



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica

**ETHERNET SOBRE SDH: INTEGRACIÓN DE REDES  
DE DATOS SOBRE REDES SÍNCRONAS**

**Diego Alfredo Chajón Estrada**

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ETHERNET SOBRE SDH: INTEGRACIÓN DE REDES  
DE DATOS SOBRE REDES SÍNCRONAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DIEGO ALFREDO CHAJÓN ESTRADA**

ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ETHERNET SOBRE SDH: INTEGRACIÓN DE REDES DE DATOS SOBRE REDES SÍNCRONAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 26 de abril de 2013.



**Diego Alfredo Chajón Estrada**

Guatemala, 29 de mayo de 2013

Ingeniero  
Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Área Electrónica  
Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Ingeniero Guzmán:

Deseo goce de éxito en sus actividades diarias.

Me dirijo a usted informándole que he revisado completamente el trabajo de graduación titulado: "Ethernet sobre SDH: Integración de Redes de Datos sobre Redes Síncronas", desarrollado por el señor Diego Alfredo Chajón Estrada, dicho trabajo cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto de tesis.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo, como su asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones.

Atentamente,



Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo  
Asesor Nombrado  
Colegiado 2225

**Enrique E Ruiz C**  
**INGENIERO ELECTROISTA**  
No 2225

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 43 2013  
Guatemala, 14 de JUNIO 2013.

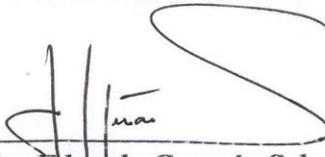
Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
“ETHERNET SOBRE SDH: INTEGRACIÓN DE REDES DE  
DATOS SOBRE REDES SÍNCRONAS”, del estudiante Diego  
Alfredo Chajón Estrada que cumple con los requisitos establecidos para  
tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Area Electrónica



sro



REF. EIME 43. 2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **DIEGO ALFREDO CHAJÓN ESTRADA** titulado: **“ETHERNET SOBRE SDH: INTEGRACIÓN DE REDES DE DATOS SOBRE REDES SÍNCRONAS”**, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 8 DE JULIO 2,013.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ETHERNET SOBRE SDH: INTEGRACIÓN DE REDES DE DATOS SOBRE REDES SÍNCRONAS**, presentado por el estudiante universitario: **Diego Alfredo Chajón Estrada**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, agosto de 2013

/cc

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios**

Por la existencia misma, sin la cual no habría alcanzado este momento.

**Mis padres**

Por su perenne presencia, sin quienes mi vida no sería lo que es hoy.

**Mis hermanos,  
familia y amigos**

Por su grande o pequeña influencia, sin la cual el camino andado no sería el que hoy alcanza este punto.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	XI
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN .....	XXIX
OBJETIVOS .....	XXXI
INTRODUCCIÓN .....	XXXIII
1. REDES DE DATOS Y REDES DE VOZ .....	1
2. EL MODELO DE REFERENCIA OSI .....	3
2.1. Aplicación .....	4
2.2. Presentación .....	4
2.3. Sesión .....	5
2.4. Transporte .....	5
2.5. Red .....	6
2.6. Enlace de datos .....	6
2.7. Física .....	8
3. REDES ETHERNET .....	9
3.1. Encapsulación de datos .....	12
3.2. Protocolo CSMA/CD .....	15
3.3. <i>Slot time</i> .....	18
3.4. <i>Back off</i> .....	20
3.5. Efecto de captura .....	21
3.6. <i>Half-duplex</i> .....	22
3.7. <i>Full-duplex</i> .....	22

3.8.	Tramas de pausa .....	23
3.9.	Direccionamiento Ethernet .....	25
3.10.	Ethernet & IEEE 802.3 .....	26
3.10.1.	Tramas Ethernet & IEEE 802.3.....	29
3.11.	NSAP & IEEE 802.2 .....	31
3.12.	100 Mbps Ethernet.....	33
3.12.1.	100BASE-T FLPS .....	34
3.12.2.	Autonegociación .....	35
3.12.3.	Arquitectura.....	35
3.13.	Gigabit Ethernet .....	36
3.13.1.	Arquitectura.....	38
3.13.2.	Capa física .....	38
3.13.3.	Serializador/deserializador.....	39
3.13.4.	Codificación 8B/10B.....	39
3.14.	10 Gigabit Ethernet .....	41
3.14.1.	Arquitectura.....	42
3.15.	40 & 100 Gigabit Ethernet.....	44
3.15.1.	Arquitectura 1.....	45
4.	REDES TDM.....	49
4.1.	Sistema de transmisión PCM30 .....	49
4.1.1.	Señal de alineación de trama (F.A.S.) .....	49
4.2.	Jerarquía digital plesíncrona (PDH) .....	50
4.2.1.	Método de multiplexación .....	53
4.2.1.1.	Señales síncronas.....	54
4.2.1.2.	Señales asíncronas.....	54
4.3.	Jerarquía digital síncrona .....	54
4.3.1.	Características de SDH .....	55
4.3.1.1.	Altas velocidades de transmisión ..	55

4.3.1.2.	Función simplificada de inserción extracción .....	55
4.3.1.3.	Alta disponibilidad y escalabilidad	56
4.3.1.4.	Fiabilidad .....	56
4.3.1.5.	Interconexión .....	56
4.3.2.	Componentes de una red síncrona .....	57
4.3.2.1.	Regeneradores .....	57
4.3.2.2.	Multiplexores.....	57
4.3.2.3.	Multiplexores de agregación/sustracción (ADM).....	57
4.3.2.4.	Transconectores digitales (DXC) ..	58
4.3.2.5.	Sistema de gestión .....	58
4.3.3.	Ruta de transmisión SDH .....	58
4.3.3.1.	Terminal multiplexadora.....	58
4.3.3.2.	<i>Switch cross-conector</i> .....	59
4.3.3.3.	Regenerador .....	59
4.3.3.4.	Sección de multiplexación .....	60
4.3.3.5.	Sección de regeneración .....	60
4.3.3.6.	Ruta .....	60
4.3.3.7.	Sección de encabezado.....	60
4.3.3.8.	Encabezado de ruta.....	61
4.3.4.	Trama básica STM-1 .....	61
4.3.4.1.	Sección de encabezado ( <i>section over-head</i> ) .....	63
4.3.4.2.	Sección de regeneración .....	65
4.3.4.2.1.	Tramado (bytes A1, A2) .....	66
4.3.4.2.2.	Identificador de canal (bytes C1).....	66

4.3.4.2.3.	Chequeo de paridad (Byte B1) .....	66
4.3.4.2.4.	Canal de comunicación de datos (bytes D1, D2, D3).....	66
4.3.4.2.5.	Canal <i>orderwire</i> (Byte E1) .....	67
4.3.4.2.6.	Canal de comunicación de usuario (Byte F1).....	67
4.3.4.3.	Punteros .....	67
4.3.4.3.1.	Punteros de AU (bytes H1, H2, H3)....	68
4.3.4.3.2.	Punteros en corrección de desfases de sincronía.....	68
4.3.4.4.	Sección de multiplexación .....	69
4.3.4.4.1.	Chequeo de paridad (byte B2).....	70
4.3.4.4.2.	Conmutación de protección (bytes K1, K2) .....	70
4.3.4.4.3.	Canal de comunicación de datos (bytes D4 al D12) .....	70
4.3.4.4.4.	Canal <i>orderwire</i> (byte E2).....	70
4.3.4.5.	Virtual container .....	71

	4.3.4.5.1.	Proceso de ensamblado y desensamblado de un VC.....	72
	4.3.4.5.2.	Encabezado de ruta .....	73
4.3.5.		Unidades tributarias SDH.....	74
	4.3.5.1.	Estructura de trama de unidad tributaria.....	74
	4.3.5.2.	Tipos de unidades tributarias.....	75
		4.3.5.2.1. TU-11.....	75
		4.3.5.2.2. TU-12.....	75
		4.3.5.2.3. TU-2.....	76
		4.3.5.2.4. TU-3.....	76
4.3.6.		Jerarquía de multiplexación SDH.....	77
4.4.		Concatenación.....	79
	4.4.1.	Concatenación contigua .....	80
		4.4.1.1. Concatenación contigua de VC-4 .	80
		4.4.1.2. Concatenación contigua de VC-2 .	82
	4.4.2.	Concatenación virtual.....	84
		4.4.2.1. Distribución y reconstrucción de la carga.....	85
		4.4.2.2. VCAT de VC-n .....	88
		4.4.2.3. VCAT de VC-m.....	93
4.5.		Esquema de ajuste de capacidad de enlace .....	97
	4.5.1.	Paquete de control .....	98
		4.5.1.1. Indicador de multitrama .....	99
		4.5.1.2. Indicador de secuencia (SQ) .....	100
		4.5.1.3. Control (CTRL) .....	100
		4.5.1.4. Identificador de grupo (GID) .....	102

