

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN PROGRAMA QUE PERMITA CALCULAR
LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN *FORWARD* EN ENLACES
SATELITALES UTILIZANDO EL ESTÁNDAR DVB-S2
(*DIGITAL VIDEO BROADCASTING BY SATELLITE 2*)**

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

DANNY FERNANDO GUERRA MINA

DIRECTOR: ING. CARLOS HERRERA

Quito, Septiembre 2007

DECLARACIÓN

Yo, DANNY FERNANDO GUERRA MINA, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

DANNY FERNANDO GUERRA MINA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por DANNY FERNANDO GUERRA MINA, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Herrera
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios eterno, mi soporte y fortaleza.

A mis padres, Fernando y Janeth, quienes han iluminado mi vida, y han sembrado en mi la constancia y el anhelo de superación.

Gracias por su apoyo incondicional.

Este triunfo les pertenece.

A mi esposa Adriana y a nuestra amada hija Diana, por su gran comprensión y paciencia, por acompañarme en el camino de mi vida, por ser la fuente de mi alegría, mi fortaleza y mi inspiración.

*A mi segunda madre, mi tía Elisa,
y a toda mi familia, por ser artífices de este logro.*

Agradezco a todos mis colegas, compañeros de sueños e ideales, mis grandes y eternos amigos, quienes me han brindado su amistad y apoyo en todo momento, cuya valiosa ayuda se ve reflejada en la culminación de esta carrera.

Un agradecimiento especial al Ing. Carlos Herrera por su acertada dirección en el desarrollo de este trabajo.

A todos ellos, de corazón, GRACIAS.

Danny

DEDICATORIA

Con profundo cariño dedico este trabajo a los seres más importantes de mi vida:

A mis padres, cuya luz de afecto enciende el fuego que guía mi camino.

A mi esposa Adriana, manantial de amor que embriaga mis sentidos.

Con especial homenaje, dedico este triunfo a mi amada hija Diana, la fuente de ternura que me inspira cada día.

A todos aquellos luchadores implacables con alma inmortal quienes tienen el coraje inmutable para seguir caminando, a los valientes que enfrentan sus temores, vencen y se superan.

Danny

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL	I
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN.....	XVII
PRESENTACIÓN.....	XVIII

CAPÍTULO 1

EL ESTÁNDAR DVB-S2

1.1	Introducción	1
1.2	Escenarios de aplicación para DVB-S2.....	4
1.2.1	Servicios de Radiodifusión (BS): Televisión Digital Multi-Programa (TV)/Televisión de Alta Definición (HDTV)	4
1.2.2	Servicios Interactivos (IS): Servicios Interactivos de Datos Incluyendo Acceso a Internet	5
1.2.3	Contribución a la TV Digital y Cadenas de Noticias por Satélite (DTVC/DSNG)	6
1.2.4	Distribución de Contenidos de Datos/Troncales y otras Aplicaciones Profesionales (PS)	7
1.3	Descripción del Sistema de Transmisión DVB-S2.....	7
1.3.1	Definición del Sistema DVB-S2	7
1.3.2	Configuraciones del Sistema DVB-S2	8
1.3.3	Arquitectura del Sistema DVB-S2	9
1.4	Especificaciones de los Subsistemas DVB-S2	9
1.4.1	Subsistema “Modo de Adaptación”	10
1.4.1.1	Interfaz de entrada	11
1.4.1.2	Sincronizador del flujo de entrada.....	11
1.4.1.3	Borrado de Paquetes Nulos (sólo para Flujos de Transporte y ACM)	12
1.4.1.4	Codificador CRC-8 (sólo para flujos paquetizados).....	12

1.4.1.5	Fusionador/Separador	14
1.4.1.6	Inserción de la Cabecera de Banda Base	15
1.4.1.6.1	MATYPE.....	16
1.4.1.6.2	UPL (<i>User Packet Length</i>)	17
1.4.1.6.3	DFL (<i>Data Field Length</i>)	17
1.4.1.6.4	SYNC	17
1.4.1.6.5	SYNCD.....	17
1.4.1.6.6	CRC-8.....	17
1.4.2	Subsistema “Adaptación de Flujo”.....	18
1.4.2.1	Relleno	19
1.4.2.2	Mezclado en banda base.....	19
1.4.3	Codificación FEC (<i>Forward Error Correction</i>)	19
1.4.3.1	Codificación externa BCH	21
1.4.3.2	Codificación interna LDPC	21
1.4.3.3	Entrelazado de bit (sólo para 8PSK, 16APSK y 32APSK).....	21
1.4.4	Mapeo de Bits en la Constelación	22
1.4.4.1	Mapeo de bits en la constelación QPSK	23
1.4.4.2	Mapeo de bits en la constelación 8PSK.....	23
1.4.4.3	Mapeo de bits en la constelación 16APSK	24
1.4.4.4	Mapeo de bits en 32APSK	25
1.4.5	Entramado de Capa Física (PL)	26
1.4.5.1	Inserción de la trama <i>Dummy</i> PLFRAME	28
1.4.5.2	Señalización de Capa Física (PL).....	28
1.4.5.2.1	Campo SOF	29
1.4.5.2.2	Campo MODCOD	29
1.4.5.2.3	Campo TYPE.....	29
1.4.5.3	Inserción de pilotos.....	29
1.4.5.4	Mezclado de capa física (PL)	30
1.4.6	Subsistema “Forma en Banda Base y Modulación en Cuadratura”	31
1.5	Rendimiento de DVB-S2 ante errores	32
	Referencias Bibliográficas para el Capítulo 1.....	34

CAPÍTULO 2

PARÁMETROS PRINCIPALES EN UN ENLACE *FORWARD* DVB-S2

2.1	Eficiencias de Encapsulamiento del Entramado DVB-S2.....	35
2.1.1	Eficiencia de Encapsulamiento	36
2.1.2	Arquitectura del Sistema DVB-S2	36
2.1.3	Eficiencia de encapsulamiento de la BBFRAME	37
2.1.3.1	Conformación de la BBFRAME	37
2.1.3.2	Cálculo de la eficiencia de encapsulamiento de la BBFRAME	39
2.1.4	Eficiencia de encapsulamiento de la FECFRAME	40
2.1.4.1	Conformación de la FECFRAME	40
2.1.4.2	Cálculo de la eficiencia de encapsulamiento de la FECFRAME	42
2.1.4.2.1	Ejemplo práctico del cálculo de la eficiencia de la FECFRAME.....	42
2.1.5	Tasa de código FEC.....	43
2.1.5.1	Codificación FEC	43
2.1.5.2	La codificación FEC en DVB-S2	44
2.1.5.3	Cálculo de la Tasa de código FEC.....	44
2.1.6	Eficiencia de modulación.....	45
2.1.6.1	Mapeo de bits en las constelaciones	45
2.1.6.2	Determinación de la eficiencia de modulación.....	46
2.1.7	Número de <i>slots</i> (S) en una XFECFRAME.....	47
2.1.7.1	Cálculo del número de <i>slots</i> en una XFECFRAME	48
2.1.8	Eficiencia de encapsulamiento de la PLFRAME.....	49
2.1.8.1	Conformación de la PLFRAME	49
2.1.8.2	Cálculo de la eficiencia de encapsulamiento de la PLFRAME.....	50
2.1.8.2.1	Cálculo de la eficiencia de la PLFRAME con pilotos	50
2.1.8.2.2	Cálculo de la eficiencia de la PLFRAME sin pilotos.....	51
2.1.9	Eficiencia espectral de la trama DVB-S2	51
2.1.9.1	Conformación de la señal DVB-S2	51
2.1.9.2	Cálculo de la eficiencia espectral de la trama DVB-S2	51
2.2	Parámetros de transmisión <i>forward</i> para la señal DVB-S2	52
2.2.1	Tasa de bits de la señal DVB-S2	53
2.2.1.1	Tasa de bits	53

2.2.1.2	Consideraciones sobre la Tasa de bits de la señal DVB-S2.....	53
2.2.1.3	Cálculo de la Tasa de bits de la señal DVB-S2.....	54
2.2.2	Encapsulamiento IP sobre DVB-S2.....	55
2.2.2.1	Encapsulamiento Multiprotocolo (MPE).....	55
2.2.2.2	Encapsulamiento Ultra Liviano (ULE).....	56
2.2.2.3	Protocolo para Encapsulamiento de Flujos Genéricos (GSE).....	57
2.2.2.4	Cálculo de K_{bch} utilizando MPE, ULE o GSE.....	59
2.2.3	Tasa de símbolos dentro del estándar DVB-S2.....	60
2.2.3.1	Tasa de símbolos.....	60
2.2.3.2	Consideraciones sobre la Tasa de símbolos en DVB-S2.....	61
2.2.3.3	Cálculo de la Tasa de símbolos para la señal DVB-S2.....	61
2.2.4	Ancho de banda del canal DVB-S2.....	62
2.2.4.1	Ancho de banda del canal.....	62
2.2.4.2	Consideraciones sobre el Ancho de banda en DVB-S2.....	62
2.2.4.3	Cálculo del Ancho de banda de la señal DVB-S2.....	63
2.2.5	Duración en tiempo de la trama de información DVB-S2.....	63
2.2.5.1	Cálculo de la duración temporal de la información de usuario en DVB-S2...	63
2.3	Parámetros de Calidad del Enlace DVB-S2.....	64
2.3.1	Factor de espaciamiento entre portadoras DVB-S2.....	65
2.3.1.1	Interferencia de canal adyacente.....	65
2.3.1.2	Criterios sobre el factor de espaciamiento entre portadoras en DVB-S2.....	65
2.3.1.3	Cálculo del Factor de espaciamiento entre portadoras.....	67
2.3.2	Relación E_s/N_0 ideal.....	68
2.3.2.1	Relación E_s/N_0	68
2.3.2.2	Consideraciones sobre la relación E_s/N_0 en DVB-S2.....	68
2.3.2.3	Cálculo de la relación E_s/N_0 en DVB-S2.....	70
2.3.3	Relación E_b/N_0 ideal.....	70
2.3.3.1	Relación E_b/N_0	70
2.3.3.2	Consideraciones sobre la relación E_b/N_0 en DVB-S2.....	71
2.3.3.3	Cálculo de la relación E_b/N_0 en DVB-S2.....	71
2.3.4	Relación C/N ideal.....	71
2.3.4.1	Relación C/N.....	71
2.3.4.2	Consideraciones sobre la relación C/N en DVB-S2.....	72

2.3.4.3	Cálculo de la relación C/N ideal en DVB-S2.....	74
2.3.5	Relación C/N ₀ ideal	76
2.3.5.1	Relación C/N ₀	76
2.3.5.2	Consideraciones sobre la relación C/N ₀ en DVB-S2.....	76
2.3.5.3	Cálculo de la relación C/N ₀ en DVB-S2	76
Referencias Bibliográficas para el Capítulo 2.....		78

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA

3.1	Requerimientos Técnicos para el Programa	79
3.1.1	Opciones DVB-S2	79
3.1.2	Restricciones para el programa	80
3.2	Estructura del Programa Implementado	81
3.2.1	La interfaz de usuario del programa.....	81
3.2.2	Características de los controles contenidos en la interfaz de usuario.....	84
3.2.2.1	Propiedades para los controles <i>combobox</i> , <i>textbox</i> y <i>label</i>	84
3.2.2.2	Propiedades para el formulario.....	85
3.2.2.3	Propiedades para el control <i>Timer</i>	86
3.2.3	Datos, ecuaciones y resultados en el programa.....	86
3.2.4	Diagrama de flujo del programa.....	88
3.2.4.1	Descripción de la secuencia de ejecución del programa.....	91
3.2.5	Funciones implementadas en el programa.....	93
3.2.5.1	Función para selección de K _{bch}	93
3.2.5.2	Función para calcular la eficiencia de la BBFRAME.....	96
3.2.5.3	Función para calcular la eficiencia de la FECFRAME.....	96
3.2.5.4	Función para calcular la tasa FEC	97
3.2.5.5	Función para calcular la eficiencia de modulación.....	97
3.2.5.6	Función para calcular el número de <i>slots</i> en una XFECFRAME.....	98
3.2.5.7	Función para calcular la eficiencia de la PLFRAME	98
3.2.5.8	Función para calcular la eficiencia espectral DVB-S2	99
3.2.5.9	Función para seleccionar el factor de <i>roll-off</i>	99

3.2.5.10	Función para calcular la tasa de símbolos	100
3.2.5.11	Función para calcular la tasa bits.....	100
3.2.5.12	Función para calcular el ancho de banda	101
3.2.5.13	Función para calcular la duración de la trama.....	101
3.2.5.14	Función para calcular el factor de espaciamento entre portadoras	102
3.2.5.15	Función para calcular la relación E_s/N_0	102
3.2.5.16	Función para calcular la relación E_b/N_0	103
3.2.5.17	Función para calcular la relación C/N	104
3.2.5.18	Función para calcular la relación C/N_0	104
3.2.5.19	Función para validar datos ingresados	105
3.3	Consideraciones Adicionales para el Programa	107
3.3.1	Ayuda para el programa implementado.....	107
3.3.1.1	Utilización de la ayuda general	108
	Referencias Bibliográficas para el Capítulo 3.....	109

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	El programa “DVB-S1+S2 Calculator V 3.8” de Newtec	111
4.1.1	Introducción	111
4.1.2	La interfaz de usuario del programa “DVB-S1+S2 Calculator V 3.8”.....	112
4.1.3	Ecuaciones y tablas utilizadas por Newtec para desarrollar el “DVB-S1+S2 Calculator” (NTC/2263/APN02).....	113
4.1.3.1	<i>Overhead</i> (OH) considerado por Newtec.....	113
4.1.3.2	Tasa de código considerado por Newtec.....	113
4.1.3.3	Factor de <i>roll-off</i> (α) considerado por Newtec	114
4.1.3.4	Tasa de bits de información considerada por Newtec	114
4.1.3.5	IBO y OBO considerado por Newtec	119
4.1.3.6	Cálculo de E_b/N_0 , E_s/N_0 , C/N dentro de Newtec.....	119
4.2	Semejanzas y diferencias entre el software “DVB-S1+S2 Calculator V 3.8”, y el programa “CALCULADOR DVB-S2”	120
4.2.1	Características del software “DVB-S1+S2 Calculator”.....	120

4.2.2	Características del programa “CALCULADOR DVB-S2”	121
4.2.3	Semejanzas entre el “CALCULADOR DVB-S2” y el “ <i>DVB-S1+S2 Calculator</i> ” desarrollado por Newtec	122
4.2.4	Diferencias entre el “CALCULADOR DVB-S2” y el “ <i>DVB-S1+S2 Calculator</i> ” desarrollado por Newtec.....	122
4.3	Pruebas y comparación de resultados obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”, el estándar DVB-S2, y el “<i>DVB-S1+S2 Calculator</i>” de Newtec	123
4.3.1	Comparaciones respecto a eficiencias de encapsulamiento DVB-S2	124
4.3.1.1	Eficiencia de la BBFRAME.....	126
4.3.1.2	Eficiencia de la FECFRAME	126
4.3.1.3	Tasa de código FEC	127
4.3.1.4	Eficiencia de modulación	128
4.3.1.5	Número de <i>slots</i> en una XFECFRAME.....	129
4.3.1.6	Eficiencia de la PLRAME.....	130
4.3.1.7	Eficiencia espectral DVB-S2.....	132
4.3.2	Comparaciones respecto a los parámetros de transmisión de la señal DVB-S2.	137
4.3.2.1	Tasa de bits DVB-S2.....	138
4.3.2.1.1	CASO DE ESTUDIO 1: Maximizar la tasa de bits si se utiliza parte del <i>transponder</i> [2].....	141
4.3.2.1.2	CASO DE ESTUDIO 2: Maximizar la tasa de bits IP si se utiliza 1 portadora en un <i>transponder</i> completo (casi saturado).....	144
4.3.2.2	Tasa de símbolos.....	147
4.3.2.3	Ancho de banda	148
4.3.2.3.1	CASO DE ESTUDIO 3: Minimizar el ancho de banda del <i>transponder</i> (= costo) para una tasa de bits requerida	148
4.3.2.4	Duración temporal de la trama DVB-S2.....	151
4.3.3	Comparaciones respecto a los parámetros de calidad del enlace DVB-S2	152
4.3.3.1	Factor de espaciamiento entre portadoras	152
4.3.3.2	Relación E_s/N_0	153
4.3.3.3	Relación E_b/N_0	154
4.3.3.4	Relación C/N	155
4.3.3.5	Relación C/N_0	156

4.3.3.5.1 CASO DE ESTUDIO 4: ¿Es posible enviar una portadora SDH de 155 [Mbps] sobre un <i>transponder</i> de 54 [MHz]?.....	157
Referencias Bibliográficas para el Capítulo 4.....	161

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	162
5.2 Recomendaciones.....	167

LISTA DE ACRÓNIMOS.....	169
--------------------------------	------------

ANEXO A

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA CALCULADOR DVB-S2

A.1 La interfaz de usuario del “CALCULADOR DVB-S2”.....	171
A.1.1 La sección “ENTRADAS DVB-S2”	173
A.1.1.1 Tipo de trama DVB-S2	173
A.1.1.2 Factor de <i>roll-off</i>	173
A.1.1.3 Modo de pilotos	174
A.1.1.4 MODCOD	174
A.1.1.5 Encapsulamiento IP.....	175
A.1.1.5.1 Encapsulamiento Multiprotocolo (MPE).....	175
A.1.1.5.2 Encapsulamiento Ultra Liviano (ULE).....	175
A.1.1.5.3 Protocolo para Encapsulamiento de Flujos Genéricos (GSE)	175
A.1.2 La sección “ENTRADAS GENÉRICAS”	175
A.1.2.1 <i>Transponder</i>	176
A.1.2.2 Elección de portadora.....	176
A.1.2.2.1 Tasa de bits	176
A.1.2.2.2 Tasa de símbolos	177
A.1.2.2.3 Ancho de banda del canal	177
A.1.3 La sección “CÁLCULOS”	177

A.1.3.1	La sección “EFICIENCIAS DE ENCAPSULAMIENTO”	178
A.1.3.1.1	Eficiencia de la BBFRAME.....	178
A.1.3.1.2	Eficiencia de la FECFRAME.....	178
A.1.3.1.3	Tasa de código FEC.....	178
A.1.3.1.4	Eficiencia de modulación.....	178
A.1.3.1.5	Número de <i>slots</i> por XFECFRAME	179
A.1.3.1.6	Eficiencia de la PLFRAME	179
A.1.3.1.7	Eficiencia espectral DVB-S2	179
A.1.3.2	La sección “PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL”.	179
A.1.3.2.1	Tasa de bits	180
A.1.3.2.2	Tasa de símbolos	180
A.1.3.2.3	Ancho de banda.....	180
A.1.3.2.4	Duración temporal de la trama.....	180
A.1.3.3	La sección “PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ENLACE”	180
A.1.3.3.1	Factor de espaciamiento entre portadoras.....	180
A.1.3.3.2	Relación E_s/N_0	181
A.1.3.3.3	Relación E_b/N_0	181
A.1.3.3.4	Relación C/N.....	181
A.1.3.3.5	Relación C/N_0	181
A.2	La ayuda del programa	181
A.2.1	Utilización de la ayuda general	182
A.2.2	Utilización de la ayuda <i>¿QUÉ ES ESTO?</i>	183
A.3	Características adicionales del programa.....	183
A.3.1	Propiedades para el formulario.....	183
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	184

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

EL ESTÁNDAR DVB-S2

Figura 1.1: Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2.	9
Figura 1.2: Implementación del codificador CRC-8.	13
Figura 1.3: Formato del flujo de salida del subsistema Modo de Adaptación.	15
Figura 1.4: Formato de la BBFRAME a la salida del bloque Adaptador de Flujo.	18
Figura 1.5: Formato de los datos antes del Entrelazador de bit.	20
Figura 1.6: Mapeo de bits en la constelación QPSK.	23
Figura 1.7: Mapeo de bits en la constelación 8PSK.	24
Figura 1.8: Constelación para la señal 16APSK.	24
Figura 1.9: Constelación para la señal 32APSK.	25
Figura 1.10: Formato de una “Trama de Capa Física” PLFRAME.	27
Figura 1.11: Mezclado a nivel de Capa Física PL.	31

CAPÍTULO 2

PARÁMETROS PRINCIPALES EN UN ENLACE *FORWARD* DVB-S2

Figura 2.1: Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2.	37
Figura 2.2: Conformación y estructura de una BBFRAME.	39
Figura 2.3: Formato de la FECFRAME antes del Entrelazador de bit.	40
Figura 2.4: Las 4 posibles constelaciones DVB-S2 antes del mezclado de capa física.	46
Figura 2.5: Particionamiento de la XFECFRAME en S slots de 90 símbolos para conformar una PLFRAME.	48
Figura 2.6: Formato de una “Trama de Capa Física” PLFRAME e inserción de pilotos.	49
Figura 2.7: Ejemplos de Tasas de bits R_U versus tasas de código LDPC, por unidad de tasa de símbolos R_S	54
Figura 2.8: Formato del paquete MPE.	56
Figura 2.9: Formato del paquete ULE.	57

Figura 2.10: Encapsulamiento GSE dentro del *stack* de protocolos DVB58

Figura 2.11: Degradación esperada causada por la Interferencia de canal adyacente para modos QPSK 3/4 y 16APSK 4/5 y asumiendo dos portadoras adyacentes usando la misma tasa de símbolos y el mismo factor de *roll-off*..66

Figura 2.12: C/N requerido versus eficiencia espectral. (C/N se refiere a la potencia promedio).72

Figura 2.13: C/N requerido versus eficiencia espectral para una ancho de banda constante $AB = R_S(1+\alpha)$ sobre un canal AWGN (demodulación ideal). (C/N se refiere a la potencia promedio).73

Figura 2.14: Ejemplos de R_U versus el C/N requerido por el satélite, en configuración de una sola portadora por transponder.74

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA

Figura 3.1: Interfaz de usuario del programa.82

Figura 3.2: Diagrama de flujo para el programa desarrollado.90

Figura 3.3: Diagrama de flujo de la función para seleccionar K_{bch}94

Figura 3.4: Estado de la lista MODCOD cuando se selecciona utilizar tramas cortas.....95

Figura 3.5: Estado de la lista MODCOD cuando se selecciona utilizar tramas normales..95

Figura 3.6: Diagrama de flujo de la función que calcula el eficiencia de la BBFRAME. .96

Figura 3.7: Diagrama de flujo de la función que calcula la eficiencia de la FECFRAME.96

Figura 3.8: Diagrama de flujo para la función que realiza el cálculo de la tasa FEC.97

Figura 3.9: Diagrama de flujo para la función que calcula la eficiencia de modulación. ..97

Figura 3.10: Diagrama de flujo para la función que calcula el número de slots contenidos dentro de una XFECFRAME.98

Figura 3.11: Diagrama de flujo de la función que calcula la eficiencia de la PLFRAME. 98

Figura 3.12: Diagrama de flujo para la función que calcula la eficiencia espectral.....99

Figura 3.13: Diagrama de flujo para la selección del factor de *roll-off*.....99

Figura 3.14: Diagrama de flujo de la función que permite calcular la tasa de símbolos..100

Figura 3.15: Diagrama de flujo para la función que calcula la tasa de bits.101

Figura 3.16: Diagrama de flujo para la función que calcula el ancho de banda.101

Figura 3.17: Diagrama de flujo para la función que permite calcular la duración temporal de la información de usuario.	102
Figura 3.18: Diagrama de flujo para la función que calcula el factor de espaciamento entre portadoras.	102
Figura 3.19: Diagrama de flujo para la función que permite obtener la relación E_s/N_0 ...	103
Figura 3.20: Diagrama de flujo para la función que calcula la relación E_b/N_0	104
Figura 3.21: Diagrama de flujo para la función que calcula la relación C/N	104
Figura 3.22: Diagrama de flujo para la función que calcula la relación C/N_0	105
Figura 3.23: Diagrama de flujo de la función que permite validar los datos ingresados.	106
Figura 3.24: Mensaje que solicita al usuario ingresar un valor adecuado.	107
Figura 3.25: Contenido del archivo de ayuda “CALCULADOR DVB-S2.HLP”	108

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Figura 4.1: Interfaz de Usuario del programa “ <i>DVB-S1+S2 Calculator V3.8</i> ”	112
Figura 4.2: Resultados ofrecidos por el “ <i>DVB-S1+S2 Calculator</i> ” ante el Caso de estudio 1: Maximizar la tasa de bits si se utiliza parte del transponder.....	143
Figura 4.3: Resultados ofrecidos por el “CALCULADOR DVB-S2” ante el Caso de estudio 1: Maximizar la tasa de bits si se utiliza parte del transponder.....	144
Figura 4.4: Resultados ofrecidos por el “ <i>DVB-S1+S2 Calculator</i> ” ante el Caso de estudio 2: Maximizar la tasa de bits IP si se utiliza 1 portadora en un transponder completo.....	146
Figura 4.5: Resultados ofrecidos por el “CALCULADOR DVB-S2” ante el Caso de estudio 2: Maximizar la tasa de bits IP si se utiliza 1 portadora en un transponder completo.....	147
Figura 4.6: Resultados ofrecidos por el “ <i>DVB-S1+S2 Calculator</i> ” ante el Caso de estudio 3: Minimizar el ancho de banda del transponder para una tasa de bits requerida.....	150
Figura 4.7: Resultados ofrecidos por el “CALCULADOR DVB-S2” ante el Caso de estudio 3: Minimizar el ancho de banda del transponder para una tasa de bits requerida.....	151

Figura 4.8: Resultados ofrecidos por el “ <i>DVB-SI+S2 Calculator</i> ” ante el Caso de estudio 4: ¿Es posible enviar una portadora SDH de 155 [Mbps] sobre un transponder de 54 [MHz]?	159
Figura 4.9: Resultados ofrecidos por el “ <i>CALCULADOR DVB-S2</i> ” ante el Caso de estudio 4: ¿Es posible enviar una portadora SDH de 155 [Mbps] sobre un transponder de 54 [MHz]?	160

ANEXO A

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA CALCULADOR DVB-S2

Figura A.1: Pantalla de presentación del programa “ <i>CALCULADOR DVB-S2</i> ”.	171
Figura A.2: Interfaz de usuario del <i>software</i> “ <i>CALCULADOR DVB-S2</i> ”	172
Figura A.3: Contenido del archivo de ayuda “ <i>CALCULADOR DVB-S2.HLP</i> ”	182

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

EL ESTÁNDAR DVB-S2

Tabla 1.1: Configuraciones del sistema DVB-S2 y áreas de aplicación.....	8
Tabla 1.2: Interfaces del sistema DVB-S2.....	11
Tabla 1.3: Mapeo del campo MATYPE-1.	16
Tabla 1.4: BBHEADER (características del modo de adaptación) y política de separación para servicios de radiodifusión con Flujo de Transporte simple.....	18
Tabla 1.5a: Parámetros de codificación para FECFRAME normal ($n_{ldpc} = 64800$).....	20
Tabla 1.5b: Parámetros de codificación para FECFRAME corta ($n_{ldpc} = 16200$).....	21
Tabla 1.6: Estructura del Entrelazador de bit.	22
Tabla 1.7: Relación de radios de constelación óptimos γ (canal lineal) para 16APSK.....	25
Tabla 1.8: Relación de radios de constelación óptimos γ_1 y γ_2 para 32APSK.....	26
Tabla 1.9: S = número de <i>slots</i> (M = 90 símbolos) por XFECFRAME.	27
Tabla 1.10: Codificación del MODCOD.	29
Tabla 1.11: Rendimiento E_S/N_0 para un PER = 10^{-7} , a un nivel Casi Libre de Errores.	33

CAPÍTULO 2

PARÁMETROS PRINCIPALES EN UN ENLACE *FORWARD* DVB-S2

Tabla 2.1a: Parámetros de codificación para FECFRAME normal ($n_{ldpc} = 64800$).....	41
Tabla 2.1b: Parámetros de codificación para FECFRAME corta ($n_{ldpc} = 16200$).....	41
Tabla 2.2: Eficiencias de modulación del sistema DVB-S2.	46
Tabla 2.3: S = número de <i>slots</i> (M = 90 símbolos) por XFECFRAME	48
Tabla 2.4: Tasa de bits [Mbps] para una tasa de símbolos de 7,2 [MBAudios].....	54
Tabla 2.5: <i>Overhead</i> para encapsulamiento IP.....	60
Tabla 2.6: Espaciamientos de portadora mínimo B_S/R_S típicos	66
Tabla 2.7: Rendimiento E_S/N_0 para un PER = 10^{-7} , a un nivel Casi Libre de Errores	69
Tabla 2.8: Lecturas de C/N y de tasa de bits obtenidos de la figura 2.13.....	76

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA

Tabla 3.1: Resumen de los parámetros DVB-S2 a calcularse y su forma de cálculo.....87

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Tabla 4.1: *Overhead* en caso de encapsulamiento IP 113

Tabla 4.2: Tasa de código global k/n..... 114

Tabla 4.3: Factor de *roll-off*..... 114

Tabla 4.4: Tasa de bits de información o eficiencia espectral para MPEG con 0% OH .. 116

Tabla 4.5: Tasa de bits de información o eficiencia espectral para GBS con 1.4% OH .. 117

Tabla 4.6: Tasa de bits de información o eficiencia espectral para ULE con 3.4% OH .. 117

Tabla 4.7: Tasa de bits de información o eficiencia espectral para MPE, 4.7% OH..... 118

Tabla 4.8: Valores de IBO y de OBO para una sola portadora por *transponder* 119

Tabla 4.9: Eficiencias de encapsulamiento calculadas por Newtec en su hoja
electrónica “*Rate calculations in DVB-S2*” para tramas normales.125

Tabla 4.10: Eficiencias de encapsulamiento calculadas por Newtec en su hoja
electrónica “*Rate calculations in DVB-S2*” para tramas cortas.....126

Tabla 4.11: Comparación entre resultados en la eficiencia de la FECFRAME obtenidos
por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales y
para tramas cortas.127

Tabla 4.12: Comparación entre resultados sobre la Tasa FEC obtenidos por Newtec y por
el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales y tramas cortas.128

Tabla 4.13: Comparación entre Eficiencias de modulación obtenidos por Newtec y por el
“CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales y para tramas cortas. ..129

Tabla 4.14: Comparación entre el número de slots en una XFECFRAME dados por el
Estándar DVB-S2 y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales
y cortas.130

Tabla 4.15: Comparación entre Eficiencias de la PLFRAME obtenidos por Newtec, y por
el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales.131

Tabla 4.16: Comparación entre Eficiencias de la PLFRAME obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas cortas.	132
Tabla 4.17: Comparación entre Eficiencias espectrales DVB-S2 proporcionados por el estándar DVB-S2 en la Figura 2.7, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.....	133
Tabla 4.18: Comparación entre Eficiencias espectrales DVB-S2 proporcionados por el estándar DVB-S2 en la Figura 2.12, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.....	134
Tabla 4.19: Comparación entre Eficiencias espectrales DVB-S2 obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales.	136
Tabla 4.20: Comparación entre Eficiencias espectrales DVB-S2 obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas cortas.	136
Tabla 4.21: Comparación entre Tasas de bits proporcionados por el estándar DVB-S2 en la Tabla 2.4, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.	138
Tabla 4.22: Comparación entre Tasas de bits proporcionados por el estándar DVB-S2 en la Tabla 2.8, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.	139
Tabla 4.23: Comparación entre Tasas de bits para Encapsulamiento IP MPE, ULE y GBS, proporcionados por Newtec en la Tablas 4.5, 4.6 y 4.7, y las obtenidas por el “CALCULADOR DVB-S2”, en tramas normales.	140
Tabla 4.24: Comparación entre Tasas de bits para Encapsulamiento IP MPE, ULE y GBS, proporcionados por Newtec en la Tablas 4.5, 4.6 y 4.7, y las obtenidas por el “CALCULADOR DVB-S2”, en tramas cortas.	141
Tabla 4.25: Comparación entre valores de Duración temporal de la trama obtenidos por Newtec, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.....	152
Tabla 4.26: Comparación entre valores de Factor de espaciamiento de portadoras obtenidos por Newtec, y los obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.	153
Tabla 4.27: Comparación entre valores de Relación E_b/N_0 obtenidos por Newtec, y los obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales.	154
Tabla 4.28: Comparación entre valores de Relación C/N obtenidos desde el estándar DVB-S2 en la Figura 2.13, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.....	156

RESUMEN

El presente Proyecto tiene por objetivo desarrollar un programa que permita calcular los parámetros de transmisión *forward* en enlaces satelitales utilizando el estándar DVB-S2 (*Digital Video Broadcasting by Satellite 2*).

Para cumplir con el objetivo planteado, se ha dividido este trabajo en los siguientes capítulos:

En el capítulo 1 se describe técnicamente al estándar DVB-S2, detallando la estructura del entramado, la codificación del canal y los sistemas de modulación que utiliza esta norma, identificando los requerimientos de rendimiento globales y los objetivos de calidad del servicio, de modo que el lector tenga una idea general acerca de las características de este sistema, y los posibles escenarios para su utilización.

En el capítulo 2 se presenta una descripción de cada uno de los parámetros de transmisión para un enlace *forward* DVB-S2 considerados para ser incluidos en este trabajo, y en cada caso, se presenta la forma de calcular dicho valor.

En el capítulo 3 se detalla todas aquellas características técnicas y de programación que debe cumplir el programa a ser implementado en este Proyecto, para su óptimo funcionamiento.

En el capítulo 4 se prueba el funcionamiento del programa desarrollado, y sus resultados son comparados con los del *software "DVB-S1+S2 Calculator"* desarrollado por la empresa NEWTEC, para verificar que su desempeño cumpla con los requerimientos funcionales dentro del marco normativo DVB-S2.

Finalmente, en el capítulo 5 se exponen las conclusiones obtenidas en el transcurso de la elaboración de este Proyecto, y se presentan algunas recomendaciones importantes.

PRESENTACIÓN

La transmisión digital a través de satélite ha evolucionado notablemente, debido a la aparición de nuevos esquemas de modulación y de protección de errores más eficaces.

El estándar DVB-S2 recoge e implementa las técnicas más avanzadas de transmisión por satélite, mejorando la generación anterior (DVB-S). Esta tecnología, en combinación con los nuevos esquemas de compresión avanzados, permite una mayor eficiencia y mejores prestaciones en los servicios brindados, con respecto a DVB-S.

Y puesto que la tendencia a nivel mundial es tener un modelo estándar para televisión digital con excelentes características, como lo plantea DVB-S2, el presente Proyecto y el programa incluido en él, han sido desarrollados con la idea de constituir una herramienta útil en el análisis y diseño de enlaces satelitales utilizando el normativo DVB-S2.

Para lograr este objetivo, se ha recopilado una cantidad de información valiosa, adicional al estándar, con la finalidad de que este trabajo esté elaborado de una forma más completa.

Por esta razón, la información detallada en este Proyecto está dirigido, principalmente, a aquellas personas en el campo de las telecomunicaciones que deseen conocer, en forma detallada, las características del sistema DVB-S2, y las prestaciones que puede brindar dicho sistema.

Además, todo este Proyecto puede ser considerado como una base para proyectos de investigación posteriores, puesto que la tecnología DVB-S2 es relativamente nueva, y en nuestro medio aún no se han explotado los servicios que se pueden obtener con este sistema.



CAPÍTULO 1

EL ESTÁNDAR DVB-S2

CAPITULO 1. EL ESTÁNDAR DVB-S2

1.1 INTRODUCCIÓN [1]

DVB-S (*Digital Video Broadcasting by Satellite*) [EN 300 421] es la norma de primera generación para la radiodifusión de video digital por satélite y fue introducido como estándar en 1994. El estándar DVB-S especifica modulación QPSK, codificación de canal *Reed-Solomon*, y actualmente es usado por la mayoría de operadores mundiales de satélite para servicios de televisión y radiodifusión de datos.

DVB-DSNG (*Digital Video Broadcasting - Digital Satellite News Gathering*) [EN 301 210] se introdujo en 1997 y especifica, adicionalmente al formato DVB-S, el uso de modulación 8PSK y 16QAM para cadenas de noticias por satélite y servicios de contribución.

Sin embargo, desde entonces, la tecnología de transmisión digital satelital ha evolucionado hasta lograr los siguientes aspectos:

- Nuevos esquemas de codificación de canal, combinados con modulaciones de mayor orden, prometiendo alternativas más potentes a los esquemas de modulación y codificación adoptados en los estándares DVB-S/DVB-DSNG. El resultado es una mayor capacidad en el ancho de banda de un *transponder* dado y en el PIRE¹ transmitido del orden del 30%, dependiendo del tipo de modulación y la tasa de código FEC que se utilice.
- Se puede aplicar Modulación y Codificación Variable (VCM: *Variable Coding and Modulation*) para proveer diferentes niveles de protección contra errores a diferentes servicios (por ejemplo: Televisión de

¹ **PIRE** (EIRP en inglés): Potencia isotropa radiada equivalente (o potencia isotropa radiada efectiva): Es el resultado de combinar la potencia de un transmisor o *transponder* entregada a una antena y la ganancia de ésta en una dirección dada. [5]

definición estándar (SDTV) y Televisión de alta definición (HDTV), audio, multimedia).

- En el caso de aplicaciones interactivas y punto a punto, se puede combinar la funcionalidad VCM con el uso de canales de retorno, para lograr Modulación y Codificación Adaptiva (ACM: *Adaptive Coding and Modulation*). Esta técnica provee una protección más exacta del canal, y una adaptación dinámica del enlace a las condiciones de propagación para cada receptor individual, con la finalidad de reducir pérdidas de información cuando la calidad del enlace es baja. Sistemas ACM logran ganancias en la capacidad de transmisión (tasa de bits) del satélite entre el 100% - 200%.

Adicionalmente, se puede extender la disponibilidad del servicio, comparado con sistemas de protección constante (CCM: *Constant Coding and Modulation*) tales como DVB-S o DVB-DSNG. Dichas ganancias se logran informando la condición del canal (por ejemplo: reportando la relación Portadora a Ruido más Interferencia, C/N+I) a la estación satelital *up-link* de cada terminal receptor, ya sea por vía satelital o por canales de retorno terrestre.

- DVB-S (*Digital Video Broadcasting by Satellite*) y DVB-DSNG (*Digital Video Broadcasting - Digital Satellite News Gathering*) están enfocados estrictamente en un único formato de datos, el Flujo de Transporte² MPEG (MPEG-2 TS) [ISO/IEC 13818-1]. Ahora es posible cubrir otros formatos de datos de entrada (como Flujos de Transporte múltiples, o formatos de datos genéricos) sin un aumento de complejidad significativa.

² **FLUJO DE TRANSPORTE (TS):** Es un método de transmisión a nivel 2 de MPEG utilizando paquetes TS. El paquete TS es una unidad de datos de longitud fija de 188 bytes enviados sobre un Canal Lógico TS (Multiplex TS). Cada paquete TS transporta una cabecera de 4 bytes, más un *overhead* opcional que incluye un Campo de Adaptación. Esta cabecera tiene detalles de encriptación, e información de marcas de tiempo para sincronizar un conjunto de Canales Lógicos TS relacionados. [6]

En el presente Proyecto se define un sistema de modulación y de codificación de canal de “segunda generación” (denotado “Sistema” o “DVB-S2”) para hacer uso de las mejoras mencionadas anteriormente.

DVB-S2 (*Digital Video Broadcasting by Satellite 2*) [EN 302 307] es un estándar sencillo, muy flexible, que cubre una variedad de aplicaciones por satélite, como se describe a continuación. DVB-S2 está caracterizado por:

- Un adaptador de flujos de entrada muy flexible, adecuado para operar con flujos de entrada simples o múltiples de varios formatos (paquetizados o continuos).
- Un potente sistema de Corrección de Errores en Recepción (FEC - *Forward Error Correction*), basado en códigos LDPC (Chequeo de Paridad de Baja Densidad – *Low Density Parity Check*) concatenado con códigos BCH, lo que permite una operación Casi Libre de Errores (QEF: *Quasi-Error-Free*) alrededor de 0,7[dB] hasta 1[dB] del límite de Shannon³, dependiendo del modo de transmisión (canal con ruido Gaussiano blanco aditivo (AWGN⁴), modulación forzada al límite de Shannon).
- Un amplio rango de tasas de código FEC, desde 1/4 hasta 9/10.
- Cuatro tipos de modulación, variando en eficiencias de modulación desde 2 bits/símbolo hasta 5 bits/símbolo.
- Tres formas de señal, obtenidas al aplicar a la señal un filtro de Nyquist con factores de *roll-off* de 0.35, 0.25, y 0.20.

³ El límite en la capacidad del canal de Shannon establece que existe un límite para la tasa de información libre de error con la que se puede transmitir, sobre un canal dado con ancho de banda específico. [7]

⁴ Un canal con ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN: *Additive White Gaussian Noise*) es un modelo en el que el único deterioro es la adición lineal de ruido blanco con una densidad espectral constante (expresada en W/Hz) y una amplitud con distribución gaussiana. [13]

- Una funcionalidad de Codificación y Modulación Adaptiva (ACM), la cual optimiza, trama por trama, la codificación del canal y la modulación con la que se transmite.

En el presente Proyecto, acerca del sistema DVB-S2, se especifica lo siguiente:

- Una descripción general del sistema. Para esto, se extrae los datos y valores más importantes desde el estándar DVB-S2 [EN 302 307], útiles para la elaboración de este Proyecto.
- La señal modulada digitalmente para permitir compatibilidad entre equipos diseñados por diferentes fabricantes. Esto se logra describiendo en detalle los principios del procesamiento de la señal en el lado del modulador, mientras que el procesamiento en el lado receptor queda abierto a diferentes soluciones de implementación.
- Los requerimientos de rendimiento globales y las características del sistema DVB-S2, con la finalidad de lograr el nivel de calidad de servicio deseado.

1.2 ESCENARIOS DE APLICACIÓN PARA DVB-S2 [1]

El sistema DVB-S2 ha sido optimizado para las siguientes aplicaciones satelitales de banda ancha:

1.2.1 SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN (BS): TELEVISIÓN DIGITAL MULTI-PROGRAMA (TV)/TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN (HDTV)

Los servicios de radiodifusión deben ser usados para distribución primaria y secundaria en las bandas de Servicio por Satélite Fijo (FSS: *Fixed Satellite*

Service) y en la banda de Servicio de Radiodifusión por Satélite (BSS: *Broadcast Satellite Service*).

Los servicios de radiodifusión (BS: *Broadcast Service*) son transportados en el formato de Flujo de Transporte MPEG. Cuando se trabaja con flujos de transporte múltiples, se puede aplicar VCM, para brindar un nivel diferenciado de protección contra errores a diferentes servicios (TV, HDTV, audio, multimedia).

Para servicios de radiodifusión, DVB-S2 dispone de dos modos:

- NBC-BS (Servicios de Radiodifusión No Retrocompatibles), en este modo, DVB-S2 no es compatible con el estándar DVB-S [EN 300 421].
- BC-BS (Servicios de Radiodifusión Retrocompatibles), compatible con el estándar anterior DVB-S [EN 300 421].

De hecho, con un gran número receptores DVB-S ya instalados, se puede requerir compatibilidad con DVB-S por un período de tiempo, en el que los receptores viejos continúen captando la misma capacidad de radiodifusión de antes, mientras que los nuevos receptores DVB-S2 puedan recibir capacidad adicional de radiodifusión. Cuando la población completa haya migrado sus receptores a DVB-S2, la señal transmitida puede ser modificada al modo no retrocompatible, aprovechando así el potencial completo de DVB-S2. Para facilitar la recepción de servicios DVB-S con receptores DVB-S2, es muy recomendable la implementación de chips DVB-S en los equipos DVB-S2.

1.2.2 SERVICIOS INTERACTIVOS (IS): SERVICIOS INTERACTIVOS DE DATOS INCLUYENDO ACCESO A INTERNET

DVB-S2 está proyectado para proveer servicios interactivos a consumidores con Receptor Decodificador Integrado (IRD: *Integrated Receiver Decoder*), y a computadores personales, donde el trayecto de envío de DVB-S2 reemplaza al actual estándar DVB-S.

Por tratarse de servicios interactivos, debe existir una canal de retorno. El trayecto de retorno puede implementarse usando varios sistemas interactivos DVB, como DVB-RCS [EN 301 790], DVB-RCP [ETS 300 801], DVB-RCG [EN 301 195], DVB-RCC [ES 200 800].

Los datos son transportados (de forma simple o múltiple) en formato de Flujo de Transporte, o en formato de Flujos Genéricos⁵ (simples o múltiples).

DVB-S2 puede proveer Modulación y Codificación Constante, o Modulación y Codificación Adaptiva, donde cada estación receptora satelital individual controla el modo de protección del tráfico direccionado a éstas.

1.2.3 CONTRIBUCIÓN⁶ A LA TV DIGITAL Y CADENAS DE NOTICIAS POR SATÉLITE (DTVC/DSNG)

Las aplicaciones de contribución a la televisión digital por satélite consisten en transmisiones punto a punto o punto-multipunto, conectando estaciones *uplink* (fijas o transportables) y estaciones receptoras. No están hechas para que el público en general pueda receptorlas.

De acuerdo a la Recomendación de la UIT-R SNG.770-1, SGN (*Satellite News Gathering*) se define como “Transmisiones temporales y ocasionales con noticias de televisión cortas y audio para propósitos de radiodifusión, usando estaciones terrenas de *uplink* muy portátiles y transportables...”. [10]

Para estos servicios, los datos se transportan de forma simple (o múltiple) en el formato de Flujo de Transporte MPEG. DVB-S2 puede proveer Modulación y Codificación Constante, o Modulación y Codificación Adaptiva.

⁵ **FLUJO GENÉRICO:** Un nuevo tipo de flujo de entrada en DVB-S2. Los flujos genéricos pueden ser utilizados en modo Paquetizado con paquetes de longitud fija, o en modo Continuo que es un flujo de bytes sin alguna estructura específica o límites para el tamaño del flujo. [8]

⁶ **CONTRIBUCIÓN:** Vía de acceso de los canales que forman parte de una oferta a un centro de distribución digital. Dicha contribución puede realizarse por fibra óptica, satélite, radioenlaces y otros. [9]

1.2.4 DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDOS DE DATOS/TRONCALES Y OTRAS APLICACIONES PROFESIONALES (PS)

Estos servicios son principalmente punto a punto o punto-multipunto, incluyendo servicios interactivos a usuarios terminales profesionales, en el que los servicios son re-distribuidos sobre otros medios.

Los datos pueden transportarse (de forma simple o múltiple) en formato de Flujos Genéricos.

El sistema DVB-S2 puede proveer Modulación y Codificación Constante, Modulación y Codificación Variable o Modulación y Codificación Adaptiva.

En cualquier caso, interactivo o no interactivo, el presente Proyecto sólo está orientado a describir al canal de radiodifusión *forward*.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DVB-S2 [1]

1.3.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA DVB-S2

El sistema DVB-S2 se define como el bloque funcional de equipo que realiza la adaptación de las señales digitales en banda base, desde la salida de multiplexor(es) de Flujos de Transporte MPEG simples (o múltiples), o desde la salida de una(s) fuente(s) de datos genéricos simples (o múltiples), a las características del canal satelital.

Dentro del sistema DVB-S2, los datos pueden ser transportados en formato de Flujos de Transporte, o en formato de Flujos Genéricos.

Si la señal recibida está por debajo del umbral de $C/N+I$ (relación Portadora a Ruido más Interferencia), la técnica de Corrección de Errores en Recepción (FEC: *Forward Error Correction*), adoptada por el Sistema DVB-S2, está diseñada para proveer el objetivo de calidad "Casi libre de errores" (QEF: *Quasi Error Free*).

La definición de QEF adoptada por DVB-S2 es “menos de un evento de error no corregido por hora de transmisión a una tasa de 5Mbps en un decodificador de servicios de TV simple”, lo que aproximadamente corresponde a una Relación de Paquetes Errados de Flujo de Transporte PER $< 10^{-7}$ antes del demultiplexor MPEG-2.

1.3.2 CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DVB-S2

La Tabla 1.1 asocia las configuraciones del Sistema DVB-S2 con las áreas de aplicación.

Configuraciones del sistema		Servicios de radiodifusión	Servicios interactivos	DSGN	Servicios profesionales
QPSK	1/4, 1/3, 2/5	O	N	N	N
	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	N	N	N	N
8PSK	3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10	N	N	N	N
16APSK	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	O	N	N	N
32APSK	3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	O	N	N	N
CCM		N	N (ver nota 1)	N	N
VCM		O	O	O	O
ACM		NA	N (ver nota 2)	O	O
FECFRAME (normal)	64800 bits	N	N	N	N
FECFRAME (corta)	16200 bits	NA	N	O	N
Flujo de Transporte Simple		N	N (ver nota 1)	N	N
Flujos de Transporte Múltiple		O	O (ver nota 2)	O	O
Flujo Genérico Simple		NA	O (ver nota 2)	NA	O
Flujos Genéricos Múltiples		NA	O (ver nota 2)	NA	O
Roll-off 0,35, 0,25 y 0,20		N	N	N	N
Sincronizador de Flujos de Entrada		NA excepto (ver nota 3)	O (ver nota 3)	O (ver nota 3)	O (ver nota 3)
Borrado de Paquetes Nulos		NA	O (ver nota 3)	O (ver nota 3)	O (ver nota 3)
Inserción de Tramas <i>Dummy</i>		NA excepto (ver nota 3)	N	N	N

N = Normativo, O = Opcional, NA = No aplicable

NOTA 1: Receptores de sistemas interactivos deberán implementar CCM y Flujo de Transporte Simple.

NOTA 2: Receptores de sistemas interactivos deberán implementar ACM al menos en una de las dos opciones: Flujos de Transporte Múltiple o Flujos Genéricos (entrada simple/múltiple).

NOTA 3: Normativo para flujo(s) de entrada TS simple/múltiple combinado con ACM/VCM o para flujos de entrada TS múltiples combinados con CCM.

Tabla 1.1: Configuraciones del sistema DVB-S2 y áreas de aplicación. [1]

De acuerdo a la Tabla 1.1, al menos los subsistemas “Normativos” y sus funcionalidades deben ser implementados en el equipo transmisor y receptor para cumplir con DVB-S2.

Dentro del estándar DVB-S2, un número de configuraciones y mecanismos son definidos como “Opcional”. Configuraciones y mecanismos explícitamente

indicados como “Opcional”, para un área de aplicación dada, no necesitan ser implementados en el equipo. Sin embargo, cuando se implementa un modo o mecanismo “Opcional”, éste deberá cumplir con las especificaciones que se dan en el estándar DVB-S2.

1.3.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DVB-S2

La Figura 1.1 presenta el diagrama de bloques funcional del Sistema DVB-S2.

