

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA



DIVISIÓN DE FÍSICA APLICADA

DEPARTAMENTO DE
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**TRANSPORTE DE APLICACIONES INTERACTIVAS
DE MPEG-4 EN SISTEMAS DE SATÉLITE CON CANAL
DE RETORNO**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el
grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

Karina Raya Díaz

Ensenada, Baja California, México Septiembre de 2003.

TESIS DEFENDIDA POR

Karina Raya Díaz

Y aprobada por el siguiente comité:

Dr. Roberto Conte Galván
Codirector del Comité

M. C. Julio César Rolón Garrido
Codirector del Comité

Dr. José Luis Medina Monroy
Miembro del Comité

M. C. Jorge Torres Rodríguez
Miembro del Comité

Dr. José Rosario Gallardo López
Jefe del Departamento

Dr. Luis Alberto Delgado Argote
Director de Estudios de Posgrado

Ensenada, Baja California, México Septiembre de 2003.

RESUMEN de la Tesis de **Karina Raya Díaz**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO** en **CIENCIAS** en **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**. Ensenada, Baja California, México. Septiembre de 2003.

TRANSPORTE DE APLICACIONES INTERACTIVAS DE MPEG-4 EN SISTEMAS DE SATELITE CON CANAL DE RETORNO

Resumen aprobado por:

Dr. Roberto Conte Galván

Codirector de Tesis

M. C. Julio César Rolón Garrido

Codirector del Comité

El tráfico multimedia incluido el de internet, puede ser transmitido por sistemas de televisión digital por satélite mediante técnicas compatibles con el estándar Digital Video Broadcast - Satellite (DVB-S), el cual actualmente transmite vídeo de tipo MPEG-2 en un solo sentido. Sin embargo, y debido a la naturaleza propia de los sistemas de difusión unidireccional de televisión por satélite, no existen mecanismos que permitan establecer comunicación satelital de retorno entre el usuario y el nodo de acceso a internet. Dichos sistemas han utilizado un canal terrestre de menor capacidad, generalmente mediante línea telefónica pública, que permite tener interactividad bidireccional. Un canal de retorno directo satelital facilita al usuario una comunicación bidireccional con mayor velocidad, el cual puede utilizarse tanto para acceder a internet como para la transferencia de información multimedia, eliminando la necesidad de enlaces terrestres. Recientemente se ha propuesto un mecanismo que permite dicha interactividad de manera satelital en su totalidad, denominado Digital Video Broadcasting-Return Channel System (DVB-RCS), el cual permite trabajar con información digital en formato MPEG en ambos sentidos.

En el presente trabajo de tesis se lleva a cabo el análisis del desempeño del canal de retorno satelital (DVB-RCS) en conjunto con el protocolo DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework) de la norma MPEG-4 por medio de la simulación de varios escenarios de tráfico multimedia y la medición de los parámetros de calidad de servicio (QoS) y caudal eficaz involucrados en redes de cobertura amplia y de banda ancha.

Se presenta el modelo de simulación diseñado en OPNET (OPTimized Network Engineering Tools), en el cual se recreó el comportamiento del marco de referencia DMIF,

para el caso hipotético de una red satelital interactiva con canal de retorno compatible con DVB-RCS.

Dentro de los resultados obtenidos se logró comprobar la interoperabilidad entre los estándares que constituyen el sistema: DVB-RCS (canal de retorno), DVB-S (canal difusión) y MPEG-4 (Protocolo DMIF). Además se obtuvieron parámetros de calidad de servicio (retardo extremo a extremo, variación del retardo, caudal eficaz), con los cuales se comprueba que el sistema puede ser utilizado en aplicaciones de tipo interactivo, tales como el acceso remoto a internet o la educación a distancia, entre otros.

Palabras clave: MPEG-4, DMIF, DVB-RCS, DVB-S, Satélite.

ABSTRACT of the thesis presented by **Karina Raya Díaz**, submitted in partial fulfillment of the requirements to obtain the degree of **MASTER of SCIENCE in ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS**. Ensenada, Baja California, Mexico. September 2003.

TRANSPORT OF MPEG-4 INTERACTIVE APPLICATIONS ON SATELLITE SYSTEMS WITH RETURN CHANNEL

Abstract approved by:

Dr. Roberto Conte Galván

Thesis codirector

M. C. Julio César Rolón Garrido

Thesis codirector

Multimedia traffic internet included, may be broadcast over digital television satellite systems through Digital Video Broadcasting-Satellite (DVB-S) compatible techniques, which currently carry MPEG-2 traffic. Nevertheless, and due to the unidirectional nature of broadcast television satellite systems, there are no current mechanisms that allow a return satellite link between the user and the internet access node. Such systems have used a low-capacity terrestrial channel, typically a public telephone line that allows bidirectional interactivity. A direct satellite return channel provides the user with a higher capacity, bidirectional communication, which may be used for internet access as well as multimedia information transfer, thus eliminating the need for terrestrial channels altogether. A mechanism that allows a full DVB satellite interactivity has been recently proposed, named Return Channel System (DVB-RCS), which allows for digital information in MPEG format to operate a bidirectional link.

This dissertation analyzes the performance of the return channel (DVB-RCS) system along with the DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework) protocol including in MPEG-4 through the simulation of several multimedia traffic scenarios and the measurement of Quality of Service (QoS) and throughput parameters involved in Wide-Area, Broadband Networks.

A simulation model based on OPNET (OPTimized Network Engineering Tools) is presented, in which DMIF behavior was recreated for the hypothetical case of an interactive satellite network with a DVB-RCS compatible return channel.

The results obtained show full interoperability among the several standards which constitute the system: DVB-S (broadcast channel), DVB-RCS (return channel) and

MPEG-4 (DMIF protocol). QoS parameters (end to end delay, jitter, throughput) were also obtained, proving that the system may be used in interactive type applications, such as remote internet access or distance education, among others.

Keywords: MPEG-4, DMIF, DVB-RCS, DVB-S, Satellite.

Dedicatoria

A MI FAMILIA

José R. Raya Carmona y Bertha A. Díaz Verdugo

Claudia, Vera y Gerardo

SON MI MAYOR TESORO

Agradecimientos

A **Dios** por estar conmigo en todo momento y no dejarme derrotar en medio de la batalla.

A mis **Padres** por su confianza y apoyo incondicional, los quiero.

A mi novio **Miguel** por su apoyo, comprensión y ante todo por su amor.

A mi amiga *Elizabeth*, gracias por ser mi compañera en esta aventura, también por tus consejos y ayuda.

A mis amigos (UABC) *Tere, Tranquilino, Manuely Adolfo* los cuales fueron mi fortaleza en este camino.

A *Hugo, Adrix y Zeus* por ser los mejores compañeros de equipo, además de amigos.

A *Mimi y Temoc* por su amistad y los momentos compartidos.

A *J. Luis y Luis F.* por compartir su amistad dentro del laboratorio de GCI.

A el resto de mis compañeros de generación, ya que por medio de ellos conocí los estados de la república que representan.

A *Israel* por darme ánimos para lograr mis metas.

A *Carmen* por ser como una hermana para mi.

A *Daniel F.* por su amistad y ayuda, gracias por los momentos y dulces compartidos.

A mis **Codirectores de tesis**, Dr. Roberto Conte G. y M. C. Julio César Rolón G. por sus consejos y orientación en este trabajo de tesis. Gracias "*colegas*".

A los miembros de mi **comité de tesis**, Dr. José Luis Medina Monroy y M. C. Jorge Torres Rodríguez por su interés y apoyo en la realización de este trabajo.

A los *Maestros* que me compartieron sus conocimientos y amistad.

Al grupo de **GCI** por su apoyo en el proyecto de tesis y las atenciones brindadas.

A **CICESE** por permitirme estudiar un posgrado de calidad.

A **CONACYT** por el apoyo económico brindado para lograr mi meta.

A **México** por ser mi país el cual con orgullo representaré.

Tabla de Contenido

CAPÍTULO	PÁGINA
Lista de Figuras	xii
Lista de Tablas	xiv
Lista de Símbolos	xvi
I Introducción	1
I.1 Antecedentes	1
I.2 Objetivos de la tesis	3
I.2.1 Objetivo general	3
I.2.2 Objetivo específico	3
I.3 Infraestructura empleada	3
I.4 Organización de la tesis	4
II Televisión Digital por Satélite	6
II.1 Introducción	6
II.2 Estándares de televisión analógica	7
II.3 Estándares de televisión digital	9
II.4 Transmisión de televisión vía satélite	11
II.5 Estándar MPEG-2	12
II.6 Sistemas de televisión directa al hogar	15
II.7 Difusión de vídeo digital vía satélite	17
II.7.1 Codificación de canal	17
II.7.1.1 Fuente MPEG-2 codificada y multicanalizada	18
II.7.1.2 Dispersión de energía	18
II.7.1.3 Codificador Reed-Solomon	19
II.7.1.4 Entrelazado convolucional	20
II.7.1.5 Codificador Trellis de entrada	21
II.7.1.6 Filtrado	22
II.7.1.7 Modulación	22
II.7.2 Decodificación de canal	23
II.7.2.1 Demodulación	24
II.7.2.2 Filtro acoplado	24
II.7.2.3 Decodificador Viterbi	25
II.7.2.4 Decodificación de la sincronía	25
II.7.2.5 Removedor de la dispersión de energía	25
II.7.2.6 Demulticanalizador	25
II.7.2.7 Decodificador MPEG-2	25
II.7.3 Multicanalización	26
II.8 Estándar MPEG-4	26
II.8.1 DMIF	33

Tabla de Contenido (Continuación)

CAPÍTULO	PÁGINA
III Sistemas Satelitales Interactivos	36
III.1 Introducción	36
III.2 Difusión de vídeo digital en sistemas con canal de retorno	37
III.2.0.1 ALOHA ranurado	37
III.2.0.2 MF-TDMA	38
III.2.0.3 Descripción del modelo de un sistema interactivo	39
IV Implementación de los Modelos de Simulación	42
IV.1 Introducción	42
IV.2 Descripción del modelo de red	43
IV.3 Modelos de nodos	45
IV.3.1 Modelo de nodos del NCC	45
IV.3.2 Modelo de nodos de la RCST	45
IV.3.3 Modelo de nodos del satélite	46
IV.3.3.1 Modelos de procesos del NCC	47
IV.3.3.2 Diagrama de flujo del NCC	51
IV.3.3.3 Modelos de procesos de la RCST	52
IV.3.3.4 Diagrama de flujo de la RCST	55
IV.3.3.5 Modelo de procesos del satélite	56
IV.3.3.6 Diagrama de flujo del satélite	58
V Simulación y Análisis de Resultados	59
V.1 Introducción	59
V.2 Escenarios simulados	59
V.3 Presentación y Análisis de resultados	61
V.3.1 Resultados para el escenario A con 8 canales	61
V.3.1.1 Retardo extremo a extremo	62
V.3.1.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos	62
V.3.2 Resultados para el escenario B con 8 canales	63
V.3.2.1 Retardo extremo a extremo	64
V.3.2.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos	65
V.3.3 Resultados para el escenario C con 8 canales	66
V.3.3.1 Retardo extremo a extremo	66
V.3.3.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos	68
V.3.4 Resultado para el escenario D con 8 canales	68
V.3.4.1 Retardo extremo a extremo	69
V.3.4.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos	70
V.3.5 Comparación entre todos los escenarios (A, B, C y D) con 8 canales	71

Tabla de Contenido (Continuación)

CAPÍTULO	PÁGINA
V.3.5.1 Retardo extremo a extremo	72
V.3.5.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos .	73
V.3.6 Resultados para el escenario A con 16 canales	74
V.3.6.1 Retardo extremo a extremo	74
V.3.6.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos .	75
V.3.7 Resultados para el escenario B con 16 canales	76
V.3.7.1 Retardo extremo a extremo	77
V.3.7.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos .	78
V.3.8 Resultados para el escenario C con 16 canales	79
V.3.8.1 Retardo extremo a extremo	80
V.3.8.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos .	81
V.3.9 Resultado para el escenario D con 16 canales	81
V.3.9.1 Retardo extremo a extremo	82
V.3.9.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos .	83
V.3.10 Comparación entre todos los escenarios (A, B, C y D) con 16 canales	84
V.3.10.1 Retardo extremo a extremo	84
V.3.10.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos .	86
V.3.11 Comparación entre los escenarios A con 8 y 16 canales	87
V.3.11.1 Retardo extremo a extremo	87
V.3.11.2 Caudal eficaz	88
V.3.12 Comparación entre los escenarios D con 8 y 16 canales	89
V.3.12.1 Retardo extremo a extremo	89
V.3.12.2 Caudal eficaz	90
VI Conclusiones	91
VI.1 Conclusiones	91
VI.2 Aportaciones	91
VI.3 Trabajos Futuros	92
VI.4 Recomendaciones	92
Literatura Citada	93
Acrónimos	95
Apéndices	99
A.1 Apéndice A	99
A.1.1 Cálculo de la trama de tiempo para TDMA	99
A.1.2 Cálculo del retardo de propagación	101
A.2 Apéndice B	102
A.2.1 Definición de los parámetros de calidad de servicio	102

Tabla de Contenido (Continuación)

CAPÍTULO	PÁGINA
Anexos	104
A.3 Anexo A	104
A.3.1 Tablas de resultados para los escenarios con 8 canales	104
A.4 Anexo B	121
A.4.1 Tablas de resultados para los escenarios con 16 canales	121

Lista de Figuras

FIGURA		PÁGINA
1	Diagrama general de espectro de las frecuencias de la señal de TV	9
2	Elementos del sistema TVRO	12
3	Generación de la trama de transporte a partir de las señales fuente	13
4	Formato del paquete MPEG-2	14
5	Descripción del encabezado de MPEG-2	14
6	Diagrama del transmisor de DVB-S	18
7	Paquete MPEG-2 después del proceso de dispersión de la energía	19
8	Paquete MPEG-2 después del codificador Reed-Solomon	20
9	Paquete MPEG-2 después del entrelazado	21
10	Modulador QPSK y su constelación	23
11	Diagrama del receptor de DVB-S	24
12	Demodulador QPSK	24
13	Métodos de multicanalización TDM y FDM	27
14	Escena MPEG-4 y objetos audiovisuales	30
15	Componentes para la recepción en la terminal MPEG-4	31
16	Arquitectura de la terminal MPEG-4	32
17	Diagrama a bloques de las capas de sincronización y DMIF	32
18	Diagrama a bloques de una aplicación Cliente/Servidor MPEG-4	34
19	Sistema interactivo con canal de retorno telefónico	36
20	Sistema interactivo con canal de retorno satelital	37
21	Funcionamiento de ALOHA ranurado	38
22	Esquema del principio de operación de MF-TDMA	39
23	Modelo de referencia para un sistema interactivo	40
24	Modelo de red satelital de 32 nodos	43
25	Modelo de nodos del centro de control de red	45
26	Modelo de nodos de la RCST	46
27	Modelo de nodos del satélite	46
28	Modelo de procesos del protocolo DMIF	47
29	Modelo de procesos de asignación de canales (FREC)	48
30	Modelo de procesos de acceso al medio TDM	49
31	Modelo de procesos sink	49
32	Modelo de procesos de la fuente	50
33	Diagrama de flujo del NCC	51
34	Modelo de procesos de DMIF/TDMA	52
35	Modelo de procesos del sink	53
36	Modelo de procesos de la fuente	54
37	Diagrama de flujo de la RCST	56

Lista de Figuras (Continuación)

FIGURA		PÁGINA
38	Modelo de procesos del enlace de envío	57
39	Modelo de procesos del enlace de regreso	57
40	Diagrama de flujo del satélite	58
41	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales . . .	62
42	Promedio del caudal del NCC con 8 canales	63
43	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales . . .	65
44	Promedio del caudal eficaz del NCC con 8 canales	66
45	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales . . .	67
46	Promedio del caudal eficaz del NCC con 8 canales	68
47	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales . . .	70
48	Promedio del caudal Eficaz de la NCC con 8 Canales	71
49	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales . . .	72
50	Promedio del caudal eficaz de la NCC con 8 canales	73
51	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales . . .	75
52	Promedio del caudal eficaz de la NCC con 16 canales	76
53	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales . . .	78
54	Promedio del caudal eficaz del NCC con 16 canales	79
55	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales . . .	80
56	Promedio del caudal eficaz del NCC con 16 canales	81
57	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales . . .	83
58	Promedio del caudal eficaz de la NCC con 16 canales	84
59	Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales . . .	85
60	Promedio del caudal eficaz de la NCC con 16 canales	86
61	Comparación de retardos de los escenarios A con 8 y 16 canales	87
62	Comparación de caudal eficaz de los escenarios A con 8 y 16 canales . . .	88
63	Comparación de retardos de los escenarios D con 8 y 16 canales	89
64	Comparación de caudal eficaz de los escenarios D con 8 y 16 canales . . .	90
65	Trama de TDMA	99

Lista de Tablas

TABLA		PÁGINA
I	Bandas de frecuencia satelital	11
II	Tasa de codificación y su C/N	22
III	Máximas tasas de bits en función del ancho del canal y su tasa de código	23
IV	Características de la RCST	41
V	Atributos de la fuente de tráfico del NCC	50
VI	Atributos de la fuente de tráfico de 500B	54
VII	Atributos de la fuente de tráfico de 35 KOctetos	55
VIII	Atributos de la fuente de tráfico de 80 KOctetos	55
IX	Parámetros del NCC obtenidos	61
X	Parámetros del NCC obtenidos	64
XI	Parámetros del NCC obtenidos	67
XII	Parámetros del NCC obtenidos	69
XIII	Parámetros del NCC obtenidos	74
XIV	Parámetros del NCC obtenidos	77
XV	Parámetros del NCC obtenidos	80
XVI	Parámetros del NCC obtenidos	82
XVII	Parámetros para Cálculo de TDMA	100
XVIII	Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario A de 8 canales)	104
XIX	Continuación de la tabla XXI (escenario A de 8 canales)	105
XX	Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario A de 8 canales)	106
XXI	Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario B de 8 canales)	107
XXII	Continuación de la tabla XXI (escenario B de 8 canales)	108
XXIII	Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario B de 8 canales)	109
XXIV	Continuación de la tabla XXIII (escenario B de 8 canales)	110
XXV	Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario C de 8 canales)	111
XXVI	Continuación de la tabla XLII (escenario C de 8 canales)	112
XXVII	Continuación de la tabla XLII (escenario C de 8 canales)	113
XXVIII	Continuación de la tabla XLII (escenario C de 8 canales)	114
XXIX	Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario C de 8 canales)	115
XXX	Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 8 canales)	116

Lista de Tablas (Continuación)

TABLA		PÁGINA
XXXI	Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 8 canales)	117
XXXII	Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 8 canales)	118
XXXIII	Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario D de 8 canales)	119
XXXIV	Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario D de 8 canales)	120
XXXV	Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario A de 16 canales)	121
XXXVI	Continuación de la tabla XXXVIII (escenario A de 16 canales) .	122
XXXVII	Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario A de 16 canales)	123
XXXVIII	Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario B de 16 canales)	124
XXXIX	Continuación de la tabla XXXVIII escenario B de 16 canales) .	125
XL	Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario B de 16 canales)	126
XLI	Continuación de la tabla XL (escenario B de 16 canales)	127
XLII	Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario C de 16 canales)	128
XLIII	Continuación de la tabla XLII (escenario C de 16 canales) . . .	129
XLIV	Continuación de la tabla XLII (escenario C de 16 canales) . . .	130
XLV	Continuación de la tabla XLII (escenario C de 16 canales) . . .	131
XLVI	Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario C de 16 canales)	132
XLVII	Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 16 canales) . . .	133
XLVIII	Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 16 canales) . . .	134
XLIX	Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 16 canales) . . .	135
L	Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario D de 16 canales)	136
LI	Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario D de 16 canales)	137

Tabla de Símbolos

α	Alpha parámetro que especifica el porcentaje de la caída de los filtros
AB	Ancho de Banda
ABoc	Ancho de Banda ocupado
tg	tiempo de guardia
td	tiempo de datos
tb	tiempo de bit
tr	tiempo de ráfaga
Rp	Retardo de propagación
RS	Reed Solomon
Tx	Transmite
Rx	Recibe
Ts	Tasa de símbolos

Capítulo I

Introducción

I.1 Antecedentes

Desde los inicios de las comunicaciones por satélite durante mediados de los años 1960s, se han utilizado satélites para transmisión de televisión y enlaces telefónicos analógicos. A partir de mediados de los años 1970s se inició la transmisión digital por satélite, principalmente en forma de transferencia de archivos de texto, bases de datos y programas ejecutables. Durante los años 1980s se inició la transmisión de telefonía digital de larga distancia, el desarrollo de redes privadas por satélite así como la difusión de TV analógica al hogar mediante receptores caseros. Durante los años 1990s se estableció firmemente el concepto de redes privadas de datos por satélite, así como la difusión de TV digital al hogar mediante satélites de alta potencia. Por otro lado, en los 1990's se tuvo un crecimiento explosivo del internet y la demanda por acceso doméstico sencillo y barato por usuarios en general.

Actualmente el tráfico multimedios incluido el de internet, puede ser transmitido por satélite mediante los sistemas compatibles con el formato DVB (Digital Video Broadcast), el cual actualmente transporta tráfico de tipo MPEG-2 (Moving Pictures Experts Group-2). Sin embargo, y debido a la naturaleza propia de los sistemas de difusión unidireccional de TV por satélite, no existen mecanismos que permitan establecer una comunicación satelital con canal de retorno entre el usuario y el nodo de acceso a internet. Dichos sistemas utilizado un canal terrestre de menor capacidad,

generalmente mediante línea telefónica pública, que permite tener interactividad bidireccional. Un canal de retorno directo satelital facilita al usuario una comunicación bidireccional con mayor velocidad, el cual puede utilizarse tanto para acceder a internet como para la transferencia de información multimedios, eliminando la necesidad de enlaces terrestres. Recientemente se ha propuesto un mecanismo que permite dicha interactividad de manera satelital en su totalidad, denominado DVB-RCS (Digital Video Broadcasting-Return Channel System), el cual permite trabajar con información digital en formato MPEG en ambos sentidos.

Un canal de retorno DVB-RCS facilita al usuario una comunicación bidireccional con mayor tasa de bits (hasta 2Mbps), que su contraparte telefónica terrestre (menos de 56 kbps). Este canal de retorno se puede utilizar tanto para acceder a internet como para la transferencia de información multimedios en general. De esta forma el satélite incrementa la velocidad de transmisión de retorno del usuario y elimina la necesidad de enlaces terrestres. Las terminales bajo este esquema son estaciones terrenas interactivas y establecen su conexión al centro de control de red (NCC) por medio del satélite.

Los estándares MPEG-4 y DVB-RCS se integran al mercado de las telecomunicaciones con el propósito de apoyar el uso de aplicaciones interactivas por satélite, lo cual sucede hasta este momento en forma aislada. El estándar MPEG-4 ofrece compresión y codificación de vídeo y audio, los cuales son tratados como *objetos multimedios* haciendo más fácil su manipulación, almacenamiento y transmisión, y cuyo origen puede ser natural o sintético. El estándar DVB-RCS establece los requerimientos para lograr un canal de retorno directo por la vía satelital, ofreciendo así *interactividad satelital extremo a extremo*.

I.2 Objetivos de la tesis

I.2.1 Objetivo general

El *objetivo general* de este trabajo de tesis es el estudio y análisis de la operación del protocolo DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework) de MPEG-4 por el canal satelital, cuando este último cuenta con un canal de retorno compatible con el estándar DVB-RCS.

I.2.2 Objetivo específico

El *objetivo específico* de esta tesis es el desarrollo de programas de simulación que permitan recrear el comportamiento del protocolo DMIF bajo aplicaciones interactivas en un canal de comunicación compatible con DVB-RCS. Se espera obtener parámetros de calidad de servicio bajo distintas condiciones de tráfico, así como la perspectiva de la aplicación del sistema en el campo de trabajo interactivo, tal como acceso a internet o la educación a distancia.

I.3 Infraestructura empleada

Para la realización de este trabajo de investigación se utilizó la siguiente infraestructura:

- Computadora Personal Pentium III a 700 MHz.
- Herramienta de Simulación de redes OPNET (OPTimized Network Engineering Tools).
- Supercomputadora con 8 procesadores ultraSPARC III a 900 MHz con 8 MB de cache, con memoria RAM de 8 GB y espacio total de almacenamiento de 324 GB.
- Material de consulta disponible en las Bibliotecas del CICESE y de la UCSD).

- Aplicaciones de computadora como: Reflection X, OriginPro 7.0, PowerPoint, Visio Profesional, Delphi 5.0, WinEdt 5.3, MikTex y GhostView, entre otros.
- Red Local de Datos del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de la División de Física Aplicada en CICESE.
- Acceso a internet.

I.4 Organización de la tesis

El presente documento se encuentra organizado de la siguiente manera:

En el capítulo II se describen brevemente las distintas tecnologías que se utilizan para la difusión de televisión por satélite. Se hace referencia a algunos de los parámetros más relevantes de los siguientes sistemas: **NTSC** (National Television System Committee), **PAL** (Phase Alternative Line), **SECAM** (Système Electronique Couleur avec Mémoire), **DVB** (Digital Video Broadcasting) y **ATSC** (Advanced Television System Comitee). Además se mencionan los elementos que constituyen un sistema de recepción de televisión analógica **TVRO** (Television Receive Only) y digital **DTH** (Direct to Home). Se incluye también una breve descripción de los estándares **DVB-S** (Digital Video Broadcasting - Satellite), así como de los estándares de compresión y codificación **MPEG-2** y **MPEG-4** con el fin de plantear el escenario técnico de simulación.

En el capítulo III se realiza una descripción del nuevo estándar Europeo **DVB-RCS** para la implementación de un canal de retorno satelital para distintas aplicaciones interactivas, en un entorno de compatibilidad con los sistemas existentes de transmisión directa de TV digital al hogar .

En el capítulo IV se describe brevemente el modelo de operación de un canal DVB-RCS considerando DMIF, con el fin de fundamentar el desarrollo de los escenarios de simulación de la red satelital implementados en OPNET, así como algunas de las

características principales de cada uno de los nodos que lo componen.

En el capítulo V se analizan los resultados obtenidos mediante las simulaciones realizadas en los distintos escenarios de tráfico, considerando los parámetros de QoS resultantes en cada caso.

En el capítulo VI se muestran las conclusiones a las que se llegaron respecto a este trabajo de investigación, las cuales demuestran que se cumplió con los objetivos presentados al inicio de este documento. De igual manera, se hace énfasis en las aportaciones realizadas por este trabajo de tesis, y se hace una breve descripción de las actividades futuras a realizar por quien estuviera interesado en continuar con esta línea de investigación.

Finalmente, se presenta la bibliografía citada a lo largo de este documento, así como la presentación de varios cálculos, definiciones y tablas de resultados, en forma de apéndices y anexos que respaldan las conclusiones y aportaciones obtenidas y presentadas en este trabajo académico.

Capítulo II

Televisión Digital por Satélite

II.1 Introducción

A lo largo de los últimos sesenta años la tecnología de televisión ha evolucionado grandemente, aunque en general se pueden mencionar tres etapas básicas de consolidación de los sistemas de televisión [Fermoso *et al.*, 1991]:

1. Sistemas de televisión a blanco y negro (1940s)
2. Sistemas de televisión a color (1960s)
3. Sistemas de televisión de digital y de alta definición (1990s).

El primer sistema de televisión ampliamente utilizado fue de tipo analógico, el cual consistía en la representación de los parámetros de imagen en blanco y negro así como sonido por medio de la magnitud de voltaje de una señal eléctrica. Pocos años después se incluyó información en la fase de la misma señal eléctrica con el fin de enviar información de color sobre cada señal de imagen. El principal problema de la televisión analógica ha sido siempre su poca eficiencia espectral, la cual no podía explotar los parámetros de redundancia en la imagen entre una línea de vídeo y sus vecinas. El pobre aprovechamiento del espectro electromagnético tuvo como consecuencia que al aumentar el número de estaciones transmisoras, se tuvieran problemas de interferencia entre estaciones cuya frecuencia portadora cae en canales adyacentes [Rivas, 2003].

En los 1980s se comenzó a buscar la manera de ofrecer la transmisión de vídeo digital a los consumidores, aunque nunca fue económicamente atractivo debido a los altos costos que generaba el almacenamiento de imágenes de televisión digital sin comprimir.

Los primeros sistemas de transmisión de televisión analógica por satélite utilizaban estaciones terrenas de gran tamaño y potencia con el fin de transmitir la señal de TV al satélite con buena calidad, para ser recibida por sus clientes mediante estaciones terrenas receptoras de menor tamaño. Por lo general, las grandes empresas de televisión distribuían programación de TV a pequeñas empresas locales, las cuales la ofrecían en el área local mediante el uso de repetidores de TV aérea o por cable.

II.2 Estándares de televisión analógica

A lo largo de los años, la televisión ha evolucionado desde los primitivos sistemas monocromáticos, basados en desarrollos regionales aislados, hasta los principales sistemas de televisión a color desarrollados por grandes compañías y consorcios industriales. Estas empresas realizaron grandes inversiones de capital cada una, creándose formidables intereses económicos que luego justificaron algunos conflictos técnicos y comerciales buscando implantar el dominio de cada estándar en particular [Fermoso *et al.*, 1991].

Debido a esta competencia por desarrollar un estándar único de televisión mundial, se crearon los varios sistemas convencionales de TV analógica a color que se mencionan a continuación:

NTSC (National Television Standard Committee): Fue creado en los Estados Unidos y adoptado tanto en este país como en Canadá, México, Japón y algunos países de Asia y Latinoamérica [Fermoso *et al.*, 1991], [Rivas, 2003].