4.5.1.5.	Comprobación de redundancia cíclica (CRC) .....	103
4.5.1.5.1.	Multiplicación /división de CRC ....	103
4.5.1.5.2.	Codificación de CRC .....	104
4.5.1.5.3.	Decodificación de CRC .....	105
4.5.1.6.	Estado de miembro (MST) .....	105
4.5.1.7.	Confirmación de resecuencia (RS-Ack).....	106
4.5.2.	Detalles del paquete de control.....	108
4.5.2.1.	VLI de alto orden .....	109
4.5.2.2.	VLI de bajo orden .....	112
4.6.	Procedimiento de tramado genérico .....	115
4.6.1.	Aspectos comunes de GFP para tráfico alineado por octeto .....	118
4.6.1.1.	Estructura de señal básica para tramas cliente GFP.....	118
4.6.1.1.1.	Encabezado núcleo GFP .....	119
4.6.1.1.2.	Área de carga GFP	122
4.6.1.1.3.	Encabezado de carga GFP .....	123
4.6.1.1.4.	Campo tipo GFP ....	124
4.6.1.1.5.	Campo tipo HEC (tHEC) .....	126
4.6.1.1.6.	Extensión de encabezado GFP ...	127
4.6.1.1.7.	Campo de extensión HEC (eHEC) .....	128

	4.6.1.1.8.	Campo de información de carga.....	129
	4.6.1.1.9.	Campo FCS de carga.....	130
	4.6.1.1.10.	Aleatorización del área de carga.....	131
	4.6.1.1.11.	Detalle de formato de trama GFP-F.....	131
4.6.1.2.		Tramas cliente GFP.....	132
	4.6.1.2.1.	Tramas data cliente GFP.....	133
	4.6.1.2.2.	Tramas de administración de cliente GFP.....	134
4.6.1.3.		Tramas de control GFP.....	136
4.6.1.4.		Funciones a nivel de trama GFP	137
	4.6.1.4.1.	Proceso de delineación de trama GFP.....	137
4.6.2.		Aspectos específicos cliente GFP mapeado por trama.....	139
	4.6.2.1.	Carga Ethernet MAC.....	139
	4.6.2.2.	Carga IP/PPP.....	140
	4.6.2.3.	Carga RPR.....	142
	4.6.2.4.	Carga canal de fibra vía FC-BBW143	
	4.6.2.5.	Mapeo directo de MPLS.....	144
	4.6.2.6.	Manejo de error en GFP mapeado por trama.....	145
4.6.3.		Aspectos específicos de cliente para GFP mapeado transparente.....	146
	4.6.3.1.	Aspectos comunes de GFP-T.....	146

	4.6.3.1.1.	Adaptando cliente 8B/10B vía bloques de código 64B/65B.	146
	4.6.3.1.2.	Adaptando bloques de código 64B/65B a GFP .....	148
	4.6.3.2.	Aspectos específicos de cliente de falla de señal .....	150
4.6.4.		Aspectos específicos de servidor GFP .....	150
4.6.5.		Ejemplos de PDU GFP .....	151
	4.6.5.1.	PDU GFP-F .....	151
	4.6.5.2.	PDU GFP-T .....	153
	4.6.5.3.	PDU CMF GPT.....	154
5.		REDES OTN.....	155
5.1.		Arquitectura de red WDM.....	157
5.2.		Señales cliente.....	159
5.3.		Equipos OTN.....	160
5.4.		Estructura de trama y formatos de señal.....	161
5.5.		Mapeo de carga .....	170
5.6.		Mapeo de clientes CBR.....	172
	5.6.1.	Antiguos métodos de mapeo CBR.....	172
	5.6.1.1.	Procedimiento de mapeo asíncrono.....	174
	5.6.1.2.	Procedimiento de mapeo bitsíncrono.....	175
	5.6.1.3.	Mapeo de flujos no específicos ...	177
	5.6.2.	Mapeo de señales CBR usando GMP .....	177
	5.6.3.	Mapeo de ODUflex (CBR) .....	178
	5.6.4.	Mapeos a ODU4 .....	179
	5.6.5.	Mapeo de GFP.....	179

5.6.5.1.	Mapeo de GFP-F en OPU2 extendido .....	180
5.6.5.2.	Mapeo ODUflex (GFP).....	181
5.7.	Procedimiento de mapeo genérico .....	182
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	191
6.1.	Visión de implementación de Ethernet sobre WAN .....	191
6.2.	Servicios brindados .....	193
6.2.1.	Ethernet sobre SDH .....	193
6.2.2.	Ethernet sobre OTN .....	193
6.3.	Análisis financiero.....	194
6.3.1.	Valor Actual Neto (VAN).....	200
6.3.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	201
6.3.3.	Punto de equilibrio.....	203
6.3.4.	Análisis costo/beneficio .....	204
	CONCLUSIONES .....	207
	RECOMENDACIONES.....	209
	BIBLIOGRAFÍA.....	211



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Modelo OSI .....	3
2.	Capa de enlace de datos IEEE .....	8
3.	Formato trama de pausa Ethernet .....	24
4.	Estructura dirección MAC .....	26
5.	Ethernet & IEEE 802.3, según modelo OSI .....	28
6.	Identificación IEEE 802.3 .....	28
7.	Ethernet II.....	29
8.	802.3 Ethernet.....	29
9.	802.2 (SNAP) .....	31
10.	802.2 (SAP).....	32
11.	Arquitectura 100BASE-T .....	35
12.	Componentes de Gigabit Ethernet .....	37
13.	Arquitectura 1000BASE-X.....	38
14.	Arquitectura 10000BASE-X.....	43
15.	Arquitectura 40&100 Gigabit Ethernet.....	46
16.	Byte de alineación de trama.....	50
17.	Byte señalizador de alarmas .....	50
18.	Multiplexación en PDH.....	52
19.	Estructura de ruta de transmisión SDH.....	59
20.	Representación matricial de la trama STM-1 .....	62
21.	Transmisión secuencial (STM-1).....	62
22.	Estructura del encabezado de un STM-1 .....	65
23.	VC-4 portando carga de TU-12.....	77

24.	Jerarquía de multiplexación SDH .....	78
25.	Estructuras de multiplexación extendidas en SDH .....	79
26.	Estructura SDH VC-4-Xc .....	81
27.	Estructura SDH VC-2-Xc .....	83
28.	Distribución de carga VCAT .....	85
29.	Enrutamiento diverso.....	86
30.	Reconstrucción de carga VCAT .....	88
31.	Correspondencia C-n con C-n-Xc.....	89
32.	Correspondencia C-n-Xc con VC-n-Xv .....	92
33.	Estructura VC-m-Xv.....	94
34.	Estructura multitrama C-m-Xc .....	97
35.	Ubicación de GFP en las estructuras de multiplexación.....	116
36.	Relación de GFP a señales cliente y rutas de transporte .....	117
37.	Estructura tramas cliente GFP.....	119
38.	Encabezado núcleo GFP.....	120
39.	Área de carga GFP.....	122
40.	Encabezado de carga GFP .....	123
41.	Campo tipo de GFP .....	124
42.	PDU de encabezado de carga lineal .....	128
43.	PDU GFP.....	132
44.	Formato trama de inactividad GFP .....	136
45.	Delineación trama GFP .....	137
46.	Relación PDU Ethernet a PDU GFP.....	139
47.	Relación PDU Ethernet a PDU GFP.....	141
48.	Relación PDU RPR a PDU GFP.....	142
49.	Relación PDU FC-BBW SONET a PDU GFP.....	144
50.	Relación PDU MPLS a PDU GFP .....	145
51.	Relación 8B/10B a PDU GFP-T.....	147
52.	Encapsulamiento OTN.....	156