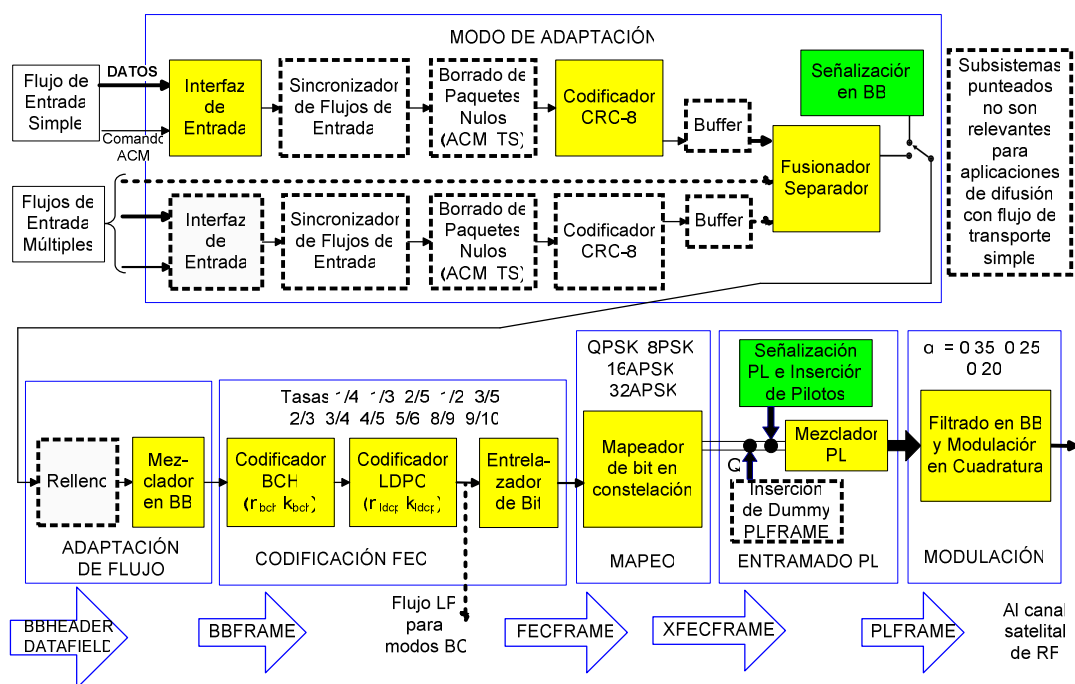


Figura 1.1: Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2. [1]

1.4 ESPECIFICACIONES DE LOS SUBSISTEMAS DVB-S2 [1]

La descripción de los subsistemas DVB-S2 está organizada de acuerdo al diagrama de bloques funcionales de la Figura 1.1.

DVB-S2 permite operar con varios formatos de flujos de entrada, incrementando así la flexibilidad del sistema para ajustarse a las necesidades del

servicio a utilizar o del canal satelital. Las posibles secuencias de entradas al sistema DVB-S2 son:

- *Flujos de Transporte (TS: Transport Streams)* simples o múltiples. Un Flujo de Transporte está caracterizado por Paquetes de Usuario⁷ (UP: *User Packets*) de longitud constante UPL = 188 x 8 bits (un paquete MPEG), dentro del cual, el primer byte es el byte *Sync* (47_{HEX}).
- *Flujos Genéricos* simples o múltiples (paquetizados o continuos). Un Flujo Genérico está caracterizado por un flujo de bits continuo (UPL = 0_D), o un flujo de Paquetes de Usuario con una longitud constante de UPL bits.

1.4.1 SUBSISTEMA “MODO DE ADAPTACIÓN”

El subsistema Modo de adaptación depende de la aplicación. Este subsistema realiza las siguientes funciones:

- Proporciona la Interfaz para los flujos de entrada.
- Realiza una sincronización de flujos de entrada (opcional), para garantizar una tasa de bits y retardos de transmisión constantes.
- Borrado de paquetes nulos MPEG, introducidos por el multiplexor de Flujos de Transporte (sólo para Flujos de Transporte y para ACM),
- Codificación CRC-8 para detección de errores a nivel de paquetes en el receptor (sólo para flujos de entrada paquetizados).
- Unión de flujos de entrada (sólo para modo de Flujos de Entrada Múltiples).
- Particionamiento de los flujos de entrada en DATA FIELDS.
- Finalmente, se inserta señalización en banda base, para notificar al receptor del Modo de Adaptación elegido.

⁷ **PAQUETE DE USUARIO (UP):** Corresponden a paquetes de datos, tanto de flujos MPEG-TS, como Flujos Genéricos. Tienen una longitud de UPL bits. [2]

Luego de procesar los paquetes de usuario, la secuencia de salida del subsistema Modo de Adaptación es un BBHEADER (80 bits) seguido por un DATA FIELD.

1.4.1.1 Interfaz de entrada

El Sistema DVB-S2 debe ser delimitado por las interfaces dadas en la Tabla 1.2.

Localización	Interfaz	Tipo de interfaz	Conexión	Multiplicidad
Estación transmisora	Entrada	MPEG [1,4] Flujo de Transporte (ver nota 1)	Desde el multiplexor MPEG	Simple o múltiple
Estación transmisora	Entrada (ver nota 2)	Flujo Genérico	Desde las fuentes de datos	Simple o múltiple
Estación transmisora	Entrada (ver nota 3)	Comando ACM	Desde la unidad de control de tasa	Simple
Estación transmisora	Salida	70/140 MHz IF, banda L IF, RF (ver nota 4)	A los dispositivos de RF	Simple o múltiple
NOTA 1: Por razones de interoperabilidad, se recomienda el Interfaz Serial Asíncrono (ASI: <i>Asynchronous Serial Interface</i>) con un formato de 188 bytes, en modo de datos a ráfagas (bytes regularmente espaciados en el tiempo). NOTA 2: Para servicios de datos. NOTA 3: Sólo para ACM. Permite configuración externa del modo de transmisión ACM. NOTA 4: IF debe ser más grande que dos veces la tasa de símbolos.				

Tabla 1.2: Interfaces del sistema DVB-S2. [1]

El subsistema Interfaz de Entrada convierte el flujo de entrada al formato de bit lógico manejado por DVB-S2. El primer bit recibido es señalado como el Bit Más Significativo (MSB: *Most Significant Bit*).

Cuando se requiera emplear Modulación y Codificación Adaptiva, debe utilizarse la entrada de señalización "Comando ACM", la cual permite el establecimiento, por una "unidad de control de modo de transmisión" externa, de los parámetros de transmisión a ser adoptados por DVB-S2 para cada trama.

1.4.1.2 Sincronizador del flujo de entrada

El procesamiento de los datos en el modulador DVB-S2 puede producir retardos de transmisión variables en la información de usuario. El subsistema

sincronizador de flujos de entrada provee mecanismos adecuados para garantizar una Tasa de Bits Constante (CBR: *Constant-Bit-Rate*), y retardos de transmisión extremo a extremo constantes para flujos de entrada paquetizados (por ejemplo, para Flujos de Transporte).

1.4.1.3 Borrado de Paquetes Nulos (sólo para Flujos de Transporte y ACM)

Un paquete nulo es un paquete MPEG que no contienen información alguna, y cuya sección "Identificador de Paquete, PID" tiene un valor 0x1FFF (8191_D). Los paquetes nulos son insertados para rellenar un Flujo de Transporte, con la finalidad de obtener una tasa de bits constante. [3]

Para modos ACM y para datos de entrada en formato de Flujos de Transporte, se identifican paquetes nulos MPEG y se los remueve de la trama de información. Esto permite reducir la tasa de información e incrementar la protección de error en el modulador.

El proceso se lleva a cabo de forma que los paquetes nulos removidos puedan ser re-insertados en el receptor, en el lugar exacto donde estaban originalmente.

1.4.1.4 Codificador CRC-8 (sólo para flujos paquetizados)

Si la longitud del Paquete de Usuario es $UPL = 0_D$ (es decir, un Flujo Genérico Continuo), este subsistema pasará adelante el flujo de entrada sin modificaciones.

Si $UPL \neq 0_D$, el flujo de entrada es una secuencia de Paquetes de Usuario con una longitud UPL bits, precedido por un byte *sync*.

En este último caso, la parte útil del Paquete de Usuario (UP) (excluyendo el byte *sync*) será procesado por un codificador CRC sistemático de 8 bits. El polinomio generador para el codificador CRC es:

$$g(X) = (X^5 + X^4 + X^3 + X^2 + 1)(X^2 + X + 1)(X + 1) = X^8 + X^7 + X^6 + X^4 + X^2 + 1$$

La salida del codificador CRC será calculada por:

$$\text{CRC} = \text{residuo } [X^8 u(X) / g(X)]$$

donde $u(X)$ es la secuencia de entrada (UPL menos 8 bits) a ser codificada sistemáticamente.

En la Figura 1.2 se indica una posible implementación del generador CRC por medio de un registro de desplazamiento (Nota: el registro deberá ser inicializado a todos ceros antes de que el primer bit de cada secuencia entre al circuito).

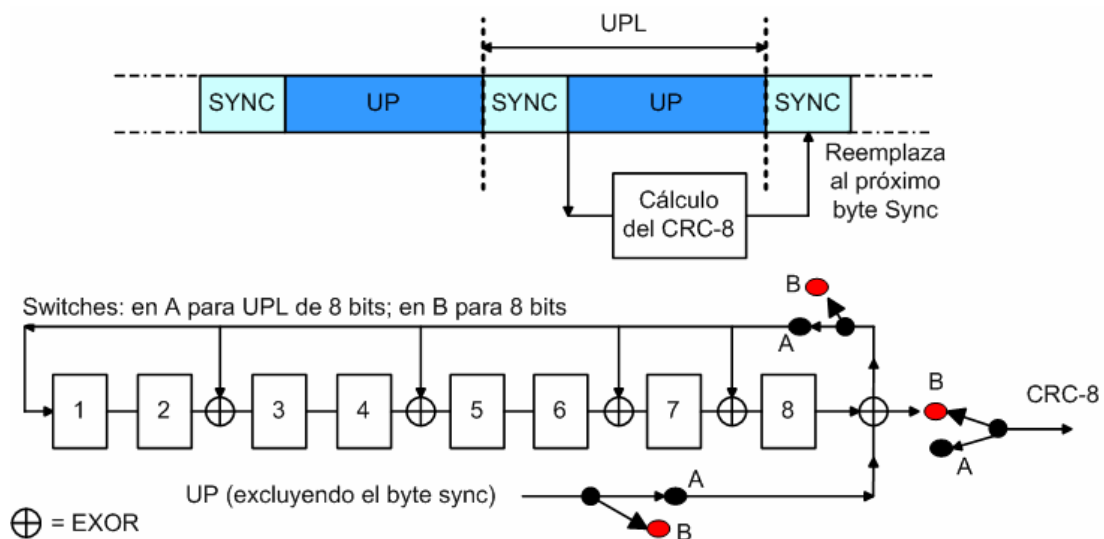


Figura 1.2: Implementación del codificador CRC-8. [1]

Como se observa en la Figura 1.2, el CRC-8 calculado reemplaza al byte *sync* del próximo paquete de usuario.

El byte *sync* se copia en el campo SYNC del BBHEADER para transmisión.

1.4.1.5 Fusionador/Separador

De acuerdo a la Figura 1.3, los flujos de entrada al Fusionador/Separador son organizados como Flujos Genéricos Continuos, o como Flujos de Entrada Empaquetados. Los flujos de entrada son almacenados hasta que el Fusionador/Separador pueda leerlos.

El Separador lee (es decir, separa) desde su entrada (si es un flujo de entrada simple), o desde una de sus entradas (para flujos de entrada múltiples), un DATA FIELD, compuesto de DFL bits (Longitud de Campo de Datos – *Data Field Length*), donde:

$$K_{\text{bch}} - (10 \cdot 8) \geq \text{DFL} \geq 0$$

K_{bch} es la longitud del bloque no codificado con BCH, el cual depende de la longitud de la FECFRAME (normal o corta) y de la tasa de codificación, y está determinado por los valores especificados en la Tabla 1.5a y 1.5b, considerando que se dedican 80 bits para el BBHEADER.

Un DATA FIELD se compone de bits tomados de un solo puerto de entrada, los cuales se transmiten en un modo de transmisión homogéneo (es decir, con la misma codificación FEC y modulación).

El Fusionador concentra en una sola salida, los diferentes campos de datos leídos y separados desde una de sus entradas. En presencia de un flujo simple, sólo se aplica la funcionalidad de separación.

Cuando un DATA FIELD no está disponible a la demanda del Fusionador/Separador en cualquier puerto de entrada, el subsistema de Entramado de Capa Física genera y transmite una *DUMMY PLFRAME*.

Después de que se reemplaza el byte *sync* por el CRC-8, es necesario proveer al receptor un método para recuperar la sincronización del Paquete de Usuario UP (cuando el receptor ya está sincronizado con el DATA FIELD).

Por lo tanto, el Fusionador/Separador detecta el número el número de bits que hay desde el inicio del DATA FIELD hasta el inicio del primer UP completo (el primer bit del CRC-8) (Figura 1.3), y lo guarda en el campo SYNCNCD (esto es, Distancia SYNC) de la Cabecera de Banda Base. Por ejemplo, SYNCNCD = 0_D significa que el primer paquete de usuario está alineado con el DATA FIELD.

La Figura 1.3 indica el proceso de separación y formato del flujo de salida del subsistema Modo de Adaptación.

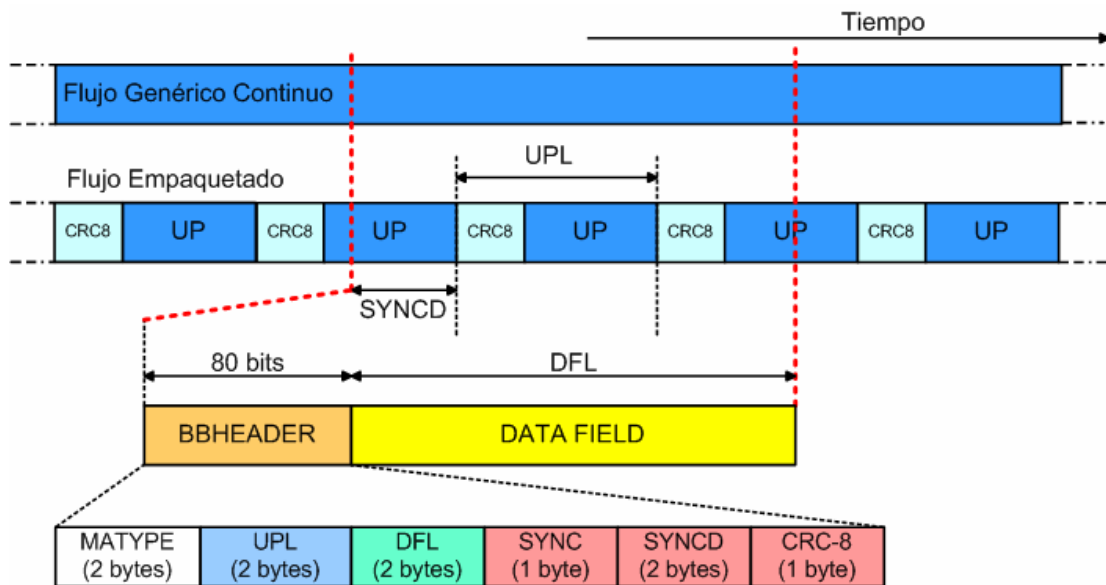


Figura 1.3: Formato del flujo de salida del subsistema MODO DE ADAPTACIÓN. [1]

1.4.1.6 Inserción de la Cabecera de Banda Base

Una Cabecera de Banda Base (BBHEADER) con una longitud fija de 10 bytes se inserta delante del DATA FIELD, para describir su formato.

El BBHEADER está conformado por los siguientes campos (Figura 1.3):

1.4.1.6.1 MATYPE

Consta de 2 bytes y describe el formato de flujo de entrada, el tipo de Modo de Adaptación y el factor de *roll-off*, como se indica en la Tabla 1.3.

Primer byte (MATYPE-1):

- Campo TS/GS (2 bits): Especifica entrada de Flujos de Transporte o entrada de Flujos Genéricos (paquetizados o continuos).
- Campo SIS/MIS (1 bit): Especifica Flujo de Entrada Simple o Flujos de Entrada Múltiples.
- Campo CCM/ACM (1 bit): Especifica Modulación y Codificación Constante o Modulación y Codificación Adaptiva (VCM es señalada como ACM).
- ISSYI (1 bit), es el Indicador de Sincronización de Flujo de Entrada: Si ISSYI = 1 = activo, el campo ISSYI se inserta después de los UPs.
- NPD (1 bit): Especifica borrado de paquetes nulos activo/no activo.
- RO (2 bits): Especifica el factor de *roll-off* de transmisión (α).

TS/GS	SIS/MIS	CCM/ACM	ISSYI	NPD	RO
11 = Transporte 00 = Genérico empaquetado 01 = Genérico continuo 10 = Reservado	1 = Simple 0 = Múltiple	1 = CCM 0 = ACM	1 = Activo 0 = No activo	1 = Activo 0 = No activo	00 = 0,35 01 = 0,25 10 = 0,20 11 = Reservado

Tabla 1.3: Mapeo del campo MATYPE-1. [1]

Segundo byte (MATYPE-2):

- Si el SIS/MIS = Flujo de entrada Múltiple, entonces el segundo byte MATYPE = Identificador de Flujo de Entrada (ISI); en caso contrario, el segundo byte está reservado.

1.4.1.6.2 UPL (User Packet Length)

Indica la Longitud del Paquete de Usuario en bits, en el rango [0 ; 65535], y ocupa 2 bytes: Algunos ejemplos son: UPL = 0000_{HEX} para un flujo continuo, UPL = 000A_{HEX} = longitud del UP de 10 bits, UPL = 188x8_D para paquetes de flujo de transporte MPEG.

1.4.1.6.3 DFL (Data Field Length)

Especifica la Longitud del Campo de Datos en bits, en el rango [0 ; 58112]. Ocupa 2 bytes. Por ejemplo, DFL = 000A_{HEX} indica una longitud del campo de datos de 10 bits.

1.4.1.6.4 SYNC

Consta de 1 byte. Es la copia del byte *sync* del paquete de usuario. Por ejemplo, SYNC = 47_{HEX} para paquetes de flujo de transporte MPEG.

1.4.1.6.5 SYNCD

Indica la distancia en bits desde el inicio del DATA FIELD hasta el primer UP de esta trama (primer bit del CRC-8). Por ejemplo: SYNCD = 65535_D significa que el UP no empieza en el DATA FIELD. Tiene 2 bytes.

1.4.1.6.6 CRC-8

Código de detección de errores aplicado a los primeros 9 bytes del BBHEADER. Este CRC-8 ocupa 1 byte. El CRC-8 se calcula utilizando el circuito de codificación de la Figura 1.2 (*switch* en A para 72 bits, en B para 8 bits).

El orden de transmisión para el BBHEADER es desde el MSB del campo TS/GS.

La Tabla 1.4 da un ejemplo para el BBHEADER en un servicio de radiodifusión con Flujo de Transporte simple.

Área de aplicación/ configuración	MATYPE-1	MATYPE-2	UPL	DFL	SYNC	SYNCD	CRC-8	Política de Separación
Servicios de radiodifusión/ CCM, TS simple	11-1-1-0-0-Y	XXXXXXXX	188 _D x8	$K_{bch}-80_D$	47 _{HEX}	Y	Y	<i>Break</i> No <i>Timeout</i> No Relleno No Trama <i>Dummy</i>
X = No definido, Y = de acuerdo a la configuración. <i>Break</i> = Ruptura de paquetes en DATAFIELDS subsecuentes; <i>Timeout</i> : máximo retardo en el buffer del Fusionador/Separador.								

Tabla 1.4: BBHEADER (características del modo de adaptación) y política de separación para servicios de radiodifusión con Flujo de Transporte simple.

1.4.2 SUBSISTEMA “ADAPTACIÓN DE FLUJO”

La adaptación de flujo (Figuras 1.1 y 1.4) realiza un relleno para completar una BBFRAME de longitud constante (K_{bch} bits). Luego proporciona un mezclado (*scrambling*) de la BBFRAME.

El flujo de entrada al subsistema Adaptación de Flujo es un BBHEADER seguida por un DATA FIELD. El flujo de salida será una BBFRAME, tal como se indica en la Figura 1.4.

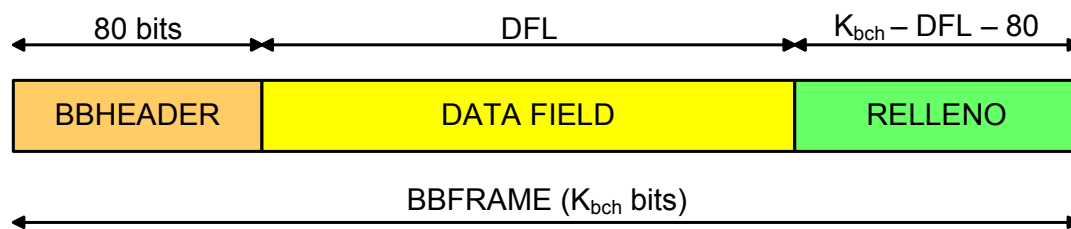


Figura 1.4: Formato de la BBFRAME a la salida del bloque ADAPTADOR DE FLUJO.

1.4.2.1 Relleno

Cuando los datos de usuario disponibles para transmisión no son suficientes para llenar completamente una BBFRAME, se añaden ($K_{bch} - DFL - 80$) bits después del DATA FIELD, con la finalidad de que la BBFRAME resultante tenga una longitud constante de K_{bch} bits. Para aplicaciones de servicios de radiodifusión, $DFL = K_{bch} - 80$, por consiguiente, no se aplica ningún relleno.

1.4.2.2 Mezclado en banda base

A la BBFRAME completa se aplica un proceso de aleatorización para proteger la información ante ráfagas de errores que podrían afectar a varios bits seguidos, facilitando la tarea de corrección en recepción.

La secuencia de aleatorización se realiza de forma sincrónica con la BBFRAME, empezando con el MSB y terminando después de K_{bch} bits.

1.4.3 CODIFICACIÓN FEC (FORWARD ERROR CORRECTION)

La Codificación de Corrección de Errores en Recepción (FEC) se efectúa mediante la concatenación de códigos externos BCH y códigos internos LDPC (tasas de 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10). Luego se aplica un Entrelazado de bit a los bits codificados con FEC para modulaciones 8PSK, 16APSK y 32APSK. Dependiendo del área de aplicación, el bloque FEC codificado resultante tiene una longitud de $n_{ldpc} = 64800$ bits o 16200 bits.

Cada BBFRAME (K_{bch} bits) es procesada por el subsistema de Codificación FEC, para generar una FECFRAME (n_{ldpc} bits). Los bits de chequeo de paridad (BCHFEC) del código externo BCH sistemático se añaden después de la BBFRAME, y los bits de chequeo de paridad (LDPCFEC) del codificador LDPC interno son añadidos después del campo BCHFEC, como se muestra en la Figura 1.5.

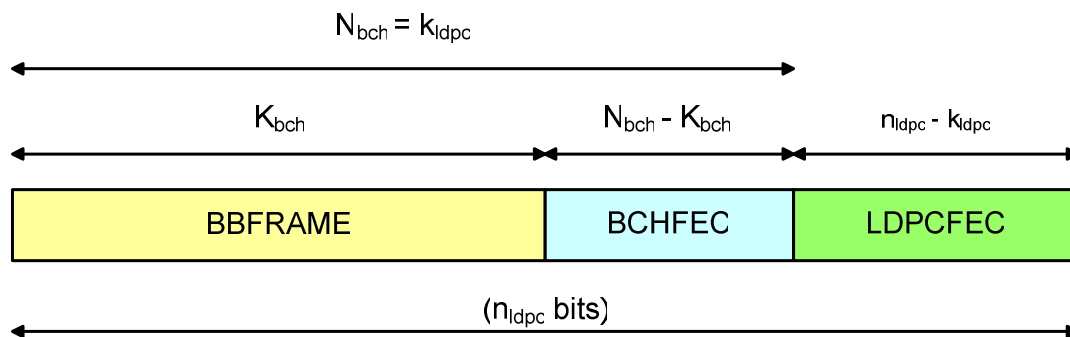


Figura 1.5: Formato de los datos antes del Entrelazador de bit.
($n_{ldpc} = 64800$ bits para FECFRAME normal, $n_{ldpc} = 16200$ bits para FECFRAME corta).

El flujo de entrada al subsistema Codificación FEC se compone de BBFRAMEs, y el flujo de salida son FECFRAMEs.

En la Tabla 1.5a se especifican los parámetros de codificación FEC para la FECFRAME normal ($n_{ldpc} = 64800$ bits).

Código LDPC	Bloque no codificado BCH K_{bch}	Bloque codificado BCH N_{bch} Bloque no codificado LDPC k_{ldpc}	Corrección del t-error BCH	Bloque codificado LDPC n_{ldpc}
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21600	12	64800
2/5	25728	25920	12	64800
1/2	32208	32400	12	64800
3/5	38688	38880	12	64800
2/3	43040	43200	10	64800
3/4	48408	48600	12	64800
4/5	51648	51840	12	64800
5/6	53840	54000	10	64800
8/9	57472	57600	8	64800
9/10	58192	58320	8	64800

Tabla 1.5a: Parámetros de codificación para FECFRAME normal ($n_{ldpc} = 64800$). [1]

En la Tabla 1.5b se indican los parámetros de codificación para la FECFRAME corta ($n_{ldpc} = 16200$ bits).

Identificador de Código LDPC	Bloque no codificado BCH K_{bch}	Bloque codificado BCH N_{bch} Bloque no codificado LDPC k_{ldpc}	Corrección del t-error BCH	Tasa LDPC efectiva $k_{ldpc}/16200$	Bloque codificado LDPC n_{ldpc}
1/4	3072	3240	12	1/5	16200
1/3	5232	5400	12	1/3	16200
2/5	6312	6480	12	2/5	16200
1/2	7032	7200	12	4/9	16200
3/5	9552	9720	12	3/5	16200
2/3	10632	10800	12	2/3	16200
3/4	11712	11880	12	11/15	16200
4/5	12432	12600	12	7/9	16200
5/6	13152	13320	12	37/45	16200
8/9	14232	14400	12	8/9	16200
9/10	NA	NA	NA	NA	NA

Tabla 1.5b: Parámetros de codificación para FECFRAME corta ($n_{ldpc} = 16200$). [1]

1.4.3.1 Codificación externa BCH

A cada BBFRAME (K_{bch} bits) se aplica un código BCH (N_{bch} , K_{bch}) de corrección de hasta t bytes erróneos, para generar un paquete protegido contra errores. Los parámetros de codificación BCH para $n_{ldpc} = 64800$ están especificados en la Tabla 1.5a, y para $n_{ldpc} = 16200$ en la Tabla 1.5b.

1.4.3.2 Codificación interna LDPC

El codificador LDPC sistemáticamente codifica un bloque de información de tamaño k_{ldpc} , en una palabra código de tamaño n_{ldpc} .

Los parámetros de codificación LDPC (n_{ldpc} , k_{ldpc}) están dados en la Tabla 1.5a y 1.5b.

1.4.3.3 Entrelazado de bit (sólo para 8PSK, 16APSK y 32APSK)

El entrelazado de bit se aplica para evitar ráfagas de errores consecutivos. Básicamente, consiste organizar la información digital de forma no contigua.

Para formatos de modulación 8PSK, 16APSK y 32APSK, los bits salida del codificador LDPC serán entrelazados utilizando un bloque “Entrelazador”. Los datos ingresan serialmente en el entrelazador en forma de columna, y son leídos serialmente en forma de fila (el MSB del BBHEADER es leído primero, excepto en el caso 8PSK con tasa FEC 3/5, donde el MSB del BBHEADER se lee en tercer lugar).

La configuración del bloque entrelazador para cada formato de modulación está especificado en la Tabla 1.6.

Modulación	Filas (para $n_{ldpc} = 64800$)	Filas (para $n_{ldpc} = 16200$)	Columnas
8PSK	21600	5400	3
16APSK	16200	4050	4
32APSK	12960	3240	5

Tabla 1.6: Estructura del Entrelazador de bit. [1]

1.4.4 MAPEO DE BITS EN LA CONSTELACIÓN

Se aplica entonces un proceso de modulación digital por el subsistema de Mapeo de DVB-S2, el cual realiza un mapeo de los bits en las respectivas constelaciones. Para esto, cada FECFRAME es convertida de serie a paralelo, como se indica desde la Figura 1.6 hasta la Figura 1.9. El nivel de nivel de paralelismo = η_{MOD} , es 2 para QPSK, 3 para 8PSK, 4 para 16APSK, 5 para 32APSK.

El MSB de la FECFRAME es mapeado como el MSB de la primera secuencia paralela. Cada secuencia paralela se mapea en la constelación, generando una secuencia (I,Q), cuya longitud depende de la eficiencia de modulación η_{MOD} seleccionada.

El subsistema de Mapeo procesa una FECFRAME, para generar una XFECFRAME (compleX FECFRAME).

1.4.4.1 Mapeo de bits en la constelación QPSK

Para QPSK, el sistema DVB-S2 emplea modulación QPSK con código de Gray convencional. El mapeo de bits dentro la constelación QPSK estará de acuerdo a la Figura 1.6. La energía promedio normalizada por símbolo será igual a $\rho^2 = 1$.

Dos bits de la FECFRAME son mapeados en un símbolo QPSK, es decir, los bits $2i$ y $2i+1$ determinan el i -ésimo símbolo QPSK, donde $i = 0, 1, 2, \dots, (N/2) - 1$, y N es el tamaño del bloque LDPC codificado.

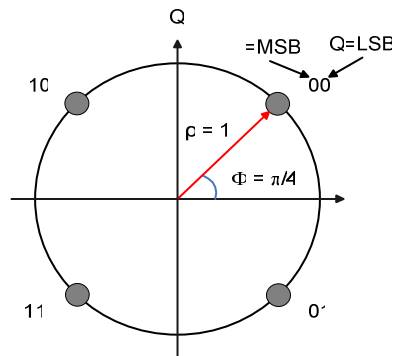


Figura 1.6: Mapeo de bits en la constelación QPSK. [1]

1.4.4.2 Mapeo de bits en la constelación 8PSK

Para 8PSK, el sistema emplea modulación 8PSK con código de Gray convencional. El mapeo de bits dentro la constelación 8PSK se indica en la Figura 1.7. La energía promedio normalizada por símbolo será igual a $\rho^2 = 1$.

Para todas las tasas FEC (excluyendo 3/5), los bits $3i$, $3i+1$, $3i+2$ de la salida del entrelazador, determinan el i -ésimo símbolo 8PSK, donde $i = 0, 1, 2, \dots, (N/3) - 1$, y N es el tamaño del bloque LDPC codificado.

Para tasa FEC 3/5 los bits $3i+2$, $3i+1$, $3i$ de la salida del entrelazador determinan el i -ésimo símbolo 8PSK, donde $i = 0, 1, 2, \dots, (N/3) - 1$, y N es el tamaño del bloque LDPC codificado.

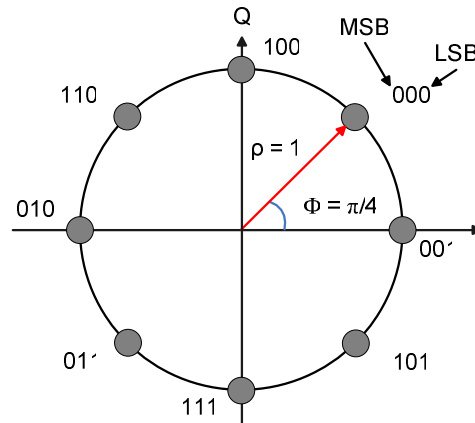


Figura 1.7: Mapeo de bits en la constelación 8PSK. [1]

1.4.4.3 Mapeo de bits en la constelación 16APSK

La constelación para la modulación 16APSK, especificada en la Figura 1.8, se compone de dos anillos concéntricos uniformemente espaciados con 4 y 12 puntos PSK, respectivamente, en el anillo interno de radio R_1 y el anillo exterior de radio R_2 .

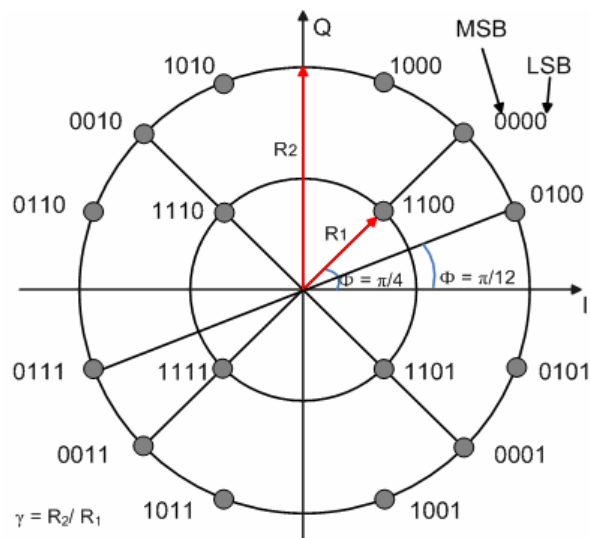


Figura 1.8: Constelación para la señal 16APSK. [1]

Los bits $4i$, $4i+1$, $4i+2$ y $4i+3$ de la salida del entrelazador determinan el i -ésimo símbolo 16APSK, donde $i = 0, 1, 2, \dots, (N/4) - 1$, y N es el tamaño del bloque LDPC codificado.

La razón entre el radio del círculo exterior con el radio del círculo interior ($\gamma = R_2/R_1$) debe cumplir con la Tabla 1.7.

Tasa de código	Eficiencia espectral de codificación	γ
2/3	2,66	3,15
3/4	2,99	2,85
4/5	3,19	2,75
5/6	3,32	2,70
8/9	3,55	2,60
9/10	3,59	2,57

Tabla 1.7: Relación de radios de constelación óptimos γ (canal lineal) para 16APSK. [1]

Si se cumple que: $4[R_1]^2 + 12[R_2]^2 = 16$, entonces la energía promedio de la señal será 1.

1.4.4.4 Mapeo de bits en 32APSK

La constelación para modulación 32APSK se indica en la Figura 1.9. Esta constelación se compone de tres círculos concéntricos uniformemente espaciados con 4, 12 y 16 puntos PSK, respectivamente, en el círculo interno de radio R_1 , el círculo intermedio de radio R_2 , y el círculo exterior de radio R_3 .

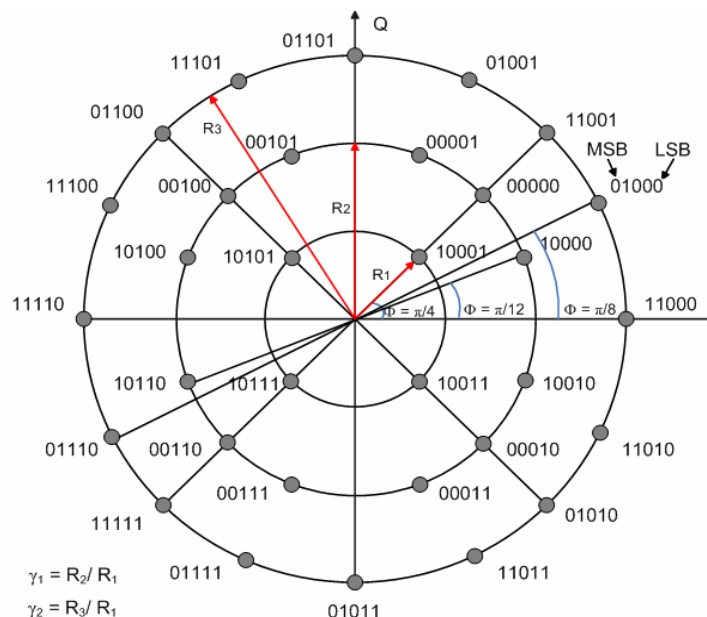


Figura 1.9: Constelación para la señal 32APSK. [1]

Los bits $5i$, $5i+1$, $5i+2$, $5i+3$ y $5i+4$ de la salida del entrelazador determinan el i -ésimo símbolo 32APSK, donde $i = 0, 1, 2, \dots, (N/5) - 1$.

La Tabla 1.8 define los valores de $\gamma_1 = R_2/R_1$ y $\gamma_2 = R_3/R_1$.

Tasa de código	Eficiencia espectral de codificación	γ_1	γ_2
3/4	3,74	2,84	5,27
4/5	3,99	2,72	4,87
5/6	4,15	2,64	4,64
8/9	4,43	2,54	4,33
9/10	4,49	2,53	4,30

Tabla 1.8: Relación de radios de constelación óptimos γ_1 y γ_2 (canal lineal) para 32APSK.

Si $4[R_1]^2 + 12[R_2]^2 + 16[R_3]^2 = 32$, entonces la energía promedio de la señal es igual a 1.

1.4.5 ENTRAMADO DE CAPA FÍSICA (PL)

El subsistema PLFraming genera una trama de capa física (llamada PLFRAME) al realizar los siguientes procesos (Figuras 1.1 y 1.10):

- Generación de la trama *Dummy*⁸ PLFRAME cuando la XFECFRAME no está lista a ser procesada y transmitida.
- Particionamiento de la XFECFRAME en un número entero S de *slots* de longitud constante (longitud: $M = 90$ símbolos cada una). S debe estar de acuerdo con la Tabla 1.9.
- Generación e inserción del PLHEADER delante de la XFECFRAME para la configuración del receptor. El PLHEADER debe ocupar exactamente un *slot* (longitud: $M = 90$ símbolos).

⁸ **Dummy PLFRAME:** Es un tipo especial de trama que se utiliza cuando no se tiene ningún dato útil a nivel de Capa Física para enviarse a través del canal. Esta trama no contiene ningún campo de datos, solo símbolos modulados con $\pi/2$ BPSK. [11]

- Inserción de Bloques Pilotos (para modos que requieren pilotos) cada 16 *slots*, para ayudar a la sincronización del receptor. Este bloque se compone de $P = 36$ símbolos pilotos.
- Aleatorización de los símbolos modulados (I,Q) por medio de un mezclador de capa física.

El flujo de entrada del subsistema será una XFECFRAME y la salida una PLFRAME mezclada, tal como se aprecia en la Figura 1.10.

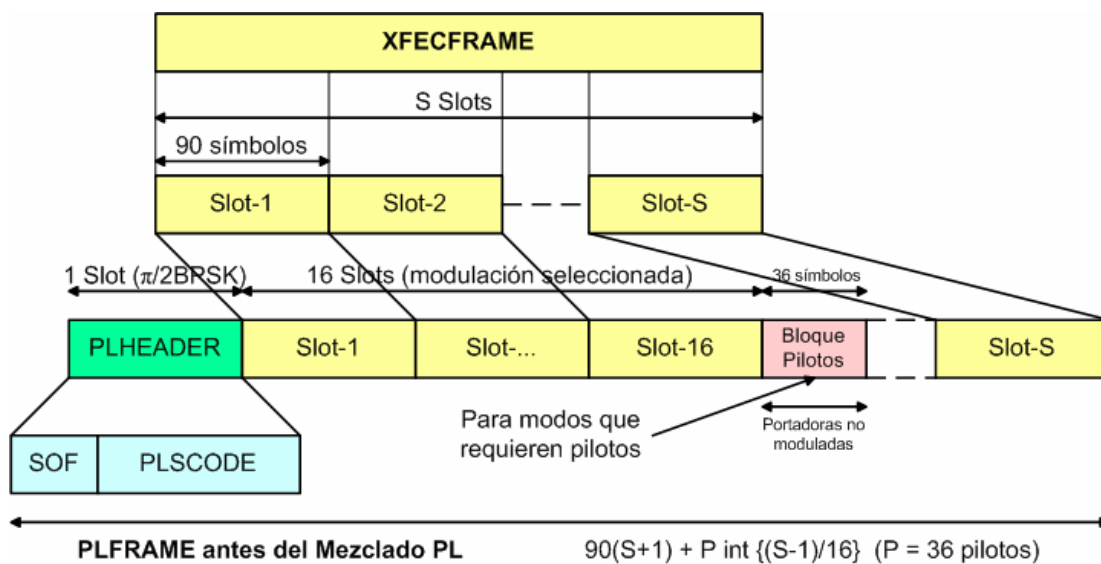


Figura 1.10: Formato de una “Trama de Capa Física” PLFRAME. [1]

La Tabla 1.9 indica el número S de *slots* dentro de una XFECFRAME.

η_{MOD} [bits/símbolo]	$n_{\text{ldpc}} = 64800$ (trama normal)		$n_{\text{ldpc}} = 16200$ (trama corta)	
	S	η % sin pilotos	S	η % sin pilotos
2	360	99,72	90	98,90
3	240	99,59	60	98,36
4	180	99,45	45	97,83
5	144	99,31	36	97,30

Tabla 1.9: S = número de *slots* ($M = 90$ símbolos) por XFECFRAME. [1]

La eficiencia del PLFRAMING es $\eta = (90 \cdot S) / [90(S+1) + P \cdot \text{int} \{(S - 1)/16\}]$, donde $P = 36$, e $\text{int} \{...\}$ especifica la Función Entera.

1.4.5.1 Inserción de la trama *Dummy* PLFRAME

El subsistema de entramado de capa física de DVB-S2 genera y transmite una trama *Dummy* cuando la XFECFRAME no esté lista para ser procesada y transmitida. Una *Dummy* PLFRAME se compone de un PLHEADER y de 36 *slots* de portadoras no moduladas ($I = (1/\sqrt{2})$, $Q = (1/\sqrt{2})$).

1.4.5.2 Señalización de Capa Física (PL)

El PLHEADER está diseñado para la sincronización del receptor y para proporcionar señalización de capa física. El PLHEADER es modulado en 90 símbolos $\pi/2$ BPSK.

Después de decodificar el PLHEADER, el receptor conoce la duración y la estructura del PLFRAME, el esquema de codificación y modulación para la XFECFRAME, la presencia o ausencia de símbolos pilotos.

El PLHEADER (un *slot* de 90 símbolos) se compone de los siguientes campos (Figura 1.10):

- SOF (*Start Of Frame*): 26 símbolos, identificando el Inicio de Trama.

- Código PLS (64 símbolos): El código PLS (Señalización de Capa Física – *Physical Layer Signalling*) transmite 7 símbolos para propósitos de señalización de capa física. Estos 7 símbolos consisten en dos campos: MODCOD y TYPE definidos como sigue:
 - MODCOD (5 símbolos), identificando la modulación y la tasa FEC.

 - TYPE (2 símbolos), identificando la longitud de la FECFRAME (64800 bits o 16200 bits) y la presencia/ausencia de pilotos.

1.4.5.2.1 Campo SOF

El Inicio de Trama (SOF) corresponde a la secuencia 18D.2E.82_{HEX} (01-1000-...-0010 en notación binaria, el bit del lado izquierdo es el MSB del PLHEADER).

1.4.5.2.2 Campo MODCOD

El MODCOD corresponde a 5 bits, identificando la tasa de código en el rango $\eta_C = [1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10]$, y modulaciones con eficiencias de modulación $\eta_{MOD} = [2, 3, 4, 5]$, de acuerdo a la Tabla 1.10.

Modo	MOD COD	Modo	MOD COD	Modo	MOD COD	Modo	MOD COD
QPSK 1/4	1 _D	QPSK 5/6	9 _D	8PSK 9/10	17 _D	32APSK 4/5	25 _D
QPSK 1/3	2 _D	QPSK 8/9	10 _D	16APSK 2/3	18 _D	32APSK 5/6	26 _D
QPSK 2/5	3 _D	QPSK 9/10	11 _D	16APSK 3/4	19 _D	32APSK 8/9	27 _D
QPSK 1/2	4 _D	8PSK 3/5	12 _D	16APSK 4/5	20 _D	32APSK 9/10	28 _D
QPSK 3/5	5 _D	8PSK 2/3	13 _D	16APSK 5/6	21 _D	Reservado	29 _D
QPSK 2/3	6 _D	8PSK 3/4	14 _D	16APSK 8/9	22 _D	Reservado	30 _D
QPSK 3/4	7 _D	8PSK 5/6	15 _D	16APSK 9/10	23 _D	Reservado	31 _D
QPSK 4/5	8 _D	8PSK 8/9	16 _D	32APSK 3/4	24 _D	DUMMY PLFRAME	0 _D

Tabla 1.10: Codificación del MODCOD. [1]

1.4.5.2.3 Campo TYPE

El MSB del campo TYPE identifica 2 tamaños de FECFRAME (0 = normal: 64800 bits; 1 = corto: 16200 bits). El LSB del campo TYPE identifica las configuraciones de piloto (0 = no pilotos, 1 = pilotos).

1.4.5.3 Inserción de pilotos

Dos configuraciones PLFRAME son posibles:

- Sin pilotos;
- Con pilotos

En este último caso, se inserta un BLOQUE PILOTO dentro de la PLFRAME, para facilitar una sincronización confiable en el receptor sobre la estructura del bloque FEC. El BLOQUE PILOTO se compone de $P = 36$ símbolos. Cada símbolo piloto será un símbolo no modulado, identificado por $I = (1/\sqrt{2})$, $Q = (1/\sqrt{2})$.

El primer BLOQUE PILOTO se inserta 16 *slots* después del PLHEADER, el segundo después de 32 *slots* y así sucesivamente, como se representa en la Figura 1.10. Si la posición del BLOQUE PILOTO coincide con el inicio del siguiente Inicio de Trama (*SOF*), entonces el BLOQUE PILOTO no se transmite.

La presencia/ausencia de pilotos en modos VCM y ACM puede cambiarse trama a trama.

1.4.5.4 Mezclado de capa física (PL)

Previo a la modulación, cada PLFRAME, excluyendo el PLHEADER, será aleatorizada para lograr una dispersión de energía, necesaria para no concentrarla demasiado en algunas partes de la secuencia a transmitir. Esta aleatorización se consigue multiplicando los símbolos de la PLFRAME por una secuencia de aleatorización compleja.

La secuencia de aleatorización es reiniciada al final de cada PLHEADER. Debido a que la duración de la PLFRAME depende de la modulación seleccionada, la longitud de la secuencia de aleatorización debe ser truncada a la longitud de la PLFRAME que se esté utilizando. Este procedimiento se bosqueja en la Figura 1.11.

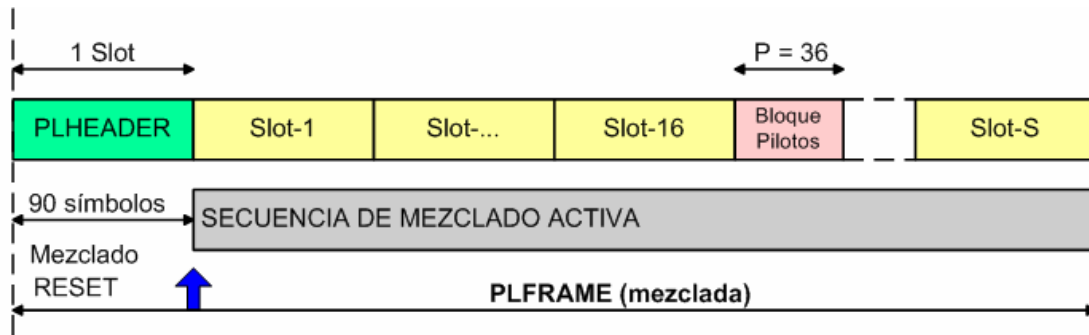


Figura 1.11: Mezclado a nivel de Capa Física PL. [1]

1.4.6 SUBSISTEMA “FORMA EN BANDA BASE Y MODULACIÓN EN CUADRATURA”

Después de la aleatorización, la señal es filtrada en un filtro “Raíz Cuadrada del Coseno Levantado⁹”. Este filtro puede utilizar factores de *roll-off* $\alpha = 0,35, 0,25$ y $0,20$ dependiendo de los requerimientos del servicio.

El filtro “Raíz Cuadrada del Coseno Levantado” (*Square Root Raised Cosine*) en banda base, tiene una función teórica definida por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 H(f) &= 1 & \text{para } |f| < f_N(1-\alpha) \\
 H(f) &= \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} & \text{para } f_N(1-\alpha) < |f| < f_N(1+\alpha) \\
 H(f) &= 0 & \text{para } |f| > f_N(1+\alpha)
 \end{aligned}$$

donde $f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$ es la frecuencia de Nyquist y α es el factor de *roll-off* del filtro.

⁹ **FILTRO “RAÍZ CUADRADA DEL COSENO LEVANTADO” (SQUARED-ROOT RAISED COSINE):** Es un tipo de filtro de Nyquist físicamente realizable, que permite conseguir una Interferencia Intersímbolo (ISI) nulo. [12]

Entonces, se realiza la modulación en cuadratura, multiplicando las muestras en fase y en cuadratura (después del filtrado en banda base) por $\sin(2\pi f_o t)$ y $\cos(2\pi f_o t)$, respectivamente (donde f_o es la frecuencia de portadora). Las dos señales resultantes serán sumadas para obtener la señal de radiofrecuencia de salida del sistema modulador DVB-S2.

1.5 RENDIMIENTO DE DVB-S2 ANTE ERRORES [1]

En la Tabla 1.11 se resumen los requerimientos de rendimiento a un nivel QEF (Casi Libre de Errores) sobre una canal AWGN, en el que E_s representa la energía promedio por símbolo transmitido.

El valor de E_s/N_0 [dB] ideal se ha logrado mediante simulaciones de computadora realizadas por el grupo DVB, utilizando recuperación de sincronización y de portadora perfecta, sin ruido de fase, en un canal AWGN.

PER es la relación entre paquetes de Flujo de Transporte útiles (188 bytes) correctamente recibidos y aquellos afectados por error, después de la corrección de errores en recepción.

Modo	Eficiencia espectral	E_s/N_0 [dB] ideal Para FECFRAME de longitud = 64800
QPSK 1/4	0,490243	-2,35
QPSK 1/3	0,656448	-1,24
QPSK 2/5	0,789412	-0,30
QPSK 1/2	0,988858	1,00
QPSK 3/5	1,188304	2,23
QPSK 2/3	1,322253	3,10
QPSK 3/4	1,487473	4,03
QPSK 4/5	1,587196	4,68
QPSK 5/6	1,654663	5,18
QPSK 8/9	1,766451	6,20
QPSK 9/10	1,788612	6,42
8PSK 3/5	1,779991	5,50
8PSK 2/3	1,980636	6,62
8PSK 3/4	2,228124	7,91

8PSK 5/6	2,478562	9,35
8PSK 8/9	2,646012	10,69
8PSK 9/10	2,679207	10,98
16APSK 2/3	2,637201	8,97
16APSK 3/4	2,966728	10,21
16APSK 4/5	3,165623	11,03
16APSK 5/6	3,300184	11,61
16APSK 8/9	3,523143	12,89
16APSK 9/10	3,567342	13,13
32APSK 3/4	3,703295	12,73
32APSK 4/5	3,951571	13,64
32APSK 5/6	4,119540	14,28
32APSK 8/9	4,397854	15,69
32APSK 9/10	4,453027	16,05
Nota: Dada una eficiencia espectral del sistema η_{tot} , la relación entre la energía por bit de información y la densidad espectral de potencia de ruido es: $E_b/N_0 = E_s/N_0 - 10 \log_{10}(\eta_{tot})$		

Tabla 1.11: Rendimiento E_s/N_0 para un $PER = 10^{-7}$, a un nivel Casi Libre de Errores (canal AWGN). [1]

Las eficiencias espectrales presentadas en la Tabla 1.11 están calculadas (por unidad de tasa de símbolos), para FECFRAME de longitud normal y sin pilotos.

DVB-S2 establece que, para FECFRAME corta, debe tomarse en cuenta una degradación adicional de 0,2 [dB] a 0,3 [dB].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS PARA EL CAPÍTULO 1:

- [1] ETSI EN 302 307 (V 1.1.1). "*Digital Video Broadcasting (DVB): Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*". Marzo 2005.
- [2] ETSI TR 102 376 (V 1.1.1.) "*Digital Video Broadcasting (DVB): User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*". Febrero 2005.
- [3] ISO/IEC 13818 (parts 1 and 2): "*Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information*".
- [4] ETSI EN 300 421 (V.1.1.2): "*Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services*".
- [5] ROSADO, Carlos; "Comunicación por satélite. Principios, tecnologías y sistemas"; 1998.
- [6] RFC 4326; "*Unidirectional Lightweight Encapsulation (ULE) for Transmission of IP Datagrams over an MPEG-2 Transport Stream (TS)*"; December 2005.
- [7] WIKIPEDIA; "*Shannon-Hartley Theorem*"; [http://en.wikipedia.org/wiki/Shannon&Hartley theorem](http://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%26Hartley_theorem).
- [8] WIKIPEDIA; "*Generic stream*"; [http://en.wikipedia.org/wiki/Generic Stream](http://en.wikipedia.org/wiki/Generic_Stream)"; January 16. 2007.
- [9] <http://www.televisióndigital.es/Terrestre/Ciudadanos/Glosario/ABC/ABC.htm>
- [10] ITU-R Recommendation SNG.770-1: "*Uniform operational procedures for satellite news gathering (SNG)*".
- [11] NEWTEC; NTC/7015/APN07: "*CCM, VCM and ACM implementation by Newtec*"; October 29, 2006.
- [12] "*Modulation, demodulation and coding*"; March 27, 2007.
- [13] WIKIPEDIA; "*Additive white Gaussian noise*"; [http://en.wikipedia.org/wiki/Additive white Gaussian noise](http://en.wikipedia.org/wiki/Additive_white_Gaussian_noise); 13 April 2007.