Sus parámetros principales son:

1. 525 líneas por cuadro.

2. 60 campos entrelazados por segundo.
3. Luminancia: en la banda de 0 a 4.2 MHz.
4. Crominancia: dos subportadoras en cuadratura de 3.58 MHz, moduladas en amplitud con supresión de portadora, insertadas en la banda de luminancia.

PAL (Phase Alternation by Line): Se desarrolló en Alemania con la colaboración de la Radiotelevisión Italiana y fue adoptada en China, India, Argentina y algunos países árabes, africanos y Asiáticos. Brasil utiliza un sistema PAL de 525/60 [Fermoso *et al.*, 1991].

Sus parámetros principales son:

1. 625 líneas por cuadro.
2. 50 campos entrelazados por segundo.
3. Luminancia: Hasta 5 MHz (a veces hasta 5.5 MHz).
4. Crominancia: dos subportadoras como en NTSC, a 4.43 MHz con alternancia de fase.
5. El sonido se transmite por medio de una portadora independiente de la de imagen. Se emplea para el audio el método de modulación de frecuencia, denominado internacionalmente como F3 [Rivas, 2003].

SECAM (Systeme Electronique Couleur Avec Memoire): Se desarrolló y adoptó en Francia, además de Grecia, la URSS, Europa Oriental, algunos países árabes y africanos [Fermoso *et al.*, 1991].

Sus parámetros principales son:

1. 625 líneas por cuadro.

2. 50 campos entrelazados por segundo.
3. Luminancia: Hasta 6 MHz.
4. Cromancia: Dos subportadoras moduladas en frecuencia, transmitidas secuencialmente en líneas alternas.

En la figura 1 se muestra el diagrama del espectro de frecuencias de una señal de televisión a color en los sistemas compuestos NTSC, PAL o SECAM. En esta figura **Y** es la señal de luminancia, **C** la señal de color y **S** la información de sonido. Las frecuencias f_1 y f_2 son las subportadoras de color y de sonido, respectivamente. Los valores particulares a cada caso se pueden obtener de la información anteriormente mencionada.

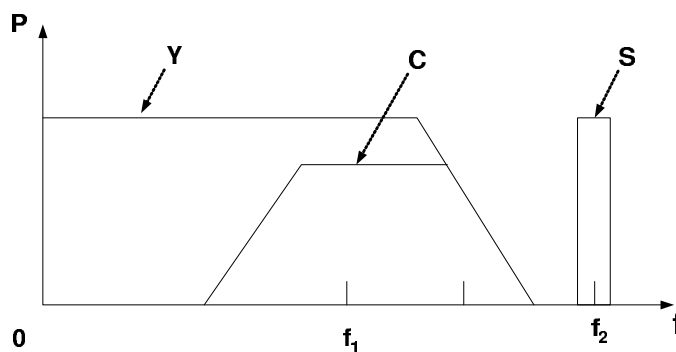


Figura 1. Diagrama general de espectro de frecuencias de la señal de TV

II.3 Estándares de televisión digital

DVB (Digital Video Broadcasting): Estándar Europeo para televisión digital establecido desde 1992. DVB ofrece los servicios de televisión de alta definición, además de tener múltiples canales compatibles con los estándares de TV (PAL, NTSC o SECAM).

Cuenta con capacidad de ofrecer servicios multimedios e interactivos de banda ancha [de Bruin y Smits, 1999].

Sus parámetros principales son:

1. Ancho de banda por canal de 8MHz.
2. Operación en COFDM (Multicanalización por división de frecuencia ortogonal codificada) con modulación QPSK o QAM.
3. Utiliza estándares de compresión MPEG-2 para vídeo y MPEG-2 audio.
4. Maneja múltiples formatos de imagen.

ATSC (Advanced Television Systems Committee): En 1993 se revisaron los resultados y la industria forma la GA (Grand Alliance) que en 1994 selecciona los mejores elementos de las distintas propuestas presentadas en ATSC y los resultados se elevan en 1995 a la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) de los Estados Unidos. En 1997 la FCC tomó la decisión de pasar del sistema NTSC al ATSC-DTV (Digital TeleVision) que incorpora el formato HDTV digitalizado en base al MPEG-2 [Ares, 2003]. Uno de los estándares surgidos es el Digital Television Standard, el cual describe las características del Sistema de Televisión Avanzada (ATV), del cual se mencionan brevemente algunos de sus parámetros principales, que son:

1. 6 MHz de ancho de banda por canal.
2. Modulación de banda lateral 8-VSB o 16-VSB (Vestigial Side Band).
3. Utiliza estándares de compresión MPEG-2 (Video) y Dolby AC-3 (Audio).
4. Maneja múltiples formatos de imagen.

II.4 Transmisión de televisión vía satélite

Los primeros sistemas domésticos de recepción de televisión satelital conocidos comúnmente con las siglas TVRO (TV Reception Only) constaban de un segmento espacial y un segmento terrestre. El segmento espacial consta de un satélite repetidor en órbita geoestacionaria a 36,000 Km sobre el ecuador, razón por la cual puede ser visto como un punto fijo desde la Tierra. Las bandas de frecuencia satelitales utilizadas en la transmisión de la señal de información se muestran en la tabla I.

Tabla I. Bandas de frecuencia satelital

Bandas	Frecuencia (GHz)
C	3.7 - 6.4
Ku	10.7 - 14.5
Ka	17.0 - 31.0

El segmento terrestre consistía básicamente en dos estaciones terrenas: Una gran estación terrena transmisora, donde se generaba la programación y se transmitía la señal analógica al satélite para su difusión. La segunda estación terrena era básicamente una estación receptora de menor tamaño y costo, también conocida como TVRO, la cual recibía la señal analógica del satélite, la procesaba y la desplegaba en el televisor doméstico.

El sistema TVRO se divide en dos unidades: la exterior y la interior. La exterior consta de una antena parabólica de alrededor de tres metros de diámetro, que incluye un bloque de bajo ruido y convertidor (LNB), mientras que en la unidad interior incluye un receptor con descryptador integrado (RDI) y el receptor de televisión. En la figura 2 se muestran los elementos principales que constituyen el sistema TVRO.

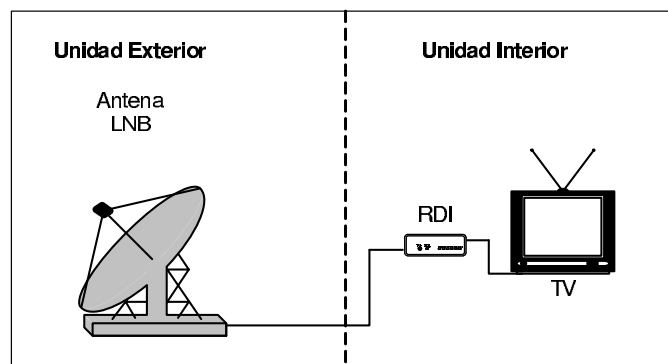


Figura 2. Elementos del sistema TVRO

La evolución hacia la siguiente generación de sistemas de televisión digital directo al hogar (DTH) no es un proceso sencillo. Esta evolución no puede ignorar a los millones de receptores y su equipo asociado adquiridos por los consumidores y empresas, por lo que aún se siguen utilizando sistemas de televisión analógicos TVRO.

II.5 Estándar MPEG-2

El grupo de expertos en imágenes en movimiento (MPEG) trabajó en la definición de un estándar optimizado para la difusión de vídeo digital, dando como resultado el estándar MPEG-2 el cual especifica la semántica y los parámetros mínimos necesarios para garantizar la recuperación de la información digital comprimida de una determinada fuente.

En Noviembre de 1994 se instituyó el estándar MPEG-2 [Benoit, 1997], el cual está dividido en diez partes, de las cuales las más importantes y que conforman el núcleo central del estándar son:

MPEG-2 Sistemas (ISO/IEC 13818-1): Define la estructura de las ristas (streams) de MPEG-2.

MPEG-2 Vídeo (ISO/IEC 13818-2): Define los elementos básicos para la decodificación de vídeo.

MPEG-2 Audio (ISO/IEC 13810-3): Define los elementos básicos para la decodificación de audio.

El sistema MPEG-2 esta basado en la transmisión multicanalizada de vídeo y audio digital junto con servicio de datos en un sólo flujo de datos. Este flujo de datos esta comprimido y codificado, para después segmentarlo en paquetes de tamaño constante con el fin de mantener limitados los errores de bits. El proceso de codificación y empaquetado de las fuentes se muestra en la figura 3.

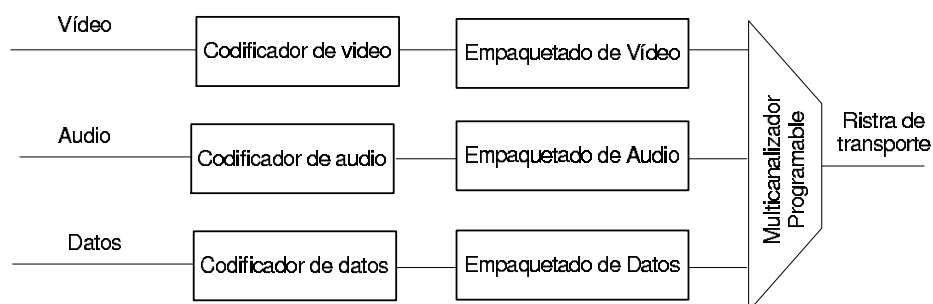


Figura 3. Generación de la ristra de transporte a partir de las señales fuente

La ristra de transporte consta de paquetes con encabezado que contienen información para decodificar cada canal. Los paquetes tienen una longitud de 188 octetos, los primeros 4 octetos se utilizan como encabezado, de los cuales el primer octeto está reservado para la sincronía [Benoit, 1997]. La figura 4 muestra la estructura del paquete MPEG-2, además de la descripción del encabezado del mismo.

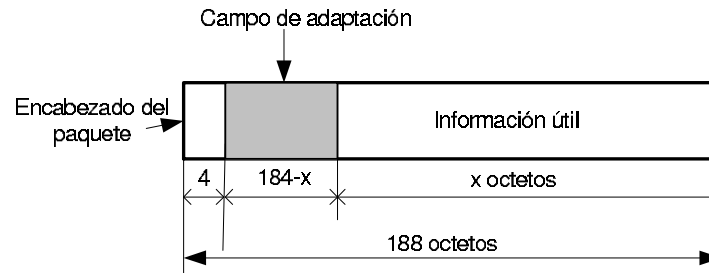


Figura 4. Formato del paquete MPEG-2

El encabezado del paquete MPEG-2 consta de 4 octetos los cuales se dividen en grupos de bits que representan información de control [Benoit, 1997]. En la figura 5 se describen los bits que conforman el encabezado del paquete MPEG-2.

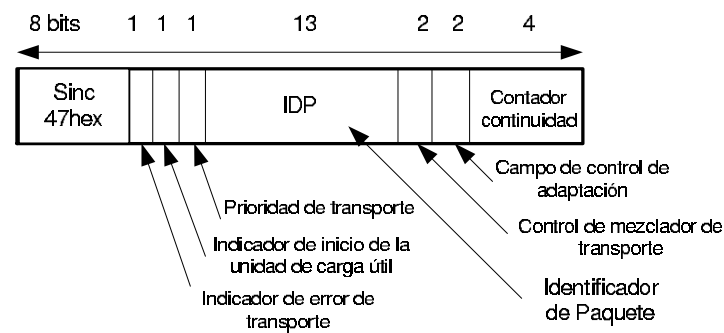


Figura 5. Descripción del encabezado de MPEG-2

Dentro de los parámetros de vídeo de MPEG-2 existe una clasificación en agrupaciones conocidas como niveles y perfiles, donde el formato convencional donde se envían las señales de televisión es el 4:2:0 con una resolución de 720X480 pixeles a 30 cuadros por segundo [Benoit, 1997].

En este trabajo de tesis la parte utilizada es MPEG-2 del tipo sistemas. Para una explicación detallada del estándar MPEG-2 se pueden consultar las referencias de [Benoit, 1997] y [Watkinson, 1999].

II.6 Sistemas de televisión directa al hogar

Para principios de 1990 la tecnología digital había logrado un gran avance con el desarrollo de microprocesadores con mayor capacidad y velocidad, lo que se reflejó en una reducción en el costo del equipo. En el área satelital se construyeron satélites con mayor potencia y número de transpondedores, lo cual hizo aumentar las dimensiones del satélite [Conte, 2002]. En esa misma época se crearon nuevos algoritmos de compresión de imágenes como MPEG-2.

Con la asignación de la banda Ku (12 - 14 GHz) en la Región 2 (América) de la ITU (International Telecommunication Union), para los servicios de transmisión de televisión al hogar, se logró la disminución del tamaño de antena receptora con diámetro menor a 1 metro, exigiendo con ello una separación orbital garantizada entre satélites adyacentes para evitar interferencias [Conte, 2002].

Gracias a estos avances, para mediados de 1994 se realizó la primera difusión de televisión digital por satélite con el servicio comercial DirecTV, obteniendo un éxito inmediato, el cual se vió reflejado en más de un millón de subscriptores al final del primer año de ofrecer el servicio.

Debido al uso de tecnología digital surgieron cambios en las características de los elementos que constituyen un sistema doméstico de televisión digital por satélite [Conte, 2002], como se menciona a continuación:

Antenas receptoras de foco desplazado y dimensiones reducidas, en este caso de 45 a 90 cm dependiendo del sistema digital a utilizar y las características geográficas y climáticas de la estación terrena receptora [Conte, 2002].

Amplificador de bajo ruido (LNB) con temperaturas de ruido menores a 100 K y ganancia de aproximadamente 65 dB.

Receptor IRD que incluye un gran número de subsistemas analógicos y digitales

que permiten convertir la señal RF en señales de vídeo y audio en forma digital, así como recibir información digital referente a la programación, horarios y otros servicios de datos [Conte, 2002].

Selector de canal, el cual selecciona al transpondedor donde se encuentra la señal multicanalizada que incluye el canal de TV de interés por el usuario. El selector separa el transpondedor deseado de entre los demás transpondedores presentes en ese satélite [Conte, 2002].

Demodulador selecciona una de las cuatro formas de onda posibles de la señal QPSK (modulación por cuadratura en fase) que fue transmitida, considerando modulación con una eficiencia espectral de dos bits por símbolo [Conte, 2002].

Demulticanalizador TDMA, el cual separa y extrae la información de un canal específico dentro del flujo de bits correspondiente al transpondedor elegido anteriormente. Generalmente hay entre 3 y 6 canales de TV multicanalizados en tiempo en cada transpondedor, dependiendo de la cantidad de información redundante promedio en la imagen [Conte, 2002].

Memoria RAM que actúa como reforzador (buffer) de baja capacidad para estabilizar el flujo de bits de un canal determinado entre el demulticanalizador TDMA y el decodificador/decompresor de bits MPEG-2 [Conte, 2002].

Decodificador/Decompresor digital que realiza las funciones de decodificación de vídeo y audio en MPEG-2, así como la descompresión y regeneración de la señal original completa, incluyendo información extra y redundante [Conte, 2002].

Panel de salidas donde se convierte el vídeo y audio digital al formato analógico (NTSC, PAL o SECAM) necesario para su conexión al equipo de televisión o

sonido del usuario, ya sea en banda base o modulada, según lo requiera el aparato a reproducir la información recibida [Conte, 2002].

La radiodifusión directa de TV digital por satélite ofrece enlaces individuales a cada hogar mediante pequeñas antenas receptoras o instalaciones de recepción comunitaria, por ejemplo para hoteles o edificios de apartamentos.

Las ventajas de este servicio están determinadas por los bajos costos del sistema de recepción, producidos de forma masiva, y por la disponibilidad de programación de TV en función de su calidad y cantidad [Fermoso *et al.*, 1991].

II.7 Difusión de vídeo digital vía satélite

La difusión de vídeo digital vía satélite conocida comunmente con las siglas DVB-S es un estándar Europeo (ETS 300 421) publicado en diciembre de 1994, el cual describe los parámetros para ofrecer los servicios de difusión de televisión digital, de audio y datos por satélite para las frecuencias de 11 a 12 GHz, así como las estructuras de marco, codificación de canal y modulación del sistema [EN300421, 1997]. Este estándar se puede dividir en dos procesos complementarios y simétricos: la codificación de canal y decodificación de canal.

II.7.1 Codificación de canal

La codificación de canal se lleva a cabo en el sistema transmisor, el cual consta de los ocho bloques que se observan en la figura 6.

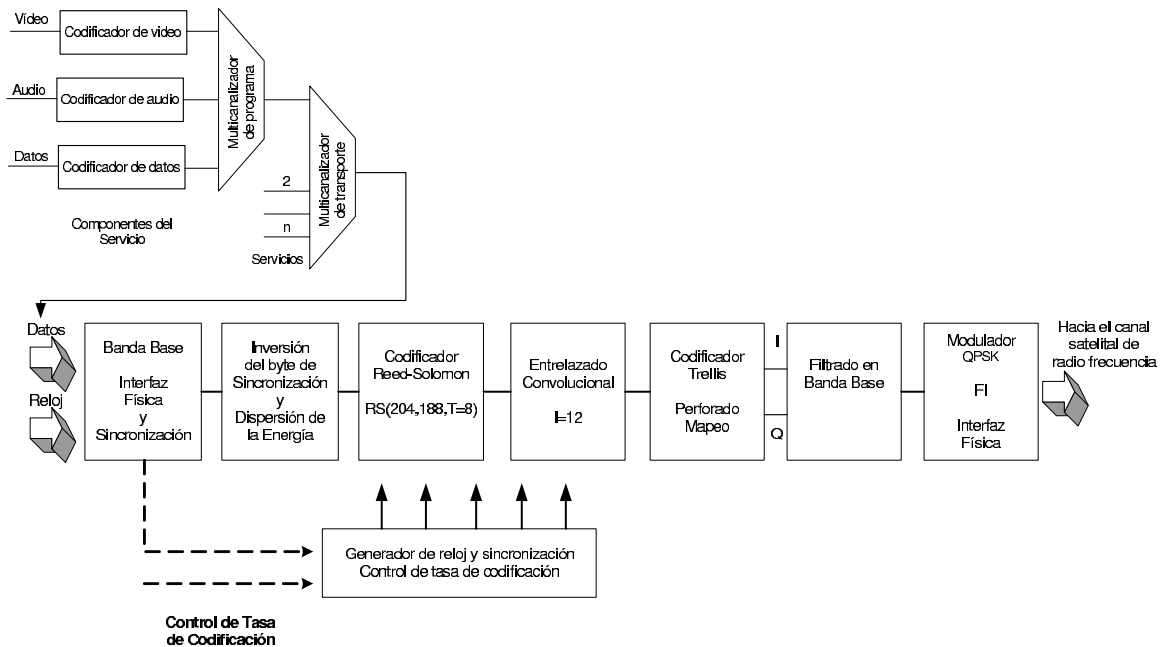


Figura 6. Diagrama del transmisor de DVB-S

II.7.1.1 Fuente MPEG-2 codificada y multicanalizada

El sistema satelital es compatible con el estandar de codificación MPEG-2, lo cual implica que el modem del transmisor es compatible con los paquetes de transporte MPEG-2. El sistema MPEG-2 está basado en la transmisión multicanalizada de vídeo y audio digital junto con el servicio de datos en un solo flujo de datos. Este flujo de datos está comprimido y codificado, para después segmentarlo en paquetes, manteniendo los errores de bits limitados. Una explicación detallada se presenta en la sección II.5 (pag. 12).

II.7.1.2 Dispersión de energía

El objetivo de la dispersión de energía es evitar las secuencias largas de unos o ceros, además de obtener una mejor distribución del espectro de frecuencia transmitido

dentro del ancho de banda del transpondedor. La operación que se realiza es proveer valores aleatorios de unos y ceros de la señal alternándolos de manera que se tenga una distribución uniforme de unos y ceros en el flujo de bits. A cada uno de los bits que constituyen el paquete MPEG-2 se le aplica este proceso, con la única excepción del octeto de sincronía el cual únicamente es invertido [EN300421, 1997].

La figura 7 muestra el resultado de la aplicación del aleatorizado para dispersión de energía, donde se observa como el octeto de sincronía invertido no sufrió ninguna alteración.

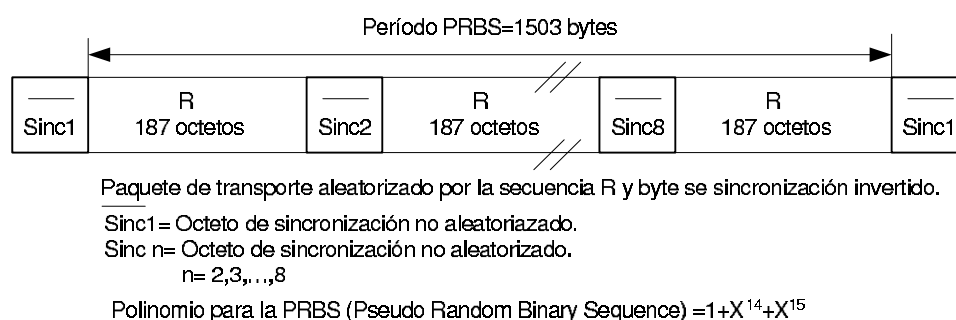


Figura 7. Paquete MPEG-2 después del proceso de dispersión de la energía

II.7.1.3 Codificador Reed-Solomon

La transmisión digital permite el uso de técnicas para detección y corrección de errores, donde una de las más populares en las comunicaciones por satélite es la corrección adelantada de errores, o FEC (Forward Error Correction). En un sistema tal como el que se desea simular en este trabajo, el transmisor debe tener un canal casi libre de errores, o QEF (Quasi-Error-Free), lo cual significa que la tasa de errores de bit, o BER (Bit Error Rate), debe estar dentro del intervalo de 1×10^{-11} a 1×10^{-10} a la entrada del multicanalizador MPEG-2. Es por ello que se utiliza un codificador de salida Reed-Solomon RS(204,188,T=8), ya que éste agrega 16 octetos de redundancia

($188+16=204$) a la señal de información, dando como resultado una tasa de error de bit de 2×10^{-4} a la entrada del decodificador RS, para cumplir con el BER antes mencionado. En la figura 8 se puede notar como aumenta el tamaño del paquete debido a los octetos de redundancia añadidos por el codificador Reed Solomon [EN300421, 1997].

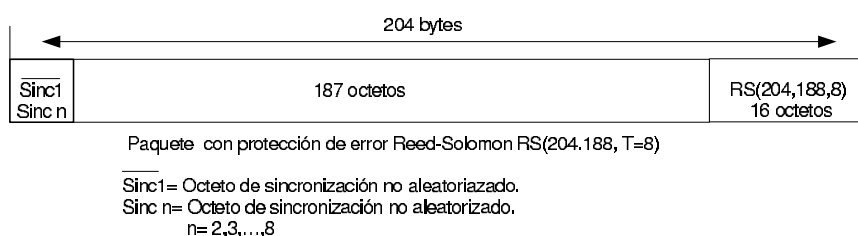


Figura 8. Paquete MPEG-2 después del codificador Reed-Solomon

II.7.1.4 Entrelazado convolucional

El entrelazado convolucional ayuda a evitar los errores de ráfagas por medio de la separación de símbolos adyacentes, haciendo que los errores sean individuales y no en grupos. Esto ayuda a que no se pierda toda la información de un paquete sino sólo parte de ella en caso de un error, teniendo la oportunidad de recuperar dicha información en el decodificador del receptor [EN300421, 1997].

La terminología utilizada en aspectos de codificación convolucional ayuda a definir las características de protección contra errores del codificador utilizado. En este caso se tiene apoyo en la relación mostrada en la ecuación 1 donde I se refiere a la profundidad del entrelazado, o al número de ramas que tiene el entrelazador. Donde N es el número de octetos y M es el número de celdas dentro del registro de corrimiento que genera el código.

$$I = \frac{N}{M} \quad (1)$$

En el caso del estándar MPEG-2, el valor del entrelazador I es de 12 debido a que se cuenta con 204 octetos divididos en 17 celdas dentro del registro, por lo tanto $I=204/17=12$ [Benoit, 1997].

Los octetos de sincronía invertidos en el proceso anterior se pasan por la rama I=0 siempre, ayudando a encontrar el octeto de sincronía en el proceso de desentrelazado que se hará en la parte del receptor. En la figura 9 se muestra el paquete final con su protección de error después de pasar por el entrelazado.

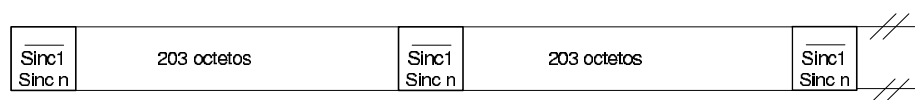


Figura 9. Paquete MPEG-2 después del entrelazado

II.7.1.5 Codificador Trellis de entrada

En el codificador Trellis de entrada se añaden bits redundantes, los cuales ayudan a corregir errores en la secuencia de bits recibidos. La redundancia que se obtiene es del 100% para DVB debido a que la tasa de codificación es de $\frac{1}{2}$, aumentando la capacidad de corrección de errores. Además de lo anterior se añade el perforado (puncturing) el cual tiene tasas de codificación de $R_c = 2/3, 3/4, 5/6$ o $7/8$ las cuales representan la relación entre la tasa de bits de entrada útiles y la tasa de salida, es decir, los bits transmitidos [Mead, 1999]. La tasa de codificación se obtiene multiplicando la tasa del codificador convolucional pura por el inverso de la tasa de perforado ($2/3 = 1/2 \times 4/3$). El *perforado* aumenta la capacidad de transmisión del canal a expensas de la reducción de la distancia libre, la cual es el parámetro de eficiencia de corrección del código convolucional. En la tabla II se pueden observar las tasas del codificador Trellis y su relación señal a ruido [Mead, 1999].

Tabla II. Tasa de codificación y su C/N

Codificador Trellis	C/N (dB)
1/2 np	4.1
2/3	5.8
3/4	6.8
5/6	7.8
7/8	8.4
np= no perforado, BER= 2×10^{-4} AB= 33MHz, QEF= 1×10^{-11} a 1×10^{-10}	

II.7.1.6 Filtrado

El filtrado tiene como objetivo evitar la interferencia entre símbolos, es decir, que la señal digital no exceda el ancho de banda de los canales satelitales. El filtro utilizado por el estándar DVB-S es el de la raíz de coseno cuadrado (raised cosine) con factor $\alpha=0.35$, el cual permite determinar el ancho de banda ocupado (ABoc) como se observa en la ecuación 2, donde T_s es la tasa de símbolos [Mead, 1999].

$$ABoc = (1 + \alpha) x \frac{T_s}{2} \quad (2)$$

II.7.1.7 Modulación

El esquema de Modulación utilizado por el estándar DVB-S es QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) el cual consta de cuatro estados de fase $M = 4$, con símbolos de 2 bits, con lo que se obtiene una eficiencia espectral $\eta = \frac{2bps}{Hz}$. Se utiliza con código Gray de cambio de fase de $\pm 90^\circ$ lo cual implica que la representación digital de la fase cambia solo en un bit [Tomasi, 1996]. El diagrama a bloques del modulador y la constelación de QPSK se muestran en la figura 10.

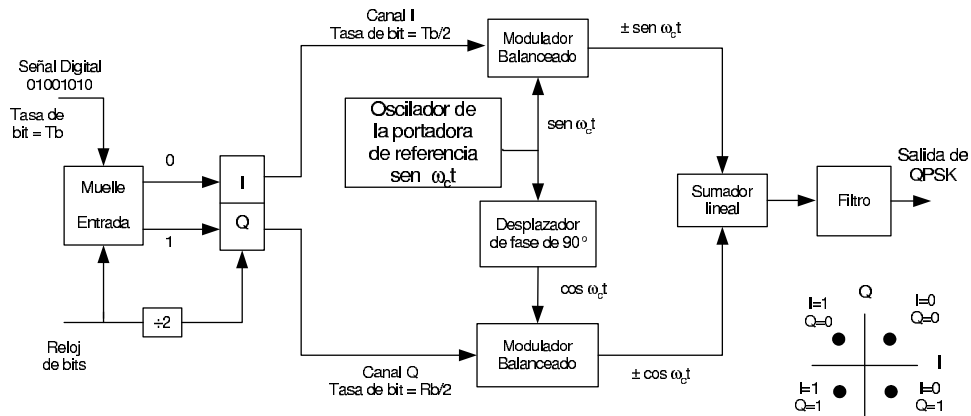


Figura 10. Modulador QPSK y su constelación

En la tabla III se muestran las tasas de bits en función del ancho del canal y su tasa de código para DVB-S, para el caso de modulación QPSK [EN300421, 1997].

Tabla III. Máximas tasas de bits en función del ancho del canal y su tasa de código

MHz Mbps		Rc Mbps				
AB	Max Ts	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
54	42.2	38.9	51.8	58.3	64.8	68
46	35.9	33.1	44.2	49.7	55.2	58.0
40	31.2	28.8	38.4	43.2	48.0	50.4
36	28.1	25.9	34.6	38.9	43.2	45.4
33	25.8	23.8	31.7	35.6	39.6	41.6
30	23.4	21.6	28.8	32.4	36.0	37.8
27	21.1	19.4	25.0	29.2	32.4	34.0
26	20.3	18.7	25.0	28.1	31.2	32.8

AB=Ancho de Banda , Ts=Tasa de símbolos

II.7.2 Decodificación de canal

La decodificación de canal consiste en decodificar la señal recibida para reproducir la señal transmitida originalmente. Los pasos para su decodificación se muestran en el

diagrama del receptor mostrado en la figura 11.

