976.86
2/3	15	1180	14.30	21.51	322.63	344135.59
3/4	17	1055	14.22	21.39	363.64	385031.61
4/5	18	992	14.33	21.54	387.81	409354.84
6/7	19	929	14.53	21.85	415.11	436958.39

**Tabla 4.4** Tasas de usuario (Tasa de símbolo 270 ksymb/s).

De esta forma, si cada terminal recibe una ranura de tráfico en cada trama será posible acomodar hasta 17 terminales de forma simultánea con una tasa de bits de 21 kbps. La tasa de pico corresponde a la asignación de todas las ranuras de tráfico (TRF) de una trama a una única estación, equivalente a una velocidad máxima de 363 kbps (21 kbps x 17).

#### 4.5.6.2 Tamaño de la supertrama

Dentro de una red satelital interactiva la supertrama identifica los recursos del canal de retorno a los que acceden un grupo de estaciones RCST. Una supertrama está compuesta por tramas MF-TDMA. Para cada supertrama la asignación de ranuras se comunica a las estaciones RCST mediante el plan de ráfagas del terminal (TBTP). [2]

En la red se propone utilizar un tamaño de supertrama igual a dos tramas, lo que equivale a una duración de 140,62 ms. El NCC enviará cada difusión del TBTP por cada supertrama. De esta forma, el tiempo máximo de espera por planificación del TBTP es de 140,62 ms. En otras palabras, las estaciones RCST recibirán una difusión del TBTP por cada supertrama.

Se ha elegido un número de dos tramas por supertrama con el fin de que el tiempo de espera por planificación del TBTP sea mínimo, y hacer que la asignación de recursos sea lo más dinámica posible. Un tamaño de trama superior aumenta por consiguiente el tiempo de espera por planificación del TBTP.

La desventaja de un tiempo de difusión del TBTP corto, implica una mayor complejidad de los algoritmos de asignación y planificación del NCC y también en los algoritmos de planificación de transmisión de ráfagas de las terminales RCST.

En cualquier caso la complejidad de estos nodos no ha sido evaluada, aunque el período de planificación de las ráfagas sí tiene repercusión en la duración y consumo de recursos de procesamiento de la simulación.

#### 4.5.6.3 Tipos y configuración de portadoras

Como se indicó en la sección anterior, la tasa mínima de símbolo de portadora será de  $R_b = 270$  ksymb/s (modulación QPSK) que permite una tasa máxima de usuario de 363 kbps. Se habilitan 5 tipos de tasas de transferencias basadas en esta tasa mínima que son  $1R_b$ ,  $2R_b$ ,  $3R_b$ ,  $8R_b$ , y  $16R_b$ . Tomando un factor de *roll-off* de 0.4 y considerando el máximo salto en frecuencia de las RCST (al menos 20 Mhz) se construye la tabla 4.5 de configuración del enlace ascendente. [2]

La duración de la trama (70,311 ms) se mantiene en cada tipo de portadora, de esta forma el incremento de la velocidad de los canales implica el incremento proporcional en el número de ranuras que se transmiten por trama. Es decir, si con una portadora  $1 R_b$  se transmiten 18 ranuras, una portadora de  $2 R_b$  implica la transmisión de 36 ranuras durante el mismo período de tiempo.

Solamente cabe indicar en este punto que la configuración de las portadoras será simétrica en cuanto a la estructura de la trama, es decir, todas las

portadoras de una misma velocidad tendrán la misma estructura con una ranura para señalización al inicio de cada trama.

Tasa en Rb (Rb = 270 ksymb/s)	Tasa de símbolos por portadora (ksymb/s)	Tasa de bits por portadora (kbps)	Número de portadoras	Ocupación de ancho de banda
1	270	385.03	52	19.66
2	540	770.06	26	19.66
3	810	1155.09	17	19.28
8	2160	3080.25	6	18.14
16	4320	6160.51	3	18.14

**Tabla 4.5** Tipos de portadoras y tasas de bits por portadora.

#### 4.5.6.4 Ráfagas de señalización CSC y CSYNC

Dentro de la estructura de la multitrama que se ha adoptado para la red se tienen dos tipos de ráfagas de acceso en contienda: las ráfagas que se utilizan para la entrada de las estaciones a la red CSC, y las ráfagas CSYNC para las peticiones de recursos de las estaciones. Ambos tipos de ráfagas se implantan sobre canales de acceso aleatorio Aloha Ranurado.

La principal diferencia entre las ráfagas CSC y CSYNC se encuentra en la periodicidad en que se transmiten. Como se mencionó en la sección anterior las ráfagas CSC se transmiten con una periodicidad de 10 tramas; es decir, aproximadamente cada 700 milisegundos una nueva estación tendrá la posibilidad de realizar una petición de entrada al sistema.

Por otro lado, las ráfagas CSYNC se encuentran disponibles en un número de tres *mini-slots* por cada transmisión de trama; es decir, una estación tendrá la posibilidad de enviar sus peticiones de recursos escogiendo de forma aleatoria cualquiera de los tres *mini-slots* disponibles en cada trama. Cabe recordar que las

ráfagas CSYNC solamente se utilizan para el envío de información de sincronización y peticiones de recursos a través del campo SAC. El canal sobre el que se simula las ráfagas CSYNC corresponde también a un canal Aloha Ranurado.

La configuración del modelo de red realiza además la siguiente consideración en cuanto a la transmisión de ráfagas CSYNC. La estación enviará una ráfaga de petición de recursos en contienda solamente si no es posible realizar la petición embebida en una ráfaga de tráfico (método DULM) o si el tiempo de espera para el envío de la próxima ráfaga de sincronización es superior al calculado para el envío de la ráfaga CSYNC.

#### **4.5.6.5 Ráfagas de señalización SYNC**

En la definición de la estructura de la multitrama MF-TDMA se ha mencionado que existen dos *mini-slots* de sincronización en cada trama. Las ráfagas SYNC se asignan de forma dedicada a cada estación y su período de transmisión depende de la configuración hecha por el operador de la red. Para el caso de la arquitectura de red propuesta se fijará un período de transmisión de ráfagas SYNC de 20 tramas; es decir, cada estación deberá enviar información de sincronización aproximadamente cada 1,4 segundos.

Cabe recordar que las ráfagas SYNC no solamente se utilizan para el envío de información de sincronización sino también para realizar peticiones de capacidad mediante el uso del campo de control de acceso satélite SAC. De esta forma, mientras menor sea el período de envío de las ráfagas SYNC la estación tendrá un tiempo de espera menor para enviar sus peticiones de recursos embebidas en ráfagas de sincronización.

Para el cálculo del número máximo de estaciones que tienen asignada una ráfaga de sincronización de forma dedicada por portadora se utiliza la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 MaxRCST &= MS_{sync} \cdot SYNC_{fp} - \frac{SYNC_{fp}}{CSC_{fp}} \\
 MaxRCST &= SYNC_{fp} \cdot \left( MS_{sync} - \frac{1}{CSC_{fp}} \right) \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

Donde  $SYNC_{fp}$  es el período de asignación en tramas de ráfagas de sincronización; en el modelo de simulación se ha adoptado un período de 20 tramas. La variable  $MS_{sync}$  es el número de *mini-slots* de sincronización por trama (2 *mini-slots* en el modelo). Finalmente,  $CSC_{fp}$  es el período en tramas de transmisión de las ráfagas para petición de acceso al sistema, las estaciones tendrán una oportunidad de enviar sus peticiones de entrada al sistema cada 10 tramas, es decir, dos veces por cada  $SYNC_{fp}$ .

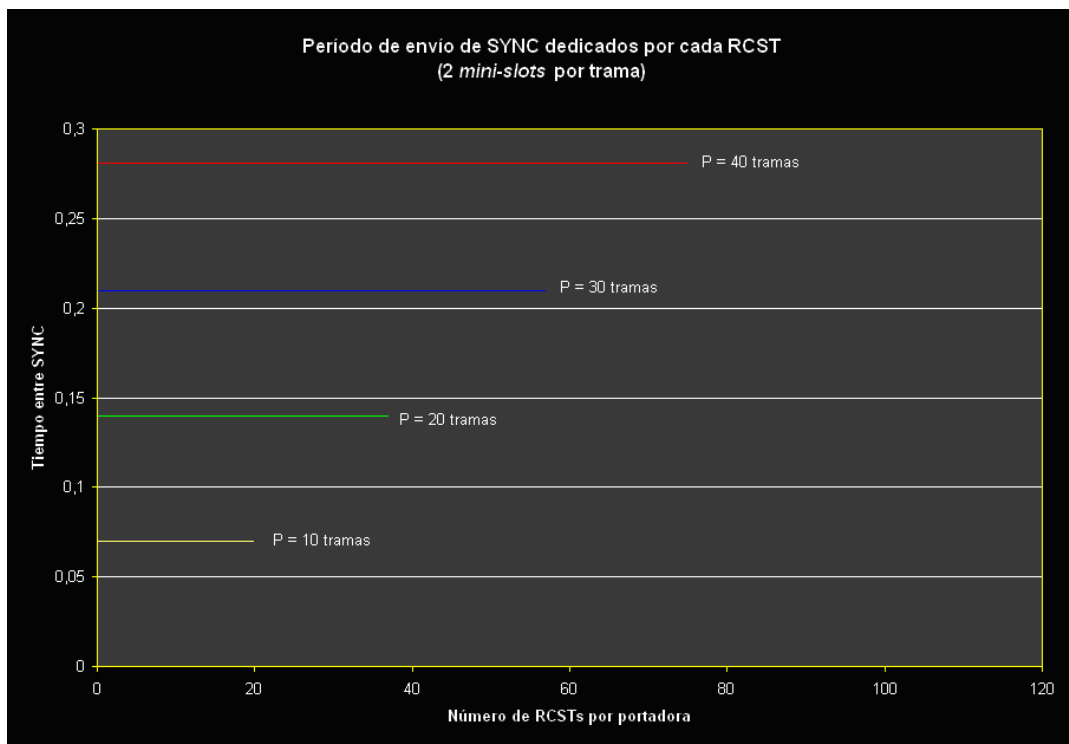
El período de transmisión de las ráfagas SYNC es un elemento configurable en el modelo de simulación y dependerá del número de estaciones por portadora que se fije como objetivo. Mientras mayor sea el período de envío de ráfagas de sincronización, mayor número de estaciones se pueden acomodar por portadora. Sin embargo, un aumento significativo en el período de envío de las ráfagas de sincronización puede ser incompatible con los procedimientos de control de potencia de la estación.

En el reporte técnico *ETSI 701 790* se sugiere realizar una asignación de ráfagas SYNC basada en la actividad de las estaciones, de allí que los terminales con baja actividad podrían enviar una ráfaga SYNC aproximadamente cada 12 segundos y las estaciones con elevada actividad aproximadamente cada 1,4 segundos. En la arquitectura de red se ha adoptado un período de envío de 1,4 segundos tomando en cuenta que la simulación corresponderá precisamente a los períodos de mayor actividad de las estaciones.

En la figura 4.17 se muestra los resultados de la simulación donde se ha variado el período de envío de las ráfagas de sincronización modificando el número de tramas entre ráfagas SYNC. Se muestra por una parte el número máximo de estaciones que admite el modelo con cada respectivo período de

asignación y que además el tiempo entre transmisión de las ráfagas de sincronización por terminal permanece constante, independientemente del número de estaciones por portadora (hasta el máximo calculado con la expresión 4.3).

Como se puede observar en la figura 4.17 mientras mayor sea el período de envío de las ráfagas de sincronización, mayor es el número de estaciones RCST que pueden acomodarse por portadora, aunque el tiempo entre ráfagas SYNC por terminal también aumenta.



**Figura 4.17** Validación del envío de ráfagas de sincronización SYNC.

#### 4.5.6.6 Asignación de recursos basada en volumen VBDC

Hasta el momento se ha analizado los aspectos de configuración e implantación de tres de los cuatro tipos de ráfagas que existen dentro del estándar del canal de retorno DVB-RCS quedan por definir estos mismos aspectos para las ráfagas de tráfico TRF.



Dentro de las categorías de capacidad que se definen en el estándar RCS se encuentra aquella basada en el volumen de tráfico que la estación tiene que transmitir VBDC (*Volume Based Dynamic Capacity*) y que se utiliza para tráfico sin restricciones de calidad de servicio, como por ejemplo el tráfico BE (*Best Effort*).

La estación realiza una monitorización de forma permanente de sus colas de transmisión y envía una petición de capacidad mediante cualquiera de los métodos que se han definido para este propósito, como son: SYNC (envío de peticiones en ráfagas de sincronización), CSYNC (ráfagas de envío de peticiones en contienda) o DULM (señalización embebida en ráfagas de tráfico).

Se ha establecido el período de monitorización de las colas en 680 milisegundos, de tal forma que la estación, la mayor parte de las veces, habrá recibido respuesta del NCC antes de realizar una nueva petición. Nótese que el tiempo de respuesta a una petición VBDC incluye: retardo de propagación (2 saltos satélite, 500 milisegundos), el tiempo de acceso a la trama MF-TDMA (variable, dependiendo del método de envío DULM, SYNC o CSYNC, en la mayoría de los casos será inferior a 70 milisegundos) y el tiempo de espera por planificación del TBP por parte del NCC (el NCC planifica el TBTP cada 2 tramas, es decir, aproximadamente cada 140 milisegundos que es el tiempo máximo de espera por planificación).

La estación no solamente realiza una monitorización de forma periódica, sino que a efectos de mejorar el mecanismo de petición de recursos VBDC también realiza una monitorización adicional del estado de sus colas, justamente después de recibir una asignación de recursos, a fin de enviar las peticiones embebidas en ranuras TRF que son de asignación dedicada (método DULM). De esta forma la estación evita entrar en contienda en las ranuras CSYNC o la espera para la transmisión de la próxima ráfaga de sincronización SYNC.

El volumen de tráfico que la estación necesita se calcula de la siguiente manera:

$$VBDC = \text{Tamaño de la cola} - \text{volumen asignado} - \text{petición en curso} \quad (4.4)$$

Si la nueva petición VBDC calculada, tiene un valor mayor a cero, la petición se envía. Si el cálculo resulta en un valor menor o igual a cero, esta situación significa que la asignación de recursos actual de la estación es suficiente para cursar el volumen de tráfico de la cola.

#### 4.5.6.7 Asignación de capacidad disponible FCA

La categoría de capacidad FCA (*Free Capacity Assignment*) corresponde a un volumen de capacidad asignada a las estaciones que en otro caso estaría sin utilizarse. En las redes ICMSN se sugiere que el NCC podría asignar la capacidad disponible aplicando un algoritmo circular de turno rotatorio “*round robin*”. Por otro lado, se realiza un estudio donde solamente se asigna un máximo de una ranura libre a cada estación. [11]

En el modelo de red se ha adoptado la estrategia de realizar la asignación de la capacidad disponible en base a las últimas peticiones que han realizado las estaciones. El NCC mantendrá por tanto una lista de las peticiones VBDC recibidas y asignará la capacidad disponible en base al volumen de tráfico que las RCST hayan solicitado recientemente.

#### 4.5.6.8 Validación de la asignación de recursos TDMA

En esta sección se realiza la validación de la implantación de la multitrama MF-TDMA que es el método de acceso que emplean las estaciones RCST para la transmisión. Se realiza a continuación el análisis teórico de retardo medio por paquete cuando cada estación tiene asignado una ranura de transmisión por trama.

Suponiendo que los paquetes son de tamaño fijo y las llegadas siguen un proceso de Poisson, para el cálculo del retardo medio se tiene la siguiente expresión [12]:

$$T_{TDMA} = \frac{2 - \frac{\lambda}{R}}{2 \cdot \left( \frac{R}{N \cdot b} - \lambda \right)} + T_{prop} + \frac{T_{trm}}{N} - \frac{T_{trm}}{2} \quad (4.5)$$

Donde  $R$  es igual a la velocidad del canal,  $\lambda$  es la tasa de generación de paquetes por terminal,  $N$  es el número de ranuras por trama,  $b$  es el tamaño de paquete que será de tamaño constante e igual a una ranura, es decir, 188 octetos (1504 bits). La variable  $T_{prop}$  es igual al tiempo de propagación (250 milisegundos) y finalmente  $T_{trm}$  es igual al tiempo de trama.

De la expresión 4.5 se deduce que  $\frac{R}{N \cdot b}$ , representa la carga máxima de tráfico, bajo este criterio se ha reducido la ecuación anterior obteniendo:

$$T_{TDMA} = \frac{2 - \lambda}{2 \cdot \frac{R}{N \cdot b} (1 - \lambda)} + T_{prop} + \frac{T_{trm}}{N} - \frac{T_{trm}}{2} \quad (4.6)$$

$$0 \leq \lambda < 1$$

De esta forma se realiza la primera comprobación con los siguientes parámetros: velocidad de portadora  $R = 385$  kbps, número de ranuras por trama  $N = 18$ , tamaño de paquete en bits  $b = 1504$ , duración de la trama  $T_{trm} = 70,311$  milisegundos, tiempo de propagación  $T_{prop} = 250$  milisegundos.

El cálculo del retardo medio de paquete se realiza para distintos valores de intensidad de tráfico. Los resultados que se obtuvieron con el modelo teórico y de simulación se muestran en la figura 4.18.

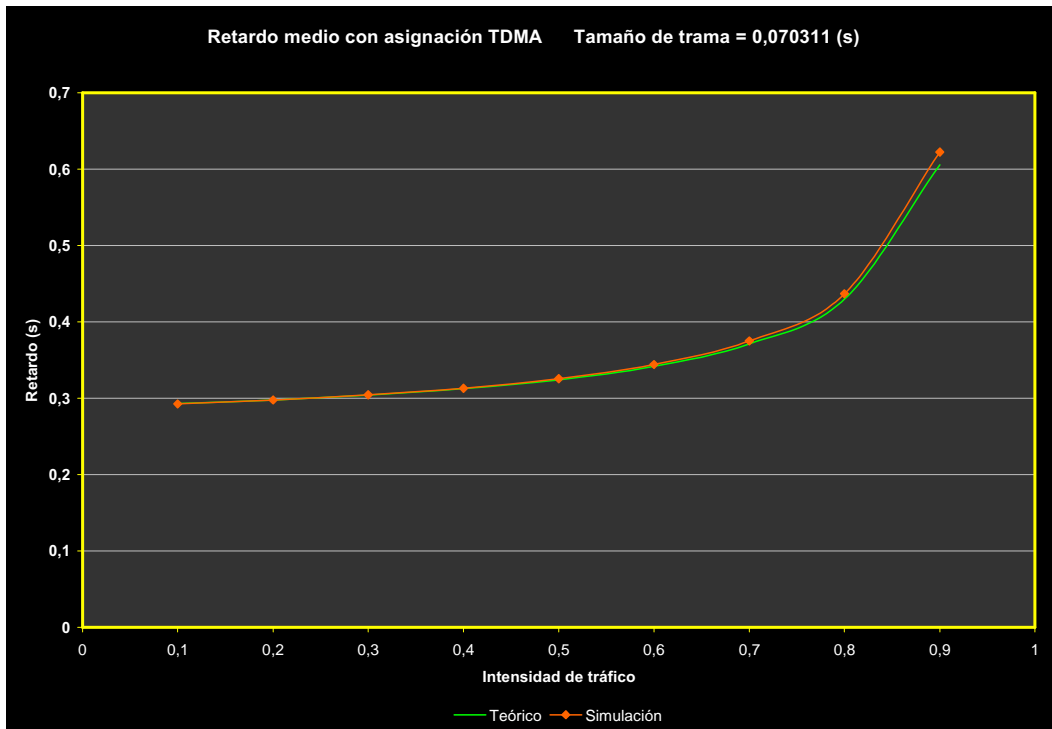


Figura 4.18 Retardo medio de paquete (trama 70,311 ms).

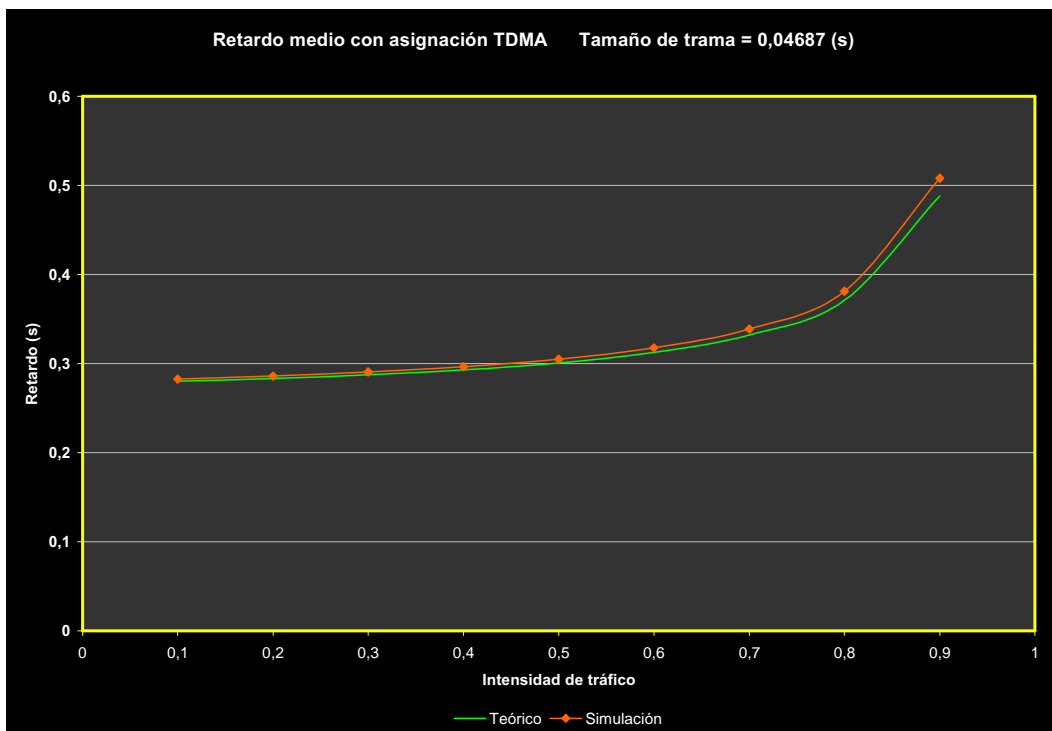


Figura 4.19 Retardo medio de paquete (trama 46.87 ms)

Puede notarse que la duración de trama corresponde a la adoptada en el modelo de simulación. El error entre el modelo teórico y los datos obtenidos del modelo de simulación es inferior al 2%.

Se ha mencionado también que el tamaño de la trama es un elemento configurable de la simulación. En la figura 4.19 se muestra los resultados que ofrece el modelo con un tamaño de trama igual a 46,87 milisegundos y por tanto 12 ranuras por trama. El error entre el modelo teórico y los resultados de la simulación se mantienen inferiores al 1%.

Se puede observar claramente que la variación del retardo por paquete es igual o inferior al tamaño adoptado de la trama, que en este caso es de 70,311 milisegundos. De esta forma, la variación del retardo está en relación directa con el tamaño de la trama, situación que era de esperarse en la implantación y que se verifica en las gráficas.

#### **4.6 MODELOS DE TRÁFICO DE INTERNET [4]**

Los modelos de tráfico de Internet expuestos a continuación, fueron elaborados como parte del proyecto IBIS (*Integrated Broadcast Interaction System*) "Deliverable D20 IBIS WP 200", el cual propone una red DVB-S/RCS interactiva a través de un satélite con procesamiento a bordo.

En el proyecto IBIS además de los modelos de tráfico de Internet, se contemplan modelos de tráfico para VoIP, Videoconferencia, Servicios de televisión interactiva, etc.

Se han escogido estos modelos de referencia ya que son los más representativos de la literatura, además de que la mayoría de ellos se basan en caracterizaciones de entornos reales de Internet.

#### 4.6.1 NAVEGACIÓN WEB

La carga de trabajo del Internet global está dominada por el protocolo de aplicación HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) usado por los clientes y servidores Web. La caracterización del tráfico HTTP puede estar dada en base a las siguientes alternativas: registros de servidores Web, registro de comportamiento de usuario y trazos de paquetes Web filtrados de los flujos de tráfico de una LAN.

La utilización de los registros de los servidores Web para la caracterización de la carga de trabajo está basada en la propiedad de los servidores Web de mantener un registro de todos los archivos que han sido servidos a sus clientes. Estos modelos no son apropiados para identificar el comportamiento de un usuario en particular.

Por otra parte los registros de usuario fueron populares cuando fue posible manipular el código de programa fuente del cliente Web, como es el caso del navegador *NCSA Mosaic Browser* cuyo código fuente estuvo disponible y se cambió con el fin de mantener un registro de todas las recuperaciones hechas durante las sesiones de usuarios Web. El problema con este método es que el código fuente de los navegadores actuales son propietarios y además resulta complicada la instalación de un número suficientemente grande de usuarios Web con una versión modificada del navegador.

El tercer método para reunir información consiste en recolectar trazos de paquetes tomados de una subred con tráfico HTTP, tal como una LAN de medio compartido. A partir de esta información y tomando en cuenta los protocolos de capas superiores es posible producir un modelo de la aplicación original.

Este último método es mayormente preferido, principalmente porque éste permite capturar el comportamiento de un usuario en particular, siendo capaz de registrar la actividad de cualquier cliente HTTP. Esta aproximación pierde información de nivel superior, pero ésta no es esencial para el desarrollo de un modelo de tráfico de red.

4.6.1.1 Modelo de tráfico para servidor Web

El modelo presentado a continuación está basado en *NetSpec Source Models*. El *software NetSpec* es una herramienta para generación de tráfico de diferentes servicios tales como Telnet, FTP, voz, vídeo, y Web. Con *NetSpec* la generación de tráfico del servidor Web es modelada en base a dos distribuciones de los siguientes parámetros: tiempos medios inter-peticiones (Nivel de Llamada) y tamaño del documento de transferencia (Nivel de Sesión). La figura 4.20 muestra el esquema general del modelo.

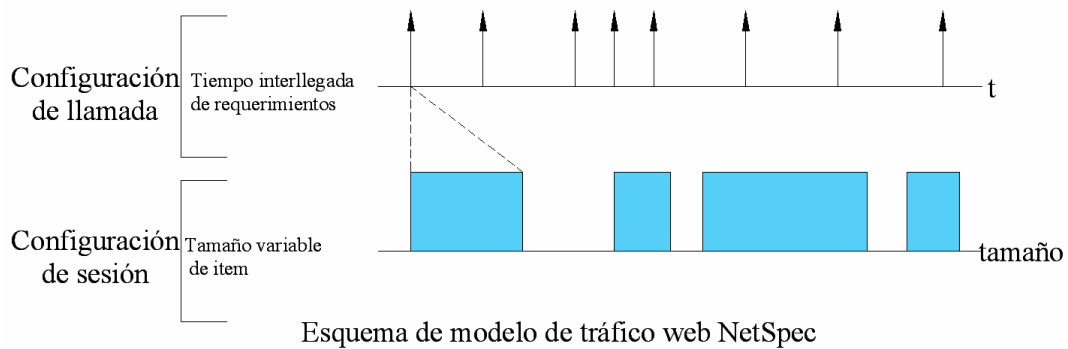


Figura 4.20 Tiempos medios inter-peticiones.

Para un único usuario, el tiempo medio inter-peticiones está caracterizado con los siguientes parámetros: el número medio de peticiones es de 5,75 y la desviación estándar de las mismas es de 7,73 en un período de media hora. Un proceso homogéneo de Poisson con una velocidad fija puede ser usado para modelar el tráfico a través de intervalos de una hora; el tiempo medio inter-peticiones es exponencialmente distribuido. La función de densidad de probabilidad de la distribución exponencial es mostrada en la ecuación 4.7.

$$f_x(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \lambda = \frac{1}{\text{Media}} \tag{4.7}$$

La distribución del tamaño del documento de transferencia se ajusta a una distribución de Pareto. La función de masa de probabilidad de la distribución de Pareto con los parámetros correspondientes es la siguiente:

$$f_x(x) = \frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}, 0.40 \leq \alpha \leq 0.63 \quad (4.8)$$
$$k \leq 21 \text{ kilobytes}$$

El alto grado de variación en el tamaño del documento refleja la gran variedad de tipos de documentos accedidos en el servidor (HTML, audio, vídeo, *PostScript*, imágenes, etc.).

#### 4.6.1.2 Modelo de tráfico de usuario-cliente Web

Los modelos que caracterizan la generación de tráfico de usuario Web incluyen además del tiempo inter-peticiones y el tamaño de la página Web, aspectos tales como: tiempo que se toma el usuario para pensar (tiempo de lectura), *bytes* por página transferidos desde el cliente al servidor, todos los retardos de transferencia de la página, *bytes* por objetos adjuntos en líneas transferidos desde el servidor hacia el cliente, y número de objetos adjuntos en líneas por página. La tabla 4.6 muestra la correspondiente distribución con parámetros.

Se considera la utilización de dos fuentes ON/OFF para la generación sintética de tráfico Web, donde el estado ON representa toda la actividad que implica el descargar una página Web, y el estado OFF representa el período de silencio o inactividad que le sigue. La duración de los estados ON y OFF corresponde al tiempo de descarga de la página Web y el tiempo de lectura del usuario, respectivamente. Este modelo también incluye aspectos tales como: número de páginas ya descargadas y no descargadas en el navegador del cliente Web. (Ver tabla 4.7.). [13]



Parámetro	Distribución	Parámetros
Tamaño de página	Lognormal	$\sigma = 2.16, \mu = 8.27$
Tiempo de lectura	Lognormal	$\sigma = 1.566, \mu = 2.754$
Tiempo agregado de petición entre páginas	Weibull Lognormal	$\sigma = 0.8636, \mu = 0.9788$ $\lambda = 1.1471$
Bytes por página cliente → servidor	Lognormal	$\sigma = 1.2005, \mu = 6.76$
Duración de página	Lognormal	$\sigma = 1.615, \mu = 2.0995$
Bytes por objeto servidor → cliente	Lognormal	$\sigma = 1.82, \mu = 6.78$
Bytes por objeto cliente → servidor	Lognormal	$\sigma = 0.3208, \mu = 5.9288$
Objetos por página	Lognormal	$\sigma = 1.0514, \mu = 1.7448$

**Tabla 4.6** Parámetros del modelo y sus correspondientes distribuciones.

Parámetro		Distribución	Desviación media y estándar
Tamaño de petición		Lognormal	Media = 360.4 B S.D. = 106.52
Tamaño de objeto	Principal	Lognormal	Media = 10709.8 B S.D. = 25032.1
	Entrelíneas	Lognormal	Media = 7757.74 B S.D. = 126168
Tiempo de análisis		Gamma	Media = 0.132 s S.D. = 0.187
Número de objetos entrelíneas		Gamma	Media = 5.55 S.D. = 11.35
Tiempo inter-llegada entrelíneas		Gamma	Media = 0.86 s S.D. = 2.15
Tiempo de descarga de página		Weibull	Media = 11.35 s S.D. = 23.85
Tiempo de lectura (estado OFF)		Weibull	Media = 39.45 s S.D. = 92.57
Número de peticiones Web	No descargadas	Lognormal	Media = 12.6 S.D. = 21.6
	Descargadas	Geométrica	Media = 1.7 S.D. = 1.7

**Tabla 4.7** Parámetros del modelo considerando las fuentes ON/OFF.

Se puede observar de la caracterización propuesta por H. Choi, J. Limb y M. Molina, P. Castelli y G. Foddis, que estos modelos no separan las sesiones Web; en otras palabras, esta parametrización permite la composición de un número ilimitado de sesiones Web.

En “A page-oriented WWW traffic model for wireless system simulation”, el modelo de tráfico Web esta basado en un modelo estructural con tres niveles (Sesión, Página y Paquete). [15]

La caracterización del tráfico Web es mostrada en la tabla 4.8 donde se hace una diferencia entre un escenario educacional y uno corporativo.

Nivel	Parámetro	Distribución	Escenario Corporativo	Escenario Educativo
Sesión	Tiempo inter-llegada de sesión	Exponencial	Proceso Poisson, exponencialmente distribuido. Depende de la carga de tráfico deseada	
	Páginas por sesión	Lognormal	$\mu = 25.807 p.p.s.$ $\sigma = 78.752 p.p.s.$	$\mu = 22.975 p.p.s.$ $\sigma = 166.16 p.p.s.$
Página	Tiempo entre páginas	Gamma	$\mu = 35.286 sec.$ $\sigma = 147.39 sec.$	$\mu = 24.694 sec.$ $\sigma = 113.9 sec.$
	Tamaño de páginas	Pareto	$\alpha = 1.7584$ $\beta = 30458 bytes$	$\alpha = 1.5549$ $\beta = 31341 bytes$
Paquete	Tamaño de paquete	Multi-modal	Cuatro tamaños diferentes de paquete (40, 552, 576, 1500) media = 822.31 bytes	
	Tiempo inter-llegada de paquete	Exponencial	$\mu = 0.73 sec.$	$\mu = 1.07 sec.$

**Tabla 4.8** Parámetros del modelo considerando escenarios corporativos y educacionales.

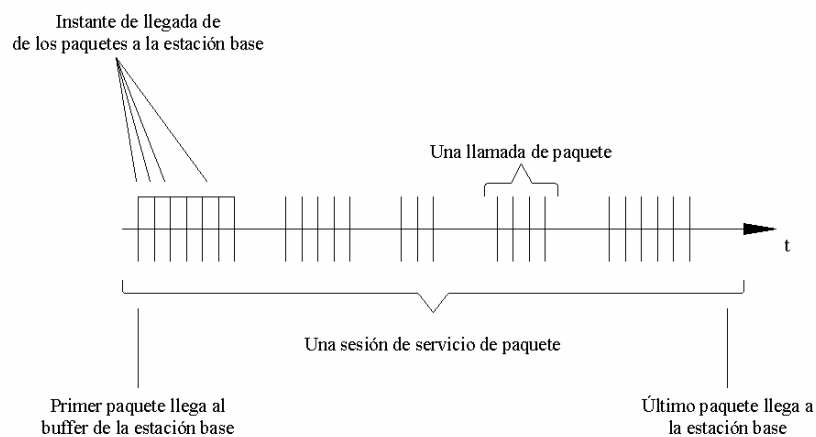
#### 4.6.1.3 Modelo UMTS de tráfico Web

Esta sección mostrará el modelo propuesto por la especificación UMTS *Universal Mobile Telecommunication System* [16].

La figura 4.21 muestra una típica sesión de navegación WWW, la cual consiste de una secuencia de llamadas de paquetes. El modelo solo considera los paquetes desde una fuente la cual puede estar en cualquiera de los extremos de un enlace pero no en dos simultáneamente. El usuario inicia una llamada de

paquete cuando solicita una entidad de información. Durante una llamada de paquete, algunos paquetes pueden ser generados, lo que significa que la llamada de paquete constituye una secuencia de paquetes a ráfagas. Es muy importante tomar en cuenta este fenómeno en el modelo de tráfico. La naturaleza de ráfagas durante la llamada de paquete es un rasgo característico de la transmisión de paquetes en una red fija.

Una sesión de servicios de paquete contiene una o varias llamadas de paquetes dependiendo de la aplicación. Por ejemplo, en una sesión de navegación WWW, una llamada de paquete corresponde a la descarga del documento WWW. Después de que el documento es enteramente descargado en el terminal, el usuario consume un cierto tiempo para el estudio de la información. Este intervalo de tiempo es denominado Tiempo de Lectura como en los modelos anteriores. También es posible que la sesión contenga sólo una llamada de paquete. De hecho, éste es el caso para la transferencia de archivos (FTP). Así que, la figura 4.21 puede ser modelada con el fin de describir el comportamiento típico descrito a continuación: Proceso de llegada de sesión, Número de llamadas de paquetes por sesión,  $N_{pc}$ , Tiempo de lectura entre llamadas de paquetes,  $D_{pc}$ , Número de datagramas dentro de una llamada de paquete,  $N_d$ , Tiempo interllegada entre datagramas (dentro de una llamada de paquete)  $D_d$  y Tamaño del datagrama,  $S_d$ .



**Figura 4.21** Característica típica de una sesión de servicio de paquete.

Nótese que el tamaño de sesión es modelado implícitamente por el número de eventos durante la sesión.

A continuación se describirán como estos seis diferentes eventos son modelados. Se usa la distribución geométrica (representación discreta de la distribución exponencial), desde que las simulaciones están usando escalas de tiempo discreto.

- **Proceso de llegada de sesión:** Es la forma en que las sesiones llegan. La llegada de sesiones de estructuración a la red es modelada como un proceso Poisson. Para cada servicio existe un proceso separado. Es importante notar que este proceso para cada servicio sólo genera los instantes de tiempo cuando las llamadas de servicio empiezan y no tiene nada que hacer cuando éstas terminan.
- **Número de llamadas de paquetes por sesión,  $N_{pc}$ :** Ésta es una variable aleatoria geoméricamente distribuida con una media  $\mu_{N_{pc}}$  [llamadas de paquete].
- **Tiempo de lectura entre dos llamadas de paquetes consecutivas requerido en un sesión,  $D_{pc}$ :** Ésta es una variable aleatoria geoméricamente distribuida con una media  $\mu_{D_{pc}}$  [pasos en tiempo del modelo]. Nótese que el tiempo de lectura comienza cuando el último paquete de la llamada de paquete es completamente recibido por el usuario. El tiempo de lectura termina cuando el usuario hace una petición para la siguiente llamada de paquete.
- **Número de paquetes dentro de una llamada de paquete,  $N_d$ :** El modelo de tráfico debería ser capaz de reunir los varios rasgos característicos posibles en el tráfico UMTS futuro. Por esta razón pueden ser usadas diferentes distribuciones estadísticas con el fin de generar el número de

paquetes. Por ejemplo,  $N_d$  puede ser una variable aleatoria geoméricamente distribuida con una media  $\mu_{N_d}$  [paquete].

- **Tiempo inter-llegada entre dos paquetes consecutivos dentro de una llamada de paquete,  $D_d$ :** Ésta es una variable aleatoria geoméricamente distribuida con una media  $\mu_{D_d}$  [pasos en tiempo del modelo]. Naturalmente, si solo existe un paquete en la llamada de paquete, éste no es necesario.
- **Tamaño del paquete,  $S_d$ :** El modelo de tráfico puede usar la distribución de tamaño de paquete que mejor se ajuste al tráfico objeto del estudio. Para este fin se usa la distribución de Pareto con *cut-off*, la cual define un tamaño de paquete siguiendo la ecuación (4.9):

$$\text{TamañoPaquete} = \min(P, m) \quad (4.9)$$

Donde P es una variable normal aleatoria que sigue la distribución de Pareto ( $\alpha = 1.1, k = 81.5 \text{ bytes}$ ) y m es el tamaño de paquete máximo permitido, siendo  $m = 666666 \text{ bytes}$ . La Función de Distribución de Pareto para el tamaño de paquete se muestra a continuación:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}, & k \leq x < m \\ \beta, & x = m \end{cases} \quad (4.10)$$

Con los parámetros anteriores, el tamaño promedio de paquete está dado por:

$$\mu_s = \frac{\alpha k - m \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha}{\alpha - 1} = 480 \text{ bytes} \quad (4.11)$$

La tabla 4.9 muestra los valores medios definidos para una distribución típica del servicio WWW. De acuerdo con los valores establecidos para  $\alpha$  y

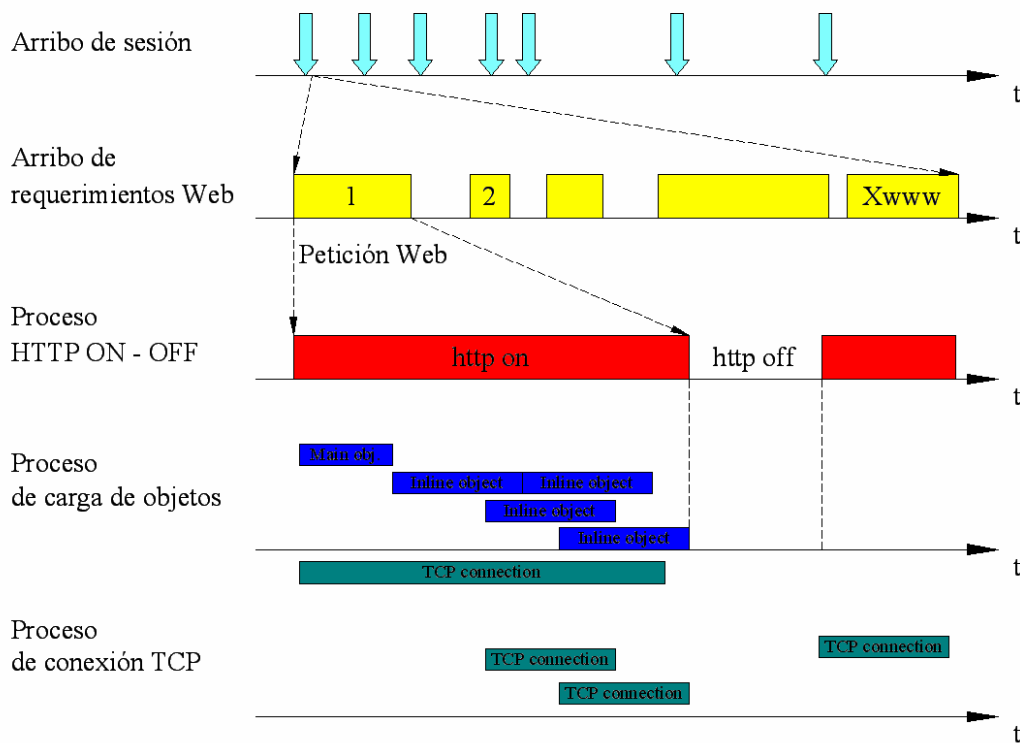
$k$  en la distribución de Pareto, el tamaño promedio de paquete  $\mu$  es de 480 bytes. El tamaño promedio para un archivo solicitado es entonces  $\mu_{N_d} \times \mu = 25 \times 480 \text{ bytes} \approx 12 \text{ Kbytes}$ .

Tipos de información basados en paquetes	Número promedio de llamada de paquetes por sesión	Tiempo promedio de lectura entre llamadas de paquetes [s]	Cantidad promedio de paquetes en una llamada de paquetes	Tiempo promedio inter-llegada entre paquetes [s] <sup>1</sup>	Parámetros para la distribución del tamaño de paquete
Navegación WWW a 8 kbps	5	412	25	0.5	$k = 81.5$ $\alpha = 1.1$
Navegación WWW a 32 kbps	5	412	25	0.125	$k = 81.5$ $\alpha = 1.1$
Navegación WWW a 64 kbps	5	412	25	0.0625	$k = 81.5$ $\alpha = 1.1$
Navegación WWW A 144 kbps	5	412	25	0.0277	$k = 81.5$ $\alpha = 1.1$
Navegación WWW A 384 kbps	5	412	25	0.0104	$k = 81.5$ $\alpha = 1.1$
Navegación WWW A 2048 kbps	5	412	25	0.00195	$k = 81.5$ $\alpha = 1.1$

**Tabla 4.9** Valores medios definidos para una distribución típica del servicio WWW.

#### 4.6.1.4 Modelo WWW para redes inalámbricas (Único usuario)

En “*Source Traffic Modeling of Wireless Applications*”, se desarrolla un modelo Web de un único usuario basado en las fases de actividad del mismo. Básicamente, las fases de actividad consisten en dos secuencias: *HTTP-ON* y *HTTP-OFF*, tal como se muestra en la figura 4.22. El uso de esta aproximación es muy similar al explicado en la sección 4.6.1.2.



**Figura 4.22** Fases de actividad WWW.

Una fase *HTTP-ON* inicia después de la llegada de una petición Web. La fase *HTTP-ON* modela la actividad después de aceptar la petición Web. La fase *HTTP-OFF*, por su parte, representa el período de silencio después de que todos los objetos de una petición Web son recuperados por el usuario. En consecuencia, la duración de las fases *HTTP-ON* y *HTTP-OFF* corresponde al tiempo de carga de la página Web y al tiempo de lectura de la misma, respectivamente, donde el tiempo de lectura puede ser cero en el caso de que un usuario comience una petición Web durante el tiempo de carga de un objeto.

Durante la fase *HTTP-ON*, se cargan los objetos que forman la página Web solicitada. Se pueden distinguir dos tipos de objetos: objeto principal (archivo principal que contiene un documento HTML) y objeto entrelíneas (objeto vinculado al documento de hipertexto). Dependiendo de la versión del navegador en uso, algunas conexiones TCP pueden ser activadas para cargar los objetos. La activación y desactivación de las conexiones TCP pueden ser en parte serial o

paralelas. Las conexiones TCP paralelas, por ejemplo para el caso de los objetos entrelíneas, son abiertas consecutivamente después de establecida la conexión única del objeto principal.

A continuación se detallará un resumen para el modelo HTTP recomendado para un usuario único y las correspondientes distribuciones con sus parámetros. El modelo consiste de dos parte principales:

- a) El primer grupo de parámetros describe el nivel de sesión con el tiempo entre dos sesiones y el número de peticiones Web por sesión y,
- b) El segundo grupo de parámetros describe la composición de una petición Web con el tamaño del objeto principal y el número de objetos entrelíneas y sus tamaños, el tamaño de *GetRequest* y el tamaño del tiempo de lectura de la página Web.

Este modelo contiene las variables aleatorias que se muestran en la tabla 4.10.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
lwww	Tiempo entre dos sesiones WWW
Xwww	Número de peticiones Web por sesión Web
Vwww	Tiempo de lectura de la petición Web
Mwww	Tamaño de objeto principal
Nwww	Número de objetos por página
Owww	Tamaño del objeto entrelíneas
Rwww	Tamaño del <i>GetRequest</i>

**Tabla 4.10** Variables aleatorias que describen el modelo.

Las distribuciones para cada variable aleatoria se muestran en la tabla 4.11.



Variable	Distribución	Media	Desviación estándar
X <sub>www</sub>	Lognormal (1.8,1.68)	E(X) = 25 páginas	100 páginas
V <sub>www</sub>	Weibull ( $\alpha, \beta$ )	E(X) = 39.5 s	$\sigma = 92.6$
N <sub>www</sub>	Gamma (0.24,23.42)	E(X) = 5.55	$\sigma = 11.4$
M <sub>www</sub>	Lognormal (1.31,1.41)	E(X) = 10 KB	$\sigma = 25$ Kbytes
O <sub>www</sub>	Lognormal (-0.75,2.36)	E(X) = 7.7 KB	$\sigma = 126$ Kbytes
R <sub>www</sub>	Lognormal (5.84,0.29)	E(X) = 360 B	$\sigma = 106$ bytes

**Tabla 4.11** Distribuciones para las variables aleatorias de la tabla 4.10.

Los parámetros de la tabla anterior son producto de una petición Web cuyo tamaño promedio está alrededor de los 50 Kbytes. El tamaño del tiempo entre dos sesiones sólo puede ser determinado en base a mediciones suficientemente grandes y cada sesión tiene que ser asignada a un usuario específico.

El tamaño de los paquetes IP está limitado a 1500 bytes puesto que este MTU es el más utilizado. Sin embargo, si se tienen que transmitir menos bytes, por ejemplo en el caso del *GetRequest*, se permite a los paquetes IP ser de menor tamaño.