CAPÍTULO 2

**PARÁMETROS
PRINCIPALES EN UN
ENLACE *FORWARD*
DVB-S2**

CAPITULO 2. PARÁMETROS PRINCIPALES EN UN ENLACE *FORWARD* DVB-S2

En este capítulo se especifica detalladamente, cada uno de los parámetros para un enlace *forward* DVB-S2 que se han considerado para ser incluidos en el presente Proyecto, y en cada caso, se presenta el método para calcular dicho valor. Todo esto constituye el objetivo a alcanzar en este capítulo.

Para lograr esto, se hace una revisión de todas las recomendaciones y reportes técnicos que permitan apreciar, de forma clara, los parámetros que se consideran.

Los parámetros DVB-S2 a calcularse se relacionan con los siguientes aspectos de un enlace *forward*:

- Eficiencias de encapsulamiento de la trama DVB-S2.
- Parámetros de transmisión *forward* para la señal DVB-S2.
- Parámetros de calidad que se debe cumplir en un enlace DVB-S2.

2.1 EFICIENCIAS DE ENCAPSULAMIENTO DEL ENTRAMADO DVB-S2

Para entender la forma de calcular las eficiencias de encapsulamiento del entramado DVB-S2, bajo un esquema de modulación y codificación seleccionado, se realiza un resumen del procesamiento que sufre la información de usuario en cada etapa del sistema DVB-S2, hasta que se conforma la señal a transmitir hacia el satélite.

A continuación, se establece la forma de calcular la respectiva eficiencia de encapsulamiento, tomando en cuenta los aspectos más relevantes de este proceso, tales como inserción de cabeceras y de símbolos pilotos en los subsistemas respectivos.

2.1.1 EFICIENCIA DE ENCAPSULAMIENTO [3]

La eficiencia de encapsulamiento (también llamada eficiencia de transmisión), se define como la relación entre el número de bits de datos o información de usuario transmitidos, con respecto al número total de bits que se transmiten:

$$\eta = \frac{\text{Número de bits de datos}}{\text{Número total de bits transmitidos}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Una forma alternativa para calcular esta eficiencia de encapsulamiento, en función de la duración temporal de los bits, es la siguiente:

$$\eta = \frac{\text{Tiempo de bits de datos}}{\text{Tiempo total de transmisión}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

2.1.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DVB-S2

La descripción de la forma como se calculan las eficiencias de encapsulamiento del entramado DVB-S2, está organizada de acuerdo al diagrama de bloques funcional de este sistema, indicado de la Figura 2.1

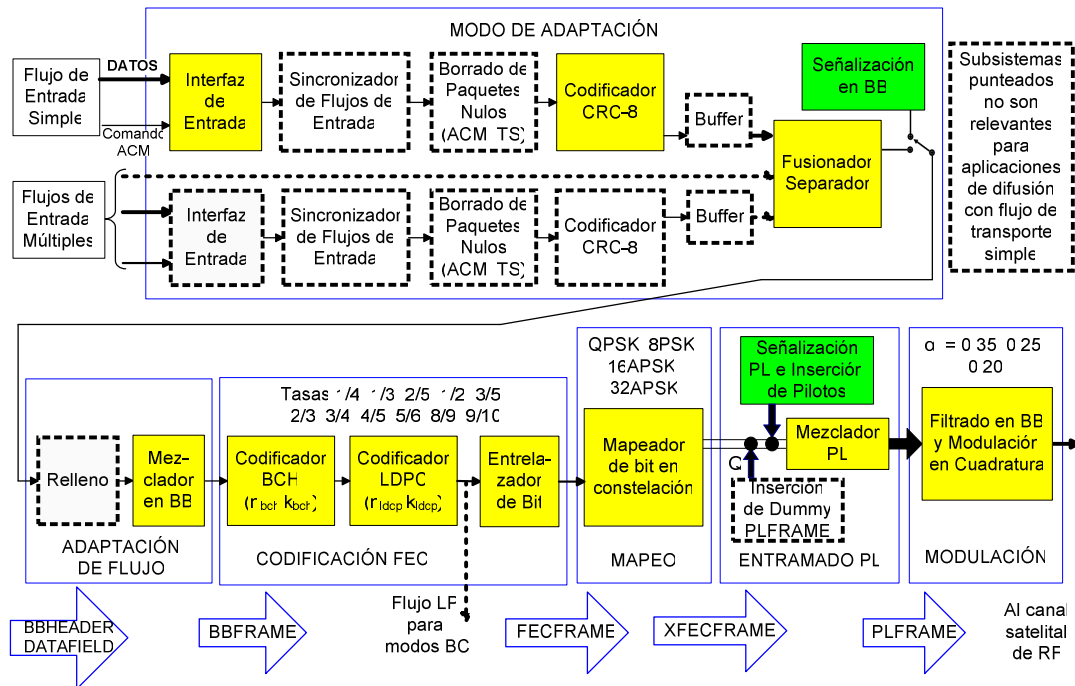


Figura 2.1: Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2. [1]

2.1.3 EFICIENCIA DE ENCAPSULAMIENTO DE LA BBFRAME

2.1.3.1 Conformación de la BBFRAME [1]

A diferencia de DVB-S, el sistema DVB-S2 permite operar con varios formatos de flujos de entrada, incrementando así la flexibilidad del sistema para ajustarse a las necesidades del servicio a utilizar.

Estos posibles flujos de entradas al sistema DVB-S2 son:

- *Flujos de Transporte (TS: Transport Streams)* simples o múltiples. Un Flujo de Transporte está caracterizado por Paquetes de Usuario, de longitud constante $UPL = 188 \times 8$ bits (es decir, un paquete MPEG), dentro del cual, el primer byte es el byte *Sync* (47_{HEX}).
- *Flujos Genéricos* simples o múltiples. Los flujos genéricos pueden ser utilizados en modo Paquetizado con paquetes de usuario con una longitud fija de UPL bits, o en modo Continuo ($UPL = 0_D$) que es un flujo

de bits sin alguna estructura específica o límites para el tamaño del flujo.

Estos flujos de entrada constituyen los Paquetes de Usuario (UPs) dentro del normativo DVB-S2. La longitud de un UP es de UPL bits (donde UPL = 0 significa una secuencia continua). [2]

Dichos flujos son procesados en primera instancia por el subsistema “Modo de Adaptación” de DVB-S2, y los almacena hasta que el Fusionador/Separador los pueda leer.

El Separador lee (es decir, separa) desde su entrada (para flujos de entrada simple), o desde una de sus entradas (para flujos de entrada múltiples), un DATA FIELD, compuesto de DFL bits, donde:

$$K_{bch} - (10 \cdot 8) \geq DFL \geq 0$$

Un DATA FIELD se compone de bits tomados de un solo puerto de entrada y se transmiten en un modo de transmisión homogéneo (es, decir, con la misma codificación FEC y modulación).

A continuación, delante del DATA FIELD se inserta una Cabecera de Banda Base (BBHEADER), la cual tiene una longitud fija de 10 bytes (80 bits). Esta cabecera sirve para notificar al receptor del formato del flujo de entrada procesado y el tipo del Modo de Adaptación seleccionado.

Hasta aquí, la secuencia de salida del subsistema “Modo de Adaptación” es un DATA FIELD precedido de un BBHEADER.

En caso de que los datos de usuario disponibles no sean suficientes para llenar completamente una BBFRAME, el bloque “Adaptación de Flujo” de DVB-S2 proporciona una función de Relleno para completar la trama. Este bloque también realiza un Mezclado de la trama en banda base.

Por lo tanto, el flujo de entrada al subsistema “Adaptación de Flujo” es un BBHEADER (80 bits) seguido por un DATA FIELD. El flujo de salida es una BBFRAME, tal como lo indica la Figura 2.2.

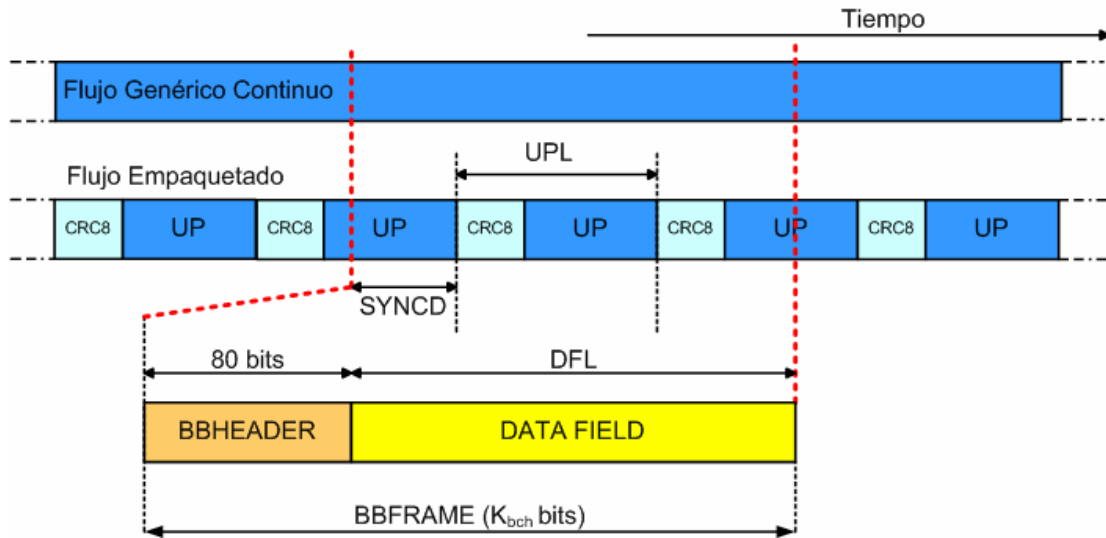


Figura 2.2: Conformación y estructura de una BBFRAME. [1]

2.1.3.2 Cálculo de la eficiencia de encapsulamiento de la BBFRAME

Describiendo el proceso de formación de una BBFRAME a partir de los flujos que ingresen al sistema DVB-S2, y observando la Figura 2.2, es fácil deducir que la eficiencia de encapsulamiento de la BBFRAME es:

$$\eta_{BBFRAME} = \frac{K_{bch} \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{K_{bch} \text{ bits}} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

ya que, de la longitud total de la BBFRAME (K_{bch} bits), solamente $DFL = K_{bch} - 80$ bits (que corresponde a la máxima capacidad del DATA FIELD, DFL), es la información concerniente a datos de usuario.

K_{bch} es la longitud del bloque no codificado con BCH, el cual depende de la longitud de la FECFRAME (normal o corta) y de la tasa de codificación, y está determinado por los valores especificados en las Tablas 2.1a y 2.1b. [1]

2.1.4 EFICIENCIA DE ENCAPSULAMIENTO DE LA FECFRAME

2.1.4.1 Conformación de la FECFRAME [1]

Cada BBFRAME (K_{bch} bits) es procesada por el subsistema de “Codificación FEC”, para generar una FECFRAME (n_{ldpc} bits).

Este proceso se efectúa aplicando a la BBFRAME, en primer lugar, una codificación BCH, y el resultado se lo codifica utilizando códigos LDPC. Dependiendo del área de aplicación, el bloque FEC codificado resultante tiene una longitud de $n_{ldpc} = 64800$ bits o 16200 bits.

La Figura 2.3 indica el formato de la FECFRAME.

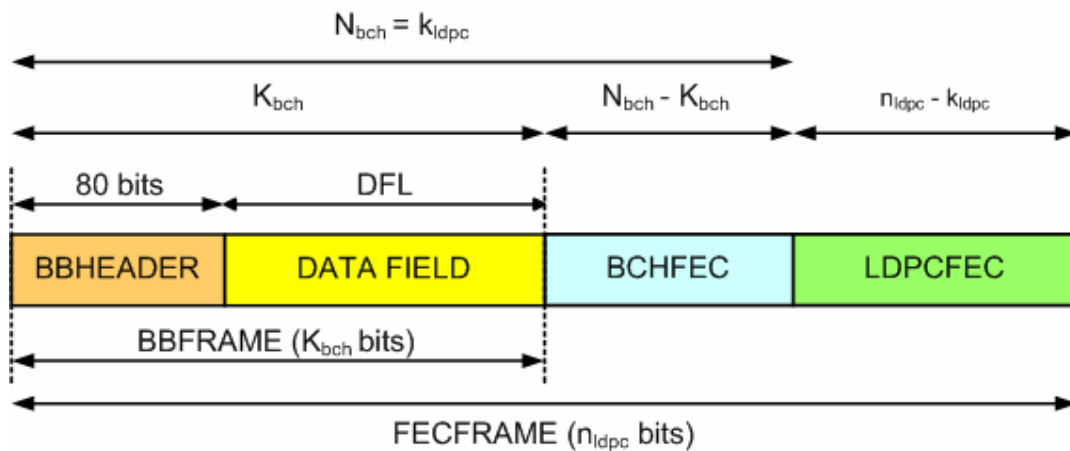


Figura 2.3: Formato de la FECFRAME antes del Entrelazador de bit. [1]

En la Tabla 2.1a se especifican los parámetros de codificación FEC para la FECFRAME normal ($n_{ldpc} = 64800$ bits), y en la Tabla 2.1b para la FECFRAME corta ($n_{ldpc} = 16200$ bits).

Código LDPC	Bloque no codificado BCH K_{bch}	Bloque codificado BCH N_{bch} Bloque no codificado LDPC k_{ldpc}	Corrección del t-error BCH	Bloque codificado LDPC n_{ldpc}
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21600	12	64800
2/5	25728	25920	12	64800
1/2	32208	32400	12	64800
3/5	38688	38880	12	64800
2/3	43040	43200	10	64800
3/4	48408	48600	12	64800
4/5	51648	51840	12	64800
5/6	53840	54000	10	64800
8/9	57472	57600	8	64800
9/10	58192	58320	8	64800

Tabla 2.1a: Parámetros de codificación para FECFRAME normal ($n_{ldpc} = 64800$). [1]

Identificador de Código LDPC	Bloque no codificado BCH K_{bch}	Bloque codificado BCH N_{bch} Bloque no codificado LDPC k_{ldpc}	Corrección del t-error BCH	Tasa LDPC efectiva $k_{ldpc}/16200$	Bloque codificado LDPC n_{ldpc}
1/4	3072	3240	12	1/5	16200
1/3	5232	5400	12	1/3	16200
2/5	6312	6480	12	2/5	16200
1/2	7032	7200	12	4/9	16200
3/5	9552	9720	12	3/5	16200
2/3	10632	10800	12	2/3	16200
3/4	11712	11880	12	11/15	16200
4/5	12432	12600	12	7/9	16200
5/6	13152	13320	12	37/45	16200
8/9	14232	14400	12	8/9	16200
9/10	NA	NA	NA	NA	NA

Tabla 2.1b: Parámetros de codificación para FECFRAME corta ($n_{ldpc} = 16200$). [1]

Al final se aplica un Entrelazado de bit a los bits codificados con FEC para 8PSK, 16APSK y 32APSK, con el objetivo de evitar ráfagas de errores que podrían afectar a varios bits consecutivos.

De esta forma, el flujo de entrada al subsistema de “Codificación FEC” se compone de BBFRAMEs, y el flujo de salida son FECFRAMEs.

2.1.4.2 Cálculo de la eficiencia de encapsulamiento de la FECFRAME

Puesto que la longitud de la FECFRAME (n_{ldpc} bits) es fija y el *overhead* generado por la codificación BCH y LDPC es variable, la longitud del campo de datos resultante ($K_{bch} - 80$ bits) también resulta ser variable al interior de la FECFRAME, y depende de la tasa FEC utilizada. Esto da como consecuencia una eficiencia dependiente de la tasa de codificación FEC seleccionada. [4]

De los n_{ldpc} bits que conforman la FECFRAME (ya sea de longitud normal o corta), la parte concerniente a información de usuario es $K_{bch} - 80$ bits, considerando que esta es la porción de información útil que procede desde las etapas “Modo de Adaptación” y “Adaptación de Flujo” (Figura 2.3).

Así, la eficiencia de encapsulamiento para la FECFRAME está dada por la siguiente ecuación:

$$\eta_{FECFRAME} = \frac{K_{bch} \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{n_{ldpc} \text{ bits}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

K_{bch} está determinado por los valores especificados en la Tabla 2.1a o la Tabla 2.1b, y n_{ldpc} tiene sólo dos valores posibles: 64800 bits para FECFRAME normal, o 16200 bits si se elige FECFRAME corta.

2.1.4.2.1 Ejemplo práctico del cálculo de la eficiencia de la FECFRAME

Considere la siguiente información:

- Tasa de codificación FEC y modulación: 8PSK 2/3.
- Tipo de trama FECFRAME: trama normal.

Consultando la Tabla 2.1a (puesto que se trata de tramas normales), se obtiene la siguiente información:

- $K_{bch} = 43040$ bits.
- $n_{ldpc} = 64800$ bits.

Aplicando la ecuación 2.4, resulta:

$$\eta_{FECFRAME} = \frac{K_{bch} \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{n_{ldpc} \text{ bits}} = \frac{43040 \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{64800 \text{ bits}} = 0,66296953$$

Esta es la eficiencia de la trama en banda base y el mecanismo FEC. En otras palabras: cada bit de la trama a este nivel representa 0,66 de los datos de entrada, o toma 1,51 bits para codificar 1 bit de los datos de entrada. [4]

2.1.5 TASA DE CÓDIGO FEC

2.1.5.1 Codificación FEC [6]

La codificación FEC (*Forward Error Correction*) permite corregir en el lugar de destino una proporción determinada de errores sin necesidad de retransmisión. El Codificador FEC es el subsistema clave que permite lograr un excelente rendimiento por el satélite, en presencia de altos niveles de ruido e interferencia.

Se basa en *códigos de bloque* y *códigos de desarrollo continuo* o *convolucionales*, que obligan a agregar bits a la información, antes de la modulación.

Los *códigos de bloque* son excelentes para detectar errores, pero usualmente proporcionan bajas ganancias de codificación cuando se usan para corrección de errores, debido a la alta tasa de bits que utilizan para paridad. Los *códigos convolucionales* proporcionan altas ganancias de codificación, pero son inútiles para la detección de errores. Debido a las características de ambos tipos, también se usan los *códigos híbridos concatenados* o en cascada, en los cuales

un mensaje se codifica usando un código de bloque, y el resultado se codifica usando un código convolucional.

2.1.5.2 La codificación FEC en DVB-S2

El subsistema Codificador FEC aplica un código BCH (N_{bch} , K_{bch}) de corrección de hasta t bytes erróneos a cada BBFRAME (K_{bch} bits) para generar un paquete protegido contra errores. A continuación, el codificador LDPC (n_{ldpc} , k_{ldpc}) sistemáticamente codifica el bloque de información resultante de tamaño $N_{bch} = k_{ldpc}$ bits en una palabra código de tamaño n_{ldpc} bits. [1]

Es decir, cada BBFRAME (K_{bch} bits) es procesada por el subsistema de Codificación FEC, para generar una FECFRAME (n_{ldpc} bits). Los bits de chequeo de paridad (BCHFEC) del código externo BCH sistemático son añadidos después de la BBFRAME, y los bits de chequeo de paridad (LDPCFEC) del codificador LDPC interno se colocan después del campo BCHFEC, como se puede apreciar en la Figura 2.3. [1]

2.1.5.3 Cálculo de la Tasa de código FEC

Esta tasa corresponde a la relación que existe entre el número de bits que ingresan al subsistema “Codificación FEC” y el número de bits que salen ya codificados de este bloque.

Para el sistema DVB-S2, el número de bits que ingresan al codificador FEC para su tratamiento es K_{bch} bits. El número de bits que salen de este codificador corresponde a la longitud de la FECFRAME (ya sea de longitud normal o corta), esto es n_{ldpc} bits. Por lo tanto, la tasa de código FEC está dada por la ecuación:

$$Tasa\ FEC = \frac{K_{bch} \left[\text{bits} \right]}{n_{ldpc} \left[\text{bits} \right]} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

2.1.6 EFICIENCIA DE MODULACIÓN

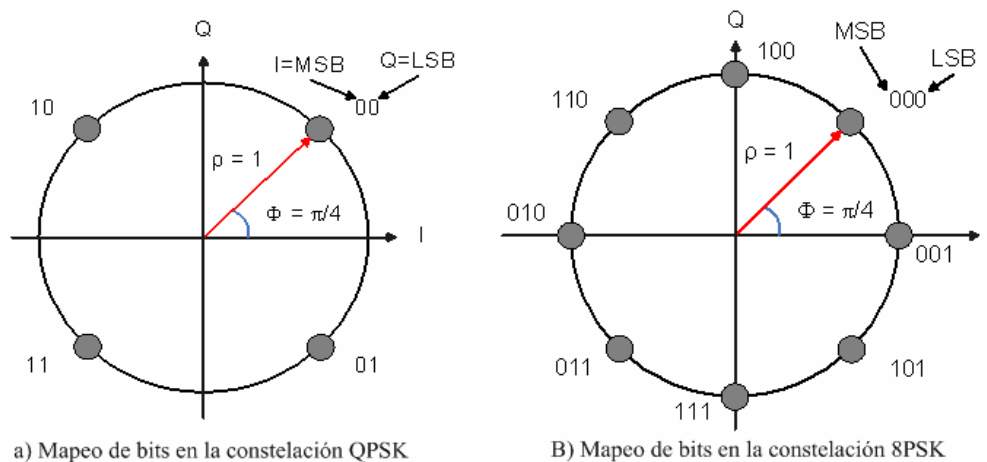
2.1.6.1 Mapeo de bits en las constelaciones

Después de la codificación FEC, el subsistema de Mapeo de DVB-S2 aplica una modulación digital a la información, para conformar la constelación correspondiente a la modulación escogida. Con este fin, cada FECFRAME se convierte de serie a paralelo (nivel de paralelismo = η_{MOD} , 2 para QPSK, 3 para 8PSK, 4 para 16APSK, 5 para 32APSK). [1]

El MSB de la FECFRAME es mapeado como el MSB de la primera secuencia paralela. Cada secuencia paralela se mapea en la constelación, generando una secuencia (I,Q) de longitud variable, dependiendo de la eficiencia de modulación η_{MOD} seleccionada. [1]

La secuencia de entrada al bloque de “Mapeo” consiste en una FECFRAME, y la secuencia de salida resulta una XFECFRAME (complex FECFRAME).

La Figura 2.4 indica las posibles constelaciones para el sistema DVB-S2.



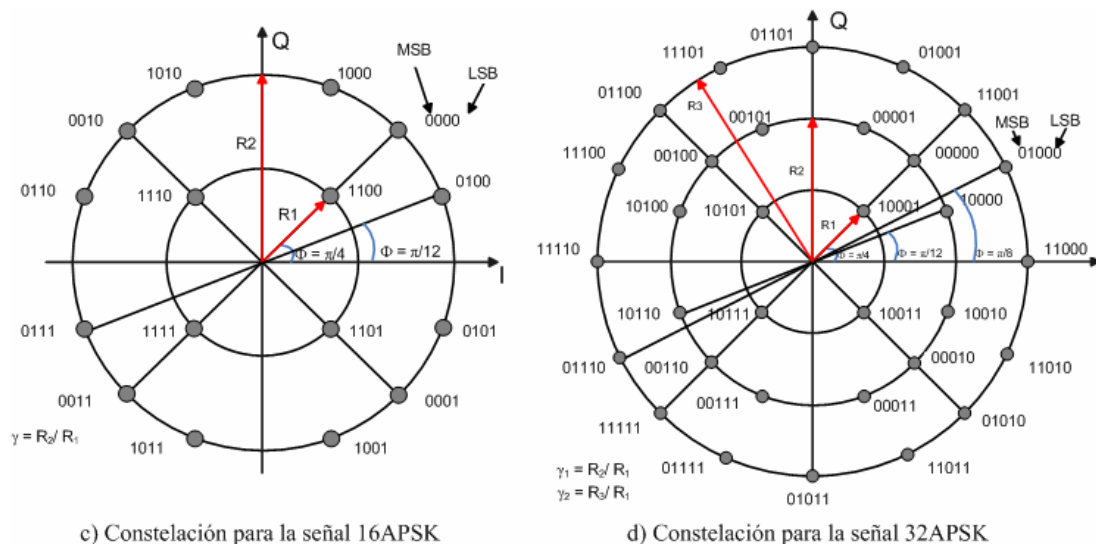


Figura 2.4: Las 4 posibles constelaciones DVB-S2 antes del mezclado de capa física. [1]

2.1.6.2 Determinación de la eficiencia de modulación

DVB-S2 brinda la posibilidad de utilizar modulación QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK. La razón para utilizar esquemas de modulación altos es porque éstos pueden agrupar más de un bit en un símbolo. Es así que, modulaciones de alto orden incrementan drásticamente la eficiencia del sistema. [3]

La eficiencia de modulación η_{MOD} , corresponde al número de bits transportados por un símbolo de la constelación.

La Tabla 2.2 presenta las eficiencias de modulación dentro del sistema DVB-S2.

Esquema de modulación	Eficiencia de modulación η_{MOD} [bits/símbolo]
QPSK	2
8PSK	3
16APSK	4
32APSK	5

Tabla 2.2: Eficiencias de modulación del sistema DVB-S2.

2.1.7 NÚMERO DE *SLOTS* (S) EN UNA XFECFRAME [1]

El subsistema "*PLFraming*" toma una XFECFRAME y a partir de ella genera una trama de capa física (llamada PLFRAME), al realizar los siguientes procesos (Figura 2.5):

- Generación de la trama *Dummy* PLFRAME cuando la XFECFRAME no está lista a ser procesada y transmitida.
- Particionamiento de la XFECFRAME en un número entero S de *slots* de longitud constante (longitud: $M = 90$ símbolos cada una). S debe estar de acuerdo con la Tabla 2.3.
- Generación e inserción del PLHEADER delante de la XFECFRAME para la configuración del receptor. El PLHEADER debe ocupar exactamente un *slot* (longitud: $M = 90$ símbolos).
- Inserción de Bloques Pilotos (para modos que requieren pilotos) cada 16 *slots*, para ayudar a la sincronización del receptor. El Bloque de Pilotos se compone de $P = 36$ símbolos pilotos no modulados.
- Aleatorización de los símbolos modulados (I,Q) por medio de un Mezclador de capa física.

El flujo de entrada del subsistema *PLFraming* es una XFECFRAME y la salida una PLFRAME mezclada.

La Figura 2.5 indica un bosquejo acerca del particionamiento de la XFECFRAME en *slots*, hasta conformar la PLFRAME.

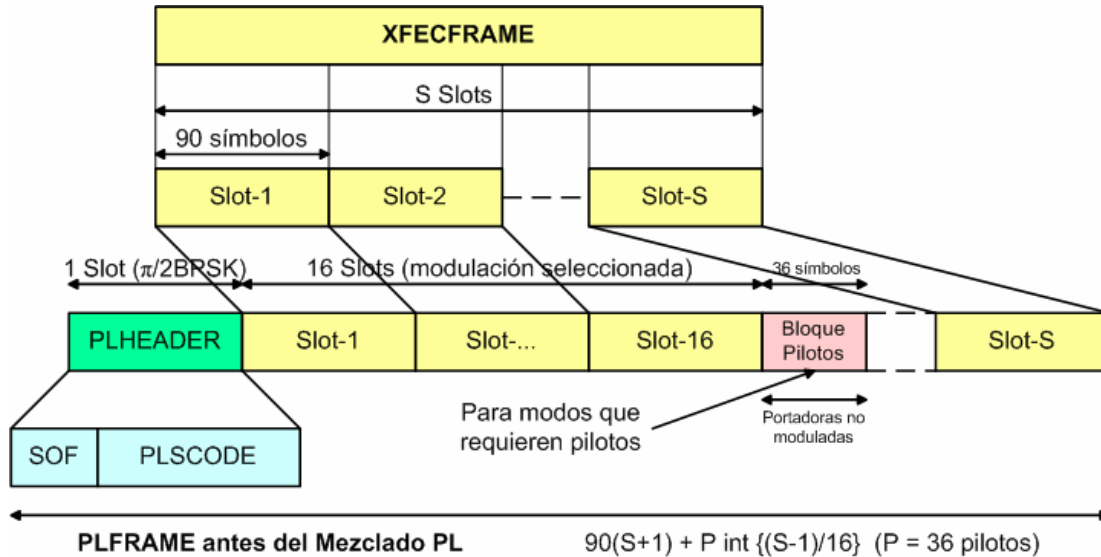


Figura 2.5: Particionamiento de la XFECFRAME en S slots de 90 símbolos para conformar una PLFRAME. [1]

La Tabla 2.3 establece el número de slots contenidos en una XFECFRAME.

η_{MOD} [bits/símbolo]	$n_{\text{ldpc}} = 64800$ (trama normal)		$n_{\text{ldpc}} = 16200$ (trama corta)	
	S	η % sin pilotos	S	η % sin pilotos
2	360	99,72	90	98,90
3	240	99,59	60	98,36
4	180	99,45	45	97,83
5	144	99,31	36	97,30

Tabla 2.3: S = número de slots ($M = 90$ símbolos) por XFECFRAME. [1]

2.1.7.1 Cálculo del número de slots en una XFECFRAME

El número de slots (S) en una XFECFRAME depende de la modulación seleccionada y de la longitud de la trama.

Se puede obtener S dividiendo el número de bits correspondiente a la longitud de la FECFRAME (n_{ldpc} bits) entre el número de bits por símbolo (η_{MOD}) correspondiente a la modulación utilizada multiplicada por 90 (ya que cada slot consiste de 90 símbolos), esto es: [4]

$$S = \frac{n_{ldpc}}{90 * \eta_{MOD}} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

2.1.8 EFICIENCIA DE ENCAPSULAMIENTO DE LA PLFRAME

2.1.8.1 Conformación de la PLFRAME

DVB-S2 establece que la PLFRAME puede o no contener símbolos pilotos en su estructura.

En el caso de utilizar PLFRAME con símbolos pilotos, se inserta un BLOQUE DE PILOTOS en la estructura de trama de capa física. Este BLOQUE DE PILOTOS tiene la finalidad de ayudar a la sincronización del receptor, y está compuesto de $P = 36$ símbolos pilotos. Cada piloto será un símbolo no modulado, identificado por $I = (1/\sqrt{2})$, $Q = (1/\sqrt{2})$. [1]

El primer BLOQUE PILOTO se introduce 16 *slots* después del PLHEADER, el segundo después de 32 *slots*, y así sucesivamente (es decir, 36 símbolos pilotos cada 1440 símbolos de datos). Si la posición del BLOQUE DE PILOTOS coincide con el inicio de la siguiente SOF (*Start Of Frame*), entonces el BLOQUE DE PILOTOS no se transmite. [1]

La Figura 2.6 indica la presencia de símbolos pilotos dentro de la PLFRAME.

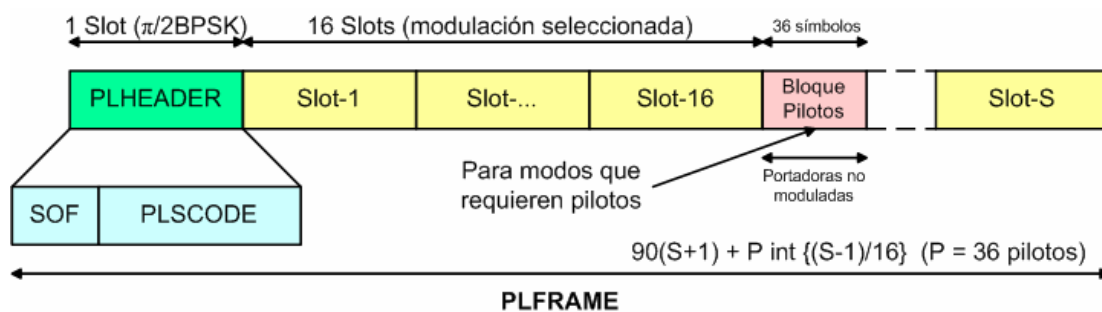


Figura 2.6: Formato de una “Trama de Capa Física” PLFRAME e Inserción de pilotos. [1]

Cabe resaltar que la presencia/ausencia de pilotos en configuraciones VCM y ACM puede cambiarse trama a trama

Previo a la modulación, cada PLFRAME, excluyendo el PLHEADER, será mezclada para proteger la trama contra errores.

De esta forma se obtendrá una PLFRAME mezclada saliendo del subsistema de “Entramado de capa física *PLFraming*”.

2.1.8.2 Cálculo de la eficiencia de encapsulamiento de la PLFRAME [4]

A partir de la descripción de la forma como se genera una PLFRAME, se desprenden las siguientes características:

- Número de símbolos en el PLHEADER = 90.
 - Número de símbolos útiles en la PLFRAME = 90 * S.
 - Número de símbolos pilotos en la PLFRAME = 36 * $\text{int} [(S - 1) / 16]$, donde $\text{int} [\dots]$ indica la Función Entera.
- NOTA: Se utiliza S – 1 porque si la posición del BLOQUE DE PILOTOS coincide con la el inicio de la siguiente SOF (siguiente PLHEADER), entonces el bloque de pilotos no se transmite.

2.1.8.2.1 Cálculo de la eficiencia de la PLFRAME con pilotos [1]

Cuando se utilizan símbolos pilotos, la eficiencia de la PLFRAME está dada por:

$$\eta_{PLFRAME} = \frac{90 * S}{90 + 90 * S + 36 * \text{int} [(S - 1) / 16]} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

2.1.8.2.2 Cálculo de la eficiencia de la PLFRAME sin pilotos [1]

Si no se utilizan símbolos pilotos, el término referente a los símbolos pilotos de la ecuación anterior puede ser removido, así:

$$\eta_{PLFRAME} = \frac{90 * S}{90 + 90 * S} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

2.1.9 EFICIENCIA ESPECTRAL DE LA TRAMA DVB-S2

2.1.9.1 Conformación de la señal DVB-S2

Después de la aleatorización de la PLFRAME, el subsistema de “Modulación” de DVB-S2 aplica Filtrado a la señal mediante un filtro “Raíz Cuadrada del Coseno Levantado”, el cual puede utilizar factores de *roll-off* $\alpha = 0,35, 0,25$ y $0,20$, dependiendo de los requerimientos del servicio.

Luego, el subsistema lleva a cabo una Modulación en Cuadratura, para formar el espectro de la señal y generar la señal RF (Radio Frecuencia). La modulación en cuadratura se realiza multiplicando las muestras en fase y en cuadratura por $\sin(2\pi f_0 t)$ y $\cos(2\pi f_0 t)$, respectivamente (donde f_0 es la frecuencia de portadora). Las dos señales resultantes se suman para obtener la señal de salida del modulador. [1]

Al completar este proceso, se habrá conformado totalmente la señal DVB-S2, la misma que será enviada al satélite para ser utilizada en los diferentes servicios que el sistema DVB-S2 puede brindar.

2.1.9.2 Cálculo de la eficiencia espectral de la trama DVB-S2

DVB-S2 define a la eficiencia espectral (η_{Tot}) como el resultado de multiplicar la eficiencia de la FECFRAME (de longitud normal o corta) por la eficiencia de modulación y por la eficiencia de la PLFRAME (con o sin pilotos), esto es: [4]

$$\eta_{Total} = \eta_{FECFRAME} * \eta_{MOD} * \eta_{PLFRAME} \quad [bps/Hz] \quad \text{Ecuación 2.9}$$

DVB-S2 también define la eficiencia espectral como la relación entre la Tasa de bits (R_U) y la Tasa de símbolos (R_s) de la señal.

$$\eta_{Total} = \frac{R_U}{R_s} \quad [bps/Hz] \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Al seleccionar la constelación de la modulación y la tasa de código, están disponibles eficiencias espectrales desde 0,5 hasta 4,5 [bps/Hz], y pueden ser escogidas dependiendo de las capacidades y restricciones del *transponder* satelital utilizado. [1]

2.2 PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN *FORWARD* PARA LA SEÑAL DVB-S2

Una vez que se ha conformado la señal DVB-S2, es necesario enviar esta señal hacia el satélite para que pueda ser aprovechada y brindar los servicios que se especifican dentro de la plataforma DVB-S2.

En este punto entonces, se estudia las características que debe tener la señal para ser transmitida (tasa de bits, tasa de símbolos, ancho de banda del canal), tomando en cuenta todas las consideraciones que el estándar DVB-S2 brinda para determinar estos parámetros, con el propósito de lograr la máxima tasa de bits para un límite de error.

Dentro del sistema DVB-S2, el *transponder* satelital puede utilizarse en dos configuraciones:

- a) Configuración de “Una sola portadora por *transponder*”: En este modo, todo el ancho de banda del *transponder* es ocupado por una única portadora DVB-S2.

- b) Configuración de “Multi-portadoras por *transponder*” (FDM): En esta configuración, múltiples portadoras DVB-S2 ocupan el mismo *transponder* satelital.

2.2.1 TASA DE BITS DE LA SEÑAL DVB-S2

2.2.1.1 Tasa de bits

Constituye el número de bits que se transfieren por unidad de tiempo a través de un sistema de información digital o entre dispositivos digitales. En otras palabras, corresponde a la velocidad a la que se transfiere la información. Se la mide en bits por segundo [bps].

Esta tasa de bits (*bit rate*) también se la denomina como: velocidad de transmisión, tasa de información, velocidad o ritmo binario.

2.2.1.2 Consideraciones sobre la Tasa de bits de la señal DVB-S2 [2]

La Figura 2.7 da ejemplos de la capacidad de tasa de bits R_u factible por el sistema DVB-S2 versus la tasa de código LDPC, asumiendo una tasa de símbolos R_s unitaria. La Figura 2.7 hace referencia a Modulación y Codificación Constante (CCM), longitud de trama FEC normal (64800 bits), sin campo de relleno, sin pilotos (los pilotos podrían reducir la eficiencia alrededor de un 2,4%).

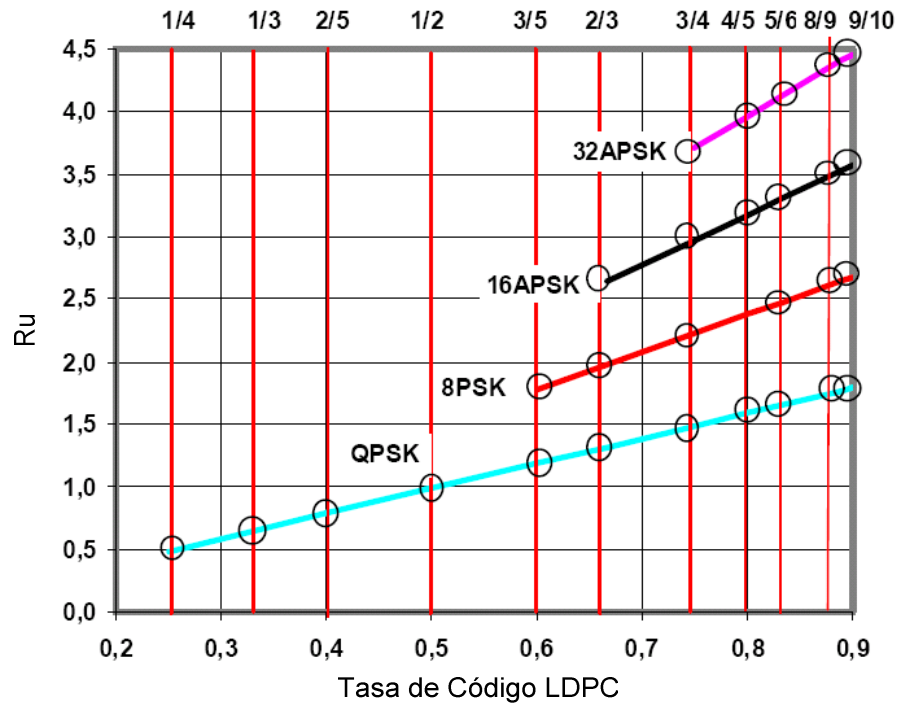


Figura 2.7: Ejemplos de Tasas de bits R_U versus tasas de código LDPC, por unidad de tasa de símbolos R_S . [2]

En la Tabla 2.4 se resumen las tasas de bits más usadas para algunos modos de transmisión, considerando una tasa de 7,2 [Mbaudios].

QPSK					8PSK			16APSK		
1/2	2/3	3/4	5/6	8/9	2/3	3/4	5/6	3/4	4/5	5/6
7,12	9,52	10,71	11,91	12,72	14,26	16,04	17,85	21,36	22,79	23,76

Tabla 2.4: Tasa de bits [Mbps] para una tasa de símbolos de 7,2 [Mbaudios]. [2]

2.2.1.3 Cálculo de la Tasa de bits de la señal DVB-S2

Dentro de la norma DVB-S2, la eficiencia espectral η_{Tot} se definió como la relación entre la Tasa de bits (R_U) y la Tasa de símbolos R_S de la señal. Por lo tanto, la Tasa de bits será:

$$R_U = \eta_{Tot} * R_S \quad [bps] \quad \text{Ecuación 2.11}$$

2.2.2 ENCAPSULAMIENTO IP SOBRE DVB-S2

El transporte de IP sobre DVB consiste en encapsular los datagramas IP, que contienen información multimedia, en Flujos de Transporte MPEG, para ser distribuidos por algunos sistemas de televisión digital, y en este caso específico, utilizando el sistema DVB-S2. [9]

Para lograr esta meta, los datagramas IP pueden ser encapsulados en Flujos de Transporte, utilizando varias técnicas de encapsulamiento. La norma DVB ha diseñado el mecanismo de Encapsulamiento Multiprotocolo (MPE: *Multiprotocol Encapsulation*) para cumplir con este propósito.

Además, se han desarrollado nuevos protocolos de encapsulamiento para el transporte de datagramas IP o de otros formatos de capa red, los cuales presentan eficiencias mejoradas con respecto a la técnica MPE. [2]

Entre estos protocolos se puede mencionar el Encapsulamiento Ultra Liviano (ULE: *Ultra Lightweight Encapsulation*) y el Protocolo para Encapsulamiento de Flujos Genéricos (GSE: *Generic Stream Encapsulation*), los cuales se exponen a continuación.

2.2.2.1 Encapsulamiento Multiprotocolo (MPE)

El método de Encapsulamiento Multiprotocolo (MPE: *Multiprotocol Encapsulation*), definido en el reporte técnico *ETSI TR 101 202*, es el estándar DVB para encapsular audio/video y otros contenidos de capa Red en paquetes MPEG-TS. MPE ha sido optimizado para transportar el Protocolo Internet (IP: *Internet Protocol*). Además, también puede ser utilizado para transportar cualquier otro protocolo de capa red utilizando encapsulamiento LLC/SNAP. [7]

La idea básica de encapsulamiento es que a los datagramas IP se los fragmenta en secciones MPE, se les añade una cabecera MPE, y posteriormente se las encapsula dentro de los paquetes de transporte MPEG. [10]

La Figura 2.8 ilustra el formato del paquete para el método de encapsulamiento MPE.

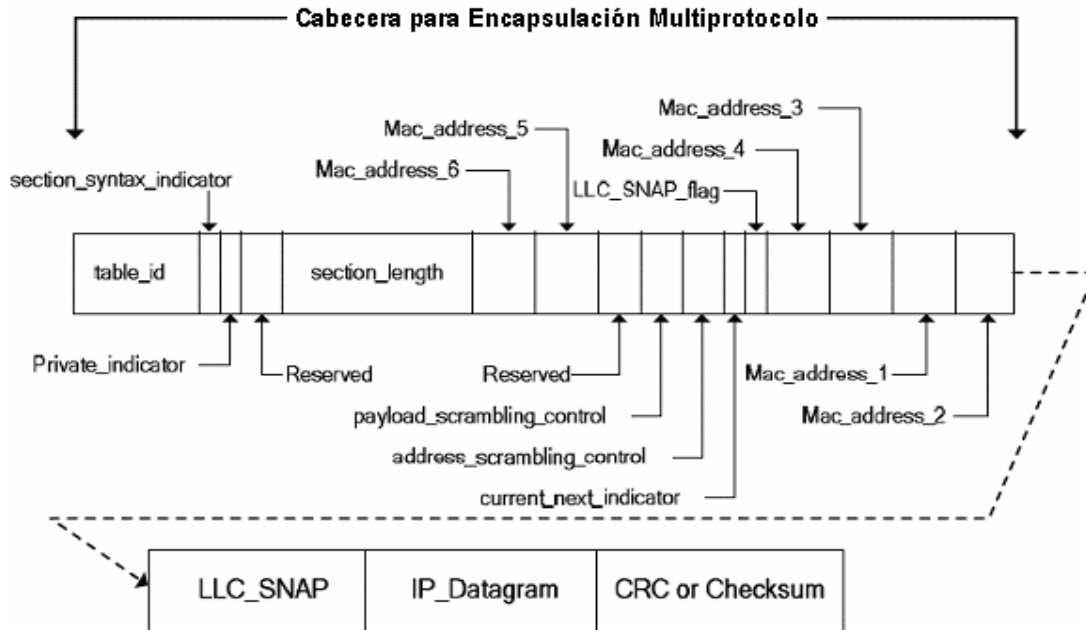


Figura 2.8: Formato del paquete MPE. [7]

2.2.2.2 Encapsulamiento Ultra Liviano (ULE) [7]

El encapsulamiento ULE (*Ultra Lightweight Encapsulation*, [RFC4236]) es un método basado en el enfoque conocido como Tubería de Datos (*Data Piping*¹⁰), y es un nuevo método de encapsulamiento para el transporte de datagramas IPv4 e IPv6 y otros protocolos de capa Red directamente sobre MPEG-2 TS.

El mecanismo ULE no añade tanto *overhead* para el encapsulamiento, lo cual difiere con el método MPE. El sistema MPE usualmente añade mucho *overhead* para el encapsulamiento, por ejemplo: 17 bytes de cabecera/cola para IPv4 y 25 bytes para IPv6 (utilizando LLC/SNAP), mientras que la cabecera ULE generalmente consta de 4 bytes. [7]

¹⁰ *Data Piping* es un mecanismo simple de transporte de datos extremo a extremo. [10]

ULE coloca los paquetes directamente en el MPEG-2 TS. La característica de ULE es que tiene una cabecera más simple con solo unos pocos campos, lo que hace que el paquete ULE sea fácil de procesar. Esta cabecera es significativamente más pequeña y menos compleja que la cabecera MPE. Además de esto, la cabecera ULE contiene 2 bytes para el Campo Tipo que permite al receptor identificar el tipo de protocolo que se está transportando.

La Figura 2.9 ilustra el formato del paquete para el método de encapsulamiento ULE.

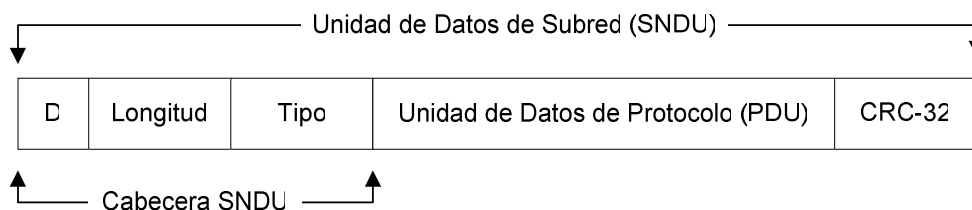


Figura 2.9: Formato del paquete ULE. [7]

2.2.2.3 Protocolo para Encapsulamiento de Flujos Genéricos (GSE) [9]

El grupo DVB-S2 tiene un Módulo Técnico denominado DVB-TM GBS, el cual ha estado activo desde el inicio del proyecto DVB. Este módulo ha producido algunas especificaciones medulares para el actual sistema DVB (por ejemplo, Información de Servicio, Radiodifusión de Datos, Actualización de Software), y una de sus aportaciones relevantes constituye el Protocolo para Encapsulamiento de Flujos Genéricos, el cual se explica a continuación.

El protocolo GSE ha sido diseñado como una capa de adaptación para proveer funciones de fragmentación y encapsulamiento de paquetes de capa red sobre Flujos Genéricos. GSE permite el encapsulamiento eficiente de datagramas IP (y otros paquetes de capa red), sobre paquetes de capa 2 (paquetes GSE) de longitud variable, los que después son directamente organizados sobre la capa física en las tramas de banda base (BBFRAMEs).

GSE maximiza la eficiencia en el transporte de datagramas IP reduciendo el *overhead* en un factor de 2 a 3 con respecto a MPE sobre MPEG-TS. Esto se logra sin ningún compromiso sobre las funcionalidades provistas por el protocolo, gracias a la longitud variable del paquete GSE, adecuado a las características del tráfico IP. Por ejemplo, en un sistema DVB-S2 Interactivo, el *overhead* se reduce en un promedio del 10% para MPE/MPEG-2 TS hasta un 2 a 3% para GSE. Así pues, se produce una ganancia en el rendimiento global de alrededor del 5 al 15%, dependiendo del sistema en concreto y de las características del tráfico.

La Figura 2.10 indica la operación GSE. Los datagramas IP, tramas Ethernet, u otros paquetes de capa red (aquí llamados Unidad de Datos de Protocolo PDUs), son encapsulados en uno o más paquetes GSE. El proceso de encapsulamiento delimita el inicio y el final de cada PDU, añade información de control, como el tipo protocolo de red y la etiqueta de dirección, y provee un chequeo de la integridad total cuando se necesite.

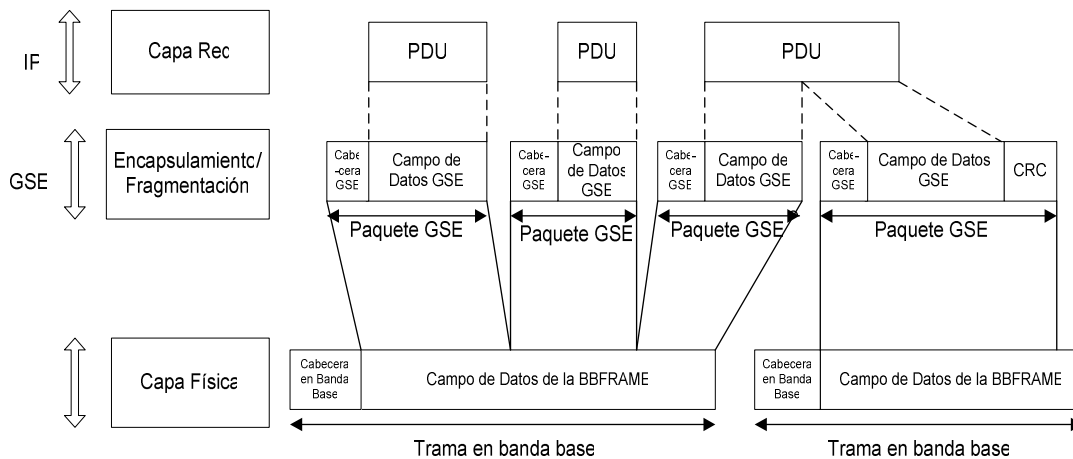


Figura 2.10: Encapsulamiento GSE dentro del *stack* de protocolos DVB. [9]

La PDU puede ser encapsulada en un solo paquete GSE, o dividido en varios fragmentos de PDU y encapsulados en varios paquetes GSE. Los paquetes GSE, en general, tienen una longitud variable, para ajustarse al tráfico IP de entrada con el mínimo *overhead*.