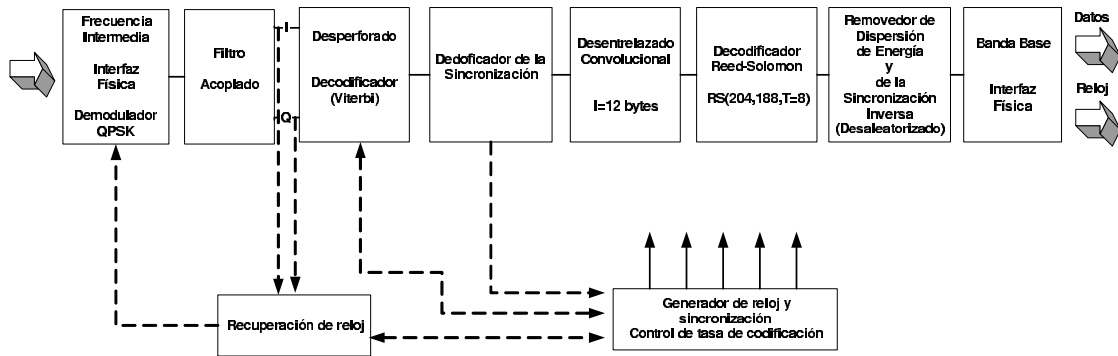


Figura 11. Diagrama del receptor de DVB-S

II.7.2.1 Demodulación

El primer bloque de la figura 11 consiste de un demodulador QPSK, el cual detecta la fase de la señal portadora después de cada símbolo de información, para ser después demodulada. El diagrama a bloques del demodulador se muestra en la figura 12.

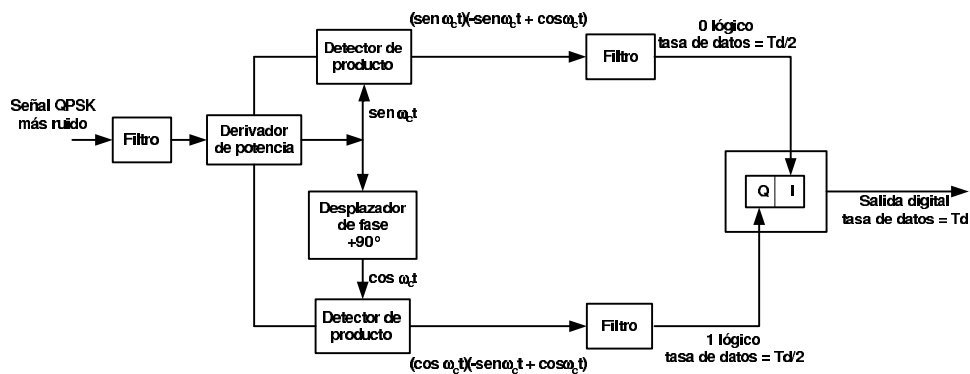


Figura 12. Demodulador QPSK

II.7.2.2 Filtro acoplado

El filtrado de la señal demodulada se lleva a cabo por un filtro acoplado con un factor $\alpha=0.35$; lo que da como resultado un nivel de interferencia aceptable con los

canales adyacentes satelitales. El demodulador cuenta con una unidad de recuperación de reloj el cual contiene un PLL (Phase Locked Loop) [EN300421, 1997].

II.7.2.3 Decodificador Viterbi

En el receptor, la ristra de bits demodulada que contiene los errores de canal aleatorizados mediante intercalación se introduce en un decodificador de Viterbi que elimina la mayoría de los errores.

II.7.2.4 Decodificación de la sincronía

Para reconstruir los 204 octetos, todo debe estar sincronizado. Es por ello que se invierte el octeto de sincronía en el transmisor y se procesa sin modificación en su valor en el desentrelazado y decodificador Reed-Solomon [Mead, 1999].

II.7.2.5 Removedor de la dispersión de energía

Para el proceso de dispersión de la energía se toma el octeto de sincronía del primer paquete de un grupo de 8 paquetes y se invierte. Enseguida las ristas de transporte (transport stream) se demulticanalizan [Mead, 1999].

II.7.2.6 Demulticanalizador

El demulticanalizador recupera la información (audio, vídeo y datos) que viene dentro de los paquetes MPEG-2.

II.7.2.7 Decodificador MPEG-2

En el decodificador MPEG-2 la ristra de transporte inserta un bit adicional después del octeto de sincronización. Dependiendo del valor ese bit indica si un error ocurrió durante la transmisión y no pudo ser corregido durante el proceso de corrección de

errores. Al final, el decodificador reconstruye el vídeo y audio del programa seleccionado por el usuario [Mead, 1999].

La información de control en el sistema DVB-S esta dentro de banda, debido a que los bits de control están dentro de las ristas de transporte MPEG-2.

II.7.3 Multicanalización

La multicanalización es la transmisión de información de más de una fuente a más de un destino, por el mismo medio de transmisión. Las técnicas de multicanalización utilizadas en DVB-S son TDM (Multicanalización por División de Tiempo) o FDM (Multicanalización por División de Frecuencia).

En *FDM* múltiples fuentes que originalmente ocupaban el mismo espectro de frecuencias se convierten, cada una, a bandas de frecuencias diferentes y se transmiten simultáneamente en un solo medio de transmisión [Tomasi, 1996]. Así, muchos canales de banda relativamente angosta se pueden transmitir en un sólo sistema de transmisión de banda ancha.

En *TDM* las transmisiones para fuentes múltiples ocurren sobre el mismo medio pero no al mismo tiempo, es decir, las transmisiones de las fuentes se intercalan en el dominio del tiempo [Tomasi, 1996]. La multicanalización TDM y FDM se pueden apreciar en la figura 13.

II.8 Estándar MPEG-4

La codificación de datos audiovisuales es uno de los puntos clave en las nuevas aplicaciones dentro de las comunicaciones, multimedios y televisión digital. Estas requieren compresión de vídeo y audio digitales, técnicas de codificación flexibles, robustas y eficientes [Chávez, 1999].

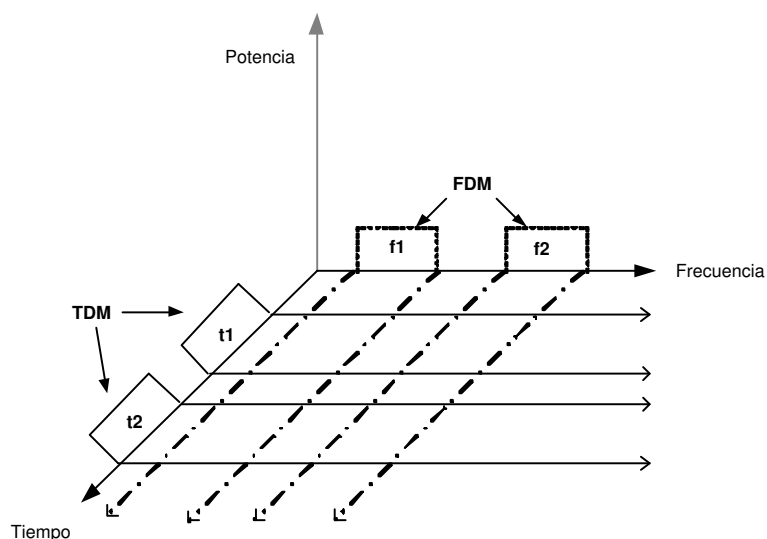


Figura 13. Métodos de multicanalización TDM y FDM

El grupo MPEG ha creado una alternativa para la representación de la información audiovisual de manera que sea totalmente independiente de la aplicación, la cual se conoce como ISO/IEC 14496, es decir, MPEG-4.

Los estándares como MPEG-1 y MPEG-2 se basan principalmente en el vídeo y audio, en donde su objetivo es efectuar la transmisión y el almacenamiento más eficientes, comprimiendo el material de manera óptima. La diferencia entre estos estándares y MPEG-4 es que los anteriores MPEG-1 y MPEG-2 manejaban la información de audio y vídeo como ristas de bits empaquetados, producidas por la codificación de señales de vídeo y audio. En cambio MPEG-4 concibe al vídeo, audio y otros elementos como *objetos audiovisuales* (AVOs) [Mead, 1999].

MPEG-4 puede verse como una analogía del modelo de programación orientado a objetos, el cual representa la entrada a una nueva generación de técnicas de codificación de material audiovisual. Además, se basa en nuevos esquemas para la representación y manipulación del contenido audiovisual, proporcionando aún mayor flexibilidad al usuario final, permitiéndole operar con diversos grados de interacción.

Este estándar MPEG-4 ofrece tasas de bits entre 5 Kbps - 100 Mbps . Incluye

características de control de la señal audio/vídeo para distintas aplicaciones multimedia orientadas a Internet.

Las escenas de MPEG-4 están compuestas de varios objetos multimedia codificados y organizados de manera jerárquica [Mead, 1999].

MPEG-4 intenta estandarizar las formas para:

- Representar unidades de contenido auditivo, visual o audiovisual, llamadas objetos multimedia. Estos objetos multimedia pueden ser de origen *natural* o *sintético*, lo cual significa que pueden ser obtenidos analógicamente o ser generados digitalmente [Chávez, 1999].
- Describir la composición de estos objetos para crear objetos multimedia compuestos que a su vez forman escenas audiovisuales, mediante la utilización de un descriptor de escena.
- Multicanalizar y sincronizar datos asociados con los objetos multimedia, de tal manera que puedan transportarse sobre canales de red, proporcionando una *calidad de servicio* apropiada para la naturaleza de cada uno de los objetos multimedia específicamente.
- Interacción con los objetos que componen la escena audiovisual generada en el receptor final.
- La reutilización de objetos, ya que existe la posibilidad de acceder y almacenar los objetos por separado. Es más fácil crear contenido combinando varios de estos objetos almacenados.

Un elemento clave en la interactividad y reutilización de objetos en MPEG-4 es la introducción de un *compositor*, que se encarga de dar presentación a los objetos [Mead, 1999]. En la interacción en una escena compuesta siguiendo el diseño del autor

y dependiendo de los grados de libertad permitidos, el usuario tiene la posibilidad de interactuar con objetos significativos de la escena. Esto se puede observar en la figura 14 en la cual se muestra como ejemplo una escena MPEG-4 compuesta de seis objetos:

Fondo: puede ser cualquier imagen.

Niñas: para este caso se puede utilizar la característica de MPEG-4 la cual permite colocar a un objeto en cualquier lugar del sistema de coordenadas utilizado (2D ó 3D).

Pelota: la pelota también tiene la característica de colocarse el cualquier lugar (cambiando sus parámetros de animación), cambiar su textura, color, etc.

Sonido: El sonido puede estar compuesto de voz para el caso de las niñas, música, entre otros.

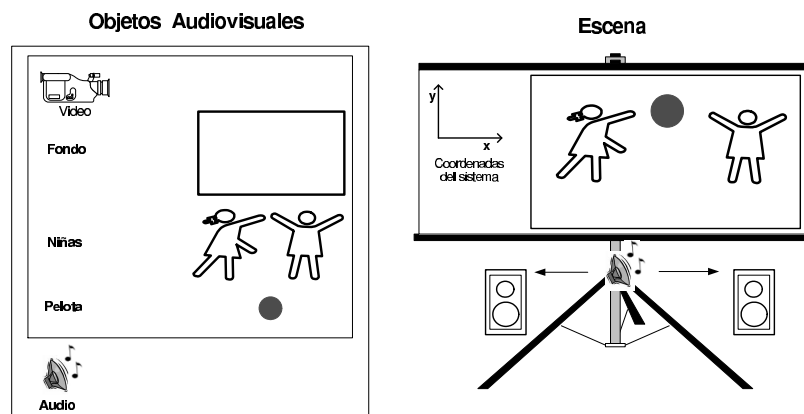


Figura 14. Escena MPEG-4 y objetos audiovisuales

Otras posibles operaciones que el usuario puede efectuar son: cambiar el punto de visión y de audición en una escena (navegar por una escena), arrastrar objetos en una escena hacia una posición diferente, activar una cascada de eventos utilizando el ratón sobre un objeto específico (empezar o terminar una secuencia de vídeo) y seleccionar un lenguaje cuando una serie de pistas de lenguaje estén disponibles.

El esquema que MPEG-4 transforma los objetos en ristra elementales, donde cada ristra se caracteriza por una serie de descriptores que contienen información acerca de su configuración. Estos descriptores llevan información sobre la calidad de servicio (QoS) que se solicita para la transmisión, tal como la máxima tasa de bits, tasa de errores de bit, etc. En la figura 15 se muestran los componentes de la terminal MPEG-4 en la recepción [Mead, 1999].

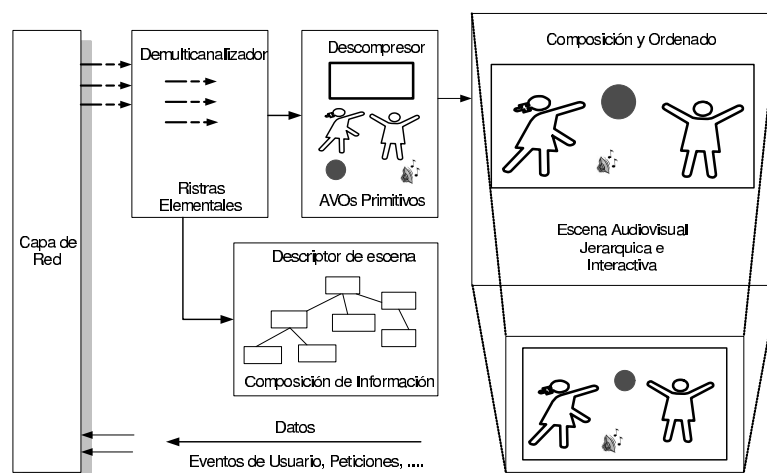


Figura 15. Componentes para la recepción en la terminal MPEG-4

El modelo en capas de MPEG-4 se presenta en la figura 16, donde las capas que lo componen son:

La capa de Compresión: brinda los medios para la codificación y decodificación de las riistras elementales.

La capa de Sincronización: administra la sincronización de las riistras elementales y su relación jerárquica.

La capa de Entrega: asegura el acceso transparente al contenido independiente de la tecnología de entrega.

La capa de transporte: se han definido hasta el momento a los protocolos *MPEG-2 TS (ISO/IEC 13818-1:2000)* e *IP (ISOIEC 14496-8)* [Puri y Chen, 2000].

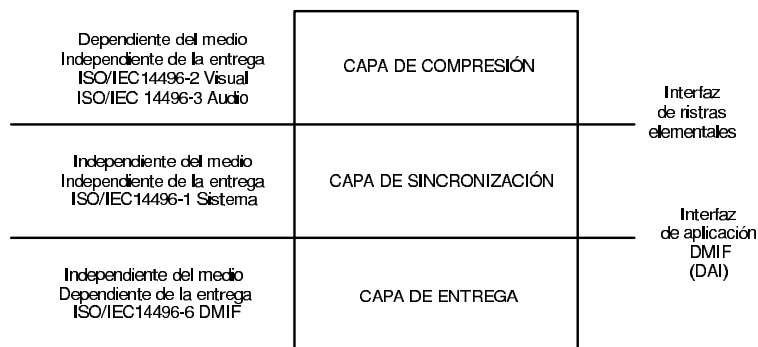


Figura 16. Arquitectura de la terminal MPEG-4

En la figura 17 se muestran las capas de sincronización y de entrega. La capa de entrega está compuesta por dos capas, llamadas FlexMux y TransMux.

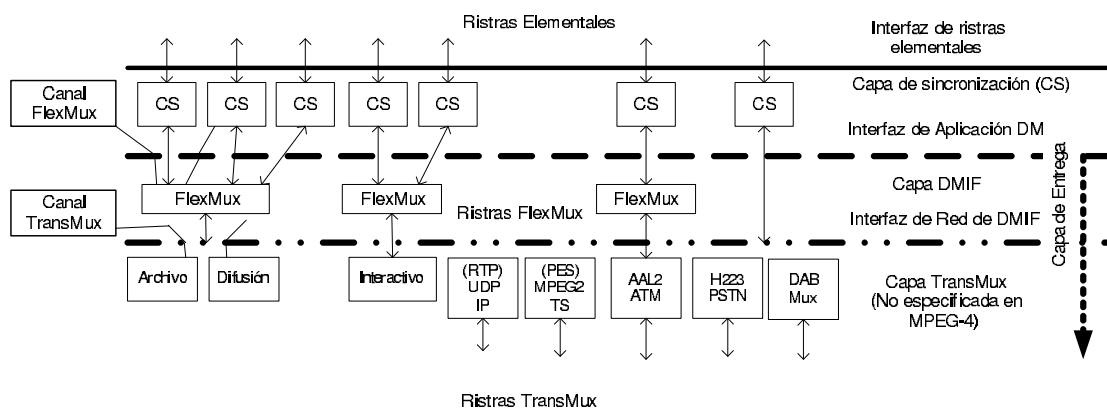


Figura 17. Diagrama a bloques de las capas de sincronización y DMIF

Capa FlexMux (Flexible Multiplex): es una herramienta de multicanalización, que permite agrupar a varias Ristras Elementales (ES) con los mismos requerimientos de calidad de servicio (QoS), añadiendo un encabezado de multicanalización menor, además de reducir el número de conexiones de red o el retardo extremo a extremo [Puri y Chen, 2000].

Capa TransMux (Transport Multiplex Scheme): ofrece servicios de transporte de acuerdo a los requerimientos de Calidad de Servicio. Únicamente la interfaz a ésta capa está definida por MPEG-4, en donde el mapeo de los datos es realizado por el protocolo de transporte que se utilice, por ejemplo RTP, UDP, IP, AAL5/ATM ó MPEG-2 TS (Transport Stream) y la elección del protocolo se deja al usuario final o al proveedor de servicios [Puri y Chen, 2000].

II.8.1 DMIF

El protocolo de sesión DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework) maneja datos de multimedios sobre tecnología de transferencia genérica. El marco de trabajo de DMIF comprende tres tecnologías principales de transferencia las cuales son: la tecnología de red interactiva (Internet, ATM, etc), tecnología de difusión (Cable, Satélite, etc) y la tecnología de disco (DVD, CD, etc) [Puri y Chen, 2000].

DMIF expresa su funcionalidad mediante sus interfaces llamadas:

- 1. Interfaz de Aplicación DMIF (DAI) :** esta interfaz interviene en el intercambio de información entre la aplicación remota y la aplicación local.
- 2. Interfaz de Red para DMIF (DNI):** tiene una aplicación que permite la señalización entre dos DMIF remotos.

Cuando una aplicación accesa los datos a través de la interfaz DAI, sin tomar en cuenta de donde vienen estos datos, ya sea una central de difusión, almacenamiento local o un servidor remoto, la aplicación local sólo interactúa a través de una interfaz uniforme DAI. El protocolo DMIF entonces traducirá las peticiones de la aplicación local a mensajes específicos para ser transmitidos a la aplicación remota, encargándose de las peculiaridades de la tecnología de transferencia involucrada. De igual manera,

los datos de entrada a la terminal (de servidores remotos, redes de difusión o archivos locales) son transferidos a la aplicación local a través de la DAI.

La interfaz DNI contiene una aplicación que permite la señalización entre dos DMIF remotos, permitiendo con esto el conocimiento del tipo de información que se estará intercambiando entre ellos.

Un ejemplo de la aplicación de éstas interfaces puede observarse en la figura 18, donde se muestra una aplicación Cliente/Servidor de MPEG-4 y los pasos señalados se explican a continuación [Alnuweiri *et al.*, 2001].

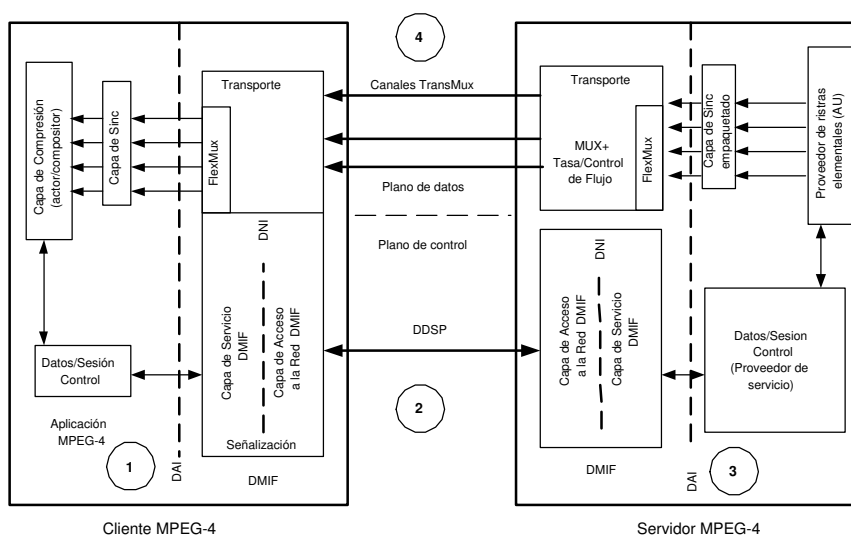


Figura 18. Diagrama a bloques de una aplicación Cliente/Servidor MPEG-4

En la figura 18 se observa la existencia de los planos de control y datos, dando por entendido que la señalización para la inicialización de la sesión, su administración y terminación se efectúan fuera de banda.

Los elementos involucrados para crear una sesión, se explican en forma sencilla de acuerdo al modelo computacional de DMIF, el cual consiste en cuatro pasos:

Paso 1: la aplicación origina una petición de activación de servicio, en su capa local de DMIF, con lo cual se crea una trayectoria de comunicación entre la aplicación origen y su DMIF local (DAI) [Alnuweiri *et al.*, 2001].

Paso 2: la DMIF origen establece una sesión de red con el DMIF remoto, tras lo cual se crea una trayectoria entre el DMIF origen y el DMIF remoto (DDSP, DMIF Default Signalling Protocol) [Alnuweiri *et al.*, 2001].

Paso 3: el DMIF remoto identifica la aplicación y envía la petición de activación, creando una trayectoria entre el DMIF remoto y la aplicación dentro de la misma (DAI) [Alnuweiri *et al.*, 2001].

Paso 4: como resultado de los pasos anteriores se crean los canales (TransMux), para el intercambio de la información por la aplicación [Alnuweiri *et al.*, 2001].

Este trabajo de tesis aplica al protocolo DMIF de MPEG-4 como base para el modelo de simulación. Para una explicación detallada del estándar MPEG-4, se pueden consultar las siguientes referencias [Alnuweiri *et al.*, 2001], [Mead, 1999] y [Koenen, 2002].

Capítulo III

Sistemas Satelitales Interactivos

III.1 Introducción

En los años 1990's los sistemas de comunicación por satélite directo al hogar para el transporte de información (datos, vídeo y audio) operaban como canales de comunicación unidireccionales. Cuando se requería de interactividad acudían al uso de canales terrestres. En la figura 19 se puede observar un ejemplo de un sistema de servicio de Internet por satélite con canal de retorno telefónico.

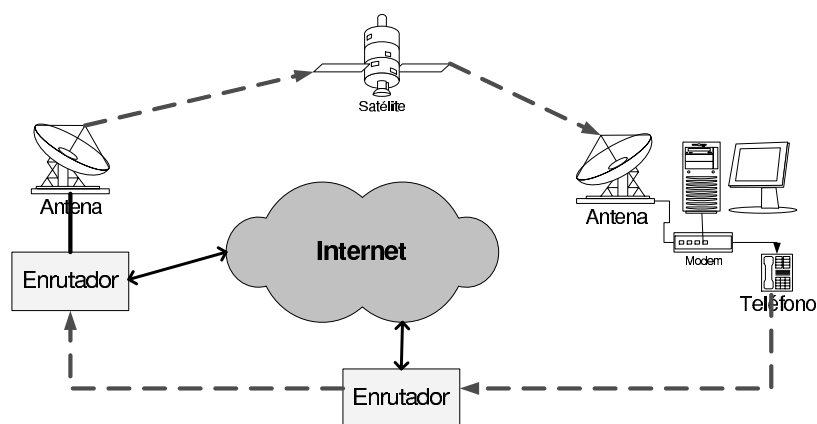


Figura 19. Sistema interactivo con canal de retorno telefónico

En la actualidad algunos satélites Geoestacionarios ofrecen transmisiones bidireccionales de *alta calidad* para determinadas aplicaciones [Fermoso *et al.*, 1991], tal es caso del estándar DVB-RCS el cual brinda la opción de tener un sistema interactivo satelital, dejando de lado la necesidad de un canal terrestre. En la figura 20 se observa el sistema de servicio de Internet por satélite bajo el concepto DVB-RCS.

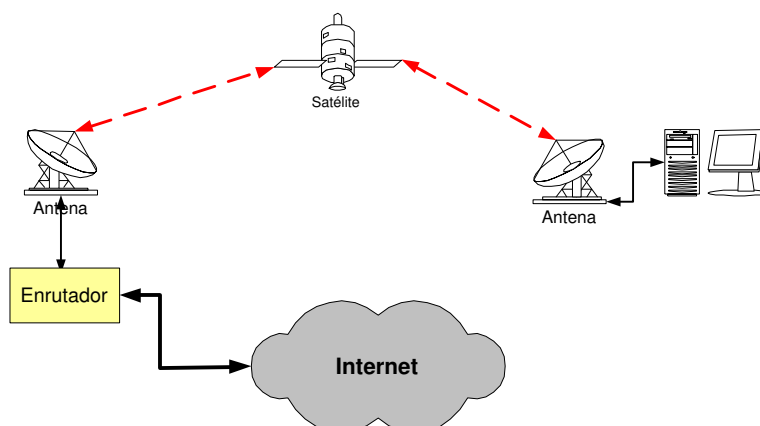


Figura 20. Sistema interactivo con canal de retorno satelital

A diferencia del sistema mostrado en la figura 19, el sistema de la figura 20 no depende de ningún canal terrestre. Estos tipos de sistemas son muy útiles en lugares remotos que no cuentan con sistemas de comunicación por tierra.

III.2 Difusión de vídeo digital en sistemas con canal de retorno

A partir del año 2000 se logra estandarizar el sistema de canal satelital de retorno directo DVB-RCS por la ETSI, el cual define la transmisión de datos mediante un canal de envío basado en el formato de datos DVB-S/MPEG-2 y un canal de retorno que utiliza el esquema MF-TDMA [EN301790, 2000].

III.2.0.1 ALOHA ranurado

Las terminales remotas interactivas (RCSTs) acceden a la red utilizando ALOHA ranurado. Por lo tanto la capacidad de tráfico se asigna dinámicamente permitiendo que la RCST opere en modo de no contención. El principio de operación de ALOHA

ranurado se muestra en la figura 21.

ALOHA ranurado consiste en dividir el tiempo en intervalos discretos, correspondientes cada uno a una ranura. Los nodos deben sincronizarse para saber cuando empieza cada *ranura*, lo cual reduce la probabilidad de colisión ya que limita este efecto a un intervalo concreto y no se pueden encadenar colisiones [Tanenbaum, 1997].

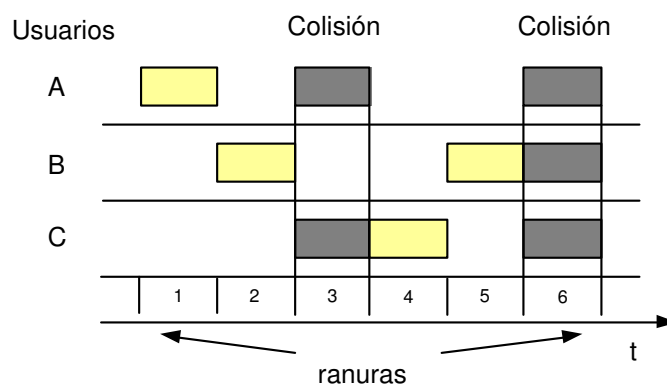


Figura 21. Funcionamiento de ALOHA ranurado

En el ejemplo de la figura 21 se muestra cómo tres usuarios quieren transmitir información, pero únicamente tendrán éxito los que transmitan al inicio de cada ranura de tiempo. Un ejemplo de colisión se observa en la tercera ranura de tiempo donde los usuarios A y C transmiten al mismo tiempo. Estas colisiones generan congestión en el sistema.

III.2.0.2 MF-TDMA

El método de acceso al medio MF-TDMA (MultiFrequency-Time Division Multiple Access) permite a un grupo de RCSTs comunicarse con un concentrador utilizando un conjunto de frecuencias portadoras, cada una dividida en ranuras de tiempo.

El principio de operación de MF-TDMA se muestra en la figura 22. Este esquema fue seleccionado sobre otros esquemas, como el de CDMA debido a su alta eficiencia y

relativamente baja complejidad en su implementación [Neale *et al.*, 2001].

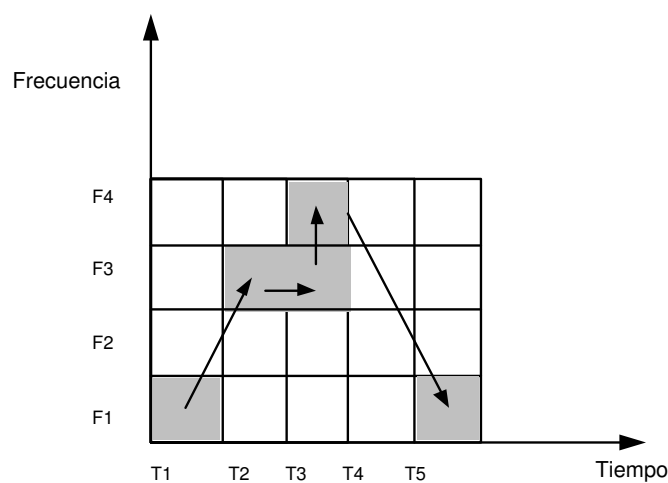


Figura 22. Esquema del principio de operación de MF-TDMA

En la figura 22 se observa la matriz frecuencia/tiempo. Cada uno de los cuadros representa un canal, el cual puede ser asignado en forma fija (se asigna la misma frecuencia) o dinámica (se asignan frecuencias distintas).