#### 4.6.2 CORREO ELECTRÓNICO *E-MAIL*

Además de las aplicaciones HTTP, uno de los servicios más usados dentro del Internet es el de correo electrónico o *e-mail*. En la literatura, el uso del *e-mail* no es ampliamente estudiado como si lo es el comportamiento de usuarios Web. La mayoría de los modelos analizan el tráfico SMTP (mensajes enviados por usuarios) como el muy popular modelo propuesto por Paxson [18]. En general no existe una caracterización completa del correo electrónico, esto también incluye el tráfico POP3 (mensajes recibidos por los usuarios).

#### 4.6.2.1 Modelo SMTP

Como se mencionó anteriormente, un modelo muy popular de tráfico SMTP fue propuesto por Paxson. Este modelo indica que cada conexión transfiere más de 300 bytes, lo cual constituye una cabecera aproximadamente fija, y que aquellas conexiones con un número menor total de bytes emisores, corresponden a fallas (por una dirección de correo errónea o por que la máquina remota está ocupada y no es capaz de aceptar correo).

Paxson encontró que la distribución de bytes emisores SMTP es bimodal ya que el *e-mail* es usado a veces para transferir archivos. El modelo muestra dos distribuciones *log<sub>2</sub>normal* como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$\log_2 \text{ normal} + 300 \text{ bytes}, 0 - 80\%; \mu \approx 10 \text{ y } \sigma = \log_2 2.75 [\text{bytes}] \quad (4.12)$$

$$\log_2 \text{ normal} + 300 \text{ bytes}, 80 - 100\%; \mu \approx 8.5 \text{ y } \sigma = \log_2 3 [\text{bytes}] \quad (4.13)$$

Debido a que la media provista en el modelo corresponde a la media geométrica, la distribución *lognormal* media  $E(x)$  puede ser evaluada aplicando la siguiente ecuación, la cual también considera el factor de conversión  $\log_2$ :

$$E(X) = 2^\mu 2^{\frac{\sigma^2 \log_e 2}{2}} = 1708 \text{ bytes}, 0 - 80\% \quad (4.14)$$

$$E(X) = 2^\mu 2^{\frac{\sigma^2 \log_e 2}{2}} = 662 \text{ bytes}, 80 - 100\% \quad (4.15)$$

La conexión alcanza un pico durante las horas de inactividad (*off-hours*), y un mínimo durante las horas de trabajo pico. Los usos de SMTP para transferir archivos tienden a suceder en las *off-hours* y provocan este patrón.

El modelo no muestra una distribución para los *bytes* de respuesta en conexiones SMTP, ya que estos últimos generan únicamente pequeñas variaciones en la distribución descrita para los *bytes* emisores.

Otro modelo para la caracterización de *e-mail* es presentado por Brasche. El modelo FUNET muestra una caracterización de tamaño del mensaje *e-mail*. En este modelo, el proceso de generación de los mensajes electrónicos sigue un proceso Poisson, pero no especifica el número de mensajes electrónicos por unidad de tiempo. El tamaño de los mensajes *e-mail* sigue una distribución de Cauchy con  $\alpha = 0.8$  y  $\beta = 1.0$ , con un tamaño máximo de 10 KB. La función de densidad de Cauchy se muestra en la siguiente ecuación:

$$f(x) = \left\{ \pi\beta \left[ 1 + \left( \frac{x - \alpha}{\beta} \right)^2 \right] \right\}^{-1} \quad (4.16)$$

Bolotin presenta un modelo basado en el análisis de tráfico hecho en la Intranet CSELT. El modelo mantiene la generación de mensajes como un proceso de Poisson y especifica una velocidad de generación de mensaje agregada  $\lambda = 0.06$  (216 mensajes/hora). El número potencial de usuarios Web de Internet es CSETL fue alrededor de 1200, siendo así la velocidad de generación de mensajes  $\lambda_\mu = 0.00005$  (0.18 mensajes/hora). Con respecto al tamaño del mensaje, el modelo usa una distribución *lognormal* con  $\mu = 8.5$  KB y una varianza entre 1.36 KB y 2.09 KB. El tamaño mínimo de mensaje fue de 0.35 KB y el máximo de 52000 KB. El tamaño de los mensajes, expresado en KB sigue una distribución *lognormal*. La función de densidad de probabilidad *pdf* de la distribución *lognormal* se expresa por la siguiente ecuación:

$$f_x(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{ -\frac{[\ln(x) - \mu]^2}{2\sigma^2} \right\}, X > 0 \quad (4.17)$$

#### 4.6.2.2 Modelo POP3/IMAP

Como fue explicado anteriormente, la caracterización *e-mail* no ha sido ampliamente estudiada por lo que no existe un buen modelo de tráfico para los mensajes POP3/IMAP. Basado en la experiencia se ha podido caracterizar los mensajes POP3/IMAP de la misma manera que los mensajes SMTP, con la siguiente diferencia: los usuarios usualmente reciben más *e-mail* que los que envían, el ratio entre los mensajes recibidos y enviados oscila de 3 a 6 para usuarios domésticos y educacionales, respectivamente. De aquí que, la velocidad de generación de mensajes para este servicio puede ser obtenida multiplicando 3 o 6 veces la velocidad de generación de mensajes de los servicios SMTP. Será de utilidad el uso de un promedio de 4 veces, de esta manera la velocidad de generación de mensajes de un usuario POP3 será de  $\lambda = 0.0004 \text{ msg/s} = 0.024 \text{ msg/min}$ .

Nótese que la generación de mensajes POP3 no es un proceso Poisson, el comportamiento normal será el de generar ráfagas periódicas de mensajes, por ejemplo cada 10 minutos siendo el tamaño de ráfaga aleatorio.

#### 4.6.3 SERVICIOS REMOTOS INTERACTIVOS (IRS) (TELNET/SLOGIN)

Para caracterizar la generación de tráfico de las sesiones IRS, será descrito el modelo propuesto por Paxson para sesiones TELNET [21] [22].

La velocidad de generación de sesión de las conexiones IRS es modelada como un proceso homogéneo de Poisson; el patrón de las sesiones de llegada es dominado por un patrón de 24 horas y depende de la hora del día (*hourly Poisson*).

La duración de la sesión IRS sigue una distribución  $\log_2$ normal con media =  $\log_2(240) = 7.91$  y una desviación estándar  $\sigma = \log_2(7.8) = 2.96$ . El tamaño del mensaje emisor sigue una distribución logarítmica extrema con  $\alpha \approx \log_2(100)$  y

$\beta \approx \log_2(3.5)$ . La expresión matemática para la distribución logarítmica extrema se muestra en la siguiente ecuación:

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left\{-\frac{X-\alpha}{\beta}\right\}\right\} \quad (4.18)$$

Finalmente, el cociente de los mensajes de respuesta y de los mensajes emisores sigue una distribución lognormal con una media =  $\log_2(21) = 4.39$  y una desviación estándar  $\sigma = \log_2(3.6) = 1.85$ .

#### 4.6.4 SERVICIOS DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS FTP

Similar a la caracterización del tráfico TELNET, Paxson [21] [22] también propone un modelo para caracterizar las sesiones FTP y su generación de tráfico. Éste es uno de los modelos más populares encontrados en la literatura.

La velocidad de generación de sesiones de las conexiones FTP puede ser modelada con un proceso homogéneo de Poisson; el patrón de la llegada de sesiones FTP es dominado por un patrón de 24 horas y depende de la hora del día (*hourly Poisson*). La duración de sesión guarda directa relación con la velocidad del enlace de acceso.

Los *bytes* generados por la sesión FTP siguen una distribución  $\log_2$ normal con  $\mu = \log_2(32768) = 15$  y una desviación estándar  $\sigma = \log_2(16) = 4$ , estos valores corresponden a las medias geométricas. La media de la distribución  $\log_2$ normal podría ser calculada con la siguiente ecuación, que fue también aplicada en la sección 4.6.2.1.

$$E(X) = 2^\mu 2^{\frac{\sigma^2 \log_e 2}{2}} = 1.5 \text{ MBytes} \quad (4.19)$$

## 4.7 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS DE TRÁFICO

Como se pudo observar en la sección anterior, existen varias caracterizaciones correspondientes a los distintos tipos de tráfico que existen en Internet, tales como Navegación Web, Correo Electrónico, Servicios Remotos Interactivos, etc. De todos los modelos expuestos, aquellos que imitan el comportamiento de usuarios y servidores Web son los de mayor relevancia para el presente proyecto.

Dicha relevancia radica en el hecho de que, en el presente proyecto, se pretende simular una red cursada por tráfico de Internet, y éste está formado casi en su totalidad por información HTTP usada por usuarios y servidores al navegar en la Web (peticiones y descargas de páginas Web).

Es decir que el tráfico de Internet queda casi completamente caracterizado al tomar como referencia un modelo de navegación Web, ya que el tráfico generado por esta aplicación es el más representativo y común dentro de la Internet.

Si bien es cierto el Internet es más que solo tráfico Web, por efectos de simplicidad, sin dejar de lado la representatividad del modelo del tráfico real, se simulará el comportamiento de la navegación Web para imitar una red de acceso a Internet.

Es así que para la caracterización del tráfico de usuario de Internet dentro del entorno de simulación de red, se escogerá el Modelo WWW para redes inalámbricas (Único usuario) expuesto en la sección 4.6.1.4.

Se ha decidido tomar como referencia este modelo ya que en él son contemplados muchos eventos que incluyen tráfico Web, y además se explica las diferentes distribuciones probabilísticas a las que pertenecen, usando parámetros tomados de publicaciones y estudios recientes.

Cabe anotar que una vez descrito en su totalidad el modelo de usuario Web, el modelo del servidor puede ser fácilmente inferido.

#### 4.8 ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Esta sección analizará el escenario escogido para la simulación de la red propuesta, y que está contemplado por el proyecto IBIS. La velocidad de generación de sesiones para la aplicación del escenario estará provista con el fin de ayudar a la definición de las políticas de recursos del RCST.

Existen diferentes escenarios de simulación propuestos en IBIS, tales como escenarios Residenciales, Universitarios, PYMEs, Corporativos, entre otros. Con el fin de cumplir con los objetivos planteados para el presente proyecto, el escenario de simulación escogido será el Residencial, el cual será descrito a continuación.

El escenario Residencial hace referencia a un edificio provisto de un terminal RCST, al cual están conectados 30 posibles usuarios del servicio de Internet, con los cuales se podrán definir dos períodos de tiempo, donde el número promedio de sesiones se puede observar en la tabla 4.12.

Aplicación	08:00 – 17:00		17:00 – 24:00	
	# de sesiones promedio	Desviación Estándar	# de sesiones promedio	Desviación Estándar
<i>Web Surfing</i>	1.2	0.6	3	3

**Tabla 4.12** Número de sesiones promedio para *Web Surfing*.

El número de sesiones promedio provistas en este escenario, serán consideradas como sesiones simultáneas durante una hora pico, en otras palabras, este valor corresponde a la intensidad de tráfico de sesión.

#### 4.8.1 NAVEGACIÓN WEB (*WEB SURFING*)

El siguiente análisis de tráfico está basado en el modelo de tráfico web presentado en la sección 4.6.1.4, aplicado al escenario residencial indicado anteriormente.

##### De 08:00 a 17:00

El número de sesiones está normalmente distribuido con una media  $\mu=1.2$  y una desviación estándar  $\sigma=0.6$ . El número de sesiones en el pico de 95% de la distribución normal acumulativa con estos parámetros es de 2.2 sesiones.

##### De 17:00 a 24:00

El número de sesiones está normalmente distribuido con una media  $\mu=3$  y una desviación estándar  $\sigma=3$ . El número de sesiones en el pico de 95% de la distribución normal acumulativa con estos parámetros es de 7.9 sesiones.

#### Velocidad de generación de sesión

Para calcular la velocidad de generación de sesión se utilizará la ecuación 4.20.

$$\lambda_{\text{ms}} = \frac{\text{Intensidad de Tráfico TI}}{\text{Duración Promedio de Sesión } T_s} \quad (4.20)$$

El número promedio de sesiones de *web surfing* será considerado como el número de sesiones abiertas simultáneas durante la hora pico (promedio y pico).

La duración promedio de la sesión web será calculado como el producto del tiempo promedio de lectura del usuario  $V_{\text{www}}$  con el número promedio de páginas web descargadas por sesión  $X_{\text{www}}$ . De aquí, se calculará la duración de sesión promedio usando la ecuación 4.21.



$$\text{Duración Prom.Ses.} = X_{www} V_{www} \quad (4.21)$$

$$\text{Duración Prom.Ses.} = 25(\text{pág}) \cdot 39.5(s)$$

$$\text{Duración Prom.Ses.} = 987(s)$$

La tabla 4.13., muestra la velocidad de generación de sesión para un número promedio y pico de sesiones.

Duración de sesión [minutos]	08:00 – 17:00		17:00 – 24:00	
	Intensidad de Tráfico [# de sesiones]	$\lambda_{ws}$ [s/minuto]	Intensidad de Tráfico [# de sesiones]	$\lambda_{ws}$ [s/minuto]
16	1.2	0.08	3	0.19
16	2.2	0.14	7.9	0.49

**Tabla 4.13** Velocidad de generación de sesión para un número promedio y pico de sesiones.

#### Referencias Bibliográficas del Capítulo 4

- [1] ETSI Technical Report 101 790 v1.1.1, *“Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for Satellite Distribution Systems; Guidelines for the use of EN 301 790”*, September, 2001.
- [2] ETSI Standard, *“Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems”*, EN 301 790 v1.4.1, April 2005.
- [3] Gilat Satellite Networks, [www.gilat.com](http://www.gilat.com)
- [4] IBIS, *“Integrated Broadcast Interactrion System IBIS”*, Service and System Requirements, Deliverable D20 IBIS.
- [5] J. Neale, R. Green, J. Landovskis, *“Interactive Channel for Multimedia Satellite Networks”*, IEEE Communications Magazine, March 2001.
- [6] ETSI Technical Report 101 202, *“Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for Data Broadcasting”*, v1.1.1 February 1999
- [7] ISO/IEC, *“Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio”*, Recomendación H.222.0. ISO/IEC 13818-1, 1994.
- [8] R. Jain, *“The Art of Computer Systems Performance Analysis”*, Wiley Professional Computing. 1991.
- [9] D. Estrin, M. Handley, J. Heidemann et al, *“Network Visualization with the VINT network animator nam”*, Tech. Report. 99-703., University of Southern California, March 1999.
- [10] S. Park and R. Miller, *“Random number generation: Good ones are hard to find”*, Communications of the ACM, 31(10) October 1988.
- [11] M. Coté, C.Black, and A. luoras, *“On-Board Schedulling for Multimedia Applications”*, Space Communications – An International Journal, Volume 17 Numbers1-2, June 2001.
- [12] T.T.Ha, *“Digital satellite communications”*, Mc-Graw-Hill, 1990.
- [13] Choi, H., and Limb, J., *“A Behavioral Model of Web Traffic”*, International Conference of Networking Protocol ICNP99, September 1999.
- [14] Molina, M., Castelli, P., and Foddis, G., *“Web Traffic Modeling Exploiting TCP Connections Temporal Clustering through HTML-REDUCE”*, IEEE Network, May/June 2000.

- [15] Reyes, A., González, E., Casilari, E. and Díaz, A., "A page-oriented WWW traffic model for wireless system simulation", Proceedings of the 16th International Teletraffic Congress (ITC'16), Edinburgh UK., June 1999.
- [16] "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS", Technical Report TR 101 112 v3.2.0, ETSI, April 1998.
- [17] Staehle, D., Leibnitz, K., and P. Tran-Gia, "Source Traffic Modeling of Wireless Applications", Lehrstuhl für Informatik III, Universität Würzburg. Technical Report No. 261, June 2000.
- [18] <http://www.employees.org/~bmah/Software/HttpModel/>
- [19] Brasche, G., and Walke, B., "Concepts, Services, and Protocols of the New GSM Phase 2+ General Packet Radio Service", IEEE Communications Magazine, August 1997.
- [20] Bolotin, V., Levy, Y., Liu, D., "Characterizing Data Connection and Messages by Mixtures of Distributions on Logarithmic Scale", ITC 99, Edinburgh.
- [21] Paxson, V., and Floyd, S., "Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.3, No. 3, June 1995.
- [22] Paxson, V. "Empirically Derived Analytic Models of Wide-Area TCP Connections", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.2, No. 4, August 1994.

# **CAPÍTULO 5**

## **SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez que se ha realizado la descripción de los aspectos generales y específicos de diseño de la arquitectura de red y habiendo definido el modelo de simulación, en este capítulo se pretende realizar la evaluación de prestaciones de la red mediante al análisis de los resultados obtenidos tras la consecución de varias simulaciones.

Dicha evaluación consistirá básicamente de tres partes. En primer lugar se analizará el rendimiento de la arquitectura para el escenario de simulación establecido, obteniendo de esta forma un grupo de estadísticas (*throughput*, retardo de paquetes, etc.) suficientemente significativo como para notar una tendencia en el comportamiento de la red.

Así mismo, en esta primera parte, se comprobará el correcto desempeño de los mecanismos de asignación de recursos y control de conexión a través de la visualización NAM, el análisis del archivo *rcs.out* y el cálculo de los porcentajes de envío de mensajes de señalización MAC.

La segunda parte de la evaluación de prestaciones consiste en el análisis de sensibilidad de la arquitectura respecto al número de usuarios o estaciones RCST. El objetivo de este apartado es mostrar los puntos de saturación del sistema para este escenario de simulación. Se presentarán para este efecto estadísticas de caudal y de retardo para el tráfico en el punto mismo de saturación.

Se contrastarán los resultados de saturación de la red, con los obtenidos al simular un entorno igual pero con una menor carga de tráfico, es decir la carga correspondiente a las horas no pico.

Finalmente, y teniendo como base el estudio de los resultados de las distintas simulaciones, se analizará la factibilidad de la implementación en nuestro medio de una red como la propuesta. Para esto básicamente se compararán las prestaciones obtenidas de la plataforma DVB-S/RCS, con aquellas ofrecidas por un ambiente real de acceso a Internet como el *dial-up*, el cual es el escenario que más se asemeja al simulado en el presente proyecto.

Antes de entrar directamente al análisis de las prestaciones, es necesario entender de manera general cómo se están obteniendo los datos del simulador y cómo están siendo procesados. Es por eso que las primeras secciones de este capítulo se las ha dedicado a explicar ciertas consideraciones generales, tales como parámetros configurados en el simulador, características del escenario, archivos de salida, archivos de resultados, entre otros.

## **5.1 CONSIDERACIONES GENERALES**

Ciertamente la mayoría de consideraciones acerca de la red DVB-S/RCS planteada ya han sido tomadas y justificadas en capítulos anteriores, tales como el tiempo de duración de la trama MF-TDMA, el tipo de estación RCST elegida, el formato de ráfagas, etc. Sin embargo, en este punto, es necesario mencionar algunas de ellas y complementarlas con ciertos criterios adicionales aplicados en el proceso mismo de simulación de la red.

### **5.1.1 CONSIDERACIONES DEL ESCENARIO DE SIMULACIÓN**

El escenario de simulación escogido, para probar el comportamiento de la red propuesta, se adapta a la descripción planteada en la sección 4.8. Aquella descripción está basada en un escenario del “Tipo Residencial” en el que se ha considerado como referencia a un edificio de apartamentos con 30 usuarios de Internet domésticos.

Es precisamente dicho Escenario Residencial el que será evaluado a través de las simulaciones en NS. Se debe mencionar también que el modelo de

tráfico adoptado para la simulación responde al “Modelo WWW para redes inalámbricas” descrito en la sección 4.6.1.4, cuya elección fue justificada en la sección 4.7.

En otras palabras, tras cada RCST presente en las distintas simulaciones del escenario planteado, existen 30 usuarios *Web* cuya generación de tráfico está definida por el modelo mencionado anteriormente.

Cabe indicar que, con el fin de evaluar la red bajo las peores condiciones, es decir las de mayor carga de tráfico, se han ejecutado distintas simulaciones en donde las cargas de los usuarios están de acuerdo a la segunda franja horaria (de mayor carga de tráfico que la primera, ver tabla 4.13), durante la hora pico, definidas para el escenario residencial en la sección 4.8.1.

También se ha realizado un segundo grupo de simulaciones en el cual las cargas de usuarios han sido definidas de acuerdo a la segunda franja horaria (tabla 5.1), pero esta vez fuera de la hora pico de tráfico. Con estos resultados ha sido posible identificar el comportamiento de la red bajo las condiciones de una alta carga de tráfico dentro de las horas pico y fuera de ellas.

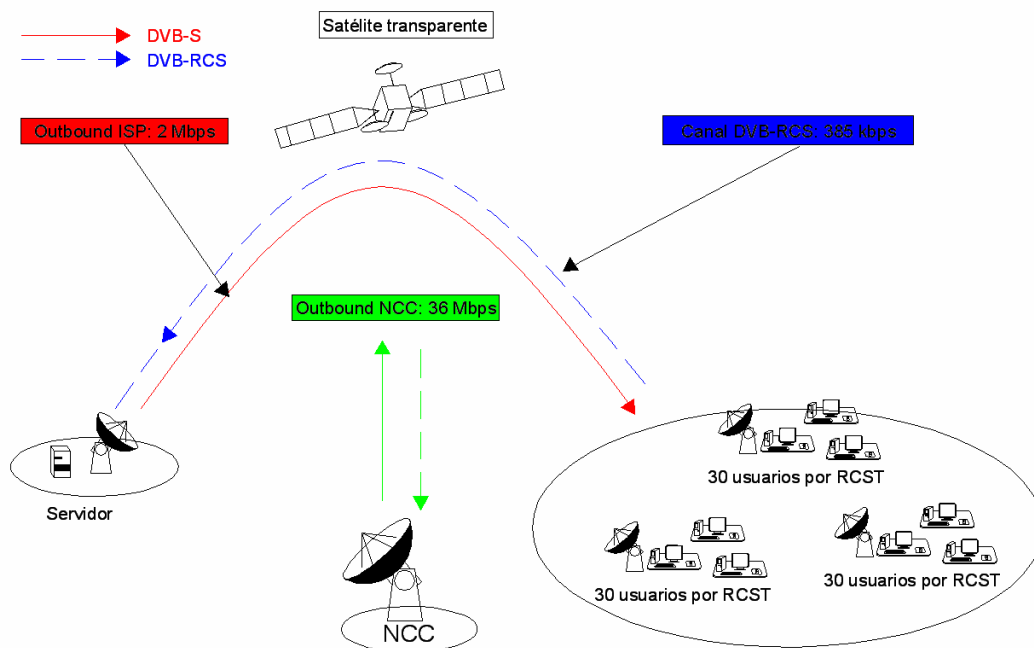
Franja Horaria de mayor carga de tráfico 17:00 – 24:00			
Descripción	Duración de sesión [minutos]	Intensidad de Tráfico [# de sesiones]	$\lambda_{ws}$ [ses/minuto]
Fuera de hora pico	16	3	0.19
Dentro de hora pico	16	7.9	0.49

**Tabla 5.1** Parámetros de tráfico para el escenario residencial (17:00 – 24:00).

En la tabla 5.1 se muestra un resumen de la tabla 4.13 en el que se indican los parámetros de “Intensidad de Tráfico” y “Número de Sesiones/minuto” para la segunda franja horaria correspondiente al escenario residencial.

### 5.1.2 CONSIDERACIONES DE LA TOPOLOGÍA DE RED

La figura 5.1 muestra un esquema general de la topología de la red de acceso a Internet. En ella se puede observar que, básicamente se tiene como elementos de red a un ISP, una o varias estaciones RCST, el centro de control de la red NCC y el satélite transparente.



**Figura 5.1** Topología básica de la Red para Acceso a Internet DVB-S/RCS.

La estación RCST escogida es del tipo SIT II o también conocida como RCST estándar Tipo A, cuya capacidad máxima de transmisión es de 385 kbps y de recepción 38 Mbps.

En cuanto al servidor, se trata de una estación RCST similar a la anterior, pero que además cuenta con un modulador DVB-S capaz de manejar una portadora de 2 Mbps, mediante la cual brinda servicios de ISP a sus clientes.

Si bien es cierto el valor de 2 Mbps para el *Outbound* del ISP es configurable dentro de la simulación, se lo ha considerado así con el fin de



analizar la factibilidad de la implementación del sistema con un ISP común que, en nuestro medio, normalmente requeriría de un E1 (2,048 Mbps) para dar servicios a una modesta población de clientes.

Por otra parte el NCC manejará una portadora de *Outbound* de 36 Mbps (utilizando por ejemplo un transpondedor analógico de 36 MHz, modulación 4-QPSK con Reed-Solomon y la convolución de Viterbi, tal y como lo sugiere el reporte técnico ETSI EN 101 202), suficiente como para manejar una red con miles de RCST, millones de clientes y cientos de servidores.

### 5.1.3 CONSIDERACIONES DEL ENTORNO DE SIMULACIÓN

Como ya es de conocimiento, para la ejecución de las simulaciones se ha establecido la utilización del paquete de simulación LBNL NS *Network Simulator*, desarrollado bajo el proyecto VINT, mediante colaboración entre UC Berkeley, LBL, USC/ISI y Xerox PARC.

La versión del simulador, sobre la cual se han creado los distintos programas de simulación, es la NS-2.1b6. Si bien es cierto existen versiones del simulador más recientes, tales como NS 2.26 y NS 2.27, éstas todavía no incluyen librerías que permitan simular el comportamiento de una red sobre la plataforma DVB-S/RCS.

Además en versiones nuevas los agentes guardan una mayor complejidad, ya que incluyen más prestaciones que versiones anteriores, haciendo más dificultosa la labor de realizar alguna modificación en ellas o agregar nuevos elementos en sus librerías.

Vale la pena mencionar que la elección de una u otra versión, no resta de ninguna manera validez a los resultados obtenidos en las simulaciones, puesto que las prestaciones y funcionalidades básicas del simulador son las mismas independientemente de su versión.

Refiriéndonos específicamente a las simulaciones realizadas, se debe indicar que para la obtención de un resultado en particular, (por ejemplo, *throughput* del RCST, retardos desde el ISP, etc.), se ejecutó un grupo de 4 simulaciones consecutivas, cada una de ellas con una duración de 14000 segundos bajo el mismo ambiente de simulación.

La expresión “mismo ambiente de simulación” se refiere a que la configuración de los parámetros de simulación (tabla 5.2), como por ejemplo: número de RCST, ancho de banda del ISP, etc., es exactamente la misma para el grupo de cuatro simulaciones.

Se ha seleccionado este estilo de trabajo con el fin de que la población de muestras disponibles sea lo suficientemente significativa como para permitir una evaluación más valedera de la red. Obviamente los resultados obtenidos en una u otra simulación no son los mismos, pero puede notarse una tendencia clara en el comportamiento de la red, es por eso que, siempre que sea posible, los resultados serán presentados con sus respectivas desviaciones estándares e intervalos de confianza.

En la tabla 5.2 se puede observar algunos de los parámetros que han sido establecidos para llevar a cabo las simulaciones. Se debe señalar que todos los parámetros descritos anteriormente son configurables, pero para las simulaciones realizadas, ellos han permanecido fijos puesto que sus valores ya fueron definidos y justificados en el capítulo 4.

En cuanto al tiempo de simulación, éste ha sido fijado en 14000 segundos, ya que el tiempo transitorio, definido en el apartado 4.5.3, fue establecido en 3900 s. Esto implica que los datos válidos y útiles para el análisis de resultados corresponden aproximadamente a un 70% del total de la simulación.

PARÁMETRO	VALOR
Tiempo de sondeo de las colas	680 (ms)
Tiempo de simulación	14000 (s)
No. de <i>time-slots</i> /trama	18 (ver Nota)
Longitud de Multitrama	140.622 (ms)
Longitud de Trama	70.311 (ms)
No. de Tramas/Multitrama	2
No. de Portadoras RCS	2
No. de <i>time-slots</i> de tráfico (TRF)	17
No. de <i>time-slots</i> de señalización	1
No. de <i>mini-slots/slot</i> de señalización	5
No. de <i>mini-slots</i> CSYNC	3
Período del <i>slot</i> CSYNC	70.311 (ms)
Período del <i>slot</i> CSC	703.11 (ms)
Ancho de Banda <i>Outbound</i> NCC	36 Mbps
Ancho de Banda <i>Outbound</i> ISP	2 Mbps
Ancho de Banda <i>Downlink</i> DVB-RCS	36 Mbps
NOTA: 1 <i>time-slot</i> de tráfico equivale a una velocidad de transmisión RCST estándar de 385 Kbps.	

**Tabla 5.2** Parámetros de configuración de la red.

Es entonces que, en las simulaciones, básicamente, se pretende variar el número de estaciones RCST, conservando los demás parámetros de configuración fijos, y de esta manera analizar los diferentes patrones de comportamiento de la red frente al aumento del número de estaciones.

#### 5.1.4 CONSIDERACIONES DE LOS ARCHIVOS DE TRAZO

El ambiente NS brinda al usuario toda la información proveniente de la actividad de la red simulada. Esto es posible gracias a que todos los eventos ocurridos pueden ser escritos en un archivo, o conjunto de archivos, denominados archivos de trazo.

Además de los archivos de trazo típicos de NS (*out.tr*, *graph.txt*, etc.), existe la posibilidad de crear otro tipo de archivos con información más específica

de la red a través del uso de los distintos “objetos de trazo”. Es posible entonces, crear registros con información específica acerca de, por ejemplo, el retardo de todos los paquetes enviados por el ISP o por un RCST.

Puesto que los archivos mencionados anteriormente, contienen información de cada evento ocurrido en la red (que pueden llegar a ser miles), resulta muy complicado y poco práctico el trabajar directamente con ellos para analizar el comportamiento de la red.

Es por eso que ha sido implantada una tercera clase de archivos, los cuales son producto del procesamiento de los anteriores. Este tipo de archivos contendrá información en términos de valores promedio, desviaciones estándar, intervalos de confianza, etc.; de todas las magnitudes que son de interés para evaluar las prestaciones de la red.

En consecuencia, para efectos del presente proyecto, ha surgido la necesidad de crear 3 tipos de archivos de trazo, los cuales son:

- Archivos de trazo generales.
- Archivos de trazo específicos.
- Archivos de trazo de resultados.

#### **5.1.4.1 Archivos de Trazo Generales**

Se ha denominado así a aquellos archivos que contienen información general acerca de todos los eventos ocurridos en la red durante la simulación y del instante de tiempo en que ocurrieron. Suelen ser archivos demasiado grandes, en el orden de las decenas de *MBytes*, tanto que bajo ciertas condiciones no es deseable su escritura por el retardo adicional que provoca en las simulaciones.

Sin embargo, éstos han sido útiles para los primeros experimentos, (con 1 ó 2 RCST generadoras de tráfico), en donde precisamente se necesitó el registro de todos los eventos ocurridos en la red para verificar el correcto intercambio de

mensajes entre los componentes de red; por ejemplo los mensajes MAC entre un RCST y el NCC, los paquetes TCP entre el ISP y los RCST, etc.

Es así, que con este propósito fueron creados tres archivos de trazo generales, denominados: *out.tr*, *graph.txt* y *rcs.out*; cuyas características se muestran a continuación.

#### 5.1.4.1.1 Archivo de Trazo General *out.tr*

En este archivo es donde se escriben todos los eventos ocurridos en la red y el instante en el que sucedieron, tales como el encolado de un paquete en el ISP, la recepción de una petición de recursos por parte del NCC, etc.

```
OUT . TR  
+ 396.795284 3 1 NCC_RxConnSetup 180 ----- 177 3.240 5.240 -1 80  
- 396.795284 3 1 NCC_RxConnSetup 180 ----- 177 3.240 5.240 -1 80  
+ 396.795284 3 1 NCC_RxConnSetup 180 ----- 177 3.240 5.240 -1 81  
- 396.795288 3 1 NCC_RxConnSetup 180 ----- 177 3.240 5.240 -1 81  
r 396.814542 1 0 ack 1500 ----- 1000 4.27 5.27 4381 74  
+ 396.814542 0 5 ack 1500 ----- 1000 4.27 5.27 4381 74  
- 396.814542 0 5 ack 1500 ----- 1000 4.27 5.27 4381 74
```

**Figura 5.2** Ejemplo de un archivo *out.tr*.

La figura 5.2 muestra una pequeña parte de un archivo *out.tr* obtenido tras una simulación con una única estación RCST. En él se pueden observar los mensajes *NCC\_RxConnSetup* enviados por el NCC al RCST, así como también se observa una respuesta ACK por parte del ISP a una petición del RCST, por ejemplo.

Con la información presente en este archivo es posible calcular los retardos de cada uno de los paquetes generados, el *throughput* de los distintos enlaces, el porcentaje de mensajes MAC, etc. Pero como ya se mencionó anteriormente, la generación y escritura de éste puede resultar un problema especialmente en simulaciones grandes (con muchas RCSTs).

Por una parte el archivo puede llegar a ser tan grande (en el orden de 2 Gbytes para una simulación con 20 RCSTs) que supera el tamaño del *buffer* en LINUX; y por otra, el tiempo consumido en la escritura en disco incide directamente en la duración de una simulación pudiendo retardar mucho su consecución.

Para evitar este problema, en las simulaciones grandes, se prescindió del archivo *out.tr* y en su lugar se hizo uso de los objetos de trazo para tomar solo la información necesaria. Esta situación es explicada posteriormente con mayor detalle.

#### 5.1.4.1.2 Archivo de Trazo General *graph.txt*

Este archivo de trazo también contiene la información de todos los eventos ocurridos en la red, pero en un formato que solo puede ser leído y procesado por el NAM.

Dicho *software* es capaz de presentar una animación gráfica del comportamiento de la red (ver figura 5.3). Esta situación fue útil para verificar, en un principio, que el intercambio de información entre los elementos de red se comporte según lo previsto por la teoría.

Como se puede apreciar en la figura 5.3, la visualización NAM permite ver el flujo de los distintos paquetes y mensajes que cursan la red. En el ejemplo son claramente distinguibles los distintos nodos de la topología NS de la red, así como los enlaces entre ellos. Se puede notar también la presencia de paquetes TCP, ACK y de mensajes de señalización intercambiados entre el NCC y los RCST.

Al igual que *out.tr*, *graph.txt* provoca problemas con respecto al tamaño del archivo descritas anteriormente, por lo que se ha preferido prescindir de la generación de este archivo en simulaciones grandes.

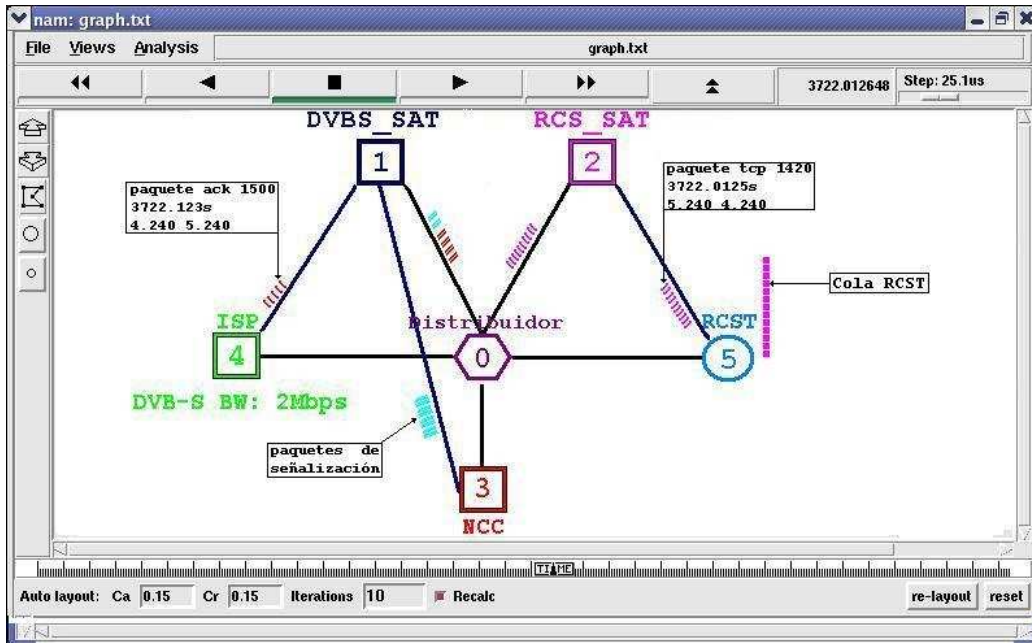


Figura 5.3 Visualización NAM de *graph.txt*.

#### 5.1.4.1.3 Archivo de Trazo General *rcs.out*

Este archivo no es típico de NS, sino que surgió de la necesidad de comprobar el correcto funcionamiento de los mecanismos de asignación de recursos y control de conexión. Para ello se permitió la escritura, en *rcs.out*, de todos los mensajes de señalización que se dan entre los terminales y el NCC.

En la figura B.2 (anexo B) se presenta un extracto del archivo *rcs.out* que se generó al realizar una simulación con una estación RCST. Se puede apreciar claramente los diferentes mensajes que se imprimen en este archivo, con los cuales se ha verificado el correcto desempeño de la asignación de recursos y control de conexión en la simulación.

Cada línea impresa inicia con una cadena de caracteres los cuales facilitan la interpretación y visualización de los mensajes. Se encontrarán 3 tipos de cadenas:

```
==RCST==  
==NCC ==  
==SRV ==
```

Así, se conoce qué tipo de nodo de la red está generando determinado mensaje. Mencionado lo anterior, se analizará de manera resumida la asignación de recursos y control de conexión para una estación RCST presente en la red.

Primeramente la estación RCST cuyo *Logon ID* es 5 (LID: 5), configura su portadora con un velocidad de transmisión de 385032 bps, una duración de trama de 70,311 ms y 18 *slots* por trama.

El siguiente mensaje indica que el NCC también configura su portadora DVB-RCS con una velocidad de transmisión de 385032 bps, 18 *slots* por trama y específica que trabajará con estaciones tipo residencial (tipo 1). Se debe notar que el número de portadoras, así como el número de *slots* por trama y el tipo de RCST son variables configurables a través del archivo *init.tcl* mencionado anteriormente.

Posteriormente, se nota que el servidor ha enviado una petición de *Logon* al NCC (Nodo destino: 3) y específicamente al puerto 240 del NCC, en donde, por medio de una asignación en el archivo *init.tcl*, éste se ha destinado como el puerto que maneje los agentes RCS. El servidor solicita además un ancho de banda de 2 Mbps a los 8.0 segundos, que también es configurable en el archivo *init.tcl*.

Como se describió en capítulos anteriores, las peticiones que envía el servidor hacia el NCC son del tipo DULM, ya sea que éstas sean generadas por el servidor propiamente dicho o que el servidor actúe como relé para las peticiones embebidas en tráfico generadas por las estaciones.

En la siguiente línea se observa que el NCC ha recibido un mensaje DULM desde el servidor (LID: 4), en donde se incluye un número para el tipo de mensaje (16) y un ancho de banda (2 Mbps). Este mensaje se recibe 250 ms después de



que el servidor envió la petición de *Logon* (8.25 segundos), este tiempo era previsible debido al retardo dado por el salto satelital.

Una vez recibido el mensaje DULM, el NCC decodifica dicho mensaje y observa que en él estaba embebida una petición de *Logon* del servidor, solicitando un ancho de banda de 2 Mbps.

Al tiempo 255.9320 s se observa que el RCST con *Logon* ID 5, envía una petición de *Logon*. El instante en que se envía esta petición es el esperado, ya que está establecido en *init.tcl* que las estaciones comiencen el proceso de *Logon* a partir de los 250 segundos, los 5.9320 segundos después de los 250 vienen dados por una variable aleatoria con distribución uniforme.

Seguidamente se observa que después de que la estación ha enviado la petición de *Logon*, ésta es recibida por el NCC en una ráfaga CSC e inmediatamente contestada.

La contestación a la ráfaga CSC se recibe después de un salto satelital por la estación, la cual inicia los procesos de sincronización, finalizando con un paquete de corrección de sincronización que es recibido por el NCC a los 256.8861 s.

Una vez recibida la corrección SYNC, se activa una bandera que revisa los recursos asignados y los recursos necesitados, si existiera una diferencia entre estos dos valores, la estación genera un mensaje informando acerca de esta diferencia. Este mensaje aparece cada vez que se monitorea el tamaño de cola BE y cuando la estación ha recibido una asignación de capacidad VBDC.

Como se puede observar en la línea siguiente, la estación monitorea el tamaño de la cola BE, indicando el número de paquetes encolados, el tamaño en *bytes* de dichos paquete (Cola) y los volúmenes necesitado, disponible y requerido. Este monitoreo se da cada 680 ms y es configurable en *init.tcl* (monitoreo en 257.1362 s, 257.8162 s, etc.).

A los 347.5376 segundos, la estación realiza una petición de capacidad inicial, a la vez que decide si dicha petición se enviará en un *slot* CSYNC o SYNC; esta decisión dependerá de que si el siguiente *slot* CSYNC se encuentra más cercano que el SYNC, en cuyo caso esperará el *slot* CSYNC

Si CSYNC y SYNC se encuentran a una misma distancia en tiempo, la estación decidirá enviar la petición en el siguiente *slot* SYNC y si el siguiente *slot* CSYNC más cercano ya se encuentra destinado a una petición, la estación la enviará en el siguiente *slot* SYNC.

En el instante en que se realiza una petición de capacidad inicial se activa una bandera que chequeará el estado de la conexión con el servidor. Como en este instante todavía no se ha solicitado conexión con el servidor, entonces se genera un mensaje de información indicando que no existe una conexión con el servidor.

Una vez que la estación haya decidido por CSYNC o SYNC para enviar su petición de capacidad, al instante 347.5473 segundos para el ejemplo, se envía la petición CSYNC solicitando 180 *bytes*. Esta petición es recibida por el NCC, informando en el respectivo mensaje en qué *slot* recibió la petición CSYNC y el volumen solicitado (180 *bytes*).

El NCC procesa la petición calculando el número de *slots* que deberá entregar a la estación solicitante. Para el ejemplo, como se solicitaron 180 *bytes* y como cada *slot* puede albergar 184 *bytes* de tráfico, se observa que con 1 *slot* se puede cubrir la necesidad de volumen de la estación. La estación recibe dicha asignación VBDC e informa que se le han asignado 184 *bytes* (correspondientes a 1 *slot*).

A los 348.1840 s se observa que el RCST hace una petición de conexión con el servidor, esta petición DULM es encaminada por el servidor hacia el NCC, el cual la recibe y la decodifica indicando que el tipo de mensaje DULM es para petición de conexión.

El NCC envía simultáneamente un PDU NCCRxConnSetup, que recibe el servidor y uno NCCTxConnSetup que recibe la estación, indicando respectivamente los nodos origen y destino para el envío de tráfico

De ahora en adelante la estación generará peticiones de capacidad indicando el ancho de banda requerido según sea lo indicado por el monitor del tamaño de la cola. En el ejemplo se hace una petición de capacidad solicitando 52 *bytes*.

Al igual que antes, se decide en qué *slot* se enviará esta petición (CSYNC o SYNC). Así también se indicará cuándo el NCC reciba la petición y cuándo se dé la asignación VBDC. El detalle completo de los mensajes implementados en *rcs.out* se encuentra en el anexo B.

Se debe señalar, que al igual que los dos archivos de trazo generales anteriormente descritos, éste es útil en la medida que se requiera verificar el comportamiento, en este caso de los mecanismos de asignación de recursos y control de conexión, por lo que una vez que se verificó el correcto funcionamiento de ellos, se procedió a eliminar la escritura de dicho archivo.

#### **5.1.4.2 Archivos de Trazo Específicos**

Los archivos de trazo específicos surgen como la solución a los problemas que se presentan con la escritura de aquellos archivos de trazo general, los cuales fueron revisados en la sección anterior.

La información presente en este tipo de archivos es producto del procesamiento de ciertos datos específicos obtenidos de las simulaciones a través del uso de los objetos de trazo y de los objetos de monitoreo (monitores de cola y de retardo).

Con los objetos de trazo y de monitoreo es posible obtener un registro de todos los eventos sucedidos en un enlace específico. Por ejemplo se puede

determinar el tiempo que un paquete TCP estuvo encolado antes de ser transmitido, el instante exacto en que un ACK llegó al RCST, el número de paquetes desencolados por el ISP en un período de tiempo determinado, etc.

Siguiendo esta línea de trabajo, resulta relativamente fácil el cálculo del retardo de los paquetes de tráfico y el *throughput* en los distintos enlaces presentes (ver figura 5.4). Simplemente habrá que procesar, con un *software* adicional, la información provista por los monitores y objetos de trazo mencionados anteriormente.

Cabe indicar que la inclusión del trabajo de los monitores no agrega tiempo de simulación, ni tampoco el procesamiento de los datos que de ellos se derivan, ya que, por ejemplo, el cálculo del *throughput* y del retardo es paralelo al proceso de simulación.

Es así que han sido creados dos tipos de archivos de trazo específicos:

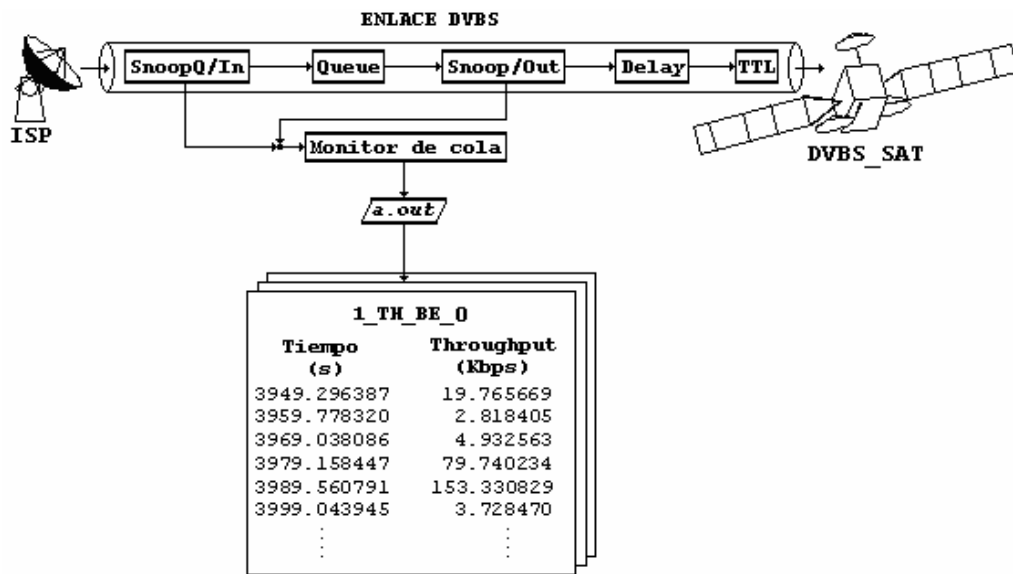
- Archivos de trazo específicos de *throughput*
- Archivos de trazo específicos de retardo

#### 5.1.4.2.1 Archivos de Trazo Específicos de Throughput

La información generada por el monitor de colas es procesada por el programa *a.out*, tal como lo ilustra la figura 5.4, el mismo que está escrito en lenguaje C++ y cuya estructura se la puede revisar en el anexo C.

Los resultados obtenidos tras la ejecución de *a.out* constituyen la información presente en este tipo de archivos de trazo. Básicamente estos archivos contienen el *throughput* calculado en intervalos de 10 segundos en un enlace determinado de la red.