Los paquetes GSE pueden ser enviados en diferentes BBFRAMEs, no necesariamente de forma consecutiva e incluso con parámetros de transmisión diferentes. Más aun, no se asume ninguna restricción sobre la posición del paquete GSE dentro de la trama. En general, una BBFRAME puede multiplexar más de un solo paquete GSE.

GSE no incluye un mecanismo para el chequeo de integridad de un solo paquete GSE. Sólo se añade un CRC-32 al último fragmento PDU de una PDU fragmentada, para verificar la exactitud de la operación de reensamblado. GSE confía en que la capa física puede asegurar la detección de errores requerida y/o probabilidad de corrección.

2.2.2.4 Cálculo de K_{bch} utilizando MPE, ULE o GSE

El porcentaje de *overhead* introducido por el encapsulamiento es una función del tamaño y del tiempo de los paquetes IP a ser enviados, y depende del método de encapsulamiento que se adopte. [7]

Para observar la forma cómo afecta el uso de los mecanismos de encapsulación IP en el funcionamiento del sistema DVB-S2, para nuestros cálculos se utiliza los porcentajes de *overhead* con los que trabaja el *software* “DVB-S1+S2 Calculator.xls” V3.8, desarrollado por la empresa NEWTEC para el mismo propósito.

La Tabla 2.5 indica los porcentajes de *overhead* considerados por Newtec para los diferentes mecanismos de encapsulamiento. En la tabla 2.5, el encapsulamiento GSE ha sido señalado como GBS, tomando en cuenta el nombre del grupo DVB-TM GBS que diseñó el protocolo.

Modo	Overhead [%]
GBS (no AIR MAC)	1.4 %
ULE (no AIR MAC)	3.4%
MPE (con AIR MAC)	4.7%

Tabla 2.5: *Overhead* para encapsulamiento IP. [11]

En caso de que se añada algún *overhead* (OH%) al flujo de bits de información, a través de un proceso de encapsulamiento, debe tomarse en cuenta dicho *overhead* en el proceso de formación de la BBFRAME, así:

$$K_{bch}' = [K_{bch} - (K_{bch} * OH\%)] \quad \text{Ecuación 2.12}$$

De esta manera, la tasa de bits se reduce en un factor: $R_U' = R_U / (1 + \%OH)$. [11]

2.2.3 TASA DE SÍMBOLOS DENTRO DEL ESTÁNDAR DVB-S2

2.2.3.1 Tasa de símbolos

Corresponde a la velocidad a la que se producen los cambios de estado, símbolos o nivel, en cada segundo, durante la transferencia de información. Se la expresa en símbolos por segundo o Baudios [Baudio].

La tasa de símbolos (*symbol rate*) también se la conoce como: velocidad de señal, tasa de baudios (*baud rate*), velocidad de codificación (aplicable a señales codificadas por la aplicación de algún tipo código de línea), o velocidad de modulación (aplicable a señales moduladas). [3]

A medida que los bits se agrupan en símbolos para ser transmitidos, a cada uno de estos símbolos se les asigna un nivel de la señal para efectos de transmisión. A una señal digital de este tipo se denomina señal multinivel. [3]

El objetivo de trabajar con señales multiniveles es el de disminuir los requerimientos de ancho de banda para la transmisión. Es decir, el ancho de banda que requieren las señales digitales binarias puede resultar excesivo; para disminuirlo, se procede a transformar dicha señal binaria (2 niveles), antes de salir del transmisor, en una señal multinivel (más de dos niveles). [3]

2.2.3.2 Consideraciones sobre la Tasa de símbolos en DVB-S2 [2]

En la configuración de una sola portadora por *transponder*, la tasa de transmisión de símbolos R_s corresponde a -3 [dB] del ancho de banda AB de la señal modulada, o de un *transponder* dado, para lograr la máxima capacidad de transmisión, compatible con la degradación aceptable de la señal debida a las limitaciones del ancho de banda del *transponder*.

En la configuración de multi-portadora FDM, R_s puede ser igualada al ancho de banda del *slot* de frecuencia B_s destinado al servicio por el plan de frecuencias, para optimizar la capacidad de transmisión, mientras se mantiene la interferencia mutua entre portadoras adyacentes en un nivel aceptable.

El valor $AB = R_s (1+\alpha)$ corresponde al ancho de banda total teórico de la señal después del modulador, donde α representa el factor de *roll-off* del filtro.

2.2.3.3 Cálculo de la Tasa de símbolos para la señal DVB-S2

La Tasa de símbolos para la señal DVB-S2 se puede calcular por los siguientes métodos:

- Tomando en cuenta la definición dada por el estándar DVB-S2 para la eficiencia espectral, podemos obtener la Tasa de símbolos R_s del sistema, así:

$$R_s = \frac{R_U}{\eta_{Tot}} \quad [\text{Baudios}] \quad \text{Ecuación 2.13}$$

- Puesto que $R_s (1+ \alpha)$ corresponde al ancho de banda (AB) total teórico de la señal después del modulador, entonces, a partir de esta relación, se puede obtener la Tasa de símbolos R_s , como se indica a continuación:

$$R_s = \frac{AB}{(1 + \alpha)} \quad [\text{Baudios}] \quad \text{Ecuación 2.14}$$

2.2.4 ANCHO DE BANDA DEL CANAL DVB-S2

2.2.4.1 Ancho de banda del canal [3]

Una de las características fundamentales del canal de transmisión es su Ancho de Banda.

El ancho de banda del canal corresponde al rango de frecuencias que el canal de transmisión es capaz de transportar, garantizando el paso transparente de la señal. El ancho de banda se lo mide en Hertz [Hz].

De esta manera se establece una relación directa entre el ancho de banda del canal y su capacidad para transportar la información. En un sistema, el ancho de banda del canal debe permitir el paso de las componentes de frecuencia más significativas de la señal de información.

En la práctica, los canales de transmisión tienen un ancho de banda limitado y su costo depende del mismo. Dado un canal con un determinado ancho de banda, se deberá usarlo de la forma más eficiente, tratando de lograr la máxima velocidad para un límite de tasa de error.

2.2.4.2 Consideraciones sobre el Ancho de banda en DVB-S2 [2]

La relación $R_s(1+\alpha)$ definida por el estándar DVB-S2, corresponde al ancho de banda de la señal total teórico después del modulador, donde α representa el factor de *roll-off*.

El uso de factores de *roll-off* $\alpha = 0,25$ y $\alpha = 0,20$ en el filtro, pueden permitir un incremento en la capacidad de transmisión, pero también pueden producir

grandes degradaciones no lineales por el satélite para operación de una sola portadora.

2.2.4.3 Cálculo del Ancho de banda de la señal DVB-S2

Tomando en cuenta las ideas expuestas en la sección anterior, el ancho de banda ocupada por la señal modulada DVB-S2, está dado por el producto entre la Tasa de símbolos R_s y el factor $(1+\alpha)$, así:

$$AB = R_s * (1 + \alpha) \quad [Hz] \quad \text{Ecuación 2.15}$$

2.2.5 DURACIÓN EN TIEMPO DE LA TRAMA DE INFORMACIÓN DVB-S2

Analizando el proceso de conformación de la trama DVB-S2, se observó que el bloque “Fusionador/Separador” toma una porción de la información de usuario UP y la coloca dentro de lo que denomina la BBFRAME (Figura 2.2).

Entonces, la sección que corresponde a información de usuario dentro de una BBFRAME es $K_{bch} - 80$ bits. Esta es la información que es procesada por el Sistema DVB-S2 a lo largo de cada una de sus etapas, y que finalmente se encapsula dentro de lo que constituye la trama DVB-S2.

Aquí se detalla la forma de calcular la duración en tiempo de esta porción de información, una vez que es procesada y transmitida hacia el satélite.

2.2.5.1 Cálculo de la duración temporal de la información de usuario en DVB-S2

Si el tiempo de duración de un bit (período de bit) es T_b segundos, la tasa de bits será el inverso del período de bit, así:

$$R_U = \frac{1}{T_b} \quad [bps] \quad \Rightarrow \quad T_b = \frac{1}{R_U} \quad [s] \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Se deduce que la duración (en tiempo) de la información de usuario es el producto entre la información útil ($K_{bch} - 80$ bits), por el tiempo T_b que dura cada uno de estos bits, de esta forma:

$$t_{fr} = (K_{bch} - 80) * T_b = (K_{bch} - 80) * \frac{1}{V_{tx}} \quad [s] \quad \text{Ecuación 2.17}$$

2.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ENLACE DVB-S2

Existen varias irregularidades (ruido, interferencia, distorsión) que afectan a la calidad a la señal de información que se envía a través de un determinado canal de transmisión. **[6]**

El ruido electromagnético es la más frecuente de ellas, y puede degradar la operación de las redes satelitales. Es necesario estimar su valor para calcular la relación E_b/N_0 (o la relación C/N) de cada enlace de una red, para conocer los límites de operación de ésta, puesto que, para un nivel de potencia de ruido N constante, mientras mayor sea la tasa de bits a la que se transmita la información, más alta será la tasa de bits errados (BER). **[6]**

Dentro del normativo DVB-S2, la técnica FEC (*Forward Error Correction*) adoptada en el sistema está diseñada para proveer un nivel de calidad del enlace “Casi libre de errores” (QEF: *Quasi Error Free*), cuando la señal recibida está por debajo del umbral de C/N+I (Relación Portadora a Ruido más Interferencia), **[1]**

La definición de QEF adoptada por DVB-S2 es “menos de un evento de error no corregido por hora de transmisión”, lo que aproximadamente corresponde a una Relación de Paquetes Errados de Flujo de Transporte PER $< 10^{-7}$ antes del demultiplexor. **[1]**

Sistemas de radiodifusión requieren un BER $< 10^{-11}$, donde los bloques de código grandes ofrecen mejor rendimiento C/N. **[2]**

2.3.1 FACTOR DE ESPACIAMIENTO ENTRE PORTADORAS DVB-S2

2.3.1.1 Interferencia de canal adyacente

Como se ha explicado, el *transponder* satelital puede operar en dos configuraciones: una o varias portadoras por *transponder*, dependiendo de cuántas señales ocupen este recurso.

Cuando el *transponder* trabaja con varias portadoras, puede provocarse un efecto llamado Interferencia de Canal Adyacente, el cual se produce cuando dos o más señales contiguas se solapan o entrecruzan, debido a la imperfección de los filtros (transmisor y/o receptor), degradando la calidad del sistema. Este efecto depende del nivel relativo de las portadoras adyacentes.

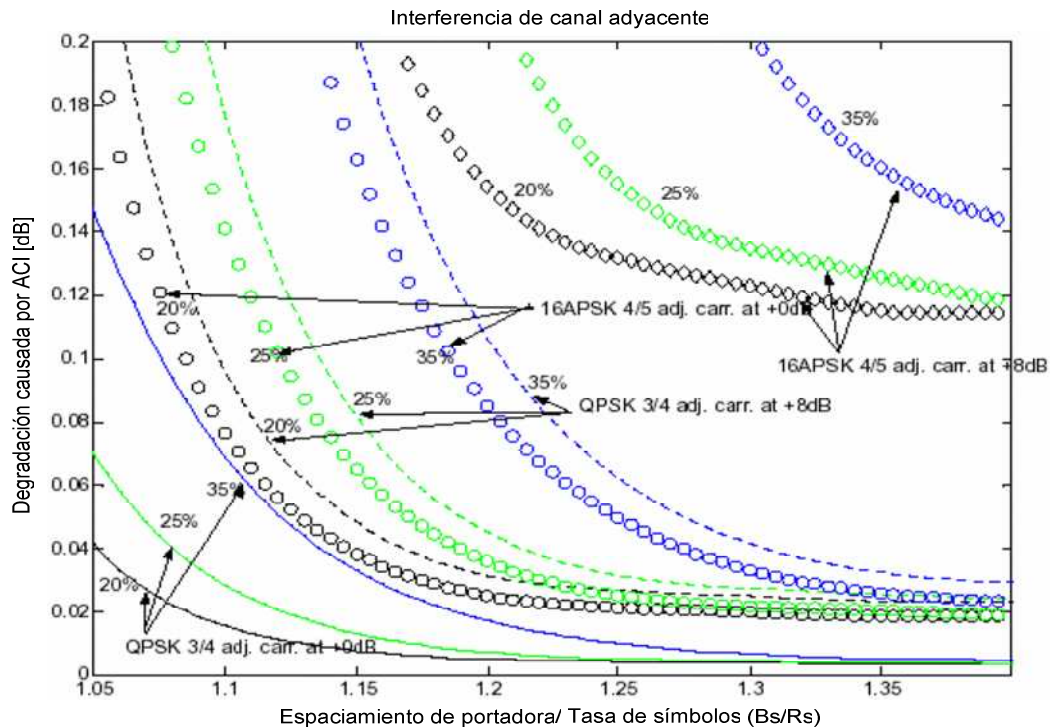
Por este motivo, debe asegurarse un factor de espaciamiento mínimo entre las portadoras presentes en el *transponder*, para evitar esta alteración y cumplir con los objetivos de calidad descritos en el estándar.

2.3.1.2 Criterios sobre el factor de espaciamiento entre portadoras en DVB-S2 [2]

Cuando los filtros de transmisión y recepción son ideales y la frecuencia de referencia del transmisor es muy exacta, hay cero interferencia del canal adyacente (ACI: *Adjacent Channel Interference*) para un $B_S/R_s > 1+\alpha$.

Es por esto que, dentro del sistema DVB en general, se adopta como una regla general un espaciamiento de portadoras de $B_S/R_s > 1+ \alpha$. Cabe indicarse que este valor ha sido deducido mediante un análisis realizado por DVB, y que valores más bajos a esta regla sólo deben aplicarse con cautela, después de un estudio cuidadoso, pues no se han realizado simulaciones para dichos casos.

La degradación debida a canales adyacentes depende del punto de falla $C_0/(N_0+I_0)$ del modo DVB-S2 (MODCOD), y del nivel relativo de las portadoras adyacentes interferentes. Estos efectos se ilustran en la Figura 2.11.



NOTA Las curvas están trazadas para todos los factores de roll-off y para un nivel de interferencia de portadora de +0dB y +8dB por encima de la portadora bajo prueba. Use esta figura con precaución si las asunciones listadas en el texto principal no se satisfacen.

Figura 2.11: Degradación esperada causada por la Interferencia de canal adyacente para modos QPSK 3/4 y 16APSK 4/5 y asumiendo dos portadoras adyacentes usando la misma tasa de símbolos y el mismo factor de *roll-off*. [2]

En la Tabla 2.6 se da una recomendación para el espacio entre portadoras.

Modo de portadora bajo prueba	Factor de <i>roll-off</i>	Nivel de portadora adyacente cada +4 dB	Nivel de portadora adyacente cada +8 dB
QPSK 3/4: Punto de falla asumido $C_0/(N_0+I_0) = 4 \text{ dB} + 2 \text{ dB}$	$\alpha = 0,20$	1,10 (ver nota 2)	1,11
	$\alpha = 0,25$	1,10 (ver nota 2)	1,14
	$\alpha = 0,35$	1,10 (ver nota 2)	1,22
8PSK 3/4: Punto de falla asumido $C_0/(N_0+I_0) = 8 \text{ dB} + 2 \text{ dB}$	$\alpha = 0,20$	1,11	1,17
	$\alpha = 0,25$	1,14	1,21
	$\alpha = 0,35$	1,22	1,30
16APSK 4/5: Punto de falla asumido $C_0/(N_0+I_0) = 11 \text{ dB} + 2 \text{ dB}$	$\alpha = 0,20$	1,15	1,20
	$\alpha = 0,25$	1,19	1,25
	$\alpha = 0,35$	1,27	1,35

NOTA 1: Use esta tabla con precaución si las asunciones listadas en el texto principal no se satisfacen.
NOTA 2: Valores por debajo de 1,10 no fueron permitidos en la tabla

Tabla 2.6: Espaciamentos de portadora mínimo B_s/R_s típicos. [2]

Para las deducciones dadas en la de la Figura 2.11 y en la Tabla 2.6, DVB-S2 ha supuesto que:

- Los filtros TX y RX satisfacen la normativa/recomendación de máscaras superiores.
- Todas las portadoras tienen la misma tasa de símbolos y factor de *roll-off*.
- Los puntos de falla $C_0/(N_0+I_0)$ están a 2 [dB] sobre el valor listado en DVB-S2, Tabla 1.11 (asunción pesimista como margen de seguridad).
- El Amplificador de Alta Potencia (HPA) del transmisor opera en modo lineal con 7 [dB] a 11 [dB] de OBO¹¹ en el HPA.
- La incertidumbre de frecuencia de transmisión es menor al 0,5% de la tasa de símbolos.

En la Tabla 2.6 se observa que el valor $B_s/R_s > 1 + \alpha$ es aproximadamente correcto para 16APSK 4/5 con dos portadores adyacentes en +8 [dB], aunque los espacios de portadora significativamente más bajos son posibles en muchos casos.

Situaciones donde la portadora bajo prueba y las portadoras adyacentes no tienen idéntica tasa de símbolos y factor de *roll-off* deben analizarse separadamente.

2.3.1.3 Cálculo del Factor de espaciamiento entre portadoras

El factor de espaciamiento entre portadoras normalizado, de acuerdo a las consideraciones presentadas por DVB-S2, está expresado por la relación:

¹¹ **Output Back-off** (OBO – Retención de portadora): Nivel de reducción de potencia a la salida de un amplificador respecto al punto de saturación, para asegurar su operación en la región lineal, logrando con esto que los enlaces satelitales tengan una proporción relativamente baja de ruido de intermodulación. [6]

$$\text{Factor de espaciamento entre portadoras} \geq (1 + \alpha) = \frac{B_S}{R_S} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

en la que B_S es el ancho de banda, ya sea del *slot* de frecuencia o de la señal modulada, y R_S es la tasa de símbolos.

En la relación anterior, el factor mínimo de espaciamento entre portadoras se logra considerando la igualdad de esta ecuación, es decir, para cuando el factor de espaciamento entre portadora es igual a $(1 + \alpha)$.

2.3.2 RELACIÓN E_S/N_0 IDEAL

2.3.2.1 Relación E_S/N_0

En esta relación, el parámetro E_S indica la energía promedio por símbolo transmitido. [1]

El término N_0 se denomina densidad de potencia de ruido, y representa la cantidad de ruido presente en un ancho de banda de 1 Hertz. Se mide en [W/Hz]. [5]

Por lo tanto, el término E_S/N_0 mide la relación entre la energía por símbolo transmitido y la densidad de potencia de ruido. Se la expresa en decibelios [dB].

2.3.2.2 Consideraciones sobre la relación E_S/N_0 en DVB-S2 [1]

En la Tabla 2.7 se resumen los requerimientos de rendimiento a un nivel QEF (Casi Libre de Errores) sobre un canal AWGN.

Modo	Eficiencia espectral	E_S/N_0 [dB] ideal Para FECFRAME de longitud = 64800
QPSK 1/4	0,490243	-2,35
QPSK 1/3	0,656448	-1,24
QPSK 2/5	0,789412	-0,30

QPSK 1/2	0,988858	1,00
QPSK 3/5	1,188304	2,23
QPSK 2/3	1,322253	3,10
QPSK 3/4	1,487473	4,03
QPSK 4/5	1,587196	4,68
QPSK 5/6	1,654663	5,18
QPSK 8/9	1,766451	6,20
QPSK 9/10	1,788612	6,42
8PSK 3/5	1,779991	5,50
8PSK 2/3	1,980636	6,62
8PSK 3/4	2,228124	7,91
8PSK 5/6	2,478562	9,35
8PSK 8/9	2,646012	10,69
8PSK 9/10	2,679207	10,98
16APSK 2/3	2,637201	8,97
16APSK 3/4	2,966728	10,21
16APSK 4/5	3,165623	11,03
16APSK 5/6	3,300184	11,61
16APSK 8/9	3,523143	12,89
16APSK 9/10	3,567342	13,13
32APSK 3/4	3,703295	12,73
32APSK 4/5	3,951571	13,64
32APSK 5/6	4,119540	14,28
32APSK 8/9	4,397854	15,69
32APSK 9/10	4,453027	16,05
Nota: Dada una eficiencia espectral del sistema η_{tot} , la relación entre la energía por bit de información y la densidad espectral de potencia de ruido es: $E_b/N_0 = E_s/N_0 - 10\log_{10}(\eta_{tot})$		

Tabla 2.7: Rendimiento E_s/N_0 para un $PER = 10^{-7}$, a un nivel Casi Libre de Errores (canal AWGN). [1]

El valor de E_s/N_0 [dB] ideal se ha logrado mediante simulaciones de computadora efectuadas por el grupo DVB, utilizando recuperación de sincronización y de portadora perfecta, sin ruido de fase, en un canal AWGN.

PER es la relación entre paquetes de flujo de transporte útiles correctamente recibidos y aquellos afectados por error, después de la corrección de errores en recepción.

Las eficiencias espectrales presentadas en la Tabla 2.7 están calculadas (por unidad de tasa de símbolos), para FECFRAME de longitud normal y sin pilotos.

DVB-S2 establece que, para FECFRAME corta, debe tomarse en cuenta una degradación adicional de 0,2 [dB] a 0,3 [dB].

2.3.2.3 Cálculo de la relación E_s/N_0 en DVB-S2

Puesto que el estándar DVB-S2 proporciona los valores para la relación E_s/N_0 (ideal) resumidos en la Tabla 2.7, los cuales han sido obtenidos mediante simulaciones efectuadas en computadora, entonces estos son los valores que se utilizará para establecer la calidad del enlace *forward* DVB-S2.

Para FECFRAME corta, como lo indica el estándar DVB-S2, en nuestros cálculos se toma en cuenta una degradación adicional de 0,25 [dB] en el valor de E_s/N_0 .

2.3.3 RELACIÓN E_b/N_0 IDEAL

2.3.3.1 Relación E_b/N_0 [5]

Es el parámetro más común para utilizado para comparar sistemas de comunicaciones aunque éstos tengan diferentes tasas de bits, modulaciones, y medio de transmisión. Veamos que significan cada uno de sus términos.

La cantidad E_b es la medida de la energía del bit.

El término N_0 es la densidad de potencia de ruido, y representa la cantidad de ruido presente en un ancho de banda de 1 Hertz. Se mide en [W/Hz]

Por lo tanto E_b/N_0 constituye la relación entre la energía por bit de información transmitido respecto a la densidad de potencia de ruido. Esta relación se la expresa en decibelios [dB].

Mientras más grande sea este parámetro, la calidad del enlace será mejor.

2.3.3.2 Consideraciones sobre la relación E_b/N_0 en DVB-S2

Ya que el factor E_s/N_0 y E_b/N_0 , como se verá a continuación, están estrechamente relacionados entre sí, las consideraciones a que somete la relación E_b/N_0 , serán aplicables para el parámetro E_s/N_0 , dentro del marco normativo DVB-S2.

2.3.3.3 Cálculo de la relación E_b/N_0 en DVB-S2

El estándar DVB-S2 define que, dada una eficiencia espectral del sistema η_{tot} , la relación entre la energía por bit de información y la densidad espectral de potencia de ruido E_b/N_0 es:

$$\frac{E_b}{N_0} \Big|_{dB} = \frac{E_s}{N_0} \Big|_{dB} - 10 \log_{10} (\eta_{tot}) \quad [dB] \quad \text{Ecuación 2.19}$$

2.3.4 RELACIÓN C/N IDEAL

2.3.4.1 Relación C/N

Para esta relación, C representa la potencia de la señal portadora, y su unidad de medida es el vatio [W].

N corresponde a la potencia de ruido presente en un ancho de banda AB, y se lo expresa en vatios [W]. **[3]**

Por lo tanto, C/N representa la potencia de la señal portadora en todo el ancho de banda utilizable. Se la mide en decibelios [dB].

2.3.4.2 Consideraciones sobre la relación C/N en DVB-S2 [2]

Dependiendo de la tasa de código seleccionada y de la modulación, DVB-S2 puede operar en relaciones de portadora a ruido (C/N) desde -2.4 [dB] (por debajo del piso de ruido!) usando QPSK 1/4, hasta 16 [dB] usando 32 APSK 9/10 (asumiendo un canal AWGN y un demodulador ideal), tal como se aprecia en la Figura 2.12. En la Figura 2.12 también se observa que la distancia desde el límite de Shannon varía en un rango desde 0,7 hasta 1,2 [dB].

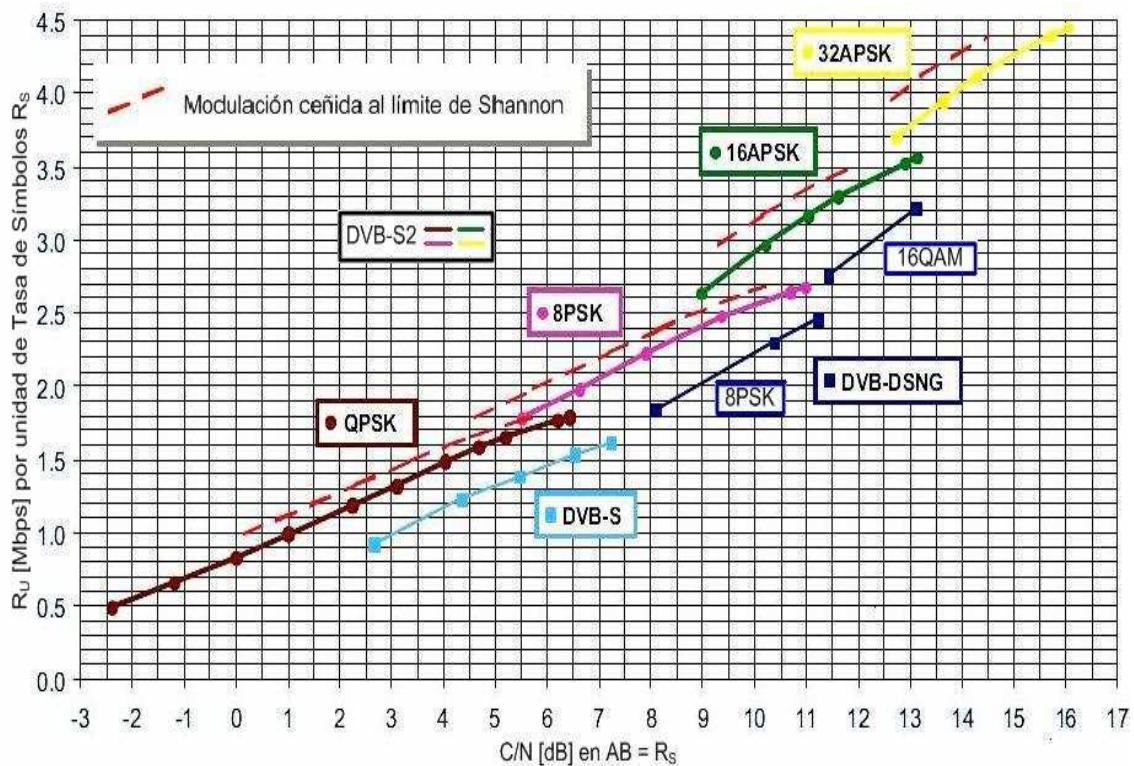


Figura 2.12: C/N requerido versus eficiencia espectral. (C/N se refiere a la potencia promedio). [2]

La Figura 2.12 también indica valores de la capacidad de tasa de bits R_u que es factible alcanzar por el Sistema DVB-S2 para las diferentes configuraciones de codificación/modulación (MODCOD), asumiendo una tasa de símbolos unitaria R_s .

La Figura 2.13 muestra el rendimiento DVB-S2 para un ancho de banda constante $AB = R_S(1+\alpha)$ en el canal AWGN, asumiendo demodulación ideal.

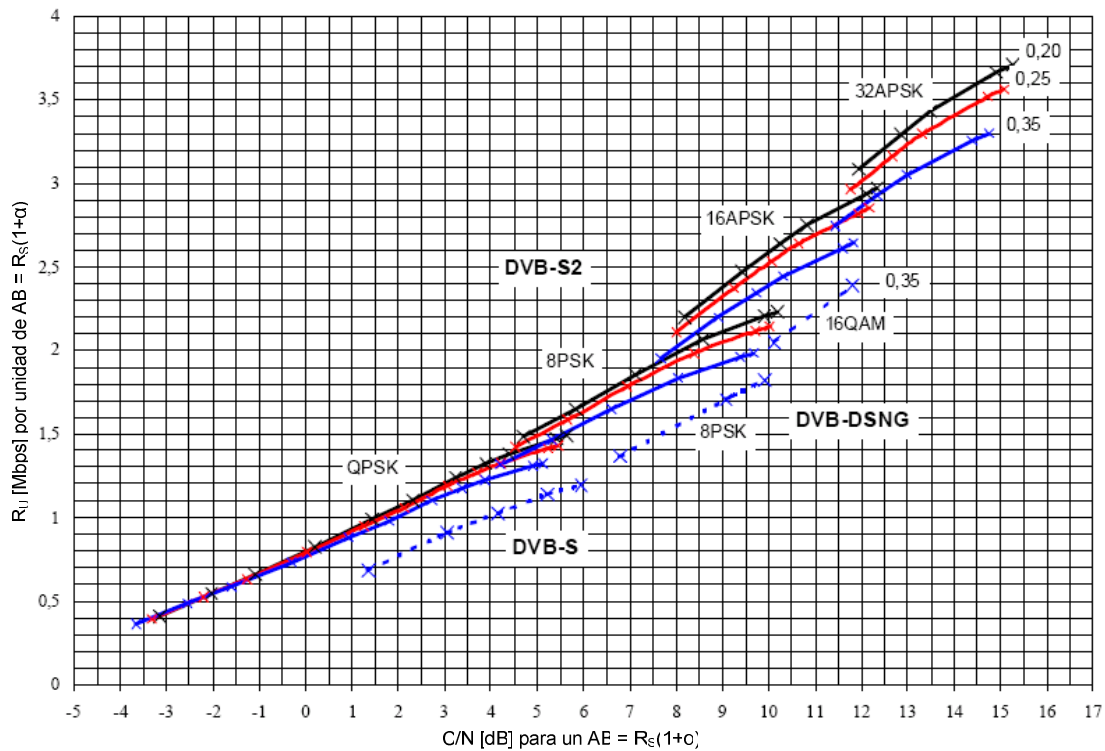


Figura 2.13: C/N requerido versus eficiencia espectral para una ancho de banda constante $AB = R_S(1+\alpha)$ sobre un canal AWGN (demodulación ideal). (C/N se refiere a la potencia promedio). [2]

La Figura 2.14 muestra, en el plano C/N - Eficiencia Espectral, el rendimiento global de DVB-S2, comparado con DVB-S y DVB-DSNG.

NOTA: Los modos de transmisión indicados por círculos están simulados completamente, mientras que las otras configuraciones son extrapoladas.

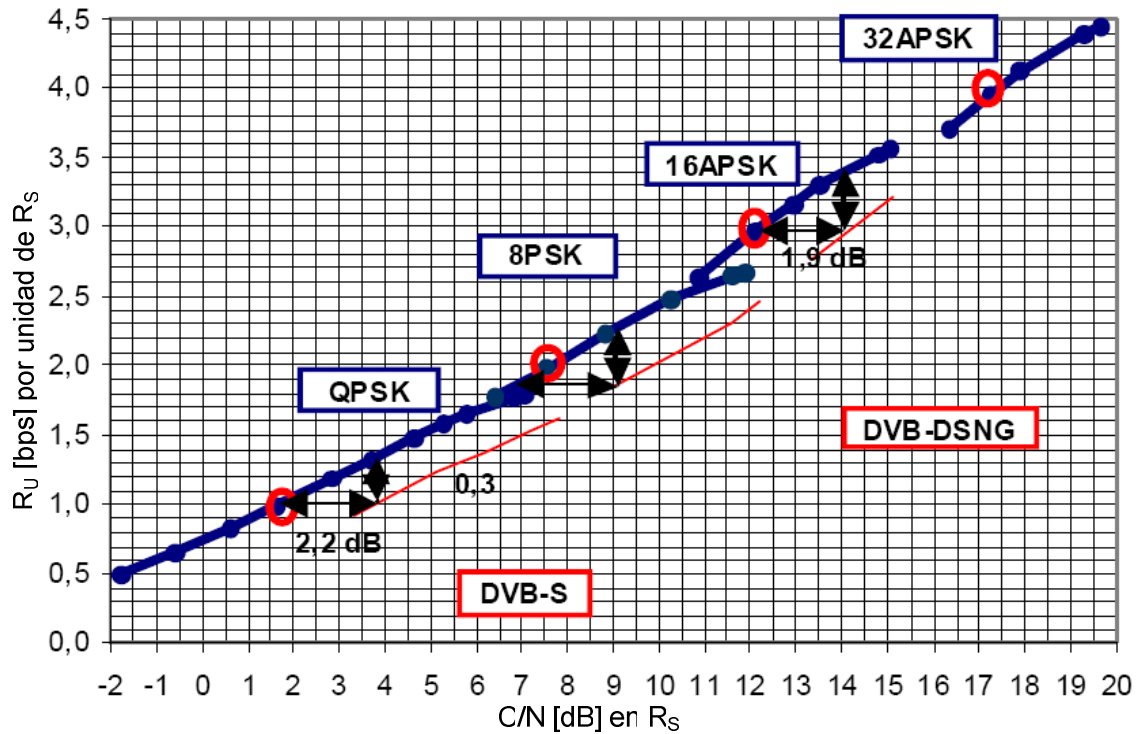


Figura 2.14: Ejemplos de R_U versus el C/N requerido por el satélite, en configuración de una sola portadora por *transponder*. [2]

En la Figura 2.14 se observa que la ganancia C/N de DVB-S2 versus DVB-S y DVB-DSNG, para una eficiencia espectral dada, permanece sustancialmente constante, alrededor de 2 [dB] hasta 2,5 [dB], lo que implica un incremento en la capacidad de transmisión entre el 20% y 30% sobre DVB-S, sobre un canal AWGN.

2.3.4.3 Cálculo de la relación C/N ideal en DVB-S2 [5]

C/N y E_b/N_0 se relacionan de la siguiente manera:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} * \frac{R_U}{AB} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

En decibelios, se debe escribir la ecuación anterior como:

$$\frac{C}{N} \Big|_{dB} = \frac{E_b}{N_0} \Big|_{dB} + 10 \log R_U - 10 \log AB \quad \text{Ecuación 2.21}$$

La ecuación 2.21 es la que se utiliza para calcular la relación C/N sobre el enlace *forward* DVB-S2.

Otra forma de obtener estos valores de C/N, es utilizando la Figura 2.13, que muestra el valor C/N requerido versus la eficiencia espectral para una ancho de banda constante $AB = R_S(1+\alpha)$ sobre un canal AWGN.

Observando la Figura 2.13 se obtienen, de forma aproximada, los resultados que se resumen en la Tabla 2.8:

Modo	$\alpha = 0,20$		$\alpha = 0,25$		$\alpha = 0,35$	
	R_U [Mbps]	C/N [dB]	R_U [Mbps]	C/N [dB]	R_U [Mbps]	C/N [dB]
QPSK 1/4	0,40	-3,20	0,39	-3,40	0,38	-3,65
QPSK 1/3	0,53	-2,10	0,52	-2,20	0,50	-2,50
QPSK 2/5	0,67	-1,10	0,62	-1,25	0,59	-1,70
QPSK 1/2	0,82	0,20	0,79	0,03	0,74	-0,35
QPSK 3/5	0,99	1,45	0,95	1,25	0,88	0,98
QPSK 2/3	1,10	2,40	1,06	2,20	0,98	1,80
QPSK 3/4	1,23	3,30	1,19	3,10	1,10	2,65
QPSK 4/5	1,32	3,90	1,28	3,75	1,18	3,40
QPSK 5/6	1,39	4,40	1,31	4,25	1,22	3,80
QPSK 8/9	1,49	5,40	1,40	5,25	1,30	4,80
QPSK 9/10	1,50	5,60	1,41	5,49	1,31	5,20
8PSK 3/5	1,49	4,70	1,42	4,50	1,30	4,30
8PSK 2/3	1,65	5,80	1,59	5,70	1,46	5,30
8PSK 3/4	1,85	7,20	1,79	6,95	1,64	6,60
8PSK 5/6	2,15	8,56	1,98	8,40	1,82	8,10
8PSK 8/9	2,20	9,90	2,10	9,70	1,97	9,40
8PSK 9/10	2,22	10,20	2,12	10,00	1,99	9,70
16APSK 2/3	2,20	8,20	2,10	8,00	1,96	7,70
16APSK 3/4	2,40	9,40	2,38	9,30	2,20	8,80
16APSK 4/5	2,64	10,25	2,52	10,10	2,36	9,70
16APSK 5/6	2,75	10,80	2,62	10,70	2,46	10,40

16APSK 8/9	2,92	12,10	2,81	11,99	2,62	11,60
16APSK 9/10	2,98	12,40	2,85	12,20	2,66	11,85
32APSK 3/4	3,08	11,98	2,98	11,70	2,74	11,40
32APSK 4/5	3,30	12,90	3,18	12,70	2,94	12,35
32APSK 5/6	3,42	13,40	3,30	13,40	3,06	13,00
32APSK 8/9	3,68	14,90	3,60	14,70	3,28	14,40
32APSK 9/10	3,71	15,25	3,70	15,10	3,30	14,75

Tabla 2.8: Lecturas de C/N y de tasa de bits obtenidos de la figura 2.13

2.3.5 RELACIÓN C/N_0 IDEAL

2.3.5.1 Relación C/N_0

C/N_0 es la relación entre la potencia de la portadora C [W], y la densidad espectral de potencia de ruido, N_0 [W/Hz]. Esta relación se suele expresar en dB sobre 1Hz [dBHz].

La densidad de potencia de ruido N_0 se relaciona con la potencia de ruido N , de la siguiente manera: $N = N_0 \cdot AB = k \cdot T \cdot AB$, donde k es la Constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ [Joul/°K]. [5]

2.3.5.2 Consideraciones sobre la relación C/N_0 en DVB-S2

Como se indica a continuación, existe una estrecha relación entre los parámetros C/N y C/N_0 , pues estos dos parámetros sólo se diferencian por el ancho de banda de la señal.

Por lo tanto, las consideraciones especificadas en la sección anterior para C/N , también se aplican para la relación C/N_0 .

2.3.5.3 Cálculo de la relación C/N_0 en DVB-S2 [5]

Los parámetros C/N y E_b/N_0 están relacionados de la siguiente manera:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} * R_U \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Tanto C/N_0 como E_b/N_0 son densidades, así que no es necesario especificar el ancho de banda de la señal.

La ecuación anterior, en decibelios, debe escribirse de la siguiente manera:

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{dB} = \left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{dB} + 10 \log R_U \quad \text{Ecuación 2.23}$$

que es la ecuación que se utiliza en nuestros cálculos.

Como la información o los cálculos disponibles pueden corresponder en un caso a C/N y en otro a C/N_0 , la conversión que se requiera se realiza por medio de la ecuación:

$$\left. \frac{C}{N} \right|_{dB} = \left. \frac{C}{N_0} \right|_{dB} - 10 \log AB \quad \text{Ecuación 2.24}$$

donde AB es el ancho de banda, sea de la portadora o del *transponder*, según el caso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS PARA EL CAPÍTULO 2:

- [1] ETSI EN 302 307 (V 1.1.1). "*Digital Video Broadcasting (DVB): Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*". Marzo 2005.
- [2] ETSI TR 102 376 (V 1.1.1.) "*Digital Video Broadcasting (DVB): User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*". Febrero 2005.
- [3] JIMÉNEZ JIMÉNEZ, María Soledad; "Comunicación Digital"; EPN; Quito.
- [4] NEWTEC. "*Calculations in DVB-S2. V1.0.2*". 14 de Diciembre de 2005.
- [5] LANGTON, Charan; "*Intuitive Guide to Principles of Communications*". 1998-2002.
- [6] ROSADO, Carlos; "Comunicación por satélite. Principios, tecnologías y sistemas"; 1998.
- [7] HONG, Teh Chee; CHEE, Wan Tat; BUDIARTO, Rahmat; "*Simulation and design of IP over DVB using Multi-Protocol Encapsulation and Ultra Lightweight Encapsulation*"; June 27-28; 2005.
- [8] ISO/IEC 13818 (parts 1 and 2): "*Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information*".
- [9] WIKIPEDIA; "IP sobre DVB"; http://es.wikipedia.org/wiki/IP_sobre_DVB; 28 de Junio de 2007.
- [10] BARBA MOLINA, Hernán Vinicio; CHAFLA ALTAMIRANO, Juan Francisco; "Simulación de una red VSAT *Full-Duplex* para acceso a Internet usando la plataforma DVB-S y DVB-RCS"; Marzo 2006.
- [11] NEWTEC; "*Link budget elements as input to Satmaster for DVB-S2*"; http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/Application_notes/ntc.2263xf.apn02.pdf.



CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA

CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROGRAMA

En este capítulo se presentan las consideraciones técnicas y de diseño con las que debe cumplir el programa que se realiza utilizando *Visual Basic 6.0*.

Estas consideraciones están enfocadas para que el *software* implementado logre cumplir, a cabalidad, el propósito planteado en este Proyecto.

3.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA EL PROGRAMA

3.1.1 OPCIONES DVB-S2

DVB-S2 ofrece varias opciones para configurarlo y adaptarlo de acuerdo a las condiciones del servicio a brindar, y a los requerimientos de los recursos que se dispone. Entre estas opciones, se puede resumir las siguientes:

- Selección de dos tipos de tramas: de longitud normal ($n_{ldpc} = 64800$ bits), o de longitud corta ($n_{ldpc} = 16200$ bits).
- Un amplio rango de tasas de código FEC: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 y 9/10.
- 4 tipos de modulaciones adoptadas por el sistema DVB-S2: QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK.
- Tres formas de señal DVB-S2, originadas al aplicar un filtro de Nyquist con factores de *roll-off* de 0,35, 0,25 y 0,25.
- Inserción opcional de pilotos, para facilitar la sincronización del receptor.
- Posibilidad de utilizar encapsulamiento IP para transmitir información a través del sistema DVB-S2.

Por lo tanto, el usuario de la aplicación que se desarrolla en este Proyecto, debe poder seleccionar entre las opciones que se acaba de mencionar, de modo que, mediante la utilización del programa, pueda apreciar la forma como responde el sistema DVB-S2, en la sección que se destine para mostrar los resultados.

Además, el programa debe permitir que el usuario configure la forma de utilización del *transponder*, y también ingresar valores característicos para la señal DVB-S2 a utilizar.

3.1.2 RESTRICCIONES PARA EL PROGRAMA

El programa que se va a implementar, debe cumplir con las siguientes restricciones técnicas, detalladas a continuación:

El sistema DVB-S2 no puede ser utilizado con tasas FEC de 9/10 en tramas cortas, puesto que DVB-S2 no especifica valores K_{bch} para éstas tasas cuando se utilizan dichas tramas. Esta situación puede verificarse observando la Tabla 1.5b, presentada en el capítulo1.

Por esta razón, la aplicación debe diseñarse de tal forma que, cuando el usuario escoja utilizar tramas cortas, el programa le informe que no puede trabajar con tasas de 9/10.

Una mejor alternativa es que el programa no muestre al usuario las combinaciones MODCOD con tasas FEC 9/10 cuando seleccione tramas cortas. La razón es que, si el estándar no permite dichas tasas para esa elección, entonces el usuario no debe tener posibilidad de seleccionarlás.

Sin embargo, el programa debe volver a insertar las combinaciones de MODCOD con tasas FEC 9/10, cuando el usuario cambie la configuración para utilizar tramas normales.

Además, el programa debe calcular la relación C/N y C/N_0 . Para efectuar estos cálculos es necesario obtener el logaritmo de la tasa de bits y del ancho de banda, como se explicó en el capítulo 2.

Por esta razón, el valor numérico ingresado por el usuario para la tasa de bits, la tasa de baudios, y el ancho de banda no puede ser igual a cero, puesto que no es posible obtener el logaritmo de dicho número. Ante esta situación, se produciría un error al ejecutar el programa.

Otro problema que causaría errores en el programa cuando el usuario ingrese cero como dato inicial, es el hecho de que se debe realizar una división para cero, operación que no es posible.

El programa también debe anticiparse al hecho de que el usuario ingrese caracteres alfabéticos como datos iniciales, con los cuales no se podría operar, por tratarse de datos inválidos.

3.2 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA IMPLEMENTADO

3.2.1 LA INTERFAZ DE USUARIO DEL PROGRAMA

En la Figura 3.1 se indica la Interfaz de usuario para el programa implementado.

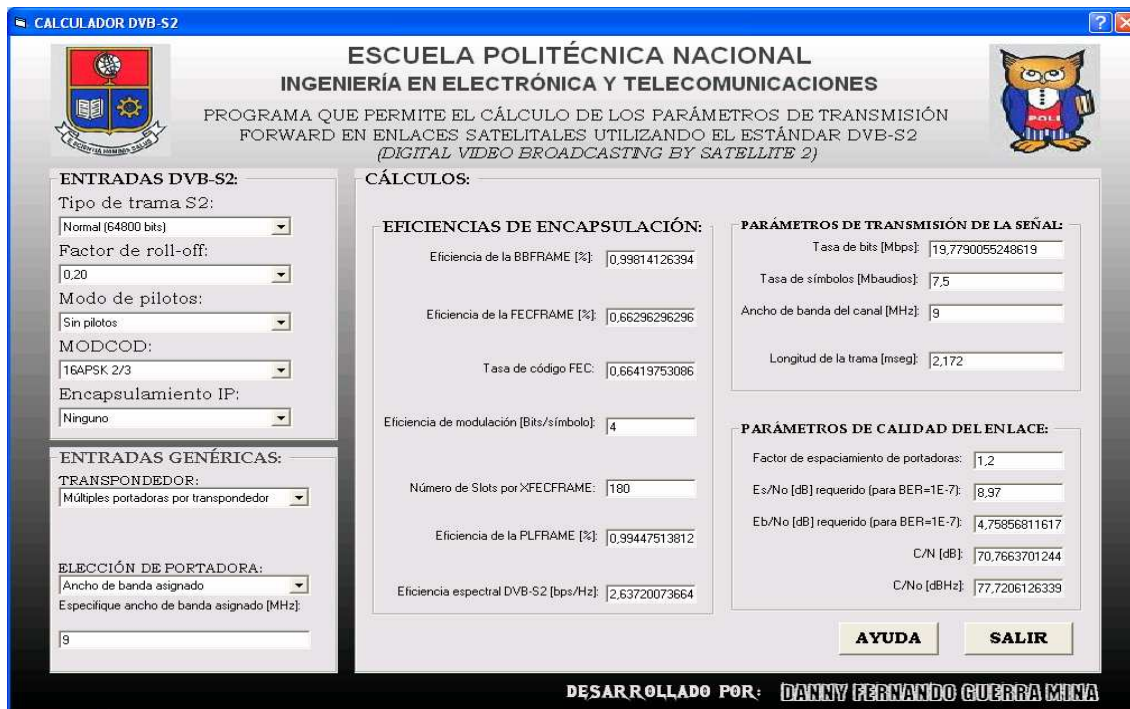


Figura 3.1: Interfaz de usuario del programa.

En la Figura 3.1 se puede observar que la interfaz de usuario del programa que se ha desarrollado, ha sido dividida en tres secciones, agrupando en cada una de éstas, aquellos parámetros que tienen cierta relación entre sí, con la finalidad de que el programa pueda ser fácilmente entendido y utilizado por los usuarios.

Las secciones en las que se ha dividido la interfaz de usuario son:

- La sección “ENTRADAS DVB-S2”, en la parte superior izquierda.
- La sección “ENTRADAS GENÉRICAS”, en la parte inferior izquierda.
- La sección “CÁLCULOS”, a la derecha de la interfaz de usuario.

En la sección “ENTRADAS DVB-S2” se agrupan todos aquellos parámetros que se refieren al sistema DVB-S2, y que permiten configurarlo y adaptarlo de acuerdo a las condiciones del servicio a brindar, y a los requerimientos de los recursos que se dispone. Aquí el usuario puede seleccionar el tipo de trama DVB-S2, el factor de *roll-off*, presencia o ausencia de símbolos pilotos, el MODCOD

(combinación de tasa FEC y modulación), y el tipo de encapsulamiento para datagramas IP.

En la sección “ENTRADAS GENÉRICAS” se colocan las opciones para que el usuario elija la forma en que se utilizará el satélite: una sola o múltiples portadoras por *transponder*. En caso de que el usuario seleccione “una sola portadora por *transponder*”, el programa inmediatamente le muestra una caja de texto (*textbox*) para que ingrese el ancho de banda que dispone el *transponder*.

En esta sección también se coloca una lista desplegable (*combobox*) con el que el usuario puede seleccionar el parámetro de la señal que desea ingresar; es decir, con este control el usuario decide si ingresará el valor numérico de la tasa de bits, la tasa de símbolos o el ancho de banda que ocupará la señal DVB-S2.

La sección “CÁLCULOS” despliega los resultados para los que el programa ha sido diseñado. Estos resultados a su vez están reunidos en tres partes:

- Una sección denominada “EFICIENCIAS DE ENCAPSULAMIENTO” en la que se agrupan todos los aspectos relacionados con el encapsulamiento de la trama DVB-S2.
- La sección llamada “PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL” despliega los resultados acerca de aspectos necesarios para transmitir la señal, es decir, muestra valores de tasa de bits, tasa de símbolos, ancho de banda de la señal DVB-S2.
- Por último, una sección “PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ENLACE” muestra los resultados para que el usuario conozca valores que afectan a la calidad de la transmisión.

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTROLES CONTENIDOS EN LA INTERFAZ DE USUARIO

Dentro de cada una de las secciones en las que se ha dividido la interfaz de usuario, existen *controles* de *Visual Basic 6.0*, que permiten al usuario interactuar con la aplicación. Estos controles poseen *propiedades*, las cuales permiten al diseñador del programa, establecer su comportamiento cuando se utilice la aplicación que ha diseñado.

En esta parte, se detalla las propiedades aplicadas a los controles colocados en la interfaz de usuario del programa, y se expone la razón considerada para adoptar estas propiedades.

3.2.2.1 Propiedades para los controles *combobox*, *textbox* y *label*

Los controles *combobox* son listas desplegables, que permiten al usuario escoger solo una de las opciones que se despliegan al hacer un *click* sobre él. En modo de diseño¹², el programador inserta dentro de estos controles *combobox*, las opciones válidas entre las que el usuario puede elegir, dependiendo de la aplicación.

En el programa, se ha establecido la propiedad *Style* de todos los controles *combobox* contenidos en la interfaz de usuario, en el valor *2 – Dropdown list*, con la cual, sólo permite la selección desde la lista desplegable, y no permite al usuario modificar su contenido en tiempo de ejecución¹³.

En este mismo sentido, todos los controles caja de texto (*textbox*) y etiquetas (*labels*) que se utilizan en el programa, tienen establecido el valor *True*

¹² En *modo de diseño* el programador construye interactivamente la aplicación, colocando *controles* en el *formulario*, definiendo sus *propiedades*, y desarrollando *funciones* para gestionar los *eventos*. [1]

¹³ La aplicación se prueba en *modo de ejecución*. En ese caso el usuario actúa sobre el programa (introduce *eventos*) y prueba cómo responde el programa. [1]

para la *propiedad Locked*, lo cual impide que el usuario modifique su contenido al utilizar el programa. Por este motivo, no es posible copiar el contenido de los controles *textbox* utilizando la combinación Ctrl+C, ni pegar contenido dentro de éstos desde el portapapeles con la combinación Ctrl+V.