III.2.0.3 Descripción del modelo de un sistema interactivo

En la figura 23 se muestra un modelo de referencia para sistemas interactivos, el cual está compuesto por: el NCC, la RCST, el canal de difusión, el canal de retorno y las trayectorias entre los distintos bloques [EN301790, 2000].

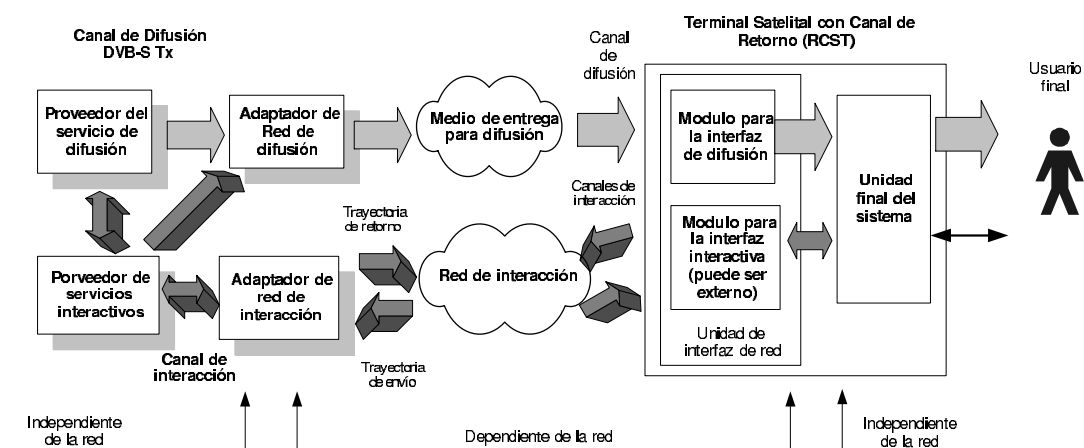


Figura 23. Modelo de referencia para un sistema interactivo

Cada uno de los bloques de la figura 23 se describen a continuación.

Canal de Difusión (DVB-S): es un canal unidireccional de banda ancha, el cual incluye transmisión de vídeo, audio y datos, y que se establece desde el proveedor de servicios de difusión al usuario [EN301790, 2000].

Canal de Interacción: se establece un canal bidireccional entre el proveedor de servicios y el usuario para propósitos interactivos, el cual está formado por :

- **Trayectoria de retorno** (de interacción): la cual va desde el usuario hacia el proveedor de servicios. Se utiliza para hacer peticiones al proveedor de servicios, contestar preguntas o transferencia de datos [EN301790, 2000].
- **Trayectoria hacia delante** (de interacción): se utiliza para proveer información desde el proveedor de servicios al usuario y cualquier otra comunicación requerida para ofrecer el servicio interactivo. Algunas veces puede no ser utilizada, dando lugar a que en su lugar se utilice el canal de difusión para el transporte de los datos al usuario [EN301790, 2000].

- **Terminal Satelital con Canal de Retorno (RSCT)**: está formada por la unidad de interfaz de red, la cual consta de los módulos para la interfaz interactiva y de difusión, además de la unidad final del sistema. La RCST brinda una interfaz para los canales de difusión y de interacción. La interfaz entre la RCST y la red de interacción es por medio del módulo para la interfaz interactiva. Un ejemplo de RCST son: la terminal satelital interactiva (TSI) y la terminal satelital de usuario (TSU) [EN301790, 2000].

Las principales características de la RCST se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. Características de la RCST

Característica	Especificaciones
Esquemas de acceso al medio	MF-TDMA fijo, MF-TDMA dinámico
Tipo de tráfico	ATM, MPEG-2
Conectividad	IP (extremo a extremo), ATM (entre satelitales)
Codificación de canal	RS, Convolucionales, Turbo, CRC
Frecuencias Tx/RX independiente	C, Ku, Ka
Tasa e bits	0 a 2.048 Mbps
Modulación	QPSK

La RCST puede transportar la información de control dentro de banda, debido a que puede llevar información extra (piggy backig) dentro de las tramas de tráfico (TRF) o en las tramas de sincronía (SYNC). Además puede tener la señalización por medio de las tramas de canal de señalización común (CSC), las cuales se utilizan en el inicio de sesión de la RCST a la red [EN301790, 2000].

Las ventajas de la aplicación de DVB-RCS se pueden ver reflejadas en los tipos de aplicaciones con las cuales el usuario terminal puede contar. Estas pueden ser la transferencia de datos de alto volumen, TV digital, videoconferencia, audio, juegos interactivos, telemedicina o educación a distancia.

Capítulo IV

Implementación de los Modelos de Simulación

IV.1 Introducción

En este capítulo se describen cada uno de los elementos que componen el modelo de simulación, el cual consiste de una red satelital bidireccional con transporte de información MPEG-4 encapsulada en paquetes MPEG-2.

Por medio de éste modelo se pretende analizar el canal de retorno DVB-RCS, además de verificar el funcionamiento de la red satelital aplicando los parámetros de calidad de servicio.

La herramienta utilizada para la implementación del modelo fue el simulador de redes OPNET versión 9.0.A, el cual basa la construcción de los modelos en tres dominios básicos.

Modelo de Red: En este dominio se determinan las dimensiones geográficas de la red, especificando los atributos de los nodos y las características de los enlaces correspondientes.

Modelo de Nodos: En este dominio se especifica el modelo de operación de cada nodo mediante un diagrama a bloques, donde se muestran los distintos procesos que se llevan a cabo en cada nodo.

Modelo de Procesos: En éstos se lleva a cabo la definición del comportamiento

particular de un proceso utilizando diagramas de transición de estados así como líneas de instrucción de cada bloque del modelo de nodos.

IV.2 Descripción del modelo de red

En el modelo de red implementado que se muestra en la figura 24, se ilustra el territorio nacional el cual únicamente influye de manera conceptual. El modelo se compone de un satélite (geoestacionario), un centro de control de red (NCC) y un determinado número de nodos remotos (RCSTs); los cuales se interconectan al satélite por medio de dos canales, uno de envío (de la RCST al NCC) y otro de regreso (del NCC a las RCSTs). De acuerdo a la nomenclatura utilizada en redes de banda ancha se asignaron los nombres a cada uno de los canales. Los enlaces entre el satélite y los nodos remotos son asimétricos, permitiendo manejar diferentes tasas de bits para cada uno de ellos.

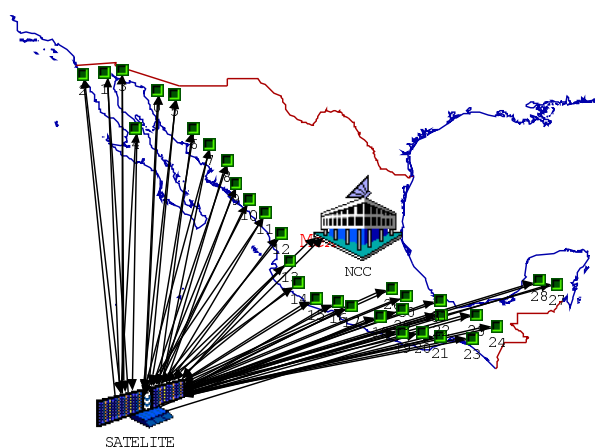


Figura 24. Modelo de red satelital de 32 nodos

El modelo fue evaluado con un máximo de 8 y 16 canales de retorno, los cuales corresponden al total de pares disponibles frecuencia/tiempo de la matriz del esquema

MF-TDMA explicado en el capítulo 3, figura 22. El cálculo de la ranura de tiempo de TDMA se muestra en el apéndice A.

Para este trabajo de tesis se simularon cuatro escenarios en los cuales se varía el número de RCSTs, pero que comparten las siguientes características:

Tasa de Transmisión: Para el canal de envío es de 2 Mbps y para el canal de regreso es de 8 Mbps, esto es en el caso de las RCSTs. Para el NCC se tiene un canal bidireccional de 25 Mbps, además de un canal de control bidireccional de 128 Kbps.

Retardo de Propagación (R_p): Es de 0.125 segundos para cada uno los enlaces RCST-Sat, Sat-NCC, NCC-Sat y Sat-RCST. En el caso de una petición de una RCST, ésta pasa por el satélite para ser entregada al NCC más el envío de regreso a la RCST que hizo la petición, requerido de cuatro trayectorias tierra-espacio las cuales equivalen a un total de 0.5 segundos.

Tamaño de Archivo: Es el tamaño de la aplicación que irá en el canal de retorno. En los escenarios A, B y C el tamaño de archivo es de 500 Octetos, lo que significa transmitir 3 paquetes MPEG-2 de una longitud cada uno de 204 Octetos, de los cuales tan sólo 184 Octetos son de información del usuario. En el caso que no existiera suficiente información para llenar el paquete, se le agregan bits de relleno. Para el escenario D se tienen tres tamaños de archivo que corresponden a distintas aplicaciones: un tamaño de archivo de 500 Octetos para chat, 35 KOctetos para archivos de texto y 80 KOctetos para páginas web.

IV.3 Modelos de nodos

IV.3.1 Modelo de nodos del NCC

En la figura 25 se muestra el modelo de nodos del centro de control de red, el cual consta de varios elementos los cuales son: La fuente de tráfico, el sumidero (Sink) encargado de actualizar las estadísticas, el protocolo DMIF, el FREC esta encargado de asignar los canales, el TDM el cual es un método de acceso al medio, así como Receptores (ALOHA_Rx y NCC_Rx) y Transmisores (ALOHA_Tx y NCC_Tx).

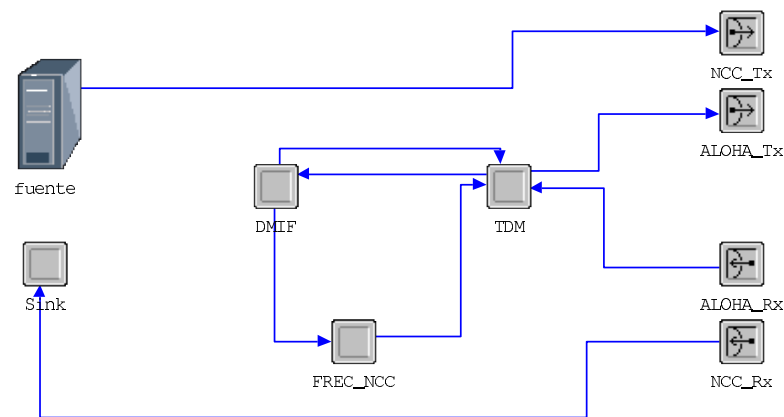


Figura 25. Modelo de nodos del centro de control de red

IV.3.2 Modelo de nodos de la RCST

La figura 26 representa al modelo de una Terminal Satelital con Canal de Retorno (RCST), el cual está constituido por: La fuente generadora de tráfico, el Sink encargado de actualizar estadísticas, un proceso que encierra al protocolo DMIF y al método de acceso al medio TDMA, un Receptor (RCST_Rx) y por último un Transmisor (RCST_Tx).

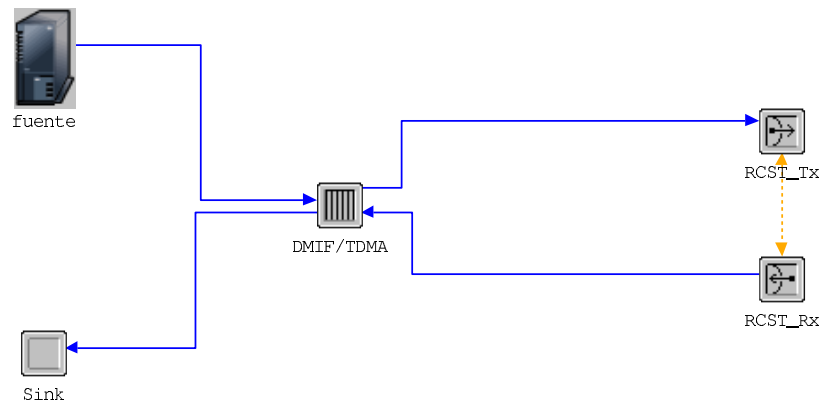


Figura 26. Modelo de nodos de la RCST

IV.3.3 Modelo de nodos del satélite

Se considera un modelo del satélite, el cual está constituido por receptores y transmisores que ayudan a retransmitir la información enviada por el NCC y las RCSTs.

La figura 27 muestra únicamente el modelo del satélite correspondiente al escenario de una red de 32 RCSTs. El satélite es visto solamente como un repetidor ya que no hace ningún procesamiento de la información, es decir, tan sólo la retransmite.

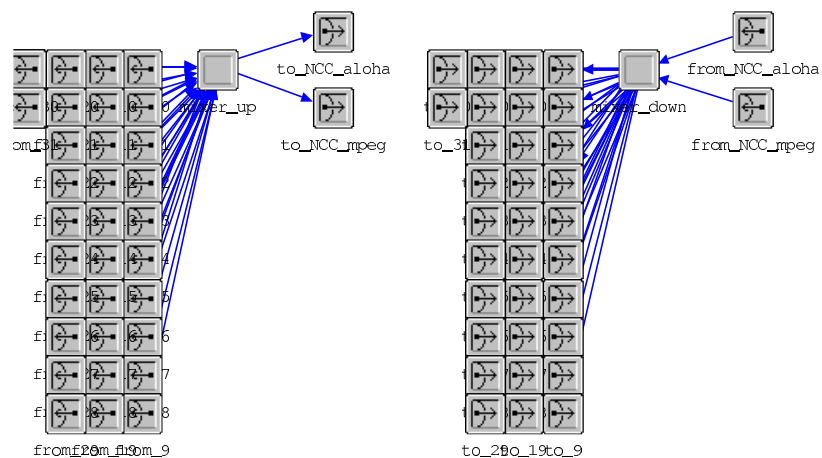


Figura 27. Modelo de nodos del satélite

IV.3.3.1 Modelos de procesos del NCC

Los modelos de procesos que representan al NCC son cinco, los cuales encierran las tareas que hace cada elemento del modelo de nodos mostrados en la figura 25, los cuales se describen a continuación.

El modelo de procesos que representa al protocolo DMIF se muestra en la figura 28, en la cual se observan tres estados. En el estado de inicio se inicializan las variables al llegar la interrupción de inicio de simulación. En el estado de espera se pregunta por la interrupción de arribo de paquetes, siendo ésta interrupción la que habilita el paso al siguiente estado, dependiendo si se asignó sesión al paquete o no.

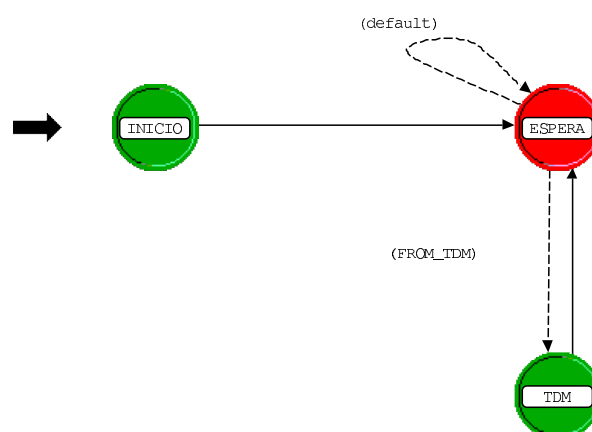


Figura 28. Modelo de procesos del protocolo DMIF

El siguiente proceso es la asignación de un canal lo cual se hace en el proceso FREC que se muestra en la figura 29.

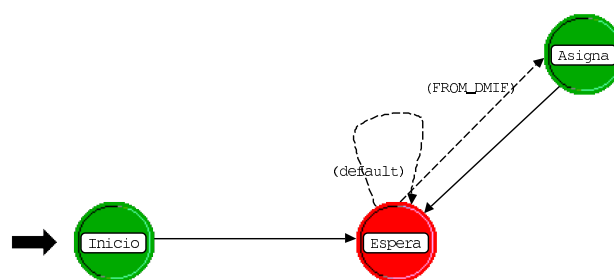


Figura 29. Modelo de procesos de asignación de canales (FREC)

Al pasar el paquete CSC al modelo de procesos FREC mostrado en la figura 29 se le asigna un canal (FREC/TIEMPO) y se pasa al proceso TDM.

En el modelo de procesos TDM descrito en la figura 30, se observan tres estados (NACK_CSC, CSC_Tx y TO_DMIF). El estado NACK_CSC se activa en el momento que se recibe un paquete desde DMIF el cual no tiene sesión, por lo que se retransmite ese paquete con un valor de NACK en el preámbulo del paquete. En el estado CSC_TX se tiene la situación contraria, esto es, el valor del preámbulo en el paquete es un ACK, lo cual significa que si se activó una sesión y se le asignó un canal. El estado TO_DMIF únicamente se encarga de retransmitir los paquetes recibidos por los canales al proceso DMIF.

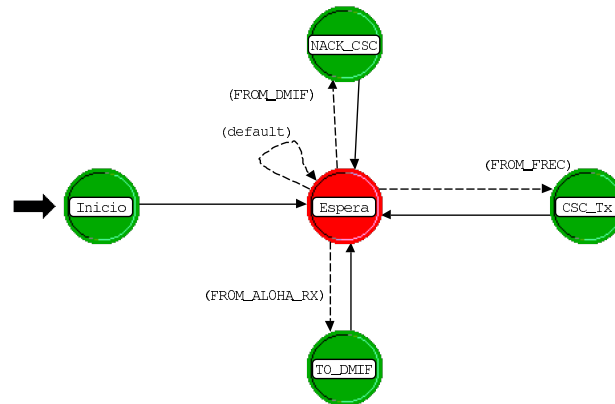


Figura 30. Modelo de procesos de acceso al medio TDM

El modelo de procesos Sink mostrado en la figura 31 está encargado de cuantificar el número de paquetes recibidos, además del cálculo y actualización de estadísticas.

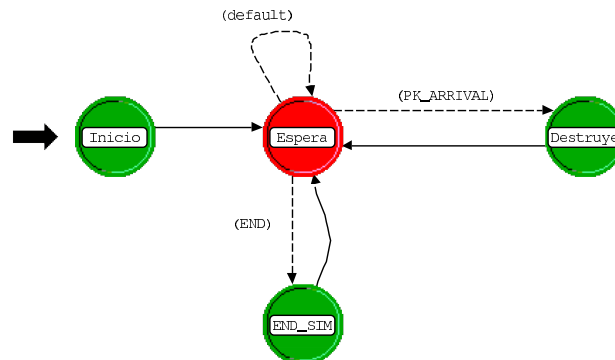


Figura 31. Modelo de procesos sink

El modelo de procesos de la fuente generadora de tráfico se muestra en la figura 32 en la cual se pueden apreciar los tres estados por los que está formada. El estado OFF es donde espera la interrupción de transición al estado ON, donde se generan los paquetes MPEG. Dependiendo del tiempo asignado para estar en los estados ON y OFF es el número de paquetes que va a generar.

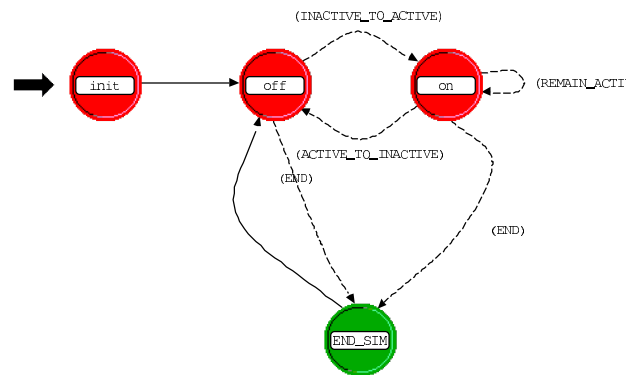


Figura 32. Modelo de procesos de la fuente

La FUENTE genera tráfico de paquetes MPEG-2 los cuales son transmitidos (broadcast) a todos los nodos remotos. La tasa de bits asignada a la fuente es de 560 Kbits en octetos que es equivalente a 70 KOctetos. Por medio de éstos valores se puede calcular el tiempo de arribo de paquetes. Los demás parámetros con los que se configuró la fuente se muestran en la tabla V.

Tabla V. Atributos de la fuente de tráfico del NCC

Atributo	Valor	Distribución	Unidades
Tiempo de Inicio	0	Constante	Seg
Tiempo en ON	1	Constante	Seg
Tiempo en OFF	0	Constante	Seg
Interarribo de paquetes	0.001632	Constante	Seg
Tamaño de paquete	1632		bits
Tiempo de Fin	Nunca		

En la tabla V se puede notar que la distribución del interarribo de paquetes es constante debido a que únicamente se requería tomar en cuenta los tiempos ON y OFF para determinar el número de paquetes generados en determinado intervalo de tiempo.

IV.3.3.2 Diagrama de flujo del NCC

El diagrama de flujo empleado en la programación del NCC se presenta en la figura 33. Como primer paso se pregunta por el arribo de paquetes y si llega un paquete se verifica si el formato es CSC; si es cierto se verifica si hay sesiones libres, y de ser cierto pasa al proceso de asignación de sesión, enseguida pasa al proceso de asignación de canal en el cual se cambia el valor del preámbulo a ACK y por último el paquete se transmite a los nodos. En caso que el formato del paquete sea MPEG éste es cuantificado tras lo cual se actualizan las estadísticas y al final el paquete es destruido.

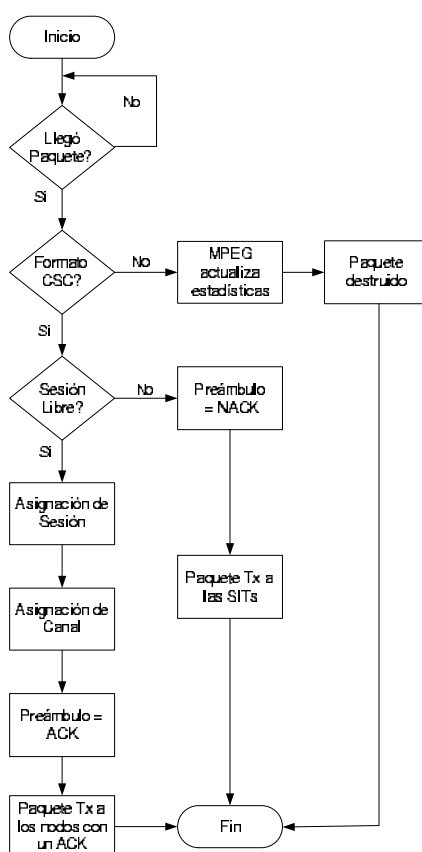


Figura 33. Diagrama de flujo del NCC

IV.3.3.3 Modelos de procesos de la RCST

El modelo de procesos que integra al protocolo DMIF y a la técnica de acceso al medio TDMA se ilustra en la figura 34.

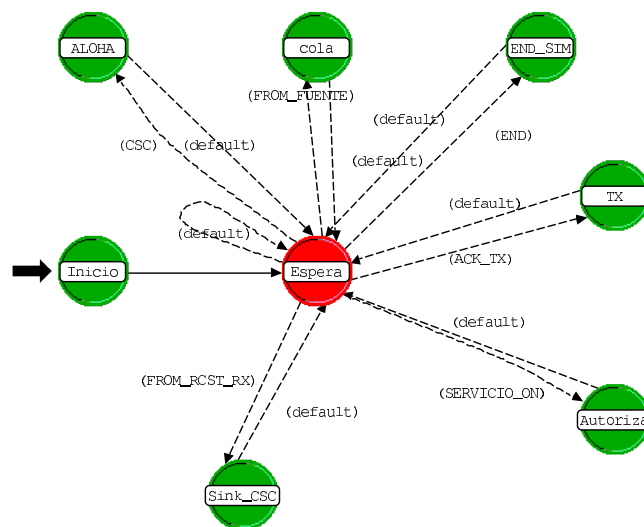


Figura 34. Modelo de procesos de DMIF/TDMA

Este proceso está representado por 8 estados. El estado de INICIO tiene la misma función en todos los modelos. Este se encarga de inicializar las variables cuando se activa la interrupción de inicio de simulación.

El estado de ESPERA identifica los tipos de interrupciones y sus códigos para de ahí pasar a alguno de los estados que están conectados a él. En el estado de ALOHA se envían los paquetes CSC para petición de canal al NCC, en cada inicio de ranura, debido a que está controlado por S-ALOHA.

El estado de COLA es el encargado de almacenar en el muelle (buffer) los paquetes generados por la fuente de tráfico. En el estado SINK_CSC se identifican los paquetes recibidos y dependiendo del formato (CSC ó MPEG) se asignan a distintos procesos.

En el caso de los paquetes CSC se verifican sus encabezados para identificar si el

valor del preámbulo es igual a un ACK. En caso contrario, se destruye el paquete y se genera una autointerrupción que habilita al estado ALOHA donde se creará otro paquete con una nueva petición de canal. En el caso de los paquetes MPEG se pasan al siguiente modelo de procesos (Sink).

En los estados AUTORIZA y TX se controla el proceso de transmisión de paquetes, verificando el número de paquetes transmitidos, lo cual corresponde a la ranura de tiempo asignada a la estación. Además se ocupa de la liberación de la sesión y canal al final de la ranura de tiempo, generando una autointerrupción la cual es procesada por el estado ALOHA, en donde se verifica si existe información a transmitir para poder generar una nueva petición al NCC.

En la figura 35 se muestra el modelo de procesos del Sink el cual, como en el NCC, se encarga de cuantificar los paquetes y generar las estadísticas.

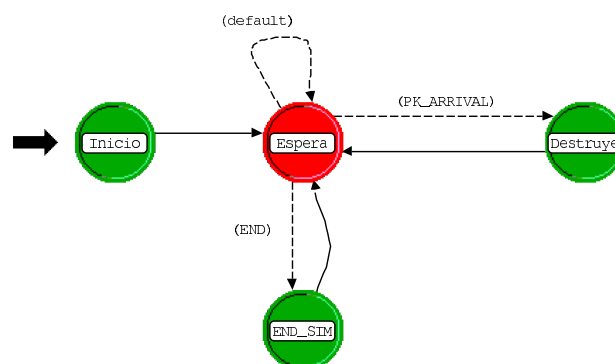


Figura 35. Modelo de procesos del sink

El modelo de procesos de la fuente generadora de tráfico se muestra en la figura 36 donde se observan los tres estados por los que está formada. El estado OFF es donde espera la interrupción de transición al estado ON en el cual se generan los paquetes MPEG.

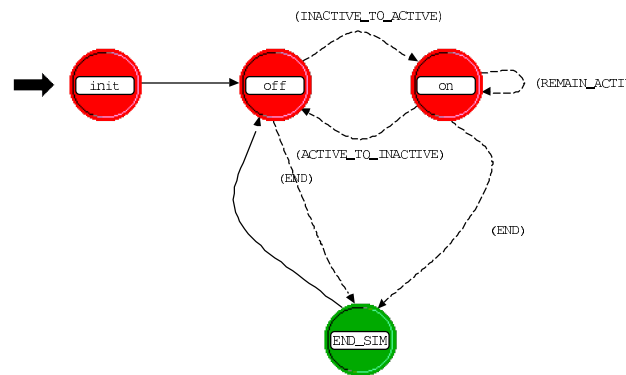


Figura 36. Modelo de procesos de la fuente

En el caso de las RCSTs existen tres fuentes distintas debido a la existencia de cuatro escenarios A, B, C y D. Para el caso de los escenarios A, B y C la fuente utiliza los parámetros mostrados en la tabla VI. En el escenario D se manejan distintos tamaño de archivo (500 Octetos, 35 KOctetos y 80 KOctetos), que indica que cuenta con tres fuentes distintas. En las tablas VI, VII y VIII se representan los parámetros que configuran a cada una de las fuentes, respectivamente.

Tabla VI. Atributos de la fuente de tráfico de 500B

Atributo	Valor	Distribución	Unidades
Tiempo de Inicio	0	Constante	Seg
Tiempo en ON	1	Constante	Seg
Tiempo en OFF	0	Constante	Seg
Interarribo de paquetes	0.204	Constante	Seg
Tamaño de paquete	1632		bits
Tiempo de Fin	Nunca		

Tabla VII. Atributos de la fuente de tráfico de 35 KOctetos

Atributo	Valor	Distribución	Unidades
Tiempo de Inicio	0	Constante	Seg
Tiempo en ON	1	Constante	Seg
Tiempo en OFF	0	Constante	Seg
Interarribo de paquetes	0.002914	Constante	Seg
Tamaño de paquete	1632		bits
Tiempo de Fin	Nunca		

Tabla VIII. Atributos de la fuente de tráfico de 80 KOctetos

Atributo	Valor	Distribución	Unidades
Tiempo de Inicio	0	Constante	Seg
Tiempo en ON	1	Constante	Seg
Tiempo en OFF	0.1	Constante	Seg
Interarribo de paquetes	0.001275	Constante	Seg
Tamaño de paquete	1632		bits
Tiempo de Fin	Nunca		

IV.3.3.4 Diagrama de flujo de la RCST

El diagrama de flujo empleado en la programación de la RCST se presenta en la figura 37. Los primeros pasos son la identificación de la llegada de paquetes y el formato de los mismos. Si el formato del paquete es CSC se verifica el valor del preámbulo y ese valor del preámbulo si es igual a ACK, entonces se identifica el canal asignado para iniciar la transmisión de los paquetes MPEG de la RCST. Cada vez que se transmite un paquete se verifica el tiempo transcurrido de tal manera que se identifica el final de la ranura de tiempo asignada. Al momento de llegar al final del tiempo de transmisión se liberan tanto el canal como la sesión. El siguiente paso es esperar el inicio de la siguiente ranura de tiempo para transmitir un paquete CSC al NCC con la nueva petición del canal. En el caso que el formato del paquete no sea CSC sino MPEG, el proceso a seguir es cuantificar el paquete para actualizar las estadísticas y por último su destrucción.