La figura 5.4 muestra el esquema general de cómo, a través del monitor de colas y del programa *a.out*, es posible generar un archivo que contenga los valores de *throughput* correspondientes, por ejemplo, al enlace DVB-S entre el ISP y el Satélite (llamado DVBS\_SAT en la topología NS).



**Figura 5.4** Esquema de obtención de los archivos de *throughput*.

Como se puede observar en la figura 5.4, el archivo generado presenta 2 columnas. La primera corresponde al tiempo en el que se imprimió el valor del *throughput*, debiendo estar claro que esto sucede cada 10 segundos. La segunda presenta el valor del *throughput* en Kbps calculado durante los 10 segundos que le preceden al instante impreso en la columna de la izquierda.

El nombre del archivo, que para el ejemplo es *1\_TH\_BE\_0*, sigue el formato descrito en el anexo B. Entonces, según se explica en dicho anexo, el archivo corresponde a la primera simulación (número de simulación = 1) y contiene el cálculo del *throughput* del ISP (número de nodo = 0).

5.1.4.2.2 Archivos de Trazo Específicos de Retardos

Este tipo de archivos se vale de los objetos de trazo presentes en los distintos enlaces de la red para medir el retardo de los paquetes que cursan un enlace determinado.

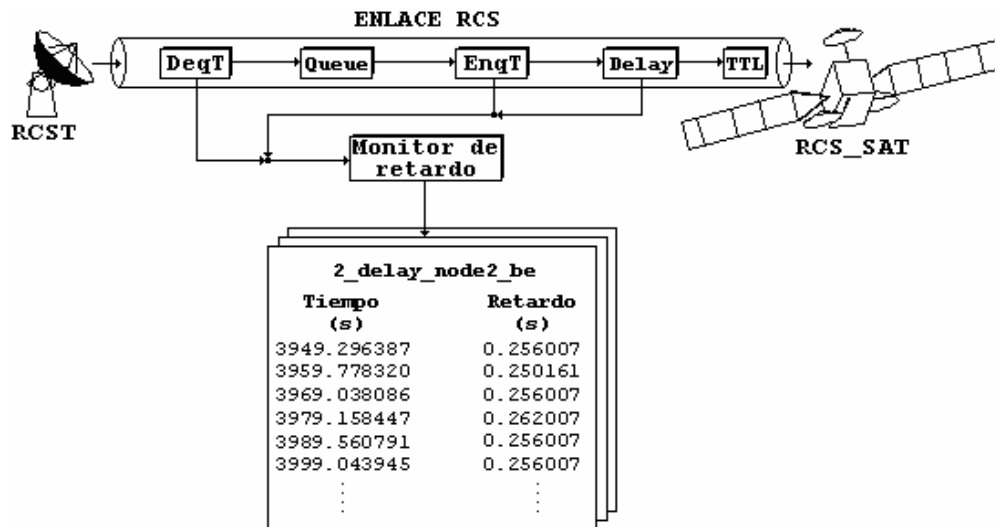


Figura 5.5 Esquema de obtención de los archivos de retardos.

La figura 5.5 muestra claramente el procedimiento por el cual los retardos de los paquetes generados por un RCST se imprimen en un archivo denominado, para el ejemplo, 2\_delay\_node2\_be.

Se puede notar también en la figura que el monitor de retardo concentra toda la información acerca de los paquetes generados por un nodo (en este caso un RCST) en un extremo de un enlace determinado (para el ejemplo se trata del enlace RCS entre un RCST y el RCS\_SAT).

De esta manera el monitor, sin ayuda de un *software* adicional, puede calcular el retardo de un paquete desde que es encolado por la fuente hasta que finalmente llega a su destino. Los registros de tiempo generados en este proceso se guardan en un archivo específico de retardo como el que se aprecia en el recuadro de la figura 5.5.

La sintaxis del nombre del archivo, al igual que en el caso anterior, se puede revisar en el anexo B. Tenemos entonces que, según dicho anexo, `2_delay_node2_be` hace referencia al archivo que contiene los retardos de todos los paquetes enviados por el RCST (número de nodo 2) durante la segunda simulación (número de simulación 2).

### 5.1.4.3 Archivos de Trazo de Resultados

Los archivos de resultados, como su nombre lo indica, son aquellos en donde se muestran los resultados obtenidos al procesar los archivos de trazo específicos.

Los resultados están dados en términos de valores promedios, porcentajes (para el caso de la señalización), desviaciones estándar e intervalos de confianza, los cuales han sido calculados con la ayuda del programa `throughput.tcl`, tal como se ilustra en la figura 5.6. Dicho programa es un `tcl` cuya estructura se presenta en el anexo C.

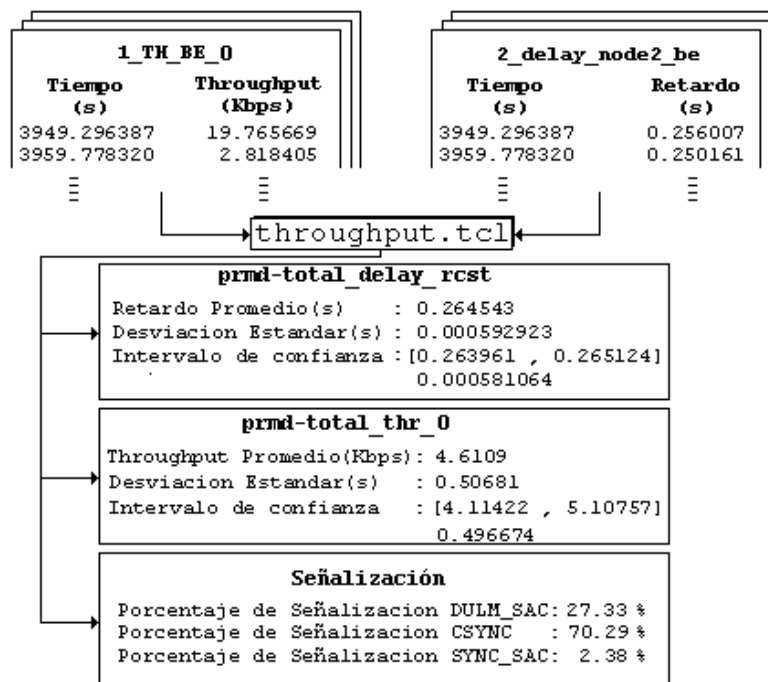


Figura 5.6 Esquema de obtención de los archivos de resultados.

Los archivos de resultados son de tres tipos, tal como se muestra en la figura 5.6, los cuales se explican a continuación:

- El primero contiene el promedio, desviación estándar e intervalo de confianza del retardo experimentado por todos los paquetes generados, para el ejemplo, en el RCST.
- El segundo tipo de archivo contiene el promedio, desviación estándar e intervalo de confianza del *throughput* de una estación determinada, que para el ejemplo se trata del ISP (referirse al anexo B para verificar la sintaxis de los nombres usados).
- Por último, se tiene el archivo que guarda los porcentajes de utilización de los distintos métodos de envío de mensajes MAC que tienen a disposición los RCST para realizar peticiones de capacidad.

## 5.2 EVALUACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE RED

En esta sección se pretende evaluar las prestaciones del modelo de simulación de red implantado. Para esto se han realizado una serie de simulaciones o experimentos variando ciertas características tales como el número de RCST, el tipo de asignación de recursos, entre otras (referirse al anexo B para revisar cómo se pone en marcha una simulación).

Como ya se ha mencionado anteriormente se evaluarán aspectos tales como el caudal o *throughput* generado por los nodos, los retardos asociados al tráfico BE de cada estación, etc.

La evaluación de tales aspectos permitirá verificar la implantación del modelo de red y de usuario, más específicamente, la correcta implementación de los nodos satelitales RCST, los modelos de tráfico utilizados, y los mecanismos de asignación de recursos y control de conexión.



Los distintos experimentos que se mostrarán en esta sección tienen la característica de que las cargas de los usuarios están de acuerdo a la segunda zona horaria dentro de las horas pico, siguiendo los parámetros descritos en la tabla 5.1.

### **1<sup>er</sup> Experimento**

Este primer experimento consta de un único RCST activo, es decir con 30 usuarios WEB domésticos. El escenario y la topología de la red simulada para este experimento están de acuerdo a lo descrito en las secciones 5.1.1 y 5.1.2 respectivamente.

Se debe mencionar además, que para esta primera simulación se ha activado la asignación de recursos disponibles FCA. Los resultados obtenidos bajo estas condiciones se presentan en la tabla 5.3.

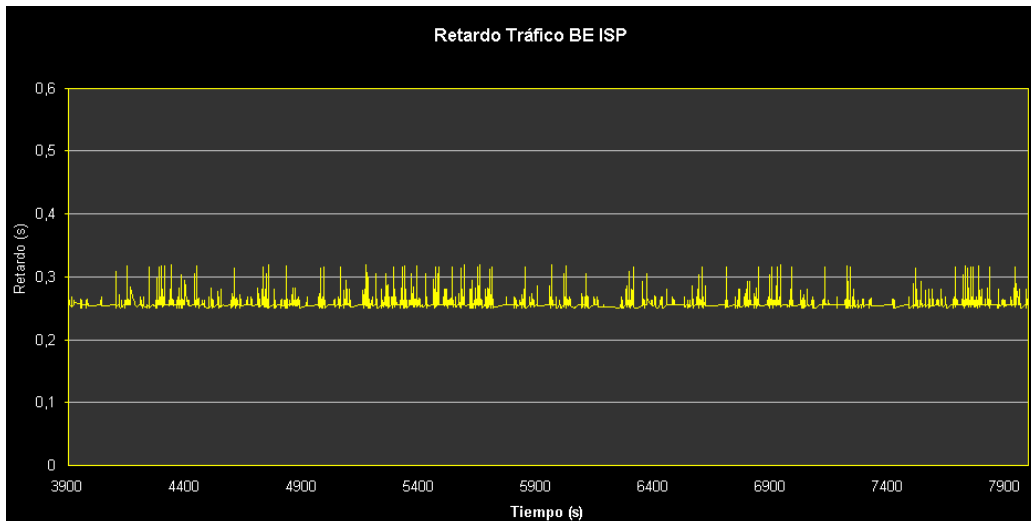
Parámetro evaluado	Media	Desviación Estándar	Intervalo de confianza (95%)
Retardo tráfico BE desde el RCST (s)	0,300	1,569 E-03	±1,538 E-03
Retardo tráfico BE desde el servidor (s)	0,265	0,592 E-03	±0,581E-03
<i>Throughput</i> de BE desde el RCST (kbps)	4,611	0,507	±0,497
<i>Throughput</i> de BE desde el ISP (kbps)	131,701	23,839	±23,363
Peticiones de capacidad DULM (%)	3,67	--	--
Peticiones de capacidad SYNC (%)	2,44	--	--
Peticiones de capacidad CSYNC (%)	93,89	--	--

**Tabla 5.3** Prestaciones del escenario residencial (1 RCST - FCA activado).

De los resultados presentados en la tabla 5.3, puede notarse a primera vista la asimetría del caudal de tráfico de navegación Web. De la misma manera se puede notar que el principal componente de los retardos en los paquetes generados por el ISP corresponde al retardo de propagación ( $\approx 250$  ms), tal como puede observarse en la tabla 5.3 y en la figura 5.7.

El retardo medio teórico para el tráfico generado desde el ISP podría calcularse empleando la siguiente expresión:

$$R_{ISP} = R_{prop} + R_{Tx} \quad (5.1)$$



**Figura 5.7** Retardo de tráfico BE desde el ISP (FCA - activado).

Donde  $R_{prop}$  corresponde al retardo de propagación ( $\approx 250$  ms) y  $R_{Tx}$  es el retardo de transmisión ( $\approx 3$  ms, tiempo de transmisión de un paquete MPEG).

De esta forma el valor del retardo medio teórico para el tráfico generado por el ISP es de aproximadamente 253 ms, valor que es muy similar al retardo que se presentan en la tabla 5.3. Esta situación se justifica ya que el servidor cuenta con su propia portadora DVB-S y no requiere de un tiempo adicional para acceder al medio de transmisión, ni de esperar la asignación de recursos desde el NCC.

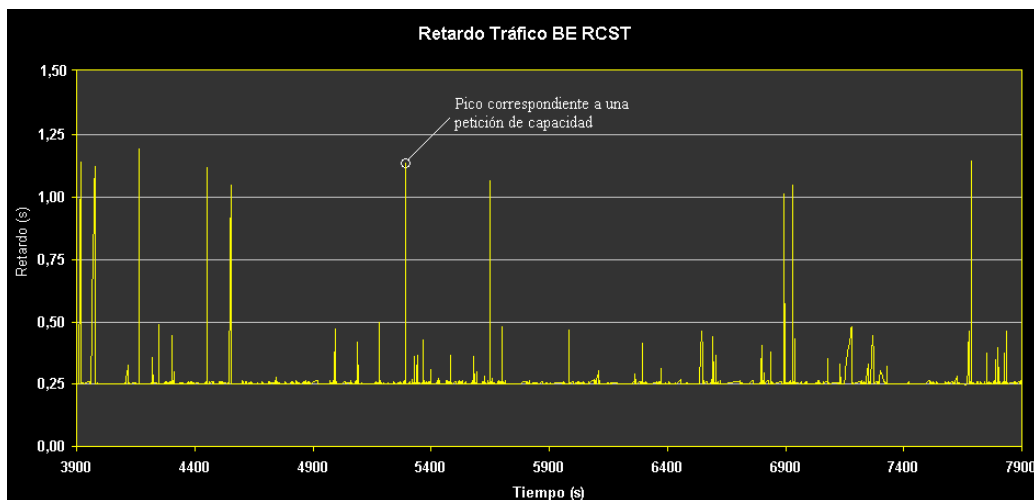
Por otra parte se puede observar que el retardo en el tráfico BE desde el RCST se mantiene relativamente bajo ( $\approx 300$  ms). Esta situación se justifica porque el sistema es capaz de asignar toda la capacidad disponible (FCA) de la portadora estándar a la estación RCST, ya que no existen otros terminales compitiendo por los recursos. De esta manera el RCST no se ve obligado a

realizar siempre una petición de recursos, situación que elevaría los retardos significativamente y que será revisada más tarde en el segundo experimento.

El retardo medio teórico para el tráfico generado por el RCST puede ser calculado según la siguiente ecuación:

$$R_{RCST} = R_{prop} + R_{Tx} + R_{At} \quad (5.2)$$

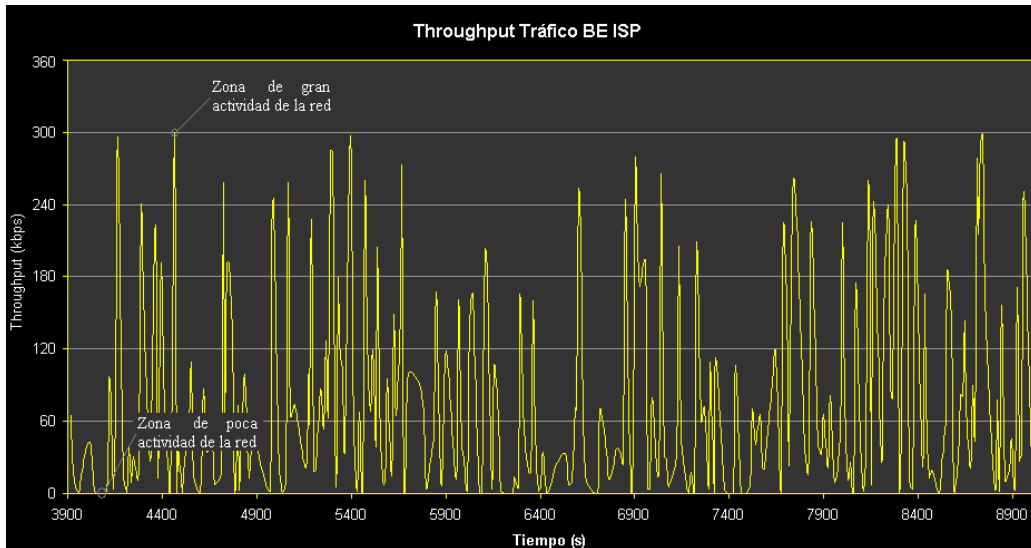
Donde,  $R_{prop}$  es el retardo de propagación ( $\approx 250$  ms),  $R_{Tx}$  es el retardo de transmisión ( $\approx 3$  ms) y  $R_{At}$  es el retardo medio de acceso a la trama TDMA ( $\approx 35$  ms, longitud de la trama de 70,311ms). Es así que el retardo medio teórico para el tráfico generado por una RCST debería ser de aproximadamente 288 ms, valor que es muy similar a los 300 ms obtenidos en la simulación.



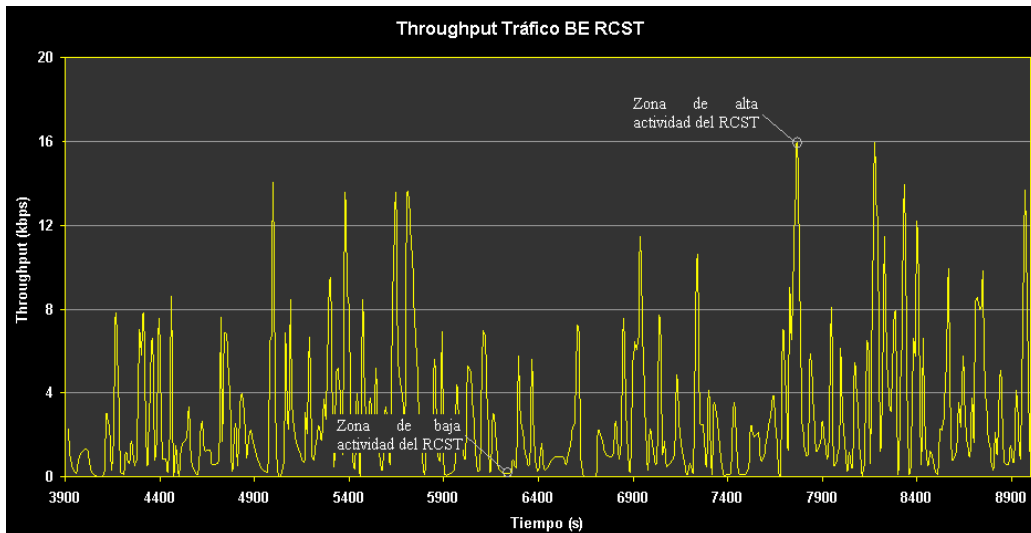
**Figura 5.8** Retardo de tráfico BE desde el RCST (FCA - activado).

La pequeña diferencia de 12 ms presente entre el valor teórico y el obtenido de la simulación se debe a que no siempre la RCST depende de la asignación de capacidad disponible FCA proporcionada por el NCC. Como se puede observar en la figura 5.8 la estación ha realizado algunas peticiones de

capacidad (que corresponden a los picos), y es el retardo asociado a ellas que se refleja en los 12 ms antes señalados.



**Figura 5.9** Throughput de tráfico BE desde el ISP (FCA - activado).



**Figura 5.10** Throughput de tráfico BE desde el RCST (FCA - activado).

En cuanto al *throughput*, como ya se mencionó anteriormente, se puede notar una marcada diferencia entre aquel generado por el ISP y el generado por la

estación RCST. Las figuras 5.9 y 5.10 muestran las gráficas de evolución del *throughput* para el ISP y el RCST respectivamente.

Dichas figuras ilustran dos características importantes para el tráfico de BE. La primera y más evidente, es la naturaleza a ráfagas de este tipo de tráfico, situación que es mostrada en las figuras en donde se han señalado las zonas de mayor y menor actividad de la red.

Por otra parte, al fijarse en las escalas verticales, se puede notar otra de las características importantes del tráfico BE, la cual es la gran asimetría en los flujos de ida y de regreso. Es así que el *throughput* para el tráfico que envía el ISP ( $\approx 131,7$  Kbps en promedio) frente al de la RCST ( $\approx 4,611$  Kbps en promedio) guarda una relación de 28 a 1 aproximadamente.

En este punto se ha verificado, aquello dicho en capítulos anteriores, que el canal de retorno para tráfico asimétrico no es tan crítico como el canal de ida; es por eso que en lo posterior, y cuando se revisen las condiciones de saturación del sistema, se analizará el *outbound* del ISP, ya que éste es más susceptible a la saturación, tal y como se puede deducir de estos primeros resultados obtenidos.

Refiriéndose a la utilización de los mensajes MAC, se puede anotar que para este experimento, en el que la característica FCA está activa, la generación de mensaje de peticiones de capacidad por parte del RCST es mínima, situación que se puede apreciar en la figura 5.8.

En dicha figura se puede observar que los picos, los cuales representan el retardo generado por un mensaje de petición de capacidad, son escasos, con lo que se puede concluir que el RCST envía su tráfico, en la mayoría de los casos, sin hacer una petición de capacidad previa.

Sin embargo, en la tabla 5.3 constan los porcentajes de utilización de los pocos mensajes MAC utilizados por la estación durante la simulación. Se puede

observar que casi la totalidad de peticiones que realiza la estación se envían en ráfagas de sincronización en contienda CSYNC.

Las ráfagas CSYNC llegan en un solo salto de satélite al NCC y son las ráfagas de tráfico DULM las que utilizan un doble salto de satélite, pero que debido a las características a ráfagas y al poco tráfico BE que genera la estación RCST, estas peticiones apenas constituyen algo más que el 3% del total de peticiones de capacidad que llegan al NCC.

Las peticiones de recursos basadas en volumen que realizan las estaciones no utilizan ningún tipo de algoritmo predictivo, es decir, una petición adicional de recursos a la ocupación real de las colas [1]. El efecto de un algoritmo de estas características sería mínimo en este escenario como puede verse en el porcentaje de peticiones DULM.

Una petición embebida en una ráfaga de tráfico solamente se envía cuando los recursos asignados no son suficientes para cursar la necesidad actual de las colas asociadas, es decir, cuando la estación ha recibido una ráfaga de tráfico mientras se encuentra despachando el tráfico correspondiente a una ráfaga anterior para la que ya existen recursos asignados. Esto ocurre de forma poco frecuente y por tanto solicitar un mayor número de recursos a los necesarios casi no tendría efecto en los retardos del tráfico BE para el escenario dado.

Por su parte el bajo porcentaje de peticiones SYNC ( $\approx 2,44\%$ ) se puede explicar del hecho que el período de las ranuras CSYNC es muy bajo (la mitad que para SYNC), y por lo tanto la estación prefiere enviar sus peticiones en contienda a través de las miniranuras CSYNC.

## **2<sup>do</sup> Experimento**

Para comprobar el efecto que tiene la asignación de capacidad disponible FCA sobre el desempeño del sistema, en la tabla 5.4 se presentan los resultados de otro experimento con la misma configuración que el primero, pero en esta

ocasión el NCC no asignará la capacidad no utilizada de la portadora a la estación RCST (FCA desactivado).

Parámetro evaluado	Media	Desviación Estándar	Intervalo de confianza (95%)
Retardo tráfico BE desde el RCST (s)	1,451	2,278 E-02	±2,233 E-02
Retardo tráfico BE desde el servidor (s)	0,302	3,886 E-03	±3,809 E-03
Throughput de BE desde el RCST (kbps)	3,863	0,487	±0,477
Throughput de BE desde el servidor (kbps)	114,431	18,796	±18,42
Peticiones de capacidad DULM (%)	27,33	--	--
Peticiones de capacidad SYNC (%)	2,38	--	--
Peticiones de capacidad CSYNC (%)	70,29	--	--

**Tabla 5.4** Prestaciones del escenario residencial (1 RCST - FCA desactivado).

Observando los resultados en la tabla 5.4 resulta evidente el aumento sobre los retardos para el tráfico BE al deshabilitar la asignación FCA. La comparativa mostrada en este experimento permitirá por una parte validar la funcionalidad FCA del sistema, y por otra, mostrar su efecto sobre los retardos del tráfico asociado a un RCST.

Los resultados de este experimento muestran el incremento en el valor del retardo medio del tráfico BE con relación al experimento anterior. Esta situación se justifica en el hecho de que la estación RCST se ve forzada a realizar peticiones de capacidad antes de enviar tráfico; situación que era previsible tomando en cuenta que la asignación FCA se encuentra deshabilitada.

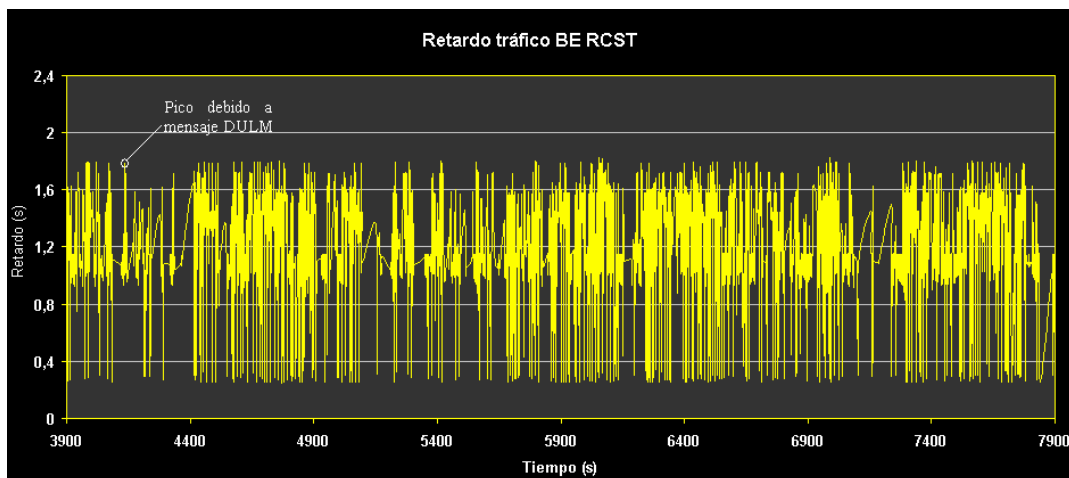
De esta forma el tráfico generado por la estación RCST tendrá que esperar la petición de recursos y respuesta de la misma antes de poder ser transmitido, de allí el aumento en el retardo de los paquetes debido al encolamiento.

Las peticiones basadas en volumen VBDC que la RCST se ve obligada a realizar, al menos toman dos saltos de satélite en la petición y respuesta de la misma, para finalmente utilizar un último salto hasta llegar al ISP. A estos retardos

habría que añadir: tiempo medio de sondeo de las colas de BE antes de realizar la petición (680/2 ms), tiempo medio de acceso a la ráfaga de sincronización en contienda (70,311/2 ms) y el tiempo medio de retardo por asignación de TBTP (140,622/2 ms).

En resumen, un paquete BE que se genera en una estación que no tiene ranuras de tráfico asignadas tendría un retardo teórico medio aproximado de:  $3(250 \text{ ms}) + 340 \text{ ms} + 35 \text{ ms} + 70,311 \text{ ms} = 1195 \text{ ms}$ .

Comparando este valor con el obtenido en la simulación (1451 ms), se nota que existe una diferencia de unos 250 ms aproximadamente. Esta diferencia es justificable, puesto que existe un porcentaje considerable de peticiones DULM (27,33%) realizadas por el RCST durante la simulación. Este último hecho indica que la estación cuenta con ráfagas de tráfico TRF en una buena parte de las ocasiones en las que debe realizar una solicitud de recursos.



**Figura 5.11** Retardo de tráfico BE desde el RCST (FCA - desactivado).

Los mensajes de señalización DULM necesitan tres saltos de satélite para el envío y respuesta de una petición de recursos (RCST → ISP → NCC → RCST = 750 ms), es decir 250 ms más que una petición en ranuras SYNC o CSYNC. Consecuentemente, en promedio un paquete enviado como resultado de una

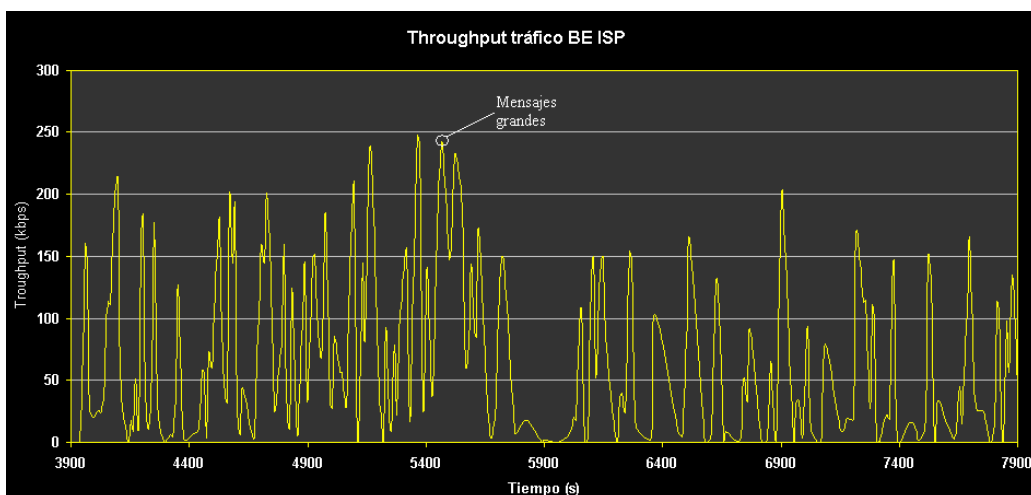


petición DULM tardaría en llegar al ISP aproximadamente  $1195 \text{ ms} + 250 \text{ ms} = 1445 \text{ ms}$ .

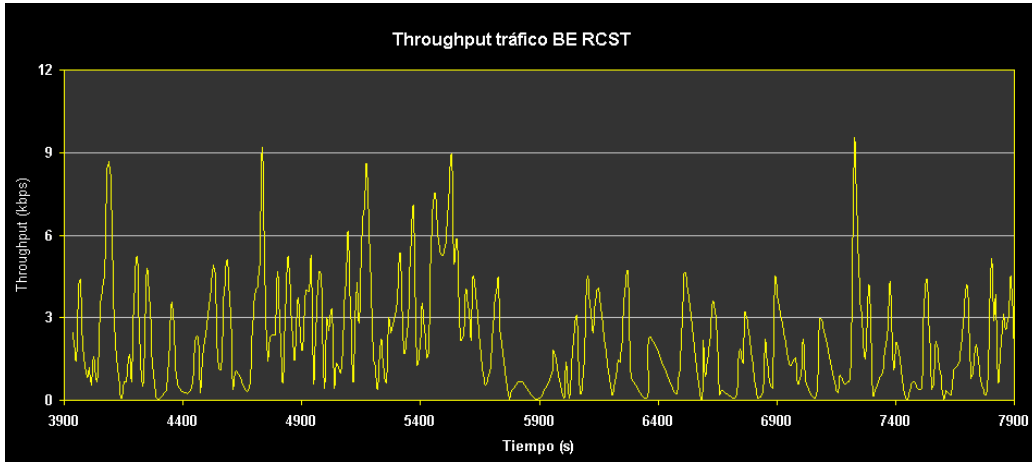
Este último valor es muy similar al de la tabla 5.4, lo que indica la gran influencia sobre el retardo que ejerce el envío de mensajes DULM para peticiones de capacidad. Lo anterior puede ser apreciado más claramente en la figura 5.11, en donde los picos de retardo corresponden precisamente al retardo asociado al envío de mensajes DULM por parte del RCST.

En cuanto al incremento en el retardo de los paquetes de tráfico generados desde el ISP se puede decir que guarda relación directa con el incremento del retardo del tráfico de la RCST. Esto es debido a que la interacción ISP  $\rightarrow$  RCST se da a través del protocolo TCP, por lo que en la comunicación se esperan acuses de recibo.

Por esta razón, si la estación demora en enviar un ACK, debido a que está esperando la respuesta a su petición de capacidad, es de suponer que el ISP aguarde la llegada de ese ACK antes de enviar su próxima ráfaga de tráfico; esta situación incrementa el tiempo de encolamiento del paquete en el servidor y por consiguiente el retardo de su tráfico.



**Figura 5.12** *Throughput* de tráfico BE desde el ISP (FCA - desactivado).



**Figura 5.13** *Throughput* de tráfico BE desde el RCST (FCA - desactivado).

Respecto a los valores del *throughput* obtenidos en este experimento (ver figuras 5.12 y 5.13), se puede anotar que son similares a los del primero si se considera la aleatoriedad del modelo de tráfico utilizado y las grandes desviaciones de los parámetros configurados en ellos (referirse a la tabla 4.11 para comprobar dichas desviaciones).

El valor promedio teórico para el *throughput* generado por el ISP, según el modelo de tráfico descrito en la sección 4.6.1.4 puede calcularse usando la siguiente expresión:

$$Thr = \frac{N_{KS} \times \lambda_{WS} \times T_{TM}}{T_T} \quad (5.3)$$

Donde,  $N_{KS}$  representa el número de Kbits por sesión Web,  $\lambda_{WS}$  es el número de sesiones por minuto generadas durante la hora pico (0,49 sesiones/minuto),  $T_{TM}$  es el número total de minutos transcurridos (de 17:00 a 24:00 = 420 min) y  $T_T$  es el tiempo total en segundos (7 horas = 25200 s). Los valores anotados para  $\lambda_{WS}$ ,  $T_{TM}$  y  $T_T$  son tomados de la tabla 5.1. De la sección 4.6.1.4 se tiene a su vez que:

$$N_{KS} = (N_{WWW} \times O_{WWW} + M_{WWW} + R_{WWW}) \times X_{WWW} \times 8 \quad (5.4)$$

$$N_{KS} = (5,55 \times 7,7KB + 10KB + 0,36KB) \times 25 \times 8$$

$$N_{KS} = 10619Kbits / sesión$$

Remplazando los valores obtenidos de  $N_{KS}$ ,  $\lambda_{WS}$ ,  $T_{TM}$  y  $T_T$  en la ecuación 5.3 se tiene que:

$$Thr = \frac{10619Kbits / sesión \times 0,49sesiones / min \times 420 min}{25200s}$$

$$Thr_{ISP} = 87,72Kbps$$

Si se compara este valor teórico (87,72 Kbps) con el obtenido en la simulación (114,43 Kbps) podemos notar que son muy próximos considerando las grandes desviaciones presentes en el modelo (ver tabla 4.12), con lo que queda validada la implantación del modelo de tráfico para el ISP.

De la misma manera, el *throughput* promedio para el tráfico generado por un RCST viene dado por la ecuación 5.3, pero el valor de  $N_{KS}$  en este caso es de 50 Kbytes = 400 Kbits/sesión (referirse a la sección 4.6.1.4 para verificar este valor). Entonces se tiene que:

$$Thr = \frac{400Kbits / sesión \times 0,49sesiones / min \times 420 min}{25200s}$$

$$Thr_{RCST} = 3,27Kbps$$

La similitud en el valor del *throughput* del RCST teórico con el de simulación (3,863 Kbps) permite verificar, una vez más, la correcta implementación de los modelos de tráfico de usuario, así como del escenario residencial de simulación.

Se debe mencionar que, una vez verificados los efectos que la asignación de capacidad disponible FCA ejercen sobre los retardos de los paquetes que cursan la red, el resto de simulaciones mantendrán activa esta característica.

### **3<sup>er</sup> Experimento**

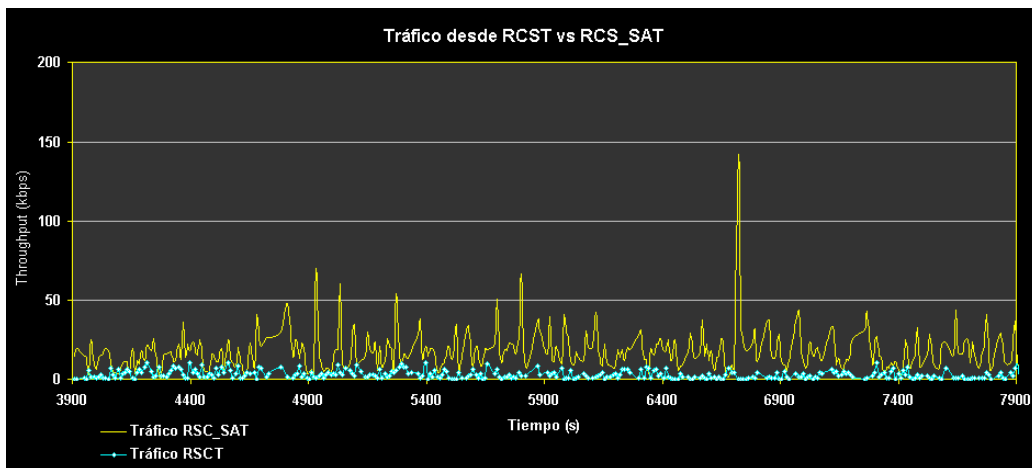
En este tercer experimento, se ha dado el primer paso en la búsqueda de los efectos que conllevan la inclusión de un mayor número de terminales en el sistema. Es así que para esta simulación se ha aumentado el número de estaciones RCST a 6, lo que equivale a un total de 180 usuarios de navegación Web. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.5.

Como se puede observar en esta tabla, existe un ligero incremento, de unos 10 ms, en los retardos del tráfico del RCST y del Servidor si se los compara con lo valores obtenidos en el primer experimento (ver tabla 5.3). Esta situación no es extraña, puesto que al haber más de una estación, los recursos de la red deben ser compartidos, por tanto el tiempo de espera a una ranura TRF libre puede incrementarse un poco.

<b>Parámetro evaluado</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Intervalo de confianza (95%)</b>
Retardo tráfico BE desde el RCST (s)	0,311	2,407 E-03	±2,359 E-03
Retardo tráfico BE desde el servidor (s)	0,278	2,428 E-03	±2,379 E-03
<i>Throughput</i> de BE desde el RCST (kbps)	4,073	0,253	±0,248
<i>Throughput</i> de BE desde el RCST_SAT (kbps)	21,157	1,312	1,286
<i>Throughput</i> de BE desde el servidor (kbps)	604,386	39,185	±38,401
Peticiones de capacidad DULM (%)	18,42	--	--
Peticiones de capacidad SYNC (%)	2,64	--	--
Peticiones de capacidad CSYNC (%)	78,94	--	--

**Tabla 5.5** Prestaciones del escenario residencial (6 RCST).

En cuanto al caudal de tráfico en el canal *outbound* del ISP, resulta evidente que ha sufrido un incremento substancial. Una vez más, esta situación es normal puesto que ahora el servidor debe atender a 6 RCST (180 usuarios Web) en lugar de una sola.



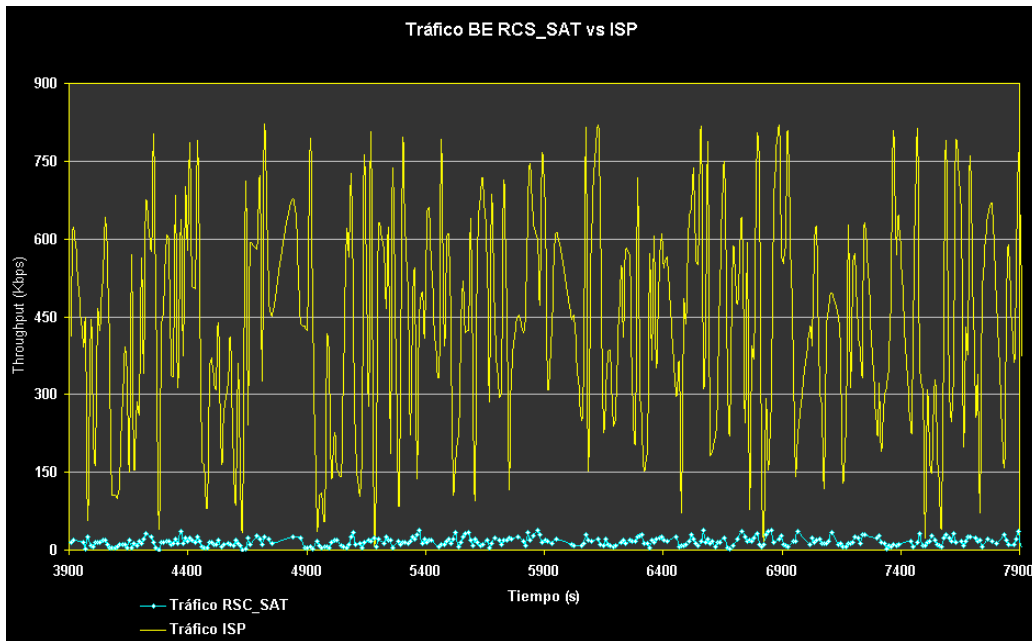
**Figura 5.14** Comparación entre el *throughput* de un RCST y el del RCS\_SAT.

Cabe indicar que en la tabla de prestaciones, se ha incluido el *throughput* del nodo RCS\_SAT, el cual concentra los paquetes provenientes de todos los RCST que componen el sistema, en este caso 6. Con este dato se puede evaluar el rendimiento de todo el canal de retorno y no sólo el de una RCST individual.

Es así que se puede observar que el *throughput* para el RCS\_SAT, es mucho mayor que el de la RCST individual tal y como lo ilustra la figura 5.14, esto es porque, como ya se mencionó, el RCS\_SAT concentra el tráfico de todos los RCSTs del sistema.

A pesar de la presencia de las 6 estaciones, se puede notar que el *throughput* del canal RCS se mantiene bajo (21,15 Kbps), con lo que se puede prever que será muy difícil llegar a saturarlo. Esto es debido a la gran asimetría del tráfico BE característico de Internet, en el cual el tráfico de subida de un usuario Web es considerablemente menor que el de bajada, tal y como se lo puede apreciar en los resultados de la tabla 5.5 y en la figura 5.15.

En cuanto a los mensajes de señalización, se puede notar que el porcentaje de utilización de DULM ha aumentado significativamente respecto al primer experimento. Esto se debe a que las ranuras en contienda CSYNC son compartidas por más estaciones, haciendo menos probable que un RCST determinado gane dicha ranura para realizar su petición de capacidad.



**Figura 5.15** Comparación entre el *throughput* del ISP el del RCS\_SAT.

Es por eso que las estaciones, al no poder acceder fácilmente a una ranura CSYNC, prefieren utilizar sus propias ranuras TRF asignadas para realizar sus peticiones de capacidad. Esta situación contribuye al incremento en el retardo de los paquetes generados por una RCST.

Se debe señalar también que el porcentaje de utilización de mensajes SYNC continua manteniéndose en niveles muy bajos (2,84%). Este hecho, que ya fue explicado anteriormente, se debe a que la periodicidad de las ranuras de sincronización SYNC es muy baja, y por eso las estaciones prefieren, en la mayoría de los casos realizar sus peticiones de capacidad a través de contienda CSYNC o usando el método DULM.

### 5.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y SATURACIÓN

En esta sección se muestra el análisis de las prestaciones del sistema y su sensibilidad respecto al número de usuarios. Para el análisis de la saturación del sistema se ha utilizado el escenario de simulación descrito en la sección 5.1.1, con los valores medios del número de sesiones simultáneas durante la hora cargada o pico y con un ISP cuyo *outbound* es de 2 Mbps.

Es así que se han conseguido una serie de simulaciones aumentando cada vez más el número de estaciones en el sistema. De esta forma se pretende encontrar los puntos de saturación de la red; es decir aquellos instantes en los cuales el *throughput* generado por el ISP alcanza los niveles máximos de la capacidad de su canal de difusión.

Justamente bajo estas condiciones se analizará la incidencia que la saturación tiene sobre, por ejemplo, los retardos de los paquetes que cursan la red. Todos estos datos permitirán más tarde, analizar la factibilidad de la implementación del sistema en nuestro medio, permitiendo predecir la carga máxima de clientes RCST que un ISP podría manejar contratando un ancho de banda satelital determinado.

Parámetro evaluado	Media	Desviación Estándar	Intervalo de confianza (95%)
Retardo tráfico BE desde el RCST (s)	0,319	1,679 E-03	±1,646 E-03
Retardo tráfico BE desde el servidor (s)	0,287	1,614 E-03	±1,581 E-03
<i>Throughput</i> de BE desde RCS_SAT (kbps)	28,494	0,781	±0,765
<i>Throughput</i> de BE desde el servidor (kbps)	824,45	26,724	±26,189
Peticiones de capacidad DULM (%)	23,29	--	--
Peticiones de capacidad SYNC (%)	2,81	--	--
Peticiones de capacidad CSYNC (%)	73,90	--	--

**Tabla 5.6** Prestaciones del escenario residencial (8 RCST – 240 usuarios).

Con este propósito, en las tablas 5.6 y 5.7 se presentan los resultados de las prestaciones de la red, en un escenario con una carga de 8 y 10 RCST respectivamente.

Parámetro evaluado	Media	Desviación Estándar	Intervalo de confianza (95%)
Retardo tráfico BE desde el RCST (s)	0,328	2,280 E-03	±2,234 E-03
Retardo tráfico BE desde el servidor (s)	0,303	4,914 E-03	±4,816 E-03
<i>Throughput</i> de BE desde RCS_SAT (kbps)	35,457	1,212	±1,187
<i>Throughput</i> de BE desde el servidor (kbps)	1015,970	32,954	±32,295
Peticiones de capacidad DULM (%)	27,47	--	--
Peticiones de capacidad SYNC (%)	2,46	--	--
Peticiones de capacidad CSYNC (%)	70,07	--	--

**Tabla 5.7** Prestaciones del escenario residencial (10 RCST – 300 usuarios).

Analizando las tablas anteriores, se puede notar incrementos tanto en los *throughputs* como en los retardos en los distintos nodos. Si se refiere a los retardos, el incremento experimentado, como puede notarse es mínimo ( $\approx 10\text{ms}$ ), pero marca una tendencia casi lineal en su aumento con respecto al número de estaciones.

El aumento del *throughput* conserva la tendencia, también lineal, de incrementarse, para el caso del ISP, en 100 Kbps por cada estación presente en el sistema. De la misma manera ocurre para el canal RCS en donde cada estación parece ocupar aproximadamente 4 kbps del total de la capacidad de dicho canal.

En lo que se refiere a los mensajes de señalización, se puede observar una clara inclinación al aumento de la utilización de los mensajes DULM. Esta situación era previsible y tiene su justificación en el hecho, anteriormente señalado, de que existe un número limitado de ranuras CSYNC y muchas estaciones compitiendo por ellas, además de que las ranuras SYNC tienen un período de aparición muy grande.



En este punto es posible predecir el número máximo de estaciones que un ISP con 2 Mbps de *outbound* sería capaz de soportar. Sin embargo, se ha obtenido este valor directamente de los resultados arrojados por los siguientes experimentos.