53.	Encapsulamiento OTN .....	158
54.	Relación de encapsulamiento dominio eléctrico .....	162
55.	G.709 OTN estructura de trama y encabezado .....	164
56.	G.709 encabezado OPU mapeo asíncrono y bitsíncrono .....	167
57.	G.709 estructura encabezado de concatenación virtual .....	169
58.	Antiguos mapeos CBR .....	173
59.	Mapeo de tramas GFP en OPU .....	180
60.	Numeración de palabra de carga OPUk .....	184
61.	Encabezado control de justificación GMP .....	187
62.	Patrones $C_m$ para indicar incremento o decremento .....	187
63.	Mapeo FC-100 con GMP $C_8=13062$ .....	189
64.	Mapeo GE con GMP $C_8=14407$ .....	190

## TABLAS

I.	Familias Ethernet .....	11
II.	Interfaces físicas 40&100 Gigabit Ethernet .....	44
III.	Definiciones de PDH (EE.UU. & Japón).....	51
IV.	Definición de PDH (ETSI) .....	52
V.	Jerarquía digital plesíncrona, norma europea .....	53
VI.	Capacidades concatenadas contiguas.....	82
VII.	VCAT de VC-n .....	89
VIII.	Bits SQ y MFI .....	91
IX.	Contenedores LO VCAT .....	93
X.	Encabezado multitrama VCAT .....	96
XI.	Valores de control CTRL de LCAS.....	101
XII.	VLI de alto orden.....	109
XIII.	Multitrama LCAS MST de alto orden.....	110
XIV.	Encabezado de concatenación de bajo orden .....	113

XV.	Multitrama LCAS MST de bajo orden .....	114
XVI.	Identificadores de carga de usuario para tramas cliente GFP .	134
XVII.	Identificadores de carga de usuario para tramas de administración cliente GFP .....	135
XVIII.	PDU GFP-F Ethernet.....	152
XIX.	PDU GFP-T .....	153
XX.	PDU CMF GFP .....	154
XXI.	Velocidades señales OTN .....	163
XXII.	Métodos de mapeo OTN .....	170
XXIII.	Mapeos OTN comunes.....	171
XXIV.	Valores $C_m$ fuente ODUflex (GFP) y velocidad ODUk.ts.....	182
XXV.	Costo propuesta de implementación EoS.....	195
XXVI.	Costo propuesta de implementación E-OTN .....	195
XXVII.	Costo propuesta de referencia .....	197
XXVIII.	Análisis financiero.....	199
XXIX.	Valor Actual Neto EoS .....	200
XXX.	Valor Actual Neto E-OTN.....	201
XXXI.	Tasa Interna de Retorno EoS .....	202
XXXII.	Tasa Interna de Retorno E-OTN.....	202
XXXIII.	Punto de equilibrio.....	203
XXXIV.	Punto de equilibrio E-OTN.....	204
XXXV.	Relación beneficio-costos EoS.....	205
XXXVI.	Relación beneficio-costos E-OTN .....	205

## GLOSARIO

- ADM** *Add/Drop multiplexer.* Multiplexor de agregación/sustracción, se refiere a equipos multiplexores con la capacidad de agregar (multiplexar) tributarios de bajo orden (baja velocidad) a una señal de mayor orden (mayor velocidad) y de sustraer (demultiplexar) tributarios de bajo orden de una señal de alto orden.
- ANSI** America National Standards Institute. Instituto de estándares nacionales americano, entidad regulatoria Norteamericana encargada de definir lineamientos generales para unificación de definiciones (i.e. protocolos).
- AU** *Administration unit.* Unidad administrativa, entidad empleada en la estructura de SDH.
- AUI** *Attachment unit interface.* Unidad de interface de acoplamiento.
- Bit** *Binary digit.* Dígito binario, dígito de sistema de numeración binario.

<b>BLAM</b>	<i>Binary Logarithmic Arbitration Method.</i> Método de arbitración logarítmica binaria, método para generar un valor binario arbitrario.
<b>Byte</b>	Tecnicismo de origen inglés, es la unidad fundamental de datos conformada por ocho bits contiguos.
<b>CBR</b>	<i>Constant bit rate.</i> Velocidad de bit constante, define un tipo de flujo en el que la velocidad de bits (información) se mantiene de manera constante.
<b>cHEC</b>	<i>Core header error check.</i> Chequeo de error de encabezado núcleo, parte de la estructura de la señal GFP.
<b>CMF</b>	<i>Client management frames.</i> Tramas de administración cliente, parte de la estructura de la señal GFP.
<b>C-n-Xc</b>	Estructura que nombra un contenedor en SDH conformado por “X” contenedores de orden “n” concatenados “c” contiguamente.
<b>CRC</b>	<i>Cyclic redundancy check.</i> Chequeo de redundancia cíclica, método para detectar errores en la información contenida.
<b>CRC-n</b>	<i>Cyclic redundancy check order n.</i> Chequeo de redundancia cíclica de orden n, método para detectar errores con la operación de un polinomio de orden “n”.

<b>CSMA/CD</b>	<i>Carrier-sense multiple access collision detection.</i> Protocolo empleado por Ethernet para la transmisión de señales en un medio compartido.
<b>CTRL</b>	<i>Control.</i> Control, palabra de control empleada por algún protocolo.
<b>DC</b>	<i>Direct current.</i> Corriente directa, flujo de corriente eléctrica caracterizada por mantener una polaridad constante.
<b>DNE</b>	<i>Data network element.</i> Elemento de red de data, cualquier equipo que forme parte de una red de datos.
<b>DNU</b>	<i>Do not use.</i> No utilizar, etiqueta empleada para establecer que la señal etiquetada de esta manera no debe ser utilizada por el receptor.
<b>DSAP</b>	<i>Destination service access point.</i> Punto destino de acceso de Servicio, indica la dirección objetivo.
<b>DWDM</b>	<i>Dense wavelength division multiplexing.</i> Multiplexación densa por división de longitud de onda, tecnología empleada para la transmisión por un medio compartido empleando señales ópticas de diferentes longitudes (WDM) de onda próximas entre sí (D).

<b>EOS</b>	<i>End of sequence.</i> Etiqueta empleada por protocolos para indicar fin de la secuencia de control transmitida.
<b>EoS</b>	<i>Ethernet over SDH.</i> Ethernet sobre SDH, se refiere al conjunto de protocolos que hacen viable el transporte de Ethernet en una red de SDH.
<b>EXI</b>	<i>Extension header identifier.</i> Identificador de encabezado extendido, etiqueta empleada para indicar que el encabezado tiene una estructura extendida.
<b>E-OTN</b>	<i>Ethernet over OTN.</i> Ethernet sobre OTN, se refiere al conjunto de protocolos que hacen posible el transporte de Ethernet en una red OTN.
<b>FCS</b>	<i>Frame check sequence.</i> Secuencia de chequeo de trama, secuencia enviada para confirmar la integridad de la información transmitida.
<b>FDDI</b>	<i>Fiber distributed data interface.</i> Interface de datos distribuidos por fibra, protocolo de transmisión de información por fibra óptica.
<b>FEC</b>	<i>Forward error correction.</i> Corrección de errores hacia delante, mecanismo de corrección de errores.
<b>FLP</b>	<i>Fast link pulse.</i> Pulso rápido de enlace, información de control empleada por Ethernet para determinar el estado del enlace.

<b>GFP</b>	<i>Generic Framing Procedure</i> . Procedimiento de tramado genérico, protocolo para transmisión de información asíncrona por redes síncronas.
<b>GID</b>	<i>Group identifier</i> . Identificador de grupo, etiqueta empleada por protocolos de transmisión.
<b>GMP</b>	<i>Generic mapping procedure</i> . Procedimiento de mapeo genérico, protocolo para adaptación de señales de velocidades diferentes a la velocidad de transmisión nativa.
<b>HOP</b>	<i>High order path</i> . Ruta de alto orden, encabezado de la estructura de SDH.
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> . Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos, encargado de la regulación e investigación de las ramas en cuestión.
<b>ITU-T</b>	<i>International Telecommunication Union Telecommunications Unit</i> . Unión internacional de telecomunicaciones unidad de telecomunicaciones, entidad responsable de velar por la estandarización y otras actividades en el área de telecomunicación a nivel internacional.
<b>L2</b>	<i>Layer 2</i> . Capa 2, se refiere a las capas detalladas dentro del modelo OSI.