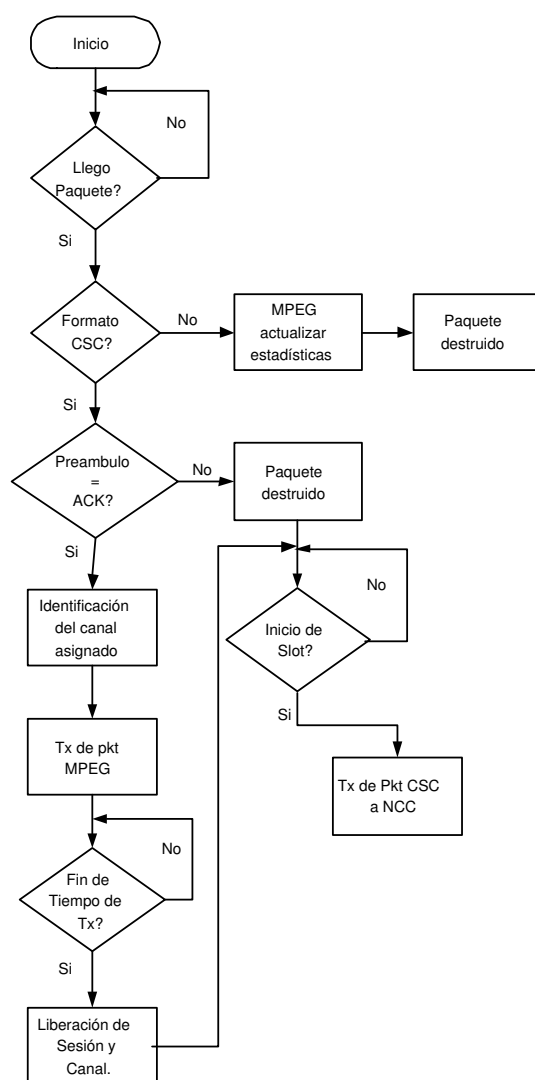


Figura 37. Diagrama de flujo de la RCST

IV.3.3.5 Modelo de procesos del satélite

El modelo de procesos mostrado en la figura 38 corresponde al enlace de envío el cual interconecta a las RCSTs con el NCC.

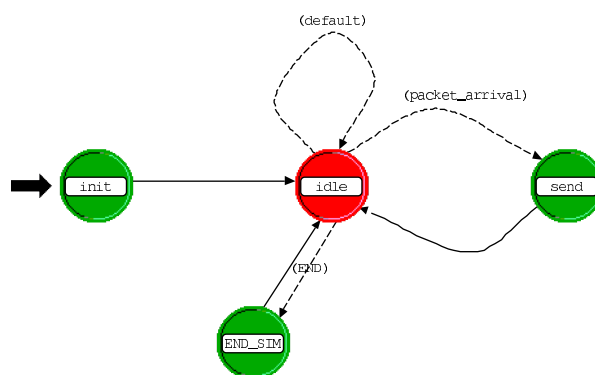


Figura 38. Modelo de procesos del enlace de envío

El proceso que se lleva a cabo es la retransmisión de los paquetes transmitidos por las RCSTs al NCC. El satélite no hace diferencia entre paquetes pero si en frecuencias, ya que los paquetes de control CSC son transmitidos al NCC por medio del canal ALOHA (señalización fuera de banda), mientras que los paquetes de información MPEG son transmitidos al NCC por medio del canal MPEG. Todos estos procesos son hechos en el estado SEND.

En el caso del proceso mostrado en la figura 39 se efectua el mismo procedimiento pero en sentido contrario, es decir, los paquetes recibidos por el satélite vienen del NCC y son transmitidos a todas las RCST (radiodifusión).

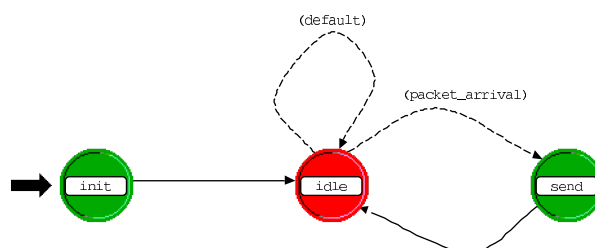


Figura 39. Modelo de procesos del enlace de regreso

IV.3.3.6 Diagrama de flujo del satélite

En el diagrama de flujo empleado en la programación se muestra en la figura 40. El primer paso es detectar la llegada de paquetes. Enseguida se verifica si fueron transmitidos por el NCC y si es afirmativo se transmiten a las RCSTs y en caso contrario se transmiten al NCC.

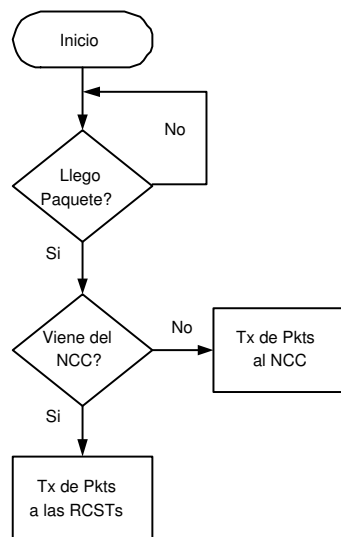


Figura 40. Diagrama de flujo del satélite

El siguiente capítulo describe los resultados y el análisis de cada uno de los escenarios simulados, así como los parámetros de calidad de servicio utilizados para verificar el desempeño de la red.

Capítulo V

Simulación y Análisis de Resultados

V.1 Introducción

Después de haber implementado el modelo de simulación, se planearon cuatro escenarios con distinto número de RCSTs, tamaño de archivo y número de canales. Esto se hizo con la finalidad de analizar el comportamiento del sistema por medio de los parámetros de calidad de servicio obtenidos, los cuales fueron: retardo extremo a extremo, variación del retardo, caudal eficaz y probabilidad de paquetes perdidos.

V.2 Escenarios simulados

Escenario A (32 RCSTs - Archivo 500B): Este escenario consta de una red de 32 RCSTs las cuales están interconectadas al NCC por medio del satélite.

Las RCSTs tienen asignados dos enlaces unidireccionales punto a punto, los cuales simulan el enlace de envío y regreso respectivamente. El enlace de envío (de la RCST al NCC) tiene una tasa de transmisión de 2 Mbps y el enlace de regreso (del NCC a la RCST) tiene una tasa de transmisión de 8 Mbps.

En el caso del NCC se tienen dos enlaces bidireccionales punto a punto. El enlace ALOHA de regreso (del NCC a las RCSTs) se utiliza para transportar información de control, en donde la tasa de transmisión asignada al enlace es de 128 Kbps. El segundo enlace de regreso (del NCC a las RCSTs) transporta información de usuario (vídeo, audio, datos, etc.) donde la tasa de transmisión que maneja es de 25 Mbps.

Debido al retardo de 0.5 segundos que genera en el recorrido de los 36.000 Km de ida

y vuelta para el caso de los satélites GEO, se asignaron retardos fijos de 0.125 segundos en cada uno de los cuatro enlaces (NCC-Sat, Sat-RCST, RCST-Sat y Sat-NCC).

El Satélite es visto como un repetidor el cual sólo toma los paquetes y los retransmite a su destino. Las fuentes de tráfico fueron acondicionadas para manejar un tamaño de archivo de 500 Octetos en el caso de las RCSTs muestras que, para el caso del NCC la fuente de tráfico tiene un tamaño de archivo de 70 KOctetos.

Escenario B (64 RCSTs - Archivo 500B): Al igual que el escenario A, este escenario consta de una red satelital interactiva con RCSTs conectadas al NCC por medio del satélite. Este escenario únicamente aumenta el número de RCSTs a 64. Los anchos de banda y parámetros de configuración de las fuentes permanecen sin cambios.

Escenario C (128 RCSTs - Archivo 500B): Este escenario consta de una red satelital interactiva de 128 RCSTs conectadas al NCC por medio del Satélite. Los anchos de banda y parámetros de configuración de las fuentes permanecen sin cambios.

La finalidad de la simulación de los tres primeros escenarios fué la de obtener el desempeño de la red interactiva satelital al momento de variar el número de RCSTs.

Escenario D (32 RCSTs - Archivo 500 Octetos, 35 KOctetos y 80 KOctetos): Este escenario tiene tres tipos de aplicaciones, las cuales son representadas por distintos tamaños de archivo 500 Octetos, 35 KOctetos y 80 KOctetos, cada uno relacionado con una aplicación tipo chat para 500 Octetos, correo electrónico para 35 KB y por último un tamaño de archivo de 80 KOctetos para ejemplificar a los documentos con mayor contenido. La distribución de las RCSTs son las siguientes: las primeras 5 RCSTs son las que manejan un tamaño de archivo de 80 KOctetos, las siguientes 11 RCSTs manejan un tamaño de archivo de 35 KOctetos y por último las 16 RCSTs restantes manejando un archivo de 500 Octetos.

V.3 Presentación y Análisis de resultados

En esta sección se presenta el análisis de resultados en cuanto al promedio del retardo extremo a extremo, variación del retardo, promedio del caudal eficaz y probabilidad de paquetes perdidos. Cada uno de los escenarios tuvo una duración de simulación de 60 segundos siendo tiempo suficiente para estabilizar el sistema.

Cada uno de estos escenarios se simuló con un máximo de 8 y 16 canales de retorno, obteniéndose al final ocho modelos, los cuales se muestran a continuación.

V.3.1 Resultados para el escenario A con 8 canales

En la tabla IX se muestran los resultados obtenidos en los parámetros medidos para el NCC, para el escenario A el cual consta de 32 terminales remotas interactivas.

Tabla IX. Parámetros del NCC obtenidos

Totales	Cantidades	Unidades
Paquetes Recibidos	2,790	paquetes
bits recibidos	4,553,280	bits
Paquetes CSC Recibidos	3,726	paquetes
Respuesta ACK	930	paquetes
Respuesta NACK	2,796	paquetes
Paquetes generados por el NCC	36,720	paquetes
Variación del retardo (Jitter)	19	segundos

Como se observa en la tabla IX el número de paquetes CSC transmitidos son 3,726 de los cuales el 24.95% obtuvieron asignación de canal, lo cual significa que el sistema tuvo un desempeño bajo. El jitter promedio fue de 19 segundos como se puede observar en la figura 41 del retardo extremo a extremo.

V.3.1.1 Retardo extremo a extremo

En la figura 41 se muestran los resultados obtenidos para el promedio acumulado del retardo extremo a extremo de los paquetes MPEG transmitidos por las RCSTs al NCC.

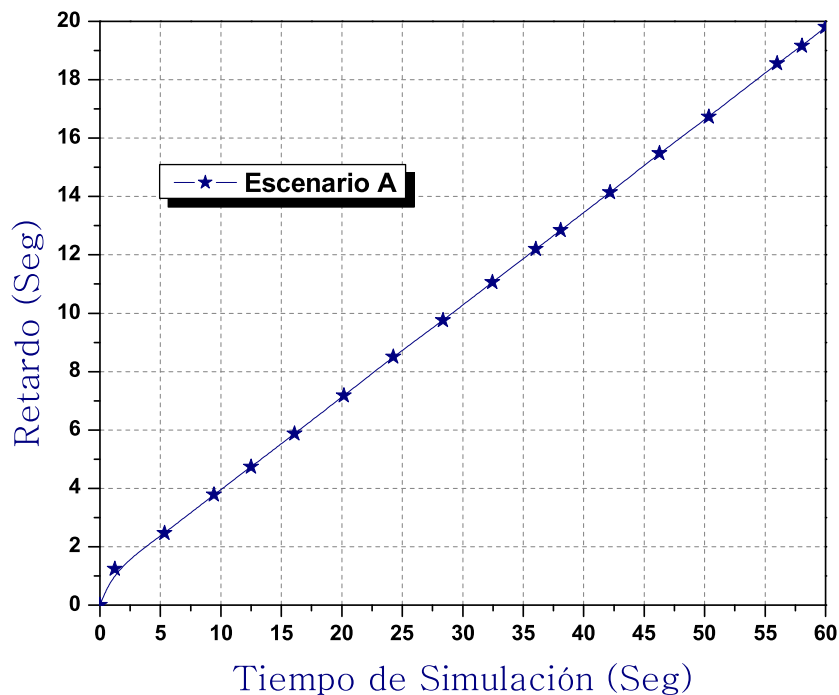


Figura 41. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales

Como se muestra en la figura 41 el retardo tiene un comportamiento lineal con un máximo de aproximadamente 20 segundos.

V.3.1.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 42 se presenta el promedio del caudal eficaz el cual tiene un límite máximo de desempeño de 70 Kbits.

En este caso el número de paquetes perdidos fue igual a cero, lo cual se puede comprobar en los resultados mostrados en el anexo A.

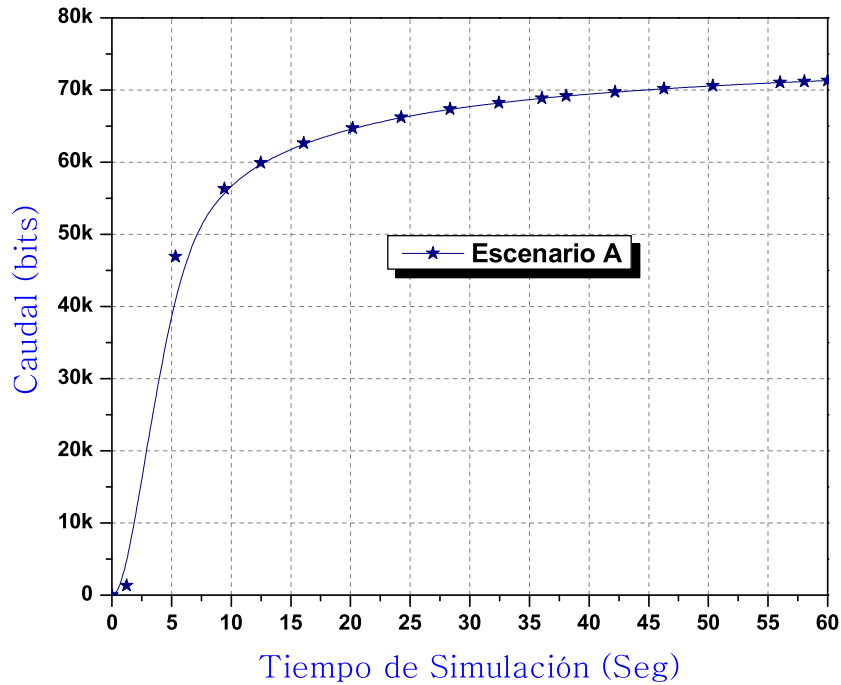


Figura 42. Promedio del caudal del NCC con 8 canales

La ecuación 3 muestra la fórmula para obtener la Probabilidad de Paquetes Perdidos (PPP).

$$PPP = \frac{\text{No. total de paquetes perdidos}}{\text{No. total de paquetes transmitidos}} \quad (3)$$

Cada una de las fuentes de las RCSTs generaron 240 paquetes de los cuales alrededor del 33.75% al 38.75% fueron transmitidos y recibidos por el NCC. Estos porcentajes fueron obtenidos por medio de los valores mostrados en el anexo A.

V.3.2 Resultados para el escenario B con 8 canales

En la tabla X se pueden observar los parámetros medidos para el NCC los cuales corresponden a el total de paquetes recibidos desde las 64 RCSTs, el número de peticiones

(CSC) de sesión/canal recibidas en donde se puede apreciar que aumentaron casi el doble a comparación del escenario A, el promedio del jitter generado en el tiempo de simulación por todos las RCSTs fue de 23.72 segundos.

Tabla X. Parámetros del NCC obtenidos

Totales	Cantidades	Unidades
Paquetes Recibidos	2,784	paquetes
bits recibidos	4,543,488	bits
Paquetes CSC Recibidos	7,488	paquetes
Respuesta ACK	928	paquetes
Respuesta NACK	6,560	paquetes
Paquetes generados por el NCC	36,720	paquetes
Variación del retardo (Jitter)	23.72	segundos

De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación todos los paquetes transmitidos por el NCC fueron recibidos por las RCSTs, haciendo la probabilidad de pérdida de paquetes igual a cero. Esto indica que el canal de difusión tiene un buen desempeño.

El número total de paquetes CSC recibidos fue de 7,488 de los cuales únicamente el 12.39% tuvo asignación de canal, lo cual indica un bajo desempeño en la asignación del canal de retorno.

V.3.2.1 Retardo extremo a extremo

El promedio del retardo extremo a extremo se muestra en la figura 43. Como se puede observar el comportamiento del retardo es lineal al igual que el escenario A, pero con un aumento del 16.52%.

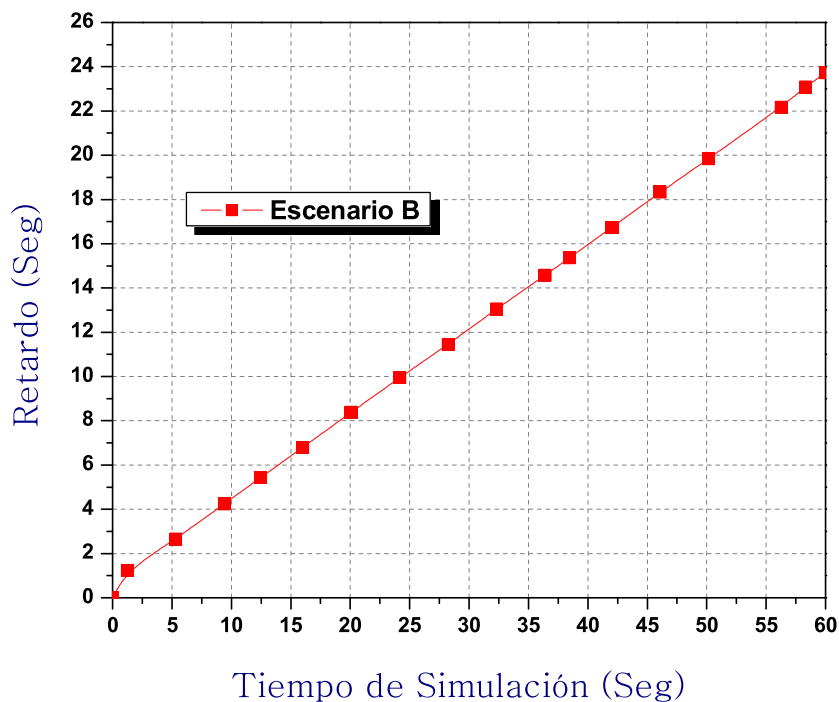


Figura 43. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales

V.3.2.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 44 se muestra el comportamiento del promedio del caudal eficaz. En este caso el comportamiento es semejante al del escenario A pero con un aumento del 0.4% lo que indica que se recibió un mayor número de paquetes, como se puede observar en los resultados mostrados en las tablas IX y X.

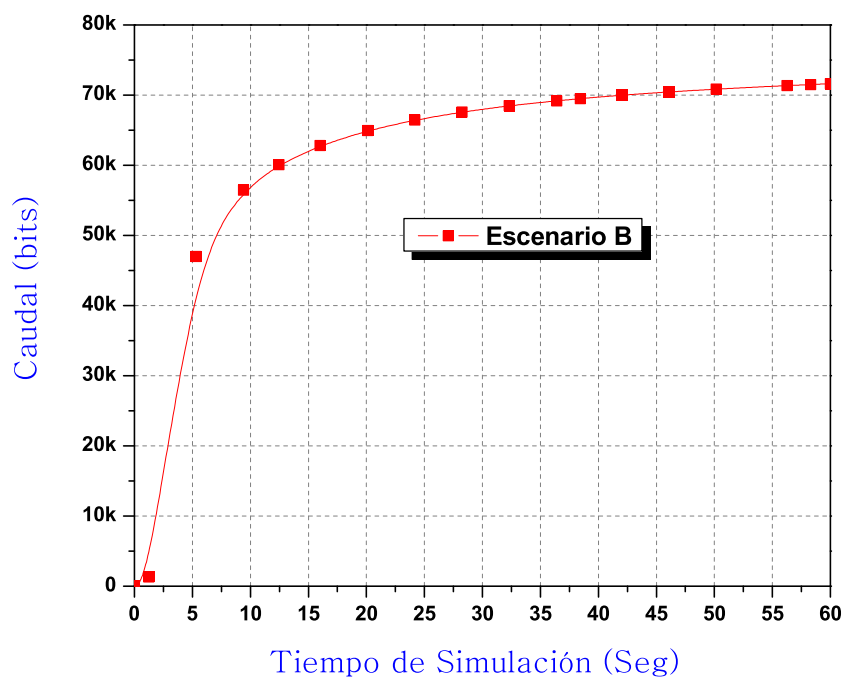


Figura 44. Promedio del caudal eficaz del NCC con 8 canales

El número de paquetes transmitidos al NCC fue de 2,784 de los cuales se recibió el 100%, por lo tanto, se obtuvo una PPP igual a cero.

V.3.3 Resultados para el escenario C con 8 canales

En la tabla XI se presenta el total de paquetes recibidos de las 128 RCSTs por el NCC, el número de peticiones (CSC de sesión/canal) recibidas, el promedio del jitter generado en el tiempo de simulación y el total de paquetes generados por la fuente del NCC.

V.3.3.1 Retardo extremo a extremo

La figura 45 se muestra el comportamiento del retardo promedio en el sistema. Se puede observar que el mismo comportamiento con respecto al escenario B, debido a que

Tabla XI. Parámetros del NCC obtenidos

Totales	Cantidades	unidades
Paquetes Recibidos	2,784	paquetes
bits recibidos	4,543,488	bits
Paquetes CSC Recibidos	14,976	paquetes
Respuesta ACK	928	paquetes
Respuesta NACK	14,048	paquetes
Paquetes generados por el NCC	36,720	paquetes
Variación del retardo (Jitter)	23.72	segundos

el máximo de RCSTs atendidas fue aproximadamente 64 de acuerdo a los resultados mostrados en el anexo A.

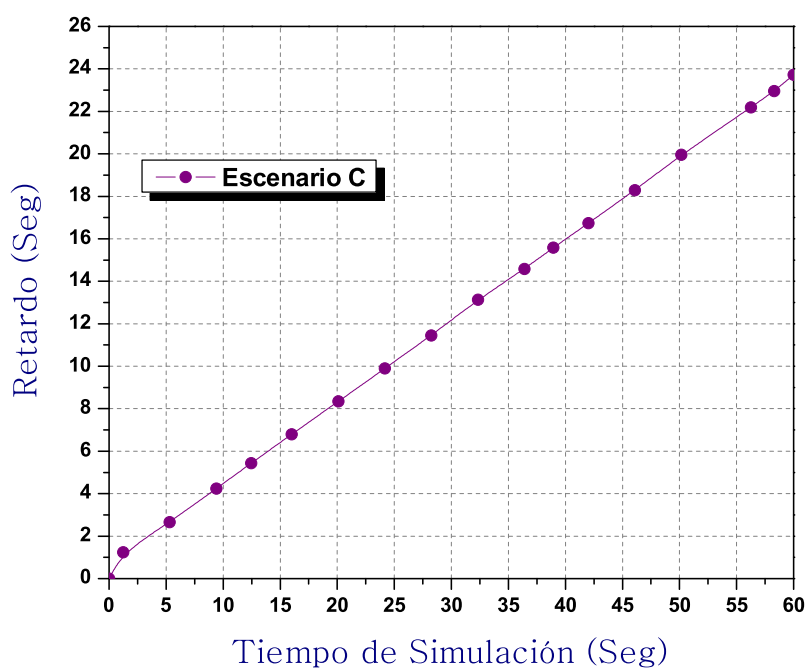


Figura 45. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales

V.3.3.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 46 se muestra el promedio del caudal eficaz el cual muestra el mismo comportamiento que los escenarios anteriores, debido a que no hubo aumento en el máximo de canales (8) los cuales únicamente cubren el 6.25% del total de las 128 RCST.

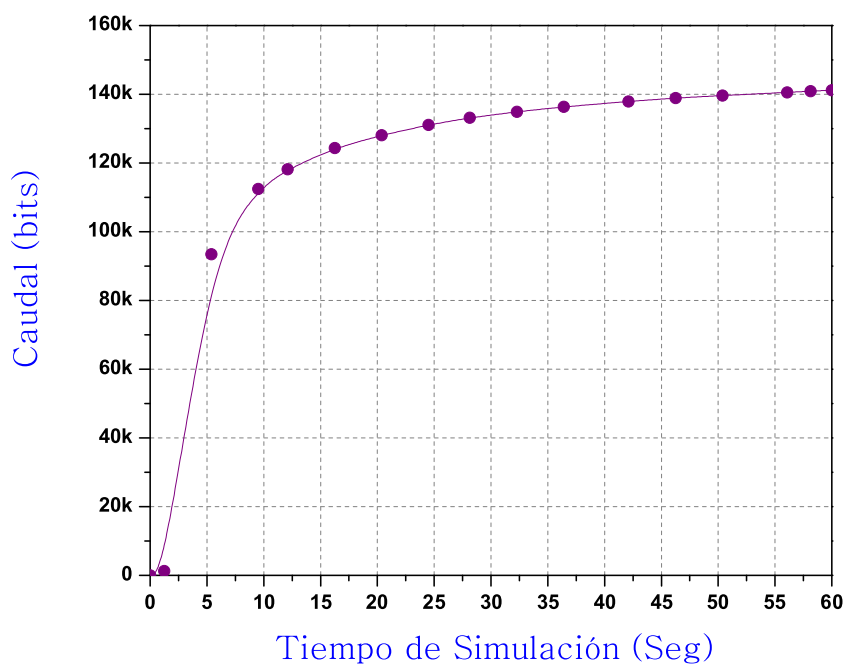


Figura 46. Promedio del caudal eficaz del NCC con 8 canales

V.3.4 Resultado para el escenario D con 8 canales

En el caso del escenario D se cuenta con 32 RCSTs las cuales están divididas en tres grupos con diferente tipo de tráfico, como ya se describió en esta sección (pag. 59).

Los resultados obtenidos para el NCC se muestran en la tabla XII, como se puede apreciar, si existe un cambio en los resultados obtenidos en los escenarios anteriores.

Tabla XII. Parámetros del NCC obtenidos

Totales	Cantidades	Unidades
Paquetes Recibidos	99,122	paquetes
bits recibidos	161,767,104	bits
Paquetes CSC Recibidos	3,598	paquetes
Respuesta ACK	1,031	paquetes
Respuesta NACK	2,567	paquetes
Paquetes generados por el NCC	36,720	paquetes
Variación del retardo (Jitter)	20.99	segundos

Los paquetes CSC recibidos por el NCC fueron 3,598 de los cuales tan sólo el 28.65% recibió una asignación de canal. Por lo tanto se tiene un aumento de 3.6% con respecto al escenario A, el cual consta de igual número de RCSTs. Mientras que el jitter obtuvo un valor promedio de 20.99 segundos.

V.3.4.1 Retardo extremo a extremo

En la figura 47 se muestra el promedio del retardo extremo a extremo. En la figura se puede observar un aumento en el retardo con respecto al escenario A y un valor menor para los casos de los escenarios B y C. Lo que indica que las estaciones con menor tamaño de archivo son las que hacen que aumente el retardo, debido a que las estaciones que tienen mayor tamaño de archivo tienen una duración de sesión mayor para poder transmitir su información.

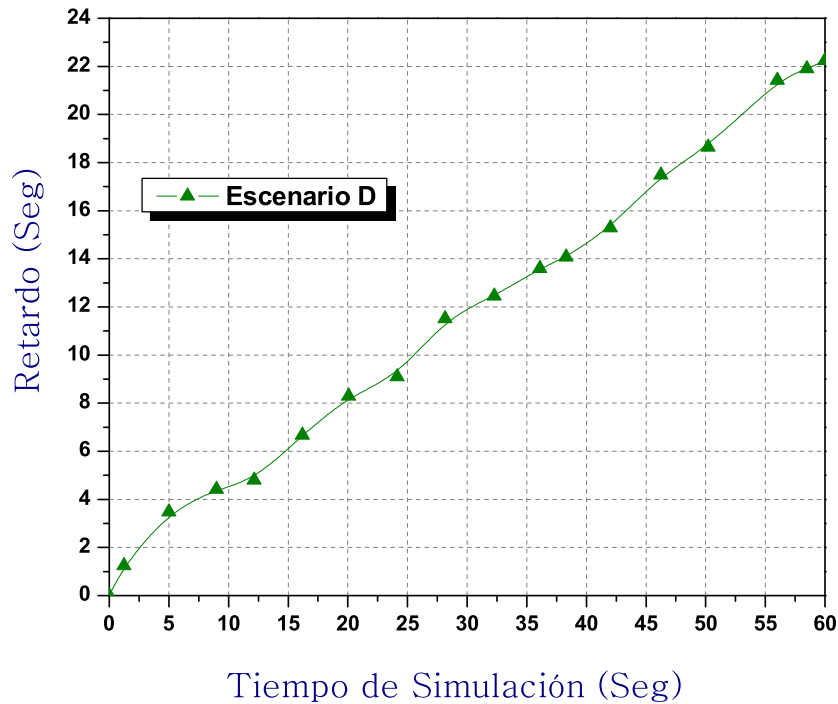


Figura 47. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales

V.3.4.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 48 se muestra el promedio del caudal eficaz del NCC, donde se puede observar que el aumento se debe al tipo de tráfico que se maneja, el cual varía entre tamaños de archivo de 500 Octetos, 35 KOctetos y 80 KOctetos, lo que permite que se aumente la tasa de interarribo de paquetes para algunas de las fuentes, obteniendo con ello que se transmita mayor cantidad de información al NCC. Además, al momento de que una RCST con mayor tamaño de archivo (80 KOctetos) tiene asignado un canal de retorno, ésta asegura la transmisión total de su información aumentando con ello el caudal eficaz.