Parámetro evaluado	Media	Desviación Estándar	Intervalo de confianza (95%)
Retardo tráfico BE desde el RCST (s)	0,3562	7,106 E-03	±6,964 E-03
Retardo tráfico BE desde el servidor (s)	0,5564	0,1361	±0,1334
<i>Throughput</i> de BE desde RCS_SAT (kbps)	56,134	2,9802	±2,9206
<i>Throughput</i> de BE desde el servidor (kbps)	1581,970	65,95	±64,631
Peticiones de capacidad DULM (%)	32,12	--	--
Peticiones de capacidad SYNC (%)	2,61	--	--
Peticiones de capacidad CSYNC (%)	65,28	--	--

**Tabla 5.8** Prestaciones del escenario residencial (16 RCST – 480 usuarios).

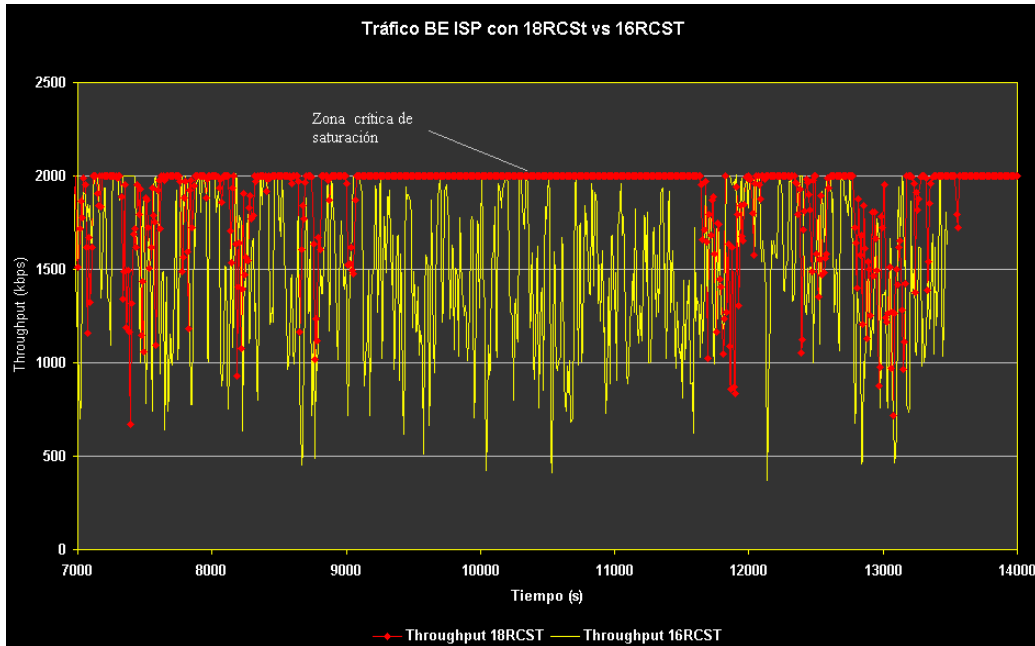
Parámetro evaluado	Media	Desviación Estándar	Intervalo de confianza (95%)
Retardo tráfico BE desde el RCST (s)	0,373	5,236 E-02	±5,127 E-02
Retardo tráfico BE desde el servidor (s)	1,249	0,254	±0,231
<i>Throughput</i> de BE desde RCS_SAT (kbps)	56,134	2,9802	±2,9206
<i>Throughput</i> de BE desde el servidor (kbps)	1792,52	78,45	±73,97
Peticiones de capacidad DULM (%)	37,46	--	--
Peticiones de capacidad SYNC (%)	2,65	--	--
Peticiones de capacidad CSYNC (%)	59,89	--	--

**Tabla 5.9** Prestaciones del escenario residencial (18 RCST – 540 usuarios).

De las tablas 5.8 y 5.9, se podría inferir que en ninguno de los dos casos el canal de difusión del ISP se está saturando, ya que se tiene *throughputs* de 1581,97 kbps y 1792,52 kbps para ambientes con 16 RCST y 18 RCST respectivamente.

A pesar de lo anteriormente escrito, hay que tomar en cuenta que los datos corresponden a valores promedios, es decir no dan información acerca de los

picos presentes en el tráfico. Por esto, se incluye la figura 5.16, la cual presenta las gráficas del *throughput* generado por el ISP, para los casos de un ambiente con 16 RCST y otro con 18 RCST.

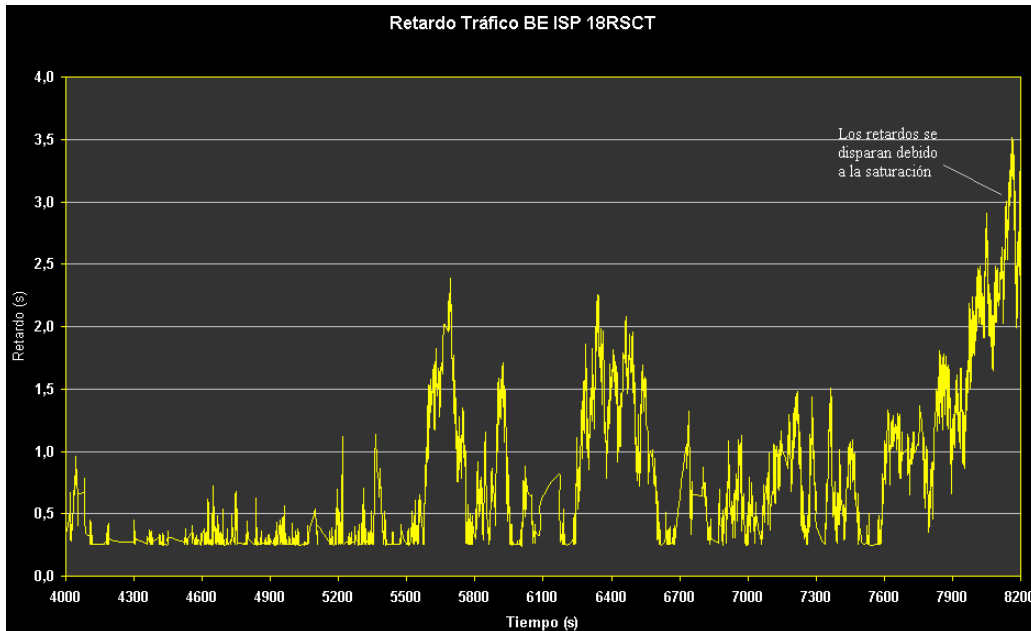


**Figura 5.16** Tráfico BE del ISP para un ambiente con 16 RCST y otro con 18 RCST.

En la figura anterior, son claramente visibles las grandes zonas de saturación que muestra el tráfico en un ambiente con 18 RCST. Estos enormes períodos en que la ocupación del canal DVB-S del ISP es máxima, se reflejan en un aumento en el retardo de los paquetes del ISP (ver figura 5.17), tanto que en ocasiones supera los límites aceptables para navegación Web en un ambiente corporativo, que están en el orden de los cuatro segundos por página descargada. Sin embargo comparándolos con los clientes *dial-up*, los retardos siguen siendo bajos aún en condiciones de saturación (18 RCST).

En contraste, la ocupación del canal para el entorno con 16 RCST, si bien se mantiene en un rango elevado de ocupación, no presenta zonas marcadas de saturación como el caso anterior. En consecuencia, el sistema mantiene su

estabilidad, en cuanto a retardos y generación de tráfico, con dicha carga de usuarios.



**Figura 5.17** Retardo de tráfico BE desde el ISP (18 RCST).

En este momento se puede establecer entonces los puntos de saturación del sistema. Como se pudo apreciar, para un ambiente con 18 RCST, el sistema alcanza niveles de saturación intolerables que elevan demasiado el retardo del tráfico del ISP, debido al encolamiento que deben sufrir los paquetes por no disponer de la capacidad suficiente en el canal de difusión.

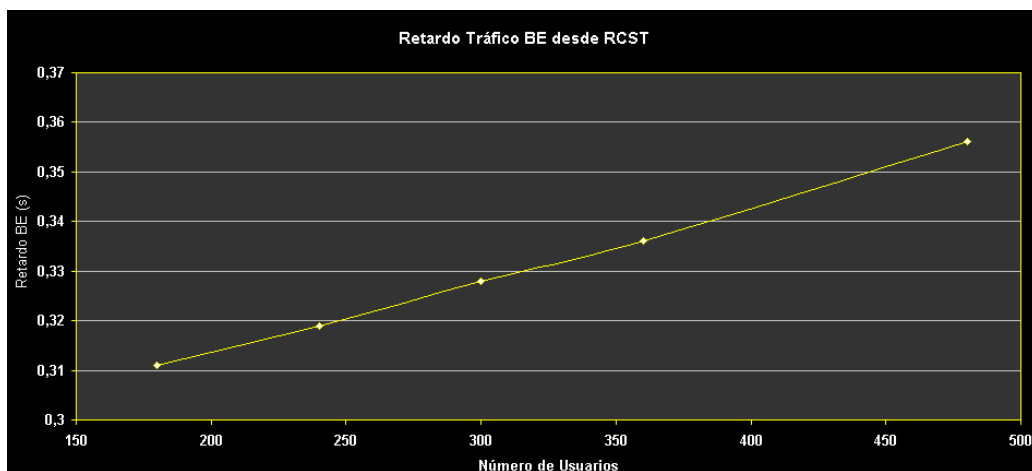
Es decir que para un ISP con un canal DVB-S de 2 Mbps, un ambiente con 18 RCST se volvería inestable y lento durante la hora pico de tráfico, según los datos obtenidos de las simulaciones. Sin embargo se observa un desempeño aceptable de la red con 16 RCST activas en el sistema.

Por tanto, para un ISP que cumpla estas condiciones, se prevería la carga de RCST no mayor a 16 (480 usuarios) para garantizar la estabilidad del sistema y las prestaciones de la red durante la hora pico. Más adelante se analizará la factibilidad de la implementación del sistema bajo esta premisa.

A continuación se presenta, en forma de tablas y gráficas, la información resumida acerca de los resultados obtenidos en las distintas simulaciones. Con dicha información se aprecian claramente las tendencias en el comportamiento del sistema, tales como retardos, *throughput*, etc., frente al número de usuarios presentes en la red.

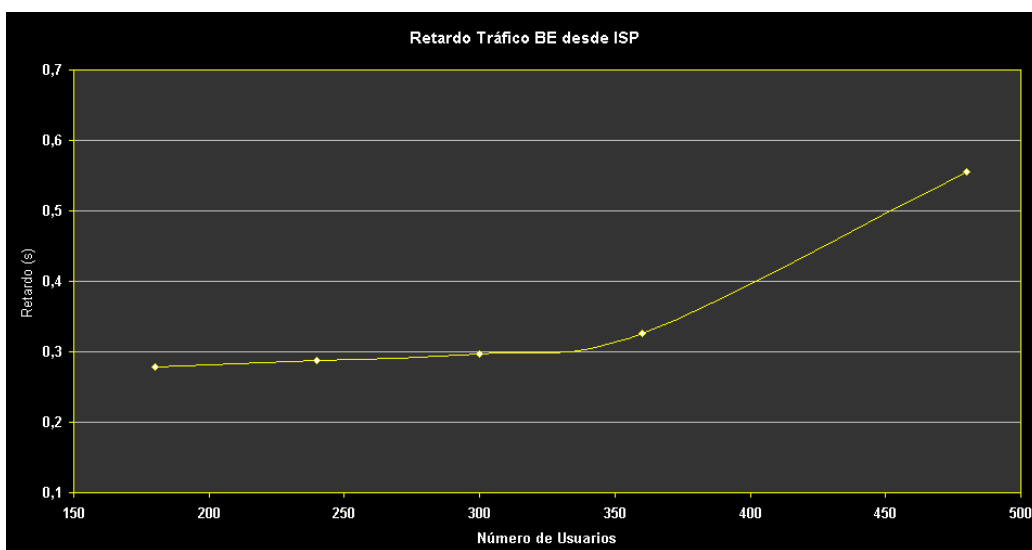
No. RCST	No. Usuarios	Retardo BE RCST (s)	Intervalo de Confianza (95%)	Retardo BE ISP (s)	Intervalo de Confianza (95%)
6	180	0,311	$\pm 2,359 \text{ E-}03$	0,278	$\pm 2,379 \text{ E-}03$
8	240	0,319	$\pm 1,646 \text{ E-}03$	0,287	$\pm 1,581 \text{ E-}03$
10	300	0,328	$\pm 2,234 \text{ E-}03$	0,303	$\pm 4,816 \text{ E-}03$
12	360	0,336	$\pm 2,283 \text{ E-}03$	0,316	$\pm 3,463 \text{ E-}02$
16	480	0,356	$\pm 6,964 \text{ E-}03$	0,556	$\pm 1,334 \text{ E-}01$

**Tabla 5.10** Retardos Tráfico BE RCST/ISP vs. No. de usuarios.



**Figura 5.18** Retardo Tráfico BE desde el RCST vs. No. de Usuarios.

Se puede observar en la figura 5.18, que el retardo para el tráfico generado desde el RCST tiene un incremento prácticamente lineal respecto al número de usuarios Web presentes en el sistema. Este incremento obedece por un lado a que no todas las estaciones que envían tráfico cuentan con una reserva en curso, por tanto no pueden enviar el tráfico sin antes esperar la respuesta a su petición de recursos VBDC, además del hecho de que el NCC tiene menos ranuras para asignar como capacidad libre disponible.



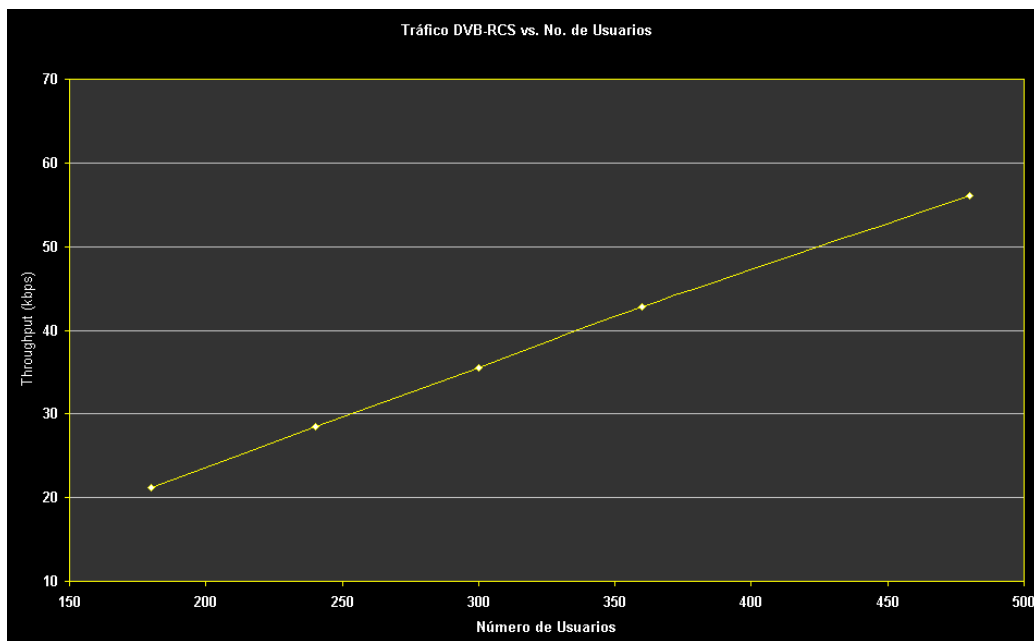
**Figura 5.19** Retardo Tráfico BE desde el ISP vs. No. de Usuarios.

Por otra parte la figura 5.19 muestra la tendencia en el retardo para el tráfico generado desde el ISP. Se puede observar que mientras el sistema no se acerque al punto de saturación, el retardo tiene un comportamiento lineal respecto al número de usuarios.

Sin embargo, al acercarse a las condiciones de saturación (más de 480 usuarios), el retardo se incrementa de manera exponencial, tal como lo indica la figura 5.19. Esto último puede explicarse en el hecho de que en condiciones de saturación, los paquetes sufren un tiempo de encolamiento adicional mayor que en condiciones normales debido a la insuficiente capacidad del canal de difusión del ISP para atender a las peticiones de todas las RCSTs del sistema.

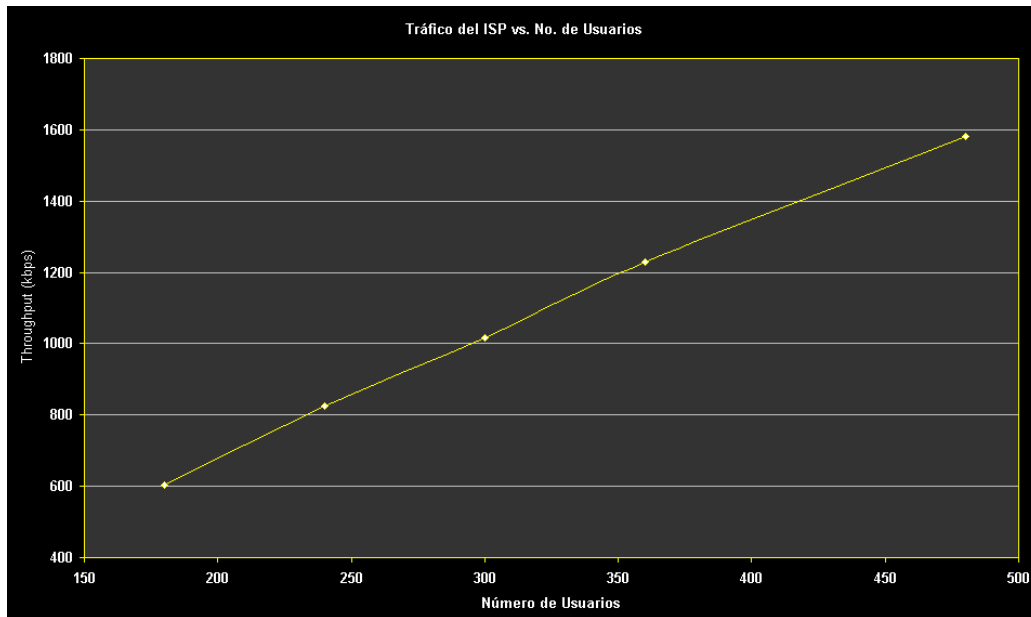
No. RCST	No. Usuarios	Throughput DVB-RCS (Kbps)	Intervalo de Confianza (95%)	Throughput ISP (Kbps)	Intervalo de Confianza (95%)
6	180	21,157	±1,286	604,386	±38,401
8	240	28,494	±0,765	824,45	±26,189
10	300	35,458	±1,188	1015,970	±32,295
12	360	42,786	±2,391	1229,360	±81,048
16	480	56,134	±2,921	1581,04	±64,631

**Tabla 5.11** *Throughput* Tráfico BE vs. No. de usuarios.



**Figura 5.20** Tráfico BE DVB-RCS vs. No. de Usuarios.

En cuanto a la forma de crecimiento del *throughput* vs. el número de usuarios, ésta se ilustra en las figuras 5.20 y 5.21. Es fácil notar que el aumento del *throughput*, tanto para el canal RCS como para el ISP, sigue una distribución lineal.

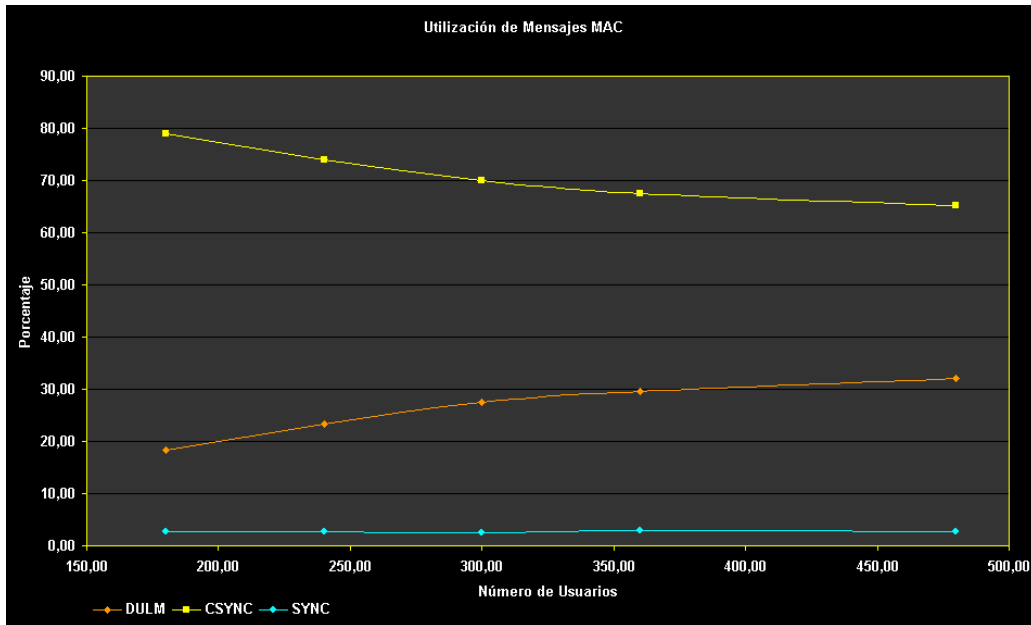


**Figura 5.21** Tráfico BE ISP vs. No. de Usuarios.

Esta característica lineal en el crecimiento del *throughput* facilita enormemente el trabajo de dimensionar una red. Sería sencillo suponer que, por ejemplo, para una población de 400 usuarios la capacidad necesaria del canal DVB-S del ISP, para darles servicio, estaría en el orden de los 1,4 Mbps según la figura 5.21.

No. RCST	No. Usuarios	%Mensajes DULM	%Mensajes CSYNC	%Mensajes SYNC
6	180	18,42	78,94	2,64
8	240	23,29	73,90	2,81
10	300	27,47	70,07	2,46
12	360	29,59	67,52	2,88
16	480	32,12	65,28	2,61

**Tabla 5.12** Porcentajes de utilización de los mensajes MAC.



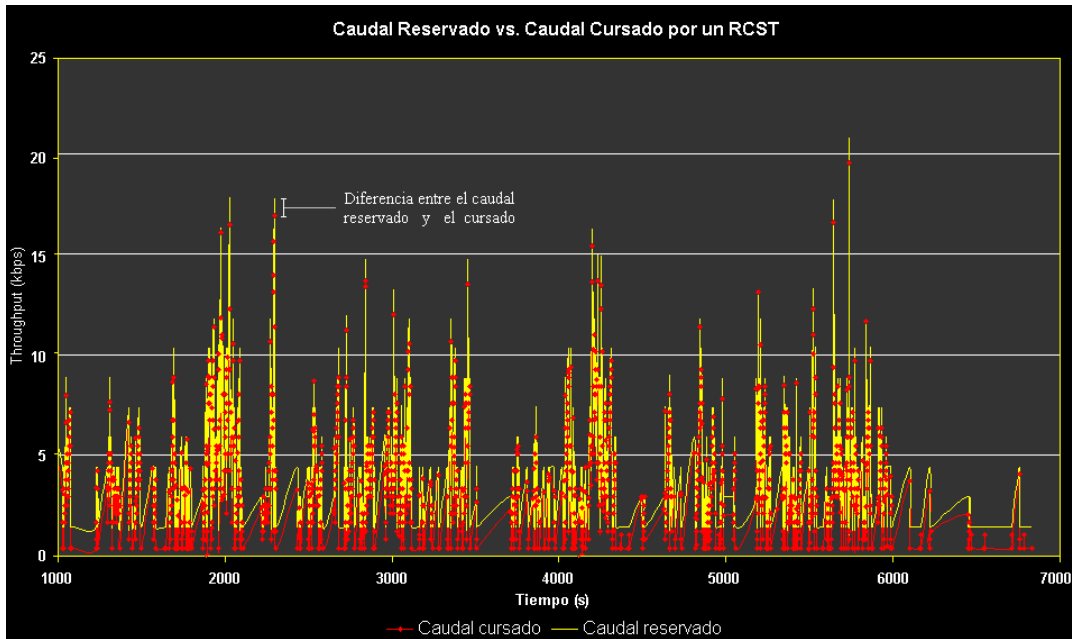
**Figura 5.22** Utilización de los Mensajes de Señalización MAC.

Con respecto a la utilización de los mensajes de señalización MAC, su tendencia se observa claramente en la figura 5.22. Al aumento de usuarios, el porcentaje de utilización de las ranuras CSYNC disminuye, mientras que el uso de mensajes DULM aumenta.

Esta situación ya se la había analizado, por lo que este resultado no es para nada nuevo. Se había dicho que a medida que el número de usuarios dentro de la red aumentaba, el acceso a las ranuras en contienda CSYNC se tornaba más dificultosa. Así también, se mencionó que el aumento de los mensajes DULM indicaba que la estación tiende a contar más fácilmente con ráfagas de tráfico TRF en buena parte de las ocasiones en las que debe realizar una solicitud de recursos, antes que con una ranura CSYNC o SYNC.

En cuanto a las miniranuras SYNC, se ha comprobado su bajo porcentaje de utilización para realizar peticiones de capacidad, debido a lo grande de su período; por lo que se asume que las RCSTs, la mayor parte del tiempo solo utilizan SYNC para mantener su sincronización y casi nunca para realizar peticiones de capacidad.





**Figura 5.23** Caudal reservado vs. Caudal cursado.

Finalmente en la figura 5.23 se observa la relación que existe entre el caudal reservado por las estaciones a través de las peticiones VBDC, y el caudal verdadero cursado por la red. Como se puede notar la utilización de los recursos es elevada, y se encuentra en el orden del 80% con un intervalo de confianza del 5%.

Esto se debe a que la estación realiza una petición de los recursos necesarios para cursar el tráfico acumulado en sus colas y el NCC es capaz de asignar las ráfagas VBDC con una granularidad de 1 ranura MPEG-2 (188 bytes). Nótese que el caudal cursado no incluye la sobrecarga por cabeceras MPEG-2 (4 bytes por paquete MPEG-2) y MPE (16 bytes por sección).

Por otra parte, como fue señalado anteriormente la arquitectura de red ha sido evaluada durante las horas pico de carga, configurando los modelos de generación de tráfico con los valores indicados en la tabla 5.1 para las horas pico. La determinación de la carga máxima de usuarios que la red puede soportar bajo esta característica de generación de tráfico, garantiza que para esa carga y por

supuesto para una menor, las prestaciones del sistema permanezcan estables durante la hora pico y con mayor razón fuera de ella.

Sin embargo, y con el fin de averiguar el comportamiento de la red fuera de la hora pico, se presentan los resultados obtenidos al evaluar el sistema con el modelo de tráfico configurado con las características indicadas por la tabla 5.1 para la hora no pico.

No. RCST	No. Usuarios	Retardo BE RCST (s)	Intervalo de Confianza (95%)	Retardo BE ISP (s)	Intervalo de Confianza (95%)
6	180	0,302	±2,656 E-03	0,269	±9,828 E-04
8	240	0,303	±3,139 E-03	0,271	±1,247 E-03
10	300	0,309	±2,255 E-03	0,273	±6,060 E-04
12	360	0,314	±2,964 E-03	0,275	±1,542 E-03
18	540	0,324	±3,686 E-03	0,284	±3,035 E-03
26	780	0,337	±3,775 E-03	0,307	±8,067 E-03

**Tabla 5.13** Retardos Tráfico BE vs. No. de usuarios (fuera de la hora pico).

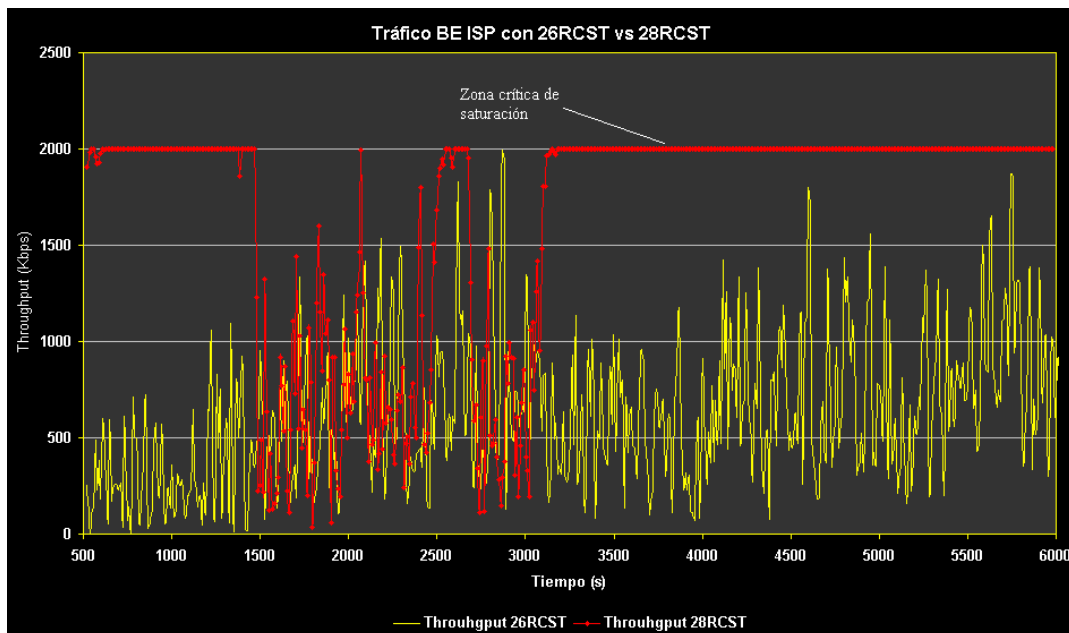
En la tabla 5.13, se puede apreciar que los retardos obtenidos para el tráfico, tanto de la RCST como del ISP, son casi los mismos que los presentados en la tabla 5.10 que corresponden al modelo de tráfico configurado en la hora pico; lo cual confirma la estabilidad de las prestaciones del sistema sin importar la característica de generación de tráfico presente en la red.

No. RCST	No. Usuarios	Throughput DVB-RCS (Kbps)	Intervalo de Confianza (95%)	Throughput ISP (Kbps)	Intervalo de Confianza (95%)
6	180	9,592	±1,019	280,411	±33,282
8	240	11,72	±1,131	330,406	±13,501
10	300	13,54	±0,819	393,885	±26,180
12	360	15,06	±1,444	434,055	±34,052
18	540	23,84	±2,731	685,506	±86,734
26	780	29,09	±3,129	838,706	±91,957

**Tabla 5.14** *Throughput* Tráfico BE vs. No. de usuarios (fuera de la hora pico).

Si se comparan los resultados de las tablas 5.14 y 5.11, se puede observar que el *throughput* para las horas no pico es casi la mitad al calculado para la hora pico de tráfico, tanto para el canal RCS como para el DVB-S del ISP.

Esta situación era en cierta forma previsible, puesto que la intensidad de tráfico (número de sesiones generadas por usuario) para las horas no pico (3 sesiones) es aproximadamente la mitad que aquella para la hora pico (7.9 sesiones) tal como lo muestra la tabla 5.1.



**Figura 5.24** Tráfico BE del ISP para un ambiente con 26 RCST y otro con 28 RCST.

En cuanto al punto de saturación del sistema fuera de la hora pico, se puede referir a la figura 5.24. En ella se muestra el *throughput* del ISP para un entorno con 26 RCST y otro con 28 RCST. Se nota claramente que para las 28 RCST existe una amplia zona que alcanza la saturación del canal de difusión del ISP.

Al referirse al entorno con 26 RCST se puede notar una alta utilización del canal DVB-S del ISP, pero no existen zonas amplias de saturación como en el

caso anterior. Es por eso que, se puede establecer que, para las horas no pico de tráfico una carga de 26 RCST (780 usuarios) es soportable por el sistema, es decir las prestaciones de la red se mantienen estables con esa carga de usuarios.

#### **5.4 ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

El análisis de la factibilidad de la implementación de la red para acceso a Internet DVB-S/RCS planteada en el presente proyecto, se basa en la comparación de las prestaciones de la misma frente a aquellas ofrecidas por redes reales de acceso a Internet que dan servicio en nuestro medio en un escenario similar al simulado.

Es precisamente el entorno formado por clientes *dial-up* el que más se parece al escenario que ha sido evaluado en las simulaciones. Esta similitud radica en que el modelo de tráfico de usuario utilizado responde a aquellos del tipo doméstico o residencial que constituyen justamente la clase de clientes *dial-up*.

En esta sección entonces se pretende proponer las redes DVB-S/RCS como una alternativa viable frente a las redes de acceso a Internet cableadas, *dial-up* principalmente, que existen actualmente en nuestro medio.

Un primer punto a favor del sistema propuesto es que éste consta con todas las ventajas inherentes a las comunicaciones vía satélite. La ubicuidad, independencia de la infraestructura terrestre, independencia de la densidad poblacional de la zona de servicio, rápida instalación, etc., son todas ventajas de este tipo de redes y que ya fueron revisadas en el capítulo I.

Es importante destacar que en nuestro país actualmente se está contemplando la posibilidad de utilizar la tecnología DVB-S/RCS para llegar a zonas donde las redes cableadas no pueden acceder o donde la densidad de la población no justifica la inversión en la construcción de ellas. La región

amazónica, las Islas Galápagos, etc., son un ejemplo de esas zonas carentes de una infraestructura cableada, en donde una solución satelital es la mejor opción.

Al realizar el dimensionamiento de un ISP previsto para dar servicio de Internet a 300 usuarios *dial-up* y algunos corporativos, se observa que un estudio de esta clase se basa en el análisis de ISP reales que trabajan en el país y en base a sus características de operación se establecen ciertos criterios y consideraciones. Algunos de esos criterios se los muestra en la tabla 5.15.

Consideración	Descripción
Calidad de servicio	4:1 <sup>1</sup>
<i>Throughput</i> promedio por usuario <i>dial-up</i>	33,6Kbps
Relación usuario/línea	12:1 <sup>2</sup>
Tiempo de descarga de una página Web de 50KB	≈ 30s

**Tabla 5.15** Consideraciones de diseño de un ISP. [2]

Si bien es cierto en el diseño de la arquitectura de red no se ha implementado ningún mecanismo de calidad de servicio, se puede deducir una relación similar a la primera, presentada en la tabla 5.15, partiendo del escenario de simulación descrito en la sección 4.8 haciendo referencia a la tabla 4.13.

En dicha sección se establece que el número promedio de sesiones de *Web surfing* es considerado como el número de sesiones abiertas simultáneas durante la hora pico (7,9 ≈ 8 sesiones simultáneas), es decir que bajo esas condiciones de tráfico habrán 8 usuarios navegando en la red simultáneamente.

Ahora bien, en referencia al 1<sup>er</sup> experimento, el *throughput* generado por el ISP (131,70 Kbps) corresponde al *throughput* de bajada de los usuarios Web; y el de la RCST (4,61 Kbps) corresponde al *throughput* de subida. En consecuencia, durante la hora pico a cada usuario activo (recordar que existen 8 usuarios navegando simultáneamente) le corresponderá un *throughput* de bajada de

---

<sup>1</sup> Es un dato referencial recomendado para ISP reales. Indica que para las horas pico, un usuario tendrá la cuarta parte del *throughput* promedio establecido (8,4 Kbps) ya que habrán 4 sesiones simultáneas.

<sup>2</sup> Representa el número de usuarios *dial-up* presentes por línea en el ISP.

$$\frac{131,701\_Kbps}{8\_usuarios} = 16,46Kbps / usuario .$$

El valor de 16,46 Kbps/usuario ofrecido por el sistema DVB-S/RCS durante la hora pico es de casi el doble del ofrecido por el entorno *dial-up* que corresponde  $\frac{33,6Kbps}{4usuarios} = 8,4Kbps$  también durante la hora pico.

En referencia al retardo en la descarga de una página Web de 50 KB, se tiene que para el caso DVB-S/RCS éste viene dado por:

$$R_{Web} = R_{Pp} \times P_{PW} \quad (5.5)$$

En donde  $R_{Pp} = 0,556$  s corresponde al retardo promedio por paquete TCP transmitido por el ISP y  $P_{PW}$  representa el número de paquetes TCP (MTU = 1500 bytes) que contiene una página Web de 50 KB, el cual es:

$$P_{PW} = \frac{50KB}{1,5KB} = 33,33 \text{ paquetes/página Web}$$

Reemplazando  $R_{Pp} = 0,556$  s y  $P_{PW} = 33,33$  paquetes/página Web en la ecuación (5.5) se tiene que el retardo en la descarga de una página Web corresponde a:

$$R_{Web} = 0,556s \times 33,33 \text{ paquetes/página Web}$$

$$R_{Web} = 18,53 \text{ s}$$

Se puede notar que  $R_{Web} = 18,53$  segundos es mucho menor al retardo experimentado en un ambiente *dial-up* ( $\approx 30s$ ) siendo casi la mitad que éste para el sistema DVB-S/RCS simulado.

En base a estos datos, tanto de *throughput* como de retardo, se puede indicar que las prestaciones obtenidas de la red DVB-S/RCS son ampliamente superiores a las presentadas por el ambiente *dial-up* propuesto por el estudio mencionado anteriormente, por lo que la implementación del sistema, bajo el punto de vista de las prestaciones del mismo, es totalmente factible y se presenta como una buena alternativa frente a las redes cableadas.

**Referencias Bibliográficas del Capítulo 5**

[1] H. Osman, *“Resource Management for Multimedia traffic over ATM Satellite Networks”*, University of London, March 2000

[2] M. Caicedo, F. Yáñez, *“Planificación de un proveedor de servicios de Internet y diseño de su sistema de seguridad”*, Escuela Politécnica Nacional, Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Ing. Pablo Hidalgo.



# **CAPÍTULO 6**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **6.1 CONCLUSIONES**

En el presente proyecto se ha partido del estudio del estado del arte de las comunicaciones satelitales VSAT, revisando sus conceptos principales y las ventajas y desventajas de su implementación. De la misma manera se describieron algunos ejemplos de redes satelitales de banda ancha actuales y propuestas para un futuro, identificando que la tendencia tecnológica de las mismas es la de utilizar las especificaciones DVB. Es precisamente por esta tendencia que se tomó la decisión de adoptar los estándares DVB-S/RCS como base para el presente proyecto.

De lo expuesto en relación a las redes satelitales VSAT se puede concluir lo siguiente:

- Las redes satelitales han evolucionado gracias al enorme desarrollo de la tecnología y debido a la creciente necesidad de los usuarios por la obtención de servicios interactivos multimedia y de acceso a Internet. Esta evolución ha implicado un gran esfuerzo en la reducción del tamaño y precio de los terminales satelitales con el fin de hacer más asequible esta tecnología al usuario común. Es así que se puede notar los increíbles avances que han experimentado las comunicaciones satelitales iniciando con grandes estaciones troncales, hasta la utilización de pequeñas estaciones VSAT que fácilmente pueden ser instaladas en un hogar o edificio.
- Las comunicaciones satelitales VSAT también han experimentado grandes cambios. Por ejemplo, inicialmente la topología VSAT en estrella era la más usada debido, por una parte a las limitaciones de los terminales satelitales, y por otra a que los servicios que soportaban se adaptaban

fácilmente a esta topología, especialmente aquellos de naturaleza de difusión (televisión, noticias, etc.). Sin embargo, con la evolución tecnológica, hoy en día han sido habilitadas las topologías VSAT en malla, lo que permite comunicaciones interactivas en un solo salto satelital ampliando el espectro de servicios ofrecidos por este tipo de redes a otros nuevos, tales como telefonía y videoconferencia. Los requerimientos actuales de acceso a Internet y servicios interactivos por parte de los usuarios también han motivado la transformación de las topologías tradicionales VSAT en sistemas híbridos satelitales terrestres.

- Los principales mercados a los cuales las redes VSAT estaban orientadas eran el corporativo, con empresas con múltiples sedes distribuidas en una amplia zona geográfica, y zonas donde la infraestructura de comunicación terrestre es limitada o nula. Sin embargo, con la adopción del estándar para la difusión de vídeo digital por satélite DVB-S, el mercado de estas redes se expandió enormemente, permitiéndoles llegar hasta los usuarios domésticos, a los cuales principalmente se les proveía de los servicios de televisión digital y de acceso a Internet utilizando un canal de retorno terrestre. De esta forma las redes VSAT no solo ampliaron su mercado, sino que también entraron a competir en servicios con sus similares terrestres en zonas metropolitanas altamente pobladas. Con la inclusión de los usuarios domésticos en el mercado de las VSAT se provocó una fabricación masiva de los receptores DVB-S y una consecuente reducción de precios en los equipos de usuario.
- Como consecuencia de la creciente demanda de los usuarios por los servicios interactivos, principalmente de acceso a Internet, los sistemas VSAT, que inicialmente fueron unidireccionales, se vieron obligados a adoptar una cierta interactividad. Esta característica fue lograda en un principio a través de la utilización de canales de retorno terrestres los cuales formaban parte de redes RTC o RDSI. Además, la naturaleza del servicio exigido por los usuarios se adapta de excelente forma a este sistema híbrido (satelital-terrestre), el cual se caracteriza por la gran

asimetría en los flujos de datos, tal como sucede en Internet en donde el tráfico que un usuario recibe es mucho mayor del que envía.

- El sistema híbrido adoptado inicialmente para satisfacer las necesidades de los usuarios de acceso a Internet, convertía a la red VSAT en un sistema dependiente de la infraestructura terrestre existente. Consecuentemente se estaba perdiendo una de las principales ventajas de las comunicaciones satelitales que es la de ofrecer servicios en cualquier localidad dentro de la zona de cobertura del satélite. Además que, bajo este escenario, la provisión de servicios que requieren una cierta garantía de calidad se ve limitada, ya que el canal de retorno terrestre comúnmente pertenece a otro operador, por tanto el operador satelital no puede ofrecer ningún tipo de QoS en el canal de retorno. Todos estos factores motivaron la creación del estándar del canal de retorno satelital DBV-RCS que permite la creación de sistemas totalmente interactivos vía satélite.

Los aspectos señalados anteriormente muestran una clara tendencia de las redes VSAT actuales, por una parte, a la adopción de los estándares DVB-S/RCS para la creación de sistemas totalmente interactivos por satélite, y por otra a abarcar el gran mercado de los usuarios domésticos. Es por esto que se dedicó una buena parte del presente proyecto al estudio de dichos estándares enfatizando en aquellos conceptos y mecanismos especificados por la norma que constituirían la base para la elaboración del modelo de simulación de red. De dicho estudio se puede concluir lo siguiente:

- El sistema MPEG-2, que comúnmente ha sido utilizado para codificar las señales en transmisiones de televisión digital, o como el formato de codificación para los discos SVCD y DVD, ha sido contemplado por la norma DVB como el medio de multiplexaje y transporte de datos para los sistemas DVB-S/RCS. Para este fin se establece que el Múltiplex TS, propio de MPEG-2 sea el que organice toda la información de la red en un solo flujo de transporte.

- La información específica de los programas (PSI) definida por el sistema MPEG-2, debe ser complementada por la información del servicio (SI) especificada por la norma DVB-S. Este conjunto de información, presente en el flujo TS permite a los decodificadores orientarse dentro de la gran gama de información presente dentro del flujo de transporte. Las tablas SI llevan información acerca de la estructura de la red, la descripción de los servicios, etc., es por eso que se le prestó importante atención a su estudio.
- Los estándares DVB-S proveen una variedad de medios lógicos para la transmisión de los flujos de información MPEG-2 TS, dependiendo del tipo de servicio que la red esté orientada a proveer. Se optó por adoptar el mecanismo de transporte denominado MPE ya que es el que mejor se adapta a las características del tráfico de Internet destinado a cursar la red propuesta.
- El estándar DVB-RCS especifica los procedimientos para la construcción de una red completamente interactiva por satélite a través de la utilización de satélites geoestacionarios (GEO) y de terminales de retorno fijos denominados RCST, siendo capaz de aplicar dichas especificaciones en todas las bandas de frecuencia destinadas para los satélites GEO.
- El modelo de referencia para las redes satelitales interactivas provista por la norma DVB-RCS muestra una orientación hacia la distribución de los servicios, es decir, los proveedores de contenidos no se encuentran necesariamente en la misma ubicación del *hub* de la red. El modelo presentado es bastante abierto y la norma no presenta una arquitectura clara de red para alcanzar la distribución de servicios.
- La norma DVB-RCS especifica, entre otras cosas, los mecanismos de sincronización de los RCST, de asignación de recursos, los mecanismos para el transporte de la señalización o mensaje MAC, de entrada y salida

de una estación a la red, etc. Sin embargo la lista de mensajes y procedimientos para poner en marcha estos mecanismos es inexistente.

- Una característica importante del canal de retorno es el tipo de acceso a los recursos que emplean las estaciones, el cual es el llamado acceso MF-TDMA o acceso múltiple por división de tiempo multi-frecuencial. Este esquema permite a un grupo de RCST comunicarse con el NCC y con el proveedor de servicios utilizando un grupo de portadoras cada una de las cuales es dividida en *slots* de tiempo. MF-TDMA ha sido escogido sobre otros tipos de acceso como el CDMA, debido a su alta eficiencia y relativa baja complejidad en su implementación.

Si bien, la descripción detallada de los procesos que encierra un estándar como el DVB-RCS, da una idea global de su aplicabilidad en las necesidades actuales y futuras, ésta es todavía incompleta sin tener un ejemplo claro en donde se observe el funcionamiento y alcance de las diversas aplicaciones que se prestan en la utilización del estándar DVB-RCS, y así poder emitir un criterio verdadero con respecto a la factibilidad y operación de las nuevas redes satelitales en un ambiente determinado como el nuestro.

Ahora, la implementación de una red de tal magnitud como la descrita en el presente proyecto con el fin de obtener información ejemplar, implica una fuerte inversión económica, es por eso que la motivación del presente proyecto ha sido la simulación de una red de la cual se observe el desempeño de los estándares DVB-S y DVB-RCS. Entonces, se simula una red VSAT *full-duplex* para acceso a Internet usando varias de las recomendaciones hechas por los estándares DVB-S y DVB-RCS, con el propósito de analizar las prestaciones provistas por los mismos.

Para la simulación de la red, se ha usado el programa *Network Simulator*, que además de ser un *software* muy utilizado en propósitos similares por diversos organismos que se dedican a la investigación de redes, es muy confiable. Se

realizó una descripción breve del NS para que el lector tenga una apreciación más clara de cómo se implementó la red en el simulador.

Con respecto a la herramienta de simulación se puede concluir lo siguiente:

- El uso de dos lenguajes de programación, OTcl y C++, hacen de NS, una herramienta muy versátil ya que no se mezcla el control de la simulación con la implementación de la misma, es decir, todo lo que tiene que ver con el *background* de una simulación (funcionamiento de determinado protocolo, componentes básicos de red, planificador de eventos, etc.) está escrito en lenguaje C++, mientras que la implementación real de una red (topología, estaciones, etc.) está escrita en OTcl.
- Las herramientas adicionales proporcionadas por Linux, tales como PERL, GREP, GNUPLOT y el mismo C++, así como las incluidas en el paquete de NS (XGRAPH, NAM, etc.), son de gran ayuda al momento de analizar los archivos de datos (o trazos) que una simulación crea, en el sentido de que el investigador pueda obtener información acerca del comportamiento de una red en un formato más comprensible.
- Si bien es cierto que NS es un *software* modular que permite la inclusión de nuevos componentes, agentes y demás elementos de control de una simulación mediante la modificación o adhesión de líneas de código, éstas requieren de un programador con un avanzado conocimiento en lenguaje C++, ya que el NS en su totalidad está implementado con una compleja programación orientada a objetos.

También fue descrita la arquitectura de red evaluada mediante la simulación, mencionando las consideraciones y los aspectos de diseño a implementarse. Se incluyó también los mecanismos de asignación de recursos y control de conexión de las diferentes entidades activas de la red, para después proceder con la descripción del modelo de simulación debidamente justificado y del cual se deduce lo siguiente:

- La red interactiva ofrece un servicio orientado a conexión a través de la interacción que se realiza entre el nodo origen y el NCC. Así mismo, los procedimientos de entrada y sincronización de las estaciones permiten a este último tener conocimiento en todo momento del estado del nodo.
- Las unidades de protocolo para la asignación de recursos y el control de conexión son implementadas de manera exclusiva para la simulación, ya que éstas no son especificadas en los estándares DVB-S/RCS.
- La elaboración del modelo de simulación para un escenario del tipo residencial se basa en las referencias propuestas por los sistemas DVB interactivos así como las guías para la implantación de sistemas DVB-RCS.
- Las pruebas de validación son contrarrestadas con modelos teóricos que definen el comportamiento del sistema en situaciones concretas y se comprueba que el funcionamiento sea el adecuado dentro de éste entorno.