Esta medida se adopta porque dentro de los controles *combobox*, *textbox* y *labels* presentes en la interfaz de usuario de nuestra aplicación, se ha configurado las opciones válidas para el sistema DVB-S2 de entre las que puede escoger el usuario, y no debe tener la posibilidad de modificar su contenido.

3.2.2.2 Propiedades para el formulario

Como se aprecia en la Figura 3.1, se ha programado una función que ejecuta un “degradado” de colores como fondo del formulario, con la finalidad de mejorar la presentación del programa. Esta función dibuja cada línea del fondo con una tonalidad de color más intensa que la línea anterior.

Para que la ejecución de esta función no se vea afectada, al usuario no se le permite cambiar el tamaño de la ventana de la interfaz de usuario, no puede maximizar ni minimizar la misma, sólo se le permite mover el formulario dentro de la pantalla del computador.

Para cumplir con los objetivos mencionados en el párrafo anterior, en el formulario se han establecido las siguientes propiedades:

- Se asigna el valor *1 - Fixed Single* a la propiedad *BorderStyle*, para impedir que se cambie el tamaño de la ventana.
- Se asigna el valor *False* a la propiedad *MaxButton* y *MinButton*, para evitar que se pueda maximizar o minimizar la ventana, respectivamente.

- Se asigna el valor *True* a la propiedad *Moveable*, para permitir mover el formulario dentro de la pantalla del computador.

3.2.2.3 Propiedades para el control *Timer*

El control *Timer* es un temporizador que permite ejecutar instrucciones de código, rutinas, funciones, etc., escritas dentro del procedimiento *Timer* cada cierto intervalo de tiempo en milisegundos, especificado en la propiedad *Interval* para dicho control. [2]

El control *Timer* no es visible en tiempo de ejecución, esto quiere decir que no tiene interfaz gráfica, solo es visible cuando se lo agrega a un formulario y se está en modo de diseño. [2]

En el desarrollo del programa, se utiliza un control *Timer*, con la finalidad de que la aplicación exponga los resultados inmediatamente después de que el usuario introduzca un nuevo valor en los datos de entrada al programa. Para lograr este propósito, se ha establecido su propiedad *Interval* en 1000 milisegundos.

Con esta configuración, el programa muestra resultados 1 segundo después, cada vez que el usuario introduzca un nuevo valor en cualquiera de los datos de entrada al programa.

3.2.3 DATOS, ECUACIONES Y RESULTADOS EN EL PROGRAMA

Para lograr entender la idea básica del funcionamiento del programa, es necesario hacer un resumen acerca de la forma como se calculan cada uno de los parámetros que se han incluido en la aplicación.

En la Tabla 3.1 se indica, para un cálculo específico, los datos necesarios y la fórmula correspondiente para efectuar dicho cálculo.

CÁLCULO	DATOS DE ENTRADA	FÓRMULA
Eficiencia de la BBFRAME	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de trama: normal o corta Tasa de codificación FEC K_{bch} 	$\eta_{BBFRAME} = \frac{K_{bch} \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{K_{bch} \text{ bits}}$
Eficiencia de la FECFRAME	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de trama: normal o corta Tasa de codificación FEC K_{bch} 	$\eta_{FECFRAME} = \frac{K_{bch} \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{n_{ldpc} \text{ bits}}$
Tasa de código FEC	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de trama: normal o corta Tasa de codificación FEC K_{bch} 	$\text{Tasa FEC} = \frac{K_{bch} \text{ bits}}{n_{ldpc} \text{ bits}}$
Eficiencia de modulación	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de modulación (MODCOD) 	$\eta_{MOD} = \text{Numero de bits por símb}$
Número de slots en una XFECFRAME	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de trama: normal o corta Eficiencia de modulación 	$S = \frac{n_{ldpc}}{90 * n_{MOD}}$
Eficiencia de la PLFRAME	<ul style="list-style-type: none"> Número de slots en una XFECFRAME Presencia/ausencia de símbolos pilotos 	$\eta_{PLFRAME} = \frac{90 * S}{90 + (90 * S) + 36 * \text{Int}[(S-1)/16]}$
Eficiencia espectral DVB-S2	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia de la FECFRAME Eficiencia de modulación Eficiencia de la PLFRAME 	$\eta_{Tot} = \eta_{FECFRAME} * \eta_{MOD} * \eta_{PLFRAME}$
Tasa de bits	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia espectral DVB-S2 Tasa de símbolos 	$R_U = \eta_{Tot} * R_S$
Encapsulamiento IP	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de encapsulamiento IP 	$K_{bch}' = [K_{bch} - (K_{bch} * OH\%)]$
Tasa de símbolos	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de bits Eficiencia espectral DVB-S2 Ancho de banda Factor de Roll-off 	$R_S = \frac{R_U}{n_{Tot}}$ $R_S = \frac{AB}{(1 + \alpha)}$
Ancho de banda del canal	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de baudios Factor de roll-off 	$AB = R_S * (1 + \alpha)$
Longitud de la trama	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de bits K_{bch} 	$\text{Long. trama} = \frac{K_{bch} - 80}{R_U}$
Factor de espaciado entre portadoras	<ul style="list-style-type: none"> Factor de roll-off 	$\text{Espaciam. port.} \geq 1 + \alpha$
Relación E_s/N_0	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de trama (normal o corta) 	Tabla 1.11
Relación E_b/N_0	<ul style="list-style-type: none"> Relación E_s/N_0 	$\left. \frac{E_b}{N_0} \right _{dB} = \left. \frac{E_s}{N_0} \right _{dB} - 10 \log_{10} (\eta_{tot}) \text{ [dB]}$
Relación C/N	<ul style="list-style-type: none"> Relación E_b/N_0 Tasa de bits Ancho de banda 	$\left. \frac{C}{N} \right _{dB} = \left. \frac{E_b}{N_0} \right _{dB} + 10 \log R_U - 10 \log AB$
Relación C/N ₀	<ul style="list-style-type: none"> Relación E_b/N_0 Tasa de bits 	$\left. \frac{C}{N_0} \right _{dB} = \left. \frac{E_b}{N_0} \right _{dB} + 10 \log R_U$

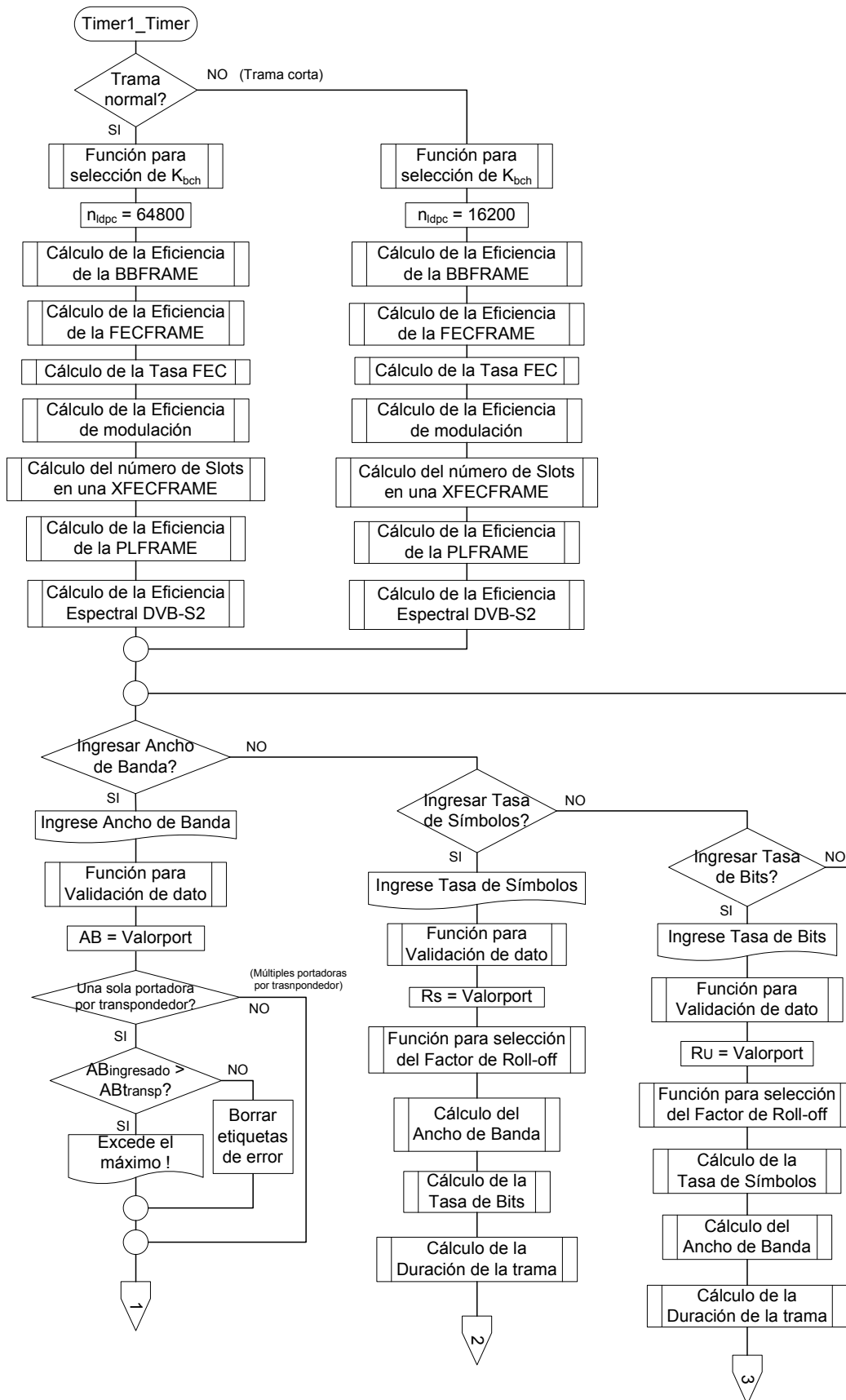
Tabla 3.1: Resumen de los parámetros DVB-S2 a calcularse y su forma de cálculo.

Observando la Tabla 3.1, se deduce que el programa consta básicamente de las fórmulas resumidas en esta tabla, y que en la secuencia de ejecución del mismo, se realiza el cálculo de cada parámetro aplicando las ecuaciones respectivas.

Estas ecuaciones se efectúan en el orden que se especifica en el diagrama de flujo correspondiente al *software* desarrollado, y que se indica en la siguiente sección.

3.2.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA

En la Figura 3.2 se presenta el diagrama de flujo, correspondiente al programa desarrollado.



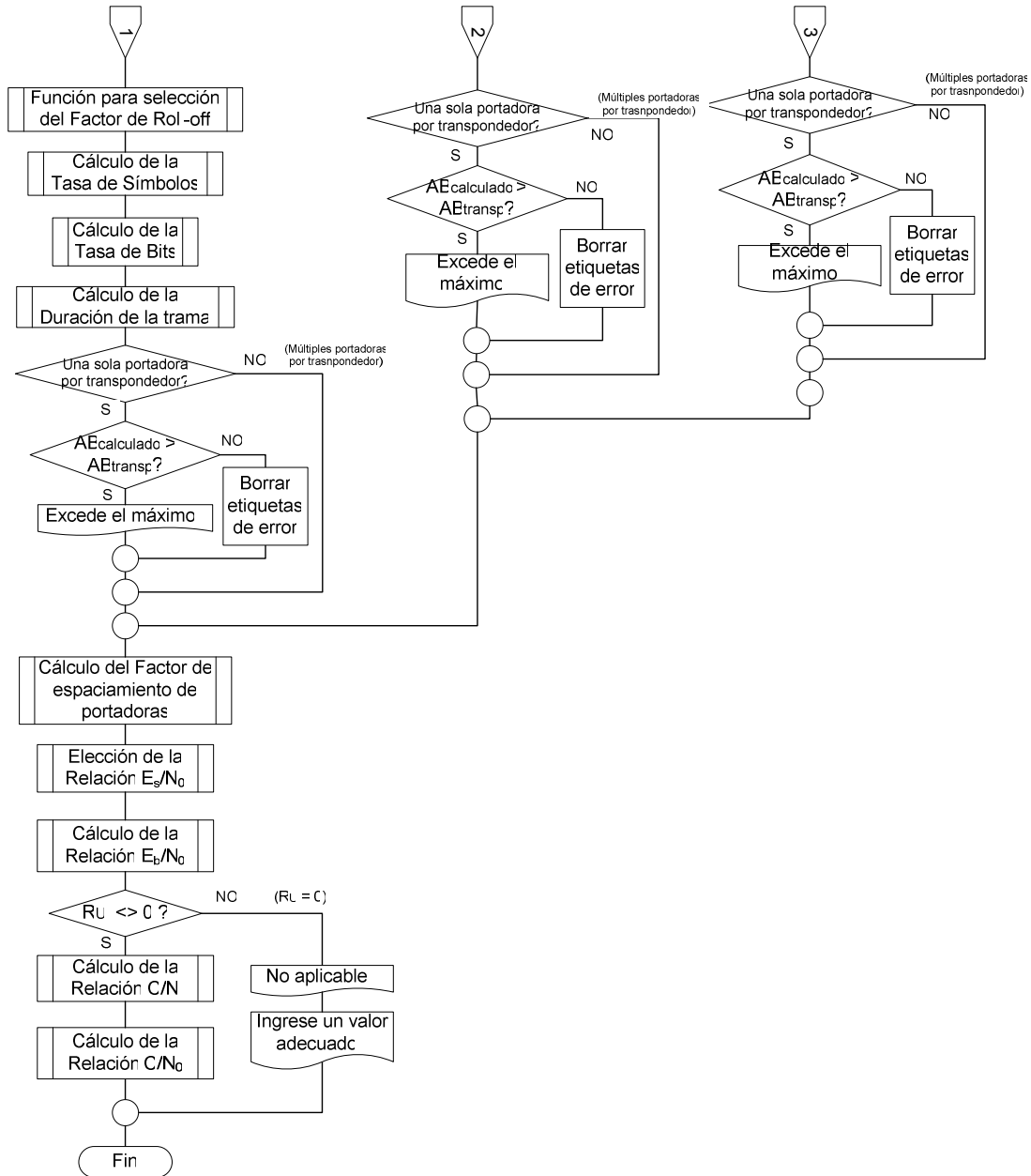


Figura 3.2: Diagrama de flujo para el programa desarrollado.

3.2.4.1 Descripción de la secuencia de ejecución del programa

En este punto, se presenta una descripción de la secuencia en la que se ejecuta el programa, basado en el diagrama de flujo correspondiente.

Para realizar los cálculos, el estándar ofrece los valores de K_{bch} y de E_s/N_0 en forma de tablas. Analizando el capítulo anterior, se observa que estos valores son claves para los cálculos, pues de éstos datos se desprenden muchos de los parámetros que se han considerado para estar incluidos en el programa.

Entonces, una de las primeras tareas que el programa debe hacer es insertar las Tablas 1.5a y 1.5b dentro de la secuencia de ejecución. En el programa se implementa las Tablas 1.5a, 1.5b (y la Tabla 1.11) en base a comparaciones, de acuerdo al estado de las opciones escogidas por el usuario y relevantes para la elección de estos valores.

Una vez conocido el valor de K_{bch} (utilizando las Tablas 1.5a y 1.5b), y la longitud de la FECFRAME escogida, se puede calcular: la eficiencia de la BBFRAME, la eficiencia de la FECFRAME, y la tasa FEC efectiva.

La eficiencia de modulación se la obtiene mediante el número de bits que transporta la señal, de acuerdo a la modulación seleccionada.

Entonces se calcula el número de *slots* contenidos en una XFECFRAME. Para esto se necesita conocer el tamaño de la FECFRAME y la eficiencia de la modulación.

Conocido el número de *slots* dentro de una XFECFRAME, se puede conocer la eficiencia de la PLFRAME, en caso de que se utilicen o no los símbolos pilotos.

En este momento, se puede conocer la eficiencia espectral DVB-S2, multiplicando la eficiencia de la FECFRAME, por la eficiencia de modulación, y por la eficiencia de la PLFRAME (con o sin pilotos).

Ahora debe conocerse la opción que el usuario escogió para ingresar en la sección "ENTRADAS GENÉRICAS". Aquí se aclara el procedimiento ante todas las posibilidades:

- a) En caso de haber seleccionado ingresar la tasa de símbolos, con este valor ingresado y con el factor de *roll-off* seleccionado, se puede obtener el ancho de banda. La tasa de bits se obtiene multiplicando la tasa de símbolos por la eficiencia espectral.
- b) Si se selecciona ingresar la tasa de bits, se puede obtener la tasa de símbolos utilizando la definición eficiencia espectral. El ancho de banda se lo calcula, dividiendo esta tasa de símbolos para el factor de *roll-off* seleccionado aumentado en una unidad.
- c) Cuando se escoge ingresar el ancho de banda de la señal, con este dato se obtiene la tasa de símbolos, y con la tasa de símbolos y la eficiencia espectral se calcula la tasa de bits de la señal.

La siguiente instrucción después de cualquiera de los tres casos anteriores, tiene como fin calcular la duración temporal de la trama, dividiendo la longitud de la información para la tasa de bits de la señal.

Ahora debe utilizarse la Tabla 1.11 del capítulo 1 en la secuencia del programa. Esta tabla, como en el caso de las Tablas 1.5a y 1.5b, se la inserta en base a comparaciones, de acuerdo al estado de las opciones escogidas por el usuario y relevantes para la elección de este parámetro.

La Tabla 1.11 especifica, el valor de E_s/N_0 . Con este dato se calcula el valor de E_b/N_0 , utilizando la definición dada en el mismo estándar para esta relación.

Con el valor de la relación E_b/N_0 se obtienen los valores de la relación C/N y C/N_0 , empleando las relaciones dadas en el capítulo anterior y resumidas en la Tabla 3.1.

En líneas generales, esta es la secuencia de ejecución de la parte medular del funcionamiento del programa implementado.

Vale la pena notar que, con el objetivo de tener mayor precisión en los resultados, los cálculos se efectúan tomando en cuenta todos los decimales que tengan los operandos con los que se trabaje y que se hayan obtenido como resultado de cálculos anteriores.

3.2.5 FUNCIONES IMPLEMENTADAS EN EL PROGRAMA

Para el cálculo de los parámetros DVB-S2 se ha implementado funciones, las cuales aplican la fórmula correspondiente para el cálculo del parámetro en consideración. Además se ha utilizado otras funciones que ayudan al control y a la ejecución de la aplicación. En esta sección se describe las funciones utilizadas para lograr que el programa diseñado sea eficiente en su desempeño.

3.2.5.1 Función para selección de K_{bch}

En la Figura 3.3 se indica el diagrama de flujo para la función con la que se selecciona el valor de K_{bch} .

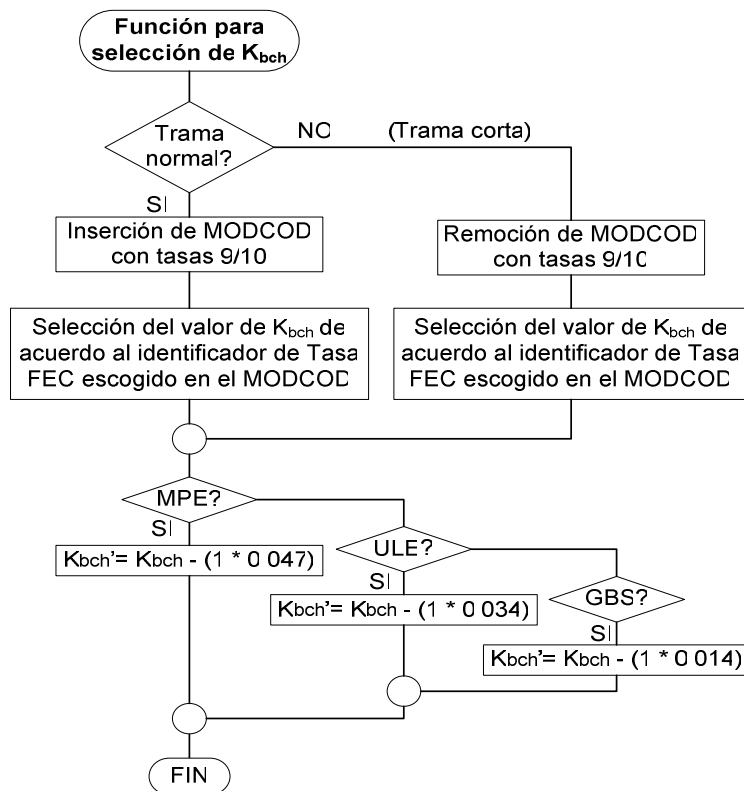


Figura 3.3: Diagrama de flujo de la función para seleccionar K_{bch} .

Esta función escoge el valor de K_{bch} , utilizando la Tabla 1.5a para tramas normales, y la Tabla 1.5b para tramas cortas, de acuerdo a la tasa FEC que tenga el MODCOD que seleccione el usuario.

Como se observa en Figura 3.3, en caso de que se utilice encapsulamiento IP, esta función calcula el valor de K_{bch} correspondiente, de acuerdo a la cantidad de *overhead* añadido por el tipo de encapsulamiento seleccionado.

Otra característica dentro de esta función es que tiene la capacidad para eliminar de la lista desplegable MODCOD, todas aquellas combinaciones que utilicen tasa FEC 9/10, en el momento en que el usuario decida utilizar DVB-S2 con tramas cortas. La razón para utilizar esta funcionalidad en el programa es que en la Tabla 1.5b, proporcionada por el estándar DVB-S2, no se especifica los valores correspondientes a K_{bch} para tasas 9/10 con tramas cortas. La Figura 3.4 indica el estado de la lista MODCOD para tramas cortas, en el programa implementado.

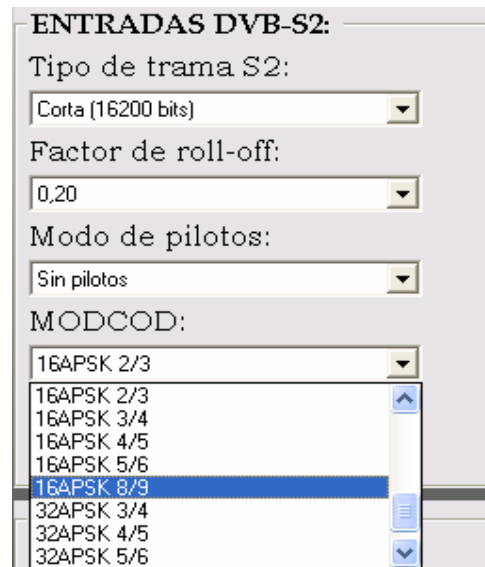


Figura 3.4: Estado de la lista MODCOD cuando se selecciona utilizar tramas cortas. Nótese que no se encuentra disponible la opción 16APSK 9/10.

En caso de que el usuario nuevamente seleccione utilizar tramas normales, el programa vuelve a insertar las opciones de MODCOD con tasas 9/10, en la posición en la que originalmente se encontraban, esto es, de acuerdo al orden de modulación, tal como se indica en la Figura 3.5.

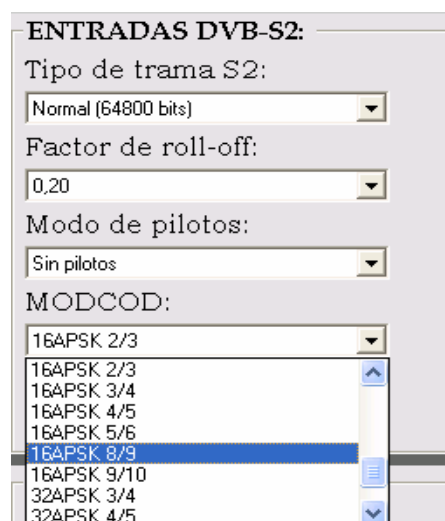


Figura 3.5: Estado de la lista MODCOD cuando se selecciona utilizar tramas normales. Nótese que se halla disponible la opción 16APSK 9/10.

3.2.5.2 Función para calcular la eficiencia de la BBFRAME

En la Figura 3.6 se da el diagrama de flujo de la función que realiza el cálculo de la eficiencia de la BBFRAME.

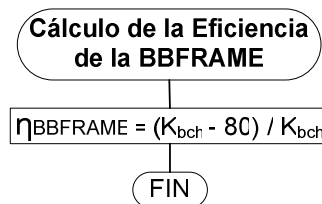


Figura 3.6: Diagrama de flujo para la función que calcula el eficiencia de la BBFRAME.

Como se observa en la Figura 3.6, esta función aplica la ecuación 2.3 para el cálculo de la eficiencia de la BBFRAME, una vez que se conoce el valor de K_{bch} correspondiente.

3.2.5.3 Función para calcular la eficiencia de la FECFRAME

La Figura 3.7 indica el diagrama de flujo correspondiente a la función que se utiliza en el programa para calcular la eficiencia de FECFRAME.

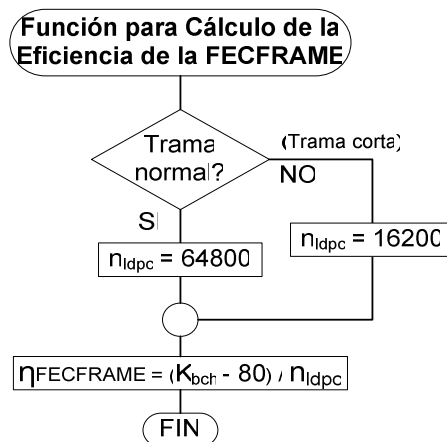


Figura 3.7: Diagrama de flujo para la función que calcula la eficiencia de la FECFRAME.

Esta función aplica directamente la ecuación 2.4 para el cálculo de la eficiencia de la FECFRAME, asignando previamente en una variable, el valor de n_{ldpc} . Se asigna $n_{ldpc} = 64800$ para tramas normales, y $n_{ldpc} = 16200$, en caso de que el usuario haya seleccionado utilizar tramas cortas.

3.2.5.4 Función para calcular la tasa FEC

La Figura 3.8 presenta el diagrama de flujo para la función que ejecuta el cálculo de la tasa FEC.

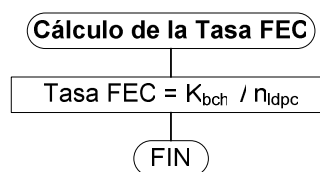


Figura 3.8: Diagrama de flujo para la función que realiza el cálculo de la tasa FEC.

Para el cálculo de la tasa FEC, esta función aplica la ecuación 2.5, utilizando el valor K_{bch} y n_{ldpc} adecuado, de acuerdo a las opciones de MODCOD y tipo de trama seleccionado por el usuario.

3.2.5.5 Función para calcular la eficiencia de modulación

La Figura 3.9 indica el diagrama de flujo para la función que calcula la eficiencia de modulación.

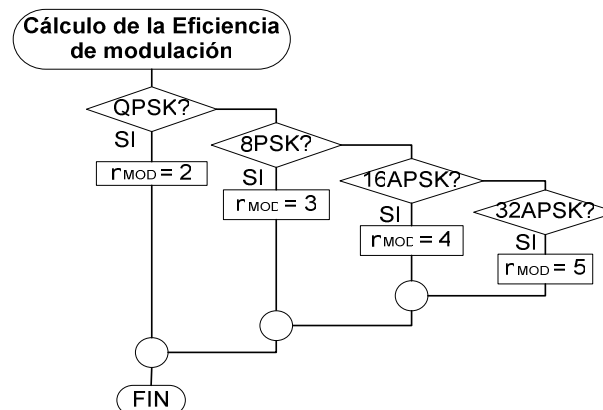


Figura 3.9: Diagrama de flujo para la función que calcula la eficiencia de modulación.

Esta función utiliza los valores presentados en la Tabla 2.2 para el cálculo, de acuerdo al orden de modulación seleccionado.

3.2.5.6 Función para calcular el número de *slots* en una XFECFRAME

Esta función utiliza la ecuación 2.6 para calcular la cantidad de *slots* contenidos dentro de una XFECFRAME, reemplazando los valores específicos de n_{ldpc} y de eficiencia de modulación que correspondan a la elección del usuario.

La Figura 3.10 presenta el diagrama de flujo para esta función.

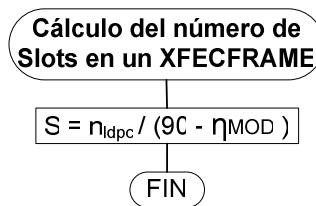


Figura 3.10: Diagrama de flujo para la función que calcula el número de *slots* contenidos dentro de una XFECFRAME.

3.2.5.7 Función para calcular la eficiencia de la PLFRAME

En el cálculo de la eficiencia de la PLFRAME, la función desarrollada para este propósito utiliza la ecuación 2.7 si es que la PLFRAME no contiene símbolos pilotos, y la ecuación 2.8, en caso contrario. El diagrama de flujo correspondiente a esta función se lo indica en la Figura 3.11

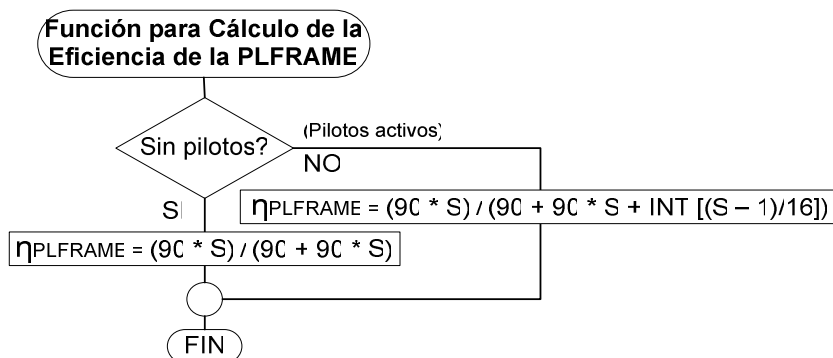


Figura 3.11: Diagrama de flujo para la función que calcula la eficiencia de la PLFRAME.

3.2.5.8 Función para calcular la eficiencia espectral DVB-S2

La Figura 3.12 indica el diagrama de flujo de la función con la que se efectúa el cálculo de la eficiencia espectral DVB-S2.

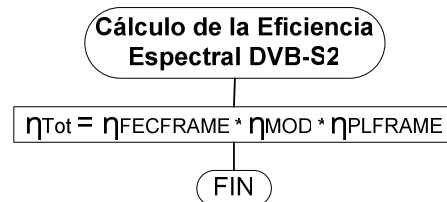


Figura 3.12: Diagrama de flujo para la función que calcula la eficiencia espectral.

Esta función emplea la ecuación 2.9 para calcular la eficiencia espectral, la cual depende de la eficiencia de la FECFRAME, de la eficiencia modulación y de la eficiencia de la PLFRAME.

3.2.5.9 Función para seleccionar el factor de *roll-off*

Esta función almacena a una variable, el valor de *roll-off* que corresponde a la opción que el usuario elija desde la lista desplegable.

La Figura 3.13 presenta el diagrama de flujo correspondiente a dicha función.

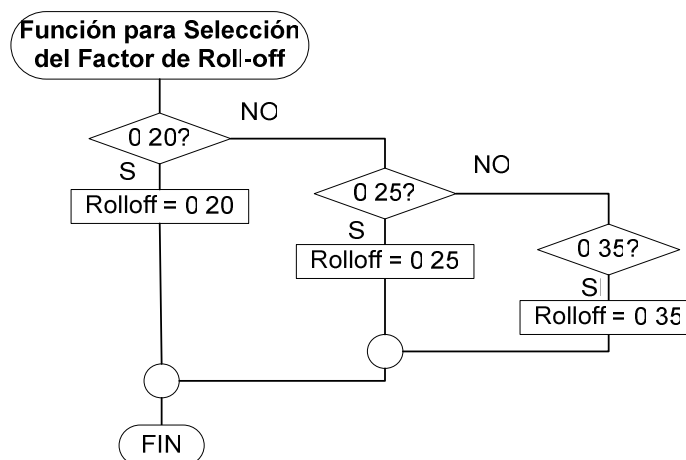


Figura 3.13: Diagrama de flujo para la selección del factor de *roll-off*.

3.2.5.10 Función para calcular la tasa de símbolos

En la Figura 3.14 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la función que permite calcular la tasa de símbolos dentro del programa.

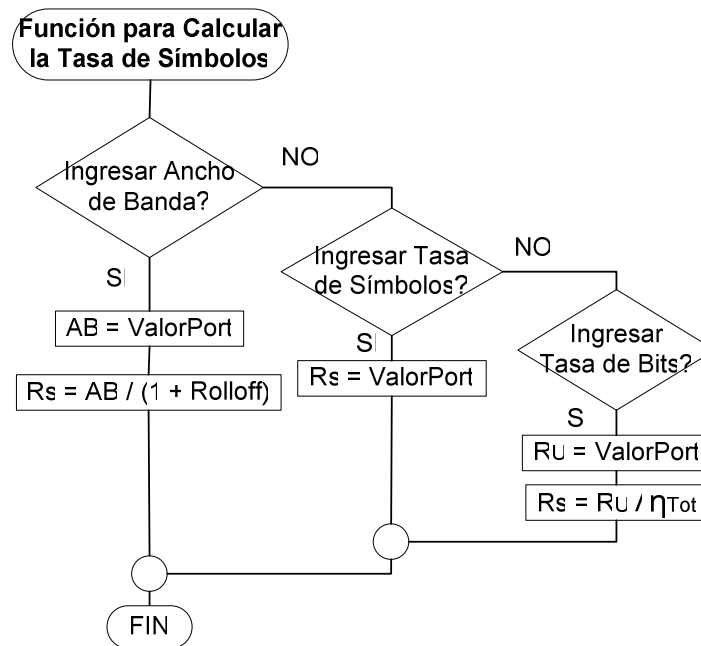


Figura 3.14: Diagrama de flujo para la función que permite calcular la tasa de símbolos.

Como se observa en la Figura 3.14, el programa utiliza la ecuación 2.13 en el cálculo de la tasa de símbolos, si es que el usuario ha decidido ingresar como dato, el valor de la tasa de bits de la señal DVB-S2; o utiliza la ecuación 2.14 en caso de que ingrese el ancho de banda.

3.2.5.11 Función para calcular la tasa bits

Para que esta función pueda ejecutarse es necesario conocer de antemano la tasa de símbolos de la señal. Para este cálculo se utiliza la ecuación 2.11

En la Figura 3.15 se expone el diagrama de flujo para esta función.

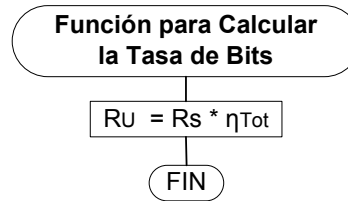


Figura 3.15: Diagrama de flujo para la función que calcula la tasa de bits.

3.2.5.12 Función para calcular el ancho de banda

Esta función emplea la ecuación 2.15 para el cálculo del ancho de banda, en la cual es necesario conocer de antemano los valores de tasa de símbolos y del factor de *roll-off*.

En la Figura 3.16 se expone su diagrama de flujo.

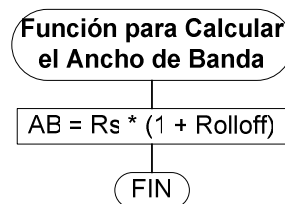


Figura 3.16: Diagrama de flujo para la función que calcula el ancho de banda.

3.2.5.13 Función para calcular la duración de la trama

Esta función, en primer lugar, verifica que el valor de la tasa de bits no sea cero, puesto que ante esta situación se debería realizar una división para tal número, operación que no se puede completar. En este caso se muestra un mensaje de advertencia al usuario, haciéndole notar esta situación.

En el caso contrario, cuando la tasa de bits es diferente de cero, aplica la ecuación 2.17 para calcular la longitud temporal de la información de usuario. La Figura 3.17 presenta el diagrama de flujo para esta función.

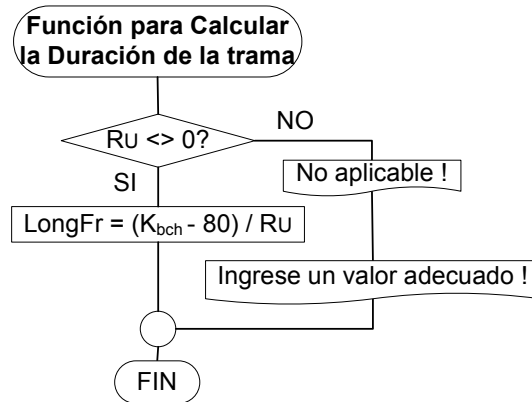


Figura 3.17: Diagrama de flujo para la función que permite calcular la duración temporal de la información de usuario.

3.2.5.14 Función para calcular el factor de espaciamiento entre portadoras

Esta función aplica directamente la ecuación 2.18 para el cálculo de este parámetro. Su diagrama de flujo se lo muestra en la Figura 3.18.

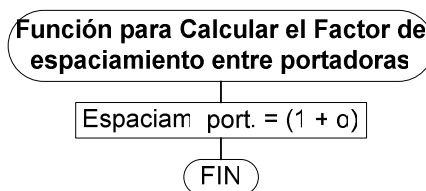


Figura 3.18: Diagrama de flujo para la función que calcula el factor de espaciamiento entre portadoras.

3.2.5.15 Función para calcular la relación E_S/N_0

Esta función debe conocer el tipo de trama DVB-S2, la forma de utilización del *transponder*, y el MODCOD escogido por el usuario, para obtener el valor de E_S/N_0 . Para esta operación se utiliza la Tabla 1.11, la cual ha sido insertada dentro del programa.

Vale la pena resaltar que esta función considera una degradación adicional de 0,25 [dB] en el valor de la relación E_S/N_0 , cuando se utilizan tramas cortas, cumpliendo con la recomendación dada por el estándar DVB-S2.

El diagrama de flujo para esta función se lo presenta en la Figura 3.19

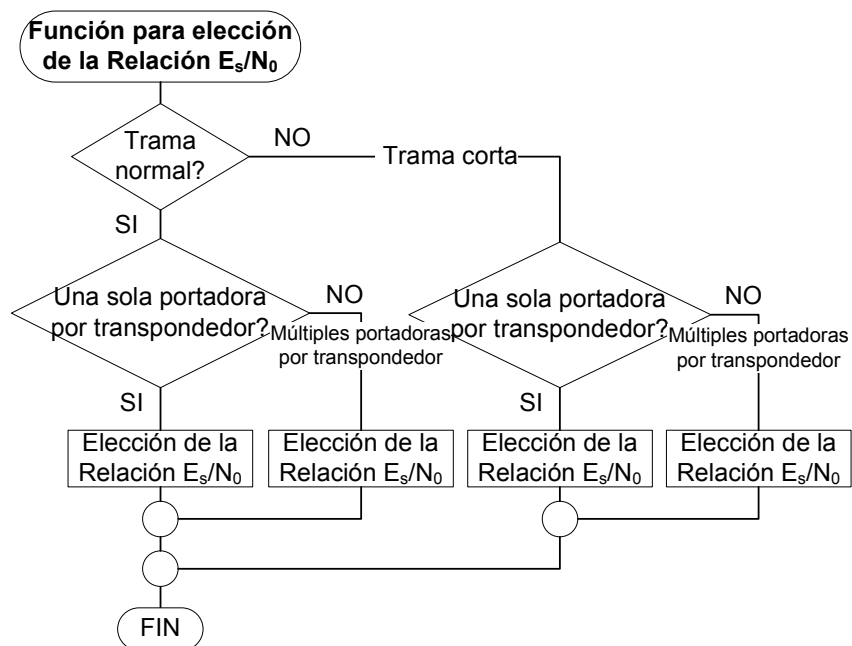


Figura 3.19: Diagrama de flujo para la función que permite obtener la relación E_s/N_0 .

3.2.5.16 Función para calcular la relación E_b/N_0

Para calcular esta relación, esta función usa la ecuación 2.19, definida por el estándar DVB-S2, una vez que se conoce la relación E_s/N_0 . El diagrama de flujo correspondiente se lo indica en la Figura 3.20.

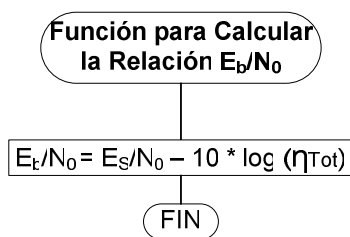


Figura 3.20: Diagrama de flujo para la función que calcula la relación E_b/N_0 .

3.2.5.17 Función para calcular la relación C/N

Como primer paso en la ejecución de esta función, el programa verifica que el valor de la tasa de bits no sea cero, pues no se puede obtener el logaritmo para dicho número, tal como lo requiere la aplicación de la fórmula 2.21. Ante esta situación, el programa muestra un mensaje de advertencia al usuario.

Se presenta el diagrama de flujo correspondiente a esta función en la Figura 3.21.

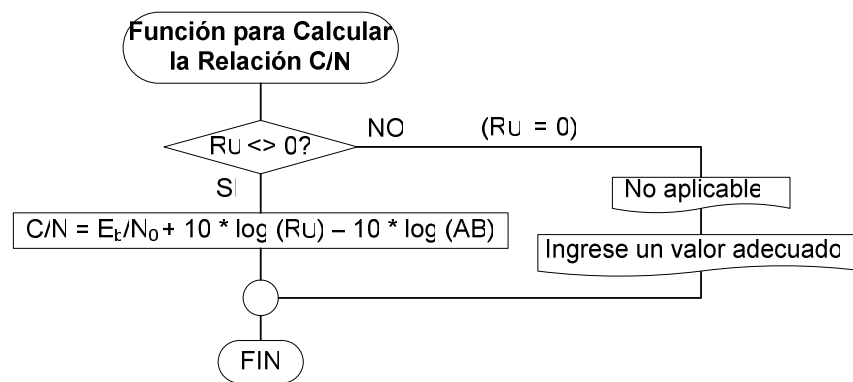


Figura 3.21: Diagrama de flujo para la función que calcula la relación C/N.

3.2.5.18 Función para calcular la relación C/N₀

Esta función también debe asegurarse de que el valor la tasa de bits sea diferente de cero para poder aplicar la ecuación 2.23. En caso de no cumplirse esta condición, advierte al usuario acerca de este inconveniente con un mensaje.

El diagrama de flujo para dicha función se lo indica en la Figura 3.22.

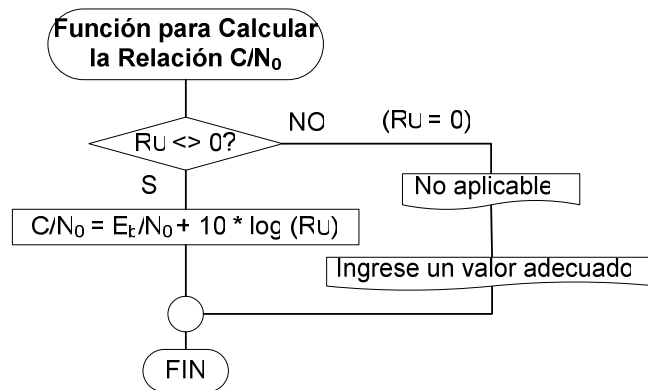


Figura 3.22: Diagrama de flujo para la función que calcula la relación C/N_0 .

3.2.5.19 Función para validar datos ingresados

Como se ha observado a lo largo de este capítulo, el programa implementado funciona básicamente mediante el cálculo de relaciones matemáticas. En algunas de estas fórmulas se realizan divisiones, y en otras se debe obtener el logaritmo de un número. Para estas fórmulas, si es que el usuario ingresa cero como dato inicial, se produciría un error, debido a la imposibilidad de efectuar las operaciones señaladas.

Para enfrentar esta situación, en el programa se ha implementado una función que permita validar el dato ingresado por el usuario, antes de operar con éste.

Esta función básicamente impide al usuario ingresar caracteres cuyo código ASCII este fuera del intervalo entre 48 y 57, correspondientes a los códigos ASCII de los números del 0 hasta 9. Además, sólo se permite el ingreso un solo punto “.” como separador decimal.

Con estas dos medidas, se asegura de que el usuario sólo pueda ingresar números (de 0 a 9), separados por un único punto decimal, lo que corresponde al formato que deberían tener los datos válidos, para poder operar con ellos.

También se permite el utilizar la tecla de retroceso del teclado, para corregir errores en el ingreso de valores.

En caso de que el usuario ingrese un caracter fuera del rango de códigos ASCII mencionado, la función simplemente no acepta el dato, y no lo escribe en el campo en el que se esté haciendo el ingreso de valores.

En la Figura 3.23 se presenta el diagrama de flujo para la función con la que se realiza la validación de los datos ingresado por el usuario.

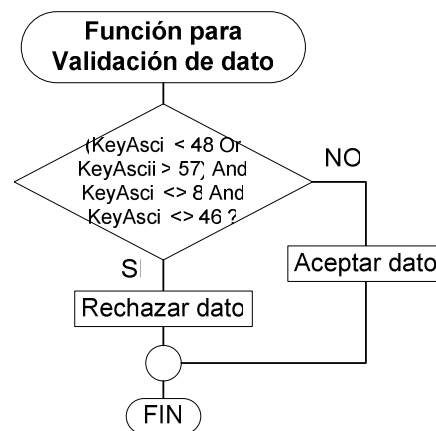


Figura 3.23: Diagrama de flujo para la función que permite validar los datos ingresados.

En caso de que el usuario ingrese secuencias no válidas (como por ejemplo, que no ingrese ningún valor, o que ingrese las cadenas 0; 0..; 0.0., entre algunas de ellas), el programa le muestra un mensaje que le solicita ingresar un valor válido como dato inicial, tal como se indica en la Figura 3.24.

ENTRADAS GENÉRICAS:

TRANSPONDEDOR:
Múltiples portadoras por transpondedor

ELECCIÓN DE PORTADORA:
Ancho de banda asignado

Especifique ancho de banda asignado [MHz]:

Por favor, ingrese un valor adecuado !

Figura 3.24: Mensaje que solicita al usuario ingresar un valor adecuado.

3.3 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA EL PROGRAMA

3.3.1 AYUDA PARA EL PROGRAMA IMPLEMENTADO

Para que esta aplicación sea más completa, el *software* desarrollado proporciona una guía, en forma de un archivo de ayuda, con la finalidad de hacerlo más amigable para el usuario.

Este archivo de ayuda ha sido creado utilizando el *software* llamado “*Visual WinHelp™ V 3.0*”, desarrollado por la empresa Digitote. Este programa puede descargarse desde Internet, en su versión de prueba, en la dirección electrónica: <http://www.digitope.com/downloads/vwinhelp.exe>.

Este programa permite fácilmente crear archivos de ayuda, generando un archivo en formato .RTF (*Rich Text Format*), para cada control que contenga la aplicación (estas son las ayudas *popup*, los cuales permiten mostrar una ayuda contextual ¿*Qué es esto?*), y también generando un archivo .RTF para cada página (*Topic*) que tendrá el archivo de ayuda (los cuales constituirán la ayuda general para la aplicación), y luego compilarlos para obtener el archivo .HLP. [3]

Para esta aplicación, el archivo de ayuda generado se llama “CALCULADOR DVB-S2.HLP”.

3.3.1.1 Utilización de la ayuda general

Para poder utilizar la ayuda durante la ejecución del programa, el usuario debe pulsar en el botón “AYUDA” que se ha colocado en la esquina inferior derecha de la interfaz de usuario. En caso de que aparezca un mensaje en el que se indique que no se encuentra el archivo de ayuda, el usuario debe apuntar al archivo “CALCULADOR DVB-S2.HLP” en la ubicación en la que se encuentre este archivo.

Cuando el usuario pulse este botón de “AYUDA”, inmediatamente se mostrará un esquema de la ayuda generada para este programa, con el cual el usuario podrá tener una idea más clara acerca del objetivo de esta aplicación y la forma de usarlo e interpretarlo. El archivo de ayuda que se despliega tiene el aspecto que se muestra en la Figura 3.25.

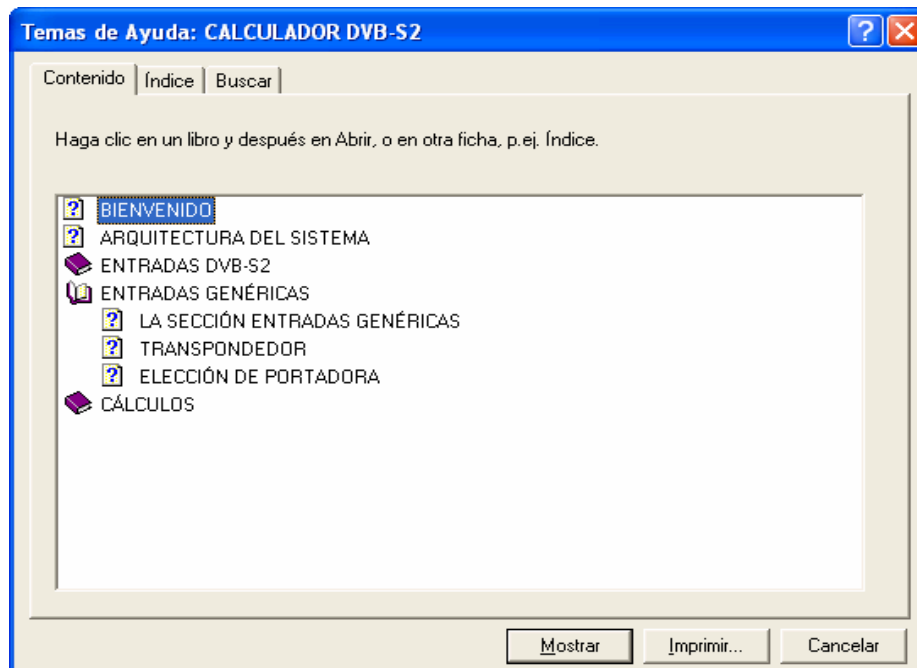


Figura 3.25: Contenido del archivo de ayuda “CALCULADOR DVB-S2.HLP”

Esta ventana de ayuda presenta funcionalidades y facilidades respecto a la forma de presentar los temas de ayuda, de modo que el usuario puede acceder a un tema de ayuda específico de forma rápida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS PARA EL CAPÍTULO 3:

- [1] GARCÍA DE JALÓN, Javier; RODRÍGUEZ, José Ignacio; BRAZÁLEZ, Alfonso; "Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero"; San Sebastián; Agosto 1999.
- [2] BALENA, Francesco; "Programación avanzada con Microsoft Visual Basic 6.0"; Primera edición; McGraw-Hill/Interamericana de España; España; 1999.
- [3] www.digitope.com; ayuda del software "Visual WinHelp™ V 3.0".
- [4] ETSI EN 302 307 (V 1.1.1). "*Digital Video Broadcasting (DVB): Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*". Marzo 2005.
- [5] ETSI TR 102 376 (V 1.1.1.) "*Digital Video Broadcasting (DVB): User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*". Febrero 2005.



CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo tiene por objetivo probar el funcionamiento del programa desarrollado en este Proyecto, ante el cálculo de eficiencias de encapsulamiento propias del sistema DVB-S2, parámetros de transmisión *forward*, y parámetros de calidad para un enlace DVB-S2. Además, se desea probar el desempeño del programa ante escenarios de aplicación reales para el sistema DVB-S2, orientados a maximizar los recursos en una transmisión satelital.

Estas pruebas son efectuadas con el propósito de comparar los resultados obtenidos con nuestra aplicación, con aquellos resultados ofrecidos, tanto por el estándar DVB-S2, como con los resultados que entregue el *software* “DVB-S1+S2 Calculator”, desarrollado por la empresa Newtec, y de esta manera, verificar el correcto desempeño del programa implementado.

Es importante señalar que para efectuar estas pruebas y comparaciones, se utiliza el nombre “CALCULADOR DVB-S2” cuando se necesite hacer una referencia al programa desarrollado en este Proyecto.