La probabilidad de paquetes perdidos en este escenario se mantuvo en cero debido a que no hubo pérdidas de paquetes, lo cual se puede comprobar en el anexo A.

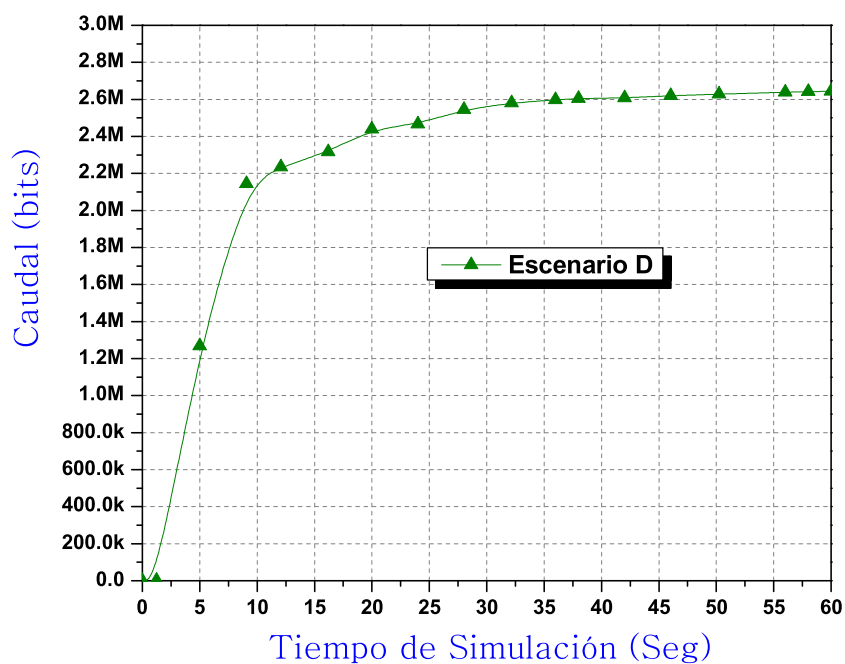


Figura 48. Promedio del caudal Eficaz de la NCC con 8 Canales

V.3.5 Comparación entre todos los escenarios (A, B, C y D) con 8 canales

Para poder observar el cambio en los parámetros medidos por el último escenario simulado, contra los resultados obtenidos en los escenarios anteriores, enseguida se muestra la comparación de las figuras incluyendo a todos los escenarios.

V.3.5.1 Retardo extremo a extremo

En la figura 49 se muestra el retardo promedio de todos los escenarios simulados, donde se puede observar cómo el escenario A es el que tiene el menor retardo, mientras que los escenarios B y C tienen un comportamiento similar obteniendo los mayores valores de retardo. Por último se tiene al escenario D el cual muestra un retardo intermedio.

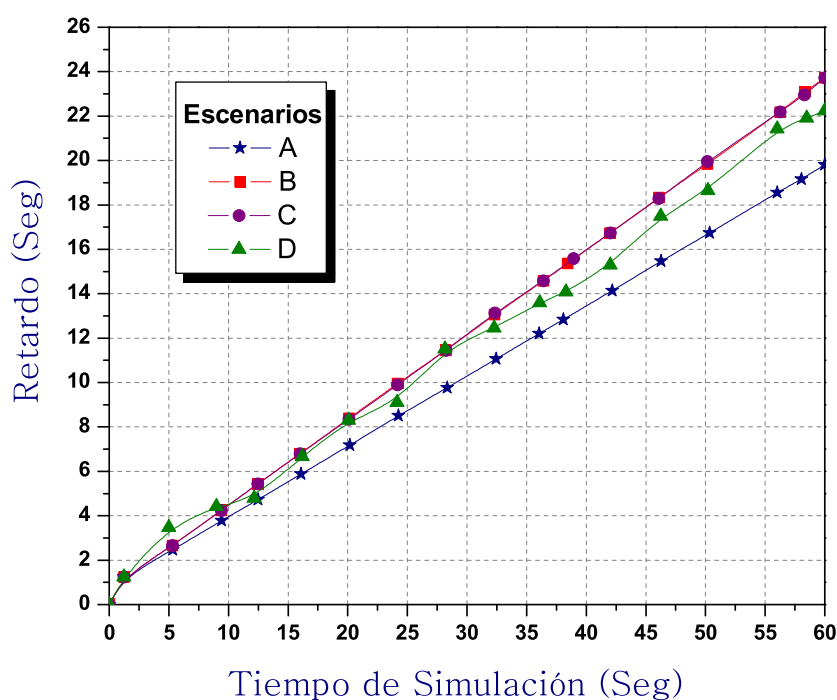


Figura 49. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 8 canales

La justificación para que el escenario A tenga el menor retardo, se debe al tamaño de archivo (500 B) y tamaño de red (32 RCSTs). El primero logra que se liberen los canales en una forma más rápida debido a que tan sólo se requiere la transmisión de tres paquetes de 203 Octetos cada uno. Gracias a ésto el resto de las RCSTs pueden obtener un canal y transmitir su información logrando reducir el retardo en la cola

de almacenamiento. El número de RCSTs también influye debido a que el máximo de canales de retorno disponibles son 8 y el total de RCSTs en la red son 32 lo cual permite que el máximo de asignaciones de canal sea igual al 25%.

V.3.5.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 50 se muestran los resultados del promedio del caudal eficaz para todos los escenarios. Se puede observar como el caudal eficaz del escenario D aproximadamente de 2.6 Mbits rebasa a los demás escenarios que en promedio tienen un caudal eficaz con valor de 70 Kbits.

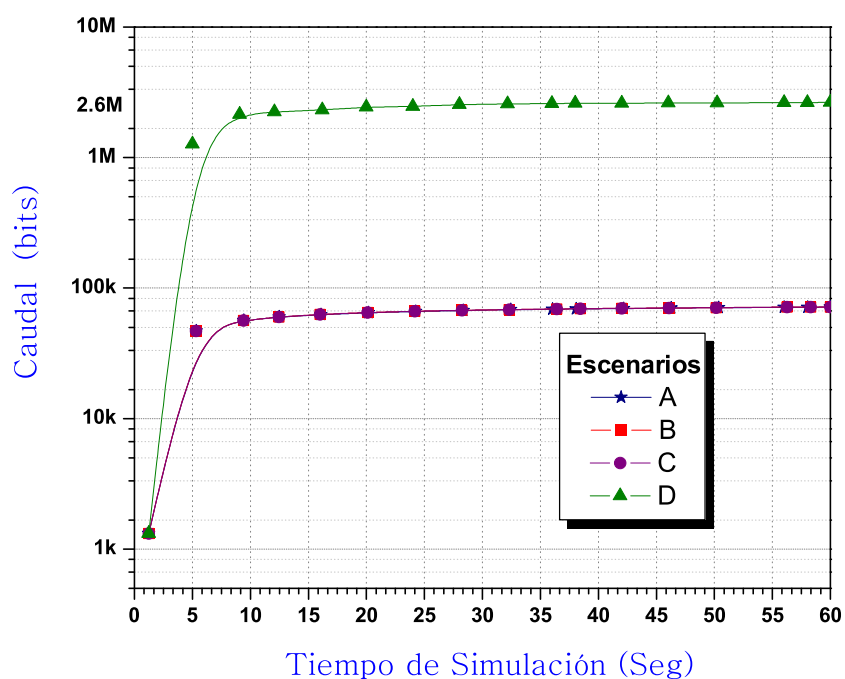


Figura 50. Promedio del caudal eficaz de la NCC con 8 canales

V.3.6 Resultados para el escenario A con 16 canales

En la tabla XIII se muestran los resultados obtenidos en los parámetros medidos para el NCC.

Tabla XIII. Parámetros del NCC obtenidos

Totales	Cantidades	Unidades
Paquetes Generados por la Fuente NCC	36,720	paquetes
Paquetes MPEG Recibidos	5,424	paquetes
bits Recibidos	8,851,968	bits
Paquetes MPEG Perdidos	0	paquetes
Paquetes CSC Recibidos	3,648	paquetes
Respuesta ACK	1,808	paquetes
Respuesta NACK	1,840	paquetes
Variación del retardo (Jitter)	8.19	segundos

Como se puede observar en la tabla XIII, el número de paquetes CSC transmitidos son 3,648 de los cuales el 49.56% obtuvieron asignación de canal.

V.3.6.1 Retardo extremo a extremo

En la figura 51 se muestran los resultados obtenidos para el promedio del retardo extremo a extremo de los paquetes MPEG transmitidos por las RCSTs al NCC, en donde se puede notar que el jitter promedio fue de 8.19 segundos.

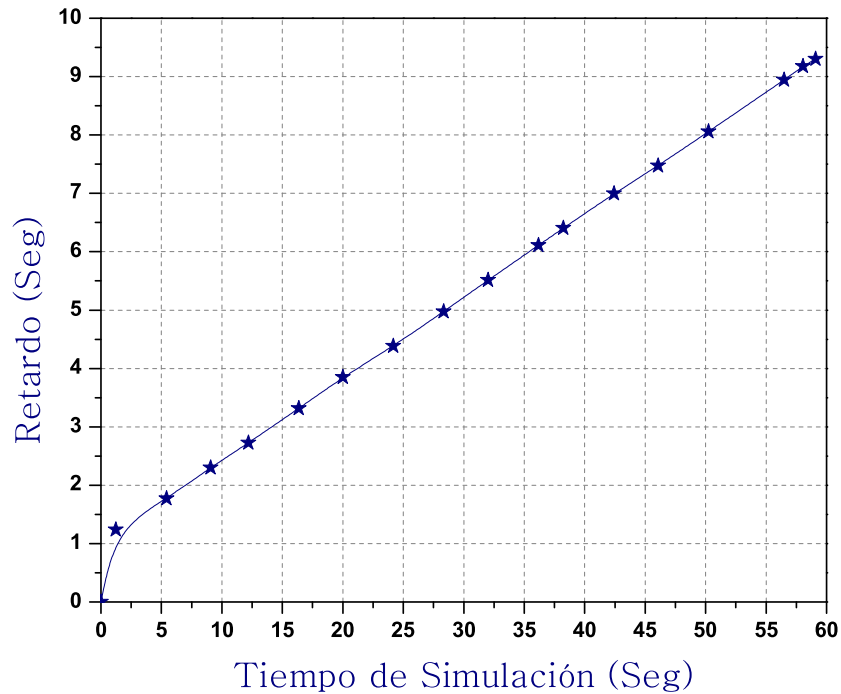


Figura 51. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales

Como se puede observar en la figura 51, se obtuvo un comportamiento *lineal* del retardo, teniendo un máximo de 9.3 segundos, lo cual confirma el valor del jitter de 8.19.

V.3.6.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 52 se presenta el comportamiento del caudal eficaz. Por medio de ésta figura se puede notar que el caudal eficaz va en aumento conforme corre el tiempo de simulación, pero al momento de llegar a los últimos segundos se muestra una estabilización, lo cual significa que se está aproximando a un límite el cual está alrededor de los 140 Kb.

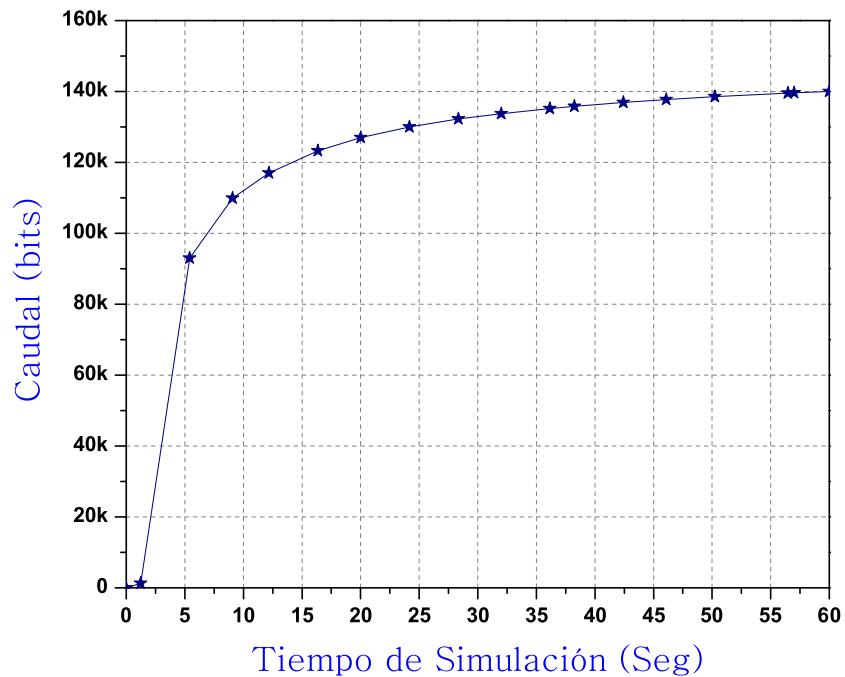


Figura 52. Promedio del caudal eficaz de la NCC con 16 canales

Cada una de las fuentes de las RCSTs generaron 240 paquetes de los cuales entre el 67.5% y el 76.25% del total fueron transmitidos y recibidos por el NCC. Todos los paquetes transmitidos fueron recibidos por el NCC obteniendo una PPP igual a cero. Estos porcentajes fueron obtenidos por medio de los valores mostrados en el anexo B.

V.3.7 Resultados para el escenario B con 16 canales

En la tabla XIV se presentan los parámetros del NCC, donde se incluyen el total de paquetes recibidos desde las 64 RCSTs, el número de peticiones (CSC de sesión/canal) recibidas en donde se observa el aumento de casi el doble a comparación con el escenario A, el promedio del jitter generado en el tiempo de simulación por todas las RCSTs, además del total de paquetes generados por la fuente NCC.

Tabla XIV. Parámetros del NCC obtenidos

Totales	Cantidades	Unidades
Paquetes Generados por la Fuente	36,720	paquetes
Paquetes MPEG Recibidos	5,472	paquetes
bits Recibidos	8,930,304	bits
Paquetes MPEG Perdidos	0	paquetes
Paquetes CSC Recibidos	7,360	paquetes
Paquetes CSC ACK	1,824	paquetes
Paquetes CSC NACK	5,536	paquetes
Variación del retardo (Jitter)	17.65	segundos

El número total de paquetes CSC recibidos fue de 7,360 de los cuales únicamente el 24.78% tuvo asignación de canal. Esto indica un bajo desempeño en la asignación del canal de retorno. El jitter aumentó más de doble lo que indica que hubo grandes variaciones en los retardos obtenidos.

V.3.7.1 Retardo extremo a extremo

El promedio del retardo extremo a extremo se muestra en la figura 53 en la cual se observa el comportamiento lineal y ascendente del mismo. El aumento del retardo se debe al número de nodos, ya que el máximo de canales son 16 siendo este el 25% de los canales requeridos para dar servicio a todas las RCSTs al mismo tiempo.

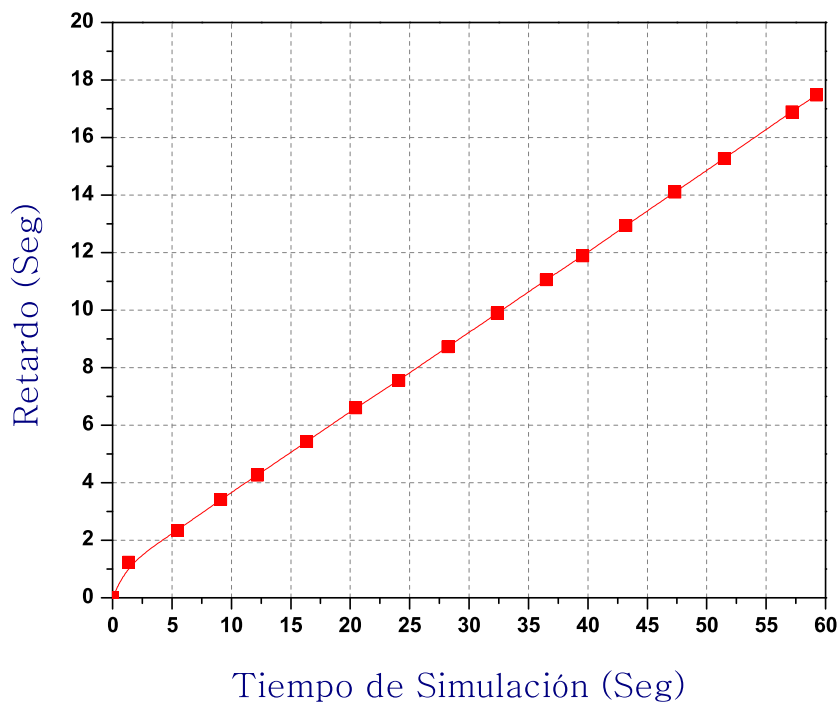


Figura 53. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales

V.3.7.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 54 el comportamiento del caudal eficaz para este escenario es semejante al del escenario A, debido a que tan sólo aumenta aproximadamente un 1%, lo cual se puede deducir por los valores del caudal eficaz mostrados en las tablas XIII y XIV.

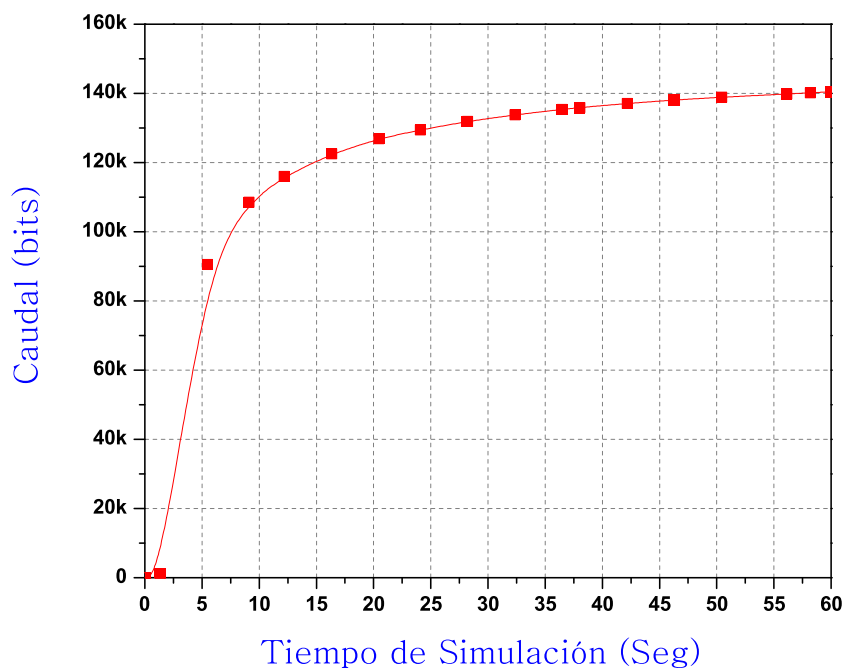


Figura 54. Promedio del caudal eficaz del NCC con 16 canales

El número de paquetes transmitidos al NCC fue de 5,472 de los cuales se recibió el 100% y por lo tanto, se obtuvo una PPP igual a cero.

V.3.8 Resultados para el escenario C con 16 canales

Los resultados obtenidos para el NCC se presentan en la tabla XV. Se puede observar que el número de paquetes CSC transmitidos por las RCSTs aumentó el doble (128) del escenario B y cuatro veces el valor obtenido en el escenario A. Los paquetes recibidos por el NCC se mantienen constantes, lo cual significa que hubo un gran número de paquetes que no fueron enviados por las RCSTs.

Tabla XV. Parámetros del NCC obtenidos

Totales	Cantidades	Unidades
Paquetes Generados por la Fuente	36,720	paquetes
Paquetes Recibidos	5,472	paquetes
bits Recibidos	8,930,304	bits
Paquetes MPEG Perdidos	0	paquetes
Paquetes CSC Recibidos	14,720	paquetes
Paquetes CSC ACK	1,824	paquetes
Paquetes CSC NACK	12,896	paquetes
Variación del retardo (Jitter)	18.79	segundos

V.3.8.1 Retardo extremo a extremo

La figura 55 se observa el comportamiento del promedio del retardo extremo a extremo del sistema para el escenario C, donde se observa que no existe un gran aumento en el retardo con respecto al escenario B. El número de paquetes CSC con asignación de canal fue de 1,824 igual que el escenario B. El valor máximo del retardo es de 18.54 segundos.

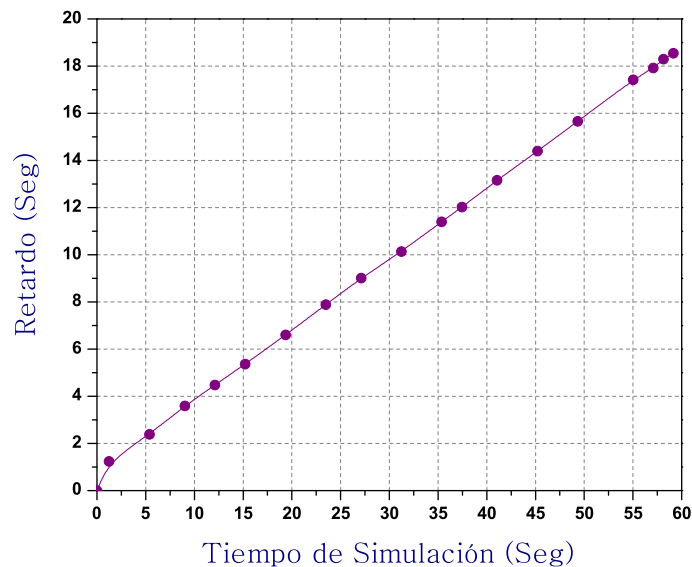


Figura 55. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales

V.3.8.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 56 se muestra el promedio del caudal eficaz el cual muestra el mismo comportamiento que los escenarios anteriores, esto es teniendo un límite entre los 140Kbits.

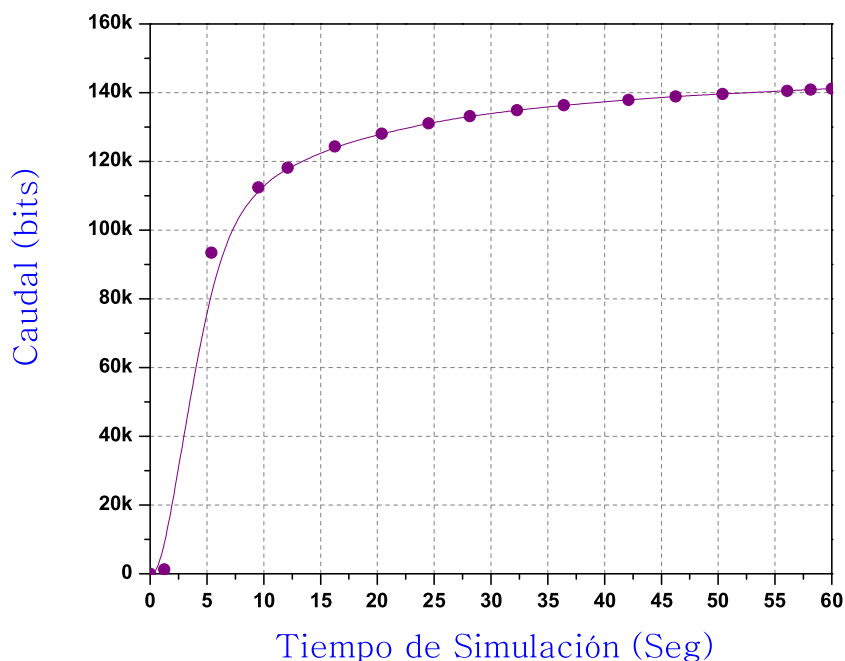


Figura 56. Promedio del caudal eficaz del NCC con 16 canales

Para poder interpretar el por qué no aumentó el caudal eficaz a pesar de aumentar el número de RCSTs podemos observar en el anexo B en la cual se muestra el total de paquetes recibidos sin tener un aumento considerable, esto se debe a que tan sólo el 50% de las RCSTs pudieron transmitir parte de su información.

V.3.9 Resultado para el escenario D con 16 canales

En el caso del escenario D se cuenta con 32 RCSTs las cuales están divididas en tres grupos con diferente tipo de tráfico, como ya se describió en esta sección (pag. 59).

Los resultados obtenidos para el NCC son los mostrados en la tabla XVI. Como se puede observar el cambio entre los resultados de los escenarios anteriores es muy grande.

Tabla XVI. Parámetros del NCC obtenidos

Totales	Cantidades	Unidades
Paquetes Generados por la Fuente	36,720	paquetes
Paquetes Recibidos	257,540	paquetes
bits Recibidos	420,305,280	bits
Paquetes MPEG Perdidos	0	paquetes
Paquetes CSC Recibidos	2,977	paquetes
Paquetes CSC ACK	2,229	paquetes
Paquetes CSC NACK	748	paquetes
Variación del retardo	14.52	segundos

Los paquetes CSC recibidos por el NCC fueron 2,977, incrementando más del 100% de los recibidos en los casos anteriores. Además el porcentaje de paquetes con asignación de canal fue de 74.87% lo cual proporciona una idea del buen desempeño del sistema para este escenario. Por el contrario, el jitter en cambio está en un valor de casi el doble del obtenido en el escenario A.

V.3.9.1 Retardo extremo a extremo

En la figura 57 se muestra el retardo extremo a extremo. A diferencia del escenario A en el cual se tenía un valor máximo de 9.3 segundos, en este escenario casi se duplica esta cantidad lo que confirma que el cambio en el retardo se debe a la diferencia en el tipo de tráfico.

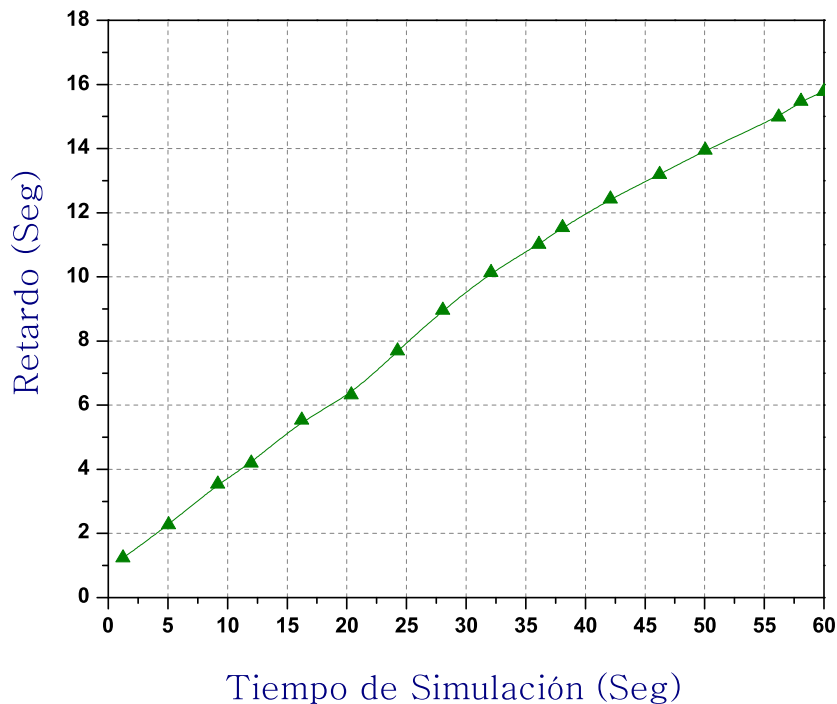


Figura 57. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales

V.3.9.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 58 se muestra el promedio del caudal eficaz del NCC, donde se puede observar el aumento, debido al tipo de tráfico que se maneja, el cual varía entre tamaños de archivo de 500 Octetos, 35 KOctetos y 80 KOctetos, lo que permite que se aumente la tasa de interarribo de paquetes para algunas de las fuentes, obteniendo con ello que se transmita una mayor cantidad de información al NCC.

La probabilidad de paquetes perdidos en este escenario se mantuvo en cero debido a que no hubo pérdidas de paquetes, lo cual se puede comprobar en el anexo B.