La parte final del desarrollo del presente proyecto, está dedicada a la realización de las simulaciones para la obtención de resultados y conclusiones respecto a la viabilidad de implantación de los sistemas DVB-S/RCS. Los resultados obtenidos dejan una serie de conclusiones, algunas de las cuales ya fueron mencionadas en el capítulo anterior, pero que vale la pena rescatar.

- Para el escenario propuesto (del tipo residencial), se han presentado resultados de prestaciones obtenidos mediante simulaciones que han sido contrastadas con expresiones analíticas siempre que ha sido posible. Cabe señalar que en el modelo de simulación se han introducido varios parámetros de configuración RCS (por ejemplo estructura y tamaño de la trama, estructura de la supertrama, período de difusión del TBTP, período de revisión de las colas, etc.) en base a las guías de implantación que se muestran en las normas DVR-RCS. Estos parámetros de configuración se encuentran abiertos y deben ser definidos a criterio del operador del sistema satelital.



- En las primeras simulaciones lo que se trató es de validar por un lado el correcto funcionamiento del modelo de simulación y por otro la correcta implantación de los generadores de tráfico. Con este propósito fueron creados, inicialmente, archivos de trazo como *out.tr*, *rds.out* y *graph.txt*, los cuales permitieron verificar, entre otras cosas, el correcto flujo de información de señalización (mensaje MAC) y de datos entre los distintos nodos del sistema. La validación de los modelos de tráfico aplicados fue realizada en base a una comparación entre los resultados de tráfico obtenidos con las simulaciones y valores analíticos calculados, verificando precisamente la similitud entre ambos valores.
- De los primeros experimentos presentados en el capítulo anterior, se pudo observar que los retardos del tráfico BE generados, tanto por el ISP como por el RCST, se mantienen en valores bajos, muy cercanos a los valores teóricos previstos. Esta situación se explicó en el hecho de que la red se encontraba poco cargada y por tanto era capaz de asignar más recursos de los que necesitaba el RCST ya que la característica de asignación de recursos libres FCA fue activada. De la misma forma, se analizó el efecto que tiene la asignación FCA sobre el desempeño del sistema deshabilitando la misma, con lo que se pudo observar un aumento significativo en el retardo de los paquetes provenientes del RCST comprobando que sin FCA la estación se ve obligada a realizar una petición de capacidad antes de enviar tráfico, situación que eleva el retardo de los paquetes.
- Se pudo notar también que conforme la carga de usuarios iba aumentando, también lo hacía el retardo del tráfico. Esto comprobó lo esperado, es decir que los recursos disponibles del sistema, que el NCC era capaz de entregar con FCA, eran menores y por lo tanto las estaciones se veían obligadas a realizar cada vez un mayor número de peticiones de capacidad (VBDC). Efectivamente, se pudo observar que el retardo del tráfico BE aumentaba por la espera de asignación de recursos aunque el retardo por

el doble salto de las peticiones DULM no aportaba una diferencia significativa en las primeras simulaciones. Este hecho se explica por la característica a ráfagas del tráfico BE, situación que hace que muy pocas veces las estaciones tengan asignadas ranuras de tráfico (ráfagas TRF) antes de realizar una nueva petición VBDC. Sin embargo, al aumentar más la carga se notó que las estaciones realizaban un mayor número de peticiones embebidas en ráfagas TRF y su efecto pudo observarse en el aumento del valor medio del retardo para el tráfico.

- Fueron comprobados también los puntos de saturación del sistema, es decir la carga máxima de usuarios que la red podía soportar sin incrementar demasiado el retardo de los paquetes. Se pudo observar que para 16 RCST (480 usuarios) el sistema se mostró consistente en los retardos y mantuvo sus prestaciones dentro de los parámetros esperados. Para 18 RCST (540 usuarios) fue notorio el incremento en el retardo del tráfico consecuencia de la alta ocupación del canal *Outbound* del ISP. Por lo que fue deducido que un ISP con un *Outbound* de 2 Mbps, y con las mismas características implantadas en el sistema simulado, soportaría hasta 480 usuarios del tipo doméstico o residencial manteniendo las prestaciones de la red consistentes y satisfactorias.
- Finalmente, el estudio realizado en el presente proyecto demuestra la viabilidad de la implantación de una red satelital sobre la plataforma DVB-S/RCS como una solución válida frente a redes de utilización actual (terrestres principalmente), para lo cual se realizó una comparación de las prestaciones con las de una red de acceso a Internet terrestre *dial-up*. Se ha comprobado que las prestaciones obtenidas de la arquitectura de red la hacen competitiva no solamente en zonas de limitada infraestructura de comunicación o de amplia cobertura, sino también en una variedad de mercados e incluso en zonas metropolitanas densamente pobladas. La definición de la arquitectura de red, del modelo de simulación de red y de usuario que permitieron evaluar las prestaciones de la plataforma DVB-

S/RCS en un ambiente de acceso a Internet fue cumplida y constituye el principal aporte del presente proyecto.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- El modelo de simulación de la red ha sido implementado siguiendo las recomendaciones de propuestas de redes interactivas y aquellas descritas en las normas DVB-S/RCS; sin embargo, debido a la reciente aprobación del estándar RCS muchos de los parámetros de configuración quedan abiertos al criterio del operador satelital y por tanto pueden ser objeto de una evaluación más profunda. El modelo desarrollado para la evaluación de la arquitectura de red refleja gran parte de la funcionalidad RCS e implanta el acceso MF-TDMA y la planificación del NCC, por lo que se podría ahondar, en proyectos posteriores, en aspectos tales como la estructura de la multitrama, la influencia de la periodicidad de difusión de la tabla TBPT, el número de tramas por supertrama, el tamaño de la supertrama, etc.
- Otro aspecto que se recomienda estudiar en trabajos futuros, es la evaluación de otras alternativas para el manejo y asignación de las peticiones de recursos VBDC. Para el presente proyecto se evaluó el método de asignación y petición de recursos VBDC basado en el tamaño de las colas asociadas al tráfico con un período de monitorización constante. Sin embargo existen métodos predictivos de petición de recursos que pueden ser evaluados y medidos sus efectos en el retardo de los paquetes. De la misma forma se podría añadir más prestaciones al modelo de red implementando servicios que incluyan calidad de servicio, tales como VoIP, videoconferencia, etc. Para esto se debería estudiar más a fondo las propuestas de sistemas de banda ancha DVB interactivos que incluyen satélites con algún tipo de procesamiento a bordo, y protocolos como RSVP que permiten a una red ofrecer ciertas garantías de calidad en sus servicios.

- De la misma manera, el escenario de simulación implementado es otro aspecto que se presta para ser considerado en proyectos posteriores, ya que el entorno residencial es solo un escenario de una gran gama existente. Por este motivo se recomienda estudiar el comportamiento de una red DVB-S/RCS en ambientes corporativos, universitarios, PYME (Pequeñas y Medianas Empresas), etc.; evaluar sus prestaciones y determinar la factibilidad de su aplicación, tal como se hizo en el presente proyecto.
- En cuanto a la utilización de NS se debe mencionar que este paquete puede ser instalado en los sistemas operativos Linux y Windows, pero con la experiencia de haber ejecutado un gran número de simulaciones y habiendo notado que éstas consumen un tiempo considerable en función del número de estaciones (por ejemplo 8 estaciones alrededor de 4 horas en un computador Pentium IV, 512 MB de RAM y disco de 80 GB), se recomienda que NS sea instalado sobre Linux ya que este sistema operativo es mucho más estable.
- Si no se está familiarizado con NS, es muy recomendable descargar el paquete completo del programa e instalarlo en su totalidad. Se puede obtener el programa NS descargando parte por parte los paquetes necesarios e irlos instalando uno a uno, para esto es indispensable tener un buen conocimiento de programación, ya que como NS no es un *software* comercial se deben realizar algunas modificaciones al código fuente para que la instalación sea exitosa.

## Lista de Acrónimos

ATM	Asynchronous Transfer Mode.
AVBDC	Absolute Volume Based Dynamic Capacity.
BAT	Bouquet Association Table.
BPS	Bent Pipe Satellite.
BSS	Broadcast Satellite Service.
BTP	Burst Time Plan.
CAT	Conditional Access Table.
CDMA	Code Division Multiple Access.
CMT	Correction Message Table.
CRA	Constant Rate Assignment.
CSC	Common Signaling Channel.
CSYNC	Contention SYNC.
DIT	Discontinuity Information Table.
DSM-CC	Digital Storage Media – Command & Control
DTH	Direct To Home.
DULM	Data Unit Labeling Method.
DVB	Digital Video Broadcasting.
DVB-RCS	Digital Video Broadcasting – Return Channel System by satellite.
DVB-S	DVB by satellite.
EIT	Event Information Table.
ES	Elementary Stream.
FCA	Free Capacity Assignment.
FCT	Frame Composition Table.
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
FEC	Forward Error Correction.
FLS	Forward Link Signalling.
FSS	Fixed Satellite Service.
GEO	Geostationary Earth Orbit.
IBIS	Integrated Broadcast Interaction System.
ICMSN	Interactive Channel for Multimedia Satellite Networks.
IDU	Indoor Unit.

IE	Information Element.
IP	Internet Protocol.
IRD	Integrated Receive Decoder.
ISDN	Integrated Services Digital Network.
ISP	Internet Service Provider.
LID	Logon Initialize Descriptor.
LSB	Less Significant Bit.
LSO	Local Server Outbound.
M&C	Monitoring and Control.
MAC	Medium Access Control.
MF-TDMA	Multi-Frequency Time Division Multiple Access.
MJD	Modified Julian Date.
MLCG	Multiplicative Linear Congruential Generator.
MO	Master Outbound.
MPE	Multi-Protocol Encapsulation.
MPEG	Motion Picture Experts Group.
MPEG2-TS	MPEG-2 Transport Stream.
MSB	Most Significant Bit.
MSL	Minimum Scheduling Latency Delay.
MTU	Maximum Transfer Unit.
NAM	Network AniMator.
NCC	Network Control Center.
NCR	Network Clock Reference.
NIT	Network Information Table.
NIU	Network Interface Unit.
OBP	On-Board Processing.
OBP-MR	OBP with MPEG-2 Remultiplexing.
OBS	On-Board Switching.
ODU	Outdoor Unit.
OTCL	Object Tcl.
PAT	Program Association Table.
PCR	Program Clock Reference.
PERL	Practical Extraction and Report Language.

PES	Packetized Elementary Stream.
PID	Packet Identifier.
PMT	Program Map Table.
PS	Program Stream.
PSI	Program Specific Information.
PSTN	Public Switched Telephone Network.
PVC	Permanent Virtual Circuit.
PYME	Pequeña y Mediana Empresa.
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying.
RBDC	Rate Based Dynamic Capacity.
RCS	Return Channel by Satellite.
RCST	Return Channel Satellite Terminal.
RED	Random Early Discard.
RF	Radio Frequency.
RMT	RCS Map Table.
RST	Running Status Table.
RSVP	Resource ReSerVation Protocol.
SAC	Satellite Access Control.
SCT	Superframe Composition Table.
SDT	Service Description Table.
SI	Service Information.
SIT	Satellite Interactive Terminal/Selection Information Table.
SPT	Satellite Position Table.
ST	Stuffing Table.
SVC	Switched Virtual Circuit.
SYNC	Synchronization Burst Type.
TBTP	Terminal Burst Time Plan.
TCL	Tool Command Language.
TCT	Time-slot Composition Table.
TDM	Time Division Multiplexing.
TDMA	Time Division Multiple Access.
TDT	Time & Date Table.
TG	Traffic Gateway.

## Lista de acrónimos

---

TIM	Terminal Information Message.
TLP	Terminal Logon Procedure.
TOT	Time Offset Table.
TRF	Traffic Burst.
TS	Transport Stream.
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System.
UTC	Universal Time Coordinated.
VBDC	Volume Based Dynamic Capacity.
VSAT	Very Small Aperture Terminal.



# **ANEXO A**

## **INSTALACIÓN DE NS**

## A.1 CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE LINUX

Como ya se mencionó en los respectivos capítulos, el *software* NS utilizado en el presente trabajo se ejecuta bajo el sistema operativo *Linux Red Hat Enterprise WS (V.3 for x86)*.

Es importante mencionar que para una correcta instalación de NS se requiere que *Linux* sea instalado con la opción TOTAL (*EVERYTHING*), de esta manera se copian las librerías necesarias para el correcto desempeño de NS, caso contrario, se necesitará un conocimiento avanzado acerca de la programación en *Linux*, para obtener dichas librerías y adjuntarlas en el entorno de trabajo.

Con la opción de instalación TOTAL, es conveniente disponer de características mínimas presentes en una PC, como por ejemplo 5 Gbytes de espacio libre en disco, memoria RAM de 256 Mbytes y un procesador Pentium III.

Si el usuario desea disponer de dos sistemas operativos, por ejemplo *Linux Red Hat* y *Windows XP*, por facilidad es conveniente instalar primeramente *Windows XP* en un disco virgen, estableciendo una partición para dicho sistema (de preferencia NTFS para interactuar con *Linux*), y otra sin formato alguno para *Linux*.

En un disco de 80 Gbytes y en el cual se va a ejecutar las simulaciones en NS bajo *Linux*, se recomienda asignar 60 Gbytes a *Windows* y 20 Gbytes a *Linux*.

Una vez instalado *Windows XP*, se deberá instalar *Linux* normalmente como si éste fuera el primer sistema operativo presente en el disco. Durante el proceso de adquisición de información, *Linux* preguntará en que partición se

desea copiar los archivos, para lo cual se escogerá la partición libre y se le indicará que no realice acción alguna con respecto a *Windows*, entonces, *Linux* preguntará cuál será el sistema operativo por defecto en el arranque de la computadora, a lo que se configurará con la opción preferida por el usuario.

Una vez que la instalación de *Linux* se haya completado, es recomendable configurar el escritorio de trabajo al KDE, ya que éste contiene herramientas versátiles tal como el editor de texto *KWrite*, el localizador de archivos *KFind*, entre otros, y que para el diseño de una simulación éstas son de mucha utilidad.

## A.2 INSTALACIÓN DE NS

### A.2.1 OBTENCIÓN DEL *SOFTWARE* GRATUITO

En la página Web <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> se encuentra toda la información acerca del proyecto NS (manuales, tutoriales, ayuda en línea, etc.), así como el *software* NS en sus distintas versiones y presentaciones (todo en uno ó por paquetes).

Es recomendable obtener en cualquiera de las versiones de NS el paquete de instalación todo en uno, ya que con la simple ejecución de algunos comandos se logra una instalación correcta de NS.

Para el presente proyecto, se obtuvo el paquete comprimido ns-allinone-2.1b6.tar.gz, el cual una vez descomprimido se lo guardó en la ruta /simulador.

En este punto cabe aclarar que también se puede trabajar con NS desde *Windows* para lo cual se requiere el *software* Cygwin, el cual simula un ambiente *Linux* bajo *Windows*.

No se trabajó con Cygwin ya que por la extensión de las simulaciones, se observó que *Linux* presentaba mayor estabilidad durante las horas de simulación.

## A.2.2 CONFIGURACIÓN DE NS EN *LINUX*

Una vez descomprimido el archivo `ns-allinone-2.1b6.tar.gz`, se ejecutará lo siguiente:

```
cd /simulador/ns-allinone-2.1b6
./install
```

Este comando construye todas las librerías de NS y las enlaza dentro del directorio seleccionado previamente.

En la mayoría de casos no se presentan problemas, pero si los hubiere, en la página Web <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, se encuentran soluciones a errores que otros usuarios han encontrado en la instalación de NS y que generalmente son de gran ayuda.

Una vez instalado NS, éste debe ser validado, para lo cual se ejecutará lo siguiente:

```
./validate
```

Este proceso inicia una serie de pruebas propias de NS que toman varios minutos y que comprueban la correcta instalación del *software*.

Ya validado el NS se puede iniciar el diseño de simulaciones.

Muchos de los ejemplos que se sugieren en los diferentes documentos de NS consideran que el archivo ejecutable *ns* ya se encuentra enlazado simbólicamente en el *PATH* del sistema operativo. Para realizar este tipo de enlace se ejecutará lo siguiente:

```
cd /usr/bin
ln -s /simulador/ns-allinone-2.1n6/ns-2.1b6/ns ns
```

## A.2 EXPLORE2FS

Explore2fs, es un *software* gratuito para *Windows* que se lo consigue en la página Web <http://uranus.it.swin.edu.au/~jn/linux/explore2fs.htm>, y que sirve para explorar las particiones *Linux* desde *Windows*.

En la figura A.1 se muestra una pantalla del Explore2fs.

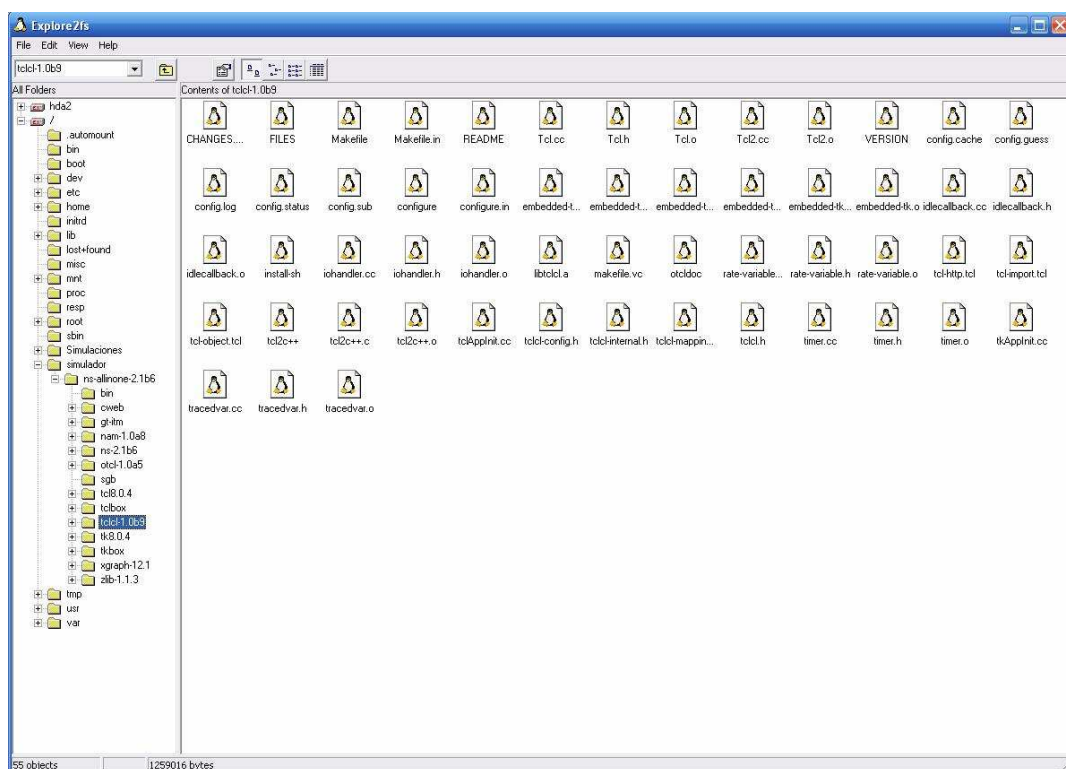


Figura A.1 Explore2fs

Este programa es de mucha utilidad, cuando se desea recuperar archivos guardados en las particiones de *Linux* desde *Windows*, ya sea para respaldarlos o simplemente para trabajar con ellos con las herramientas de *Windows*.

**ANEXO B**

**MANUAL DEL USUARIO**

## B.1 INICIACIÓN DE UNA SIMULACIÓN

Para poner en marcha una simulación previamente se creará un directorio en el cual van a ser almacenados los archivos de salida de una simulación y dentro de éste obligatoriamente se deberán crear los directorios “prmd\_retardos” y “prmd\_thr”. Una vez realizadas estas acciones se deberá ejecutar las siguientes líneas en el terminal de *Linux*:

```
cd /simulador/ns-allinone-2.1b6/ns-2.1b6/rcs-tcl
ns residencial.tcl [DIRECTORIO] [PREFIJO]|./a.out
[DIRECTORIO]/[PREFIJO] [TIEMPO DE INICIO] [NÚM. RCST]
```

En donde:

[DIRECTORIO]	Ruta en la cual se almacenará los archivos de salida.
[PREFIJO]	Carácter para diferenciar entre simulaciones.
[TIEMPO DE INICIO]	Tiempo en el cual el programa a.out iniciará sus procesos.
[NÚM. RCST]	Número de estaciones que se desea conocer la información (incluido el servidor).

### B.1.1 CONFIGURACIÓN PARA UN GRUPO DE SIMULACIONES

Muchas veces es necesario simular un mismo entorno varias veces para así obtener un amplio universo de información acerca de dicho entorno, para ello es conveniente crear archivos que contengan instrucciones de los procesos a realizar (similares a los .bat en el sistema operativo de disco DOS de *Microsoft*).

Dichos archivos de procesos se los puede crear en cualquier editor de texto y grabarlos con cualquier nombre. En el ejemplo B.1 se muestra el archivo llamado “lazo” que contiene los procesos para una simulación de 16 estaciones.

---

```
mkdir sim16_16rcst_fca-true_2mbps
cd sim16_16rcst_fca-true_2mbps
mkdir prmd_retardos
mkdir prmd_thr
cd ..

ns residencial.tcl sim16_16rcst_fca-true_2mbps 1| ./a.out
sim16_16rcst_fca-true_2mbps/1 3900 2
echo SIM1 >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-historial.out
more rcs_seed.out >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-
historial.out
more seed.inf >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-historial.out

ns residencial.tcl sim16_16rcst_fca-true_2mbps 2| ./a.out
sim16_16rcst_fca-true_2mbps/2 3900 2
echo SIM2 >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-historial.out
more rcs_seed.out >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-
historial.out
more seed.inf >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-historial.out

ns residencial.tcl sim16_16rcst_fca-true_2mbps 3| ./a.out
sim16_16rcst_fca-true_2mbps/3 3900 2
echo SIM3 >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-historial.out
more rcs_seed.out >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-
historial.out
more seed.inf >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-historial.out

ns residencial.tcl sim16_16rcst_fca-true_2mbps 4| ./a2.out
sim16_16rcst_fca-true_2mbps/4 3900 2
echo SIM4 >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-historial.out
more rcs_seed.out >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-
historial.out
more seed.inf >> sim16_16rcst_fca-true_2mbps/seed-historial.out

ns throughput.tcl sim16_16rcst_fca-true_2mbps 2 4

cd sim16_16rcst_fca-true_2mbps
mv 4_TH_BE_4 señalizacion.out
cd ..
```

---

### **Ejemplo B.1** Archivo de procesos “lazo”.

Una vez creado el archivo de procesos se requiere dar los permisos necesarios para que éste sea del tipo ejecutable. La siguiente línea muestra un ejemplo para hacer al archivo “lazo” del ejemplo B1, ejecutable.



```
chmod 755 lazo
```

Así, para ejecutar “lazo” se deberá escribir en el terminal de Linux lo siguiente:

```
./lazo
```

### B.1.2 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Básicamente los parámetros configurables en una simulación se encuentran en el archivo `/simulador/ns-allinone-2.1b6/ns-2.1b6/rcs-tcl/init.tcl`, allí se encuentran todas las variables que se utilizan en otros archivos para ejecutar las simulaciones.

Las variables que se pueden configurar para una simulación se presentan en la tabla B.1.

Parámetro	Identificación en init.tcl
Número de slots por trama	opt(NUM_SLOT_FRM_STD)
Número de portadoras en la multitrama	opt(NUM_CARR_STD)
Duración de trama	opt(FRM_LENGTH)
Tramas por portadora	opt(FRM_PER_CARR)
Tiempo de simulación	opt(SIMTIME)
Tiempo de Logon mínimo	opt(LOGONTIME)
Número de nodos	opt(TOT_NUM_STD_NODES)
Ancho de banda del servidor	opt(SERVER_UPLNK)
Tamaño de la cola de las RCST	opt(BEQSIZE)
Tamaño de la cola del servidor	opt(SRVQSIZE)
Colores de los flujos para ilustración en NAM	

**Tabla B.1** Variables configurables en init.tcl.

Las semillas de generación de números aleatorios se encuentran en los archivos `/simulador/ns-allinone-2.1b6/ns-2.1b6/rcs-tcl/init.tcl` y `/simulador/ns-allinone-2.1b6/ns-2.1b6/rcs-tcl/traffic-sources/rv_source.tcl`.

## B.2 FORMATO DE LOS ARCHIVOS DE TRAZO

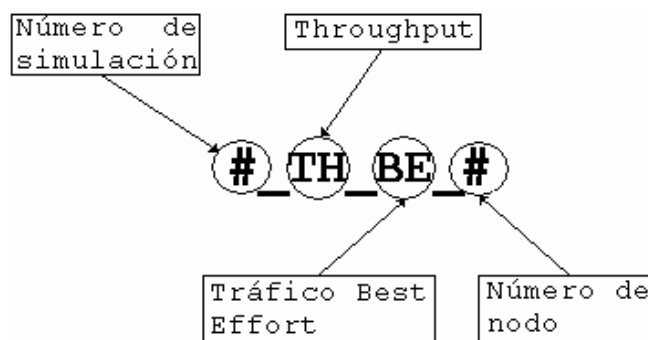
Como se mencionó en el capítulo 5, los archivos de trazo se clasificaban en generales, específicos y de resultados.

Los archivos de trazo generales fueron explicados a detalle en la sección 5.1.4.1., la figura B.2 muestra un ejemplo del archivo de trazo general `rcs.out`.

### B.2.1 Archivos de trazo específicos

Los archivos de trazo específicos se clasifican en archivos de trazo específicos de *throughput* y archivos de trazo específicos de retardo.

Un archivo de trazo específico de *throughput* tiene la sintaxis de la figura B.1.



**Figura B.1** Formato del nombre del archivo de trazo específico de *throughput*

Los números y su correspondencia, se puede apreciar en la tabla B.2.

## ANEXO B. Manual del usuario

---

```
==RCST== Configuración de la portadora. LID: 5 GID: 1 CHID: 1 AB de portadora: 385032 bps Duración de la trama: 0.070311 s Num. Slots: 18 Duración del Slot: 0.003906 s
==NCC == Configuración de la portadora. GID: 1 CHID: 1 Num. Portadoras: 1 AB de portadora: 385032 bps Num. Slots: 18 Tipo de RCST: 1
==SRV == Enviada petición de Logon del Servidor. LID: 4 GID: 77 CHID: 1 Nodo destino: 3 Puerto destino: 240 AB solicitado: 2000000 bps Tiempo: 8.0000 s
==NCC == Recibido mensaje DULM. LID: 4 CHID: 1 Tipo de mensaje: 16 AB: 2000000 bps Tiempo: 8.25 s
==NCC == DULM ==> Petición de Logon del Servidor. LID: 4 GID: 77 CHID: 1 AB solicitado: 2000000 bps Tiempo: 8.2502 s
==RCST== Enviada petición de Logon. LID: 5 GID: 1 Tiempo: 255.9320 s
==NCC == Recibida petición CSC. LID: 5 CHID: 1 Tiempo: 256.2133 s
==RCST== Recibida respuesta CSC. LID: 5 CHID: 1 Tiempo: 256.4633 s
==NCC == Recibida corrección SYNC. LID: 5 GID: 1 Tiempo: 256.8861 s
==RCST== Existe una diferencia entre los recursos asignados y los realmente necesitados. LID: 5 Tiempo: 257.1362 s
==RCST== Monitor de la cola BE. LID: 5 CHID: 1 Num. Paquetes: 0 Cola: 0 bytes Volumen necesitado: 0 bytes Volumen disponible: 0 bytes Volumen requerido: 0 bytes Tiempo: 257.1362 s
==RCST== Existe una diferencia entre los recursos asignados y los realmente necesitados. LID: 5 Tiempo: 257.8162 s
==RCST== Monitor de la cola BE. LID: 5 CHID: 1 Num. Paquetes: 0 Cola: 0 bytes Volumen necesitado: 0 bytes Volumen disponible: 0 bytes Volumen requerido: 0 bytes Tiempo: 257.8162 s
==RCST== Existe una diferencia entre los recursos asignados y los realmente necesitados. LID: 5 Tiempo: 258.4962 s
==RCST== Monitor de la cola BE. LID: 5 CHID: 1 Num. Paquetes: 0 Cola: 0 bytes Volumen necesitado: 0 bytes Volumen disponible: 0 bytes Volumen requerido: 0 bytes Tiempo: 258.4962 s
==RCST== Existe una diferencia entre los recursos asignados y los realmente necesitados. LID: 5 Tiempo: 259.1762 s
==RCST== Monitor de la cola BE. LID: 5 CHID: 1 Num. Paquetes: 0 Cola: 0 bytes Volumen necesitado: 0 bytes Volumen disponible: 0 bytes Volumen requerido: 0 bytes Tiempo: 259.1762 s
==RCST== Existe una diferencia entre los recursos asignados y los realmente necesitados. LID: 5 Tiempo: 259.8562 s
==RCST== Monitor de la cola BE. LID: 5 CHID: 1 Num. Paquetes: 0 Cola: 0 bytes Volumen necesitado: 0 bytes Volumen disponible: 0 bytes Volumen requerido: 0 bytes Tiempo: 259.8562 s
==RCST== Existe una diferencia entre los recursos asignados y los realmente necesitados. LID: 5 Tiempo: 260.5362 s
==RCST== Monitor de la cola BE. LID: 5 CHID: 1 Num. Paquetes: 0 Cola: 0 bytes Volumen necesitado: 0 bytes Volumen disponible: 0 bytes Volumen requerido: 0 bytes Tiempo: 260.5362 s
==RCST== Petición inicial de capacidad. LID: 5 Tiempo: 347.5376 s
==RCST== Petición de capacidad en el siguiente slot CSYNC. LID: 5 Siguiente CSYNC: 347.5473 s Siguiente SYNC: 348.7426 s Tiempo: 347.5376 s
==RCST== No existe conexión con el servidor. LID: 5 Nodo destino: 4 Tiempo: 347.5376 s
==RCST== Petición CSYNC. LID: 5 GID: 1 CHID: 1 Volumen solicitado: 180 bytes Tiempo: 347.5473 s
==NCC == Recibido CSYNC. LID: 5 GID: 1 CHID: 1 Volumen requerido: 180 bytes Slot: 1 Tiempo: 347.83 s
==NCC == Procesando peticiones de capacidad en el TBTP. Peticiones en cola: 1 Tiempo: 347.8588 s
==NCC == Petición de capacidad VBDC. LID: 5 CHID: 1 Slots requeridos: 1 Slots destinados: 1 Tiempo: 347.8588 s
==NCC == Asignación de capacidad VBDC. LID: 5 CHID: 1 Slots asignados: 1 Tiempo: 347.8588 s
==RCST== Recibida asignación VBDC. LID: 5 CHID: 1 Volumen asignado: 184 bytes Tiempo: 348.1088 s
==RCST== Existe una diferencia entre los recursos asignados y los realmente necesitados. LID: 5 Tiempo: 348.1801 s
==RCST== Enviando petición de conexión. LID: 5 Nodo destino: 4 Tiempo: 348.1840 s
==NCC == Recibido mensaje DULM. LID: 5 CHID: 1 Tipo de mensaje: 16 AB: 0 bps Tiempo: 348.68 s
==NCC == DULM ==> Petición de conexión. LID: 5 CHID: 1 GID: 1 Nodo destino: 4 Tiempo: 348.68 s
==SRV == Recibido NCCRxConnSetup. LID: 4 Nodo origen: 5 GID: 1 Tiempo: 348.9342 s
==RCST== Recibido NCCTxConnSetup. LID origen: 5 Nodo destino: 4 Tiempo: 348.9342 s
==RCST== Existe una diferencia entre los recursos asignados y los realmente necesitados. LID: 5 Tiempo: 349.1713 s
==RCST== Enviando petición de capacidad. CHID: 1 AB solicitado: 52 bytes LID: 5
==RCST== Petición de capacidad en el siguiente slot CSYNC. LID: 5 Siguiente CSYNC: 349.2347 s Siguiente SYNC: 350.1488 s Tiempo: 349.1713 s
==RCST== Monitor de la cola BE. LID: 5 CHID: 1 Num. Paquetes: 1 Cola: 40 bytes Volumen necesitado: 52 bytes Volumen disponible: 0 bytes Volumen requerido: 52 bytes Tiempo: 349.1713 s
==RCST== Petición CSYNC. LID: 5 GID: 1 CHID: 1 Volumen solicitado: 52 bytes Tiempo: 349.2347 s
==NCC == Recibido CSYNC. LID: 5 GID: 1 CHID: 1 Volumen requerido: 52 bytes Slot: 0 Tiempo: 349.52 s
==NCC == Procesando peticiones de capacidad en el TBTP. Peticiones en cola: 1 Tiempo: 349.5463 s
==NCC == Petición de capacidad VBDC. LID: 5 CHID: 1 Slots requeridos: 1 Slots destinados: 1 Tiempo: 349.5463 s
```

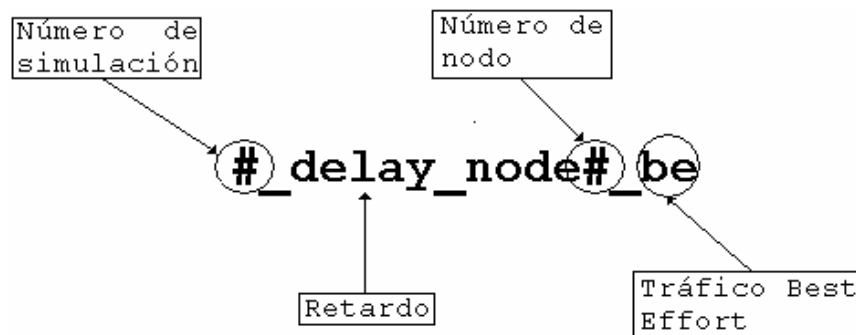
Figura B.2 Archivo de trazo general rcs.out.

No. De Simulación	Descripción	No./Nombre del nodo	Descripción
1	Primera simulación	0/ISP	<i>Throughput</i> del canal DVB-S del ISP
2	Segunda simulación	1/RCST	<i>Throughput</i> del canal RCS de un RCST
3	Tercera simulación	2/DVB_SAT	<i>Throughput</i> del canal DVB-S del DVBS_SAT
4	Cuarta simulación	3/RCS_SAT	<i>Throughput</i> del canal RCS del RCS_SAT

**Tabla B.2** Sintaxis del nombre de los archivos de *throughput*

Es decir, que para el ejemplo en el que el nombre del archivo es 1\_TH\_BE\_0, éste corresponde a la primera simulación (número de simulación = 1) y contiene el cálculo del *throughput* del ISP (número de nodo = 0).

De igual manera, un archivo de trazo específico de retardo tiene la sintaxis de la figura B.3.



**Figura B.3** Formato del nombre del archivo de trazo de retardo.

Los números y su correspondencia, se puede apreciar en la tabla B.3.

No. de Simulación	Descripción	No./Nombre del nodo	Descripción
1	Primera simulación	1/ISP	Retardo de los paquetes del ISP
2	Segunda simulación	2/RCST	Retardo de los paquetes del RCST
3	Tercera simulación	_____	_____
4	Cuarta simulación	_____	_____

**Tabla B.3** Sintaxis del nombre de los archivos de retardos

Los archivos de trazo de resultados son los que se encuentran dentro de los directorios “prmd\_retardos” y “prmd\_thr” y que se detallaron en la sección 5.1.4.3.

### B.3 MENSAJES DEL ARCHIVO rcs.out

Los mensajes que despliega el archivo rcs.out y su significado son los siguientes:

```
==RCST== Configuración de la portadora. LID: 5 GID: 1 CHID: 1
AB de portadora: 385032 bps Duración de la trama: 0.070311 s Num.
Slots: 18 Duración del Slot: 0.003906 s
```

Muestra la configuración de portadora para un RCST.

LID: Estación para la cual se configura la portadora (desde la 5 en adelante para las RCSTs)

GID: Grupo al que pertenece la configuración de la portadora de la estación

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

AB de portadora: Velocidad de transmisión en bps de la estación por slot de tiempo

Duración de la trama: Duración en segundos de la trama. opt(FRM\_LENGTH)

Núm. Slots: Número de slots por trama. opt(NUM\_SLOT\_FRM\_STD)

Duración del Slot: Duración en segundos de un slot

```
==NCC == Configuración de la portadora.  GID: 1  CHID: 1  Num.
Portadoras: 1  AB de portadora: 385032 bps  Num. Slots: 18  Tipo de
RCST: 1
```

Muestra la configuración de portadora para el NCC.

GID: Grupo al que pertenece la configuración de la portadora del NCC

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Num. Portadoras: Número de portadoras de la multitrama. opt(NUM\_CARR\_STD)

AB de portadora: Velocidad de transmisión en bps del NCC

Num. Slots: Número de slots por trama

Tipo de RCST: Tipo de estación RCST (1 para estaciones residenciales).  
opt(STANDARD)

```
==SRV == Enviada petición de Logon del Servidor.  LID: 4  GID: 77
CHID: 1  Nodo destino: 3  Puerto destino: 240  AB solicitado: 2000000
bps  Tiempo: 8.0000 s
```

Indica que el servidor ha enviado una petición de Logon al NCC.

LID: Estación que envía la petición (4 para el servidor)

GID: Grupo al que pertenece el servidor

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Nodo destino: Nodo al cual se envía la petición (3 para el NCC)

Puerto destino: Puerto donde la petición debe procesarse (240 es el puerto en donde se configuran los agentes RCS). opt(NCC\_PORT) opt(RCST\_PORT) opt(SRV\_PORT)

AB solicitado: Ancho de banda que solicita el servidor se le asigne. opt(SERVER\_UPLNK)

Tiempo: Instante en el que se envía la petición

```
==NCC == Recibido mensaje DULM. LID: 4 CHID: 1 Tipo de mensaje:  
16 AB/Volumen: 2000000 bps/bytes Tiempo: 8.25 s
```

Indica que el NCC ha recibido una petición DULM.

LID: Estación en emite la petición

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Tipo de mensaje: Tipo de petición embebida que realiza la estación

AB/Volumen: Ancho de banda o volumen que se incluye en la petición. Tiene sentido para cuando la petición solicita capacidad

Tiempo: Instante que se recibe el mensaje

```
==NCC == DULM ==> Petición de Logon del Servidor. LID: 4 GID: 77  
CHID: 1 AB solicitado: 2000000 bps Tiempo: 8.2502 s
```

Indica que el servidor ha realizado una petición de Logon a través de un mensaje DULM.

LID: Estación en emite la petición

GID: Grupo al que pertenece la estación

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

AB solicitado: Ancho de banda en bps que solicita el servidor se le asigne

Tiempo: Instante que se recibe la petición

```
==RCST== Enviada petición de Logon. LID: 12 GID: 1 Tiempo:  
14.7653 s
```

Indica que el RCST ha enviado una petición de Logon al NCC.

LID: Estación que emite la petición

GID: Grupo al que pertenece la estación

Tiempo: Instante en el que se envía la petición

```
==NCC == Recibida petición CSC. LID: 12 CHID: 1 Tiempo: 15.0466 s
```

Indica que el NCC ha recibido una petición CSC desde un RCST.

LID: Estación que emite la petición

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Tiempo: Instante que se recibe la petición



**==RCST== Recibida respuesta CSC. LID: 12 CHID: 1 Tiempo: 15.2966  
s**

Indica que el RCST ha recibido una respuesta a la petición CSC por parte del NCC.

LID: Estación que recibe la respuesta

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Tiempo: Instante que se recibe la respuesta

**==NCC == Recibida corrección SYNC. LID: 12 GID: 1 Tiempo: 15.7194  
s**

Indica que el NCC ha recibido un corrección SYNC.

LID: Estación que emite la corrección

GID: Grupo al que pertenece la estación

Tiempo: Instante que se recibe la corrección

**==RCST== Monitor de la cola BE. LID: 12 CHID: 1 Num. Paquetes: 0  
Cola: 0 bytes Volumen necesitado: 0 bytes Volumen disponible: 0  
bytes Volumen requerido: 0 bytes Tiempo: 15.9694**

Indica que se ha monitoreado la cola de una estación. El monitoreo se da cada 0.680 segundos. opt(BE\_CHKTIME)

LID: Estación en la que se monitorea la cola BE

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Num. Paquetes: Número de paquetes en la cola

Cola: Tamaño en bytes de los paquetes encolados (40 bytes/paquete)

Volumen necesitado: Cola + (Num. Paquetes \* [CABECERA MPE]) + ((Cola / [CARGA UTIL MPEG]) \* [CABECERA MPEG])

Volumen disponible: Volumen que tiene la estación disponible en el instante del monitoreo

Volumen requerido: Volumen que se requiere solicitar al NCC

Tiempo: Instante que se realiza el monitoreo

```
==RCST==  Petición inicial de capacidad. LID: 10 Tiempo: 341.0740
s
```

Indica que la estación solicita al NCC que se le asigne un Slot para envío de tráfico. Se activa la bandera de control de conexión con el servidor.

LID: Estación que realiza la petición

Tiempo: Instante que se realiza la petición

```
==RCST==  Petición de capacidad en el siguiente slot CSYNC. LID: 5
Siguiete CSYNC: 2289.0449 s Siguiete SYNC: 2289.5371 s Tiempo:
2289.0078 s
```

Indica que se realizará una petición de capacidad en el siguiente slot CSYNC disponible, ya que éste se encuentra más cercano en tiempo que el SYNC.

LID: Estación que informa acerca de su elección

Siguiente CSYNC: Tiempo programado para el siguiente CSYNC disponible

Siguiente SYNC: Tiempo programado para el siguiente SYNC disponible

Tiempo: Instante que se realiza la información

```
==RCST==  Petición de capacidad en el siguiente SYNC. LID: 5
Siguiente CSYNC: 1801.3678 s Siguiente SYNC: 1801.5788 s Time:
1801.3504 s
```

Indica que se realizará una petición de capacidad en el siguiente SYNC, ya que el CSYNC más cercano no se encuentra disponible.

LID: Estación que informa acerca de su elección

Siguiente CSYNC: Tiempo programado para el siguiente CSYNC no disponible

Siguiente SYNC: Tiempo programado para el siguiente SYNC disponible

Tiempo: Instante que se realiza la información

```
==RCST==  Petición de capacidad en el siguiente SYNC (>=). LID: 10
Siguiente CSYNC: 364.2813 s Siguiente SYNC: 364.2813 s Tiempo:
364.2364 s
```

Indica que se realizará una petición de capacidad en el siguiente SYNC, ya que éste se encuentra a menor o igual tiempo que el CSYNC.

LID: Estación que informa acerca de su elección

Siguiente CSYNC: Tiempo programado para el siguiente CSYNC no disponible

Siguiente SYNC: Tiempo programado para el siguiente SYNC disponible

Tiempo: Instante que se realiza la información

```
==RCST== No existe conexión con el servidor. LID: 10 Nodo  
destino: 4 Tiempo: 341.0740 s
```

Información de control de conexión.

LID: Estación que genera el mensaje

Nodo destino: Nodo con el cual se intentó conexión

Tiempo: Instante que se genera el mensaje

```
==RCST== Petición CSYNC. LID: 10 GID: 1 CHID: 1 Volumen  
solicitado: 180 bytes Tiempo: 341.0787 s
```

Indica que se realiza una petición en un slot CSYNC.

LID: Estación que realiza la petición

GID: Grupo al que pertenece la estación

Volumen solicitado: Volumen solicitado en bytes al NCC para asignación de slots

Tiempo: Instante que se genera la petición

```
==NCC == Recibido CSYNC. LID: 10 GID: 1 CHID: 1 Volumen  
requerido: 180 bytes Slot: 0 Tiempo: 341.36 s
```

Indica que el NCC ha recibido una petición CSYNC de la estación.

LID: Estación que realiza la petición

GID: Grupo al que pertenece la estación

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Volumen requerido: Volumen que solicita la estación

Slot: Slot en el que se recibe la petición CSYNC

Tiempo: Instante que se recibe la petición

```
==NCC ==      Procesando peticiones de capacidad en el TBTP.  
Peticiones en cola: 1 Tiempo: 341.3902 s
```

Indica que el NCC procesará las asignaciones de capacidad grabadas en una lista en el siguiente TBTP.

Peticiones en cola: Número de peticiones que el NCC mantiene en la cola para procesar

Tiempo: Instante que se genera el mensaje

```
==NCC ==      Petición de capacidad VBDC. LID: 10 CHID: 1 Slots  
requeridos: 1 Slots destinados: 1 Tiempo: 341.3902 s
```

Indica que el NCC está procesando la petición de capacidad VBDC.

LID: Estación que realiza la petición

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Slots requeridos: Número de slots que se requieren para satisfacer el volumen solicitado. (Volumen requerido / 184)

Slots destinados: Número de slots que se destinan para la estación

Tiempo: Instante que se genera el mensaje

---

**==NCC == Asignación de capacidad VBDC. LID: 10 CHID: 1 Slots por  
asignar: 0 Tiempo: 341.3902 s**

Indica que el NCC ha asignado determinado número de slots a una estación.

LID: Estación que realiza la petición

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Slots por asignar: Número de slots que faltan de asignar a la estación solicitante

Tiempo: Instante que se da la asignación

**==RCST== Se requiere más capacidad. LID: 10 CHID: 1 Num.  
Paquetes: 26 Cola: 38448 bytes Volumen necesitado: 38760 bytes  
Volumen asignado: 6392 bytes Volumen requerido: 32368 bytes  
Tiempo: 350.8519 s**

Este mensaje se genera únicamente después de haber recibido capacidad VBDC, antes de que el monitor de cola se active y si el volumen necesitado es mayor que el asignado más un umbral dado por `opt(REQ_SIZE_TRESH)`. Indica que una estación después de haber obtenido slots para enviar tráfico, su cola ha incrementado y es necesario realizar otra petición.

LID: Estación que genera el mensaje

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Num. Paquetes: Número de paquetes en la cola

Cola: Tamaño en bytes de los paquetes encolados (40 bytes/paquete)

Volumen necesitado: Cola + (Num. Paquetes \* [CABECERA MPE])

Volumen asignado: Volumen que tiene la estación asignada

Volumen requerido: Volumen que se requiere solicitar al NCC

Tiempo: Instante que se realiza el chequeo

```
==RCST==  Recibida asignación VBDC. LID: 10 CHID: 1 Volumen  
asignado: 184 bytes Tiempo: 341.6402 s
```

Indica que la estación ha recibido la asignación VBDC por parte del NCC.

LID: Estación que recibe la asignación

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Volumen asignado: Volumen asignado por el NCC. Num. Slots \* 184 bytes

Tiempo: Instante que se recibe la asignación

```
==RCST==  Enviando petición de conexión. LID: 10 Nodo destino: 4  
Tiempo: 341.7154 s
```

Indica que la estación solicita al NCC establecer una conexión con un nodo, específicamente con el servidor.