<b>LAN</b>	<i>Local area network.</i> Red de área local, concepto de área administrativa normalmente ubicada dentro de una misma instalación física (e.g. edificio).
<b>LCAS</b>	<i>Link capacity adjustment scheme.</i> Esquema de ajuste de capacidad de enlace, protocolo que brinda la posibilidad de aumentar o reducir la capacidad de transporte de un enlace compuesto dinámicamente sin necesidad de interrumpir el servicio totalmente.
<b>LLC</b>	<i>Logical link control.</i> Control de enlace lógico, subcapa considerada en el protocolo Ethernet para tareas de interacción con capas superiores a capa 2.
<b>LSB</b>	<i>Less significant bit.</i> Bit menos significativo, se refiere al bit con menor ponderación en el sistema binario (i.e. $2^0$ ).
<b>MAC</b>	<i>Media access control.</i> Control de acceso al medio, subcapa considerada en el protocolo Ethernet para direccionamiento físico.
<b>MAU</b>	<i>Media attachment unit.</i> Unidad de acoplamiento al medio, interconecta la interface a la red Ethernet.
<b>MDI</b>	<i>Medium dependent interface.</i> Interface dependiente al medio, definida como interconexión entre el bloque de transmisión físico y el medio físico.

<b>MFAS</b>	<i>Multi frame alignment signal.</i> Señal de alineación de multi-trama, señal que contiene información sobre la alineación de la multi-trama de concatenación virtual.
<b>MFI</b>	<i>Multi frame indicator.</i> Indicador de multi-trama, información sobre la existencia de multi-trama de concatenación virtual.
<b>MIC</b>	Modulación por impulsos codificados, método de codificación de señales analógicas a digitales.
<b>MII</b>	<i>Media independent interface.</i> Interface independiente al medio, definida como interconexión entre el bloque de direccionamiento físico y el dispositivo de transmisión físico.
<b>MS</b>	<i>Multiplex section.</i> Sección de multiplexación, estructura contenida en la señal de SDH que transporta información de control.
<b>MSB</b>	<i>Most significant bit.</i> Bit más significativo, se refiere al bit de mayor ponderación de un número binario ( $2^n$ ).
<b>MST</b>	<i>Member status.</i> Estado de miembro, información de protocolo que indica el estado del miembro.
<b>NE</b>	<i>Network element.</i> Elemento de red, cualquier equipo que sea parte de la red.

<b>Nibble</b>	Tecnicismo de origen inglés, consiste en agrupación de cuatro bits, que corresponden a medio byte y a un número hexadecimal.
<b>NIC</b>	<i>Network interface card</i> . Tarjeta de interface de red, dispositivo físico que conecta un equipo a la red.
<b>NLP</b>	<i>Normal link pulses</i> . Pulsos de link normal, información de protocolo Ethernet para verificación de estado de enlace.
<b>NORM</b>	Normal. Normal, estado que indica operación normal.
<b>OA&amp;M</b>	<i>Operation, administration &amp; maintenance</i> . Operación, administración y mantenimiento, operaciones realizadas sobre una red de telecomunicaciones con ayuda de las facilidades incluidas en la tecnología.
<b>OADM</b>	<i>Optical add/drop multiplexer</i> . Multiplexor de agregación/sustracción óptico, equipos multiplexores con la capacidad de agregar (multiplexar) tributarios de bajo orden (baja velocidad) a una señal de mayor orden (mayor velocidad) y de sustraer (demultiplexar) tributarios de bajo orden de una señal de alto orden en el dominio óptico.
<b>OAM&amp;P</b>	<i>Operations, administration, maintenance &amp; provisioning</i> . Operación, administración y mantenimiento, operaciones realizadas sobre una red de

telecomunicaciones con ayuda de las facilidades incluidas en la tecnología.

- OCH** *Optical channel.* Canal óptico, se refiere a una lambda (longitud de onda) que transporta un servicio individual en tecnología de multiplexación por división de longitud de onda.
- ODU** *Optical data unit.* Unidad de data óptica, entidad que conforma la unidad de información en redes de transporte óptico.
- OH** *Over head.* Encabezado, porción de la estructura de una señal que lleva información de control.
- OMS** *Optical multiplexed section.* Sección multiplexada óptica, señal compuesta por múltiples canales ópticos (longitudes de onda)
- OMU** *Optical multiplex unit.* Unidad de multiplexación óptica, unidad que realiza la multiplexación de longitudes de onda a una señal compuesta por dichas longitudes de onda.
- Opcode** *Operation code.* Código de operación, información que refiere a una operación específica dentro del protocolo nativo en cuestión.

<b>OPU</b>	<i>Optical payload unit.</i> Unidad de carga óptica, entidad que brinda la capacidad de transporte en redes de transporte óptico.
<b>OSC</b>	<i>Optical supervisory channel.</i> Canal de supervisión óptico, capacidad de transmisión designada para fines de administración de redes ópticas.
<b>OSI</b>	<i>Open system interconnection.</i> Sistema de interconexión abierta, propuesta para estandarizar los sistemas de diferentes administraciones.
<b>OTM</b>	<i>Optical transport module.</i> Modulo de transporte óptico, entidad que facilita las unidades de transporte óptico.
<b>OTN</b>	<i>Optical transport network.</i> Red de transporte óptico, tecnología de transmisión basada en tecnologías ópticas. En este documento, OTN se refiere a la redes empleando el estándar ITU-T G.709 para señales WDM.
<b>OTS</b>	<i>Optical transport section.</i> Sección de transporte óptico, segmento de red en que se transmite según las definiciones de redes ópticas.
<b>OUT</b>	<i>Optical transport unit.</i> Unidad de transporte óptico, entidad de transporte de redes ópticas que conforma la unidad de transmisión nativa.

<b>PCM</b>	<i>Pulse code modulation.</i> Modulación por codificación de pulso, método de codificación de señales analógicas a digitales.
<b>PCS</b>	<i>Physical coding sublayer.</i> Subcapa de codificación física, subcapa que realiza la codificación de la información al formato de transmisión (e.g. niveles de voltaje, lambda, etc.).
<b>PDH</b>	<i>Plesynchronous digital hierarchy.</i> Jerarquía digital plesíncrona, protocolo de transmisión en que se transmite y recupera la información en operación con un reloj local referenciado a un reloj maestro.
<b>PDU</b>	<i>Protocol data units.</i> Unidad de data de protocolo, entidad de información en formato nativo bajo el protocolo en que se genere.
<b>PFI</b>	<i>Payload FCS indicator.</i> Indicador de FCS de carga, información sobre la existencia de secuencia de chequeo de trama.
<b>PHY</b>	<i>Physical.</i> Física, se refiere a la subcapa de los modelos Ethernet en que se define la transmisión de la señal por el medio físico.
<b>PLI</b>	<i>PDU length indicator.</i> Indicador de longitud de PDU, establece la longitud de la unidad de data del protocolo nativo.

<b>PMA</b>	<i>Physical medium attachment.</i> Acoplamiento al medio físico, subcapa que se refiere a la interconexión del medio de transmisión con la interface de transmisión.
<b>PMD</b>	<i>Physical medium dependent.</i> Dependiente del medio físico, subcapa que se refiere al dispositivo de transmisión específico según el tipo de medio de transmisión a emplear.
<b>ROADM</b>	<i>Reconfigurable OADM.</i> OADM reconfigurable, dispositivo que permite la reconfiguración electrónica de señales en redes ópticas.
<b>RS</b>	<i>Regeneration section.</i> Sección de regeneración, parte de la estructura de la jerarquía digital síncrona.
<b>SDH</b>	<i>Synchronous digital hierarchy.</i> Jerarquía Digital Síncrona, tecnología de transmisión basada en división de tiempo con una fuente de reloj central.
<b>STM</b>	<i>Standard transport module.</i> Modulo de transporte estándar, entidad de transporte básica de jerarquía digital síncrona.
<b>STP</b>	<i>Shielded twisted pair.</i> Par trenzado blindado, cableado físico empleado en redes Ethernet bajo ambientes con alta interferencia electromagnética.