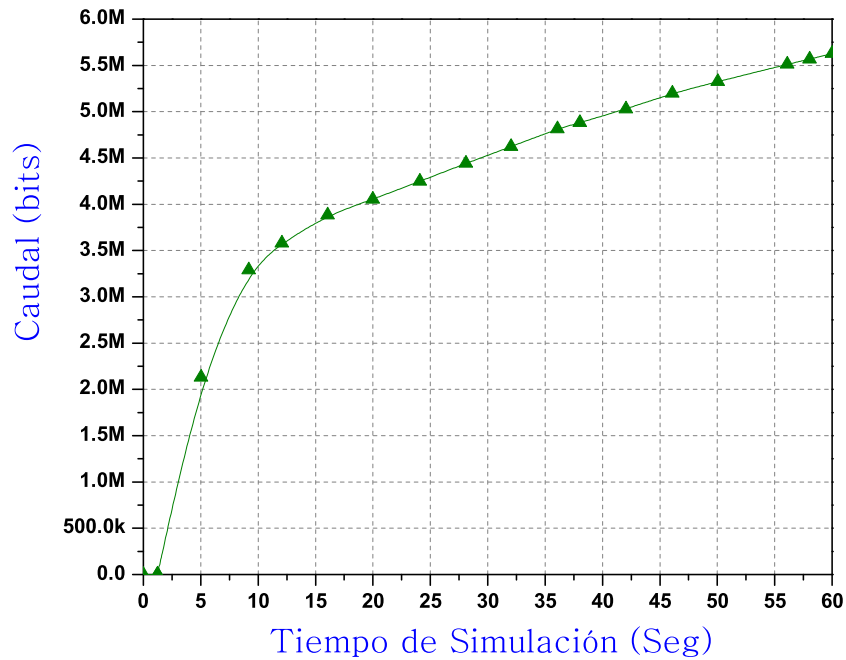


Figura 58. Promedio del caudal eficaz de la NCC con 16 canales

V.3.10 Comparación entre todos los escenarios (A, B, C y D) con 16 canales

Para dar una idea del cambio en los parámetros obtenidos por el último escenario simulado, enseguida se puede apreciar la comparación de las figuras incluyendo a todos los escenarios.

V.3.10.1 Retardo extremo a extremo

En la figura 59 se muestra el retardo promedio de todos los escenarios simulados, donde se observa cómo el escenario A es el que tiene el menor retardo, mientras que los escenarios B y C tienen un comportamiento similar, obteniendo los mayores valores de retardo. Por último se tiene al escenario D el cual tiene un retardo medio, el cual, está por debajo de los límites superiores y por arriba de los menores.

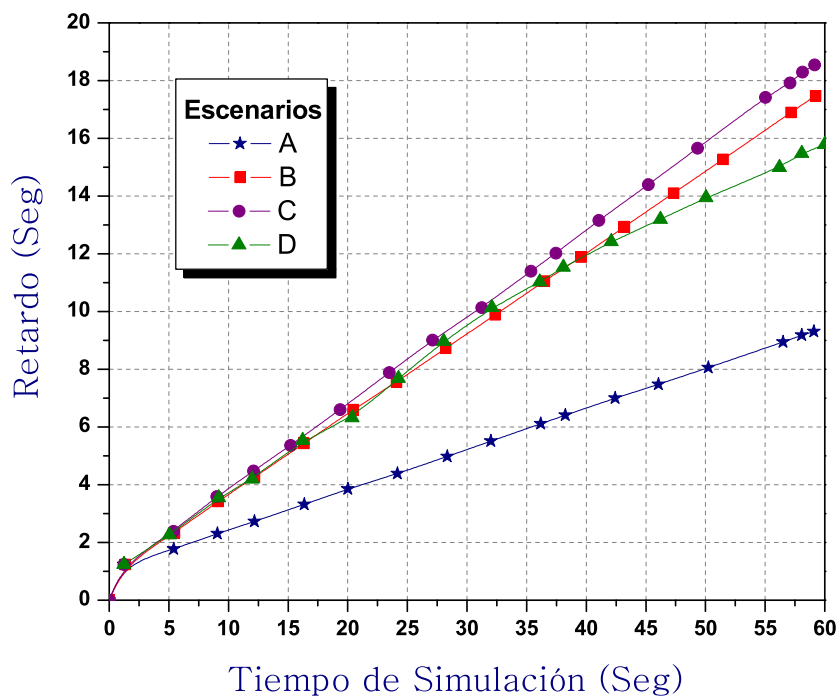


Figura 59. Promedio del retardo extremo a extremo en el NCC con 16 canales

La justificación para que el escenario A tenga el menor retardo, se debe al tamaño de archivo (500 B) y tamaño de red (32 RCSTs). El primero logra que se liberen los canales en una forma más rápida debido a que tan sólo se requiere la transmisión de tres paquetes de 204 Octetos cada uno. Gracias a ésto el resto de las RCSTs pueden obtener un canal y transmitir su información logrando reducir el retardo en la cola de almacenamiento. El número de RCSTs también influye debido a que el máximo de canales de retorno disponibles son 16 y el total de RCSTs en la red son 32 permite que el 50% de las peticiones de canal sean atendidas.

V.3.10.2 Caudal eficaz y la probabilidad de paquetes perdidos

En la figura 60 se muestran los resultados del promedio del caudal eficaz para todos los escenarios. Se puede observar como el caudal eficaz del escenario D de aproximadamente 6 Mbits rebasa a los demás escenarios que en promedio tienen un caudal eficaz con valor de 140 Kbits.

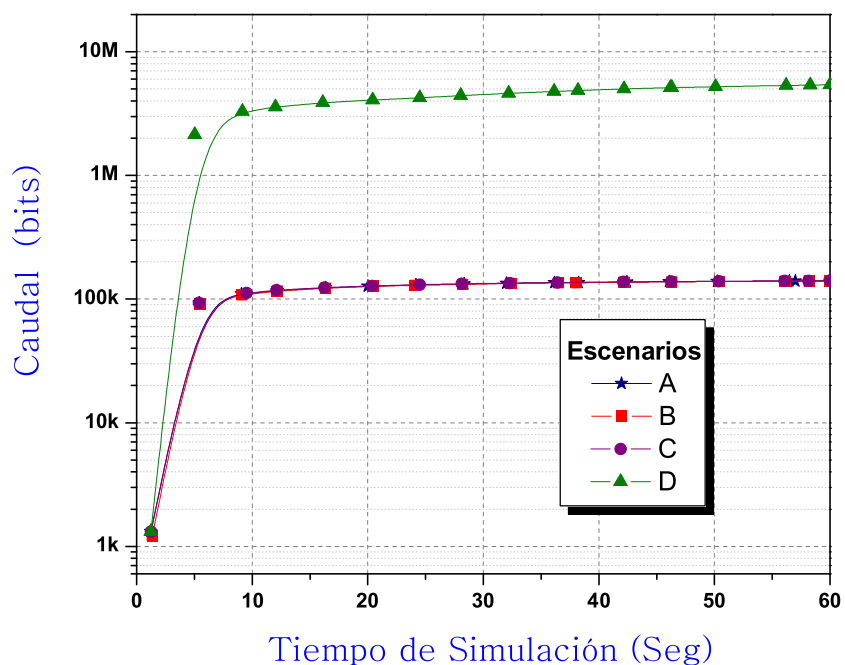


Figura 60. Promedio del caudal eficaz de la NCC con 16 canales

La probabilidad de paquetes perdidos en todos los escenarios fue igual a cero, pero esto no indica que el total de la información almacenada en las colas fue transmitida.

En el caso de los escenarios con mayor número de RCSTs se presentó un gran número de NACKs los cuales son interpretados como una asignación de canal nula y por lo tanto no se transmitió ningún paquete en algunas de las RCST haciendo que se disminuya la eficiencia del sistema.

V.3.11 Comparación entre los escenarios A con 8 y 16 canales

Con la finalidad de observar la diferencia del desempeño del sistema en cuanto al parámetro de número de canales, enseguida se muestra un comparación entre los escenarios A con 8 canales y 16 canales.

V.3.11.1 Retardo extremo a extremo

En la figura 61 se muestra el promedio del retardo extremo a extremo de los escenarios A con 8 canales y A con 16 canales.

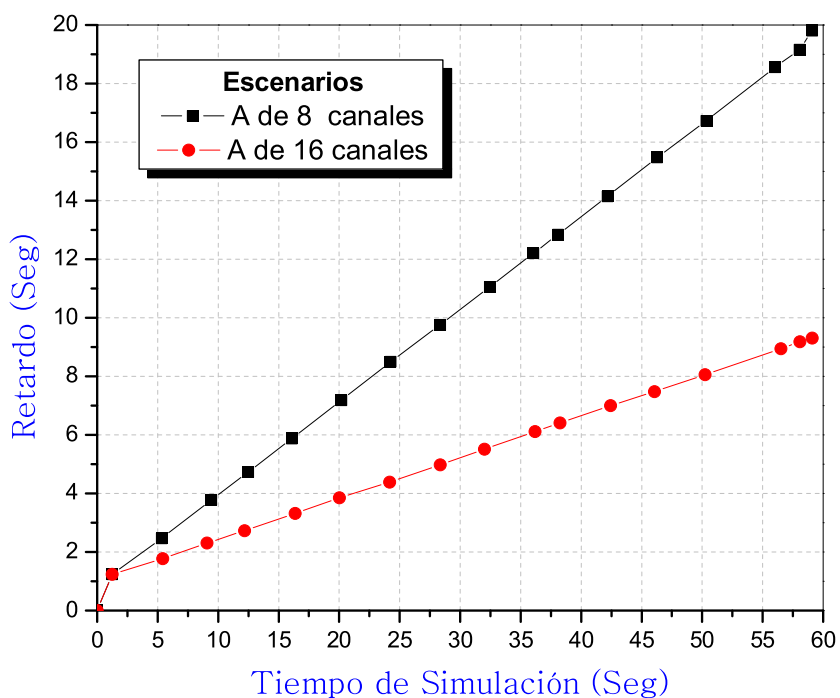


Figura 61. Comparación de retardos de los escenarios A con 8 y 16 canales

Los resultados muestran como el menor retardo es experimentado por el escenario A con 16 canales (9.3 seg) debido a que se logra atender al 50% de las peticiones de canal. Por el contrario, en el caso de 8 canales se tiene un máximo de (19.8 seg)

debido a la disminución en el número de canales, lo que confirma que la variación en el número máximo de canales es un parámetro muy importante para el buen desempeño del sistema. La diferencia entre los retardos máximos fue aproximadamente el 50%.

V.3.11.2 Caudal eficaz

En la figura 62 se muestran los resultados del promedio del caudal eficaz para los escenarios A con 8 canales y A con 16 canales.

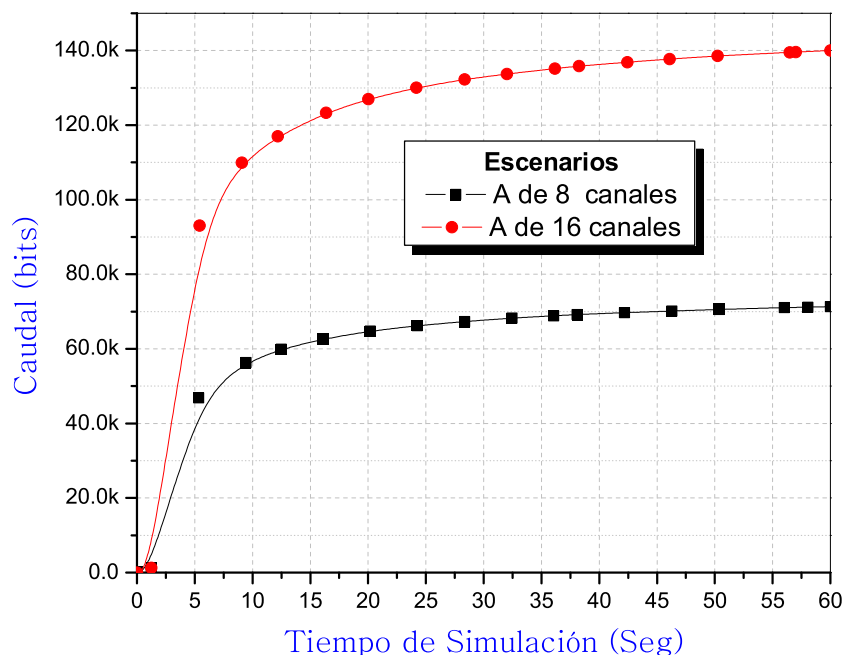


Figura 62. Comparación de caudal eficaz de los escenarios A con 8 y 16 canales

De acuerdo a los resultados mostrados en la figura 62 se observa el mejor rendimiento en el caso de los 16 canales, logrando duplicar el caudal eficaz del sistema.

V.3.12 Comparación entre los escenarios D con 8 y 16 canales

Con la finalidad de observar la diferencia del desempeño del sistema en cuanto al parámetro de número de canales, enseguida se muestra una comparación entre los escenarios D con 8 canales y 16 canales.

V.3.12.1 Retardo extremo a extremo

En la figura 63 se muestra el retardo promedio de los escenarios D con 8 canales y D con 16 canales.

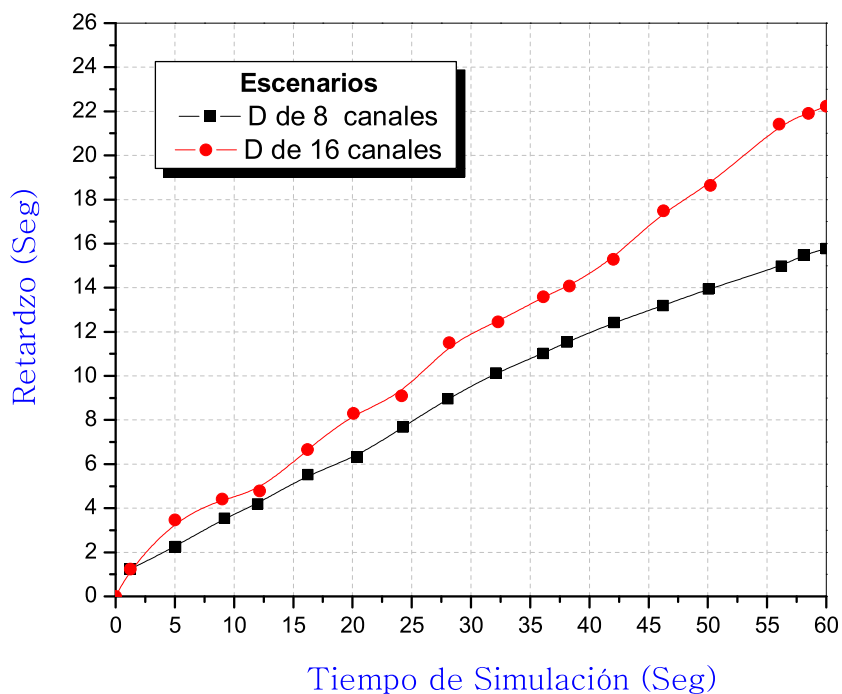


Figura 63. Comparación de retardos de los escenarios D con 8 y 16 canales

De acuerdo a los resultados mostrados en la figura 63 se observa la diferencia entre el comportamiento no lineal de cada uno de los retardos. En este caso la diferencia entre los retardos máximos fue de aproximadamente del 30%.

V.3.12.2 Caudal eficaz

En la figura 64 se muestran los resultados del promedio del caudal eficaz para los escenarios D con 8 canales y D con 16 canales.

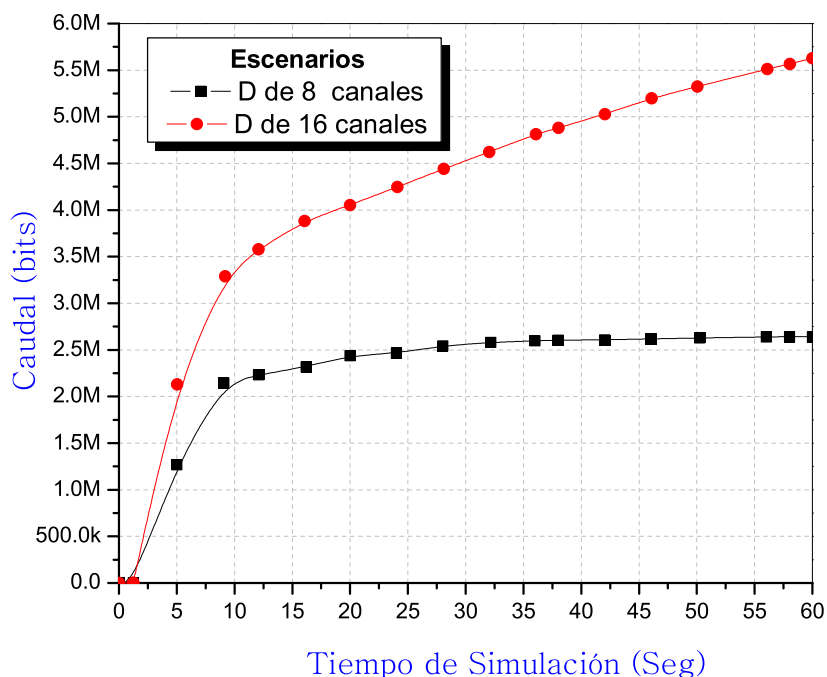


Figura 64. Comparación de caudal eficaz de los escenarios D con 8 y 16 canales

El aumento en el caudal eficaz del escenario D con 16 canales con respecto al escenario con 8 canales fue de aproximadamente el 50%. Lo que muestra el mejor desempeño del sistema con respecto a los escenarios anteriores.

Capítulo VI

Conclusiones

VI.1 Conclusiones

En redes del tipo DVB-RCS al combinar diferentes capacidades de tráfico en la red incrementa el caudal eficaz, siempre y cuando haya igualdad de circunstancias en la contención por acceso al medio.

Un aumento en el número de canales de retorno asignados al sistema incrementa la capacidad de respuesta de la red, lo que implica una mejora del servicio.

El número máximo de sesiones remotas (DMIF) depende del total de canales de retorno asignados en la matriz tiempo-frecuencia del esquema MF-TDMA.

Los parámetros de calidad de servicio medidos en cada uno de los escenarios indican que el sistema puede ser utilizado en aplicaciones no sensibles al retardo que requieran de interactividad. Tal es el caso de acceso a internet o educación a distancia.

Se confirma que el sistema soporta aplicaciones interactivas y comprueba la interoperabilidad entre los estándares involucrados en el sistema.

VI.2 Aportaciones

Las aportaciones de este trabajo de tesis son las siguientes:

1. Se implementó un nuevo modelo de simulación en OPNET basado en la integración de los estándares DVB-RCS, DVB-S, MPEG-2 y MPEG-4, el cual puede ser utilizado como base para investigaciones futuras relacionadas con el tema.

2. Se implementó un programa en Delphi para el cálculo de los distintos anchos de banda y tasas de bits manejados en los sistemas satelitales compatibles con el estándar DVB-S.
3. El sistema puede ser utilizado para hacer pruebas del desempeño de la red antes de emigrar al estándar DVB.
4. Algunos de los resultados de este trabajo de tesis serán presentados en el Congreso ROC&C 2003 el cual es organizado por la IEEE en la ciudad de Acapulco.

VI.3 Trabajos Futuros

Se recomienda llevar a cabo las siguientes actividades:

1. Realizar el análisis y simulación del sistema, utilizando paquetes IP como transporte de MPEG-4.
2. Analizar el sistema con un satélite con procesamiento a bordo.
3. Analizar el desempeño del sistema para el caso de acceso a internet añadiendo una arquitectura de calidad de servicio como Servicios Integrados o Servicios Diferenciados.

VI.4 Recomendaciones

Para el caso de las fuentes de tráfico en OPNET se recomienda dar un tiempo de estabilización de las mismas y hacer que paren de generar tráfico (paquetes) tiempo antes del final de la simulación, para evitar errores en los resultados.

Por último se recomienda aumentar el tamaño de red del modelo desarrollado, con el propósito de compararlo con un escenario real de educación a distancia.

Literatura Citada

- Alnuweiri, H., Haghghi, K. A., y Pouermohammadi, Y. 2001. "Realizing MPEG-4 Streaming Over the Internet: A Client/Server Architecture using DMIF". IEEE.
- Ares, R. 2003. "Televisión digital: formato americano ATSC y europeo DVB". URL, <http://www.rares.com.ar/PDF/1007.pdf>. Manual de las Info.Telecomunicaciones.
- Benoit, H. 1997. "Digital Television: MPEG-1, MPEG-2 and Principles of the DVB System". John Wiley and Sons, primera edición. Francia. 163 pp.
- Chávez, I. 1999. "MPEG-4: La norma internacional para multimedios". Tesina. Facultad de Ciencias de la UABC campus Ensenada.
- Conte, R. G. 2002. "Sistemas de Satélites 2". Notas del curso de Posgrado. Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, CICESE.
- de Bruin, R. y Smits, J. 1999. "Digital Video Broadcasting Technology, Standards, and Regulations". Artech House, primera edición. Inglaterra. 315 pp.
- EN300421 1997. "Digital broadcasting systems for television, sound and data services; Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services". ETSI, primera edición. Francia. 24 pp.
- EN301790 2000. "Digital video broadcasting; interaction channel for satellite distribution systems". ETSI, primera edición. Francia. 99 pp.
- Fermoso, R., García, R., López, S., y Muñoz, D. 1991. "Principios estándares y radio difusión directa por satélite". Proyecto: SCT-IMC 91/000D.
- Koenen, R. 2002. "Overview of the MPEG-4". URL. <http://www.m4if.org>.
- Mead, D. C. 1999. "Direct Broadcast Satellite Communications: An MPEG Enabled Service". Prentice Hall, primera edición. EUA. 300 pp.
- Neale, J., Green, R., y Landovkis, J. 2001. "Interactive Channel for Multimedia Satellite Networks". IEEE Communications, 39(3):192-198 pp.
- Puri, A. y Chen, T. 2000. "Multimedia Systems, Standards, and Networks". MARCEL DEKKER, primera edición. EUA. 636 pp.

- Rivas, J. C. 2003. "Técnicas de acceso de última milla: Sistemas de Televisión satelital". URL, <http://www.monografias.com/trabajos13/satel/satel.shtml>. Universidad Central de Venezuela.
- Tanenbaum, A. S. 1997. "Redes de Computadoras". Prentice Hall, tercera edición. México. 811 pp.
- Tomasi, W. 1996. "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas". Prentice Hall, primera edición. México. 858 pp.
- Watkinson, J. 1999. "MPEG-2". Focal Press, primera edición. EUA. 244 pp.
- Weiss, W. 1998. "QoS with Differentiated Services". Bell Labs, 3(4):48-62 pp.

Acrónimos

ATM	Asynchronous Transfer Mode Modo de Transferencia Asíncrona
ATSC	Advanced Television System Comitee Comité de Sistemas de Televisión Avanzada
AVO	AudioVisual Object Objeto AudioVisual
BER	Bit Error Ratio Tasa de Error de Bit
bit	Binary Digit Digito Binario
CSC	Common Signaling Channel Canal de Señalización Común
DAB	Digital Audio Broadcasting Difusión de Audio Digital
CRC	Cyclic Redundancy Check Verificación por Redundancia Cíclica
DAI	DMIF Aplication Interface Interfaz de Aplicación DMIF
DMIF	Delivery Multimedia Integration Framework Marco de Integración de Entrega de Multimedios
DNI	DMIF Network Interface Interfaz de Red DMIF

DTH	Direct to Home TV Directa al Hogar
DVB	Digital Video Broadcasting Difusión de Vídeo Digital
DVB-RCS	Digital Video Broadcasting - Return Channel System Norma Europea para Difusión de Vídeo Digital en Sistemas con Canal de Retorno
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite Norma Europea para Difusión de Vídeo Digital vía Satélite
FEC	Forward Error Correction Corrección de Errores hacia Delante
FlexMux	Flexible Multiplex Multicanalizador Flexible
GEO	Geostationary Earth Orbit Orbita Geoestacionaria
HDTV	High Definition Television Televisión de Alta Definición
IDU	Indoor Unit Unidad Interior
IP	Internet Protocol Protocolo de Internet
IRD	Integrated Receiver Decoder Receptor Decodificador Integrado
ISO	International Standards Organization Organización Internacional de Normalización
LNB	Low Noise Block Converter Convertidor en Bloque de Bajo Ruido
MF-TDMA	MultiFrequency-Time Division Multiple Access Acceso Múltiple por División de Tiempo de Frecuencias Múltiples

MPEG-2	Moving Pictures Experts Group-2 Norma Internacional del Grupo de Experto de Imágenes en Movimiento-2
MPEG-4	Moving Pictures Experts Group-4 Norma Internacional del Grupo de Experto de Imágenes en Movimiento-4
NCC	Network Control Centre Centro de Control de Red
NTSC	National Television System Committee Comité Nacional de Sistemas de Televisión
OPNET	OPTimized Network Engineering Tools
PAL	Phase Alternation Line Línea de Alternación de Fase
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence Secuencia Pseudoaleatoria Binaria
PSTN	Public Switched Telephone Network Red de Telefonía Pública Conmutada
QAM	Quadrature Amplitude Modulation Modulación en Amplitud y Cuadratura
QEF	Quasi Error Free Quasi Libre de Error
QoS	Quality of Service Calidad de Servicio
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying Modulación por Conmutación de Fase Cuaternaria
RAM	Random Access Memory Memoria de Acceso Aleatorio

RCST	Return Channel Satellite Terminal Terminal Satelital con Canal de Retorno
RDI	Receptor con Desencriptador Integrado para sistemas analógicos
RS	Codificador Reed-Solomon
RTP	Real Time Protocol Protocolo de Tiempo Real
SECAM	Système Electronique Couleur avec Mémoire Sistemas Electrónico de Color con Memoria
TransMux	Transport Multiplex Scheme Esquema de Transporte Multicanalizada
TS	Transport Stream Ristra de Transporte
TVRO	Television Receive Only Receptor de Televisión
UDP	User Datagram Protocol Protocolo de Datagrama de Usuario

Apéndices

A.1 Apéndice A

A.1.1 Cálculo de la trama de tiempo para TDMA

En ésta técnica un número de estaciones terrenas toman turno para enviar su información durante un breve período de tiempo en el transpondedor.

La trama en un sistema TDMA esta dividida en un preámbulo y un encabezado seguido por las ranuras de tiempo para los múltiples usuarios del canal.

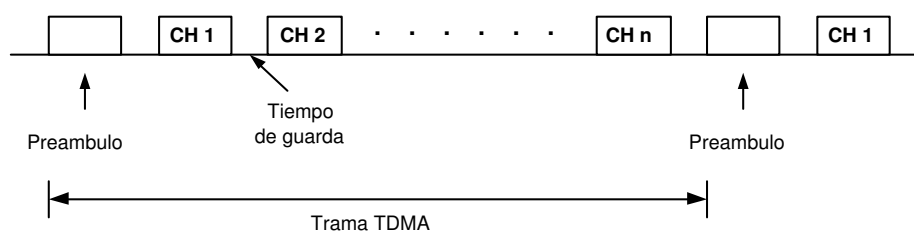


Figura 65. Trama de TDMA

El preambulo es una ráfaga de información generada por la estación maestra central, que proporciona información de sincronía para todas las otras estaciones. Los tiempos de guarda y encabezados reducen el caudal eficaz, por lo cual se debe cuidar el tamaño de estos.

En este caso se calculó el tiempo de ranura de acuerdo a los parámetros mostrados en la tabla XVII.

Tabla XVII. Parámetros para Cálculo de TDMA

Parámetros	Valor	Tiempo
Tasa de bit	2 Mbps	
Modulación	QPSK	
α	0.28	
n	16 canales	
tiempo de guarda (tg)	100 bits	0.05 ms
tiempo de Preambulo (tp)	240 bits	0.48 ms
Tamaño de archivo	500 Bytes	3 paquetes
Tamaño de Paquete	1632 bits	

El tiempo de bit (tb) es igual a 500 nanosegundos, lo que es igual al inverso de la tasa de bit (1/tasabit).

El tiempo de datos fue calculado por medio de la ecuación 4:

$$td = (\text{Tamaño de Archivo})(tb) = (4896\text{bits})(500 \times 10^{-9} \frac{\text{seg}}{\text{bit}}) = 2.448\text{ms} \quad (4)$$

El tiempo de ráfaga (tr) obtenido por la ecuación 5, es el siguiente:

$$tr = n(tp + tg + td) = 16(0.05^{-3} + 0.48^{-3} + 2.448^{-3}) = 0.0476 = 47.6\text{ms} \quad (5)$$

Por lo tanto los 16 canales tienen un tiempo de ráfaga total de 47.6 milisegundos, lo que indica que se pueden transmitir hasta 21 ráfagas en un segundo.

A.1.2 Cálculo del retardo de propagación

En la ecuación 6 se muestra el cálculo del retardo de propagación con respecto a la distancia del satélite geostacionario y la velocidad de la luz.

$$R_p = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}} = \frac{36,000,000m}{300,000,000\frac{m}{s}} = 120ms \quad (6)$$

En el caso del retardo en los enlaces se tomó como referencia el valor de 120 ms mas un margen de 5 ms debido que en la realidad el retardo de 120 ms no es constante, ya que la distancia al satélite puede variar dependiendo de donde se localice tanto el satélite como la estación terrena.

La distancia considerada entre el satélite y las estaciones terrenas fue de 36,000 Km para todas, debido a que en el modelo de simulación se consideró un retardo constante de 125 ms para las estaciones terrenas independientemente de su ubicación.

A.2 Apéndice B

A.2.1 Definición de los parámetros de calidad de servicio

Los parámetros de calidad de servicio obtenidos mediante las simulaciones fueron el retardo el cual incluye tres tipos de retardo por propagación, retardo de transmisión y retardo de almacenamiento en la cola, además de la variación del retardo, caudal eficaz y paquetes perdidos, los cuales se describen a continuación:

Retardo (Latency): También es conocido como retardo extremo a extremo, y se refiere al tiempo total que transcurre desde que un paquete es transmitido por un nodo fuente hasta que es recibido por el nodo destino [Weiss, 1998].

El retardo que un paquete experimenta tiene tres componentes: Retardo por Propagación, retardo por transmisión y retardo de almacenamiento en la cola.

- **Retardo por Propagación:** De acuerdo a la distancia donde se encuentra el nodo de la red con respecto al nodo central y la velocidad de transmisión en este caso la de la luz, se conforma el retardo de propagación.
- **Retardo por Transmisión:** Es el tiempo que se requiere para transmitir el paquete a la tasa de datos del canal.
- **Retardo de Almacenamiento en la Cola:** Es el tiempo que el paquete espera dentro de la cola del muelle (buffer).