El estándar DVB-S2 no presenta una tabla o resumen, en la que se detallen los resultados que se deberían obtener al utilizar la norma DVB-S2, especialmente en lo referente a las eficiencias de encapsulamiento. En la mayoría de los casos, sólo se presentan tablas y gráficos para tramas normales, y existe poca información respecto a tramas cortas. Sin embargo, mientras sea posible, se realizan comprobaciones con tablas y gráficos proporcionados por el estándar DVB-S2 [EN 302 307].

Como una alternativa para probar que la aplicación implementada funciona de forma adecuada, se compara su funcionamiento con el desempeño del *software* “DVB-S1+S2 Calculator V 3.8” de Newtec.

Por esta razón, como primer aspecto en este capítulo, se expone las características y el funcionamiento del *software* “DVB-S1+S2 Calculator”, y las

ecuaciones que este programa utiliza para realizar sus cálculos, con el objetivo de familiarizar al lector con dicho programa.

4.1 EL PROGRAMA “DVB-S1+S2 CALCULATOR V 3.8” DE NEWTEC

En este punto, se hace una breve descripción del *software* “DVB-S1+S2 Calculator” versión 3.8, desarrollado por Newtec.

Luego de efectuar esta descripción, se procede a detallar las tablas y ecuaciones que utiliza dicho *software*, para realizar sus cálculos.

4.1.1 INTRODUCCIÓN [2]

Newtec es una compañía belga que ha surgido como un fabricante líder a nivel mundial de equipos para telecomunicaciones por satélite y proveedor de soluciones en este campo. [1]

Newtec ha desarrollado el *software* “DVB-S1+S2 Calculator V 3.8” [3], el cual es una herramienta muy útil en el cálculo de enlaces satelitales, empleando los estándares DVB-S y DVB-S2. Este *software* puede ser obtenido de la página Web de la empresa Newtec.

Este calculador ha sido diseñado basándose en la información descrita en 2 *Application Notes*: el NTC/2263/APN01 [4] y el NTC/2263/APN02 [5], también desarrollados por Newtec.

El “DVB-S1 + S2 Calculador” es un programa desarrollado en Microsoft Excel. Para poder utilizarlo podría ser necesario configurar el Nivel de Seguridad de Macro de Excel a nivel “Bajo”, para permitir el comando “HABILITAR MACROS”. [2]

4.1.2 LA INTERFAZ DE USUARIO DEL PROGRAMA “DVB-S1+S2 CALCULATOR V 3.8” [2]

Los campos de entrada a este calculador se encuentran en la mitad superior de la interfaz de usuario, mientras que los resultados de salida están en la mitad inferior. Los campos de entrada a su vez están divididos en una parte izquierda, en la mitad y en la derecha. Estos corresponden a las “Entradas Genéricas”, “Entradas Específicas DVB-S2” y las “Entradas específicas DVB-S/DSNG”, respectivamente.

Los resultados de salida están divididos en los campos a), b) y c). Las “Salidas Genéricas” contienen parámetros generales, a menudo requeridos para optimizar el rendimiento del enlace. Los campos b) y c) muestran los valores de salida, referidos especialmente al estándar DVB-S y DVB-S2.

La Figura 4.1 muestra la interfaz de usuario del programa “DVB-S1+S2 Calculator”.

DVB S2	GENERIC INPUT	DVB-S2 INPUT	DVB-S/DSNG INPUT
Newtec V3.8	Transponder Single Carrier per Transponder Choose Transponder Bandwidth (KHz) 30000 Choose Carrier: Baudrate / Info Rate / Alloc. Bandwidth Allocated Bandwidth Input value in KHz (Max 30000) 9000	IP Encapsulator None (eg. Mpeg ASI Input) Roll Off Factor 0.2 S2 Frame Type Normal Pilot Mode No Pilots MODCOD 16APSK 2/3 Selected Hardware ETSI simulation EN302307	IP Encapsulator None (eg. Mpeg ASI Input) Roll Off Factor 0.25 MODCOD 8PSK 2/3 Selected Hardware NTC/7042.AA
a) Generic Outputs	Baudrate (Kbaud) Required Es/No (dB) (=Co/No) (for BER: 1E-7) C/No (dBHz) Channel Bandwidth (KHz) Frame Length (msec)	7500,0 9,77 78,52 9000,0 2,1720	7200,0 9,80 78,37 9000,0
b) Output to be entered on SATMASTER - "Carrier" - page	Required Eb/No (dB) (for BER: 1-7) Info Rate (Kbps) Overhead % Info Rate FEC Code Rate Spreading Factor (dB) R/S code (n/k) 1 + Roll Off Factor Carrier Spacing Factor Modulation M-PSK	5,56 19779,0 0,00 0,6593 0 1 1,20 1,20 16	7,14 13269,6 0,00 0,6667 0 1,085 1,25 1,25 8
c) Output to be entered on SATMASTER-Satellite - page	IBO (dB) OBO (dB)	4,20 1,30	0,50 0,35

Figura 4.1: Interfaz de Usuario del programa “DVB-S1+S2 Calculator V3.8” de Newtec.

4.1.3 ECUACIONES Y TABLAS UTILIZADAS POR NEWTEC PARA DESARROLLAR EL “DVB-S1+S2 CALCULATOR” (NTC/2263/APN02)

4.1.3.1 *Overhead* (OH) considerado por Newtec [5]

El encapsulamiento introducirá algún *overhead* al flujo de bits de información de entrada, el cual depende del tamaño del paquete.

En la Tabla 4.1 se dan valores de *overhead* para diferentes mecanismos de encapsulamiento.

Modo	<i>Overhead</i> [%]
GBS (no AIR MAC)	1.4 %
ULE (654 bytes, no AIR MAC)	3.4%
MPE (654 bytes, con AIR MAC)	4.7%

Tabla 4.1: *Overhead* en caso de encapsulamiento IP. [5]

4.1.3.2 Tasa de código considerado por Newtec

. Esta es la relación de los bits de entrada al codificador (no codificados) con los bits de salida (codificados): $k/n = f_b/f_c$. Las tasas de código están resumidas en la Tabla 4.2

MPEG 188 bytes	Tasa de código global k/n				
	ID de tasa de código	Trama corta		Trama normal	
		Sin pilotos	Con pilotos	Sin pilotos	Con pilotos
QPSK	1/4	0,1827	0,1787	0,2451	0,2393
QPSK	1/3	0,3145	0,3078	0,3282	0,3204
QPSK	2/5	0,3805	0,3723	0,3947	0,3853
QPSK	1/2	0,4244	0,4153	0,4944	0,4827
QPSK	3/5	0,5783	0,5658	0,5942	0,5800
QPSK	2/3	0,6442	0,6303	0,6611	0,6454
QPSK	3/4	0,7101	0,6949	0,7437	0,7260
QPSK	4/5	0,7541	0,7379	0,7936	0,7747
QPSK	5/6	0,7980	0,7809	0,8273	0,8076
QPSK	8/9	0,8640	0,8454	0,8832	0,8622
QPSK	9/10			0,8943	0,8730

8PSK	3/5	0,5751	0,5640	0,5933	0,5799
8PSK	2/3	0,6407	0,6283	0,6602	0,6452
8PSK	3/4	0,7063	0,6926	0,7427	0,7258
8PSK	5/6	0,7937	0,7784	0,8262	0,8074
8PSK	8/9	0,8593	0,8427	0,8820	0,8620
8PSK	9/10			0,8931	0,8728
16APSK	2/3	0,6372	0,6263	0,6593	0,6437
16APSK	3/4	0,7024	0,6904	0,7417	0,7241
16APSK	4/5	0,7459	0,7331	0,7914	0,7726
16APSK	5/6	0,7894	0,7759	0,8250	0,8055
16APSK	8/9	0,8546	0,8400	0,8808	0,8599
16APSK	9/10			0,8918	0,8707
32APSK	3/4	0,6986	0,6838	0,7407	0,7247
32APSK	4/5	0,7419	0,7262	0,7903	0,7732
32APSK	5/6	0,7851	0,7685	0,8239	0,8061
32APSK	8/9	0,8500	0,8320	0,8796	0,8606
32APSK	9/10			0,8906	0,8714

Tabla 4.2: Tasa de código global k/n. [5]

4.1.3.3 Factor de *roll-off* (α) considerado por Newtec [5]

El estándar DVB-S2 provee tres factores de *roll-off* (α), los cuales se indican en la Tabla 4.3.

Roll-off: α	$1 + \alpha$
0.20	1.20
0.25	1.25
0.35	1.35

Tabla 4.3: Factor de *roll-off*. [5]

El factor de espaciado de portadora es establecido en un valor $\geq 1 + \alpha$.

4.1.3.4 Tasa de bits de información considerada por Newtec [5]

La eficiencia espectral es la relación entre la tasa de bits de entrada al codificador, y la tasa de símbolos de salida codificados y modulados: $\eta = f_b/f_s = kb/n$.

Aquí, k/n es la tasa de código global (Tabla 4.2), y b es la tasa de modulación ($b = 2, 3, 4, 5$).

Para una tasa de símbolos unitaria, la Tabla 4.2 también permite obtener la tasa de bits disponible en la entrada del codificador. La Tabla 4.2 está normalizada a 1 baudio; para otras tasas de símbolos, los valores de la Tabla 4.2 deben ser multiplicados por la tasa de símbolos bajo consideración.

En caso de que algún *overhead* se añada al flujo de bits de información, la tasa de bits de información aplicable es decrementada por un factor $(1+OH)$; esto es: $f_{bi} = f_b / (1+OH)$, donde $OH = OH \% / 100$.

En la Tabla 4.4 se indica la eficiencia espectral para MPEG TS (0% de OH), considerando una tasa de símbolos de 1 baudio.

MPEG 188 bytes	Tasa de bits de información/unidad de baudios (0% OH)				
Modulación	ID de tasa de código	Trama corta		Trama normal	
		Sin pilotos	Con pilotos	Sin pilotos	Con pilotos
QPSK	1/4	0,3653	0,3575	0,4902	0,4786
QPSK	1/3	0,6291	0,6155	0,6564	0,6408
QPSK	2/5	0,7609	0,7446	0,7894	0,7706
QPSK	1/2	0,8488	0,8306	0,9889	0,9653
QPSK	3/5	1,1565	1,1317	1,1883	1,1600
QPSK	2/3	1,2884	1,2607	1,3223	1,2908
QPSK	3/4	1,4203	1,3897	1,4875	1,4521
QPSK	4/5	1,5082	1,4757	1,5872	1,5494
QPSK	5/6	1,5961	1,5618	1,6547	1,6153
QPSK	8/9	1,7280	1,6908	1,7665	1,7244
QPSK	9/10			1,7886	1,7460
8PSK	3/5	1,7253	1,6920	1,7800	1,7396
8PSK	2/3	1,9220	1,8850	1,9806	1,9357
8PSK	3/4	2,1188	2,0779	2,2281	2,1775
8PSK	5/6	2,3811	2,3351	2,4786	2,4223
8PSK	8/9	2,5778	2,5280	2,6460	2,5859
8PSK	9/10			2,6792	2,6184
16APSK	2/3	2,5488	2,5052	2,6372	2,5746
16APSK	3/4	2,8097	2,7616	2,9667	2,8963
16APSK	4/5	2,9836	2,9326	3,1656	3,0905
16APSK	5/6	3,1575	3,1035	3,3002	3,2219
16APSK	8/9	3,4184	3,3599	3,5231	3,4395

16APSK	9/10			3,5673	3,4827
32APSK	3/4	3,4931	3,4192	3,7033	3,6233
32APSK	4/5	3,7093	3,6308	3,9516	3,8662
32APSK	5/6	3,9255	3,8424	4,1195	4,0306
32APSK	8/9	4,2498	4,1599	4,3979	4,3029
32APSK	9/10			4,4530	4,3569

Tabla 4.4: Tasa de bits de información o eficiencia espectral para MPEG con 0% OH. [5]

En la Tabla la 4.5 se indica la eficiencia espectral para GBS con 1,4% de OH, considerando una tasa de símbolos de 1 baudio.

Modulación	ID de tasa de código	Tasa de bits de información/unidad de baudios (1.4% OH)			
		Trama corta		Trama normal	
		Sin pilotos	Con pilotos	Sin pilotos	Con pilotos
QPSK	1/4	0,3603	0,3525	0,4835	0,4720
QPSK	1/3	0,6204	0,6070	0,6474	0,6320
QPSK	2/5	0,7504	0,7343	0,7785	0,7600
QPSK	1/2	0,8371	0,8191	0,9752	0,9520
QPSK	3/5	1,1406	1,1160	1,1719	1,1440
QPSK	2/3	1,2706	1,2433	1,3040	1,2730
QPSK	3/4	1,4007	1,3705	1,4669	1,4320
QPSK	4/5	1,4874	1,4554	1,5653	1,5280
QPSK	5/6	1,5741	1,5402	1,6318	1,5930
QPSK	8/9	1,7041	1,6675	1,7421	1,7006
QPSK	9/10			1,7639	1,7219
8PSK	3/5	1,7015	1,6687	1,7554	1,7156
8PSK	2/3	1,8955	1,8589	1,9533	1,9089
8PSK	3/4	2,0895	2,0492	2,1974	2,1475
8PSK	5/6	2,3482	2,3029	2,4443	2,3888
8PSK	8/9	2,5422	2,4931	2,6095	2,5502
8PSK	9/10			2,6422	2,5822
16APSK	2/3	2,5136	2,4706	2,6008	2,5391
16APSK	3/4	2,7709	2,7235	2,9258	2,8563
16APSK	4/5	2,9424	2,8921	3,1219	3,0478
16APSK	5/6	3,1139	3,0607	3,2546	3,1774
16APSK	8/9	3,3712	3,3135	3,4745	3,3920
16APSK	9/10			3,5181	3,4346
32APSK	3/4	3,4449	3,3720	3,6522	3,5733
32APSK	4/5	3,6581	3,5807	3,8970	3,8129
32APSK	5/6	3,8713	3,7894	4,0627	3,9749

32APSK	8/9	4,1912	4,1025	4,3371	4,2435
32APSK	9/10			4,3915	4,2967

Tabla 4.5: Tasa de bits de información o eficiencia espectral para GBS con 1.4% OH. [5]

En la Tabla 4.6 se indica la eficiencia espectral para ULE con 3,4% de OH, considerando una tasa de símbolos de 1 baudio.

ULE (no AIR MAC)	Tasa de bits de información/unidad de baudios (3.4% OH)				
Modulación	ID de tasa de código	Trama corta		Trama normal	
		Sin pilotos	Con pilotos	Sin pilotos	Con pilotos
QPSK	1/4	0,3533	0,3457	0,4741	0,4628
QPSK	1/3	0,6084	0,5953	0,6349	0,6198
QPSK	2/5	0,7359	0,7201	0,7635	0,7453
QPSK	1/2	0,8209	0,8033	0,9563	0,9336
QPSK	3/5	1,1185	1,0944	1,1492	1,1219
QPSK	2/3	1,2460	1,2192	1,2788	1,2483
QPSK	3/4	1,3736	1,3440	1,4386	1,4043
QPSK	4/5	1,4586	1,4272	1,5350	1,4985
QPSK	5/6	1,5436	1,5104	1,6003	1,5622
QPSK	8/9	1,6711	1,6352	1,7084	1,6677
QPSK	9/10			1,7298	1,6886
8PSK	3/5	1,6686	1,6364	1,7215	1,6824
8PSK	2/3	1,8588	1,8230	1,9155	1,8720
8PSK	3/4	2,0491	2,0096	2,1549	2,1059
8PSK	5/6	2,3028	2,2583	2,3971	2,3426
8PSK	8/9	2,4930	2,4449	2,5590	2,5009
8PSK	9/10			2,5911	2,5323
16APSK	2/3	2,4650	2,4228	2,5505	2,4900
16APSK	3/4	2,7173	2,6708	2,8692	2,8011
16APSK	4/5	2,8855	2,8361	3,0615	2,9889
16APSK	5/6	3,0537	3,0015	3,1917	3,1159
16APSK	8/9	3,3060	3,2494	3,4073	3,3264
16APSK	9/10			3,4500	3,3682
32APSK	3/4	3,3782	3,3067	3,5815	3,5042
32APSK	4/5	3,5873	3,5114	3,8216	3,7391
32APSK	5/6	3,7964	3,7161	3,9841	3,8981
32APSK	8/9	4,1101	4,0231	4,2532	4,1614
32APSK	9/10			4,3066	4,2136

Tabla 4.6: Tasa de bits de información o eficiencia espectral para ULE con 3.4% OH [5]

En la Tabla 4.7 se indica la eficiencia espectral para MPE con 4,7% de OH, para una tasa de símbolos de 1 baudio.

MPE (no AIR MAC)	Tasa de bits de información/unidad de baudios (4.7% OH)				
Modulación	ID de tasa de código	Trama corta		Trama normal	
		Sin pilotos	Con pilotos	Sin pilotos	Con pilotos
QPSK	1/4	0,3489	0,3414	0,4682	0,4571
QPSK	1/3	0,6008	0,5879	0,6270	0,6121
QPSK	2/5	0,7268	0,7111	0,7540	0,7360
QPSK	1/2	0,8107	0,7933	0,9445	0,9220
QPSK	3/5	1,1046	1,0809	1,1350	1,1080
QPSK	2/3	1,2306	1,2041	1,2629	1,2328
QPSK	3/4	1,3565	1,3273	1,4207	1,3869
QPSK	4/5	1,4405	1,4095	1,5159	1,4799
QPSK	5/6	1,5244	1,4917	1,5804	1,5428
QPSK	8/9	1,6504	1,6149	1,6872	1,6470
QPSK	9/10			1,7083	1,6677
8PSK	3/5	1,6479	1,6161	1,7001	1,6615
8PSK	2/3	1,8358	1,8003	1,8917	1,8488
8PSK	3/4	2,0236	1,9846	2,1281	2,0798
8PSK	5/6	2,2742	2,2303	2,3673	2,3135
8PSK	8/9	2,4621	2,4146	2,5272	2,4698
8PSK	9/10			2,5589	2,5008
16APSK	2/3	2,4344	2,3928	2,5188	2,4590
16APSK	3/4	2,6835	2,6377	2,8336	2,7663
16APSK	4/5	2,8496	2,8009	3,0235	2,9518
16APSK	5/6	3,0157	2,9642	3,1520	3,0772
16APSK	8/9	3,2649	3,2091	3,3650	3,2851
16APSK	9/10			3,4072	3,3263
32APSK	3/4	3,3363	3,2657	3,5371	3,4607
32APSK	4/5	3,5428	3,4678	3,7742	3,6927
32APSK	5/6	3,7493	3,6700	3,9346	3,8497
32APSK	8/9	4,0591	3,9732	4,2004	4,1097
32APSK	9/10			4,2531	4,1613

Tabla 4.7: Tasa de bits de información o eficiencia espectral para MPE, 4.7% OH. [5]

4.1.3.5 IBO y OBO¹⁴ considerado por Newtec

La Tabla 4.8 indica los valores de IBO y de OBO (para satélites INTELSAT) utilizados por Newtec en su programa “DVB-S1+S2 Calculator”, en la configuración de una sola portadora por *transponder*.

QPSK	Intelsat linearized TWTA			
	IBO	OBO	ISI	TD
no pred.	0,00	0,33	0.22 + Δ	0.55 + Δ
L=1 (static)	0,00	0,33	0.16 + Δ	0.49 + Δ
L=5	0,00	0,33	0.10 + Δ	0.43 + Δ

8-PSK	Intelsat linearized TWTA			
	IBO	OBO	ISI	TD
no pred.	0,50	0,35	0.52 + Δ	0.87 + Δ
L=1 (static)	0,50	0,35	0.49 + Δ	0.84 + Δ
L=5	0,00	0,35	0.16 + Δ	0.51 + Δ

16-APSK	Intelsat linearized TWTA			
	IBO	OBO	ISI	TD
no pred.	4,20	1,3	1.10 + Δ	2.40 + Δ
L=1 (static)	2,00	1	1.00 + Δ	2.00 + Δ
L=5	1,20	0,9	0.60 + Δ	1.50 + Δ

32-APSK	Intelsat linearized TWTA			
	IBO	OBO	ISI	TD
no pred.	7,80	3,30	1.90 + Δ	5.20 + Δ
L=1 (static)				
L=3				

Tabla 4.8: Valores de IBO y de OBO para una sola portadora por *transponder*. [5]

4.1.3.6 Cálculo de E_b/N_0 , E_s/N_0 , C/N dentro de Newtec [5]

Newtec utiliza las siguientes fórmulas para el cálculo de las relaciones mencionadas:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N_0} * \frac{1}{f_{bi}(1+OH)} \quad ; (OH = 0 \text{ for MPEG 188 bytes, TS})$$

$$\frac{E_s}{N_s} = \frac{E_b}{N_0} * \frac{kb}{n} = \frac{C}{N_0} * \frac{1}{f_{bi}(1+OH)n/kb} \quad ; \eta = \frac{kb}{n}$$

$$\left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{dB} = \left. \frac{E_s}{N_s} \right|_{dB} - 10 \log \eta \quad ; \eta = \text{eficiencia espectral}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} * \frac{1}{\left[f_{bi} \frac{n}{kb} (1+OH) \right] (1+\alpha)} = \frac{E_s}{N_0} * \frac{1}{(1+\alpha)} = \frac{E_b}{N_0} * \frac{kb}{n} * \frac{1}{(1+\alpha)}$$

¹⁴ **Retención de potencia (Back off** en inglés) - Reducción de la potencia de entrada (IBO) o de salida (OBO) respecto de la que causaría o corresponde a la saturación a la salida de un *transponder*, determinada para que los enlaces de satélite tengan una proporción relativamente baja de ruido de intermodulación. La retención de potencia de entrada produce un valor correspondiente y diferente de la de salida, siendo *delta* el valor de la diferencia entre ambas retenciones de potencia.[7]

4.2 SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS ENTRE EL SOFTWARE “DVB-S1+S2 CALCULATOR V 3.8”, Y EL PROGRAMA “CALCULADOR DVB-S2”

4.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE “DVB-S1+S2 Calculator”

Adicionalmente a las características que se acaba de mencionar acerca de este programa, se destaca:

- Presenta funcionalidades para selección del modo de utilización del satélite: una sola o múltiples portadoras por *transponder*. En caso de seleccionar múltiples portadoras por *transponder*, este programa no calcula y no muestra valores de IBO y de OBO.
- Permite al usuario seleccionar si es que desea ingresar la tasa de bits, la tasa de símbolos o el ancho de banda de la señal. En cada caso, presenta un campo para ingresar el valor numérico del parámetro seleccionado.
- Permite al usuario configurar el modo en que se utilizará el sistema DVB-S2, es decir, se puede seleccionar: tipo de encapsulamiento a utilizar, el tipo de trama DVB-S2 (normal o corta), el factor de *roll-off*, presencia/ausencia de pilotos, MODCOD.
- Tiene un campo denominado “*Selected Hardware*” para escoger el equipo Newctec con el que se efectúan los cálculos: NTC/2263/xF y NTC/2263/xA, etc. Dentro de este campo se encuentra la opción “*ETSI simulation EN302307*”, con el que se utiliza los valores proporcionados por DVB-S2.
- Presenta una sección especial, dedicada a configurar opciones referentes a DVB-S/DVB-DSNG.

- El rendimiento E_s/N_0 es tomado de los demoduladores DVB-S2 NTC/2263/xF, NTC/2263/xA, etc., diseñados y construidos por Newtec.
- Presenta los mismos valores para la relación E_s/N_0 , tanto en tramas normales como en tramas cortas, cuando se selecciona la opción “*ETSI simulation EN302307*”.
- En la interfaz de usuario de este programa no se puede apreciar los valores para las eficiencias de encapsulamiento DVB-S2.

4.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA “CALCULADOR DVB-S2”

Entre las principales características de esta aplicación se exponen las siguientes:

- Brinda facilidades para configurar la forma de la señal DVB-S2, es decir, el programa permite seleccionar: tipo de trama DVB-S2, el factor de *roll-off*, presencia/ausencia de pilotos, MODCOD, tipo de encapsulamiento IP.
- Permite configurar el modo de utilización de los recursos satelitales: una o varias portadoras por *transponder*.
- Facilita al usuario escoger el parámetro de la señal DVB-S2 que desea ingresar: tasa de bits, ancho de banda, tasa de símbolos; luego le permite ingresar el valor para el parámetro seleccionado.
- Para el cálculo de los parámetros DVB-S2, el programa utiliza los valores proporcionados por el estándar DVB-S2, logrados a través de simulaciones.

- Este programa acoge la recomendación dada por DVB-S2, referente a que debe tomarse en consideración una degradación adicional de 0,2 [dB] a 0,3 [dB] en el valor de la relación E_s/N_0 , cuando se utiliza tramas cortas.
- El “CALCULADOR DVB-S2” no realiza cálculos de IBO ni de OBO.
- Este programa muestra una sección especial, dedicada al cálculo de las eficiencias de encapsulamiento.

4.2.3 SEMEJANZAS ENTRE EL “CALCULADOR DVB-S2” Y EL “DVB-S1+S2 Calculator” DESARROLLADO POR NEWTEC

Tanto el *software* “DVB-S1+S2 Calculator”, como el programa, el “CALCULADOR DVB-S2”, han sido diseñados para cumplir el mismo propósito: ser una herramienta útil en el análisis y diseño de enlaces satelitales, utilizando el estándar DVB-S2.

Es así que, los dos programas presentan las mismas funcionalidades, y las mismas facilidades para configurar la señal DVB-S2, de acuerdo a los requerimientos del servicio en el que se utilice el sistema DVB-S2.

4.2.4 DIFERENCIAS ENTRE EL “CALCULADOR DVB-S2” Y EL “DVB-S1+S2 Calculator” DESARROLLADO POR NEWTEC

En lo referente a las diferencias de funcionamiento entre el “DVB-S1+S2 Calculator” y el “CALCULADOR DVB-S2”, se pueden citar las siguientes.

- El rendimiento E_s/N_0 para el “DVB-S1+S2 Calculator” es tomado de los demoduladores DVB-S2 NTC/2263/xF y NTC/2263/xA, diseñados y construidos por Newtec; mientras que el “CALCULADOR DVB-S2” toma los valores dados por el estándar DVB-S2 en la Tabla 1.11.

- Cuando se escoge la “*ETSI simulation EN302307*”, el “*DVB-S1+S2 Calculator*” no toma en cuenta una degradación adicional de 0,2 [dB] a 0,3 [dB] en el valor de la relación E_s/N_0 para tramas cortas, tal como lo recomienda el estándar DVB-S2, mientras que el “CALCULADOR DVB-S2” si lo hace.
- El “CALCULADOR DVB-S2” no muestra valores de IBO y de OBO como lo hace el programa de Newtec. La razón es que Newtec toma estos valores de la Tabla 4.8, los cuales sirven para satélites INTELSAT, excluyendo de alguna manera otros tipos de satélites, cuyos valores de IBO y de OBO se pueden consultar.
- El “CALCULADOR DVB-S2” muestra una sección en la que se despliega los cálculos para las eficiencias de encapsulamiento DVB-S2, mientras que en el “*DVB-S1+S2 Calculator*” de Newtec no es posible apreciar los valores para dichas eficiencias.

4.3 PRUEBAS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS POR EL “CALCULADOR DVB-S2”, EL ESTÁNDAR DVB-S2, Y EL “DVB-S1+S2 CALCULATOR” DE NEWTEC

El programa “CALCULADOR DVB-S2” ha sido desarrollado en este Proyecto para el cálculo de:

- Eficiencias de encapsulamiento del sistema DVB-S2.
- Parámetros de transmisión de la señal DVB-S2.
- Parámetros de calidad para un enlace satelital DVB-S2.

Estos son los parámetros que se compara con los resultados que presente el estándar DVB-S2, como con los resultados que brinde el “*DVB-S*+S2 *Calculator*”, dedicando una sección para cada uno de ellos.

En todos los casos, se presenta tablas que incluyen porcentajes de error entre los resultados obtenidos, tomando en cuenta el mismo número de posiciones decimales en los dos valores que se comparen.

Es importante resaltar que, con el objetivo de tener mayor precisión en los resultados, los cálculos han sido realizados tomando en cuenta todos los decimales que tengan los operandos con los que se trabaje, y que se hayan obtenido como resultado de cálculos anteriores.

4.3.1 COMPARACIONES RESPECTO A EFICIENCIAS DE ENCAPSULAMIENTO DVB-S2

El estándar DVB-S2 no presenta ninguna tabla o gráficos acerca de valores que se deberían lograr en lo referente a eficiencias de encapsulamiento.

En todo caso, se puede hacer la comparación de resultados respecto a éstos parámetros, gracias a un documento creado por Newtec, denominado “*Rate calculations in DVB-S2.xls*”. [6]

Este documento es una hoja de cálculo que presenta resultados referentes a eficiencias de encapsulamiento, en cada una de las etapas del sistema DVB-S2, tanto para tramas normales, como para tramas cortas.

En la Tabla 4.9 se indica los resultados relativos a eficiencias de encapsulamiento DVB-S2, presentadas por Newtec en el documento “*Rate calculations in DVB-S2.xls*”, para tramas normales.

64800	K_{bch}	$\eta_{FECFRAME}$	η_{MOD}	S	$\eta_{PLFRAME}$		Eficiencia espectral [bps/Hz]	
					Sin pilotos	Con pilotos	Sin pilotos	Con pilotos
QPSK 1/4	16008	0,245802469	2	360	0,9972299	0,97349919	0,49024315	0,478577
QPSK 1/3	21408	0,329135802	2	360	0,9972299	0,97349919	0,65644813	0,640827
QSPK 2/5	25728	0,395802469	2	360	0,9972299	0,97349919	0,78941212	0,770627
QPSK 1/2	32208	0,495802469	2	360	0,9972299	0,97349919	0,98885811	0,965327
QPSK 3/5	38688	0,595802469	2	360	0,9972299	0,97349919	1,18830409	1,160026

QPSK 2/3	43040	0,662962963	2	360	0,9972299	0,97349919	1,32225300	1,290788
QSPK 3/4	48408	0,745802469	2	360	0,9972299	0,97349919	1,48747306	1,452076
QPSK 4/5	51648	0,795802469	2	360	0,9972299	0,97349919	1,58719606	1,549426
QPSK 5/6	53840	0,82962963	2	360	0,9972299	0,97349919	1,65466297	1,615288
QPSK 8/9	57472	0,885679012	2	360	0,9972299	0,97349919	1,76645121	1,724416
QPSK 9/10	58192	0,896790123	2	360	0,9972299	0,97349919	1,78861188	1,746049
8PSK 3/5	38688	0,595802469	3	240	0,9958506	0,97323601	1,77999077	1,739569
8PSK 2/3	43040	0,662962963	3	240	0,9958506	0,97323601	1,98063623	1,935658
8PSK 3/4	48408	0,745802469	3	240	0,9958506	0,97323601	2,22812355	2,177525
8PSK 5/6	53840	0,82962963	3	240	0,9958506	0,97323601	2,47856154	2,422276
8PSK 8/9	57472	0,885679012	3	240	0,9958506	0,97323601	2,64601198	2,585924
8PSK 9/10	58192	0,896790123	3	240	0,9958506	0,97323601	2,67920700	2,618365
16APSK 2/3	43040	0,662962963	4	180	0,9944751	0,97087379	2,63720073	2,574613
16APSK 3/4	48408	0,745802469	4	180	0,9944751	0,97087379	2,96672805	2,89632
16APSK 4/5	51648	0,795802469	4	180	0,9944751	0,97087379	3,16562308	3,090495
16APSK 5/6	53840	0,82962963	4	180	0,9944751	0,97087379	3,30018416	3,221863
16APSK 8/9	57472	0,885679012	4	180	0,9944751	0,97087379	3,52314303	3,43953
16APSK 9/10	58192	0,896790123	4	180	0,9944751	0,97087379	3,56734192	3,48268
32APSK 3/4	48408	0,745802469	5	144	0,9931034	0,97165992	3,70329501	3,623332
32APSK 4/5	51648	0,795802469	5	144	0,9931034	0,97165992	3,951570881	3,866247
32APSK 5/6	53840	0,82962963	5	144	0,9931034	0,97165992	4,11954023	4,030589
32APSK 8/9	57472	0,885679012	5	144	0,9931034	0,97165992	4,397854406	4,302894
32APSK 9/10	58192	0,896790123	5	144	0,9931034	0,97165992	4,45302682	4,356875

Tabla 4.9: Eficiencias de encapsulamiento calculadas por Newtec en su hoja electrónica “Rate calculations in DVB-S2” para tramas normales. [6]

En la Tabla 4.10 se indica los resultados relativos a eficiencias de encapsulamiento DVB-S2, presentadas por Newtec en el documento “Rate calculations in DVB-S2.xls”, para tramas cortas.

16200	K_{bch}	$\eta_{FECFRAME}$	η_{MOD}	S	$\eta_{PLFRAME}$		Eficiencia espectral [bps/Hz]	
					Sin pilotos	Con pilotos	Sin pilotos	Con pilotos
QPSK 1/4	3072	0,184691358	2	90	0,989011	0,96774194	0,365323565	0,357467
QPSK 1/3	5232	0,318024691	2	90	0,989011	0,96774194	0,629059829	0,615532
QSPK 2/5	6312	0,384691358	2	90	0,989011	0,96774194	0,760927961	0,744564
QPSK 1/2	7032	0,429135802	2	90	0,989011	0,96774194	0,848840049	0,830585
QPSK 3/5	9552	0,584691358	2	90	0,989011	0,96774194	1,156532357	1,131661
QPSK 2/3	10632	0,651358025	2	90	0,989011	0,96774194	1,288400488	1,260693
QSPK 3/4	11712	0,718024691	2	90	0,989011	0,96774194	1,42026862	1,389725
QPSK 4/5	12432	0,762469136	2	90	0,989011	0,96774194	1,508180708	1,475747
QPSK 5/6	13152	0,80691358	2	90	0,989011	0,96774194	1,596092796	1,561768
QPSK 8/9	14232	0,873580247	2	90	0,989011	0,96774194	1,727960928	1,6908
8PSK 3/5	9552	0,584691358	3	60	0,9836066	0,96463023	1,725318761	1,692033
8PSK 2/3	10632	0,651358025	3	60	0,9836066	0,96463023	1,922040073	1,884959

8PSK 3/4	11712	0,718024691	3	60	0,9836066	0,96463023	2,118761384	2,077885
8PSK 5/6	13152	0,80691358	3	60	0,9836066	0,96463023	2,381056466	2,33512
8PSK 8/9	14232	0,873580247	3	60	0,9836066	0,96463023	2,577777778	2,528046
16APSK 2/3	10632	0,651358025	4	45	0,9782609	0,96153846	2,548792271	2,505223
16APSK 3/4	11712	0,718024691	4	45	0,9782609	0,96153846	2,809661836	2,761633
16APSK 4/5	12432	0,762469136	4	45	0,9782609	0,96153846	2,983574879	2,932574
16APSK 5/6	13152	0,80691358	4	45	0,9782609	0,96153846	3,157487923	3,103514
16APSK 8/9	14232	0,873580247	4	45	0,9782609	0,96153846	3,418357488	3,359924
32APSK 3/4	11712	0,718024691	5	36	0,972973	0,95238095	3,493093093	3,419165
32APSK 4/5	12432	0,762469136	5	36	0,972973	0,95238095	3,709309309	3,630805
32APSK 5/6	13152	0,80691358	5	36	0,972973	0,95238095	3,925525526	3,842446
32APSK 8/9	14232	0,873580247	5	36	0,972973	0,95238095	4,24984985	4,159906

Tabla 4.10: Eficiencias de encapsulamiento calculadas por Newtec en su hoja electrónica “Rate calculations in DVB-S2” para tramas cortas. [6]

Para cada uno de los parámetros contenidos en las Tablas 4.9 y 4.10 se efectúa comparaciones con los resultados que ofrece el programa desarrollado en este trabajo.

4.3.1.1 Eficiencia de la BBFRAME

Lamentablemente, Newtec no ha considerado el cálculo de la eficiencia de encapsulamiento de la BBFRAME, por lo que en las Tablas 4.9 y 4.10 no se ofrece valores para dicha eficiencia. El estándar DVB-S2 tampoco presenta éstos valores. Por estas razones, no será posible hacer alguna comparación para este parámetro.

4.3.1.2 Eficiencia de la FECFRAME

En la Tabla 4.11 se indica una comparación de resultados obtenidos por Newtec con nuestra aplicación, para la eficiencia de la FECFRAME, tanto en tramas normales, como para tramas cortas.

	Tramas Normales (64800 bits)			Tramas cortas (16200 bits)		
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	η_{FECFRAME}	η_{FECFRAME}		η_{FECFRAME}	η_{FECFRAME}	
QPSK 1/4	0,245802469	0,245802469	0,00	0,184691358	0,184691358	0,00
QPSK 1/3	0,329135802	0,329135802	0,00	0,318024691	0,318024691	0,00
QSPK 2/5	0,395802469	0,395802469	0,00	0,384691358	0,384691358	0,00
QPSK 1/2	0,495802469	0,495802469	0,00	0,429135802	0,429135802	0,00
QPSK 3/5	0,595802469	0,595802469	0,00	0,584691358	0,584691358	0,00
QPSK 2/3	0,662962963	0,662962963	0,00	0,651358025	0,651358025	0,00
QSPK 3/4	0,745802469	0,745802469	0,00	0,718024691	0,718024691	0,00
QPSK 4/5	0,795802469	0,795802469	0,00	0,762469136	0,762469136	0,00
QPSK 5/6	0,82962963	0,829629623	0,00	0,80691358	0,80691358	0,00
QPSK 8/9	0,885679012	0,885679012	0,00	0,873580247	0,873580247	0,00
QPSK 9/10	0,896790123	0,896790123	0,00			
8PSK 3/5	0,595802469	0,595802469	0,00	0,584691358	0,584691358	0,00
8PSK 2/3	0,662962963	0,662962963	0,00	0,651358025	0,651358025	0,00
8PSK 3/4	0,745802469	0,745802469	0,00	0,718024691	0,718024691	0,00
8PSK 5/6	0,82962963	0,829629623	0,00	0,80691358	0,80691358	0,00
8PSK 8/9	0,885679012	0,885679012	0,00	0,873580247	0,873580247	0,00
8PSK 9/10	0,896790123	0,896790123	0,00			
16APSK 2/3	0,662962963	0,662962963	0,00	0,651358025	0,651358025	0,00
16APSK 3/4	0,745802469	0,745802469	0,00	0,718024691	0,718024691	0,00
16APSK 4/5	0,795802469	0,795802469	0,00	0,762469136	0,762469136	0,00
16APSK 5/6	0,82962963	0,82962963	0,00	0,80691358	0,80691358	0,00
16APSK 8/9	0,885679012	0,885679012	0,00	0,873580247	0,873580247	0,00
16APSK 9/10	0,896790123	0,896790123	0,00			
32APSK 3/4	0,745802469	0,745802469	0,00	0,718024691	0,718024691	0,00
32APSK 4/5	0,795802469	0,795802469	0,00	0,762469136	0,762469136	0,00
32APSK 5/6	0,82962963	0,82962963	0,00	0,80691358	0,80691358	0,00
32APSK 8/9	0,885679012	0,885679012	0,00	0,873580247	0,873580247	0,00
32APSK 9/10	0,896790123	0,896790123	0,00			

Tabla 4.11: Comparación entre resultados en la eficiencia de la FECFRAME obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales y para tramas cortas.

4.3.1.3 Tasa de código FEC

En la Tabla 4.12 se indica una comparación entre valores entregados por el software “DVB-S1+S2 Calculator”, con el “CALCULADOR DVB-S2, para la tasa de código FEC.

	Tramas Normales (64800 bits)			Tramas cortas (16200 bits)		
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	Tasa FEC	Tasa FEC		Tasa FEC	Tasa FEC	
QPSK 1/4	0,2451	0,2470	0,78	0,1827	0,1896	3,65
QPSK 1/3	0,3282	0,3303	0,66	0,3146	0,3229	2,59
QSPK 2/5	0,3947	0,3970	0,59	0,3805	0,3896	2,34
QPSK 1/2	0,4945	0,497	0,51	0,4244	0,4340	2,23
QPSK 3/5	0,5942	0,5970	0,48	0,5783	0,5896	1,92
QPSK 2/3	0,6612	0,6641	0,45	0,6442	0,6562	1,84
QSPK 3/4	0,7438	0,7470	0,43	0,7102	0,7229	1,77
QPSK 4/5	0,7936	0,7970	0,43	0,7541	0,7674	1,73
QPSK 5/6	0,8274	0,8308	0,42	0,7981	0,8118	1,69
QPSK 8/9	0,8833	0,8869	0,41	0,8640	0,8785	1,65
QPSK 9/10	0,8943	0,8980	0,41			
8PSK 3/5	0,5933	0,5970	0,63	0,5751	0,5896	2,46
8PSK 2/3	0,6602	0,6641	0,60	0,6407	0,6562	2,38
8PSK 3/4	0,7427	0,7470	0,58	0,7063	0,7229	2,30
8PSK 5/6	0,8262	0,8308	0,56	0,7937	0,8118	2,24
8PSK 8/9	0,8820	0,8869	0,55	0,8593	0,8785	2,19
8PSK 9/10	0,8931	0,8980	0,55			
16APSK 2/3	0,6593	0,6641	0,74	0,6372	0,6562	2,91
16APSK 3/4	0,7417	0,7470	0,71	0,7024	0,7229	2,84
16APSK 4/5	0,7914	0,7970	0,71	0,7459	0,7674	2,80
16APSK 5/6	0,8251	0,8308	0,69	0,7894	0,8118	2,77
16APSK 8/9	0,8808	0,8869	0,69	0,8546	0,8785	2,72
16APSK 9/10	0,8918	0,8980	0,69			
32APSK 3/4	0,7407	0,7470	0,85	0,6986	0,7229	3,37
32APSK 4/5	0,7903	0,7970	0,85	0,7419	0,7674	3,32
32APSK 5/6	0,8239	0,8308	0,84	0,7851	0,8118	3,30
32APSK 8/9	0,8796	0,8869	0,82	0,8500	0,8785	3,25
32APSK 9/10	0,8906	0,8980	0,83			

Tabla 4.12: Comparación entre resultados sobre la Tasa FEC obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales y para tramas cortas.

4.3.1.4 Eficiencia de modulación

En la Tabla 4.13 se da una comparación para eficiencias de modulación, entre valores entregados por Newtec, con los obtenidos con el “CALCULADOR DVB-S2”.

	Tramas Normales (64800 bits)			Tramas cortas (16200 bits)		
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	$\eta_{\text{MODULACIÓN}}$ [bits/símbolo]	$\eta_{\text{MODULACIÓN}}$ [bits/símbolo]		$\eta_{\text{MODULACIÓN}}$ [bits/símbolo]	$\eta_{\text{MODULACIÓN}}$ [bits/símbolo]	
QPSK 1/4	2	2	0,00	2	2	0,00
QPSK 1/3	2	2	0,00	2	2	0,00
QSPK 2/5	2	2	0,00	2	2	0,00
QPSK 1/2	2	2	0,00	2	2	0,00
QPSK 3/5	2	2	0,00	2	2	0,00
QPSK 2/3	2	2	0,00	2	2	0,00
QSPK 3/4	2	2	0,00	2	2	0,00
QPSK 4/5	2	2	0,00	2	2	0,00
QPSK 5/6	2	2	0,00	2	2	0,00
QPSK 8/9	2	2	0,00	2	2	0,00
QPSK 9/10	2	2	0,00			
8PSK 3/5	3	3	0,00	3	3	0,00
8PSK 2/3	3	3	0,00	3	3	0,00
8PSK 3/4	3	3	0,00	3	3	0,00
8PSK 5/6	3	3	0,00	3	3	0,00
8PSK 8/9	3	3	0,00	3	3	0,00
8PSK 9/10	3	3	0,00			
16APSK 2/3	4	4	0,00	4	4	0,00
16APSK 3/4	4	4	0,00	4	4	0,00
16APSK 4/5	4	4	0,00	4	4	0,00
16APSK 5/6	4	4	0,00	4	4	0,00
16APSK 8/9	4	4	0,00	4	4	0,00
16APSK 9/10	4	4	0,00			
32APSK 3/4	5	5	0,00	5	5	0,00
32APSK 4/5	5	5	0,00	5	5	0,00
32APSK 5/6	5	5	0,00	5	5	0,00
32APSK 8/9	5	5	0,00	5	5	0,00
32APSK 9/10	5	5	0,00			

Tabla 4.13: Comparación entre Eficiencias de modulación obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales y para tramas cortas.

4.3.1.5 Número de *slots* en una XFECFRAME

En esta comparación, se utilizan los valores dados por el estándar DVB-S2, en la Tabla 1.9 del capítulo 1. Dicha comparación se la muestra en la Tabla 4.14.

	Tramas Normales (64800 bits)			Tramas cortas (16200 bits)		
	ESTÁNDAR DVB-S2	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	ESTÁNDAR DVB-S2	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	S	S		S	S	
QPSK 1/4	360	360	0,00	90	90	0,00
QPSK 1/3	360	360	0,00	90	90	0,00
QSPK 2/5	360	360	0,00	90	90	0,00
QPSK 1/2	360	360	0,00	90	90	0,00
QPSK 3/5	360	360	0,00	90	90	0,00
QPSK 2/3	360	360	0,00	90	90	0,00
QSPK 3/4	360	360	0,00	90	90	0,00
QPSK 4/5	360	360	0,00	90	90	0,00
QPSK 5/6	360	360	0,00	90	90	0,00
QPSK 8/9	360	360	0,00	90	90	0,00
QPSK 9/10	360	360	0,00			
8PSK 3/5	240	240	0,00	60	60	0,00
8PSK 2/3	240	240	0,00	60	60	0,00
8PSK 3/4	240	240	0,00	60	60	0,00
8PSK 5/6	240	240	0,00	60	60	0,00
8PSK 8/9	240	240	0,00	60	60	0,00
8PSK 9/10	240	240	0,00			
16APSK 2/3	180	180	0,00	45	45	0,00
16APSK 3/4	180	180	0,00	45	45	0,00
16APSK 4/5	180	180	0,00	45	45	0,00
16APSK 5/6	180	180	0,00	45	45	0,00
16APSK 8/9	180	180	0,00	45	45	0,00
16APSK 9/10	180	180	0,00			
32APSK 3/4	144	144	0,00	36	36	0,00
32APSK 4/5	144	144	0,00	36	36	0,00
32APSK 5/6	144	144	0,00	36	36	0,00
32APSK 8/9	144	144	0,00	36	36	0,00
32APSK 9/10	144	144	0,00			

Tabla 4.14: Comparación entre el número de *slots* en una XFECFRAME dados por el Estándar DVB-S2 y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales y cortas.

4.3.1.6 Eficiencia de la PLRAME

En la Tabla 4.15 se indica la comparación de resultados, para las eficiencias de la PLFRAME, entre los valores obtenidos por Newtec en su hoja electrónica “*Rate Calculations in DVB-S2*”, presentados en las Tablas 4.9 y 4.10, con los valores obtenidos con el “CALCULADOR DVB-S2, considerando tramas normales.

	Tramas Normales (64800 bits)					
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	η_{PLFRAME} Sin pilotos	η_{PLFRAME} Sin pilotos		η_{PLFRAME} Con pilotos	η_{PLFRAME} Con pilotos	
QPSK 1/4	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QPSK 1/3	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QSPK 2/5	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QPSK 1/2	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QPSK 3/5	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QPSK 2/3	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QSPK 3/4	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QPSK 4/5	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QPSK 5/6	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QPSK 8/9	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
QPSK 9/10	0,9972299	0,9972299	0,00	0,97349919	0,97349919	0,00
8PSK 3/5	0,9958506	0,9958506	0,00	0,97323601	0,97323601	0,00
8PSK 2/3	0,9958506	0,9958506	0,00	0,97323601	0,97323601	0,00
8PSK 3/4	0,9958506	0,9958506	0,00	0,97323601	0,97323601	0,00
8PSK 5/6	0,9958506	0,9958506	0,00	0,97323601	0,97323601	0,00
8PSK 8/9	0,9958506	0,9958506	0,00	0,97323601	0,97323601	0,00
8PSK 9/10	0,9958506	0,9958506	0,00	0,97323601	0,97323601	0,00
16APSK 2/3	0,9944751	0,9944751	0,00	0,97087379	0,97087379	0,00
16APSK 3/4	0,9944751	0,9944751	0,00	0,97087379	0,97087379	0,00
16APSK 4/5	0,9944751	0,9944751	0,00	0,97087379	0,97087379	0,00
16APSK 5/6	0,9944751	0,9944751	0,00	0,97087379	0,97087379	0,00
16APSK 8/9	0,9944751	0,9944751	0,00	0,97087379	0,97087379	0,00
16APSK 9/10	0,9944751	0,9944751	0,00	0,97087379	0,97087379	0,00
32APSK 3/4	0,9931034	0,9931034	0,00	0,97165992	0,97165992	0,00
32APSK 4/5	0,9931034	0,9931034	0,00	0,97165992	0,97165992	0,00
32APSK 5/6	0,9931034	0,9931034	0,00	0,97165992	0,97165992	0,00
32APSK 8/9	0,9931034	0,9931034	0,00	0,97165992	0,97165992	0,00
32APSK 9/10	0,9931034	0,9931034	0,00	0,97165992	0,97165992	0,00

Tabla 4.15: Comparación entre Eficiencias de la PLFRAME obtenidos por Newtec, y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales.

En la Tabla 4.16 se indica la comparación de resultados, para las eficiencias de la PLFRAME, entre los valores obtenidos por Newtec en su hoja electrónica “Rate Calculations in DVB-S2”, presentados en las Tablas 4.9 y 4.10, con los valores obtenidos con el “CALCULADOR DVB-S2, considerando tramas cortas.

	Tramas Cortas (16200 bits)					
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	η_{PLFRAME} Sin pilotos	η_{PLFRAME} Sin pilotos		η_{PLFRAME} Con pilotos	η_{PLFRAME} Con pilotos	
QPSK 1/4	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QPSK 1/3	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QSPK 2/5	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QPSK 1/2	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QPSK 3/5	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QPSK 2/3	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QSPK 3/4	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QPSK 4/5	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QPSK 5/6	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
QPSK 8/9	0,989011	0,989011	0,00	0,96774194	0,96774194	0,00
8PSK 3/5	0,9836066	0,9836066	0,00	0,96463023	0,96463023	0,00
8PSK 2/3	0,9836066	0,9836066	0,00	0,96463023	0,96463023	0,00
8PSK 3/4	0,9836066	0,9836066	0,00	0,96463023	0,96463023	0,00
8PSK 5/6	0,9836066	0,9836066	0,00	0,96463023	0,96463023	0,00
8PSK 8/9	0,9836066	0,9836066	0,00	0,96463023	0,96463023	0,00
16APSK 2/3	0,9782609	0,9782609	0,00	0,96153846	0,96153846	0,00
16APSK 3/4	0,9782609	0,9782609	0,00	0,96153846	0,96153846	0,00
16APSK 4/5	0,9782609	0,9782609	0,00	0,96153846	0,96153846	0,00
16APSK 5/6	0,9782609	0,9782609	0,00	0,96153846	0,96153846	0,00
16APSK 8/9	0,9782609	0,9782609	0,00	0,96153846	0,96153846	0,00
32APSK 3/4	0,972973	0,972973	0,00	0,95238095	0,95238095	0,00
32APSK 4/5	0,972973	0,972973	0,00	0,95238095	0,95238095	0,00
32APSK 5/6	0,972973	0,972973	0,00	0,95238095	0,95238095	0,00
32APSK 8/9	0,972973	0,972973	0,00	0,96774194	0,95238095	0,00

Tabla 4.16: Comparación entre Eficiencias de la PLFRAME obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas cortas.