<b>Transceiver</b>	<i>Transmitter receiver.</i> Transmisor receptor, dispositivo que realiza la transmisión y recepción de señales.
<b>TDM</b>	<i>Time division multiplexing.</i> Multiplexación por división de tiempo, tecnología de transporte que combina diferentes flujos mediante la reducción del ancho de los pulsos digitales (aumento de velocidad).
<b>TTI</b>	<i>Trail trace identifier.</i> Identificador traza de rastro, mecanismo de administración que permite la verificación de comunicación e identificación de enlaces en jerarquía digital síncrona.
<b>TUG</b>	<i>Tributary unit group.</i> Grupo de unidades tributarias, entidad que contiene varias unidades tributarias en la estructura de jerarquía digital síncrona.
<b>UTP</b>	<i>Unshielded twisted pair.</i> Par trenzado no blindado, cable normalmente empleado para redes Ethernet.
<b>VC</b>	<i>Virtual container.</i> Contenedor virtual, entidad que brinda la capacidad de transporte en la jerarquía digital síncrona.
<b>VCAT</b>	<i>Virtual concatenation.</i> Concatenación virtual, acrónimo para referir a concatenación virtual.

- VCG**                    *Virtual concatenation group.* Grupo de concatenación virtual, arreglo que combina la capacidad de transmisión de sus miembros individuales para brindar una capacidad mayor.
- VLI**                    *VCAT/LCAS information.* Información VCAT/LCAS, información referente a los protocolos de concatenación contigua y esquema de ajuste de capacidad de enlace.
- WAN**                    *Wide area network.* Red de área ancha, concepto de área administrativa de amplia cobertura geográfica.
- WDM**                    *Wavelength division multiplexing.* Multiplexación por división de longitud de onda, tecnología que transmite información por un medio compartido a través de la transmisión de diversos flujos por longitudes de onda diferentes.

## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se describen algunas características de las redes de transporte actuales, profundizando en las tecnologías: Ethernet, SDH y OTN.

Se inicia con las redes de datos, exponiendo el modelo de referencia OSI como punto de partida para la comprensión y desarrollo de las redes Ethernet; comprendidas las bases se explican algunos detalles del funcionamiento de las diferentes versiones de este protocolo: Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, 40 Gigabit Ethernet y 100 Gigabit Ethernet.

Posteriormente se desarrolla el tema de redes de voz TDM, describiendo la estructura y funcionamiento de: PDH y SDH. Con los conceptos expuestos previamente, se exponen las funcionalidades desarrolladas para la interacción de estas dos tecnologías: concatenación (VCTA), LCAS y GFP.

Se exploran las tendencias de la tecnología y su funcionamiento, con el desarrollo de nuevas redes ópticas (OTN), las cuales explotan las experiencias de tecnologías anteriores (AMP, BMP, GFP) y la implementación de nuevos métodos para satisfacer las demandas actuales (GMP). Finalmente, se expone un análisis financiero en el que se plantea un escenario para realizar la implementación de las tecnologías descritas.



# OBJETIVOS

## General

Esclarecer los beneficios puntuales de la integración de Ethernet al ser transportado por una red síncrona (SDH) y/o óptica (OTN).

## Específicos

1. Definir los procesos para realizar las diferentes fases en el desarrollo de la adaptación de tramas Ethernet a tramas de SDH.
2. Definir los procesos para realizar las diferentes fases en el desarrollo de la adaptación de tramas Ethernet a tramas de OTN.
3. Ilustrar las capacidades agregadas por diferentes aplicaciones adicionales a la tecnología básica de Ethernet sobre SDH/OTN.
4. Ilustrar un análisis costo/beneficio en la implementación de soluciones Ethernet sobre SDH/OTN.



## INTRODUCCIÓN

Las redes desarrolladas a lo largo de los años para transmitir información de voz, se basaban en el concepto de conmutación de circuitos en contraposición a las redes de datos, basadas en el concepto de conmutación de paquetes; la primera establece un recurso asignado individualmente de manera estática, mientras la segunda puede tomar diferentes caminos entre origen y destino durante el tiempo que se requiera. La interacción entre ambas soluciones no es inherente, debido a que surgieron para suplir necesidades diferentes; mientras la tendencia actual demanda la paulatina migración de redes predominantes para transmisiones vocales hacia redes para transmisiones de paquetes.

Dada esta situación de diferentes tecnologías en un mismo campo, es indispensable la intercomunicación de estas redes para extender las funcionalidades disponibles. Para poder atender a esta situación las soluciones ofrecidas han requerido realizar una manipulación sobre el tráfico nativo de red local (predominantemente Ethernet), para convertirlo a un protocolo de transporte (predominantemente SDH), previo a su transmisión. Esencialmente se plantean dos enfoques a este problema:

- Terminar el tráfico Ethernet y mapear la capa superior en un nuevo protocolo capa 2 (L2).
- Encapsular el tráfico Ethernet dentro de otro protocolo de capa 2 (L2).

Cualquiera que resultara la opción, ambas técnicas introducen complejidad y costo adicional en la interface. Por citar algunos casos:

- Problemas en la capacidad de administración de la red.
- Equipo adicional que realice el cambio de protocolo nativo (Ethernet) al transmitido.
- Entrega de tráfico no-Ethernet, que implica personal capacitado en tecnologías WAN.

Dada la complejidad y costo que conlleva la implementación de las soluciones exploradas para la interface de estas diferentes tecnologías, queda la necesidad de solventar un problema esencial en la interconexión de estos protocolos. Las tasas de transmisión Ethernet son diferentes a las de SDH, y los métodos de encapsulación ineficientes.

## 1. REDES DE DATOS Y REDES DE VOZ

Las redes desarrolladas a lo largo de los años para transmitir las conversaciones vocales, se basaban en el concepto de conmutación de circuitos. La realización de una comunicación requiere el establecimiento de un circuito físico durante el tiempo que dura ésta, lo que significa que los recursos que intervienen en la realización de una llamada no pueden ser utilizados en otra, hasta que la primera no finalice, incluso durante los silencios que se suceden dentro de una conversación típica.

En contraposición a esto se tienen las redes de datos, basadas en el concepto de conmutación de paquetes, o sea, una misma comunicación sigue diferentes caminos entre origen y destino durante el tiempo que dura, lo que significa que los recursos que intervienen en una conexión pueden ser utilizados por otras conexiones que se efectúen al mismo tiempo.

Es obvio que el segundo tipo de redes proporciona a los operadores una relación ingreso/recursos mayor, es decir, con la misma cantidad de inversión en infraestructura de red, obtiene mayores ingresos con las redes de conmutación de paquetes, pues puede prestar más servicio a sus clientes. Otra posibilidad sería que prestará más calidad de servicio y velocidad de transmisión, por el mismo precio.

Lo que conduce a la interrogante, si las redes de conmutación de paquetes son tan buenas, ¿por qué no se utilizan ya para las llamadas telefónicas? El motivo es que este tipo de redes también tiene desventajas.

Transportan la información dividida en paquetes, por lo que una conexión suele consistir en la transmisión de más de un paquete. Estos paquetes pueden perderse, y además no hay una garantía sobre el tiempo que tardarán en llegar de un extremo al otro de la comunicación.

Por tanto, una conversación de voz, en que se pierde de vez en cuando, paquetes perdidos, y que sufre retrasos importantes en su cadencia. Para ilustrar esta situación, se puede considerar un servicio de mensajería instantánea, en que se reciben dos o tres preguntas seguidas del interlocutor, quien no recibe lo que le fue enviado, y por consiguiente él sigue con otras preguntas.