Variación del Retardo (Jitter): Este parámetro se basa en la diferencia del retardo perteneciente a paquetes similares, los cuales siguen una misma trayectoria dentro de la red. Este parámetro se ve afectado por el almacenamiento de los paquetes dentro de una cola y por lo tanto dependerá del tamaño de las mismas [Weiss, 1998].

Caudal Eficaz (Througput): Este parámetro se refiere al monto total de tráfico recibido con éxito por el nodo destino.

Paquetes Perdidos: Como consecuencia del nivel de congestión que presenta un enlace de la red, puede ocasionar la pérdida de paquetes.

Anexos

A.3 Anexo A

A.3.1 Tablas de resultados para los escenarios con 8 canales

Tabla XVIII. Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario A de 8 canales)

Número SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
0	240	90	90	0
1	240	84	84	0
2	240	81	81	0
3	240	81	81	0
4	240	90	90	0
5	240	90	90	0
6	240	87	87	0
7	240	87	87	0
8	240	84	84	0
9	240	84	84	0
10	240	90	90	0
11	240	90	90	0
12	240	87	87	0
13	240	90	90	0
14	240	90	90	0
15	240	90	90	0

Tabla XIX. Continuación de la tabla XXI (escenario A de 8 canales)

Número SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
16	240	90	90	0
17	240	96	96	0
18	240	90	90	0
19	240	93	93	0
20	240	87	87	0
21	240	87	87	0
22	240	87	87	0
23	240	87	87	0
24	240	87	87	0
25	240	87	87	0
26	240	84	84	0
27	240	87	87	0
28	240	87	87	0
29	240	81	81	0
30	240	84	84	0
31	240	81	81	0
Total	7,680	2,790	2,790	0

Tabla XX. Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario A de 8 canales)

Número SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
0	117	30	87	0
1	117	28	89	0
2	117	27	90	0
3	117	27	90	0
4	116	30	86	0
5	116	30	86	0
6	117	29	88	0
7	117	29	88	0
8	116	28	88	0
9	117	28	89	0
10	117	30	87	0
11	117	30	87	0
12	117	29	88	0
13	117	30	87	0
14	116	30	86	0
15	117	30	87	0
16	116	30	86	0
17	116	32	84	0
18	116	30	86	0
19	116	31	85	0
20	116	29	87	0
21	116	29	87	0
22	116	29	87	0
23	116	29	87	0
24	116	29	87	0
25	116	29	87	0
26	116	28	88	0
27	116	29	87	0
28	116	29	87	0
29	117	27	90	0
30	116	28	88	0
31	117	27	90	0
Total	3,726	930	2,796	0

Tabla XXI. Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario B de 8 canales)

Número de SIT	Pkts Gen. Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Pkts MPEG Perdidos
0	240	57	57	0
1	240	66	66	0
2	240	66	66	0
3	240	63	63	0
4	240	60	60	0
5	240	57	57	0
6	240	57	57	0
7	240	57	57	0
8	240	57	57	0
9	240	54	54	0
10	240	60	60	0
11	240	57	57	0
12	240	60	60	0
13	240	60	60	0
14	240	57	57	0
15	240	51	51	0
16	240	57	57	0
17	240	57	57	0
18	240	57	57	0
19	240	57	57	0
20	240	63	63	0
21	240	60	60	0
22	240	51	51	0
23	240	54	54	0
24	240	57	57	0
25	240	63	63	0
26	240	54	54	0
27	240	57	57	0
28	240	54	54	0
29	240	54	54	0
30	240	51	51	0
31	240	54	54	0

Tabla XXII. Continuación de la tabla XXI (escenario B de 8 canales)

Número de SIT	Pkts Gen. Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Pkts MPEG Perdidos
32	240	63	63	0
33	240	54	54	0
34	240	45	45	0
35	240	54	54	0
36	240	57	57	0
37	240	54	54	0
38	240	48	48	0
39	240	45	45	0
40	240	57	57	0
41	240	57	57	0
42	240	48	48	0
43	240	54	54	0
44	240	51	51	0
45	240	57	57	0
46	240	51	51	0
47	240	51	51	0
48	240	0	0	0
49	240	48	48	0
50	240	51	51	0
51	240	0	0	0
52	240	0	0	0
53	240	0	0	0
54	240	0	0	0
55	240	0	0	0
56	240	0	0	0
57	240	0	0	0
58	240	0	0	0
59	240	0	0	0
60	240	0	0	0
61	240	0	0	0
62	240	0	0	0
63	240	0	0	0
Total	15,360	2,784	2,784	0

Tabla XXIII. Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario B de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
0	117	19	98	0
1	117	22	95	0
2	117	22	95	0
3	117	21	96	0
4	117	20	97	0
5	117	19	98	0
6	117	19	98	0
7	117	19	98	0
8	117	19	98	0
9	117	18	99	0
10	117	20	97	0
11	117	19	98	0
12	117	20	97	0
13	117	20	97	0
14	117	19	98	0
15	117	17	100	0
16	117	19	98	0
17	117	19	98	0
18	117	19	98	0
19	117	19	98	0
20	117	21	96	0
21	117	20	97	0
22	117	17	100	0
23	117	18	99	0
24	117	19	98	0
25	117	21	96	0
26	117	18	99	0
27	117	19	98	0
28	117	18	99	0
29	117	18	99	0
30	117	17	100	0
31	117	18	99	0

Tabla XXIV. Continuación de la tabla XXIII (escenario B de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
32	117	21	96	0
33	117	18	99	0
34	117	15	102	0
35	117	18	99	0
36	117	19	98	0
37	117	18	99	0
38	117	16	101	0
39	117	15	102	0
40	117	19	98	0
41	117	19	98	0
42	117	16	101	0
43	117	18	99	0
44	117	17	100	0
45	117	19	98	0
46	117	17	100	0
47	117	17	100	0
48	117	0	117	0
49	117	16	101	0
50	117	17	100	0
51	117	0	117	0
52	117	0	117	0
53	117	0	117	0
54	117	0	117	0
55	117	0	117	0
56	117	0	117	0
57	117	0	117	0
58	117	0	117	0
59	117	0	117	0
60	117	0	117	0
61	117	0	117	0
62	117	0	117	0
63	117	0	117	0
Total	7,488	928	6,560	0

Tabla XXV. Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario C de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
0	240	0	0	0
1	240	57	57	0
2	240	66	66	0
3	240	66	66	0
4	240	63	63	0
5	240	60	60	0
6	240	57	57	0
7	240	57	57	0
8	240	57	57	0
9	240	57	57	0
10	240	54	54	0
11	240	60	60	0
12	240	57	57	0
13	240	60	60	0
14	240	60	60	0
15	240	57	57	0
16	240	51	51	0
17	240	57	57	0
18	240	57	57	0
19	240	57	57	0
20	240	57	57	0
21	240	0	0	0
22	240	63	63	0
23	240	60	60	0
24	240	51	51	0
25	240	54	54	0
26	240	51	51	0
27	240	57	57	0
28	240	63	63	0
29	240	54	54	0
30	240	57	57	0
31	240	54	54	0

Tabla XXVI. Continuación de la tabla XLII (escenario C de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
32	240	54	54	0
33	240	54	54	0
34	240	63	63	0
35	240	54	54	0
36	240	45	45	0
37	240	54	54	0
38	240	57	57	0
39	240	54	54	0
40	240	48	48	0
41	240	45	45	0
42	240	57	57	0
43	240	57	57	0
44	240	48	48	0
45	240	54	54	0
46	240	51	51	0
47	240	57	57	0
48	240	51	51	0
49	240	51	51	0
50	240	48	48	0
51	240	51	51	0
52	240	0	0	0
53	240	0	0	0
54	240	0	0	0
55	240	0	0	0
56	240	0	0	0
57	240	0	0	0
58	240	0	0	0
59	240	0	0	0
60	240	0	0	0
61	240	0	0	0
62	240	0	0	0
63	240	0	0	0

Tabla XXVII. Continuación de la tabla XLII (escenario C de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
64	240	0	0	0
65	240	0	0	0
66	240	0	0	0
67	240	0	0	0
68	240	0	0	0
69	240	0	0	0
70	240	0	0	0
71	240	0	0	0
72	240	0	0	0
73	240	0	0	0
74	240	0	0	0
75	240	0	0	0
76	240	0	0	0
77	240	0	0	0
78	240	0	0	0
79	240	0	0	0
80	240	0	0	0
81	240	0	0	0
82	240	0	0	0
83	240	0	0	0
84	240	0	0	0
85	240	0	0	0
86	240	0	0	0
87	240	0	0	0
88	240	0	0	0
89	240	0	0	0
90	240	0	0	0
91	240	0	0	0
92	240	0	0	0
93	240	0	0	0
94	240	0	0	0
95	240	0	0	0

Tabla XXVIII. Continuación de la tabla XLII (escenario C de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
96	240	0	0	0
97	240	0	0	0
98	240	0	0	0
99	240	0	0	0
100	240	0	0	0
101	240	0	0	0
102	240	0	0	0
103	240	0	0	0
104	240	0	0	0
105	240	0	0	0
106	240	0	0	0
107	240	0	0	0
108	240	0	0	0
109	240	0	0	0
110	240	0	0	0
111	240	0	0	0
112	240	0	0	0
113	240	0	0	0
114	240	0	0	0
115	240	0	0	0
116	240	0	0	0
117	240	0	0	0
118	240	0	0	0
119	240	0	0	0
120	240	0	0	0
121	240	0	0	0
122	240	0	0	0
123	240	0	0	0
124	240	0	0	0
125	240	0	0	0
126	240	0	0	0
127	240	0	0	0
Total	30,720	2,784	2,784	0

Tabla XXIX. Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario C de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
0	117	0	117	0
1	117	19	98	0
2	117	22	95	0
3	117	22	95	0
4	117	21	96	0
5	117	20	97	0
6	117	19	98	0
7	117	19	98	0
8	117	19	98	0
9	117	19	98	0
10	117	18	99	0
11	117	20	97	0
12	117	19	98	0
13	117	20	97	0
14	117	20	97	0
15	117	19	98	0
16	117	17	100	0
17	117	19	98	0
18	117	19	98	0
19	117	19	98	0
20	117	19	98	0
21	117	0	117	0
22	117	21	96	0
23	117	20	97	0
24	117	17	100	0
25	117	18	99	0
26	117	17	100	0
27	117	19	98	0
28	117	21	96	0
29	117	18	99	0
30	117	19	98	0
31	117	18	99	0

Tabla XXX. Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
32	117	18	99	0
33	117	18	99	0
34	117	21	96	0
35	117	18	99	0
36	117	15	102	0
37	117	18	99	0
38	117	19	98	0
39	117	18	99	0
40	117	16	101	0
41	117	15	102	0
42	117	19	98	0
43	117	19	98	0
44	117	16	101	0
45	117	18	99	0
46	117	17	100	0
47	117	19	98	0
48	117	17	100	0
49	117	17	100	0
50	117	16	101	0
51	117	17	100	0
52	117	0	117	0
53	117	0	117	0
54	117	0	117	0
55	117	0	117	0
56	117	0	117	0
57	117	0	117	0
58	117	0	117	0
59	117	0	117	0
60	117	0	117	0
61	117	0	117	0
62	117	0	117	0
63	117	0	117	0

Tabla XXXI. Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
64	117	0	117	0
65	117	0	117	0
66	117	0	117	0
67	117	0	117	0
68	117	0	117	0
69	117	0	117	0
70	117	0	117	0
71	117	0	117	0
72	117	0	117	0
73	117	0	117	0
74	117	0	117	0
75	117	0	117	0
76	117	0	117	0
77	117	0	117	0
78	117	0	117	0
79	117	0	117	0
80	117	0	117	0
81	117	0	117	0
82	117	0	117	0
83	117	0	117	0
84	117	0	117	0
85	117	0	117	0
86	117	0	117	0
87	117	0	117	0
88	117	0	117	0
89	117	0	117	0
90	117	0	117	0
91	117	0	117	0
92	117	0	117	0
93	117	0	117	0
94	117	0	117	0
95	117	0	117	0

Tabla XXXII. Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
96	117	0	117	0
97	117	0	117	0
98	117	0	117	0
99	117	0	117	0
100	117	0	117	0
101	117	0	117	0
102	117	0	117	0
103	117	0	117	0
104	117	0	117	0
105	117	0	117	0
106	117	0	117	0
107	117	0	117	0
108	117	0	117	0
109	117	0	117	0
110	117	0	117	0
111	117	0	117	0
112	117	0	117	0
113	117	0	117	0
114	117	0	117	0
115	117	0	117	0
116	117	0	117	0
117	117	0	117	0
118	117	0	117	0
119	117	0	117	0
120	117	0	117	0
121	117	0	117	0
122	117	0	117	0
123	117	0	117	0
124	117	0	117	0
125	117	0	117	0
126	117	0	117	0
127	117	0	117	0
Total	14,976	928	14,048	0

Tabla XXXIII. Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario D de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Recibidos	Paquetes Transmitidos	Pkts MPEG Perdidos
0	42,729	10,512	10,512	0
1	42,729	10,512	10,512	0
2	42,729	11,826	11,826	0
3	42,729	9,785	9,785	0
4	42,729	9,783	9,783	0
5	18,694	5,157	5,157	0
6	18,694	4,966	4,966	0
7	18,694	4,966	4,966	0
8	18,694	4,393	4,393	0
9	18,694	4,966	4,966	0
10	18,694	3,820	3,820	0
11	18,694	3,820	3,820	0
12	18,694	3,820	3,820	0
13	18,694	3,820	3,820	0
14	18,694	2,483	2,483	0
15	18,694	2,483	2,483	0
16	240	126	126	0
17	240	123	123	0
18	240	126	126	0
19	240	129	129	0
20	240	126	126	0
21	240	129	129	0
22	240	129	129	0
23	240	123	123	0
24	240	126	126	0
25	240	123	123	0
26	240	126	126	0
27	240	123	123	0
28	240	126	126	0
29	240	126	126	0
30	240	126	126	0
31	240	123	123	0
Total	423,119	99,122	99,122	0

Tabla XXXIV. Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario D de 8 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Pkts MPEG Perdidos
0	102	24	78	0
1	102	24	78	0
2	99	27	72	0
3	103	23	80	0
4	103	23	80	0
5	110	27	83	0
6	111	26	85	0
7	111	26	85	0
8	112	23	89	0
9	111	26	85	0
10	112	20	92	0
11	112	20	92	0
12	112	20	92	0
13	112	20	92	0
14	115	13	102	0
15	115	13	102	0
16	116	42	74	0
17	116	41	75	0
18	116	43	73	0
19	116	43	73	0
20	116	42	74	0
21	116	43	73	0
22	116	44	72	0
23	116	42	74	0
24	116	43	73	0
25	116	41	75	0
26	116	42	74	0
27	116	41	75	0
28	116	43	73	0
29	116	42	74	0
30	116	42	74	0
31	116	42	74	0
Total	3,598	1,031	2,567	0

A.4 Anexo B

A.4.1 Tablas de resultados para los escenarios con 16 canales

Tabla XXXV. Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario A de 16 canales)

Número SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
0	240	177	177	0
1	240	177	177	0
2	240	174	174	0
3	240	177	177	0
4	240	177	177	0
5	240	174	174	0
6	240	174	174	0
7	240	168	168	0
8	240	171	171	0
9	240	168	168	0
10	240	168	168	0
11	240	168	168	0
12	240	165	165	0
13	240	174	174	0
14	240	174	174	0
15	240	171	171	0

Tabla XXXVI. Continuación de la tabla XXXVIII (escenario A de 16 canales)

Número SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
16	240	165	165	0
17	240	171	171	0
18	240	171	171	0
19	240	171	171	0
20	240	168	168	0
21	240	168	168	0
22	240	168	168	0
23	240	168	168	0
24	240	165	165	0
25	240	165	165	0
26	240	159	159	0
27	240	168	168	0
28	240	168	168	0
29	240	159	159	0
30	240	165	165	0
31	240	168	168	0
Total	7,680	5,424	5,424	0

Tabla XXXVII. Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario A de 16 canales)

Número SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
0	114	59	55	0
1	114	59	55	0
2	114	58	56	0
3	114	59	55	0
4	114	59	55	0
5	114	58	56	0
6	114	58	56	0
7	114	56	58	0
8	114	57	57	0
9	114	56	58	0
10	114	56	58	0
11	114	56	68	0
12	114	55	59	0
13	114	58	56	0
14	114	58	56	0
15	114	57	57	0
16	114	55	59	0
17	114	57	57	0
18	114	57	57	0
19	114	57	57	0
20	114	56	58	0
21	114	56	58	0
22	114	56	58	0
23	114	56	58	0
24	114	55	59	0
25	114	55	59	0
26	114	53	61	0
27	114	56	58	0
28	114	56	58	0
29	114	53	61	0
30	114	55	59	0
31	114	56	58	0
Total	3,648	1,808	1,840	0

Tabla XXXVIII. Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario B de 16 canales)

Número de SIT	Pkts Gen. Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Pkts MPEG Perdidos
0	219	99	99	0
1	219	99	99	0
2	219	78	78	0
3	219	96	96	0
4	219	99	99	0
5	219	105	105	0
6	219	108	108	0
7	219	102	102	0
8	219	96	96	0
9	219	96	96	0
10	219	93	93	0
11	219	96	96	0
12	219	96	96	0
13	219	105	105	0
14	219	96	96	0
15	219	87	87	0
16	219	93	93	0
17	219	96	96	0
18	219	93	93	0
19	219	96	96	0
20	219	93	93	0
21	219	90	90	0
22	219	99	99	0
23	219	93	93	0
24	219	102	102	0
25	219	96	96	0
26	219	93	93	0
27	219	96	96	0
28	219	99	99	0
29	219	96	96	0
30	219	99	99	0
31	219	90	90	0

Tabla XXXIX. Continuación de la tabla XXXVIII escenario B de 16 canales)

Número de SIT	Pkts Gen. Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Pkts MPEG Perdidos
32	219	93	93	0
33	219	93	93	0
34	219	84	84	0
35	219	102	102	0
36	219	90	90	0
37	219	99	99	0
38	219	96	96	0
39	219	96	96	0
40	219	78	78	0
41	219	102	102	0
42	219	84	84	0
43	219	93	93	0
44	219	90	90	0
45	219	99	99	0
46	219	84	84	0
47	219	105	105	0
48	219	96	96	0
49	219	99	99	0
50	219	87	87	0
51	219	93	93	0
52	219	87	87	0
53	219	90	90	0
54	219	90	90	0
55	219	84	84	0
56	219	90	90	0
57	219	93	93	0
58	219	0	0	0
59	219	0	0	0
60	219	0	0	0
61	219	0	0	0
62	219	0	0	0
63	219	0	0	0
Total	14,016	5,472	5,472	0

Tabla XL. Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario B de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
0	115	33	82	0
1	115	33	82	0
2	115	26	89	0
3	115	32	83	0
4	115	33	82	0
5	115	35	80	0
6	115	36	79	0
7	115	34	81	0
8	115	32	83	0
9	115	32	83	0
10	115	31	84	0
11	115	32	83	0
12	115	32	83	0
13	115	35	80	0
14	115	32	83	0
15	115	29	86	0
16	115	31	84	0
17	115	32	83	0
18	115	31	84	0
19	115	32	83	0
20	115	31	84	0
21	115	30	85	0
22	115	33	82	0
23	115	31	84	0
24	115	34	81	0
25	115	32	83	0
26	115	31	84	0
27	115	32	83	0
28	115	33	82	0
29	115	32	83	0
30	115	33	82	0
31	115	30	85	0

Tabla XLI. Continuación de la tabla XL (escenario B de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
32	115	31	84	0
33	115	31	84	0
34	115	28	87	0
35	115	34	81	0
36	115	30	85	0
37	115	33	82	0
38	115	32	83	0
39	115	32	83	0
40	115	26	89	0
41	115	34	81	0
42	115	28	87	0
43	115	31	84	0
44	115	30	85	0
45	115	33	82	0
46	115	28	87	0
47	115	35	80	0
48	115	32	83	0
49	115	33	82	0
50	115	29	86	0
51	115	31	84	0
52	115	29	86	0
53	115	30	85	0
54	115	30	85	0
55	115	28	87	0
56	115	30	85	0
57	115	31	84	0
58	115	0	115	0
59	115	0	115	0
60	115	0	115	0
61	115	0	115	0
62	115	0	115	0
63	115	0	115	0
Total	7,360	1,824	5,536	0

Tabla XLII. Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario C de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
0	240	0	0	0
1	240	99	99	0
2	240	93	93	0
3	240	102	102	0
4	240	96	96	0
5	240	96	96	0
6	240	102	102	0
7	240	96	96	0
8	240	96	96	0
9	240	93	93	0
10	240	99	99	0
11	240	93	93	0
12	240	105	105	0
13	240	96	96	0
14	240	96	96	0
15	240	93	93	0
16	240	105	105	0
17	240	84	84	0
18	240	99	99	0
19	240	87	87	0
20	240	99	99	0
21	240	0	0	0
22	240	108	108	0
23	240	99	99	0
24	240	96	96	0
25	240	99	99	0
26	240	90	90	0
27	240	108	108	0
28	240	87	87	0
29	240	90	90	0
30	240	99	99	0
31	240	90	90	0

Tabla XLIII. Continuación de la tabla XLII (escenario C de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
32	240	93	93	0
33	240	87	87	0
34	240	90	90	0
35	240	96	96	0
36	240	90	90	0
37	240	96	96	0
38	240	99	99	0
39	240	108	108	0
40	240	93	93	0
41	240	96	96	0
42	240	87	87	0
43	240	96	96	0
44	240	93	93	0
45	240	84	84	0
46	240	84	84	0
47	240	87	87	0
48	240	99	99	0
49	240	90	90	0
50	240	90	90	0
51	240	96	96	0
52	240	93	93	0
53	240	81	81	0
54	240	93	93	0
55	240	90	90	0
56	240	87	87	0
57	240	90	90	0
58	240	90	90	0
59	240	99	99	0
60	240	0	0	0
61	240	0	0	0
62	240	0	0	0
63	240	0	0	0

Tabla XLIV. Continuación de la tabla XLII (escenario C de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
64	240	0	0	0
65	240	0	0	0
66	240	0	0	0
67	240	0	0	0
68	240	0	0	0
69	240	0	0	0
70	240	0	0	0
71	240	0	0	0
72	240	0	0	0
73	240	0	0	0
74	240	0	0	0
75	240	0	0	0
76	240	0	0	0
77	240	0	0	0
78	240	0	0	0
79	240	0	0	0
80	240	0	0	0
81	240	0	0	0
82	240	0	0	0
83	240	0	0	0
84	240	0	0	0
85	240	0	0	0
86	240	0	0	0
87	240	0	0	0
88	240	0	0	0
89	240	0	0	0
90	240	0	0	0
91	240	0	0	0
92	240	0	0	0
93	240	0	0	0
94	240	0	0	0
95	240	0	0	0

Tabla XLV. Continuación de la tabla XLII (escenario C de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Transmitidos	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos
96	240	0	0	0
97	240	0	0	0
98	240	0	0	0
99	240	0	0	0
100	240	0	0	0
101	240	0	0	0
102	240	0	0	0
103	240	0	0	0
104	240	0	0	0
105	240	0	0	0
106	240	0	0	0
107	240	0	0	0
108	240	0	0	0
109	240	0	0	0
110	240	0	0	0
111	240	0	0	0
112	240	0	0	0
113	240	0	0	0
114	240	0	0	0
115	240	0	0	0
116	240	0	0	0
117	240	0	0	0
118	240	0	0	0
119	240	0	0	0
120	240	0	0	0
121	240	0	0	0
122	240	0	0	0
123	240	0	0	0
124	240	0	0	0
125	240	0	0	0
126	240	0	0	0
127	240	0	0	0
Total	30,720	5,472	5,472	0

Tabla XLVI. Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario C de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
0	115	0	115	0
1	115	33	82	0
2	115	31	84	0
3	115	34	81	0
4	115	32	83	0
5	115	32	83	0
6	115	34	81	0
7	115	32	83	0
8	115	32	83	0
9	115	31	84	0
10	115	33	82	0
11	115	31	84	0
12	115	35	80	0
13	115	32	83	0
14	115	32	83	0
15	115	31	84	0
16	115	35	80	0
17	115	28	87	0
18	115	33	82	0
19	115	29	86	0
20	115	33	82	0
21	115	0	115	0
22	115	36	79	0
23	115	33	82	0
24	115	32	83	0
25	115	33	82	0
26	115	30	85	0
27	115	36	79	0
28	115	29	86	0
29	115	30	85	0
30	115	33	82	0
31	115	30	85	0

Tabla XLVII. Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
32	115	31	84	0
33	115	29	86	0
34	115	30	85	0
35	115	32	83	0
36	115	30	85	0
37	115	32	83	0
38	115	33	82	0
39	115	36	79	0
40	115	31	84	0
41	115	32	83	0
42	115	29	86	0
43	115	32	83	0
44	115	31	84	0
45	115	28	87	0
46	115	28	87	0
47	115	29	86	0
48	115	33	82	0
49	115	30	85	0
50	115	30	85	0
51	115	32	83	0
52	115	31	84	0
53	115	27	88	0
54	115	31	84	0
55	115	30	85	0
56	115	29	86	0
57	115	30	85	0
58	115	30	85	0
59	115	33	82	0
60	115	0	115	0
61	115	0	115	0
62	115	0	115	0
63	115	0	115	0

Tabla XLVIII. Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
64	115	0	115	0
65	115	0	115	0
66	115	0	115	0
67	115	0	115	0
68	115	0	115	0
69	115	0	115	0
70	115	0	115	0
71	115	0	115	0
72	115	0	115	0
73	115	0	115	0
74	115	0	115	0
75	115	0	115	0
76	115	0	115	0
77	115	0	115	0
78	115	0	115	0
79	115	0	115	0
80	115	0	115	0
81	115	0	115	0
82	115	0	115	0
83	115	0	115	0
84	115	0	115	0
85	115	0	115	0
86	115	0	115	0
87	115	0	115	0
88	115	0	115	0
89	115	0	115	0
90	115	0	115	0
91	115	0	115	0
92	115	0	115	0
93	115	0	115	0
94	115	0	115	0
95	115	0	115	0

Tabla XLIX. Continuación de la tabla XLVI (escenario C de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Paquetes Perdidos
96	115	0	115	0
97	115	0	115	0
98	115	0	115	0
99	115	0	115	0
100	115	0	115	0
101	115	0	115	0
102	115	0	115	0
103	115	0	115	0
104	115	0	115	0
105	115	0	115	0
106	115	0	115	0
107	115	0	115	0
108	115	0	115	0
109	115	0	115	0
110	115	0	115	0
111	115	0	115	0
112	115	0	115	0
113	115	0	115	0
114	115	0	115	0
115	115	0	115	0
116	115	0	115	0
117	115	0	115	0
118	115	0	115	0
119	115	0	115	0
120	115	0	115	0
121	115	0	115	0
122	115	0	115	0
123	115	0	115	0
124	115	0	115	0
125	115	0	115	0
126	115	0	115	0
127	115	0	115	0
Total	14,720	1,824	12,896	0

Tabla L. Paquetes generados por las fuentes de las SITs, transmitidos y recibidos (escenario D de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes Fuente	Paquetes Recibidos	Paquetes Transmitidos	Pkts MPEG Perdidos
0	42,729	25,842	25,842	0
1	42,729	25,404	25,404	0
2	42,729	25,404	25,404	0
3	42,729	24,966	24,966	0
4	42,729	24,528	24,528	0
5	18,694	12,988	12,988	0
6	18,694	12,415	12,415	0
7	18,694	12,606	12,606	0
8	18,694	12,033	12,033	0
9	18,694	12,033	12,033	0
10	18,694	11,460	11,460	0
11	18,694	11,269	11,269	0
12	18,694	10,696	10,696	0
13	18,694	10,505	10,505	0
14	18,694	10,314	10,314	0
15	18,694	11,269	11,269	0
16	240	237	237	0
17	240	237	237	0
18	240	237	237	0
19	240	239	239	0
20	240	238	238	0
21	240	237	237	0
22	240	237	237	0
23	240	238	238	0
24	240	237	237	0
25	240	237	237	0
26	240	240	240	0
27	240	240	240	0
28	240	236	236	0
29	240	239	239	0
30	240	236	236	0
31	240	239	239	0
Total	423,119	257,540	257,540	0

Tabla LI. Paquetes CSC transmitidos por las SITs al NCC y sus respuestas (escenario D de 16 canales)

Número de SIT	Paquetes CSC Tx	Respuesta ACK	Respuesta NACK	Pkts MPEG Perdidos
0	77	59	18	0
1	78	58	20	0
2	78	58	20	0
3	79	57	22	0
4	80	56	24	0
5	98	68	30	0
6	99	65	34	0
7	98	66	32	0
8	99	63	36	0
9	99	63	36	0
10	100	60	40	0
11	100	59	41	0
12	102	56	46	0
13	102	55	47	0
14	102	54	48	0
15	100	59	41	0
16	88	79	9	0
17	93	79	14	0
18	89	79	10	0
19	94	80	14	0
20	95	80	15	0
21	89	79	10	0
22	98	80	18	0
23	96	80	16	0
24	90	79	11	0
25	94	79	15	0
26	93	80	13	0
27	92	80	12	0
28	93	80	13	0
29	96	80	16	0
30	92	79	13	0
31	94	80	14	0
Total	2,977	2,229	748	0