4.3.1.7 Eficiencia espectral DVB-S2

En primer lugar, se realiza esta comparación con valores leídos en gráficos proporcionados por el estándar DVB-S2, y que se los ha expuesto en el capítulo 2 de este Proyecto. Luego se efectuará comparaciones con los valores proporcionados por Newtec en su hoja “*Rate calculations in DVB-S2*”.

Valores de eficiencia espectral DVB-S2 se pueden obtener a través de la lectura del gráfico facilitado por el estándar DVB-S2, mostrado en la Figura 2.7 del capítulo 2, y que relaciona la tasa de bits R_U versus tasas de código LDPC, por

unidad de tasa de símbolos R_S , para tramas normales. Debe recordarse que $R_U = \eta_{TOTAL} * R_S$; si se hace que $R_S = 1$, entonces $R_U = \eta_{TOTAL}$.

En la Tabla 4.17 se presenta esta comparación.

	Tramas Normales (64800 bits)		
	ESTÁNDAR DVB-S2	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	η_{TOTAL} [bps/Hz] Sin pilotos	η_{TOTAL} [bps/Hz] Sin pilotos	
QPSK 1/4	0,50	0,49	2,04
QPSK 1/3	0,65	0,65	0,00
QSPK 2/5	0,80	0,78	2,56
QPSK 1/2	1,00	0,98	2,04
QPSK 3/5	1,20	1,18	1,69
QPSK 2/3	1,35	1,32	2,27
QSPK 3/4	1,49	1,48	0,68
QPSK 4/5	1,60	1,58	1,27
QPSK 5/6	1,65	1,65	0,00
QPSK 8/9	1,75	1,76	0,57
QPSK 9/10	1,76	1,78	1,12
8PSK 3/5	1,77	1,77	0,00
8PSK 2/3	1,90	1,98	4,04
8PSK 3/4	2,30	2,22	3,60
8PSK 5/6	2,45	2,47	0,81
8PSK 8/9	2,60	2,64	1,52
8PSK 9/10	2,65	2,67	0,75
16APSK 2/3	2,60	2,63	1,14
16APSK 3/4	2,90	2,96	2,03
16APSK 4/5	3,20	3,16	1,27
16APSK 5/6	3,35	3,30	1,52
16APSK 8/9	3,50	3,52	0,57
16APSK 9/10	3,60	3,56	1,12
32APSK 3/4	3,70	3,70	0,00
32APSK 4/5	3,90	3,95	1,27
32APSK 5/6	4,20	4,11	2,19
32APSK 8/9	4,40	4,39	0,23
32APSK 9/10	4,45	4,45	0,00

Tabla 4.17: Comparación entre Eficiencias espectrales DVB-S2 proporcionados por el estándar DVB-S2 en la Figura 2.7, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.

Valores de eficiencia espectral DVB-S2 también pueden obtenerse a través de la lectura del gráfico suministrado por el estándar DVB-S2, y que se lo presentó en la Figura 2.12 del capítulo 2, que relaciona el valor de C/N requerido versus eficiencia espectral para tramas normales. En la Tabla 4.18 se indica esta comparación.

	Tramas Normales (64800 bits)		
	ESTÁNDAR DVB-S2	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	η_{TOTAL} [bps/Hz] Sin pilotos	η_{TOTAL} [bps/Hz] Sin pilotos	
QPSK 1/4	0,50	0,49	2,04
QPSK 1/3	0,65	0,65	0,00
QSPK 2/5	0,80	0,78	2,56
QPSK 1/2	1,00	0,98	2,04
QPSK 3/5	1,20	1,18	1,69
QPSK 2/3	1,32	1,32	0,00
QSPK 3/4	1,50	1,48	1,35
QPSK 4/5	1,60	1,58	1,27
QPSK 5/6	1,65	1,65	0,00
QPSK 8/9	1,77	1,76	0,57
QPSK 9/10	1,79	1,78	0,56
8PSK 3/5	1,77	1,77	0,00
8PSK 2/3	1,90	1,98	4,04
8PSK 3/4	2,30	2,22	3,60
8PSK 5/6	2,45	2,47	0,81
8PSK 8/9	2,60	2,64	1,52
8PSK 9/10	2,65	2,67	0,75
16APSK 2/3	2,66	2,63	1,14
16APSK 3/4	2,95	2,96	0,34
16APSK 4/5	3,15	3,16	0,32
16APSK 5/6	3,30	3,30	0,00
16APSK 8/9	3,51	3,52	0,28
16APSK 9/10	3,53	3,56	0,84
32APSK 3/4	3,70	3,70	0,00
32APSK 4/5	3,95	3,95	0,00
32APSK 5/6	4,10	4,11	0,24
32APSK 8/9	4,40	4,39	0,23
32APSK 9/10	4,45	4,45	0,00

Tabla 4.18: Comparación entre Eficiencias espectrales DVB-S2 proporcionados por el estándar DVB-S2 en la Figura 2.12, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.

Cabe resaltar que los valores expuestos en las Tablas 4.17 y 4.18 sobre eficiencia espectral tomados desde el estándar DVB-S2, son valores que se han obtenido realizando lecturas en los gráficos que se ha indicado. Estas lecturas no son tan precisas y están sujetas a interpretación del lector. He aquí la causa del error que se obtienen al comparar estos valores.

A continuación, en la Tabla 4.19 se indica la comparación sobre la Eficiencia espectral DVB-S2, entre valores proporcionados por Newctec en su hoja electrónica “*Rate calculations in DVB-S2*”, y los valores logrados utilizando el “CALCULADOR DVB-S2”, considerando tramas normales.

	Tramas Normales (64800 bits)					
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	η_{TOTAL} [bps/Hz] Sin pilotos	η_{TOTAL} [bps/Hz] Sin pilotos		η_{TOTAL} [bps/Hz] Con pilotos	η_{TOTAL} [bps/Hz] Con pilotos	
QPSK 1/4	0,49024315	0,49024315	0,00	0,478577	0,478577	0,00
QPSK 1/3	0,65644813	0,65644813	0,00	0,640827	0,640827	0,00
QSPK 2/5	0,78941212	0,78941212	0,00	0,770627	0,770627	0,00
QPSK 1/2	0,98885811	0,98885811	0,00	0,965327	0,965327	0,00
QPSK 3/5	1,18830409	1,18830409	0,00	1,160026	1,160026	0,00
QPSK 2/3	1,32225300	1,322253	0,00	1,290788	1,290788	0,00
QSPK 3/4	1,48747306	1,48747306	0,00	1,452076	1,452076	0,00
QPSK 4/5	1,58719606	1,58719606	0,00	1,549426	1,549426	0,00
QPSK 5/6	1,65466297	1,65466297	0,00	1,615288	1,615288	0,00
QPSK 8/9	1,76645121	1,76645121	0,00	1,724416	1,724416	0,00
QPSK 9/10	1,78861188	1,78861188	0,00	1,746049	1,746049	0,00
8PSK 3/5	1,77999077	1,77999077	0,00	1,739569	1,739569	0,00
8PSK 2/3	1,98063623	1,98063623	0,00	1,935658	1,935658	0,00
8PSK 3/4	2,22812355	2,22812355	0,00	2,177525	2,177525	0,00
8PSK 5/6	2,47856154	2,47856154	0,00	2,422276	2,422276	0,00
8PSK 8/9	2,64601198	2,64601198	0,00	2,585924	2,585924	0,00
8PSK 9/10	2,67920700	2,67920700	0,00	2,618365	2,618365	0,00
16APSK 2/3	2,63720073	2,63720073	0,00	2,574613	2,574613	0,00
16APSK 3/4	2,96672805	2,96672805	0,00	2,89632	2,896320	0,00
16APSK 4/5	3,16562308	3,16562308	0,00	3,090495	3,090495	0,00
16APSK 5/6	3,30018416	3,30018416	0,00	3,221863	3,221863	0,00
16APSK 8/9	3,52314303	3,52314303	0,00	3,43953	3,439530	0,00
16APSK 9/10	3,56734192	3,56734192	0,00	3,48268	3,482680	0,00
32APSK 3/4	3,70329501	3,70329501	0,00	3,623332	3,623332	0,00
32APSK 4/5	3,951570881	3,951570881	0,00	3,866247	3,866247	0,00
32APSK 5/6	4,11954023	4,11954023	0,00	4,030589	4,030589	0,00

32APSK 8/9	4,397854406	4,397854406	0,00	4,302894	4,302894	0,00
32APSK 9/10	4,45302682	4,45302682	0,00	4,356875	4,356875	0,00

Tabla 4.19: Comparación entre Eficiencias espectrales DVB-S2 obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales.

En la Tabla 4.20 se indica la comparación sobre la Eficiencia espectral DVB-S2, entre valores proporcionados por Newtec en su hoja electrónica “*Rate calculations in DVB-S2*” y los valores logrados utilizando el “CALCULADOR DVB-S2”, considerando tramas cortas.

	Tramas Cortas (16200 bits)					
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	η_{TOTAL} [bps/Hz] Sin pilotos	η_{TOTAL} [bps/Hz] Sin pilotos		η_{TOTAL} [bps/Hz] Con pilotos	η_{TOTAL} [bps/Hz] Con pilotos	
QPSK 1/4	0,365323565	0,365323565	0,00	0,357467	0,357467	0,00
QPSK 1/3	0,629059829	0,629059829	0,00	0,615532	0,615532	0,00
QSPK 2/5	0,760927961	0,760927961	0,00	0,744564	0,744564	0,00
QPSK 1/2	0,848840049	0,848840049	0,00	0,830585	0,830585	0,00
QPSK 3/5	1,156532357	1,156532357	0,00	1,131661	1,131661	0,00
QPSK 2/3	1,288400488	1,288400488	0,00	1,260693	1,260693	0,00
QSPK 3/4	1,42026862	1,42026862	0,00	1,389725	1,389725	0,00
QPSK 4/5	1,508180708	1,508180708	0,00	1,475747	1,4757467	0,00
QPSK 5/6	1,596092796	1,596092796	0,00	1,561768	1,561768	0,00
QPSK 8/9	1,727960928	1,727960928	0,00	1,6908	1,690800	0,00
8PSK 3/5	1,725318761	1,725318761	0,00	1,692033	1,692033	0,00
8PSK 2/3	1,922040073	1,922040073	0,00	1,884959	1,884959	0,00
8PSK 3/4	2,118761384	2,118761384	0,00	2,077885	2,077885	0,00
8PSK 5/6	2,381056466	2,381056466	0,00	2,33512	2,33512	0,00
8PSK 8/9	2,577777778	2,577777778	0,00	2,528046	2,528046	0,00
16APSK 2/3	2,548792271	2,548792271	0,00	2,505223	2,505223	0,00
16APSK 3/4	2,809661836	2,809661836	0,00	2,761633	2,761633	0,00
16APSK 4/5	2,983574879	2,983574879	0,00	2,932574	2,932574	0,00
16APSK 5/6	3,157487923	3,157487923	0,00	3,103514	3,103514	0,00
16APSK 8/9	3,418357488	3,418357488	0,00	3,359924	3,359924	0,00
32APSK 3/4	3,493093093	3,493093093	0,00	3,419165	3,419165	0,00
32APSK 4/5	3,709309309	3,709309309	0,00	3,630805	3,630805	0,00
32APSK 5/6	3,925525526	3,925525526	0,00	3,842446	3,842446	0,00
32APSK 8/9	4,24984985	4,24984985	0,00	4,159906	4,159906	0,00

Tabla 4.20: Comparación entre Eficiencias espectrales DVB-S2 obtenidos por Newtec y por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas cortas.

Ya que los valores a comparar son obtenidos utilizando la misma fórmula y reemplazando en las fórmulas los mismos datos (en los cuales se ha considerado todos aquellos decimales que resultan desde cálculos previos), entonces el error resulta ser cero, como se aprecia en las tablas anteriores.

4.3.2 COMPARACIONES RESPECTO A LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN PARA LA SEÑAL DVB-S2

El estándar DVB-S2 permite ajustar las características de su señal (tasa de bits, tasa de símbolos, ancho de banda), a las necesidades del *transponder* disponible y/o a la naturaleza del servicio que se pretenda brindar.

Para efectuar comparaciones respecto a tasa de bits, tasa de símbolos, ancho de banda, se utiliza tablas provistas por el estándar DVB-S2, en las que se dan algunos ejemplos de éstos parámetros.

Newtec prueba su programa ante varios “Casos de estudio”, los cuales pretenden optimizar los recursos de un enlace satelital. También vamos a someter a nuestro programa ante los mismos “Casos de estudio”, colocando el ejemplo analizado bajo el tema al cual corresponde, ya sea que se analice la tasa de bits o el ancho de banda requerido, comparando, en cada caso, los resultados obtenidos.

Debe resaltarse que Newtec plantea 5 “Casos de Estudio”, pero aquí sólo se reproducen 4 de ellos, en razón de que uno de éstos trata de “Maximizar el número de portadoras sobre toda la capacidad del *transponder*”, pero para ello se realizan cálculos manuales, que no son efectuados por el “*DVB-S1+S2 Calculator*”.

4.3.2.1 Tasa de bits DVB-S2

En la Tabla 2.4 del capítulo 2, se resumieron algunas de las tasas de bits más usadas para algunos modos de transmisión, considerando una tasa de 7.2 [Mbaudios], y que el estándar DVB-S2 presenta como una guía.

En la Tabla 4.21 se indica la comparación entre los resultados presentados en la Tabla 2.4, con los que entrega el “CALCULADOR DVB-S2”, sobre tasas de bits.

	Tramas Normales (64800 bits)		
	ESTÁNDAR DVB-S2	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]	
QPSK 1/2	7,12	7,119778393351	0,00311255
QPSK 2/3	9,52	9,520221606648	0,00232775
QSPK 3/4	10,71	10,7098060941	0,00181055
QPSK 5/6	11,91	11,91357340720	0,02999442
QPSK 8/9	12,72	12,7184487534	0,01219682
8PSK 2/3	14,26	14,260580912	0,00407355
8PSK 3/4	16,04	16,042489626	0,01551895
8PSK 5/6	17,85	17,845643153	0,02441407
16APSK 3/4	21,36	21,3604419889	0,00206919
16APSK 4/5	22,79	22,7924861878	0,01090793
16APSK 5/6	23,76	23,7613259668	0,00558036

Tabla 4.21: Comparación entre Tasas de bits proporcionados por el estándar DVB-S2 en la Tabla 2.4, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.

En el capítulo 2, en la Tabla 2.8 se presentó valores de tasa de bits, obtenidos a partir de la lectura de la Figura 2.13, la cual grafica el valor C/N requerido versus la eficiencia espectral, para una ancho de banda constante $AB = R_s(1+\alpha)$ sobre un canal AWGN.

En la Tabla 4.22 se da una comparación entre los resultados presentados en la Tabla 2.8, con los resultados que entrega el “CALCULADOR DVB-S2”.

	Tramas Normales (64800 bits)								
	$\alpha = 0,20$			$\alpha = 0,25$			$\alpha = 0,35$		
	ESTÁNDAR DVB-S2	Calculador DVB-S2	Error [%]	ESTÁNDAR DVB-S2	Calculador DVB-S2	Error [%]	ESTÁNDAR DVB-S2	Calculador DVB-S2	Error [%]
	Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]		Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]		Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]	
QPSK 1/4	0,40	0,4085	2,08	0,39	0,3922	0,56	0,38	0,3631	4,65
QPSK 1/3	0,53	0,5470	3,11	0,52	0,5252	0,99	0,50	0,4863	2,82
QSPK 2/5	0,67	0,6578	1,85	0,62	0,6315	1,82	0,59	0,5847	0,91
QPSK 1/2	0,82	0,8240	0,49	0,79	0,7911	0,14	0,74	0,7325	1,02
QPSK 3/5	0,99	0,9903	0,03	0,95	0,9506	0,06	0,88	0,8802	0,02
QPSK 2/3	1,10	1,1019	0,17	1,06	1,0578	0,21	0,98	0,9794	0,06
QSPK 3/4	1,23	1,2396	0,77	1,19	1,19	0,00	1,10	1,1018	0,16
QPSK 4/5	1,32	1,3227	0,20	1,28	1,2698	0,80	1,18	1,1757	0,37
QPSK 5/6	1,39	1,3789	0,80	1,31	1,3237	1,03	1,22	1,2257	0,47
QPSK 8/9	1,49	1,472	1,22	1,40	1,4132	0,93	1,30	1,3085	0,65
QPSK 9/10	1,50	1,4905	0,64	1,41	1,4309	1,46	1,31	1,3249	1,12
8PSK 3/5	1,49	1,4833	0,45	1,42	1,424	0,28	1,30	1,3185	1,40
8PSK 2/3	1,65	1,6505	0,03	1,59	1,5845	0,35	1,46	1,4671	0,48
8PSK 3/4	1,85	1,8568	0,37	1,79	1,7825	0,42	1,64	1,6505	0,64
8PSK 5/6	2,15	2,0655	4,09	1,98	1,9828	0,14	1,82	1,836	0,87
8PSK 8/9	2,20	2,205	0,23	2,10	2,1168	0,79	1,97	1,96	0,51
8PSK 9/10	2,22	2,2327	0,57	2,12	2,1434	1,09	1,99	1,9846	0,27
16APSK 2/3	2,20	2,1977	0,10	2,10	2,1098	0,46	1,96	1,9535	0,33
16APSK 3/4	2,40	2,4723	2,92	2,38	2,3734	0,28	2,20	2,1976	0,11
16APSK 4/5	2,64	2,638	0,08	2,52	2,5325	0,49	2,36	2,3449	0,64
16APSK 5/6	2,75	2,7502	0,01	2,62	2,6401	0,76	2,46	2,4446	0,63
16APSK 8/9	2,92	2,936	0,54	2,81	2,8185	0,30	2,62	2,6097	0,39
16APSK 9/10	2,98	2,9728	0,24	2,85	2,8539	0,14	2,66	2,6425	0,66
32APSK 3/4	3,08	3,0861	0,20	2,98	2,9626	0,59	2,74	2,7432	0,12
32APSK 4/5	3,30	3,293	0,21	3,18	3,1613	0,59	2,94	2,9271	0,44
32APSK 5/6	3,42	3,433	0,38	3,30	3,2956	0,13	3,06	3,0515	0,28
32APSK 8/9	3,68	3,6649	0,41	3,60	3,5183	2,32	3,28	3,2577	0,68
32APSK 9/10	3,71	3,7109	0,02	3,70	3,5624	3,86	3,30	3,2985	0,05

Tabla 4.22: Comparación entre Tasas de bits proporcionados por el estándar DVB-S2 en la Tabla 2.8, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.

En la Tabla 4.22 se observa que el error está dentro de límites aceptables. Los valores que se tabulan correspondientes al estándar DVB-S2 fueron obtenidos desde la Figura 2.13, lo cual está sujeto a la interpretación del observador. Esta es la causa de la diferencia de valores y el origen del error.

En la sección 4.1.3.4 se presentó las Tablas 4.5, 4.6 y 4.7 dadas por Newtec, con valores de tasas de bits, cuando se utiliza encapsulamiento GBS, ULE y MPE, respectivamente, para una tasa de símbolos unitaria.

En la Tabla 4.23 se indica comparaciones de tasas de bits, cuando se aplica encapsulamiento GBS, ULE y MPE, para tramas normales con símbolos pilotos.

	Tramas Normales (64800 bits)								
	MPE			ULE			GBS		
	NEWTEC	Calculador DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	Calculador DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	Calculador DVB-S2	Error [%]
	Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]		Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]		Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]	
QPSK 1/4	0,4571	0,4571	0,00	0,4628	0,4628	0,00	0,4720	0,472	0,00
QPSK 1/3	0,6121	0,6121	0,00	0,6198	0,6198	0,00	0,6320	0,632	0,00
QSPK 2/5	0,7360	0,736	0,00	0,7453	0,7453	0,00	0,7600	0,76	0,00
QPSK 1/2	0,9220	0,922	0,00	0,9336	0,9336	0,00	0,9520	0,952	0,00
QPSK 3/5	1,1080	1,108	0,00	1,1219	1,1219	0,00	1,1440	1,144	0,00
QPSK 2/3	1,2328	1,2328	0,00	1,2483	1,2483	0,00	1,2730	1,273	0,00
QSPK 3/4	1,3869	1,3869	0,00	1,4043	1,4043	0,00	1,4320	1,432	0,00
QPSK 4/5	1,4799	1,4799	0,00	1,4985	1,4985	0,00	1,5280	1,528	0,00
QPSK 5/6	1,5428	1,5428	0,00	1,5622	1,5622	0,00	1,5930	1,593	0,00
QPSK 8/9	1,6470	1,647	0,00	1,6677	1,6677	0,00	1,7006	1,7006	0,00
QPSK 9/10	1,6677	1,6677	0,00	1,6886	1,6886	0,00	1,7219	1,7219	0,00
8PSK 3/5	1,6615	1,6615	0,00	1,6824	1,6824	0,00	1,7156	1,7156	0,00
8PSK 2/3	1,8488	1,8488	0,00	1,8720	1,872	0,00	1,9089	1,9089	0,00
8PSK 3/4	2,0798	2,0798	0,00	2,1059	2,1059	0,00	2,1475	2,1475	0,00
8PSK 5/6	2,3135	2,3135	0,00	2,3426	2,3426	0,00	2,3888	2,3888	0,00
8PSK 8/9	2,4698	2,4698	0,00	2,5009	2,5009	0,00	2,5502	2,5502	0,00
8PSK 9/10	2,5008	2,5008	0,00	2,5323	2,5323	0,00	2,5822	2,5822	0,00
16APSK 2/3	2,4590	2,459	0,00	2,4900	2,49	0,00	2,5391	2,5391	0,00
16APSK 3/4	2,7663	2,7663	0,00	2,8011	2,8011	0,00	2,8563	2,8563	0,00
16APSK 4/5	2,9518	2,9518	0,00	2,9889	2,9889	0,00	3,0478	3,0478	0,00
16APSK 5/6	3,0772	3,0772	0,00	3,1159	3,1159	0,00	3,1774	3,1774	0,00
16APSK 8/9	3,2851	3,2851	0,00	3,3264	3,3264	0,00	3,3920	3,392	0,00
16APSK 9/10	3,3263	3,3263	0,00	3,3682	3,3682	0,00	3,4346	3,4346	0,00
32APSK 3/4	3,4607	3,4607	0,00	3,5042	3,5042	0,00	3,5733	3,5733	0,00
32APSK 4/5	3,6927	3,6927	0,00	3,7391	3,7391	0,00	3,8129	3,8129	0,00
32APSK 5/6	3,8497	3,8497	0,00	3,8981	3,8981	0,00	3,9749	3,9749	0,00
32APSK 8/9	4,1097	4,1097	0,00	4,1614	4,1614	0,00	4,2435	4,2435	0,00
32APSK 9/10	4,1613	4,1613	0,00	4,2136	4,2136	0,00	4,2967	4,2967	0,00

Tabla 4.23: Comparación entre Tasas de bits para Encapsulamiento IP MPE, ULE y GBS, proporcionados por Newtec en la Tablas 4.5, 4.6 y 4.7, y las obtenidas por el “CALCULADOR DVB-S2”, en tramas normales.

En la Tabla 4.24 se indica comparaciones de tasas de bits, cuando se aplica encapsulamiento GBS, ULE y MPE, utilizando tramas cortas con símbolos

pilotos, entre resultados dados por el programa “CALCULADOR DVB-S2” y los resultados presentados en las Tablas 4.5, 4.6 y 4.7.

	Tramas Cortas (16200 bits)								
	MPE			ULE			GBS		
	NEWTEC	Calculador DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	Calculador DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	Calculador DVB-S2	Error [%]
	Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]		Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]		Tasa de bits [Mbps]	Tasa de bits [Mbps]	
QPSK 1/4	0,3414	0,3414	0,00	0,3457	0,3457	0,00	0,3525	0,3525	0,00
QPSK 1/3	0,5879	0,5879	0,00	0,5953	0,5953	0,00	0,6070	0,607	0,00
QSPK 2/5	0,7111	0,7111	0,00	0,7201	0,7201	0,00	0,7343	0,7343	0,00
QPSK 1/2	0,7933	0,7933	0,00	0,8033	0,8033	0,00	0,8191	0,8191	0,00
QPSK 3/5	1,0809	1,0809	0,00	1,0944	1,0944	0,00	1,1160	1,116	0,00
QPSK 2/3	1,2041	1,2041	0,00	1,2192	1,2192	0,00	1,2433	1,2433	0,00
QSPK 3/4	1,3273	1,3273	0,00	1,3440	1,344	0,00	1,3705	1,3705	0,00
QPSK 4/5	1,4095	1,4095	0,00	1,4272	1,4272	0,00	1,4554	1,4554	0,00
QPSK 5/6	1,4917	1,4917	0,00	1,5104	1,5104	0,00	1,5402	1,5402	0,00
QPSK 8/9	1,6149	1,6149	0,00	1,6352	1,6352	0,00	1,6675	1,6675	0,00
8PSK 3/5	1,6161	1,6161	0,00	1,6364	1,6364	0,00	1,6687	1,6687	0,00
8PSK 2/3	1,8003	1,8003	0,00	1,8230	1,823	0,00	1,8589	1,8589	0,00
8PSK 3/4	1,9846	1,9846	0,00	2,0096	2,0096	0,00	2,0492	2,0492	0,00
8PSK 5/6	2,2303	2,2303	0,00	2,2583	2,2583	0,00	2,3029	2,3029	0,00
8PSK 8/9	2,4146	2,4146	0,00	2,4449	2,4449	0,00	2,4931	2,4931	0,00
16APSK 2/3	2,3928	2,3928	0,00	2,4228	2,4228	0,00	2,4706	2,4706	0,00
16APSK 3/4	2,6377	2,6377	0,00	2,6708	2,6708	0,00	2,7235	2,7235	0,00
16APSK 4/5	2,8009	2,8009	0,00	2,8361	2,8361	0,00	2,8921	2,8921	0,00
16APSK 5/6	2,9642	2,9642	0,00	3,0015	3,0015	0,00	3,0607	3,0607	0,00
16APSK 8/9	3,2091	3,2091	0,00	3,2494	3,2494	0,00	3,3135	3,3135	0,00
32APSK 3/4	3,2657	3,2657	0,00	3,3067	3,3067	0,00	3,3720	3,372	0,00
32APSK 4/5	3,4678	3,4678	0,00	3,5114	3,5114	0,00	3,5807	3,5807	0,00
32APSK 5/6	3,6700	3,67	0,00	3,7161	3,7161	0,00	3,7894	3,7894	0,00
32APSK 8/9	3,9732	3,9732	0,00	4,0231	4,0231	0,00	4,1025	4,1025	0,00

Tabla 4.24: Comparación entre Tasas de bits para Encapsulamiento IP MPE, ULE y GBS, proporcionados por Newtec en la Tablas 4.5, 4.6 y 4.7, y las obtenidas por el “CALCULADOR DVB-S2”, en tramas cortas.

4.3.2.1.1 CASO DE ESTUDIO 1: Maximizar la tasa de bits si se utiliza parte del transponder [2]

- **Escenario:**

Un usuario envía una señal de video sobre una parte de un *transponder* (por ejemplo, 9 [MHz] de un *transponder* de 36 [MHz]). Se puede obtener un C/N_0

de 78.6 [dBHz] para esta portadora. ¿Cuál es la posibilidad con DVB-S2 y DVB-S/DSNG?

- **Entradas para cálculos:** (Figura 4.2)

- a) Entradas Genéricas:**

- a1. *Transponder* = Múltiples portadoras por *transponder*.
- a2. Elección de portadora = Ancho de banda asignado.
Valor en [MHz] = 9.

- b) Entradas DVB-S2:**

- b1. Encapsulador IP = Ninguno (por ejemplo, entrada MPEG ASI).
- b2. Factor de *roll-off* = 0.2 (ya que este da la tasa de bits más alta).
- b3. Tipo de trama S2 = Normal (ya que esta da mejor rendimiento PER).
- b4. Modo de pilotos = sin pilotos.
- b5. *Hardware* seleccionado: NTC/7041.AA.B.
- b6. MODCOD se ajusta y se calcula el margen como:
Margen = C/N_0 disponible – C/N_0 requerido.
Para MODCOD = 16 APSK 2/3, margen = $78.60 - 78.55 = 0.05$ [dB]
que es aceptable.

- c) Entradas DVB-S/DSNG:**

- c1. Encapsulador IP = Ninguno (por ejemplo, entrada MPEG ASI)
- c2. Factor de *roll-off* = 0.25 (ya que este da la tasa de bits más alta)
- c3. *Hardware* seleccionado: NTC/7042.AA.
- c4. MODCOD se ajusta y se calcula el margen como
Margen = C/N_0 disponible – C/N_0 requerido
Para MODCOD = 8 PSK 2/3, margen = $78.60 - 77.53 = 1.07$ [dBHz]
que es aceptable.

- **Cálculos de salida**

Tasa de información: 19.779 [Mbps] para DVB-S2.
13.2696 [Mbps] para DVB-S/DSNG.

- **Conclusión:** DVB-S2 es un 49% más eficiente que DVB-S/DSNG.

En la Figura 4.2 se indica la configuración del software “DVB-S1+S2 Calculator” ante el caso de estudio 1:

	GENERIC INPUT	DVB-S2 INPUT	DVB-S/DSNG INPUT
	Transponder Multi Carrier per Transponder ChooseCarrier: Baudrate / Info Rate / Alloc.Bandwidth Allocated Bandwidth Input value in KHz 9000	IP Encapsulator None (eg. Mpeg ASI Input) Roll Off Factor 0.2 S2 Frame Type Normal Pilot Mode No Pilots MODCOD 16APSK 2/3 Selected Hardware ETSI simulation EN302307	IP Encapsulator None (eg. Mpeg ASI Input) Roll Off Factor 0.25 MODCOD 8PSK 2/3 Selected Hardware NTC/7042.AA
a) Generic Outputs			
Baudrate (Kbaud)		7500,0	7200,0
Required Es/No (dB) (=Co/No) (for BER: 1E-7)		8,97	8,96
C/No (dBHz)		77,72	77,53
Channel Bandwidth (KHz)		9000,0	9000,0
Frame Length (msec)		2,1720	
b) Output to be entered on SATMASTER - "Carrier" - page			
Required Eb/No (dB) (for BER: 1-7)		4,76	6,30
Info Rate (Kbps)		19779,0	13269,6
Overhead % Info Rate		0,00	0,00
FEC Code Rate		0,6593	0,6667
Spreading Factor (dB)		0	0
R/S code (n/k)		1	1,085
1 + Roll Off Factor		1,20	1,25
Carrier Spacing Factor		1,20	1,25
Modulation M-PSK		16	8

Figura 4.2: Resultados ofrecidos por el “DVB-S1+S2 Calculator” ante el Caso de estudio 1: Maximizar la tasa de bits si se utiliza parte del *transponder*.

Si se aplica los mismos valores de entrada en el “CALCULADOR DVB-S2”, se obtiene una tasa de bits de 19,779 [Mbps], lo cual coincide con el resultado logrado por Newctec.

En el “CALCULADOR DVB-S2”, se obtiene un $C/N_0 = 77.72$ [dBHz]; valor que también se logra por Newtec si en la entrada “Selectec Hardware” se coloca “ETSI simulation EN302307”.

En la Figura 4.3 se indica la configuración del “CALCULADOR DVB-S2”, ante el caso de estudio 1:

Figura 4.3: Resultados ofrecidos por el “CALCULADOR DVB-S2” ante el Caso de estudio 1: Maximizar la tasa de bits si se utiliza parte del *transponder*.

4.3.2.1.2 CASO DE ESTUDIO 2: Maximizar la tasa de bits IP si se utiliza 1 portadora en un *transponder* completo (casi saturado) [2]

- **Escenario:**

Un usuario envía 1 portadora sobre toda la capacidad de un *transponder* de 36 [MHz]. Se puede obtener un C/N_0 para esta portadora de 84.5 [dBHz] (con la disponibilidad requerida). ¿Cuál es la máxima tasa de información posible para un enlace IP sobre el satélite?

- **Entradas para cálculos:** (Figura 4.4)

- a) **Entradas Genéricas:**

- a1. *Transponder* = Una sola portadora por *transponder*.
- a2. Ancho de banda del *transponder* [KHz] = 36000.
- a3. Portadora = Ancho de banda asignado.
Valor en [KHz] = 36000.

b) Entradas DVB-S2:

- b1. Encapsulador IP = GBS (da la Tasa de bits más alta).
- b2. Factor de *roll-off* = 0.2 (ya que este da la Tasa de bits más alta).
- b3. Tipo de trama S2 = Normal (ya que éste permite mejor rendimiento, y el retardo es despreciable con dicha tasa de baudios alta).
- b4. Modo de pilotos = sin pilotos.
- b5. Hardware seleccionado: NTC/7041.AA.B.
- b6. MODCOD se ajusta y se calcula el margen como:
Margen = C/N_0 _{tpdr} - OBO - C/N_0 _{requerido} (note que el valor de OBO se muestra en el campo de salida "c"). Para MODCOD = 8PSK 3/4:
Margen = 84.50 - 0.35 - 83.79 = 0.36 [dBHZ], lo cual es aceptable.

c) Entradas DVB-S/DSNG:

- c1. Encapsulador IP = MPE.
- c2. Factor de *roll-off* = 0.25 (ya que este da la Tasa de bits más alta).
- c3. Hardware seleccionado: NTC/7042.AA.
- c4. MODCOD se ajusta y se calcula el margen como:
Margen = C/N_0 _{tpdr} - OBO - C/N_0 _{requerido} (note que el valor de OBO se muestra en el campo de salida "c"). Para MODCOD = QPSK 7/8:
Margen = 84.50 - 0.33 - 84.20 = -0.03 [dBHZ], lo cual es casi aceptable.

• Cálculos de salida

Tasa de información: 65.532 [Mbps] para DVB-S2.
44.497 [Mbps] para DVB-S/DSNG.

- **Conclusión:** DVB-S2 es 47% más eficiente que DVB-S/DSNG.

En la Figura 4.4 se indica la configuración del software “DVB-S1+S2 Calculator” ante el caso de estudio 2:

GENERIC INPUT		DVB-S2 INPUT	DVB-S/DSNG INPUT
Transponder Single Carrier per Transponder Choose Transponder Bandwidth (KHz) 36000 Choose Carrier: Baudrate / Info Rate / Alloc. Bandwidth Allocated Bandwidth Input value in KHz (Max 36000) 36000		IP Encapsulator GBS Roll Off Factor 0.2 S2 Frame Type Normal Pilot Mode No Pilots MODCOD 8PSK 3/4 Selected Hardware ETSI simulation EN302307	IP Encapsulator MPE Roll Off Factor 0.25 MODCOD QPSK 7/8 Selected Hardware NTC/7042.AA
a) Generic Outputs Baudrate (Kbaud) Required Es/No (dB) (=Co/No) (for BER: 1E-7) C/No (dBHz) Channel Bandwidth (KHz) Frame Length (msec)		30000,0 6,63 63,40 36000,0 0,7230	28800,0 9,61 84,20 36000,0
b) Output to be entered on SATMASTER - "Carrier" - page Required Eb/No (dB) (for BER: 1-7) Info Rate (Kbps) Overhead % Info Rate FEC Code Rate Spreading Factor (dB) R/S code (n/k) 1 + Roll Off Factor Carrier Spacing Factor Modulation M-PSK		5,24 65532,4 2,00 0,7427 0 1 1,20 1,20 8	7,72 44496,6 4,40 0,8750 0 1,085 1,25 1,25 4
c) Output to be entered on SATMASTER-Satellite-page IBO (dB) OBO (dB)		0,50 0,35	0,00 0,33

Figura 4.4: Resultados ofrecidos por el “DVB-S1+S2 Calculator” ante el Caso de estudio 2: Maximizar la tasa de bits IP si se utiliza 1 portadora en un *transponder* completo.

Si se aplica los mismos valores de entrada en el “CALCULADOR DVB-S2”, se obtiene una tasa de bits de 65,9 [Mbps], con un 0,6% de error respecto al valor obtenido por Newtec.

El error se debe a que el software “DVB-S1+S2 Calculator” no aplica el porcentaje de *overhead* de 1.4%, tal como lo especifica en la tabla 4.1. En lugar de este valor, realiza los cálculos aplicando un *overhead* del 2%, como se aprecia en la Figura 4.4, en la sección “Overhead % Info Rate”, sin dar alguna explicación para esta situación.

En la Figura 4.5 se indica la configuración del “CALCULADOR DVB-S2”, ante el caso de estudio 2.

Figura 4.5: Resultados ofrecidos por el “CALCULADOR DVB-S2” ante el Caso de estudio 2: Maximizar la tasa de bits IP si se utiliza 1 portadora en un *transponder* completo.

4.3.2.2 Tasa de símbolos

Para el caso de estudio 1, el “*DVB-S1+S2 Calculador*” da un resultado de 7500 [KBaudios] para la tasa de baudios (Figura 4.2). En el caso del “CALCULADOR DVB-S2” el resultado es de 7.5 [MBaudios] (Figura 4.3).

Para el caso de estudio 2, Newtec obtiene 30000 [KBaudios] (Figura 4.4), mientras que nuestra aplicación muestra 30 [Mbaudios] (Figura 4.5).

En ambas situaciones los resultados coinciden, como se esperaba.

Se ha demostrado que la aplicación desarrollada en este Proyecto ha respondido adecuadamente, cuando se ha verificado los resultados que ofrece para la eficiencia espectral DVB-S2, y también para la tasa de bits.

Puesto que la tasa de bits R_U , la tasa de símbolos R_S y la eficiencia espectral η_{TOTAL} se relacionan mediante la Ecuación 2.11: $R_U = R_S * \eta_{TOTAL}$, presentada en el capítulo 2, es fácil concluir que se obtendrán los mismos valores para la tasa de baudios en los dos programas, bajo las mismas condiciones.

Lamentablemente, el estándar DVB-S2 no ofrece valores de Tasas de símbolos como ejemplo para poder efectuar comparaciones.

4.3.2.3 Ancho de banda

En este caso, también se analiza uno de los “Casos de estudio” planteados por Newtec.

4.3.2.3.1 CASO DE ESTUDIO 3: Minimizar el ancho de banda del transponder (= costo) para una tasa de bits requerida [2]

- **Escenario:**

Un usuario debe enviar un enlace de video de 8 Mbps sobre una parte del *transponder*. El usuario puede obtener un E_S/N_0 (= C_0/N_0) de 10 [dB] sobre este *transponder*. ¿Cuál es el mínimo ancho de banda que el usuario debe rentar?

- **Entradas para cálculos:** (Figura 4.6)

- a) **Entradas Genéricas:**

- a1. *Transponder* = Múltiples portadora por *transponder*.

- a2. Elección de portadora = Tasa de información.

- Valor en [Kbps] = 8000.

b) Entradas DVB-S2:

- b1. Encapsulador IP = Ninguno (por ejemplo, entrada MPEG ASI).
- b2. Factor de *roll-off* = 0.2 (ya que este da la tasa de bits más alta).
- b3. Tipo de trama S2 = Normal (ya que esta da mejor rendimiento PER).
- b4. Modo de pilotos = sin pilotos.
- b5. *Hardware* seleccionado: NTC/7041.AA.B
- b6. MODCOD se ajusta y se calcula el margen como:
 - Margen = E_s/N_0 disponible – E_s/N_0 requerido.
 - Para MODCOD = 16 APSK 2/3:
 - Margen = $10.00 - 9.8 = 0.20$ [dB] que es aceptable.

c) Entradas DVB-S/DSNG:

- c1. Encapsulador IP = Ninguno (por ejemplo, entrada MPEG ASI).
- c2. Factor de *roll-off* = 0.25 (ya que este da la tasa de bits más alta).
- c3. *Hardware* seleccionado: NTC/7042.AA.
- c4. MODCOD se ajusta y se calcula el margen como:
 - Margen = E_s/N_0 disponible – E_s/N_0 requerido.
 - Para MODCOD = 8 PSK 2/3:
 - Margen = $10.00 - 8.96 = 1.04$ [dB] que es aceptable.

- **Cálculos de salida:**

Ancho de banda del canal: 3.64 [MHz] para DVB-S2.
 5.43 [MHz] para DVB-S/DSNG.

- **Conclusión:** DVB-S2 es 49% más eficiente que DVB-S/DSNG.

En la Figura 4.6 se indica la configuración del *software* “DVB-S1+S2 Calculator” ante el caso de estudio 3:

DVB S2		GENERIC INPUT	DVB-S2 INPUT	DVB-S/DSNG INPUT
Newtec		Transponder Multi Carrier per Transponder	IP Encapsulator None (eg. Mpeg ASI Input)	IP Encapsulator None (eg. Mpeg ASI Input)
V3.8		ChooseCarrier: Baudrate / Info Rate / Alloc.Bandwidth Info Rate	Roll Off Factor 0.2	Roll Off Factor 0.25
		Input value in K bps 8000	S2 Frame Type Normal	
			Pilot Mode No Pilots	
			MODCOD 16APSK 2/3	MODCOD 8PSK 2/3
			Selected Hardware NTC/7041A.A.B	Selected Hardware NTC/7042.AA
a) Generic Outputs				
Baudrate (Kbaud)		3033,5	4340,7	
Required Es/No (dB) (=Co/No) (for BER: 1E-7)		9,80	8,96	
C/No (dBHz)		74,62	75,34	
Channel Bandwidth (KHz)		3640,2	5425,8	
Frame Length (msec)		5,3700		
b) Output to be entered on SATMASTER - "Carrier" - page				
Required Ebi/No (dB) (for BER: 1-7)		5,59	6,30	
Info Rate (Kbps)		8000,0	8000,0	
Overhead % Info Rate		0,00	0,00	
FEC Code Rate		0,6593	0,6667	
Spreading Factor (dB)		0	0	
R/S code (n/k)		1	1,085	
1 + Roll Off Factor		1,20	1,25	
Carrier Spacing Factor		1,20	1,25	
Modulation M-PSK		16	8	

Figura 4.6: Resultados ofrecidos por el “DVB-S1+S2 Calculator” ante el Caso de estudio 3: Minimizar el ancho de banda del *transponder* para una tasa de bits requerida.

Aplicando los mismos datos de entrada en nuestro programa, se obtiene un ancho de banda de 3,64022 [MHz], igualando el resultado logrado por Newctec.

En nuestro caso, se obtiene $E_s/N_0 = 8,97$ [dB] utilizando los resultados de la simulación realizada por ETSI; valor que también se logra por Newtec si en la entrada “Selected Hardware” se coloca “ETSI simulation EN302307”.

En la Figura 4.7 se indica la configuración del “CALCULADOR DVB-S2” ante el caso de estudio 3:

Figura 4.7: Resultados ofrecidos por el “CALCULADOR DVB-S2” ante el Caso de estudio 3: Minimizar el ancho de banda del *transponder* para una tasa de bits requerida.

4.3.2.4 Duración temporal de la trama DVB-S2

En esta ocasión, se obtiene valores de duración de la trama, tanto en el “DVB-S1+S2 Calculato”, como en el “CALCULADOR DVB-S2”, para una tasa de 8 [Mbps], en tramas cortas, con un factor de *roll-off* de 0,35, utilizando pilotos, por considerar un ejemplo, para poder hacer una comparación entre los resultados arrojados por cada programa. En la Tabla 4.25 se presenta dicha comparación.

	Tramas Normales (64800 bits)		
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	Duración de la trama [mseg]	Duración de la trama [mseg]	
QPSK 1/4	0,3740	0,374	0,00
QPSK 1/3	0,6440	0,644	0,00
QSPK 2/5	0,7790	0,779	0,00
QPSK 1/2	0,8690	0,869	0,00
QPSK 3/5	1,1840	1,184	0,00

QPSK 2/3	1,3190	1,319	0,00
QSPK 3/4	1,4540	1,454	0,00
QPSK 4/5	1,5440	1,544	0,00
QPSK 5/6	1,6340	1,634	0,00
QPSK 8/9	1,7690	1,769	0,00
8PSK 3/5	1,1840	1,184	0,00
8PSK 2/3	1,3190	1,319	0,00
8PSK 3/4	1,4540	1,454	0,00
8PSK 5/6	1,6340	1,634	0,00
8PSK 8/9	1,7690	1,769	0,00
16APSK 2/3	1,3190	1,319	0,00
16APSK 3/4	1,4540	1,454	0,00
16APSK 4/5	1,5440	1,544	0,00
16APSK 5/6	1,6340	1,634	0,00
16APSK 8/9	1,7690	1,769	0,00
32APSK 3/4	1,4540	1,454	0,00
32APSK 4/5	1,5440	1,544	0,00
32APSK 5/6	1,6340	1,634	0,00
32APSK 8/9	1,7690	1,769	0,00

Tabla 4.25: Comparación entre valores de Duración temporal de la trama obtenidos por Newtec, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.

4.3.3 COMPARACIONES RESPECTO A LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ENLACE DVB-S2

4.3.3.1 Factor de espaciamento entre portadoras

En el estándar DVB-S2 se definió que el factor de espaciamento entre portadoras estaba dado por la ecuación: $B_S/R_S > 1 + \alpha$, con el objetivo de evitar el efecto de Interferencia de Canal Adyacente, el cual degrada la calidad de un enlace DVB-S2.

En la Tabla 4.26 se indica una comparación entre resultados en el “*DVB-S1+S2 Calculator*” con el “CALCULADOR DVB-S2”, para el factor de espaciamento entre portadoras:

	Factor de Roll-off	Trama Normal (64800 bits)			Trama Corta (16200 bits)		
		ESTÁNDAR DVB-S2	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	ESTÁNDAR DVB-S2	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
		Factor de espaciamento	Factor de espaciamento		Factor de espaciamento	Factor de espaciamento	
QPSK	0,20	1,20	1,20	0,00	1,20	1,20	0,00
	0,25	1,25	1,25	0,00	1,25	1,25	0,00
	0,35	1,35	1,35	0,00	1,35	1,35	0,00
8PSK	0,20	1,20	1,20	0,00	1,20	1,20	0,00
	0,25	1,25	1,25	0,00	1,25	1,25	0,00
	0,35	1,35	1,35	0,00	1,35	1,35	0,00
16APSK	0,20	1,20	1,20	0,00	1,20	1,20	0,00
	0,25	1,25	1,25	0,00	1,25	1,25	0,00
	0,35	1,35	1,35	0,00	1,35	1,35	0,00
32APSK	0,20	1,20	1,20	0,00	1,20	1,20	0,00
	0,25	1,25	1,25	0,00	1,25	1,25	0,00
	0,35	1,35	1,35	0,00	1,35	1,35	0,00

Tabla 4.26: Comparación entre valores de Factor de espaciamento de portadoras obtenidos por Newtec, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.

4.3.3.2 Relación E_s/N_0

El estándar DVB-S2 brinda, a manera de tabla, los valores para la relación E_s/N_0 , presentados en la Tabla 1.11 del capítulo 1. Como se recordará, esta tabla es introducida en el la secuencia de ejecución del programa, con el objetivo de que el “CALCULADOR DVB-S2” muestre los valores para la relación E_s/N_0 .

Entonces, el “CALCULADOR DVB-S2” mostrará, en tiempo de ejecución, los mismos valores dados por el estándar en la Tabla 1.11.

Por lo tanto, no tiene sentido hacer una comparación de resultados, porque en todas las comparaciones, el error sería cero.

4.3.3.3 Relación E_b/N_0

En la Tabla 4.27 se presenta una comparación entre los resultados que ofrecen, tanto el “DVB-S1+S2 Calculator”, como el “CALCULADOR DVB-S2”, para la relación E_b/N_0 .

Tramas normales (64800 bits)						
	Sin pilotos			Pilotos activos		
	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]	NEWTEC	CALCULADOR DVB-S2	Error [%]
	E_b/N_0 [dB]	E_b/N_0 [dB]		E_b/N_0 [dB]	E_b/N_0 [dB]	
QPSK 1/4	N.A.	0,75	-	N.A.	0,85	-
QPSK 1/3	0,59	0,59	0,00	0,69	0,69	0,00
QSPK 2/5	0,73	0,73	0,00	0,83	0,83	0,00
QPSK 1/2	1,05	1,05	0,00	1,15	1,15	0,00
QPSK 3/5	1,48	1,48	0,00	1,59	1,59	0,00
QPSK 2/3	1,89	1,89	0,00	1,99	1,99	0,00
QSPK 3/4	2,31	2,31	0,00	2,41	2,41	0,00
QPSK 4/5	2,67	2,67	0,00	2,78	2,78	0,00
QPSK 5/6	2,99	2,99	0,00	3,10	3,10	0,00
QPSK 8/9	3,73	3,73	0,00	3,83	3,83	0,00
QPSK 9/10	3,89	3,89	0,00	4,00	4,00	0,00
8PSK 3/5	3,00	3,00	0,00	3,10	3,10	0,00
8PSK 2/3	3,65	3,65	0,00	3,75	3,75	0,00
8PSK 3/4	4,43	4,43	0,00	4,53	4,53	0,00
8PSK 5/6	5,41	5,41	0,00	5,51	5,51	0,00
8PSK 8/9	6,46	6,46	0,00	6,56	6,56	0,00
8PSK 9/10	6,70	6,70	0,00	6,80	6,80	0,00
16APSK 2/3	4,76	4,76	0,00	4,86	4,86	0,00
16APSK 3/4	5,49	5,49	0,00	5,59	5,59	0,00
16APSK 4/5	6,03	6,03	0,00	6,13	6,13	0,00
16APSK 5/6	6,42	6,42	0,00	6,53	6,53	0,00
16APSK 8/9	7,42	7,42	0,00	7,53	7,53	0,00
16APSK 9/10	7,61	7,61	0,00	7,71	7,71	0,00
32APSK 3/4	7,04	7,04	0,00	7,14	7,14	0,00
32APSK 4/5	7,67	7,67	0,00	7,77	7,77	0,00
32APSK 5/6	8,13	8,13	0,00	8,23	8,23	0,00
32APSK 8/9	9,26	9,26	0,00	9,35	9,35	0,00
32APSK 9/10	9,56	9,56	0,00	9,66	9,66	0,00

▪ N.A. (Not supported by hardware): No Aplicable (No soportado por el hardware).

Tabla 4.27: Comparación entre valores de Relación E_b/N_0 obtenidos por Newtec, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”, para tramas normales.

En la Tabla 4.27 se observa que los resultados entregados por los dos programas son iguales, considerando el mismo número de posiciones decimales en los operandos, al reemplazarlos sobre la ecuación 2.19 expuesta en el capítulo 2, por lo que el error es cero, en cada caso.

No será posible efectuar la misma comparación para el caso de considerar tramas cortas. La razón es que el estándar DVB-S2 aclara que cuando se utilicen tramas cortas, se considere una degradación adicional de 0,2 [dB] a 0,3 [dB] en el valor de la relación E_S/N_0 , cuyos valores están especificados en la Tabla 1.11 del capítulo 1.

En nuestro caso, el programa toma en cuenta un deterioro de 0,25 [dB]. Newtec no toma en cuenta degradación alguna, y para tramas cortas, el programa “DVB-S1+S2 Calculator” muestra el mismo valor de E_S/N_0 y de E_b/N_0 que para tramas normales. Por lo tanto, no existirán las mismas condiciones para realizar la comparación.

4.3.3.4 Relación C/N

En el capítulo 2, en la Tabla 2.8 se presentó valores de relación C/N, logrados efectuando una lectura de la Figura 2.13, la cual graficaba el valor de C/N requerido versus la eficiencia espectral, para una ancho de banda constante $AB = R_S(1+\alpha)$.

En la Tabla 4.28 se indica una comparación entre los resultados presentados en la Tabla 2.8, con el programa “CALCULADOR DVB-S2”, para la relación C/N.