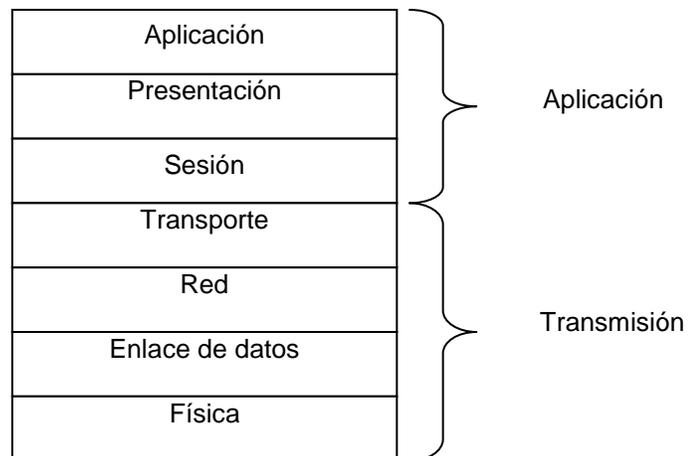
Estos problemas de calidad de servicio telefónico a través de redes de conmutación de paquetes van disminuyendo con la evolución de las tecnologías involucradas, y poco a poco se va acercando el momento de la integración de las redes de comunicaciones de voz y datos.

## 2. EL MODELO DE REFERENCIA OSI

El modelo OSI fue creado para facilitar la transferencia de datos entre nodos de una red. Éste no es un modelo físico, más bien es un conjunto de lineamientos utilizados para crear e implementar aplicaciones. Además brinda parámetros necesarios para crear e implementar estándares para dispositivos de redes y esquemas de interoperabilidad.

El modelo OSI posee siete diferentes capas, que se dividen en dos grupos principales. Las primeras tres capas se definen como aplicaciones en las que las estaciones terminales se comunican una con otra. Las cuatro restantes definen como se transmite la información de punto a punto.

Figura 1. **Modelo OSI**



Fuente: elaboración propia.

## **2.1. Aplicación**

Provee interface al usuario. Esta capa precisa los medios para que el usuario final se comunique con el computador. Es responsable de identificar y establecer la disponibilidad correspondiente a la comunicación deseada, determinando la existencia de recursos necesarios para que esta exista.

A pesar de que las aplicaciones puedan requerir recursos únicamente de un computador, podrían integrar componentes de comunicación de más de una aplicación de red; por ejemplo, transferencia de archivos, acceso remoto, actividades de administración de red, por mencionar algunos.

## **2.2. Presentación**

Presenta los datos y realiza procesamientos como encriptación. Esta capa presenta los datos a la capa de aplicación. Es esencialmente un traductor y brinda funciones de codificación y conversión. Una técnica exitosa de transferencia de datos es adaptar los datos a un formato estándar antes de su transmisión. Los elementos terminales son configurados para recibir estos en formato genérico, para luego convertirlos a su formato nativo para su propia lectura. Al brindar estos servicios de traducción, la capa de presentación asegura que los datos transferidos de una capa de aplicación de un sistema hacia otro, puedan ser comprendidos por la misma capa de otro sistema anfitrión.

El modelo OSI define protocolos estándar para establecer el formato de datos. Tareas tales como encriptación, desencriptación, compresión y descompresión son asociadas a esta capa.

### **2.3. Sesión**

Mantiene los datos separados entre diferentes aplicaciones. Esta capa es responsable para establecer, administrar y finalizar sesiones entre diferentes elementos de la capa de presentación. Además provee control entre dispositivos, o nodos, coordina comunicación entre sistemas y organiza la comunicación ofreciendo diferentes modos (*simplex*, *half-duplex*, *full-duplex*). Esencialmente esta capa mantiene separados unos de otros, los datos de diferentes aplicaciones.

### **2.4. Transporte**

Brinda comunicación confiable o no confiable. Realiza corrección de errores antes de retransmitir.

Los servicios localizados en esta capa realizan segmentación y reensamblaje de datos provenientes de las aplicaciones superiores, para integrarla al mismo flujo de datos. Estos servicios proporcionan transporte de un equipo terminal a otro, y establecen conexión lógica entre equipo transmisor y equipo destinatario.

La capa de transmisión es responsable de proveer mecanismos para multiplexar aplicación de capas superiores, establecimiento de sesión, y finalización de circuitos virtuales. Asimismo, oculta detalles de la información de red de las capas superiores, brindando transferencia de datos transparente.

La integridad de los datos es garantizada por la capa de transporte, manteniendo control de flujo y permitiendo la opción de solicitar transporte de datos confiable entre sistemas.

El control de flujo previene al sistema transmisor en un extremo de la conexión, desbordar la capacidad de recepción en el sistema receptor. El transporte confiable de datos emplea comunicación orientada a conexión; esta comunicación implica un proceso de *handshake*, a través de segmentos de solicitud y de reconocimiento.

## **2.5. Red**

Realiza direccionamiento lógico, que se utiliza para determinar rutas. Esta capa es responsable del enrutamiento a través de una red y direccionamiento; es decir, realiza la transportación de tráfico entre dispositivos que no se encuentran directamente conectados.

En esta capa se encuentran dos tipos de paquetes: paquetes de datos y paquetes de actualización de rutas.

## **2.6. Enlace de datos**

La capa de enlace de datos brinda transmisión confiable a través de enlaces físicos a través de la red. Diferentes especificaciones de enlace de datos definen diferentes características de protocolos y redes, y control de flujo. En el direccionamiento físico (en contraposición a direccionamiento de red) se define cómo los dispositivos son direccionados en la capa de enlace de datos.

La topología de red consiste en las especificaciones de la capa de enlace de datos que a menudo define cómo se interconectan los dispositivos, tal como en un medio compartido (bus) o en una topología anillada.

Notificaciones de error alertan a protocolos de capas superiores que ha sucedido un error de transmisión, y el control de secuencia reordena las tramas que son transmitidas fuera de orden.

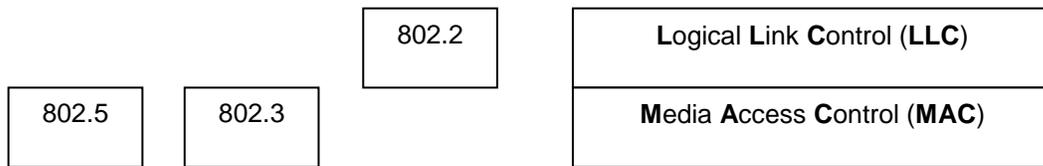
Finalmente, el control de flujo modera la transmisión de información para que el dispositivo receptor no sea saturado con más tráfico que el que puede manejar en dado tiempo.

La IEEE ha subdividido la capa de enlace de datos en dos subcapas: control de enlace lógico (LLC, *logical link control*) y control de acceso de medio (MAC, *media access control*).

La subcapa de *logical link control* (LLC) maneja la comunicación entre dispositivos a través de un único enlace de una red, y brinda servicios empleados por protocolos de capas superiores, orientados a conexión y sin conexión. Se define en esta subcapa un número de campos en la trama de enlace de datos que permite a múltiples protocolos de capas superiores compartir un único enlace de datos. La subcapa de *media access control* (MAC) accede al medio físico de la red; en este se definen las direcciones MAC, que posibilitan a múltiples dispositivos identificarse individualmente en la capa de enlace de datos.

La figura ilustra la capa de enlace de datos con la especificación de Ethernet de IEEE. Cabe recalcar que el estándar IEEE 802.2 es empleado en conjunción con otros estándares IEEE, agregando funcionalidad a los estándares IEEE existentes.

Figura 2. **Capa de enlace de datos IEEE**



Fuente: elaboración propia.

## 2.7. Física

Moviliza bits entre dispositivos. Especifica voltajes, velocidad de transmisión sobre el medio, y mapa de conexión entre cables.

La capa física tiene dos responsabilidades primordiales, enviar y recibir bits. Esta capa comunica directamente con los diferentes tipos de medios de comunicación. Diferentes medios representan estos valores de bits en formas diferentes. Algunos emplean tonalidades de audio, mientras otros utilizan transiciones de estado. Se requieren protocolos específicos para cada tipo de medio, para describir los patrones a implementarse, cómo son codificados los datos en señales en los medios, y las cualidades del medio físico al que está adherida la interface.

La capa física define las especificaciones eléctricas, mecánicas, de procedimiento y funcionales requeridas, para activación, mantenimiento y desactivación de un enlace físico entre sistemas terminales.