LID: Estación que envía la petición

Nodo destino: Nodo con el cual se desea establecer una conexión (Servidor = 4)

Tiempo: Instante que envía la petición

```
==NCC ==  DULM ==> Petición de conexión. LID: 10 CHID: 1 GID:  
1 Nodo destino: 4 Tiempo: 342.22 s
```

Indica que una estación ha realizado una petición de conexión a través de un mensaje DULM.

LID: Estación que realiza la petición

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

GID: Grupo al que pertenece la estación

Nodo destino: Nodo con el cual se desea establecer una conexión (Servidor = 4)

Tiempo: Instante que se recibe la petición

```
==SRV == Recibido NCCRxConnSetup. LID: 4 Dirección origen: 10  
GID: 1 Tiempo: 342.4656 s
```

Indica que el servidor ha recibido el PDU NCCRxConnSetup del NCC indicándole que puede recibir tráfico desde la estación Dirección origen.

LID: Estación que recibe el PDU

Dirección origen: Estación de la cual va a recibir tráfico

GID: Grupo al que pertenece la estación

Tiempo: Instante que recibe el PDU

```
==RCST== Recibido NCCTxConnSetup. LID: 10 Dirección destino: 4  
GID: 1 CHID: 1 Tiempo: 342.4656 s
```

Indica que la estación ha recibido el PDU NCCTxConnSetup del NCC indicándole que puede enviar tráfico a la Dirección destino.

LID: Estación que recibe el PDU

---



Dirección destino: Estación a la cual puede enviar tráfico (servidor)

GID: Grupo al que pertenece la estación

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Tiempo: Instante que recibe el PDU

```
==RCST==      Enviando petición de capacidad.  CHID: 1  Volumen  
solicitado: 52 bytes LID: 10
```

Indica que una estación ha enviado una petición de capacidad.

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Volumen solicitado: Volumen en bytes que solicita para el envío de tráfico

LID: Estación que hace la petición de capacidad

```
==NCC ==      Petición de Slots no fue completada.  LID: 10 Slots  
requeridos: 68 Slots restantes: 34 Tiempo: 348.2807 s
```

Indica que no se pudo asignar la totalidad de los slots.

LID: Estación que solicitó capacidad

Slots requeridos: Número de slots solicitados por la estación

Slots restantes: Número de slots que faltan de asignar

Tiempo: Instante que informa el NCC

**==RCST== Petición en curso es más grande que la nueva. LID: 10  
CHID: 1 Vol. Requerido: 5964 bytes Vol. Pendiente: 6100 bytes  
Tiempo: 348.5964 s**

Indica que la estación ha enviado una petición de capacidad menor a la que se envió anteriormente al NCC y todavía no se ha completado.

LID: Estación que genera el mensaje

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Vol. Requerido: Volumen que se ha solicitado actualmente

Vol. Pendiente: Volumen que todavía falta que el NCC asigne

Tiempo: Instante que se genera el mensaje

**==RCST== Petición de capacidad DULM SAC. LID: 10 Volumen  
solicitado: 9132 bytes CHID: 1 Tiempo: 349.9564 s**

Indica que la estación ha enviado una petición de capacidad utilizando el método DULM.

LID: Estación que hace la petición de capacidad

Volumen solicitado: Volumen que la estación solicita se le asigne

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Tiempo: Instante que se realiza la petición

**==RCST== No se envió CSYNC, existe una petición en curso. LID: 5  
Tiempo CSYNC: 409.3506 s Tiempo SYNC: 409.4210 Tiempo: 409.3506**

Indica que la estación no ha enviado la petición de capacidad CSYNC, ya que la petición enviada anteriormente todavía no se ha completado.

LID: Estación que no envía su ráfaga CSYNC

Tiempo CSYNC: Tiempo planificado para el CSYNC

Tiempo SYNC: Tiempo planificado para el SYNC

Tiempo: Instante que se genera el mensaje

```
==NCC == Iniciando asignación completa de Slots libres. LID: 10  
GID: 1 Tiempo: 341.53 s
```

Indica que el NCC asignará todos los slots disponibles a la estación que le ha solicitado capacidad

LID: Estación a la que se le asignará todos los slots disponibles

GID: Grupo al que pertenece la estación

Tiempo: Instante que se genera el mensaje de información

```
==RCST== Enviando petición de capacidad sobre un slot SYNC. LID:  
10 CHID: 1 Tiempo: 364.2813 s
```

Indica que la estación ha escogido enviar una petición de capacidad en un slot SYNC.

LID: Estación que envía la petición

CHID: Identificación del canal (1 para canal de señalización)

Tiempo: Instante que se envía la petición

```
==NCC ==  Recibida petición SYNC con SAC. LID: 10 GID: 1 Tiempo:  
364.5323 s
```

Indica que el NCC ha recibido una petición SYNC\_SAC.

LID: Estación que emite la petición

GID: Grupo al que pertenece la estación

Tiempo: Instante que el NCC recibe la petición

```
==NCC ==  Colisión detectada en slots CSYNC. LID1: 7 LID2: 12  
Slot CSYNC: 1 Tiempo de envío: 1100.0156 s Tiempo: 1100.2666 s
```

Indica que el NCC ha detectado una colisión en un *slot* CSYNC.

LIDx: Estaciones en colisión

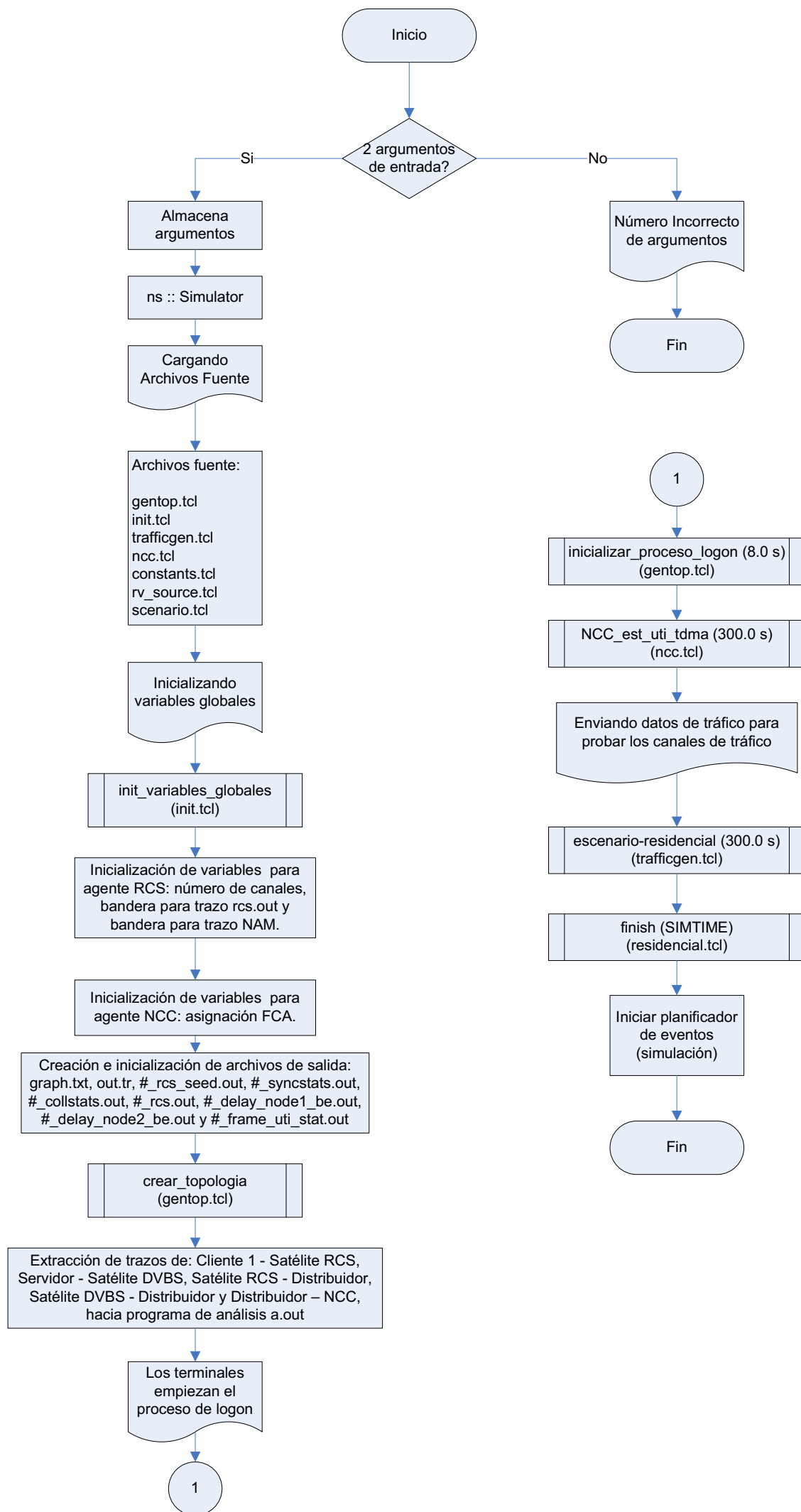
Slot CSYNC: Slot CSYNC colisionado

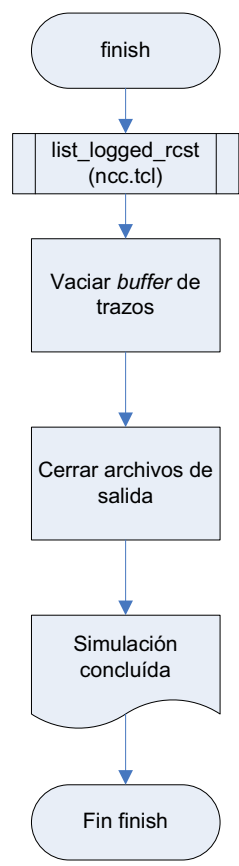
Tiempo de envío: Instante en el que las dos estaciones enviaron una petición CSYNC

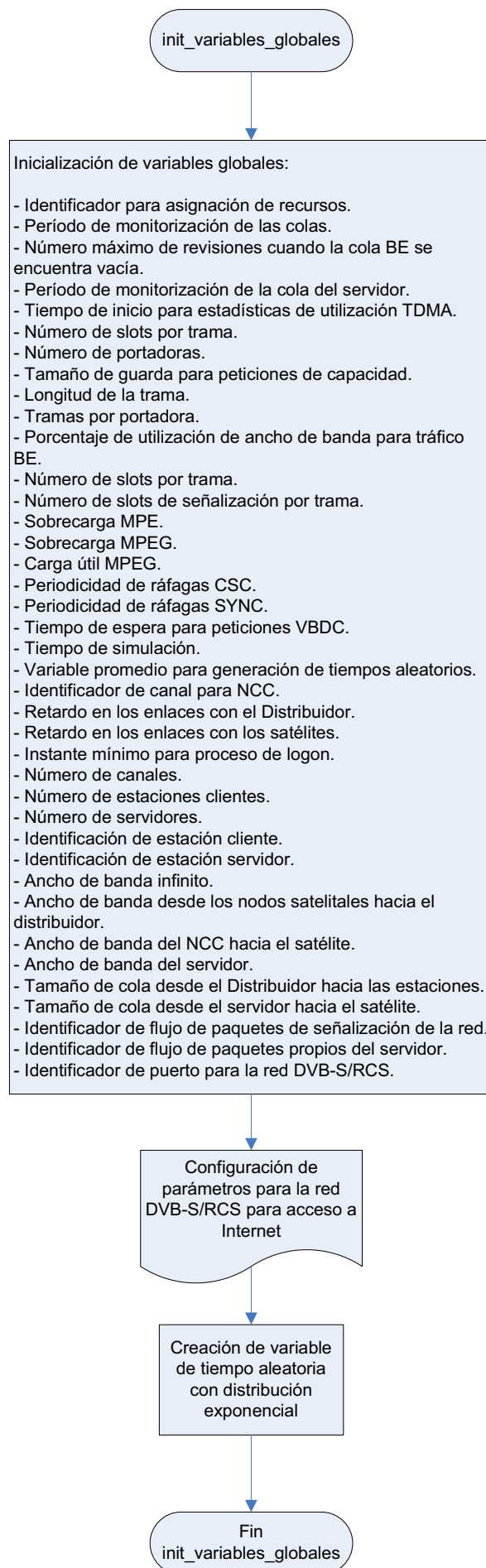
Tiempo: Instante en el que se detecta la colisión por parte del NCC

# **ANEXO C**

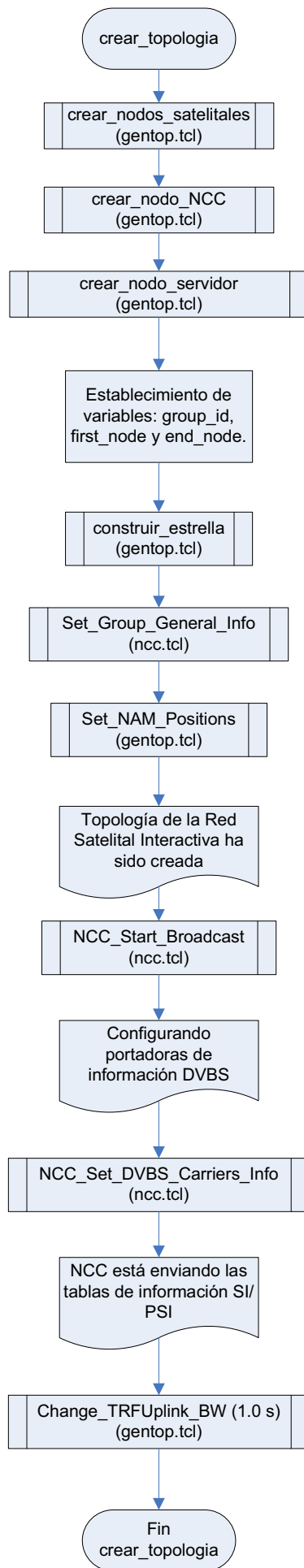
## **ESTRUCTURAS DE PROGRAMAS**

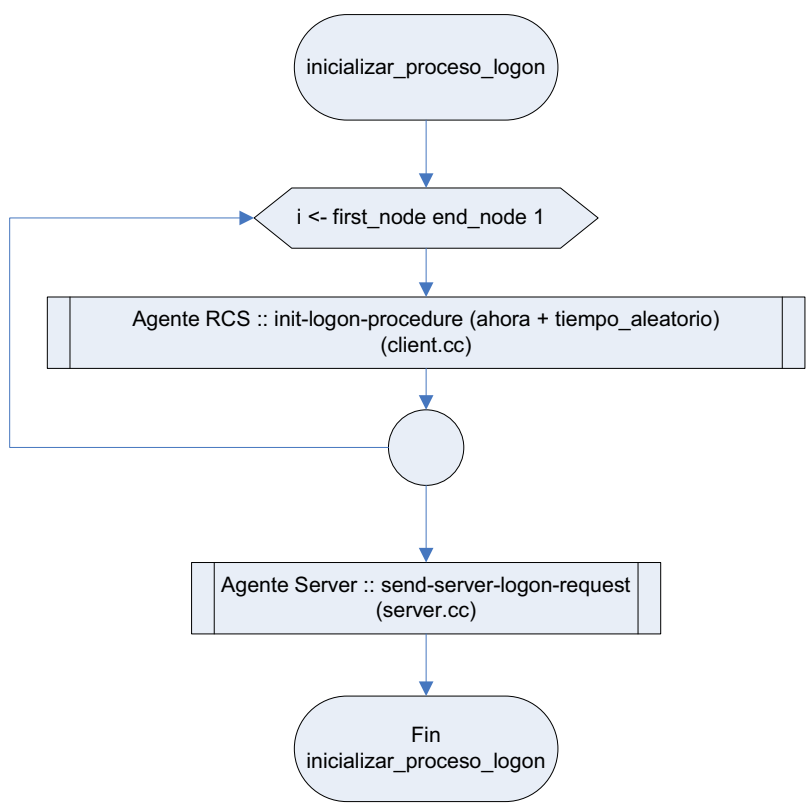
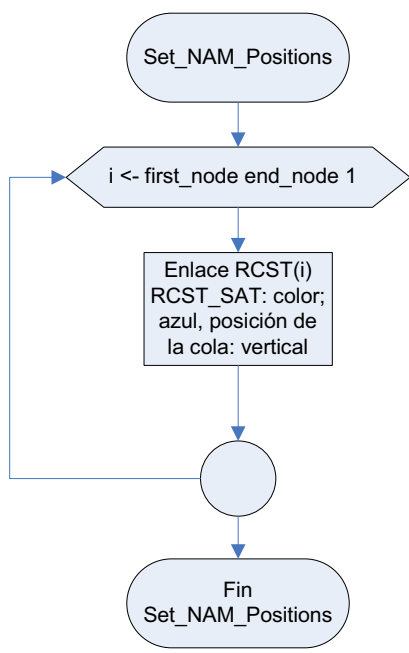
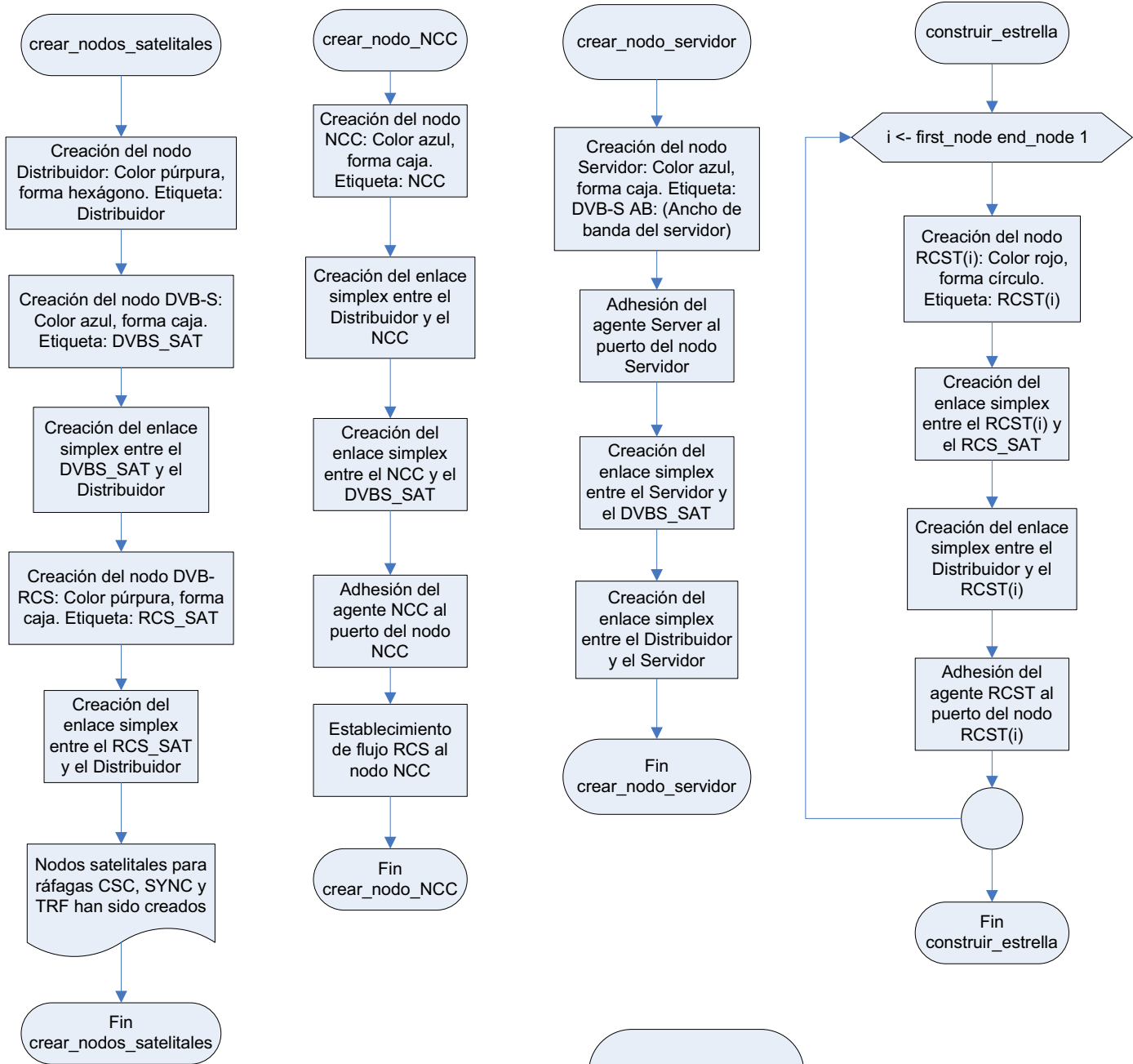


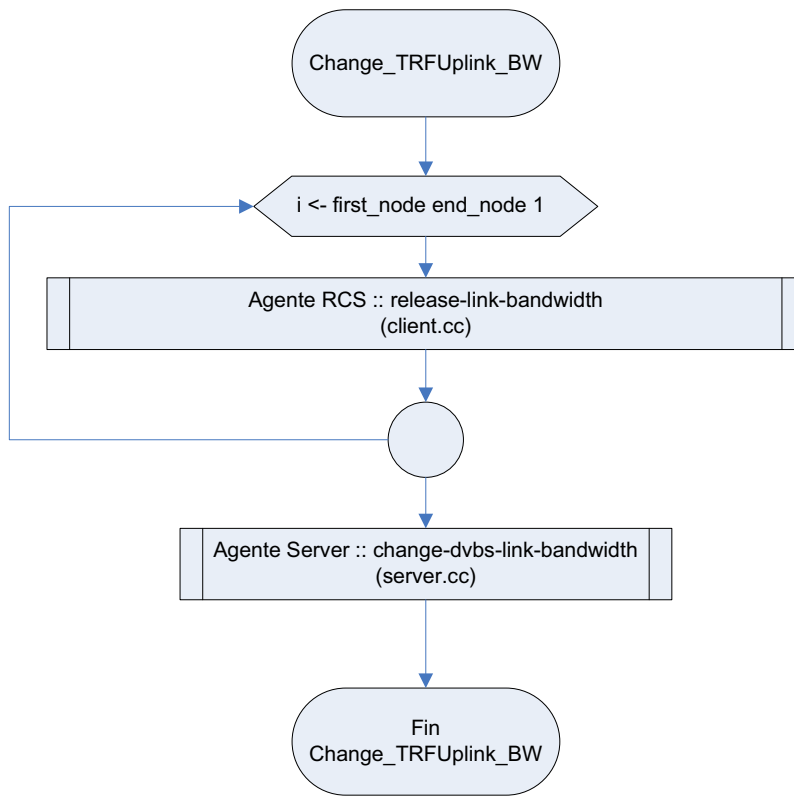






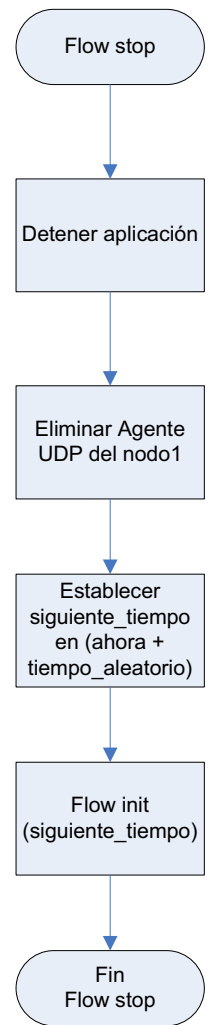
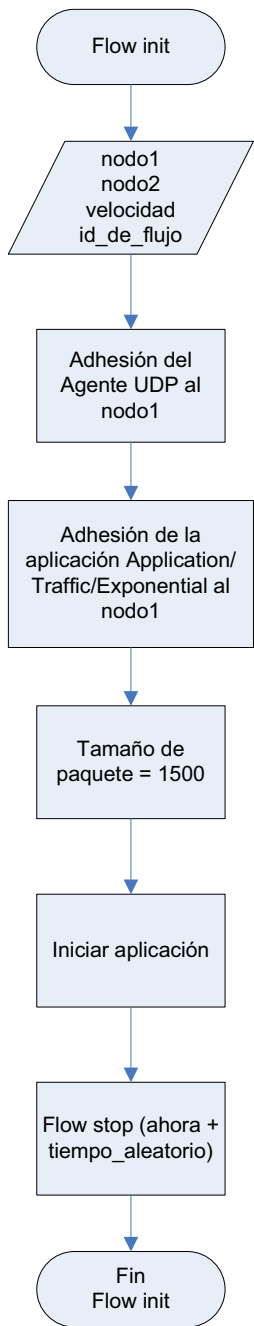


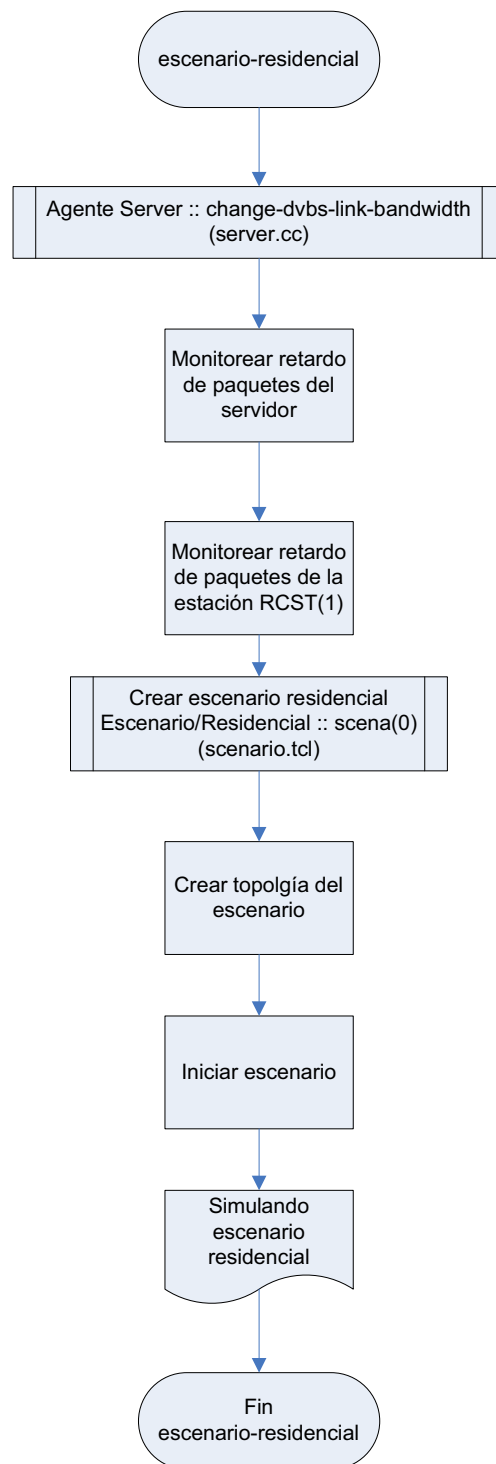


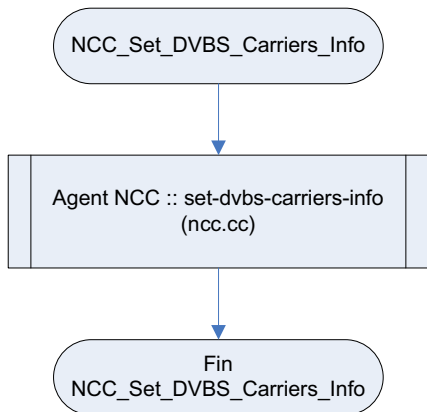
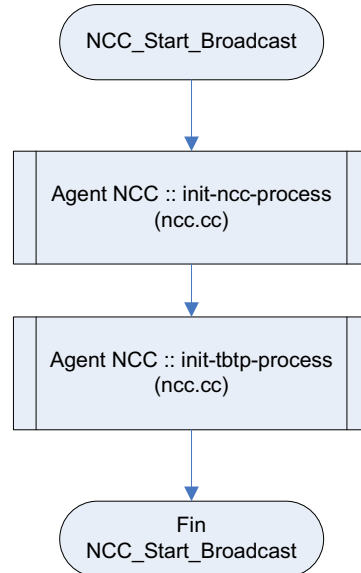
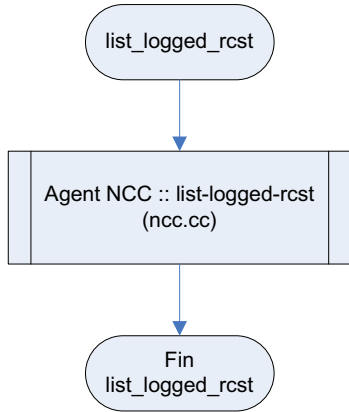
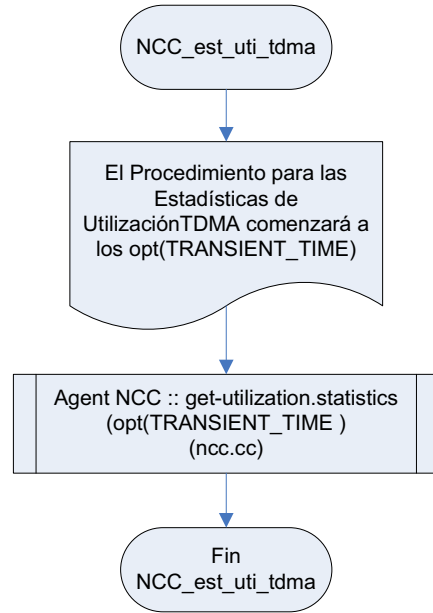
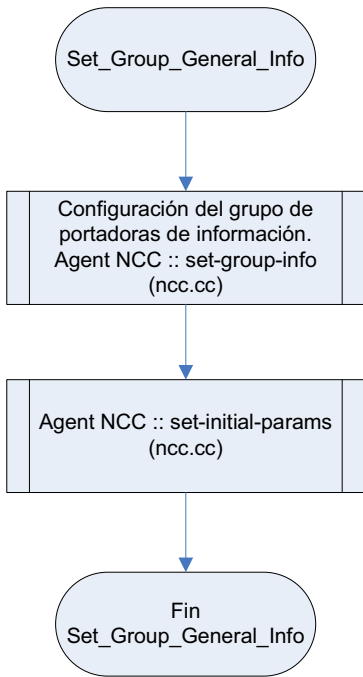


Class Flow

Flow init  
Flow stop



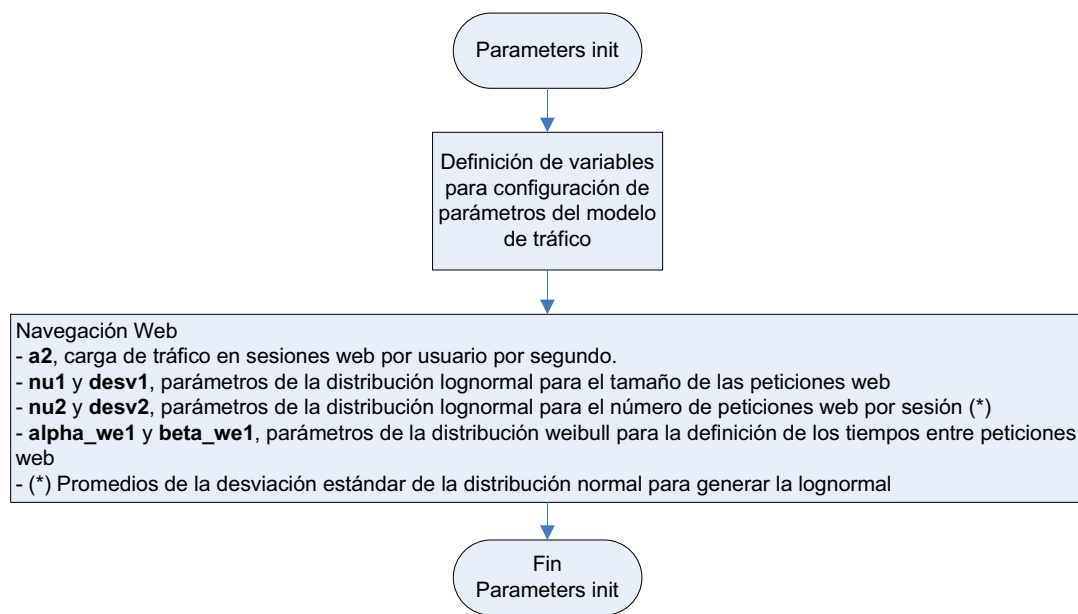


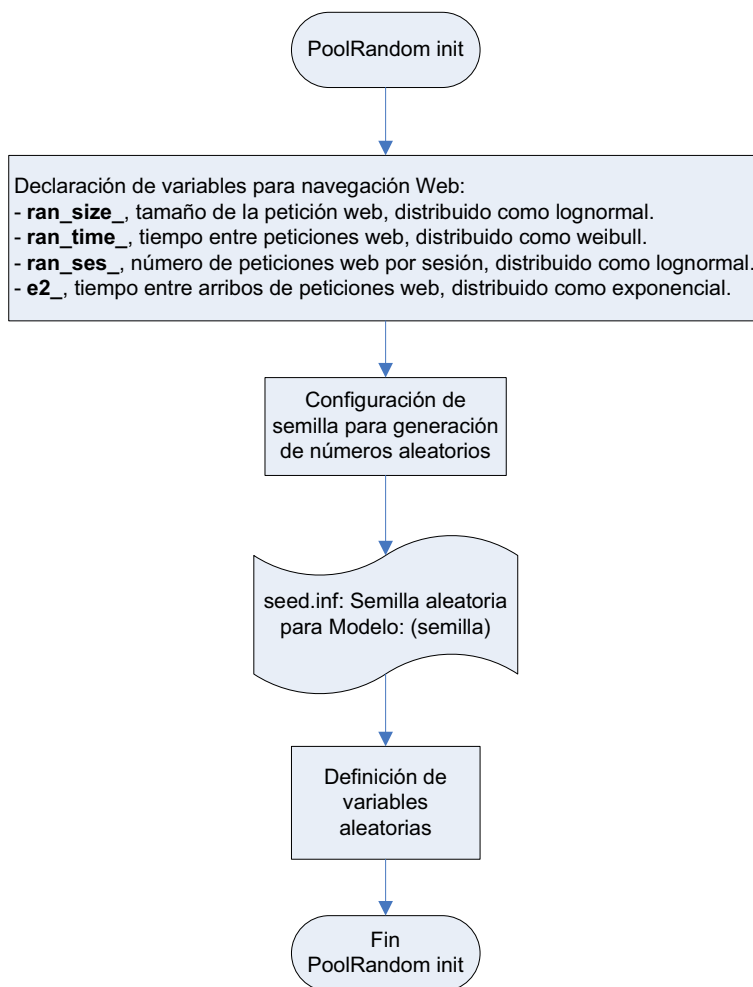


constants.tcl

Class Parameters

Parameters init







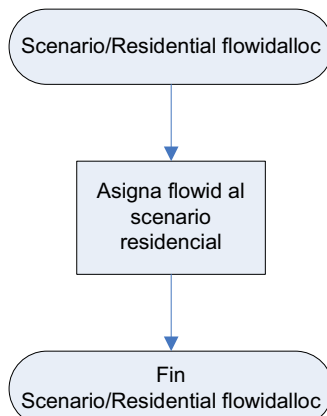
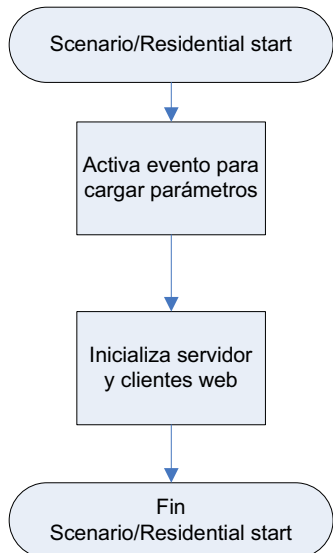
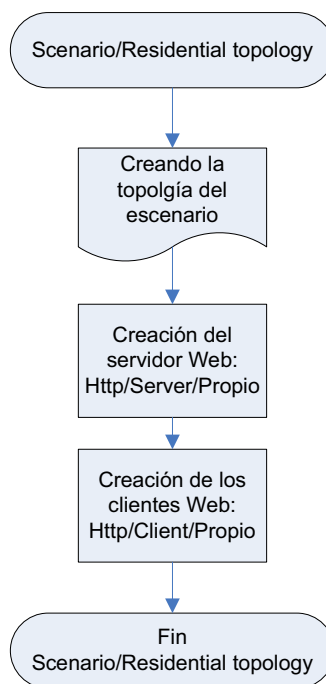
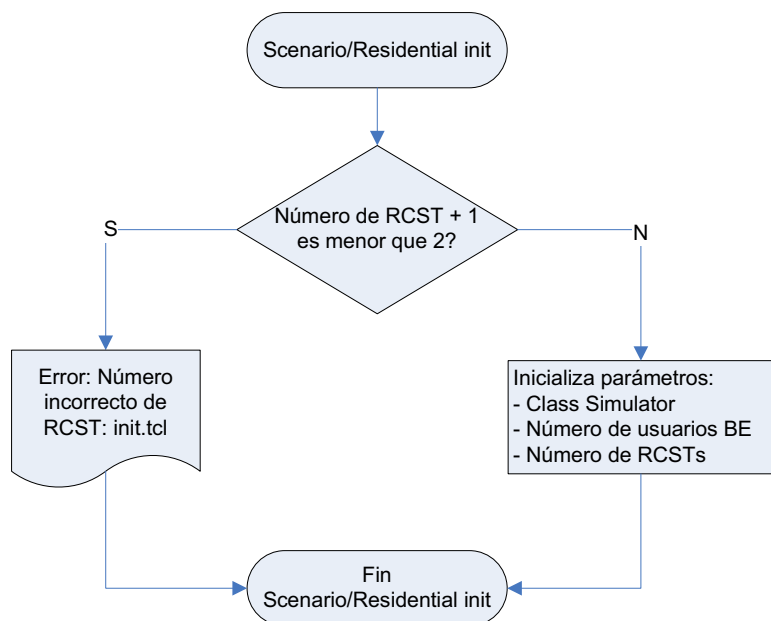
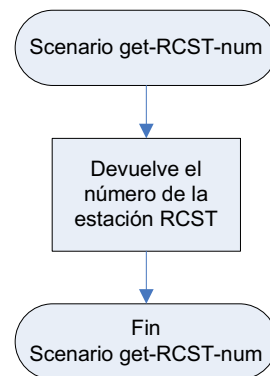
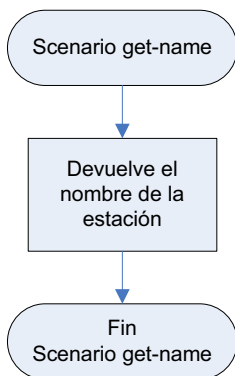
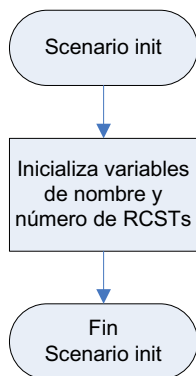
scenario.tcl

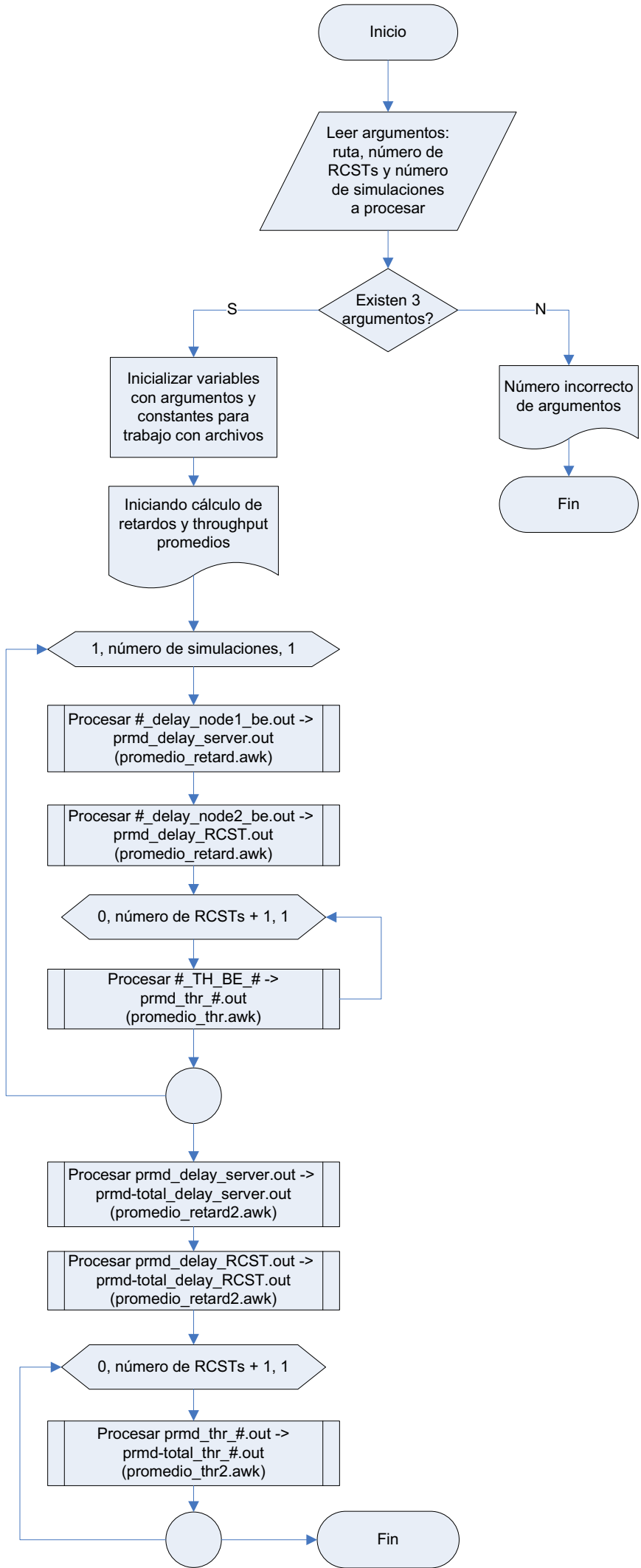
Class Scenario

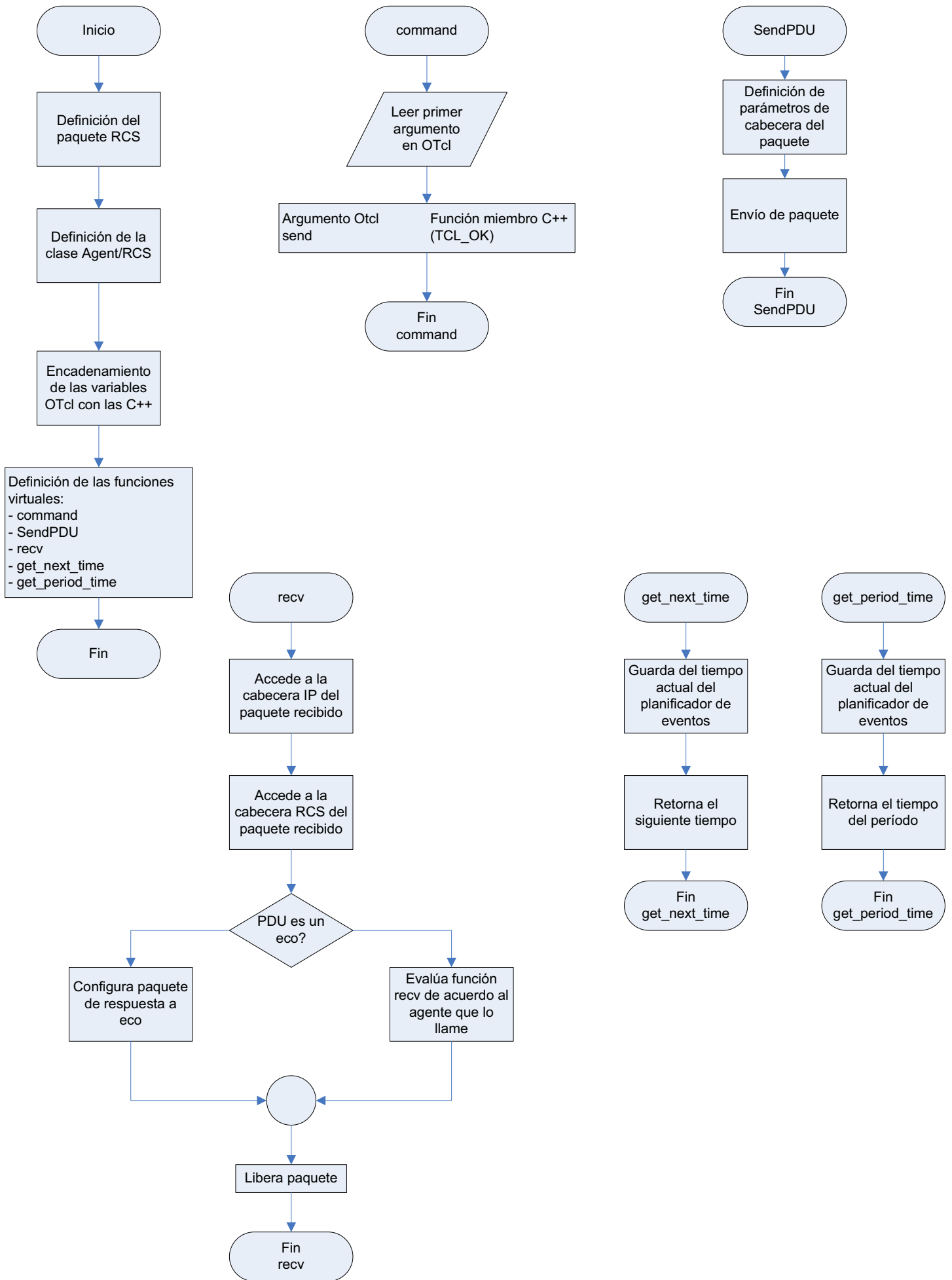
Scenario init  
Scenario get-name  
Scenario get-RCST-num