	Tramas Normales (64800 bits)								
	$\alpha = 0,20$			$\alpha = 0,25$			$\alpha = 0,35$		
	ESTÁNDAR DVB-S2	Calculador DVB-S2	Error [%]	ESTÁNDAR DVB-S2	Calculador DVB-S2	Error [%]	ESTÁNDAR DVB-S2	Calculador DVB-S2	Error [%]
	C/N [dB]	C/N [dB]		C/N [dB]	C/N [dB]		C/N [dB]	C/N [dB]	
QPSK 1/4	-3,20	-3,14	1,91	-3,40	-3,32	2,41	-3,65	-3,65	0,00

QPSK 1/3	-2,10	-2,03	3,45	-2,20	-2,21	0,45	-2,50	-2,54	1,57
QSPK 2/5	-1,10	-1,09	0,92	-1,25	-1,27	1,57	-1,70	-1,6	6,25
QPSK 1/2	0,20	0,21	4,76	0,03	0,03	0,00	-0,32	-0,30	6,67
QPSK 3/5	1,45	1,44	0,69	1,25	1,26	0,79	0,98	0,93	5,38
QPSK 2/3	2,40	2,31	3,90	2,20	2,13	3,29	1,80	1,8	0,00
QSPK 3/4	3,30	3,24	1,85	3,10	3,06	1,31	2,65	2,73	2,93
QPSK 4/5	3,90	3,89	0,26	3,75	3,71	1,08	3,40	3,38	0,59
QPSK 5/6	4,40	4,39	0,23	4,25	4,21	0,95	3,80	3,88	2,06
QPSK 8/9	5,40	5,41	0,18	5,25	5,23	0,38	4,80	4,9	2,04
QPSK 9/10	5,60	5,63	0,53	5,49	5,45	0,73	5,20	5,12	1,56
8PSK 3/5	4,70	4,71	0,21	4,50	4,53	0,66	4,30	4,2	2,38
8PSK 2/3	5,80	5,83	0,51	5,70	5,65	0,88	5,30	5,32	0,38
8PSK 3/4	7,20	7,12	1,12	6,95	6,94	0,14	6,60	6,61	0,15
8PSK 5/6	8,56	8,56	0,00	8,40	8,38	0,24	8,10	8,05	0,62
8PSK 8/9	9,90	9,9	0,00	9,70	9,72	0,21	9,40	9,39	0,11
8PSK 9/10	10,20	10,19	0,10	10,00	10,01	0,10	9,70	9,68	0,21
16APSK 2/3	8,20	8,18	0,24	8,00	8	0,00	7,70	7,67	0,39
16APSK 3/4	9,40	9,42	0,21	9,30	9,24	0,65	8,80	8,91	1,23
16APSK 4/5	10,25	10,24	0,10	10,10	10,06	0,40	9,70	9,73	0,31
16APSK 5/6	10,80	10,82	0,18	10,70	10,64	0,56	10,40	10,31	0,87
16APSK 8/9	12,10	12,1	0,00	11,99	11,92	0,59	11,60	11,59	0,09
16APSK 9/10	12,40	12,34	0,49	12,20	12,16	0,33	11,85	11,83	0,17
32APSK 3/4	11,98	11,94	0,34	11,70	11,76	0,51	11,40	11,43	0,26
32APSK 4/5	12,90	12,85	0,39	12,70	12,67	0,24	12,35	12,34	0,08
32APSK 5/6	13,40	13,49	0,67	13,40	13,31	0,68	13,00	12,98	0,15
32APSK 8/9	14,90	14,9	0,00	14,70	14,72	0,14	14,40	14,39	0,07
32APSK 9/10	15,25	15,26	0,07	15,10	15,08	0,13	14,75	14,75	0,00

Tabla 4.28: Comparación entre valores de Relación C/N obtenidos desde el estándar DVB-S2 en la Figura 2.13, y aquellos obtenidos por el “CALCULADOR DVB-S2”.

En la Tabla 4.28 se observa que el error está dentro de límites aceptables. Los valores que se tabulan, correspondientes al estándar DVB-S2, fueron leídos en la Figura 2.13, lo cual está sujeto a la interpretación del observador. Esta es la causa de la diferencia de valores y el origen del error.

4.3.3.5 Relación C/N_0

Ya que C/N y C/N_0 están relacionados por la tasa de bits y por el ancho de banda, y como se ha probado que el programa responde adecuadamente para calcular la relación C/N, la tasa de bits y el ancho de banda, se deduce que responderá bien para calcular la relación C/N_0 .

En todo caso, aquí se aplica el caso de estudio 4, para observar la respuesta de la aplicación desarrollada.

4.3.3.5.1 CASO DE ESTUDIO 4: ¿Es posible enviar una portadora SDH de 155 [Mbps] sobre un transponder de 54 [MHz]? [2]

- **Escenario:**

Un flujo SDH de 155.52 [Mbps] debe ser enviado sobre un *transponder* de 54 [MHz], ¿Cuál debería ser el C/N_0 para dicho enlace?

- **Entradas para cálculos:** (Figura 4.8)

- a) Entradas genéricas:**

- a1. *Transponder* = Una sola portadora por *transponder*.
- a2. Ancho de banda del *transponder* [KHz] = 54000.
- a3. Portadora = Tasa de información.
Valor en [Kbps] = 155520.

- b) Entradas DVB-S2:**

- b1. Encapsulador IP = GBS (da la tasa de bits más alta).
- b2. Factor de *roll-off* = 0.2 (ya que este da la tasa de bits más alta).
- b3. Tipo de trama S2 = Normal (ya que éste da mejor rendimiento PER)
- b4. Modo de pilotos = sin pilotos.
- b5. *Hardware* seleccionado: Tanto el hardware NTC/7041.AA.B y NTC/7041.AA permiten máximo 30 [Mbaudios] y no pueden ser usados para esto. Sin embargo futuros productos permitirán dicha tasa.
- b6. MODCOD se ajusta para tener un canal con ancho de banda debajo de 54 [MHz].

Para MODCOD = 16APSK 9/10, se requiere $C/N_0 = 92.11$ [dBHz] considerando también una degradación no lineal estimada (ya que se ha seleccionado como *hardware* el Simulador ETSI).

c) Entradas DVB-S/DSNG:

c1. Encapsulador IP = MPE.

c2. Factor de *roll-off* = 0.25 (ya que este da la tasa de bits más alta)

c3. *Hardware* seleccionado: Simulador ETSI EN 301210.

c4. MODCOD se ajusta para mínimo ancho de banda.

Para MODCOD = 16QAM 7/8, el C/N_0 requerido = 94.70 [dBHz], considerando también una degradación no lineal estimada (ya que se ha seleccionado como *hardware* el Simulador ETSI).

• **Cálculos de salida**

Para DVB-S2, esto es teóricamente posible con 16APSK 9/10 requiriendo un C/N_0 de 92.11 [dBHz].

Para DVB-S/DSNG, el ancho de banda más pequeño que se puede lograr es 62.13 [MHz], lo cual nunca permitirá operación en 54 [MHz].

• **Conclusión:** Sólo DVB-S2 permite dicha comunicación SDH.

En la Figura 4.8 se indica la configuración del “DVB-S1+S2 Calculator” ante el caso de estudio 4:

	GENERIC INPUT	DVB-S2 INPUT	DVB-S/DSNG INPUT
Transponder	Single Carrier per Transponder	IP Encapsulator QPS	IP Encapsulator MPE
Choose Transponder Bandwidth (KHz)	54000	Roll Off Factor 0.2	Roll Off Factor 0.25
Choose Carrier: Baudrate / Info Rate / Alloc.Bandwidth	Info Rate	S2 Frame Type Normal	
Input value in K bps	155520	Pilot Mode No Pilots	
		MODCOD 16APSK 9/10	MODCOD 16QAM 7/8
		Selected Hardware ETSI simulation EN302307	Selected Hardware ETSI simulation EN301210
a) Generic Outputs			
Baudrate (Kbaud)		44467,9	50345,1
Required Es/No (dB) (=Co/No) (for BER: 1E-7)		15,63	17,68
C/No (dBHz)		92,11	94,70
Channel Bandwidth (KHz)		53361,5	62931,3 above max (54000)
Frame Length (msec)		0,3663	
b) Output to be entered on SATMASTER - "Carrier" - page			
Required Eb/No (dB) (for BER: 1-7)		10,19	12,78
Info Rate (Kbps)		155520,0	155520,0
Overhead % Info Rate		2,00	4,40
FEC Code Rate		0,8918	0,8750
Spreading Factor (dB)		0	0
R/S code (n/k)		1	1,085
1 + Roll Off Factor		1,20	1,25
Carrier Spacing Factor		1,20	1,25
Modulation M-PSK		16	16
c) Output to be entered on SATMASTER-Satellite-page			
IBO (dB)		4,20	5,10
OBO (dB)		1,30	1,70

Figura 4.8: Resultados ofrecidos por el “DVB-S1+S2 Calculator” ante el Caso de estudio 4: ¿Es posible enviar una portadora SDH de 155 [Mbps] sobre un *transponder* de 54 [MHz]?

Al establecer los mismos valores de entrada en el “CALCULADOR DVB-S2”, se obtiene una relación $C/N_0 = 92.08$ [dBHz], el cual difiere en un 0,032% del valor logrado por Newtec, manteniéndose dentro de límites aceptables.

El “CALCULADOR DVB-S2” obtiene un valor de 53.05 [MHz] para el ancho de banda requerido para lograr la comunicación descrita por el caso de estudio 4. Newtec logra 53.361 [MHz], lo cual difiere en un 0,58%.

Los errores son provocados por la utilización de un valor de *overhead* diferente del establecido en la tabla 4.1 por parte del “DVB-S1+S2 Calculator”.

En la Figura 4.9 se indica la configuración del “CALCULADOR DVB-S2”, ante el caso de estudio 4:

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA QUE PERMITE EL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN
FORWARD EN ENLACES SATELITALES UTILIZANDO EL ESTÁNDAR DVB-S2
(DIGITAL VIDEO BROADCASTING BY SATELLITE 2)

ENTRADAS DVB-S2:

Tipo de trama S2:
Normal (64800 bits)

Factor de roll-off:
0.20

Modo de pilotos:
Sin pilotos

MODCOD:
16APSK 9/10

Encapsulamiento IP:
GBS

ENTRADAS GENÉRICAS:

TRANSPONDEDOR:
Una sola portadora por transpondedor

Ingrese Ancho de Banda del transpondedor [MHz]:
54

ELECCIÓN DE PORTADORA:
Tasa de bits

Especifique tasa de bits [Mbps]:
155.52

CÁLCULOS:

EFICIENCIAS DE ENCAPSULAMIENTO:

Eficiencia de la BBFRAME: 0.99860572067

Eficiencia de la FECFRAME: 0.8842177777

Tasa de código FEC: 0.88545234567

Eficiencia de modulación [Bits/símbolo]: 4

Número de Slots por FECFRAME: 180

Eficiencia de la PLFRAME: 0.99447513812

Eficiencia espectral DVB-S2 [bps/Hz]: 3.51733038674

PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL:

Tasa de bits [Mbps]: 155.52

Tasa de símbolos [Mbaudios]: 44,2153516730418

Ancho de banda del canal [MHz]: 53,0584220076502

Longitud de la trama [mseg]: 0,368424074074074

PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENLACE:

Factor de espaciamiento de portadoras: 1,2

Es/No [dB]: 15,63

Eb/No [dB]: 10,1678683600

C/N [dB]: 14,8381875395

C/No [dBHz]: 92,0857308354

AYUDA **SALIR**

DESARROLLADO POR: **DANNY FERNANDO GUERRA MINA**

Figura 4.9: Resultados ofrecidos por el “CALCULADOR DVB-S2” ante el Caso de estudio 4: ¿Es posible enviar una portadora SDH de 155 [Mbps] sobre un *transponder* de 54 [MHz]?

Una vez analizado el funcionamiento de la aplicación para el cálculo de cada uno de los parámetros para los cuales fue diseñado, se espera que se haya demostrado satisfactoriamente, a lo largo de este capítulo, el correcto desempeño del programa implementado en este Proyecto, el “CALCULADOR DVB-S2”, mediante todas las comparaciones indicadas en tablas, y con el análisis de los casos de estudio a los que el programa fue sometido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS PARA EL CAPÍTULO 4:

- [1] NEWTEC; <http://www.newtec.be>.
- [2] BREYNAERT, D; “*The DVB-S2 Calculator.pdf*”; http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/whitepaper/White_Paper_DVB-S2_Calculator.pdf; September 2006.
- [3] NEWTEC; “*DVB-S1+S2 Calculator.xls*” V3.8; <http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/Downloads/calculator.zip>.
- [4] NEWTEC; “*Performance comparison between NTC DVB-S and S2 demodulators*”; <http://www.newtec.eu/index.php?id=2&L=%22%20onfocus%3D%22blurLink%28this%29%3B&L=0>.
- [5] NEWTEC; “*Link budget elements as input to Satmaster for DVB-S2*”; http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/Application_notes/ntc.2263xf.apn02.pdf.
- [6] NEWTEC; “*Rate calculations in DVB-S2.xls*”; http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/Training/Rate_calculations_in_DVB-S2.xls.
- [7] ROSADO, Carlos; “Comunicación por satélite. Principios, tecnologías y sistemas”; 1998.



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo de este Proyecto, se ha comprendido que el estándar DVB-S2 es muy flexible y muy potente, capaz de ajustarse a muchas necesidades, ya sea del servicio y/o del *transponder* satelital.

La flexibilidad de DVB-S2 se basa en que este sistema puede ser utilizado para trabajar con cualquier característica de *transponder* satelital existente, configurando sus opciones (tipo de trama DVB-S2, tasa de símbolos, variedad de eficiencias espectrales y requerimientos de C/N asociados, etc.), para ajustarse a los requerimientos del *transponder* disponible.

Además, DVB-S2 no está limitado a fuentes de audio y video codificados con MPEG-2, ya que DVB-S2 puede operar con cualquier formato de flujos de entrada, incluyendo flujos de bits continuos, Flujos de Transporte MPEG simples o múltiples; así como también, paquetes IP, paquetes ATM, mediante las técnicas de encapsulamiento mencionadas en este Proyecto. Esta facilidad permite otros formatos de datos a usarse, sin un aumento de complejidad significativa del sistema DVB-S2.

DVB-S2 permite optimizar, trama a trama, los parámetros de transmisión para cada usuario individual, de acuerdo a las condiciones de su enlace, utilizando DVB-S2 bajo el esquema Codificación y Modulación Adaptiva, evitando de esta manera, pérdidas de información.

Su potencia radica en el sistema FEC (basado en códigos LDPC, concatenado con códigos BCH), puesto que permite una operación “Casi

Libre de Errores”, logrando un excelente rendimiento para el sistema DVB-S2, en presencia de altos niveles de ruido e interferencia. Esta característica permite operar, aun con relaciones C/N negativas, es decir, cuando el nivel de ruido es más grande que el nivel de la señal.

- Al analizar la estructura del entramado DVB-S2, se concluye que DVB-S2 posee dos niveles de estructura de trama: la primera a nivel de Capa Física (PL), transportando pocos bits de señalización altamente protegidos; y la segunda a nivel de Banda Base, transportando una variedad de bits de señalización, para permitir máxima flexibilidad para la adaptación de la señal de entrada.

El primer nivel de la estructura de entramado (PLFRAME: la Trama de Capa Física) ha sido diseñado para proveer sincronización y señalización robusta en la capa física, permitiendo la sincronización de los receptores (recuperación de portadora y de fase, sincronización de tramas), y detectar los parámetros de codificación y modulación antes de efectuarse la demodulación y la codificación FEC.

El segundo nivel de la estructura de entramado (BBFRAME: la trama de Banda Base), permite una señalización más completa, para configurar al receptor de acuerdo a los escenarios de aplicación en los que se utilice el Sistema DVB-S2: flujos de entrada simples o múltiples, flujos genéricos o de transporte, modulación y codificación constante, variable o adaptiva, etc.

- DVB-S2 ha definido un modo (opcional) compatible con el estándar DVB-S, diseñado para soportar un periodo de migración. Puesto que en la actualidad existe un gran número de receptores DVB-S en operación, se puede requerir retro-compatibilidad con el sistema DVB-S, hasta que los receptores DVB-S2 reemplacen completamente a los viejos receptores, para aprovechar el potencial completo de DVB-S2. Un mecanismo para facilitar la recepción de los servicios DVB-S con receptores DVB-S2, consiste en la implementación de chips DVB-S en los equipos DVB-S2.

Aunque se prevee que DVB-S2 no reemplazará al actual sistema DVB-S en un corto periodo para aplicaciones de TV convencional, principalmente por el costo que tienen los primeros receptores DVB-S2. Lógicamente, dichos costos se reducirán según se alcancen economías de escala.

- Cabe resaltar que todos los aspectos analizados en este Proyecto (eficiencias de encapsulamiento, tasa de bits, tasa de símbolos, ancho de banda, parámetros de calidad), le corresponden (o son calculados) a aquella porción de información de usuario que el “Fusionador/Separador” del subsistema “MODO DE ADAPTACIÓN” de DVB-S2, separa desde los Datos de Usuario que ingresan al sistema DVB-S2, y que se encapsulan dentro de la BBFRAME, para su posterior procesamiento. Es decir, DVB-S2 tiene un enfoque “trama a trama”.
- Se ha visto que la utilización de modulaciones de mayor orden dentro del esquema DVB-S2, mejoran en gran medida el rendimiento del sistema, pues la eficiencia espectral (y a fin de cuentas, la tasa de bits) depende directamente de este parámetro. En otras palabras, dada las condiciones de un enlace, a mayor orden de modulación se puede transmitir a una mayor tasa de bits, tal como se esperaba, al analizar la ecuación: $\eta_{Tot} = \eta_{FECFRAME} * \eta_{MOD} * \eta_{PLFRAME} = R_U / R_S$.
- Analizando la eficiencia de encapsulamiento de la PLFRAME, mostradas en el capítulo 4, se observa que dichas eficiencias son bastante altas. La eficiencia de la PLFRAME mantiene un valor constante mientras se utiliza el mismo orden de modulación y se cambia la tasa FEC, puesto que dicha eficiencia es función del número de *slots* (la cual depende de la eficiencia de modulación) y de la presencia/ausencia de pilotos dentro de la PLFRAME. Otra característica de este parámetro es que decrementa su valor mientras más alto es el orden de la modulación seleccionada.

Además, se observa que el impacto en la reducción en las eficiencias de encapsulamiento de la PLFRAME por la inserción de símbolos pilotos es mínima (alrededor de 2,4% de pérdida de capacidad), lo que implica que no se afecta la transmisión en gran medida al utilizar símbolos pilotos.

- Una gran limitación de las transmisiones digitales vía satélite son los aspectos referentes a la potencia y al ancho de banda. DVB-S2 brinda una alternativa sencilla para sobrellevar este problema. Para esto, DVB-S2 presenta varios modos de transmisión (esto es, diferentes combinaciones de codificación FEC y modulación), con los que se pueden lograr diferentes balances entre potencia y eficiencia espectral, con la finalidad de adecuar la señal DVB-S2 a los requerimientos del servicio.
- Mediante comparación de resultados, presentados en el capítulo 4, se comprueba que al utilizar encapsulamiento IP, el de mejores prestaciones lo constituye el encapsulamiento GBS (seguido por ULE, y al final MPE), puesto que, al introducir un menor *overhead* respecto a los otros métodos, tiene una mayor eficiencia de encapsulamiento, resultando en una capacidad de transmisión más alta, como es lógico, cumpliendo con los objetivos para las que fueron diseñadas dichas encapsulaciones.
- Mediante la utilización del programa “CALCULADOR DVB-S2” se ha observado que se puede transmitir a una mayor tasa de bits, utilizando factores de *roll-off* menores, si se mantiene constante el ancho de banda. Esta situación esta de acuerdo con la regla: $R_U = R_S * \eta_{Tot} = (AB * \eta_{Tot}) / (1 + \alpha)$, la cual se obtiene al combinar las ecuaciones 2.11 y 2.14 dadas en el capítulo 2. Dicho de otra manera, existe una relación inversa entre la tasa de bits y el factor de *roll-off*, para un ancho de banda constante, dentro del marco normativo DVB-S2.

Por este motivo, DVB-S2 es apropiado para utilizarlo en *transponders* satelitales con diferentes anchos de banda y diferentes

bandas de frecuencia, puesto que la tasa de bits (o la tasa de símbolos) de la señal DVB-S2, se puede igualar a las características de un *transponder* en particular, y, en el caso de múltiples portadoras por *transponder* (FDM), esta señal se puede ajustar al plan de frecuencias adoptado.

- Se ha comprobado, mediante las comparaciones realizadas en el capítulo 4, que el programa desarrollado en este Proyecto, el “CALCULADOR DVB-S2”, se desempeña adecuadamente, al compararlo, tanto con valores dados por el propio estándar DVB-S2, como al compararlo con el *software* implementado por la casa Newtec, y ante sus casos de estudio.

En estas comparaciones se observa que nuestra aplicación, en la mayoría de los casos, presenta un error de 0% en el cálculo de los parámetros para los que el programa fue diseñado, gracias a que se utiliza las mismas ecuaciones, con los mismos datos (en los cuales se ha considerado el mismo número de posiciones decimales) para obtener cada uno de los parámetros descritos, cumpliendo a cabalidad con el objetivo y las expectativas planteadas al iniciar este Proyecto.

En los casos en los que el error es diferente de 0%, el error se mantiene dentro de límites tolerables. En estos casos, el error ha sido provocado por diferencias en la lectura de gráficos presentados por el estándar DVB-S2, con los valores calculados por el “CALCULADOR DVB-S2”, aplicando la fórmula correspondiente al parámetro bajo consideración.

Por lo dicho, este programa puede ser útil para analizar la factibilidad de implementación de alguna aplicación en nuestro medio, cuando se quiera cambiar nuestro modelo de ver televisión por el sistema DVB-S2, lo cual podría suceder en un futuro cercano.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del programa *Visual Basic 6.0* para implementar soluciones en el campo de las telecomunicaciones, mientras sea posible, por la facilidad con la que hasta los programadores aprendices pueden desarrollar aplicaciones con relativa sencillez. Claro que su aprovechamiento sería mejor, cuando también se dispone de la colección MDSN (ayuda) que dispone *Visual Basic 6.0*.

En el desarrollo de la aplicación para DVB-S2 implementada en este Proyecto, se ha comprobado la gran facilidad y versatilidad que *Visual Basic 6.0* ha brindado para el desarrollo y la puesta a punto del mismo. Estas facilidades han sido aprovechadas en lo relevante a la validación de los datos ingresados por el usuario, en la facilidad para crear las opciones entre las que el usuario puede escoger, y en la aplicación y correcto desempeño de las fórmulas propias del Sistema DVB-S2, cuando son ejecutadas.

- Al utilizar el *software "Visual WinHelp™ V 3.0"* de Digitote, se comprobó que este programa presenta grandes facilidades para crear archivos de ayuda en aplicaciones desarrolladas en *Visual Basic 6.0*, por el hecho de que permite crear una ayuda para cada control contenido en el formulario, además de la ayuda general que contendrá el programa, haciendo que la ayuda sea más completa. Por lo tanto, se recomienda su uso para crear archivos de ayuda en aplicaciones desarrolladas en *Visual Basic*.
- Este trabajo ha sido desarrollado tomando en cuenta al Sistema DVB-S2 bajo el esquema de Modulación y Codificación Constante. Sería interesante desarrollar un análisis y probar (o simular) el rendimiento del Sistema DVB-S2, cuando funcione bajo el esquema Modulación y Codificación Adaptiva (ACM), utilizando un canal de retorno, el cual puede implementarse usando varios sistemas interactivos DVB, tales como: DVB-

RCS (EN 301 790), DVB-RCP (ETS 300 801), DVB-RCG (EN 301 195), DVB-RCC (ES 200 800).

- Además, este Proyecto puede servir de base para un *software* mucho más completo, tal como el desarrollo de un programa para el cálculo del presupuesto total para un enlace satelital DVB-S2, en el que, además de los parámetros aquí analizados, se calculan otros parámetros propios de un presupuesto de enlace, tales como: pérdidas en el espacio libre, pérdidas por apuntamiento, figura de ruido LNB, margen del sistema, PIRE, modelos de lluvia, atenuaciones, etc., por mencionar uno pocos.

LISTA DE ACRÓNIMOS

16APSK	Modulación de amplitud y de fase de orden 16
32APSK	Modulación de amplitud y de fase de orden 32
8PSK	Modulación de fase de orden 8
ACM	Modulación y Codificación Adaptiva
ASI	Interfaz Serial Asíncrono
AWGN	Ruido Gaussiano Blanco Aditivo
BB	Banda Base
BC	Compatible con el estándar anterior
BCH	Código de bloque Bose-Chaudhuri-Hocquenghem para corrección de múltiples errores
BER	Tasa de Bits Errados
B_s	Ancho de banda del <i>slot</i> de frecuencia destinado a un servicio
BS	Servicios de Radiodifusión
BSS	Servicios de Radiodifusión por Satélite
CBR	Tasa de Bits Constante
CCM	Modulación y Codificación Constante
C/N+I	Relación Portadora a Ruido más Interferencia
CRC	Chequeo de Redundancia Cíclica
C/N	Relación Señal a Ruido
D	Notación Decimal
DF	<i>Data Field</i> (Campo de Datos)
DFL	Longitud del Campo de Datos
DSNG	Cadenas de Noticias Digitales por Satélite
DVB	Proyecto de Radiodifusión de Video Digital
DVB-S	Radiodifusión de Video Digital por Satélite [EN 300 421]
DVB-S2	Sistema DVB-S2
E_b/N_0	Relación entre la energía por bit de información y la densidad espectral de potencia de ruido
EN	Norma Europea
E_s/N_0	Relación entre la energía por símbolo de información y la densidad espectral de potencia de ruido
FDM	Multiplexación por División de Frecuencia
FEC	Corrección de Errores en Recepción
F_N	Frecuencia de Nyquist
FSS	Servicios por Satélite Fijo
GS	Flujo Genérico
GSE	Protocolo para encapsulamiento de Flujos Genéricos
HDTV	Televisión de Alta Definición
HEX	Notación Hexadecimal
IBO	Retención de Potencia a la Entrada
IRD	Receptor Decodificador Integrado
IS	Servicios Interactivos
ISI	Identificador de Flujos de Entrada
ISSY	Sincronizador de Flujos de Entrada
ISSYI	Indicador de Sincronizador de Flujos de Entrada
I,Q	Componentes en fase y en cuadratura de la señal modulada
K_{bch}	Número de bits del bloque BCH sin codificar

k_{ldpc}	Número de bits del bloque no codificado LDPC
LDPC	Código de Chequeo de Paridad de Baja Densidad
LSB	Bit Menos Significativo
M	Número de símbolos modulados en un <i>slot</i>
MIS	Flujos de Entrada Múltiples
MPE	Encapsulamiento Multi-Protocolo
MPEG	Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento
MSB	Bit Más Significativo
NBC	No Compatible con el estándar anterior
NA	No Aplicable
OBO	Retención de Potencia en la Salida
η	Eficiencia de encapsulamiento
N_{bch}	Número de bits del bloque BCH codificado
n_{ldpc}	Número de bits del bloque codificado con LDPC
NP	Paquete Nulo
NPD	Borrado de Paquetes Nulos
η_{Tot}	Eficiencia espectral DVB-S2
PER	Relación de Paquetes Errados (MPEG TS)
PID	Identificador de Paquetes
PL	Capa Física
PLS	Señalización de Capa Física
PS	Servicios Profesionales
PSK	Modulación de Fase
PRBS	Secuencia Binaria de Pseudo Aleatorización
QEF	Casi Libre de Error
QPSK	Modulación de Fase Cuaternaria
RF	Radio Frecuencia
RO	Factor de <i>Roll-Off</i> (α)
S	Número de <i>slots</i> en una XFECFRAME
SDTV	Televisión de Definición Estándar
SIS	Flujo de Entrada Simple
SNG	Cadenas de Noticias por Satélite
SOF	Inicio de Trama
TDM	Multiplexación por División de Tiempo
TS	Flujo de Transporte
TV	Televisión
ULE	Encapsulamiento ultra liviano
UP	Paquete de usuario
UPL	Longitud del paquete de usuario
VCM	Modulación y Codificación Variable



ANEXO A

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA “CALCULADOR DVB-S2”

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA “CALCULADOR DVB-S2”

Este documento describe al *software* “CALCULADOR DVB-S2”, el cual es una herramienta útil para calcular los parámetros de transmisión *forward* en enlaces satelitales utilizando el estándar DVB-S2 (*Digital Video Broadcasting by Satellite 2*).

A.1 LA INTERFAZ DE USUARIO DEL “CALCULADOR DVB-S2”

Cuando se inicia la ejecución del programa “CALCULADOR DVB-S2”, se despliega una pantalla de presentación en la que se muestran los detalles importantes respecto a la realización de este Proyecto, como se muestra en la figura A.1



Figura A.1: Pantalla de presentación al ejecutar el programa “CALCULADOR DVB-S2”.

Cuando en esta pantalla se presiona el botón SALIR, inmediatamente termina la ejecución del programa.

Si se pulsa el botón CONTINUAR, entonces el programa muestra a continuación la interfaz de usuario de la aplicación. Mediante esta interfaz, el usuario puede interactuar con el programa, introduciendo datos en él, para obtener los resultados respectivos.

En la figura A.2 se indica la interfaz de usuario del programa “CALCULADOR DVB-S2”.

CALCULADOR DVB-S2

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

PROGRAMA QUE PERMITE EL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN
 FORWARD EN ENLACES SATELITALES UTILIZANDO EL ESTÁNDAR DVB-S2
 (DIGITAL VIDEO BROADCASTING BY SATELLITE 2)

ENTRADAS DVB-S2:

Tipo de trama S2:
 [Normal (64800 bits)]

Factor de roll-off:
 [0,20]

Modo de pilotos:
 [Sin pilotos]

MODCOD:
 [16APSK 2/3]

Encapsulamiento IP:
 [Ninguno]

ENTRADAS GENÉRICAS:

TRANSPONDEDOR:
 [Múltiples portadoras por transpondedor]

ELECCIÓN DE PORTADORA:
 [Ancho de banda asignado]
 Especifique ancho de banda asignado [MHz]:
 [9]

CÁLCULOS:

EFICIENCIAS DE ENCAPSULAMIENTO:

Eficiencia de la BBFRAME: [0,99814126394]

Eficiencia de la FECFRAME: [0,66296296296]

Tasa de código FEC: [0,65419753086]

Eficiencia de modulación [Bits/símbolo]: [4]

Número de Slots por FECFRAME: [180]

Eficiencia de la PLFRAME: [0,99447513812]

Eficiencia espectral DVB-S2 [bps/Hz]: [2,63720073664]

PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL:

Tasa de bits [Mbps]: [19,7790055248619]

Tasa de símbolos [Mbaudios]: [7,5]

Ancho de banda del canal [MHz]: [9]

Longitud de la trama [mseg]: [2,172]

PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENLACE:

Factor de espaciamiento de portadoras: [1,2]

E_s/N_0 [dB]: [8,97]

E_b/N_0 [dB]: [4,75856811617]

C/N [dB]: [8,17818753952]

C/No [dBHz]: [77,7206126339]

AYUDA **SALIR**

DESARROLLADO POR: **DANNY FERNANDO GUERRA MINA**

Figura A.2: Interfaz de usuario del *software* “CALCULADOR DVB-S2”.

En la figura A.2 se puede observar que la interfaz de usuario del programa ha sido dividida en tres secciones, agrupando en cada una de éstas, aquellos parámetros que tienen cierta relación entre sí, con la finalidad de que el programa pueda ser fácilmente entendido y utilizado.

Las secciones en las que se ha dividido la interfaz de usuario son:

- La sección “ENTRADAS DVB-S2”, en la parte superior izquierda.
- La sección “ENTRADAS GENÉRICAS”, en la parte inferior izquierda.
- La sección “CÁLCULOS”, a la derecha de la interfaz de usuario.

A.1.1 LA SECCIÓN “ENTRADAS DVB-S2”

Esta sección está dedicada para que el usuario del programa pueda introducir variaciones respecto al formato de la trama DVB-S2 que se desea utilizar, de acuerdo a las especificaciones dadas en el estándar DVB-S2 [EN 302 307]. Estos aspectos son:

A.1.1.1 Tipo de trama DVB-S2

Una vez que se genera una BBFRAME e ingresa al subsistema “Codificador FEC” del sistema DVB-S2, éste le aplica una codificación FEC para detección de errores, y entrega como resultado una FECFRAME. Dependiendo del área de aplicación, el bloque FEC codificado tendrá dos longitudes n_{ldpc} posibles.

Entonces, el usuario puede seleccionar una de las dos posibles longitudes de la FECFRAME:

- Longitud normal: 64800 bits
- Longitud corta: 16200 bits

A.1.1.2 Factor de *roll-off*

El usuario puede escoger uno de los tres factores de *roll-off* permitidos en DVB-S2: 0,20, 0,25 y 0,35

Este es el factor de *roll-off* para el filtro “Raíz Cuadrada del Coseno Levantado” que se utiliza en DVB-S2, para configurar el espectro de la señal en la etapa de Modulación, y generar la señal de radiofrecuencia.

A.1.1.3 Modo de pilotos

Aquí el usuario puede escoger si utiliza o no símbolos pilotos en la trama de capa física de DVB-S2.

En caso de seleccionar la utilización de símbolos pilotos, se inserta un BLOQUE DE PILOTOS en la estructura de la PLFRAME para ayudar a la sincronización del receptor.

Este BLOQUE DE PILOTOS consta de $P = 36$ símbolos pilotos no modulados. El primer BLOQUE DE PILOTOS se inserta 16 *slots* después del PLHEADER, el segundo después de 32 *slots*, y así sucesivamente (es decir, 36 símbolos pilotos cada 1440 símbolos de datos).

A.1.1.4 MODCOD

DVB-S2 permite la elección de varias tasas de codificación FEC: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 y la elección de cuatro tipos de modulación que son: QPSK, 8PSK, 16APSK Y 32APSK.

Entonces, con esta opción el usuario escoge la combinación de tasa FEC y modulación a aplicar a la información.

Cabe señalar que para tramas cortas, el estándar no permite la elección de tasa de código FEC de 9/10. Por esta razón, en la ejecución del programa, cuando la opción escogida es la de tramas cortas, el programa automáticamente elimina de la lista MODCOD todas aquellas combinaciones con tasa 9/10.

A.1.1.5 Encapsulamiento IP

El transporte de IP sobre DVB consiste en encapsular los datagramas IP (y otros formatos de capa RED), en Flujos de Transporte MPEG, para ser distribuidos por el sistema DVB-S2.

El usuario puede escoger entre tres mecanismos de encapsulamiento:

A.1.1.5.1 Encapsulamiento Multiprotocolo (MPE)

La idea básica de encapsulamiento es que a cada paquete IP se le añade una cabecera MPE para formar una Unidad de Datos de Protocolo (PDU), luego cada PDU es fragmentada para conformar una serie de paquetes MPEG-2 TS, los cuales son transmitidos a través de la red DVB-S2.

A.1.1.5.2 Encapsulamiento Ultra Liviano (ULE)

A cada paquete IP se le añade una cabecera ULE, para luego colocar los paquetes directamente en el MPEG-2 TS.

A.1.1.5.3 Protocolo para Encapsulamiento de Flujos Genéricos (GSE)

GSE permite el encapsulamiento eficiente de datagramas IP (y otros paquetes de capa red), sobre paquetes de capa 2 (paquetes GSE) de longitud variable, los que después son directamente organizados sobre la capa física en las tramas de banda base (BBFRAMEs).

A.1.2 LA SECCIÓN “ENTRADAS GENÉRICAS”

En la sección “ENTRADAS GENÉRICAS” se colocan las opciones para que el usuario elija la forma en que se utilizará el satélite, y la señal DVB-S2. Dentro de esta área se agrupa:

A.1.2.1 Transponder

Esta sección está diseñada para que el usuario pueda escoger la forma de utilización del satélite. Estas opciones son:

- Una sola portadora por *transponder*. En este modo, todo el ancho de banda del *transponder* es ocupado por una única portadora DVB-S2.
- Múltiples portadoras por *transponder* (FDM): En esta configuración, múltiples portadoras DVB-S2 ocupan el mismo *transponder* satelital.

Cuando el usuario selecciona la opción “Una sola portadora por *transponder*”, inmediatamente se muestra una caja de texto para que pueda ingresar el valor de Ancho de Banda que posee el *transponder* que se va a utilizar.

A.1.2.2 Elección de portadora

Se le brinda al usuario la posibilidad de cambiar directamente la componente de la portadora que desea ingresar.

Aquí el usuario podrá configurar:

A.1.2.2.1 Tasa de bits

Constituye el número de bits que se transfieren por unidad de tiempo a través de un sistema de información digital o entre dispositivos digitales. En otras palabras, corresponde a la velocidad a la que se transfiere la información. Se la mide en bits por segundo [bps].

Se debe ingresar el valor de la tasa de bits que tendrá la portadora en [Mbps], por ejemplo: ingrese 0,5 para una tasa de bits de 500 [Kbps].

A.1.2.2.2 Tasa de símbolos

Corresponde a la velocidad a la que se producen los cambios de estado, símbolos o nivel, en cada segundo, durante la transferencia de información. Se la expresa en símbolos por segundo o Baudios [Baudio].

Ingrese el valor de la tasa de baudios que tendrá la portadora en [Mbaudios], por ejemplo: ingrese 0,5 para una tasa de 500 [Kbaudios].

A.1.2.2.3 Ancho de banda del canal

El ancho de banda del canal corresponde al rango de frecuencias que el canal de transmisión es capaz de transportar, garantizando el paso transparente (fiel) de la señal. El ancho de banda se lo mide en Hertz [Hz].

Ingrese el valor del ancho de banda en MHz, por ejemplo ingrese 0,5 para un ancho de banda de 500 KHz.

NOTA: El usuario debe tener en cuenta que el ancho de banda de la señal portadora no puede exceder el ancho de banda del *transponder* satelital cuando ha seleccionado la opción “Una sola portadora por *transponder*”. En caso de que esto suceda, se muestra un mensaje de advertencia para notificar al usuario de ésta situación.

A.1.3 LA SECCIÓN “CÁLCULOS”

La sección “CÁLCULOS” despliega los resultados para los que el programa ha sido diseñado. Estos resultados a su vez están reunidos en tres partes:

- La sección “EFICIENCIAS DE ENCAPSULAMIENTO”.
- La sección “PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL”.
- La sección “PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENÑACE”.

A.1.3.1 LA SECCIÓN “EFICIENCIAS DE ENCAPSULAMIENTO”

Aquí se muestran todos los resultados respecto a las diferentes eficiencias de encapsulamiento que tiene la trama en cada una de las etapas del Sistema DVB-S2, hasta que la señal DVB-S2 queda finalmente conformada.

A.1.3.1.1 Eficiencia de la BBFRAME

La trama de Banda Base BBFRAME tiene una longitud de K_{bch} bits. Está formado por una cabecera BBHEADER de longitud fija (80 bits), seguido por el CAMPO DE DATOS de longitud DFL bits, que es donde se están encapsulados los datos de usuario.

Aquí se presenta el resultado calculado por el programa, correspondiente a la eficiencia de encapsulamiento de la BBFRAME.

A.1.3.1.2 Eficiencia de la FECFRAME

La FECFRAME contiene a la BBFRAME, después de haberla codificado para protección contra errores, con el subsistema Codificador FEC de DVB-S2. De acuerdo a la aplicación la FECFRAME puede tener dos longitudes: 64800 bits o 16200 bits.

A.1.3.1.3 Tasa de código FEC

Esta tasa corresponde a la relación que existe entre el número de bits que ingresan al subsistema “Codificación FEC” (K_{bch} bits), y el número de bits que salen ya codificados de este bloque (n_{ldpc} bits).

A.1.3.1.4 Eficiencia de modulación

La eficiencia de modulación n_{MOD} corresponde al número de bits transportados por un símbolo de la constelación.

A.1.3.1.5 Número de Slots por XFECFRAME

El subsistema “*PLFraming*” de DVB-S2 toma una XFECFRAME y la particiona en un número *S* de *slots* de longitud constante (90 símbolos) cada una.

En esta sección se muestra el número de *slots* en los que se ha seccionado a la XFECFRAME, de acuerdo a la modulación y al tipo de trama seleccionada por el usuario.

A.1.3.1.6 Eficiencia de la PLFRAME

La trama de Capa Física PLFRAME está formada por una Cabecera PL de 90 símbolos, y un *payload* que siempre se compone de múltiplos enteros de 90 símbolos (excluyendo a los símbolos pilotos). El *payload* contiene a la FECFRAME.

Aquí se muestra el resultado de la eficiencia de encapsulamiento de PLFRAME, de acuerdo a las opciones establecidas por el usuario.

A.1.3.1.7 Eficiencia espectral DVB-S2

En este punto se despliega el valor de la eficiencia espectral DVB-S2, bajo el esquema de codificación y modulación definido por el usuario.

A.1.3.2 LA SECCIÓN “PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL”

Despliega los resultados acerca de aspectos necesarios para transmitir la señal, es decir, muestra valores de tasa de bits, tasa de símbolos, ancho de banda de la señal DVB-S2.

A.1.3.2.1 Tasa de bits

Constituye la Tasa de bits con que la que se transmite la señal DVB-S2, en [Mbps].

A.1.3.2.2 Tasa de símbolos

Indica la Tasa de símbolos con la que se transmite la señal DVB-S2, en [Mbaudios.]

A.1.3.2.3 Ancho de banda

Ancho de banda que requiere la señal DVB-S2, en [MHz].

A.1.3.2.4 Duración temporal de la trama

Muestra el tiempo (en milisegundos) que dura la información de usuario ($K_{bch} - 80$ bits) dentro del entramado DVB-S2.

A.1.3.3 LA SECCIÓN “PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ENLACE”

Sección que se dedica para que el usuario conozca valores que afectan a la calidad de la transmisión.

A.1.3.3.1 Factor de espaciamiento entre portadoras

Corresponde al mínimo espacio que debe existir entre dos portadoras DVB-S2, para evitar la Interferencia de Canal Adyacente, cuando se trabaja con múltiples portadoras por *transponder*

A.1.3.3.2 Relación E_s/N_0

El término E_s/N_0 mide la relación entre la energía por símbolo transmitido y la densidad de potencia de ruido. Se la expresa en decibelios [dB].

A.1.3.3.3 Relación E_b/N_0

El parámetro E_b/N_0 mide la relación entre la energía por bit transmitido y la densidad de potencia de ruido, en decibelios [dB].

A.1.3.3.4 Relación C/N

C/N representa la potencia de la señal portadora en todo el ancho de banda utilizable. Se la expresa en decibelios [dB].

A.1.3.3.5 Relación C/N_0

C/N_0 es la relación entre la potencia de la portadora C [W], y la densidad espectral de potencia de ruido N_0 [W/Hz]. Esta relación se suele expresar en dB sobre 1Hz [dBHz].

A.2 LA AYUDA DEL PROGRAMA

El programa desarrollado proporciona una guía, en forma de un archivo de ayuda, con la finalidad de sea más amigable para el usuario.

Para esta aplicación, el archivo de ayuda generado se llama "CALCULADOR DVB-S2.HLP".

A.2.1 UTILIZACIÓN DE LA AYUDA GENERAL

Para poder utilizar la ayuda durante la ejecución del programa, el usuario debe pulsar en el botón “AYUDA” que se encuentra en la esquina inferior derecha de la interfaz de usuario. En caso de que aparezca un mensaje en el que se indique que no se encuentra el archivo de ayuda, el usuario debe apuntar al archivo “CALCULADOR DVB-S2.HLP” en la ubicación en la que se encuentre este archivo en el computador.

Cuando el usuario pulse este botón de “AYUDA”, inmediatamente se mostrará una nueva ventana, que contiene un esquema general de la ayuda generada para este programa. El archivo de ayuda que se despliega tiene el aspecto que se muestra en la figura A.3.

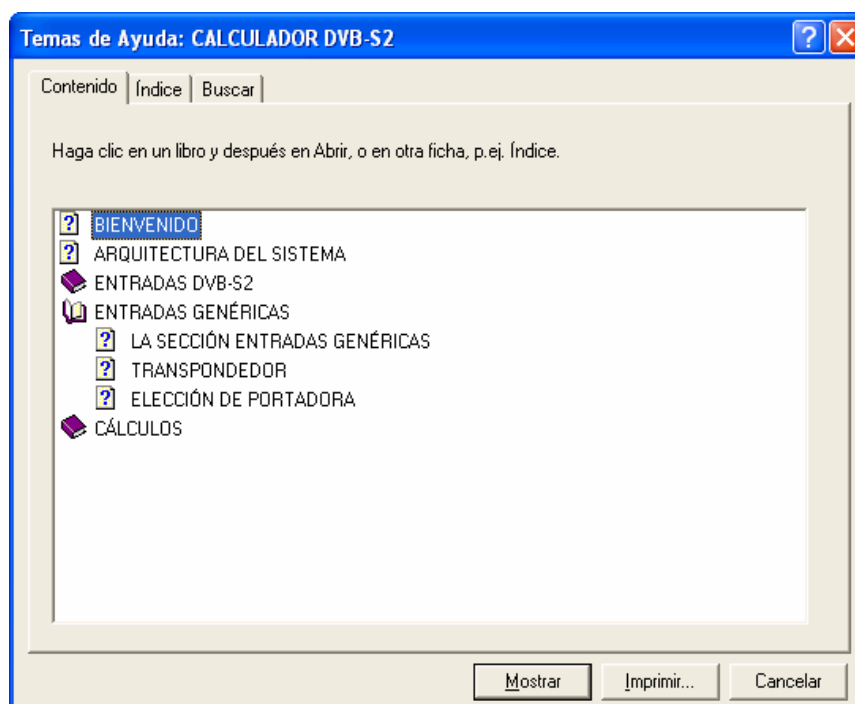



Figura A.3: Contenido del archivo de ayuda “CALCULADOR DVB-S2.HLP”.

El usuario debe seleccionar el tema en el que requiera ayuda, haciendo doble *click* sobre él, e inmediatamente se desplegará una nueva ventana en la que se detalla la explicación para el tema seleccionado.

Si se selecciona un libro del archivo de ayuda, se desplegarán los tópicos que contenga dicho libro, y luego el usuario podrá seleccionar cualquiera de los tópicos contenidos en su interior.

A.2.2 UTILIZACIÓN DE LA AYUDA *¿QUÉ ES ESTO?*

Esta aplicación también cuenta con un método adicional para mostrar ayuda, la denominada ayuda *¿Qué es esto?*. Para utilizar esta ayuda, el usuario debe pulsar sobre el botón *¿Qué es esto?*  que se encuentra en la esquina superior derecha de la interfaz de usuario.

Cuando el usuario pulse sobre este botón, el cursor del ratón adopta la forma de una flecha con un signo de interrogación, y el usuario puede pulsar sobre cualquier control contenido en la interfaz de usuario para obtener una rápida explicación de la función asociada con dicho control.

A.3 CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL PROGRAMA

A.3.1 PROPIEDADES PARA EL FORMULARIO

Como se aprecia en la figura A.1, se ha programado una función que ejecuta un “degradado” de colores como fondo del formulario, con la finalidad de mejorar la presentación del programa.

Para que la ejecución de esta función no se vea afectada, al usuario no se le permite cambiar el tamaño de la ventana de la interfaz de usuario, no puede maximizar ni minimizar la misma, sólo se le permite mover el formulario dentro de la pantalla del computador.

El usuario tampoco puede modificar el contenido predefinido de las listas desplegables, las etiquetas y las cajas de texto destinadas a mostrar resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ETSI EN 302 307 (V 1.1.1). “*Digital Video Broadcasting (DVB): Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*”. Marzo 2005.
- ETSI TR 102 376 (V 1.1.1.) “*Digital Video Broadcasting (DVB): User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*”. Febrero 2005.
- ISO/IEC 13818 (parts 1 and 2): “*Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information*”.
- ETSI EN 300 421 (V.1.1.2): “*Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services*”.
- ROSADO, Carlos; “Comunicación por satélite. Principios, tecnologías y sistemas”; 1998.
- RFC 4326; “*Unidirectional Lightweight Encapsulation (ULE) for Transmission of IP Datagrams over an MPEG-2 Transport Stream (TS)*”; December 2005.
- WIKIPEDIA; “*Shannon-Hartley Theorem*”; [http://en.wikipedia.org/wiki/Shannon&Hartley theorem](http://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%26Hartley_theorem).
- WIKIPEDIA; “*Generic stream*”; [http://en.wikipedia.org/wiki/Generic Stream](http://en.wikipedia.org/wiki/Generic_Stream)”; January 16. 2007.
- <http://www.televisióndigital.es/Terrestre/Ciudadanos/Glosario/ABC/ABC.htm>
- ITU-R Recommendation SNG.770-1: “*Uniform operational procedures for satellite news gathering (SNG)*”.
- NEWTEC; NTC/7015/APN07: “*CCM, VCM and ACM implementation by Newtec*”; October 29, 2006.
- “*Modulation, demodulation and coding*”; March 27, 2007.
- WIKIPEDIA; “*Additive white Gaussian noise*”; [http://en.wikipedia.org/wiki/Additive white Gaussian noise](http://en.wikipedia.org/wiki/Additive_white_Gaussian_noise); 13 April 2007.
- JIMÉNEZ JIMÉNEZ, María Soledad; “Comunicación Digital”; EPN; Quito.
- NEWTEC. “*Calculations in DVB-S2. V1.0.2*”. 14 de Diciembre de 2005.
- LANGTON, Charan; “*Intuitive Guide to Principles of Communications*”. 1998-2002.

-
- HONG, Teh Chee; CHEE, Wan Tat; BUDIARTO, Rahmat; “*Simulation and design of IP over DVB using Multi-Protocol Encapsulation and Ultra Lightweight Encapsulation*”; June 27-28; 2005.
 - WIKIPEDIA; “IP sobre DVB”; http://es.wikipedia.org/wiki/IP_sobre_DVB; 28 de Junio de 2007.
 - BARBA MOLINA, Hernán Vinicio; CHAFLA ALTAMIRANO, Juan Francisco; “*Simulación de una red VSAT Full-Duplex para acceso a Internet usando la plataforma DVB-S y DVB-RCS*”; Marzo 2006.
 - NEWTEC; “*Link budget elements as input to Satmaster for DVB-S2*”; http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/Application_notes/ntc.2263xf.apn02.pdf.
 - GARCÍA DE JALÓN, Javier; RODRÍGUEZ, José Ignacio; BRAZÁLEZ, Alfonso; “*Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero*”; San Sebastián; Agosto 1999.
 - BALENA, Francesco; “*Programación avanzada con Microsoft Visual Basic 6.0*”; Primera edición; McGraw-Hill/Interamericana de España; España; 1999.
 - www.digitope.com; ayuda del software “Visual WinHelp™ V 3.0”.
 - NEWTEC; <http://www.newtec.be>.
 - BREYNAERT, D; “*The DVB-S2 Calculator.pdf*”; http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/whitepaper/White_Paper_DVB-S2_Calculator.pdf; September 2006.
 - NEWTEC; “*DVB-S1+S2 Calculator.xls*” V3.8; <http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/Downloads/calculator.zip>.
 - NEWTEC; “*Performance comparison between NTC DVB-S and S2 demodulators*”; <http://www.newtec.eu/index.php?id=2&L=%22%20onfocus%3D%22blurLink%28this%29%3B&L=0>.
 - NEWTEC; “*Link budget elements as input to Satmaster for DVB-S2*”; http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/Application_notes/ntc.2263xf.apn02.pdf.
 - NEWTEC; “*Rate calculations in DVB-S2.xls*”; http://www.newtec.eu/fileadmin/webfolder/Training/Rate_calculations_in_DVB-S2.xls.