### 3. REDES ETHERNET

El término Ethernet se refiere a una familia de estándares que en conjunto definen la capa física, así como la de enlace datos. La variedad de estándares abarcan los relacionados a Ethernet, que han evolucionado considerablemente desde sus inicios en las redes de comunicación locales, hasta encontrarse comúnmente, en redes metropolitanas. Se divide el acercamiento a estos estándares con base en su evolución, subdividiéndolos en estándares implementados principalmente en redes locales y posteriormente abarcando las nuevas generaciones de Ethernet, con mayores capacidades de transmisión y distancias más amplias. Históricamente se pueden abarcar las primeras definiciones de Ethernet y ampliamente conocidas como:

- Ethernet y IEEE 802.3, 10 Mbps sobre cable coaxial.
- 100 Mbps Ethernet, conocido como Fast Ethernet, opera a 100 Mbps, principalmente sobre cable trenzado.
- 1000 Mbps, conocido como Gigabit Ethernet, opera a 1000 Mbps, sobre fibra óptica y cable trenzado.

Debido al inherente bajo costo de implementación comprobado, confiabilidad, y simplicidad de instalación y mantenimiento, Ethernet evoluciona para satisfacer las demandas presentes de mayor capacidad de transmisión.

A partir de estas necesidades se han definido actualmente tres estándares de Ethernet adicionales:

- 10 Gbps, opera a 10 Gbps sobre fibra óptica y cable trenzado
- 40 Gbps, opera a 40 Gbps sobre fibra óptica principalmente
- 100 Gbps, opera a 100 Gbps sobre fibra óptica principalmente

Los estándares, asimismo, difieren en los tipos de cableado y las longitudes que pueden ofrecer. Para satisfacer la amplia variedad de redes locales necesarias (diferentes velocidades, diferentes tipos de cableados, y otros factores), han sido creadas diferentes variaciones de estándares Ethernet.

El Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos, IEEE por sus siglas en inglés, ha definido diferentes estándares Ethernet desde que tomó el proceso de estandarización de las redes de área local, en los primeros años de la década de 1980. La mayoría de los estándares definen alguna variación de Ethernet en la capa física, con diferentes velocidades y diferentes tipos de cableado. Adicionalmente, en la capa de enlace de datos, la IEEE separa las funciones en dos subcapas:

- La subcapa de control de acceso al medio o *media access control*, *MAC*. La recomendación 802.3.
- La subcapa de control de enlace lógico o *logical link control*, *LLC*. La recomendación 802.2.

A continuación se muestran los estándares más comunes de las redes Ethernet actuales.

Tabla I. **Familias Ethernet**

<b>Nombre común</b>	<b>Velocidad (Mbps)</b>	<b>Nombre alternativo</b>	<b>Nombre del estándar IEEE</b>	<b>Tipo de medio máxima distancia</b>
Ethernet	10	10BASE-T	IEEE 802.3	Cobre, 100 m
Fast Ethernet	100	100BASE-TX	IEEE 802.3u	Cobre, 100 m
Gigabit Ethernet	1000	1000BASE-LX 1000BASE-SX	IEEE 802.3z	SMF 5 km MMF 500 m
Gigabit Ethernet	1000	1000BASE-T	IEEE 802.3ab	100 m
10 Gigabit Ethernet	10 000	10 GBASE-SR 10 GBASE-LR 10 GBASE-ER 10 GBASE-SW 10 GBASE-LW 10 GBASE-EW	IEEE 802.3ae	MMF 30-80 m SMF 10 km SMF 40 km MMF 30-80 m SMF 10 km SMF 40km
10 Gigabit Ethernet	10 000	10 GBASE-T	IEEE 802.3an	UTP Cat 6a 100m
40 Gigabit Ethernet	40 000	40 GBASE-SR4 40 GBASE-SR4 40 GBASE-LR4	IEEE 802.3ba	OM3 MMF 100 m OM4 MMF 150 m SMF 10 km
100 Gigabit Ethernet	100 000	100 GBASE-SR10 100 GBASE-SR10 100 GBASE-LR4 100 GBASE-ER4	IEEE 802.3ba	OM3 MMF 100m OM4 MMF 150 m SMF 10km SMF 40km

Fuente: elaboración propia.

Ethernet es un método de acceso a un medio que permite a todos los dispositivos conectados a una red, compartir el mismo ancho de banda de un enlace.

La popularidad de Ethernet fue obtenida gracias a su facilidad de implementación, depuración y a la actualización a nuevas tecnologías a redes existentes.

En el estándar Ethernet, existen dos modos de operación: *half-duplex* y *full-duplex*. En el modo *half-duplex*, se transmite data empleando el protocolo *carrier-sense multiple access/collision detection* (CSMA/CD) sobre un medio compartido. Las principales desventajas de *half-duplex* son las limitaciones en distancia y eficiencia, en las cuales la distancia del enlace es limitada por el tamaño mínimo de la trama MAC. Esta restricción reduce la eficiencia drásticamente para transmisiones de alta velocidad. Por lo tanto, la técnica de extensión de portadora es utilizada para garantizar la trama de 512 bytes en Gigabit Ethernet, para alcanzar una distancia razonable.

### **3.1. Encapsulación de datos**

Cuando un *host* transmite información a través de una red hacia otro dispositivo, la información es “encapsulada” con información de protocolo en cada capa del modelo OSI. Para comunicarse e intercambiar información, cada capa emplea partículas llamadas *protocol data units* (PDU, unidades de datos de protocolo). Estas partículas comprenden la información de control agregada a los datos en cada capa del modelo OSI, información que es típicamente agregada antes del campo de datos, a manera de “encabezado”; sin embargo puede encontrarse asimismo al final de la trama.

Cada PDU es adjuntado a los datos transmitidos por medio de encapsulamiento en cada capa del modelo OSI.

Cada PDU tiene un nombre específico, determinado por la información que cada encabezado contenga. Esta información PDU es interpretada únicamente por la capa correspondiente en el dispositivo receptor, para luego ser separada la información de los encabezados y finales de trama, cuando corresponda, y ser entregada a la capa superior.

El flujo de datos es entonces entregado a la capa de transporte, la cual prepara un circuito virtual hacia el dispositivo receptor, al enviar un paquete para sincronización. El flujo de datos es entonces fragmentado en partes más pequeñas, y un encabezado (PDU) de la capa de transporte es creado, y esta unidad de protocolo pasa a ser llamada “segmento”. La información de control en el encabezado es agregada al encabezado del campo de datos. Cada segmento es secuenciado de tal manera que el flujo pueda ser reconstruido en el dispositivo receptor, de manera exacta a como fue transmitido.

Cada segmento es entonces entregado a la capa de red para su direccionamiento de red y enrutamiento a través de la red misma. Es empleado un direccionamiento lógico, por ejemplo, IP, para transmitir cada segmento a su red destino correcto. El protocolo de capa de red agrega un encabezado de control al segmento proveniente desde la capa de transporte, y ahora es llamado “paquete” o “datagrama”. Es necesario recalcar que las capas de red y transporte trabajan conjuntamente para reconstruir el flujo de datos en un dispositivo receptor. Sin embargo, estas capas no cumplen la función de distribuir sus propios PDU en un segmento de red específico, que es la única forma de transmitir la información hacia un enrutador o un receptor.

La capa de enlace de datos es la responsable de tomar los paquetes provenientes de la capa superior, de red, y colocarlos sobre el medio de red (cables de cobre o en una red inalámbrica).

Esta capa encapsula cada paquete en una trama, y el encabezado de la trama porta la dirección de hardware de los dispositivos origen y destino. Si el dispositivo se encuentra en una red remota, entonces la trama es enviada a un enrutador, para ser enrutada a través de diferentes redes. Una vez arriba, en la red destino, una nueva trama es utilizada para dirigir la información al dispositivo destino.

Para colocar esta trama en una red, debe primero ser codificada en una señal digital. Dado que una trama es en realidad un grupo lógico de 1 y 0, la capa física es responsable de encapsular estos dígitos en una señal digital, la cual es interpretada por dispositivos en la misma red local. Los dispositivos receptores sincronizarán con la señal digital y extraerán los 1 y 0 de esta. A este punto los dispositivos construirán las tramas, ejecutarán un chequeo de redundancia cíclica (CRC, por sus siglas en inglés), y corroborarán el resultado contra el resultado del campo FCS de la trama. Si estos concuerdan, se extraerá el paquete de dicha trama, y el encabezado y final de trama serán descartados. Este proceso es llamado desencapsulamiento.