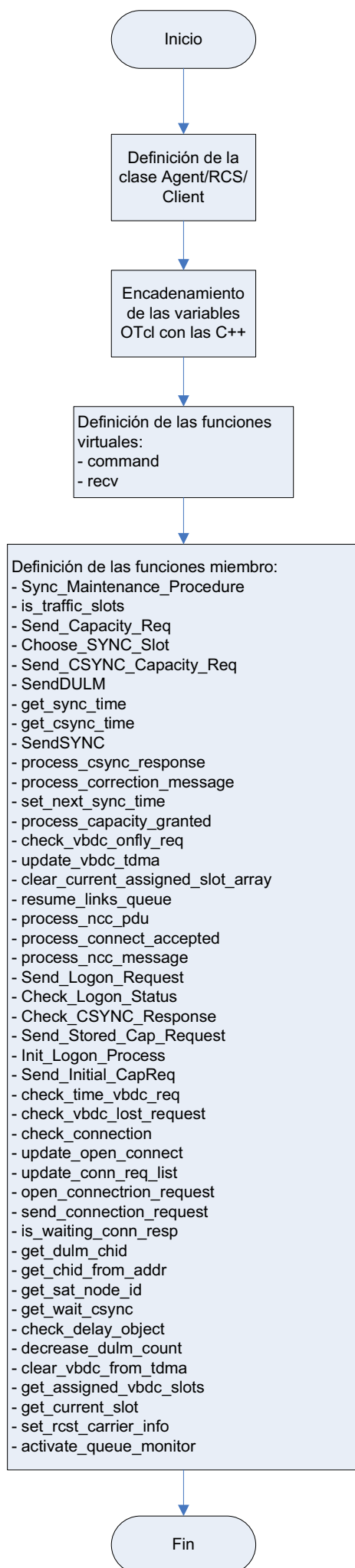
Class Scenario/Residential

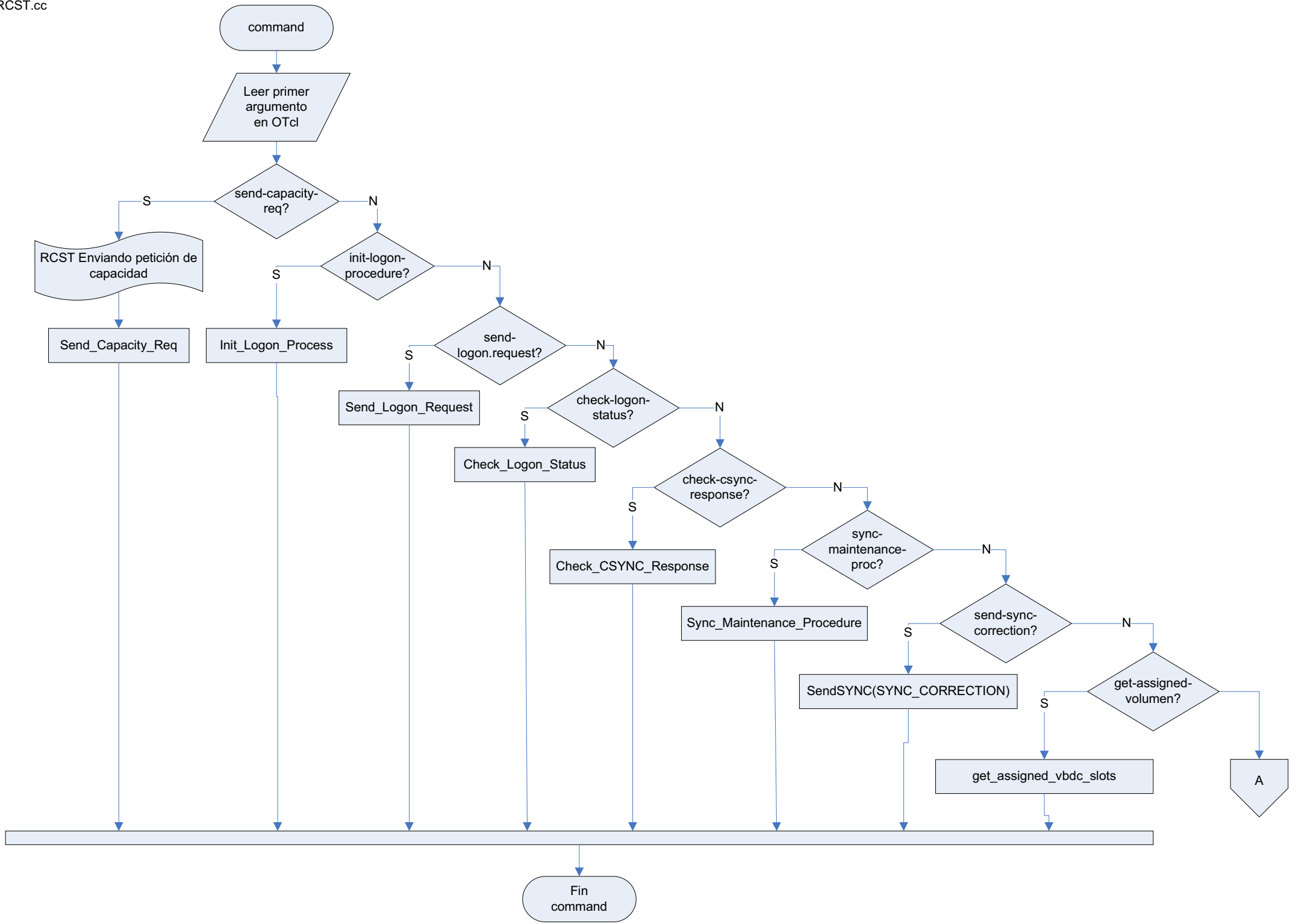
Scenario/Residential init  
Scenario/Residential topology  
Scenario/Residential start  
Scenario/Residential flowidalloc

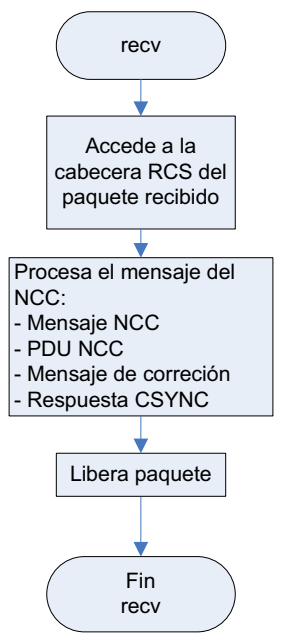
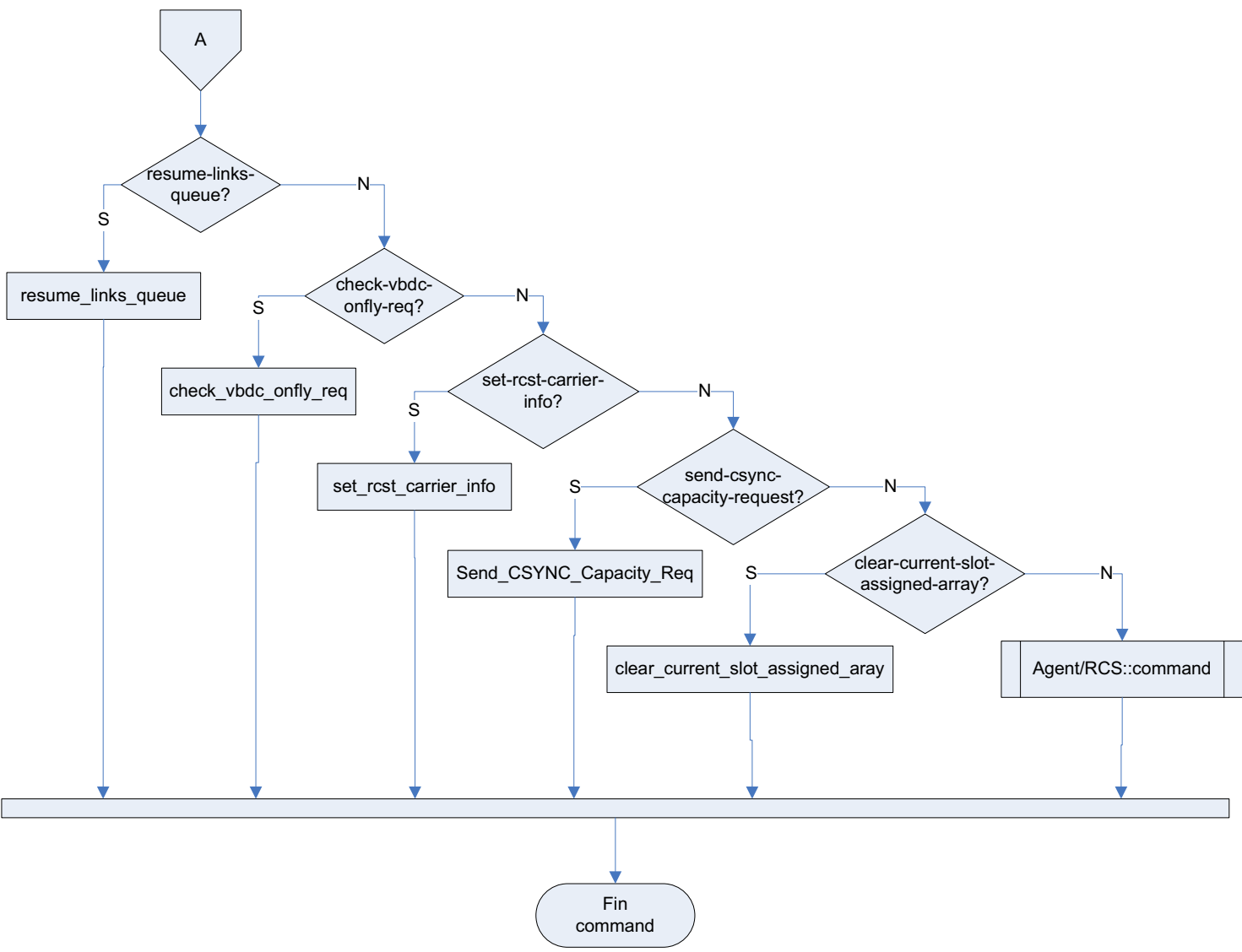


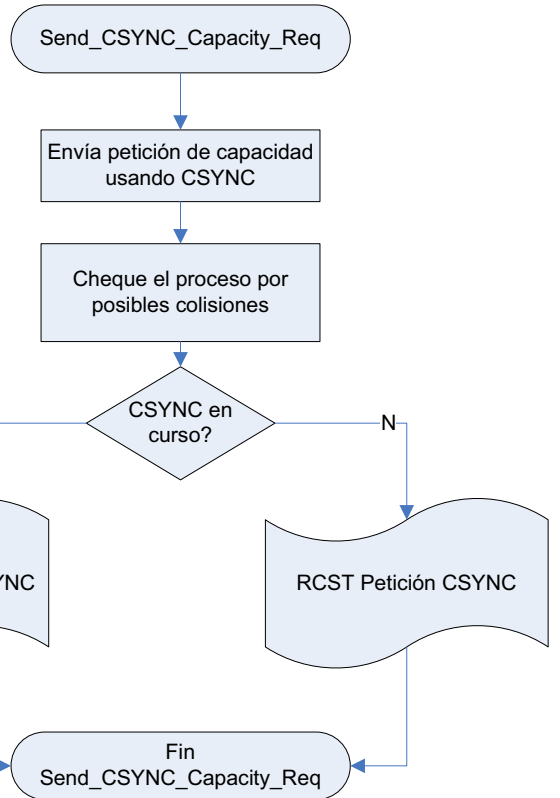
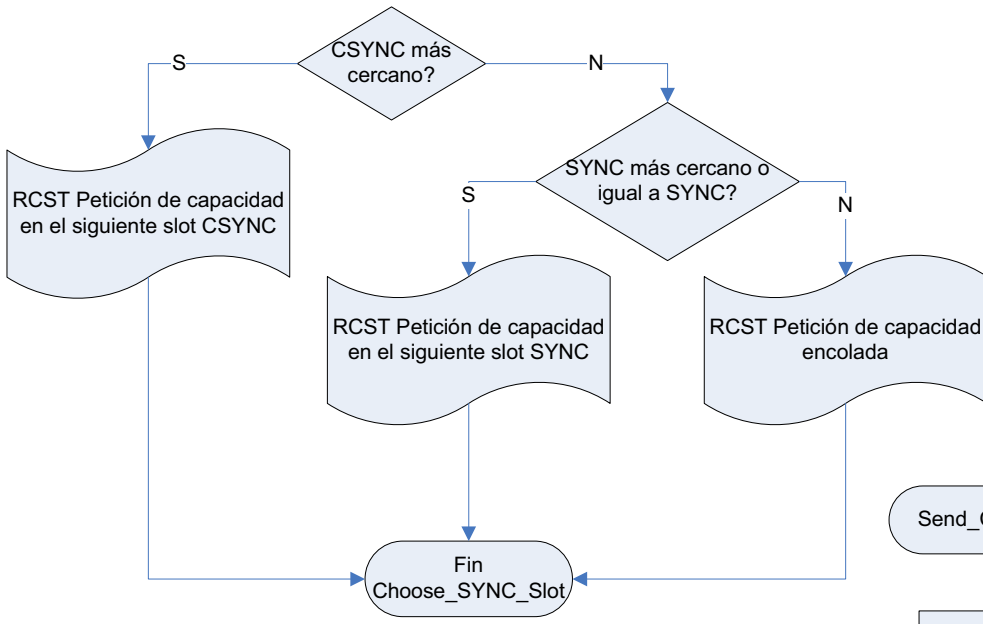
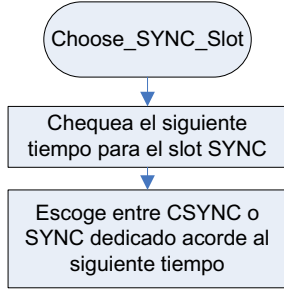
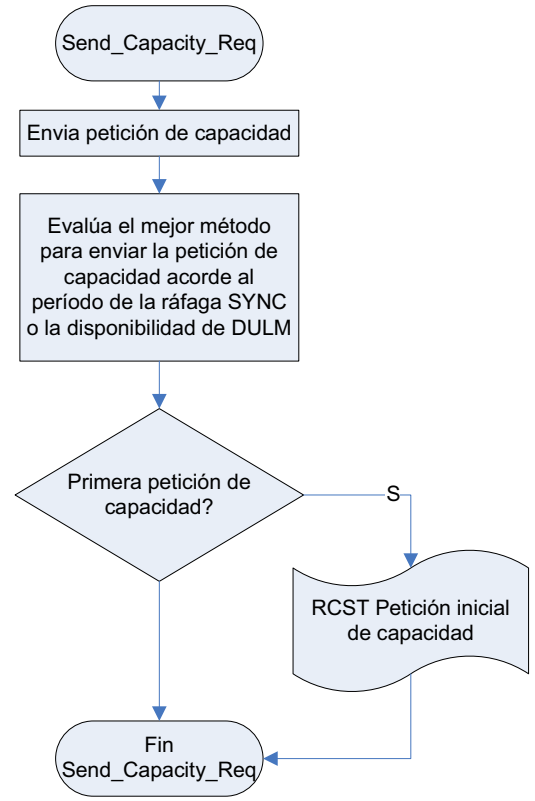
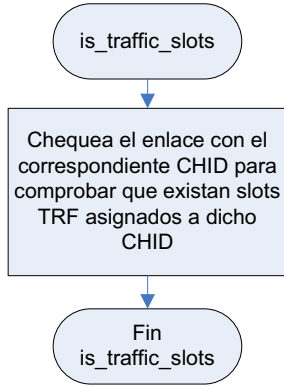
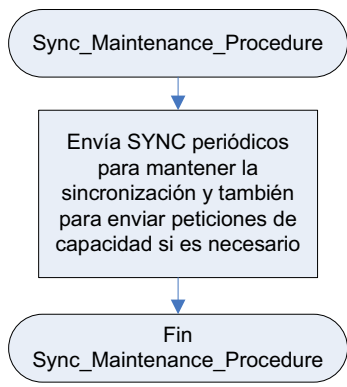


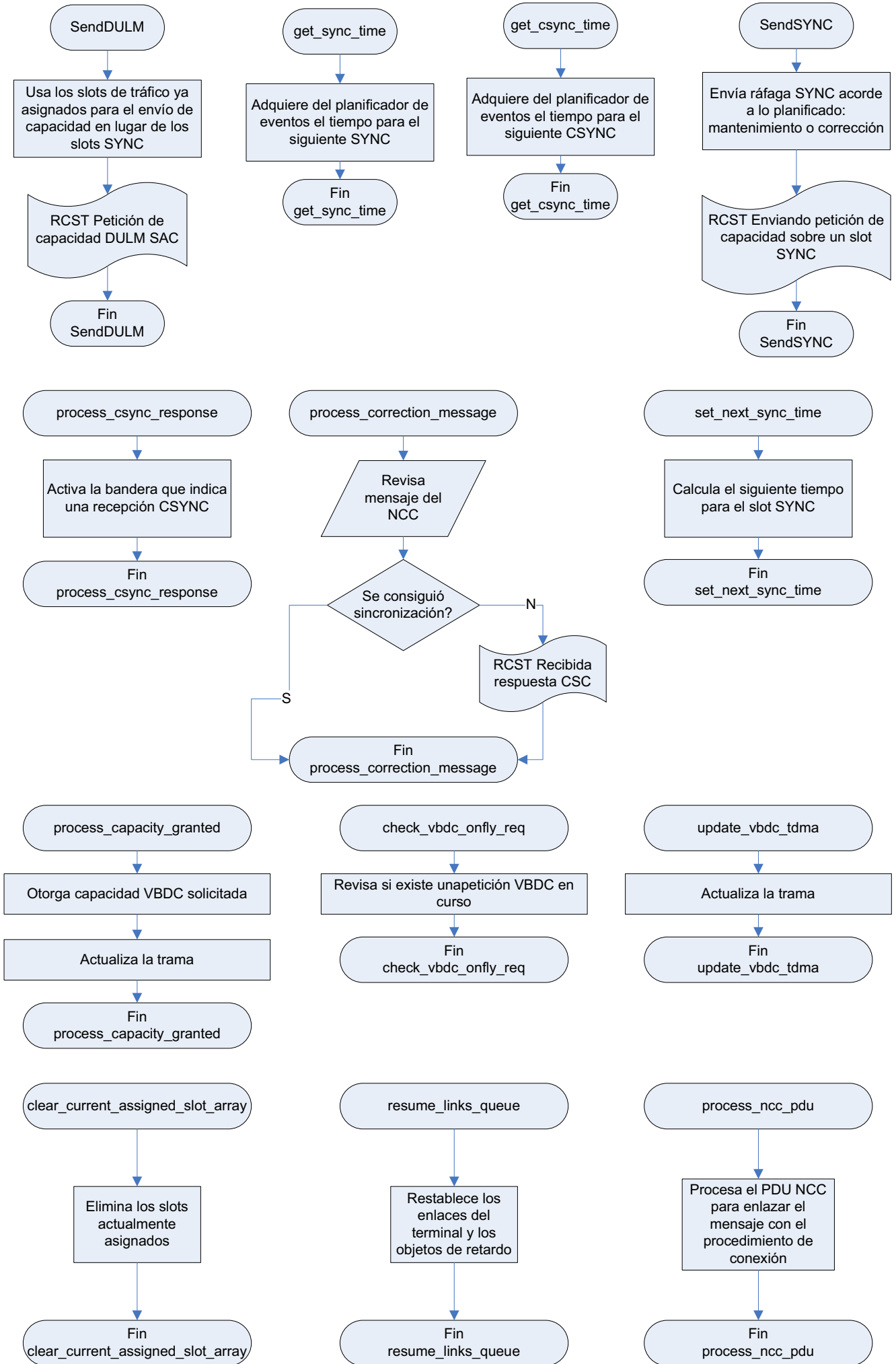




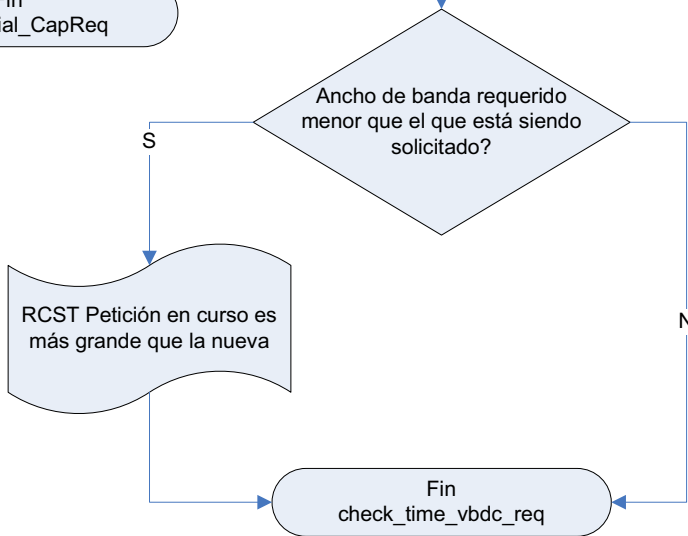
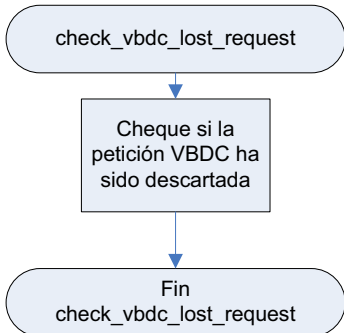
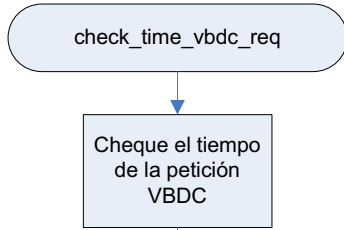
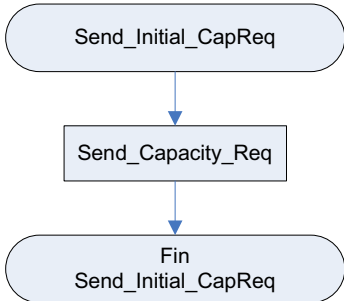
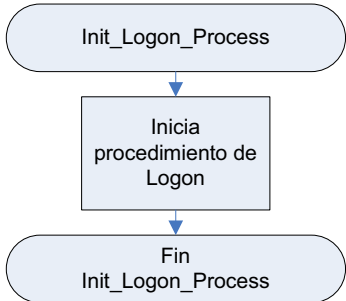
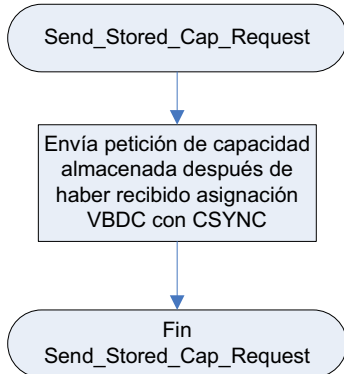
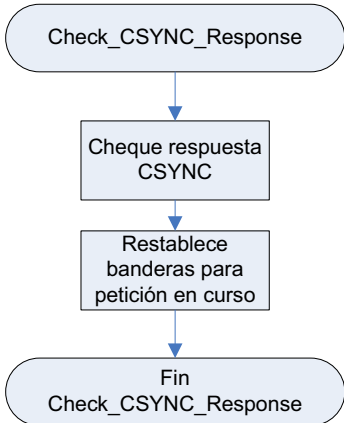
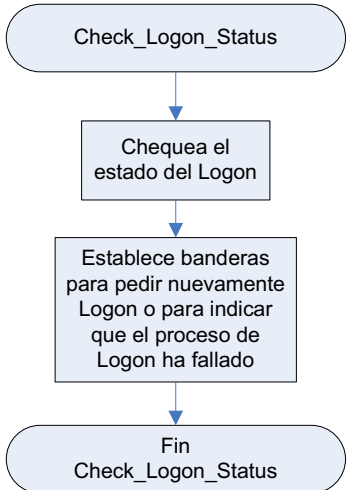
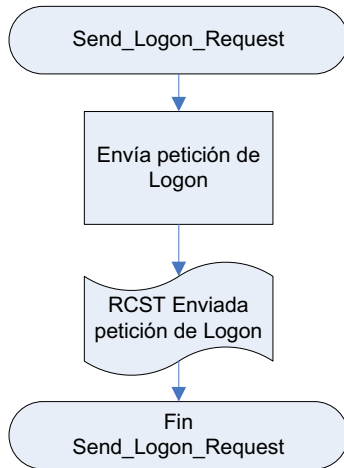
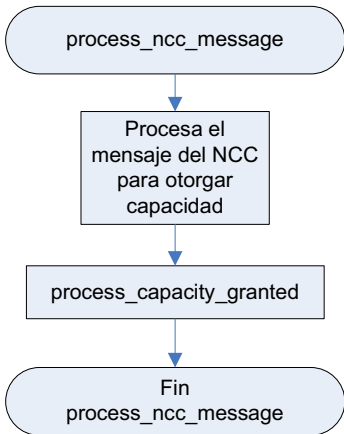
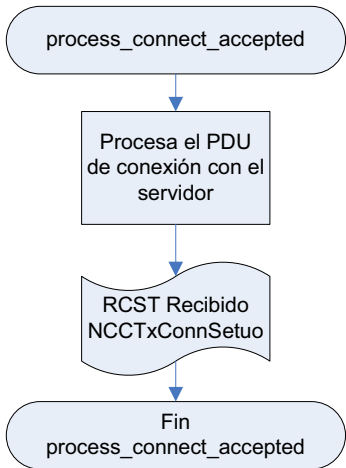


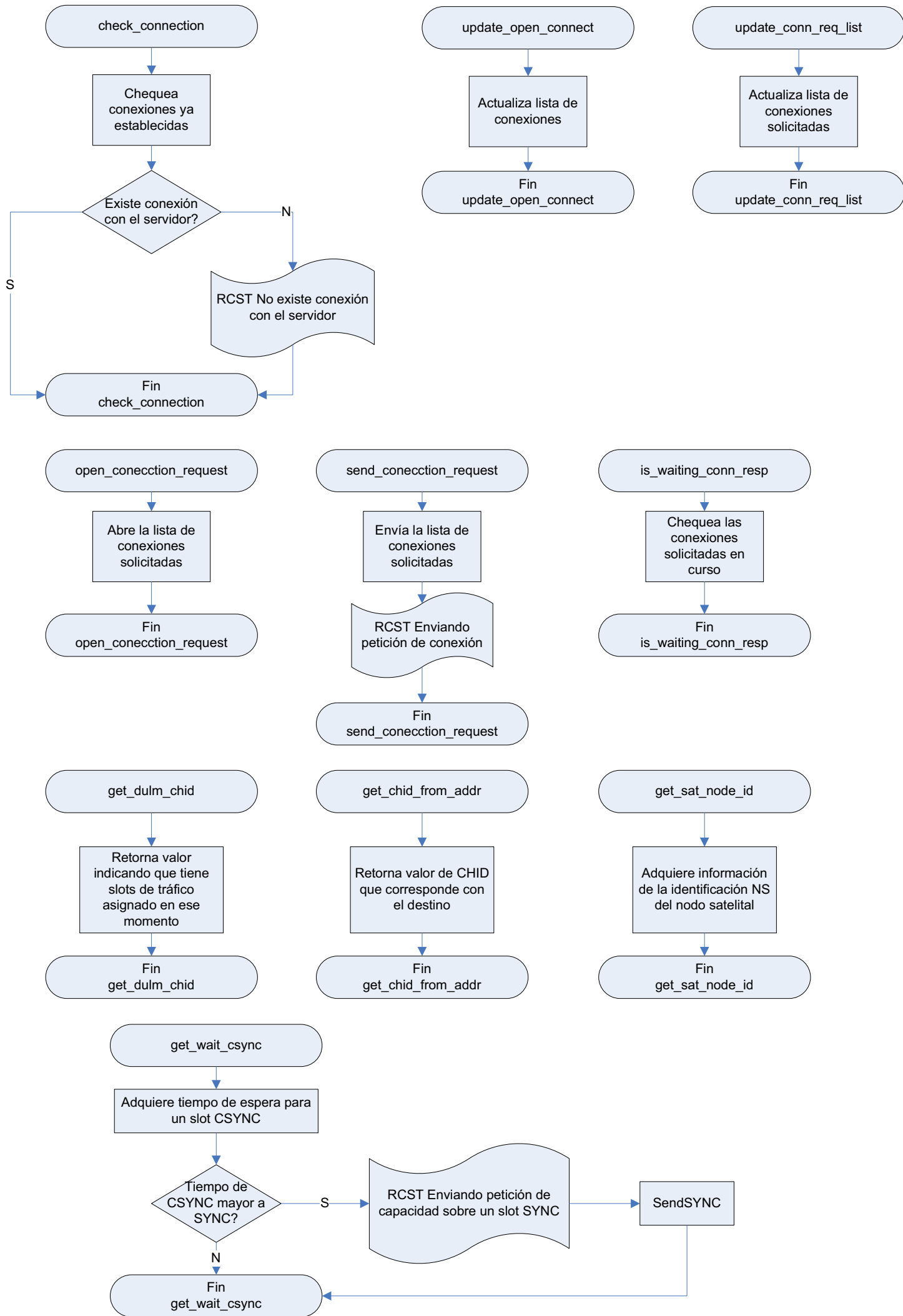


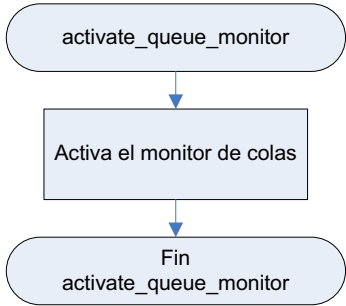
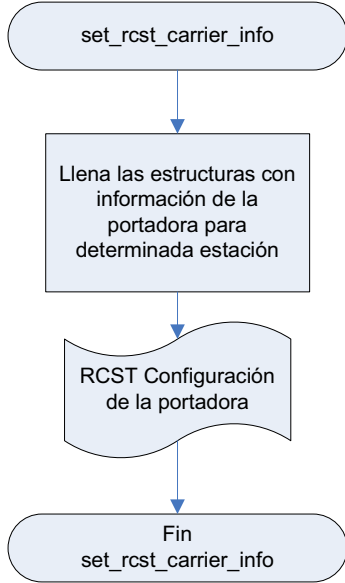
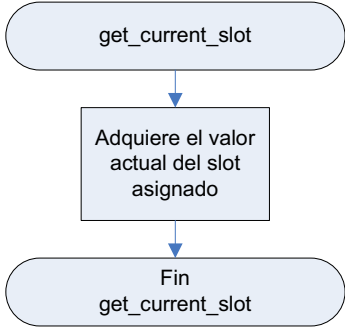
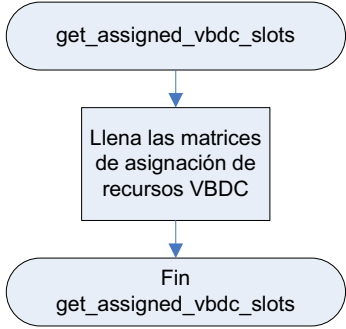
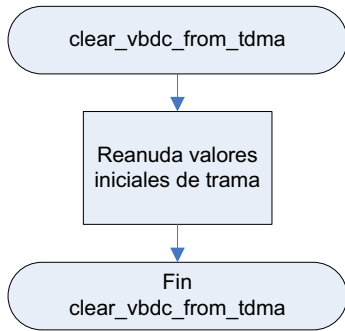
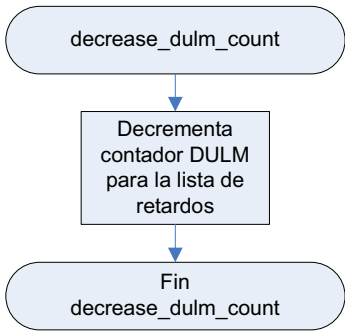
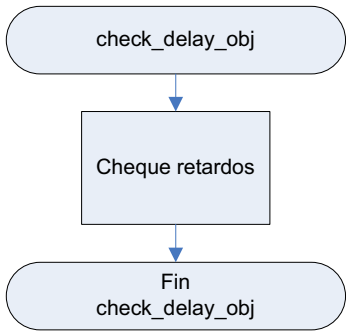


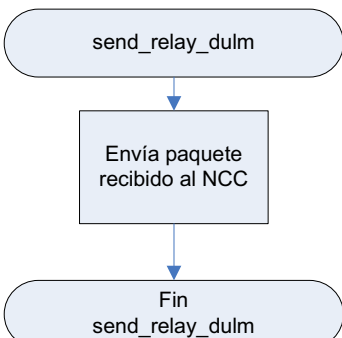
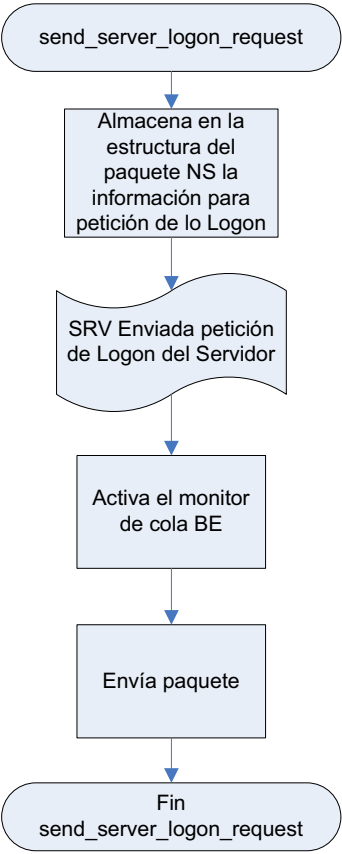
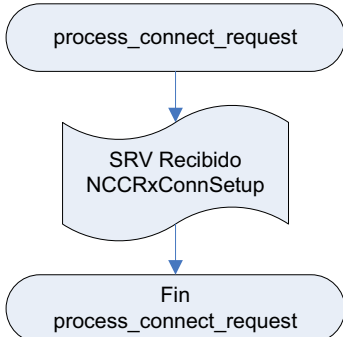
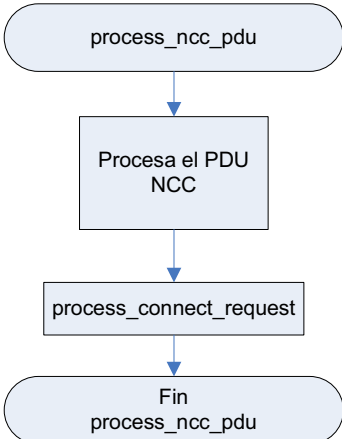
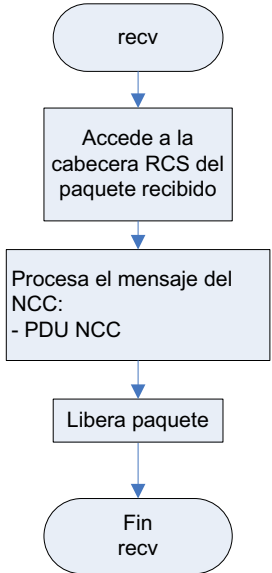
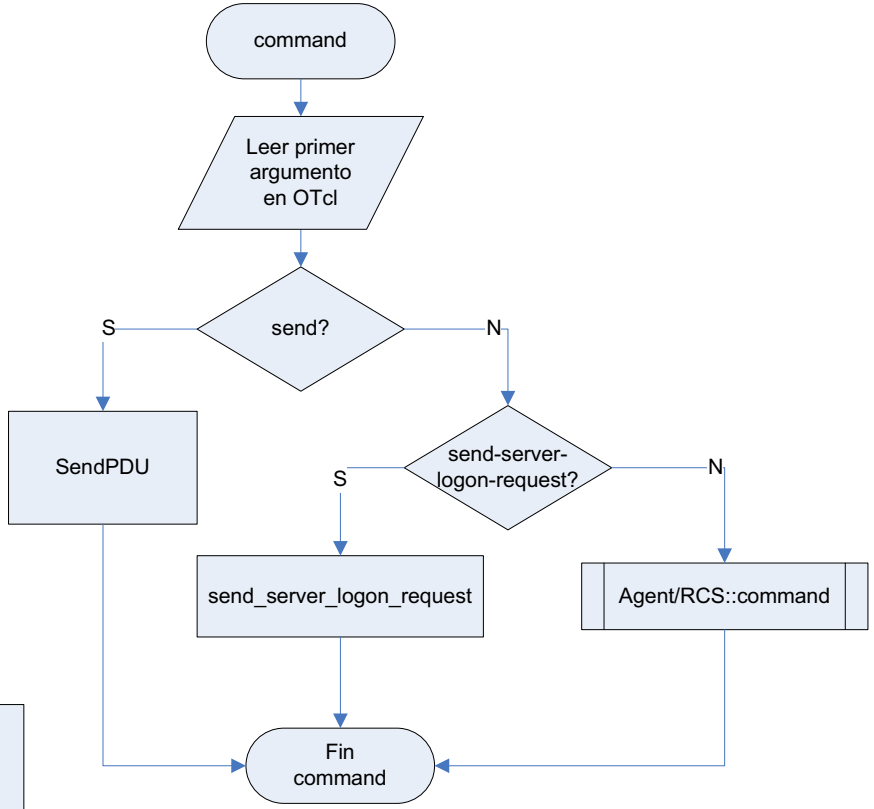
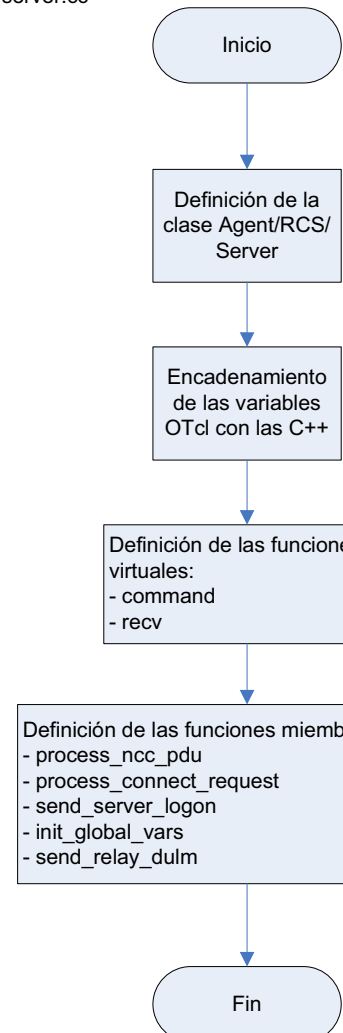


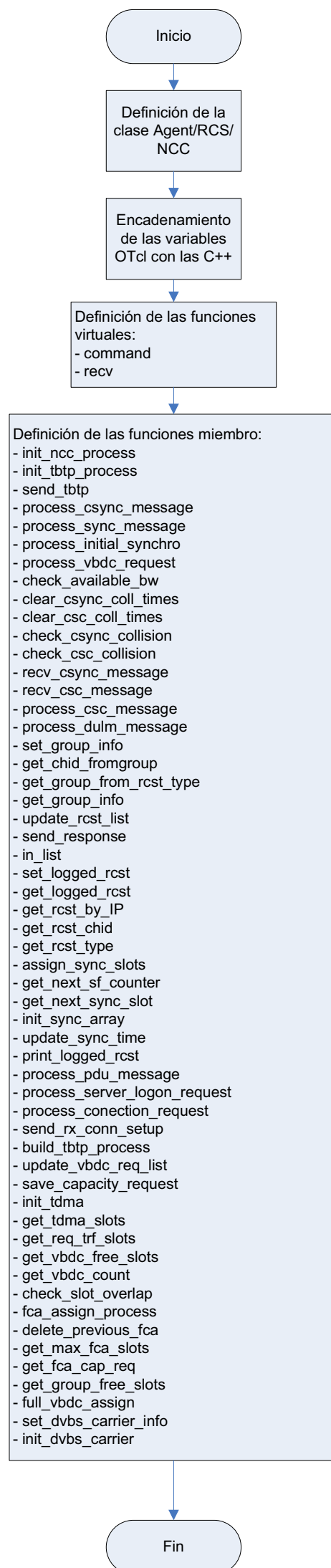


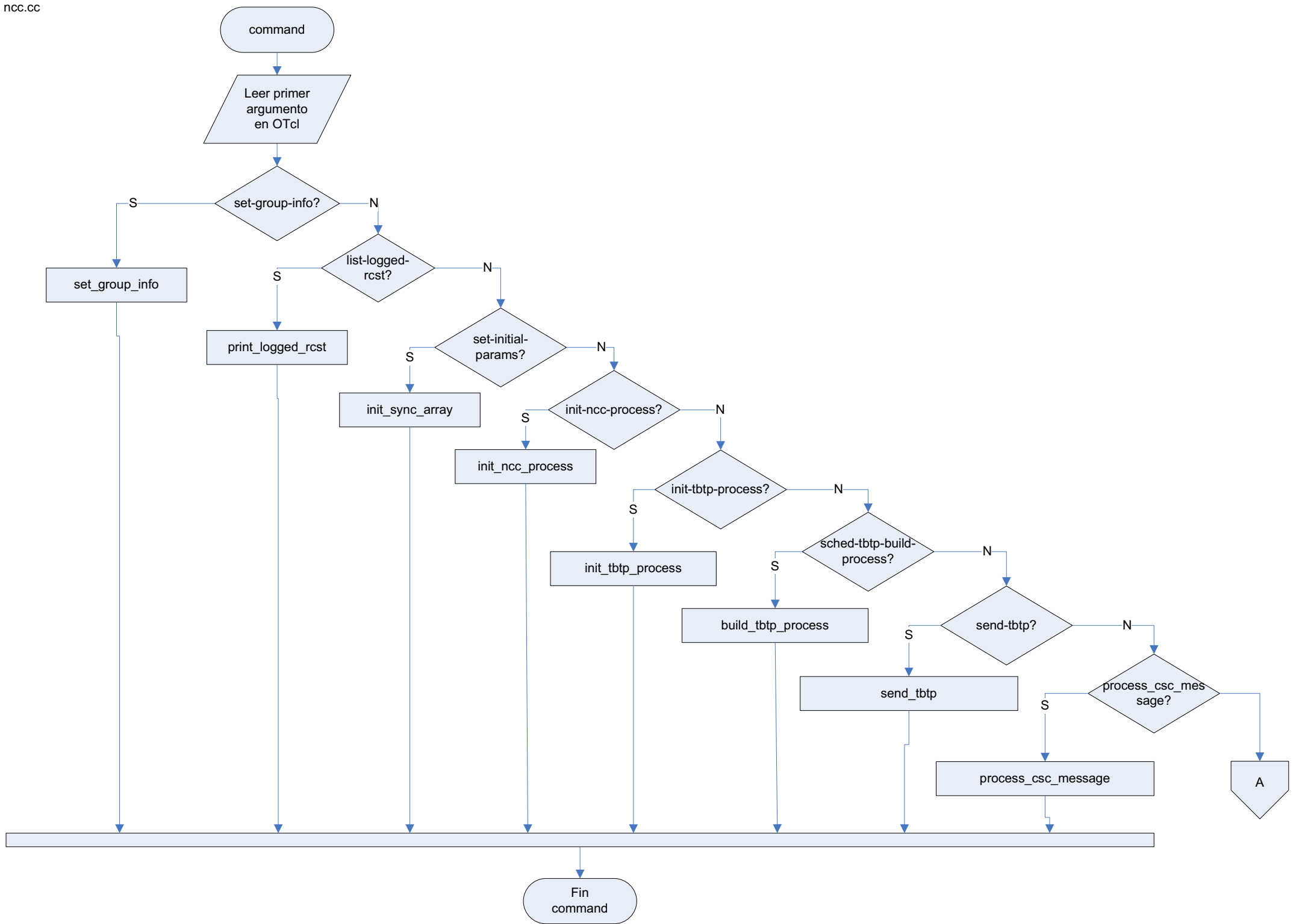


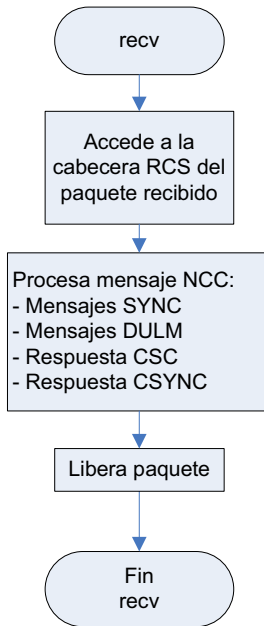
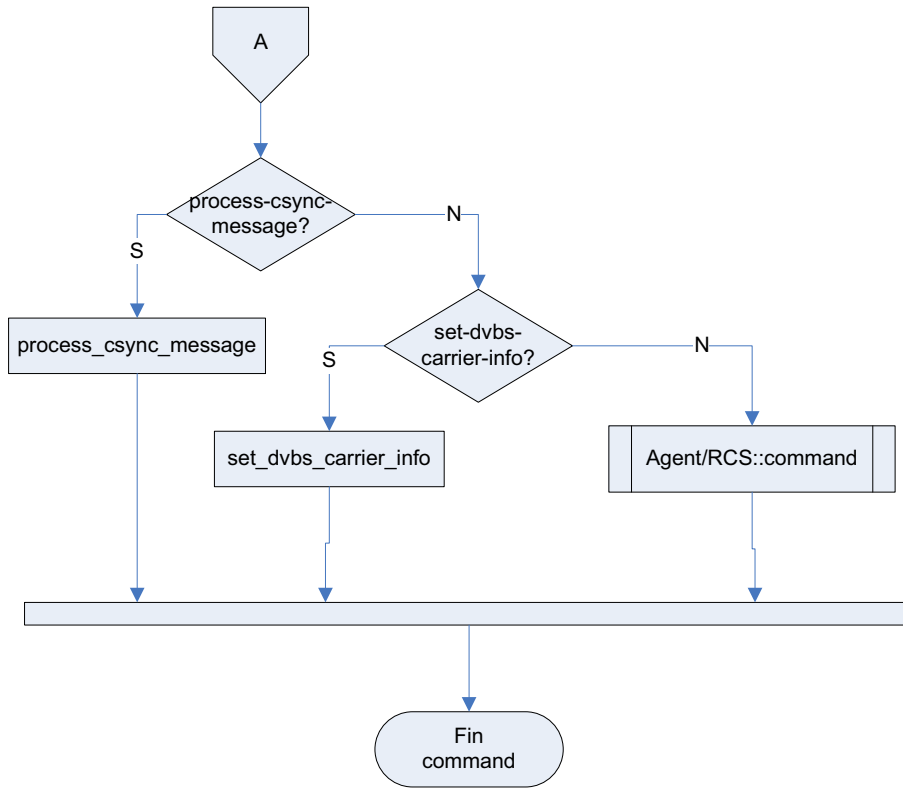


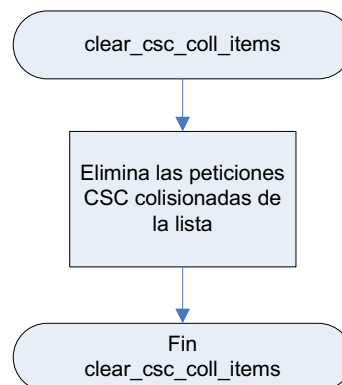
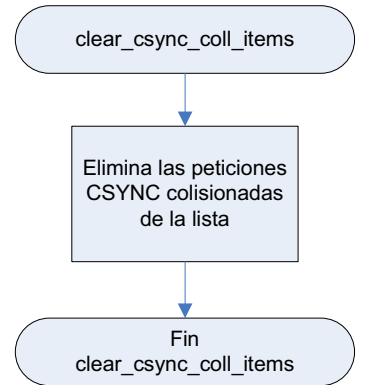
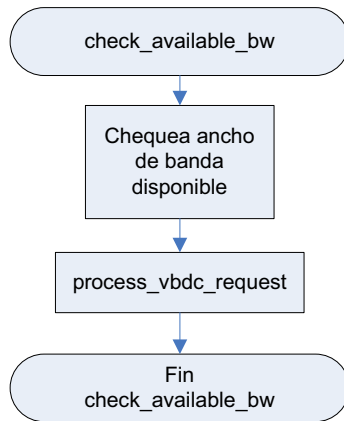
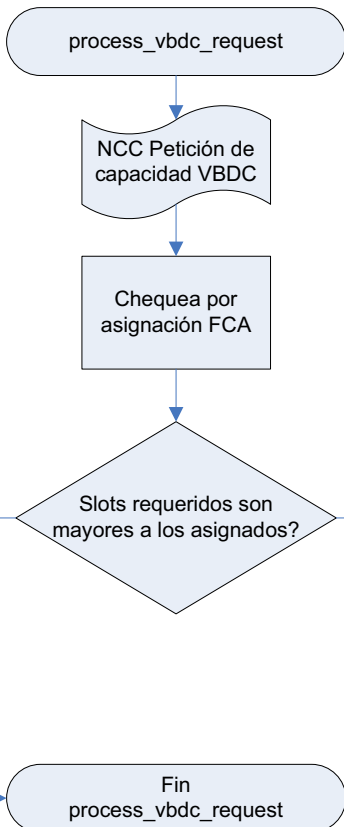
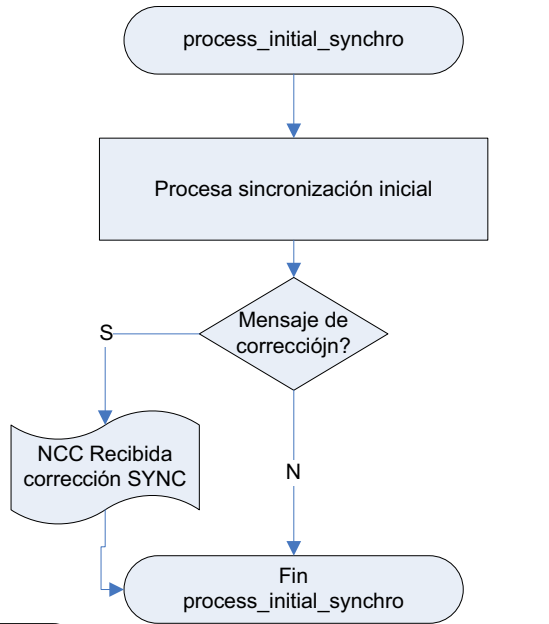
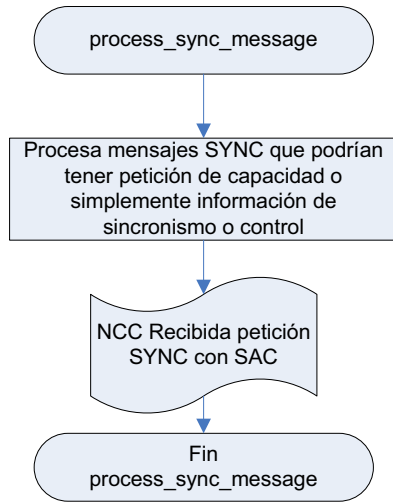
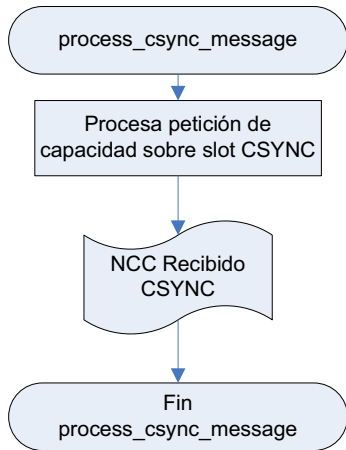
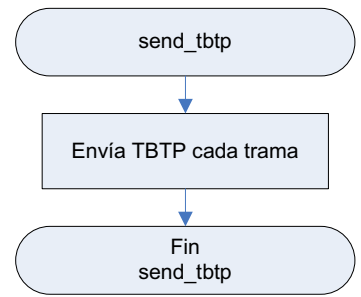
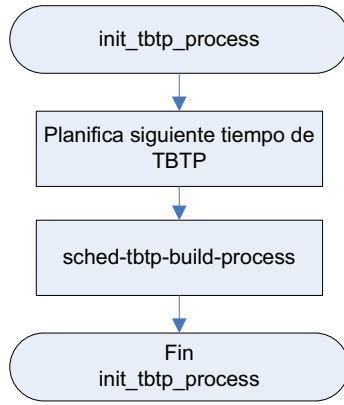
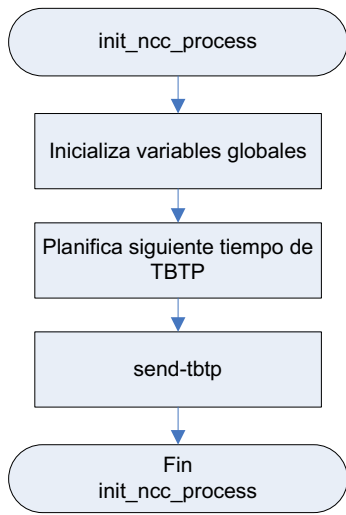




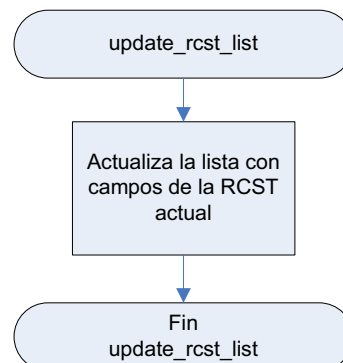
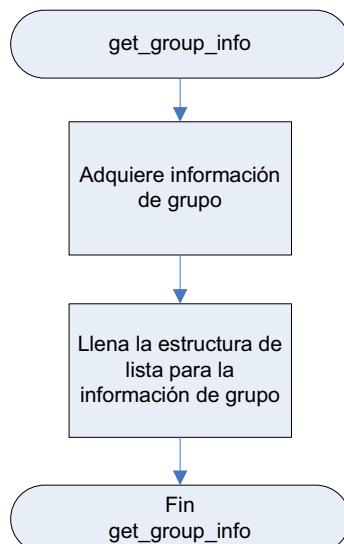
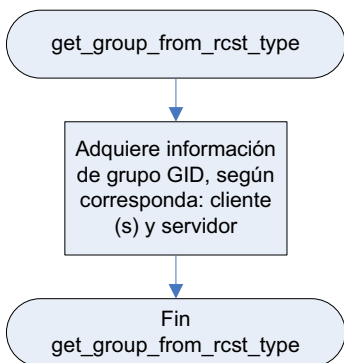
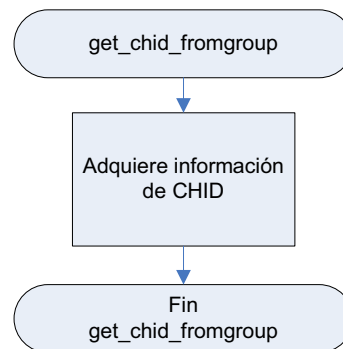
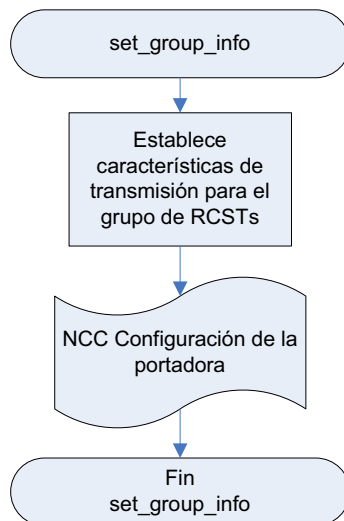
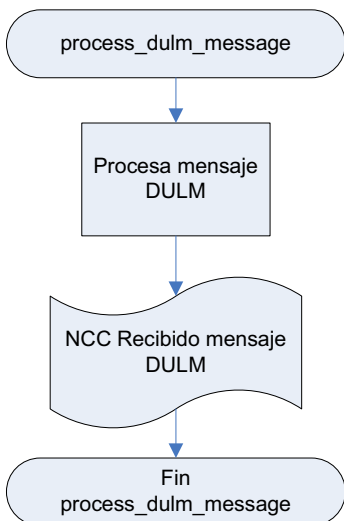
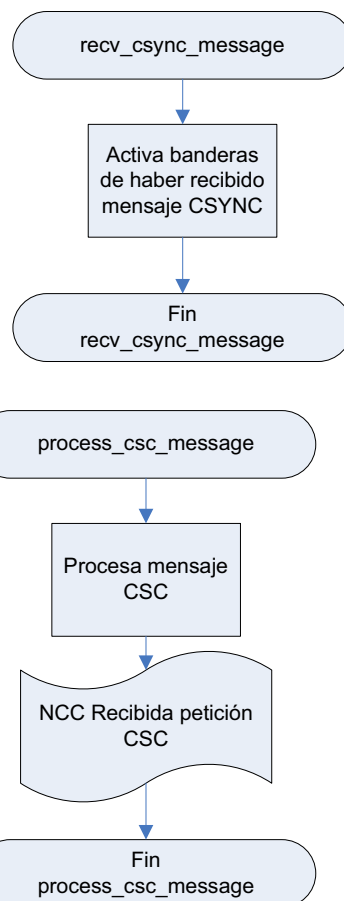
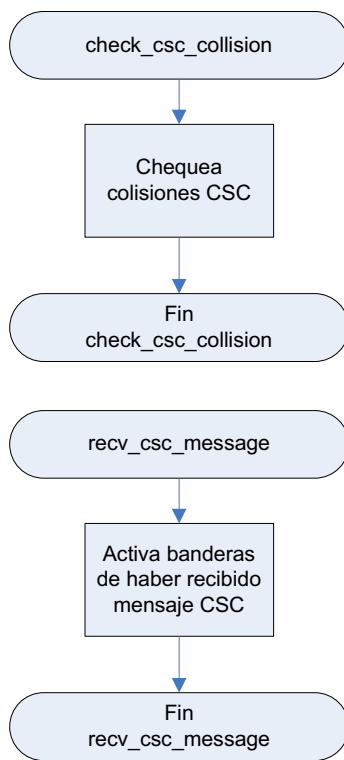
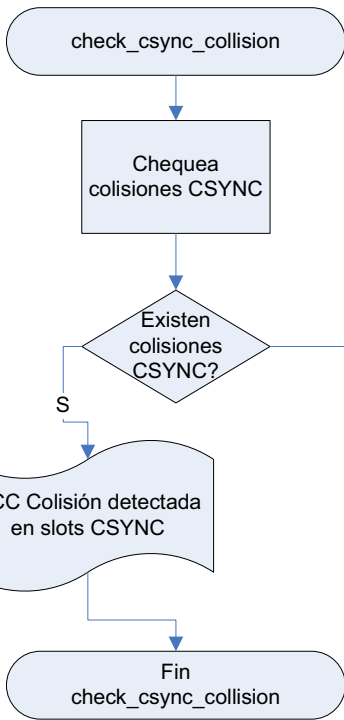


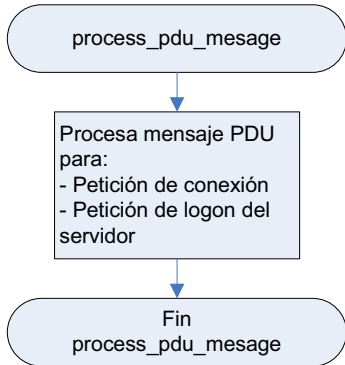
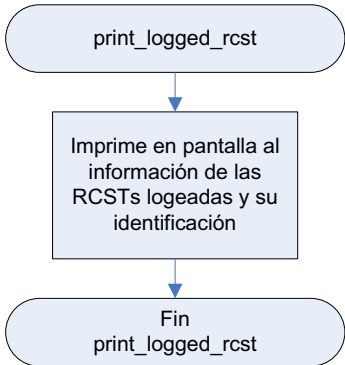
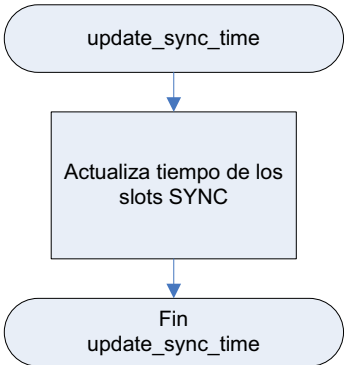
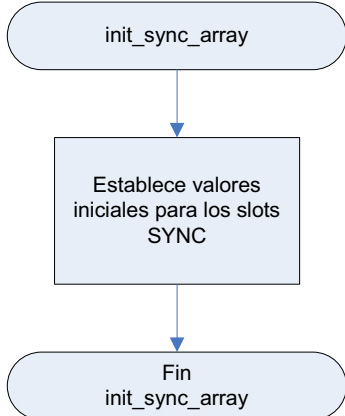
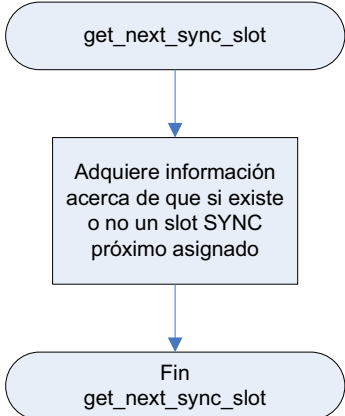
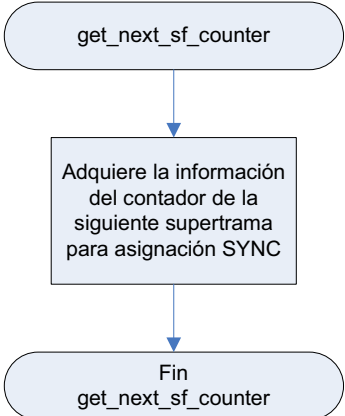
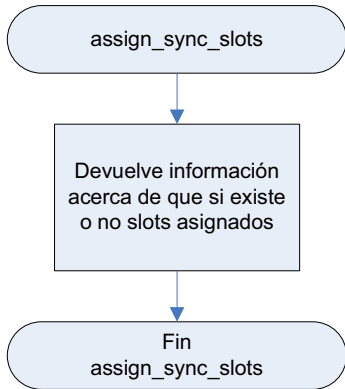
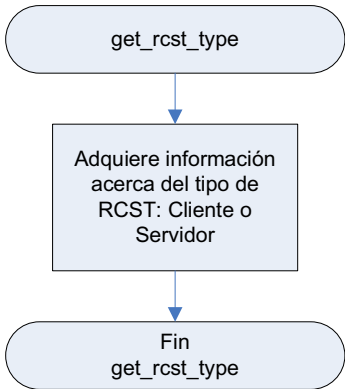
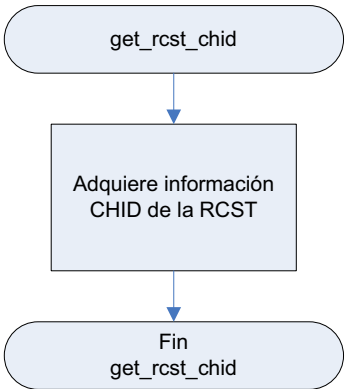
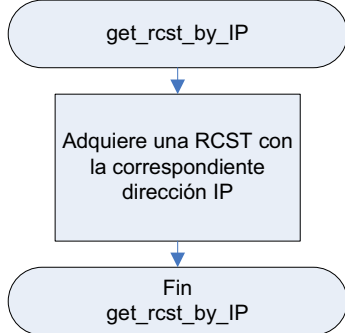
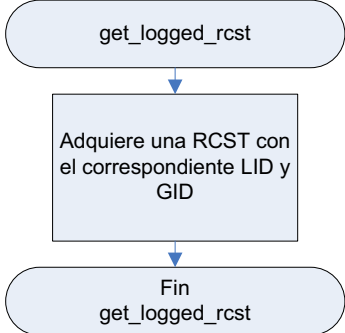
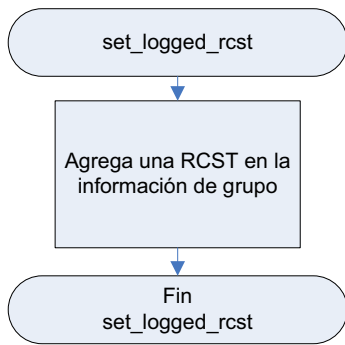
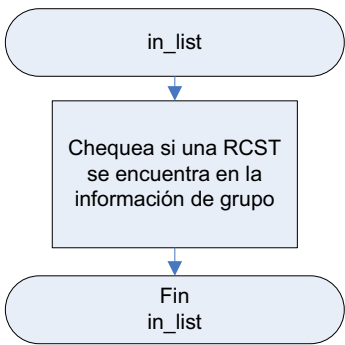
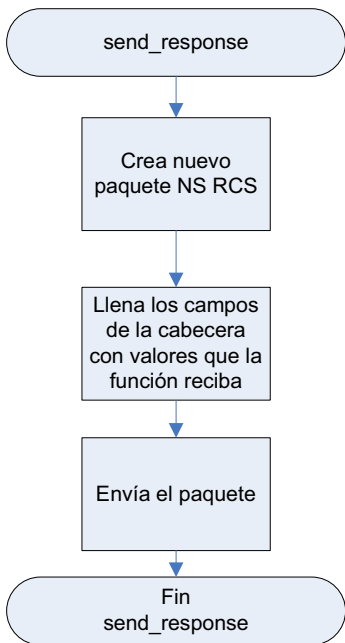


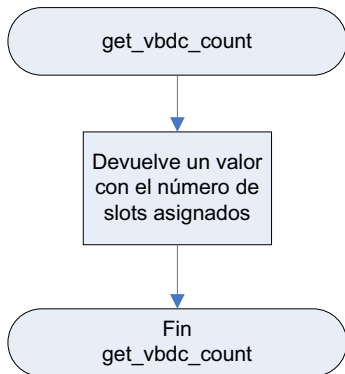
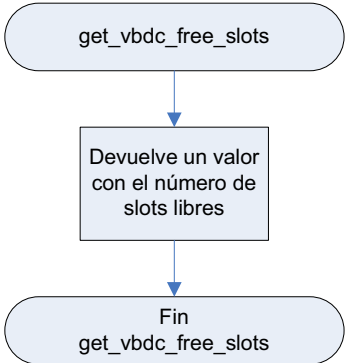
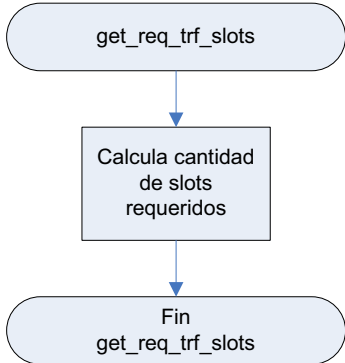
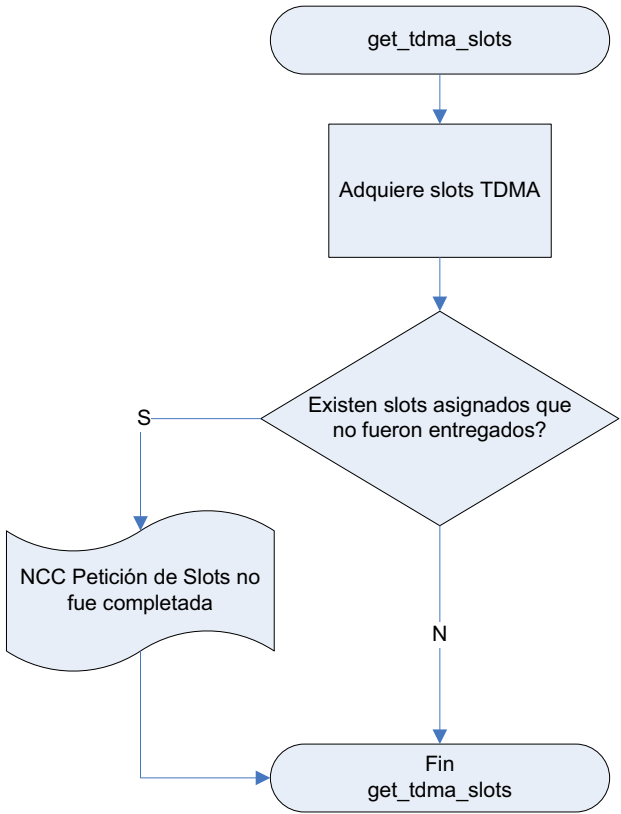
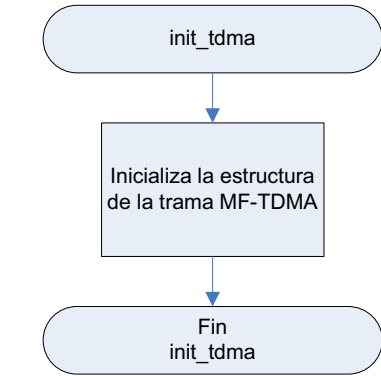
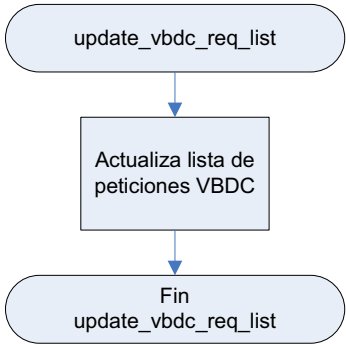
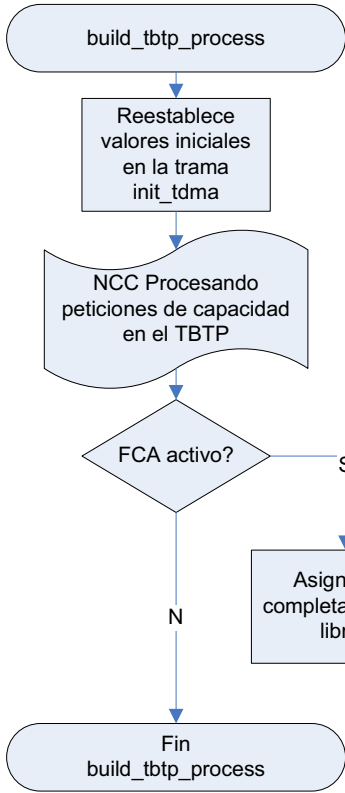
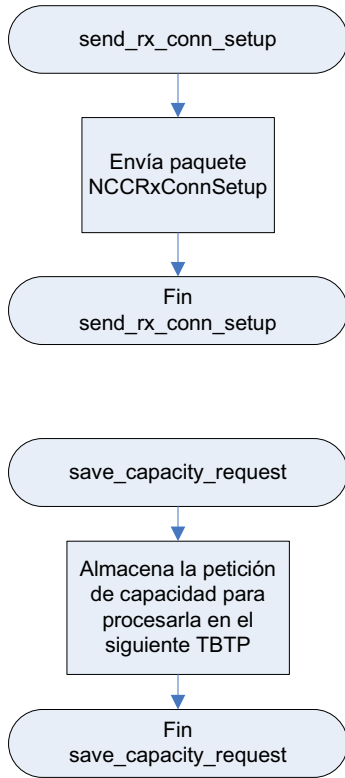
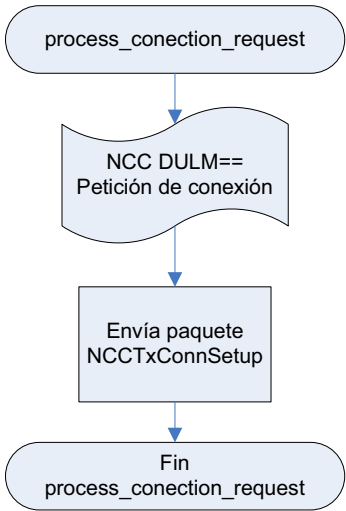
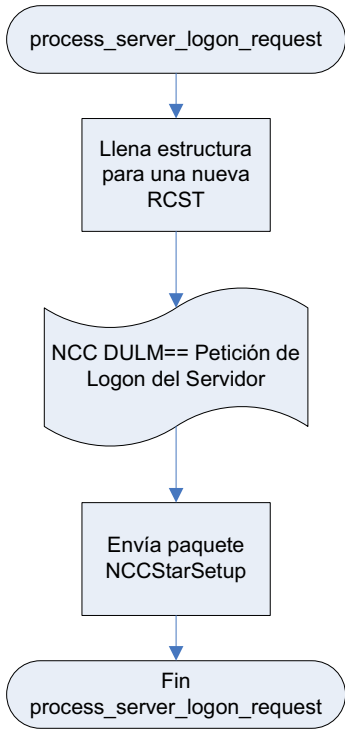


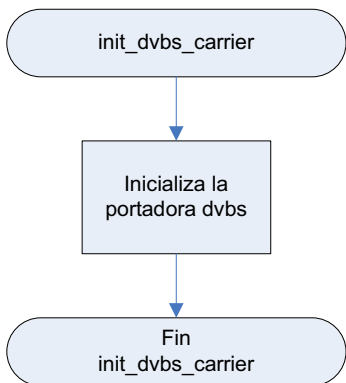
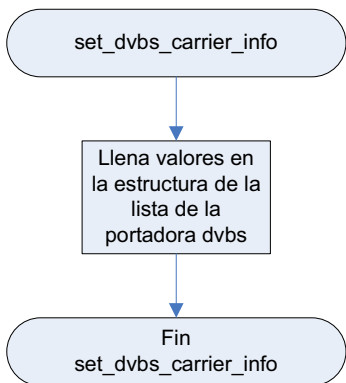
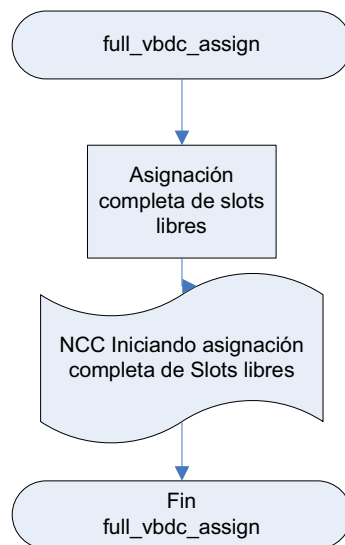
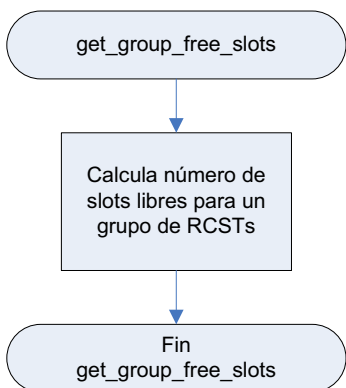
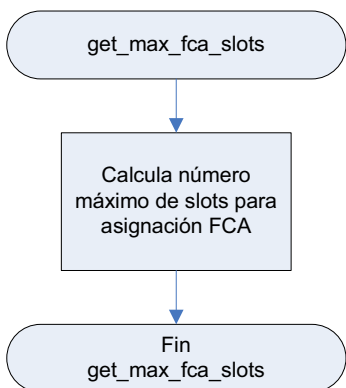
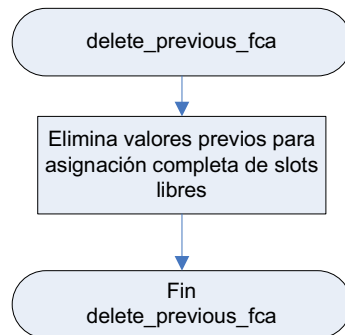
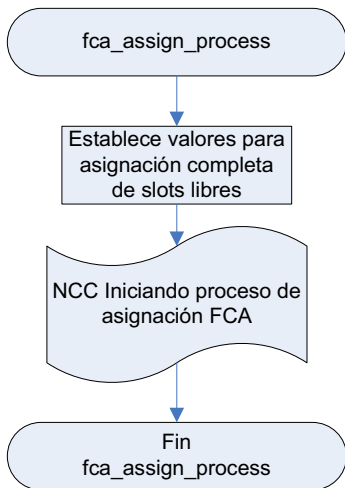
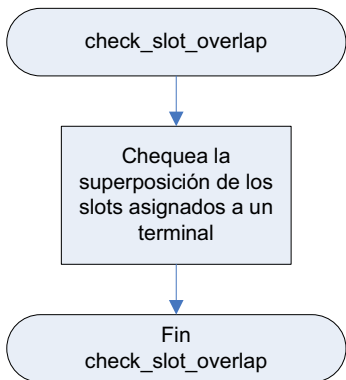


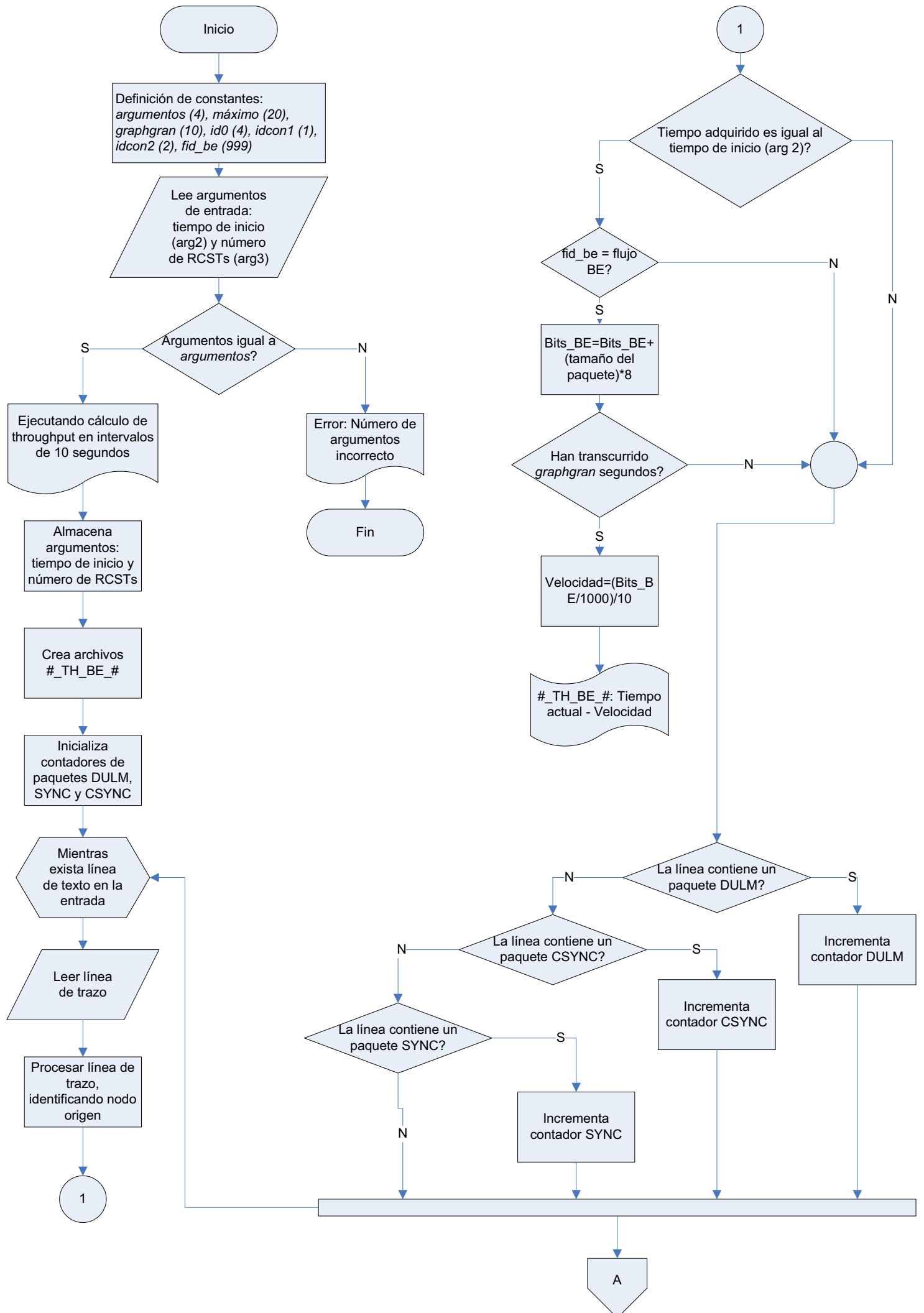


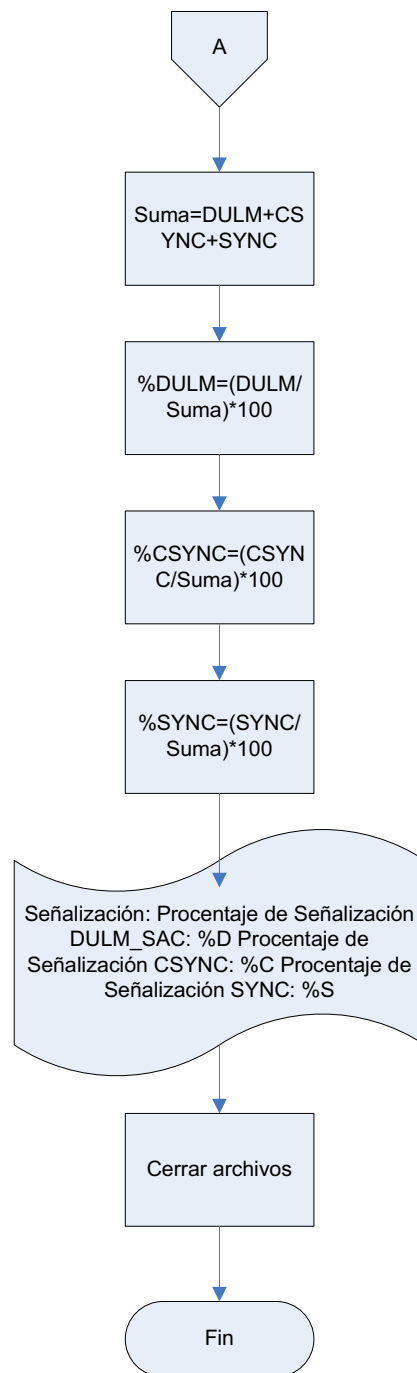




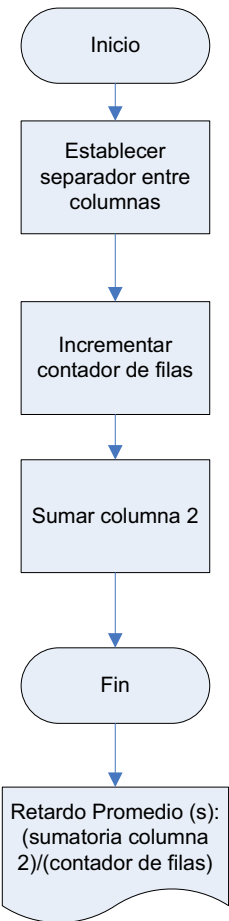




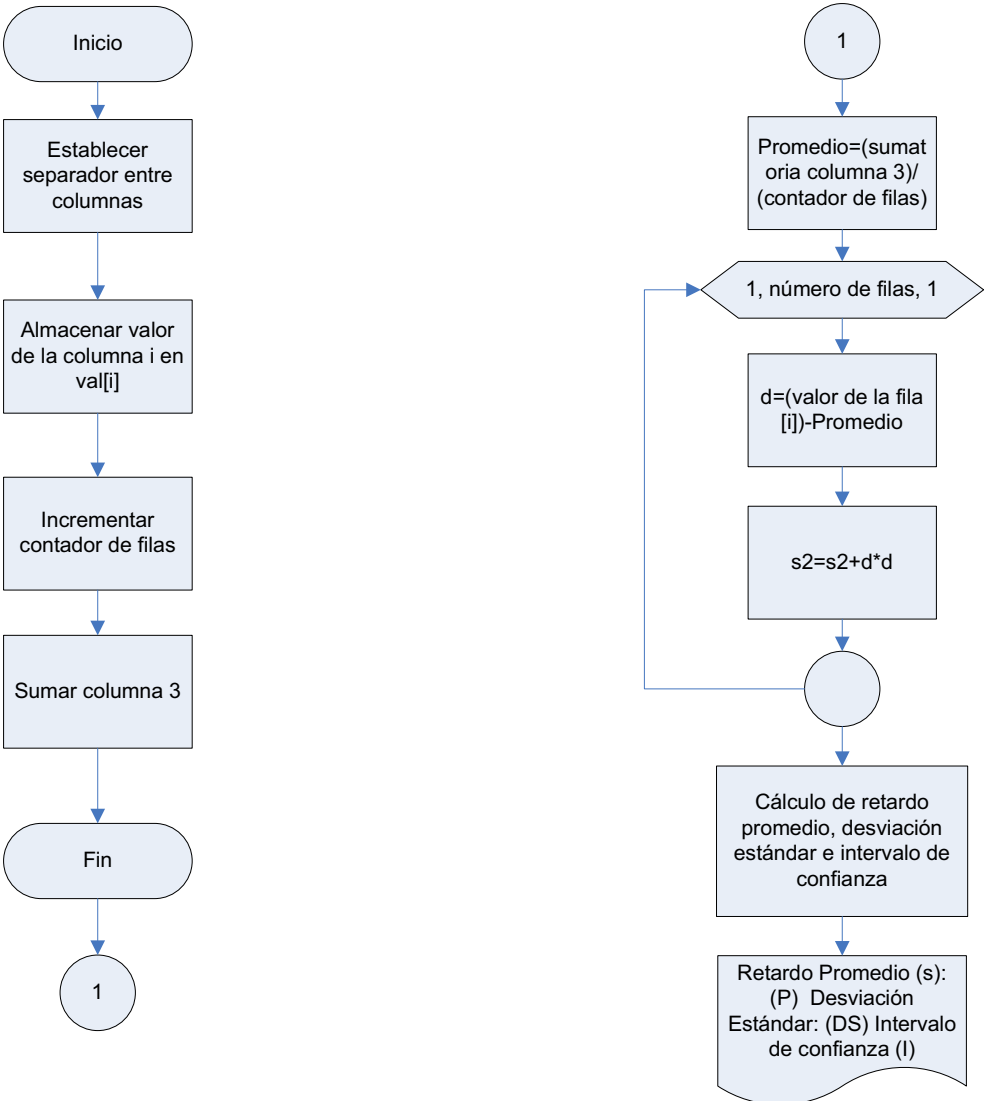




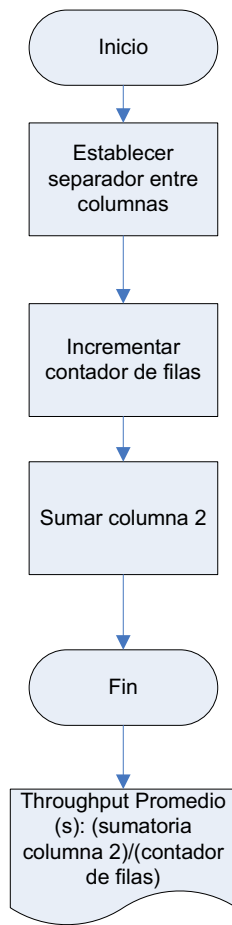
promedio\_retard.awk



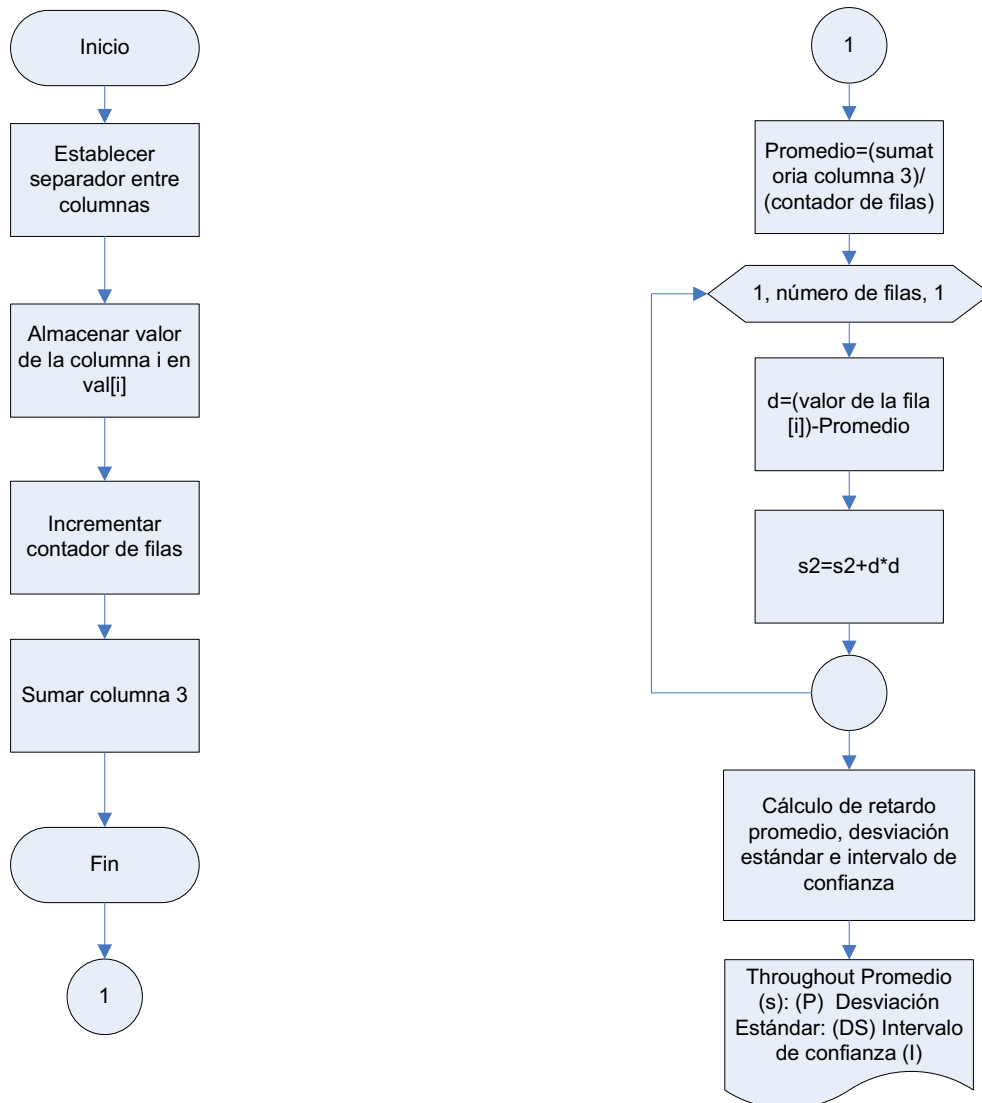
promedio\_retard2.awk



promedio\_thr.awk



promedio\_thr2.awk





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- G. Maral, “*VSAT Networks*”, John Wiley & Sons, England 2003.
- J. Neale, R. Green, J. Landovski, “*Interactive Channel for Multimedia Satellite Networks*”, IEEE Communications Magazine, Marzo 2001.
- D. Bem, T. Wieckowski, R. Zielinsky. “*Broadband Satellite Systems*”, IEEE *Communications Surveys & Tutorials*, Año 2000. Volumen 3 Número 1.
- H. T. Fenech, A. Pujante-Cuadrapani and E. Lance “*Eutelsat Multimedia Satellites*”, *Space Communications – An International Journal*. Volumen17 Números 1-3, Junio 2001.
- S. Chacón, J. Casas, A. Cal, et al, “*Multimedia Applications of the Integrated Broadcast Interaction System (IBIS)*”, ESA Workshop on Digital Signal Processing, Lisbon (Portugal), Octubre 2001.
- P. Takats, and M. Coté, “*SpaceMuxTm: An On-Board Mesh Processor*”, *Space Communications – An International Journal*. Volumen 17 Números 1-3, Junio 2001.
- M. Coté, C. Black, and A. Iuoras, “*On-Board Scheduling for Multimedia Applications*”, *Space Communications – An International Journal*, Volumen 17 Números 1-3, Junio 2001.
- D. Azaren, W. Courtney, J. Freitag et al., “*The Multimedia Migration: Transponder Versus Processing Payload VSAT Networks*”, Sixth Ka-Band Utilization Conference, Cleveland Ohio, USA. Mayo – Junio 2000.
- A. Delgado, “*Flujos de Programa y de Transporte MPEG-2 Aplicación A DVB*” Universidad Politécnica de Madrid, Junio 2001
- ISO/IEC, “*Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio*”, Recomendación H.222.0. ISO/IEC 13818-1, 1994.
- ETSI Standard, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation, for 11/12 GHz satellite services*”, EN 300 421, 1997
- ETSI Technical Report 101 211 v1.6.1, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)*”, May 2004.
- ETSI Technical Report 101 202, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for Data Broadcasting*”, v1.1.1 February 1999

- ETSI Standard, “*Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting*”, EN 301 192 v1.3.1, May 2003
- ETSI Standard, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems*”, EN 301 790 v1.4.1, April 2005.
- H. Clausen, H. Linder, B. Collin-Nocker, “*Internet over Direct Broadcast Satellites*”, IEEE Communications Magazine, June 1999.
- VINT Project, “*The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation)*”, December 2003.
- Altman, E. y Jiménez, T., “*NS Simulator for beginners*”, Lecture notes, 2003-2004, Univ. de Los Andes, Mérida, Venezuela and ESSI, Sophia-Antipolis, France. December 2003.
- ETSI Technical Report 101 790 v1.1.1, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for Satellite Distribution Systems; Guidelines for the use of EN 301 790*”, September, 2001.
- IBIS, “*Integrated Broadcast Interactrion System IBIS*”, Service and System Requirements, Deliverable D20 IBIS.
- R. Jain, “*The Art of Computer Systems Performance Analysis*”, Wiley Professional Computing. 1991.
- D. Estrin, M. Handley, J. Heidemann et al, “*Network Visualization with the VINT network animator nam*”, Tech. Report. 99-703., University of Southern California, March 1999.
- S. Park and R. Miller, “*Random number generation: Good ones are hard to find*”, Communications of the ACM, 31(10) October 1988.
- T.T.Ha, “*Digital satellite communications*”, Mc-Graw-Hill, 1990.
- Choi, H., and Limb, J., “*A Behavioral Model of Web Traffic*”, International Conference of Networking Protocol ICNP99, September 1999.
- Molina, M., Castelli, P., and Foddis, G., “*Web Traffic Modeling Exploiting TCP Connections Temporal Clustering through HTML-REDUCE*”, IEEE Network, May/June 2000.
- Reyes, A., González, E., Casilari, E. and Díaz, A., “*A page-oriented WWW traffic model for wireless system simulation*”, Proceedings of the 16th International Teletraffic Congress (ITC’16), Edinburgh UK., June 1999.

- *“Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS”*, Technical Report TR 101 112 v3.2.0, ETSI, April 1998.
- Staehle, D., Leibnitz, K., and P. Tran-Gia, *“Source Traffic Modeling of Wireless Applications”*, Lehrstuhl für Informatik III, Universität Würzburg. Technical Report No. 261, June 2000.
- Brasche, G., and Walke, B., *“Concepts, Services, and Protocols of the New GSM Phase 2+ General Packet Radio Service”*, IEEE Communications Magazine, August 1997.
- Bolotin, V., Levy, Y., Liu, D., *“Characterizing Data Connection and Messages by Mixtures of Distributions on Logarithmic Scale”*, ITC 99, Edinburgh.
- Paxson, V., and Floyd, S., *“Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling”*, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.3, No. 3, June 1995.
- Paxson, V. *“Empirically Derived Analytic Models of Wide-Area TCP Connections”*, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.2, No. 4, August 1994.
- H. Osman, *“Resource Management for Multimedia traffic over ATM Satellite Networks”*, University of London, March 2000
- M. Caicedo, F. Yáñez, *“Planificación de un proveedor de servicios de Internet y diseño de su sistema de seguridad”*, Escuela Politécnica Nacional, Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Ing. Pablo Hidalgo.
- [http://www.upv.es/satellite/trabajos/pract\\_4/vsat\\_hpg.htm](http://www.upv.es/satellite/trabajos/pract_4/vsat_hpg.htm)
- [http://www.es.northropgrumman.com/SATCOM/vsat/images/vsat\\_new.jpg](http://www.es.northropgrumman.com/SATCOM/vsat/images/vsat_new.jpg)
- [http://www.telemann.co.jp/img/ka\\_image03.jpg](http://www.telemann.co.jp/img/ka_image03.jpg)
- <http://www.superbird.co.jp/services/img/idu-omote.jpg>
- <http://www.directpc.com>.
- <http://www.starband.com>
- <http://www.isi.edu/nsnam/nam/>
- [www.gilat.com](http://www.gilat.com)
- <http://nile.wpi.edu/NS/>
- <http://www.employees.org/~bmah/Software/HttpModel/>