El paquete es entregado a la capa de red, donde la dirección destino es comparada. Si la dirección concuerda, el segmento es extraído del paquete, y la información de paquete es descartada conservando el segmento. Luego el segmento es procesado en la capa de transporte, que reconstruye el flujo de datos y reconoce la recepción a la estación transmisora, indicando que ha recibido cada pieza. Entonces se entrega el flujo de datos a la capa superior de aplicación.

En el dispositivo transmisor, el método de encapsulamiento se desarrolla, de la siguiente manera:

- La información de usuario es convertida a datos para transmisión en la red;
- Los datos son convertidos en segmentos y una conexión confiable es establecida entre los dispositivos transmisor y receptor;
- Los segmentos son convertidos a paquetes o datagramas, y una dirección lógica es agregada, de manera que cada paquete pueda ser enrutado a través de diferentes redes;
- Paquetes o datagramas son convertidos a tramas para su transmisión sobre una red local. Direcciones hardware (Ethernet) son empleadas para identificar de manera inequívoca los dispositivos sobre un segmento de red local.

Tramas son convertidas a bits, y codificadas a señales digitales conjunto con un esquema de sincronismo.

### **3.2. Protocolo CSMA/CD**

Algunas de las redes Ethernet, emplean algo llamado *carrier sense multiple access with collision detect (CSMA/CD)*; un método que permite a los diferentes dispositivos compartir ancho de banda equitativamente, sin que dos dispositivos transmitan a un mismo tiempo en el medio compartido de red.

El protocolo *CSMA/CD* trabaja de manera que cuando un nodo requiere transmitir sobre la red, primero escucha en busca de alguna señal sobre el medio. Si no hay otro dispositivo transmitiendo, se procederá a transmitir. Adicional a esto, el nodo transmisor constantemente monitorea el medio para asegurarse que ningún otro dispositivo se encuentre transmitiendo.

Si se diera el caso en que se detecta la transmisión de otro dispositivo sobre el medio, el nodo transmisor enviará una señal especial (*jamming signal*), que provocará que todos los dispositivos sobre esa red suspendan la transmisión. Todos los dispositivos en la red responden a esta señal, esperando cierto tiempo antes de intentar transmitir de nuevo. Algoritmos de espera determinan en qué momento las estaciones vecinas retransmiten de nuevo. Si luego de 15 intentos continúan existiendo colisiones, los nodos que intentan transmitir habrán agotado el tiempo de espera.

Las reglas básicas establecidas por este protocolo son:

- La red es monitoreada en busca de una señal “portadora” (*carrier*). Este proceso es conocido como “censado de portadora” (*carrier sense*).
- Si es detectada una señal portadora, la transmisión es descartada, y continúa monitoreando la red hasta que cese la existencia de una señal portadora.
- Si una señal portadora no es detectada, y ese periodo es igual o mayor al silencio intertrama, entonces comienza a transmitir.
- Durante la transmisión, el nodo transmisor monitorea el medio en busca de alguna colisión.

- Si una colisión es detectada, el transmisor cesa el envío de información y manda una señal de 32 bits, conocida como “*jam sequence*”. Si una colisión es detectada al inicio de una transmisión, el transmisor completará el envío del preámbulo de la trama antes de transmitir la secuencia de bloqueo (*jam sequence*). La secuencia de transmisión es transmitida para asegurar que la duración de la colisión es suficientemente prolongada para ser percibida por todos los elementos de red.
- Luego de transmitir una secuencia de bloqueo, la estación transmisor espera un periodo aleatorio de tiempo determinado por un número generado al azar antes de comenzar el proceso de transmisión. Este proceso es llamado “*back off*”. La probabilidad de repetición de una colisión es reducida, ya que estaciones vecinas esperan un periodo de tiempo aleatorio para retransmitir.
- Si ocurre una colisión de manera repetitiva, entonces la transmisión es repetida, pero el tiempo aleatorio de espera es incrementado en cada reincidencia. Esto reduce aún más la posibilidad de una colisión repetida.

Este proceso es repetido hasta que se transmite la trama sin colisión. Una vez se transmite exitosamente la trama, se limpia el contador de colisiones empleado para incrementar el tiempo de espera (*back off*) luego de cada colisión reincidida.

### 3.3. *Slot time*

El término “*slot time*” es un parámetro clave en la operación de una red Ethernet *half-duplex*. Es definido como tiempos de 512 bits para redes Ethernet que operan a 10 y 100 Mb/s (megabits por segundo), y tiempos de 4096 bits para redes Gigabit Ethernet. Para que cada transmisor detecte colisiones confiablemente, el mínimo tiempo de transmisión para una trama completa debe ser por lo menos un *slot time*, y el tiempo requerido para que una colisión se propague a todas las estaciones de la red, debe ser menor a un *slot time*. De tal manera, que una estación no pueda concluir la transmisión de una trama antes, sin detectar si ha ocurrido una colisión.

Las señales transmitidas por estaciones Ethernet encuentran retardos a lo largo de la red. Estos retardos consisten del tiempo requerido por una señal para viajar a través de los segmentos de cables, y los retardos lógicos encontrados cuando una señal pasa a través de componentes electrónicos en tarjetas de interface de red (NIC) y repetidores. Entre más largos sean los segmentos de cable y más repetidores se encuentren en la red, mayor será el tiempo necesario para que la señal se propague de un extremo a otro extremo de la red. El tiempo que toma a una señal viajar entre las dos estaciones que se encuentran más alejadas en la red, se conoce como máximo retardo de propagación de la red.

Para que una estación transmisora detecte que su señal emitida ha provocado una colisión, dicha señal debe propagarse a través de la red hacia otra estación que detecte la colisión. Esta debe de transmitir una señal de bloqueo (*jam signal*) para indicar que una colisión ha sido detectada. La señal de bloqueo debe propagarse de vuelta por la red antes de ser detectada por la estación transmisora.

El tiempo total de retardo de propagación con retorno y el tiempo requerido para transmitir una señal de bloqueo son los componentes que definen la longitud del *slot time* de Ethernet.

*Slot time* es un parámetro importante, ya que define:

- El *slot time* de 512 bits establece el tamaño mínimo de una trama Ethernet como 64 bytes. (El *slot time* de 4096 bits para Gigabit Ethernet requiere un “campo de extensión” adicional a las tramas para conformar el tamaño mínimo de transmisión a 512 bytes). Cualquier trama menor a 64 bytes de longitud es considerado un “fragmento de colisión”, y es automáticamente descartada por las estaciones receptoras.
- El *slot time* establece un límite en el tamaño de la red en términos de la longitud máxima en los segmentos de cable en una red y el número de repetidores que pueden ubicarse en un recorrido. Si el tamaño de una red se vuelve demasiado grande, puede ocurrir un fenómeno llamado colisión tardía. Las colisiones tardías son consideradas una falla en la red, porque son detectadas demasiado tarde en la trama transmitida, para ser automáticamente manejada por la función de control de acceso al medio de Ethernet. La trama transmitida será descartada, requiriendo que la aplicación de software detecte la pérdida de la misma e inicie la retransmisión.
- El *slot time* asegura que si una colisión ocurriera, será detectada en los primeros 512 bits (4096 bits para Gigabit Ethernet) de la trama transmitida. Esto simplifica la implementación del manejo de una retransmisión luego de una colisión.

El *slot time* fue ampliado de un tiempo de 512 bits a 4096 bits para redes Gigabit Ethernet, dado que a más alta tasa de transmisión de Gigabit Ethernet, las señales se propagan una distancia muy corta en el tiempo de 512 bits. A la velocidad de Gigabit, un *time slot* de 512 bits proveería una distancia red con distancias máximas alrededor de 20 metros. A partir de esta limitante, el concepto de extensión de portadora fue implementado para incrementar el *slot time* a 4096 bits. Al incrementar el tamaño del *slot time* y limitando el número de repetidores en una red a únicamente uno, una red Gigabit Ethernet puede soportar distancias de hasta 200 metros.

### **3.4. Back off**

*Back off* es el proceso por el cual una estación transmisora determina el tiempo de espera subsecuente a una colisión antes de intentar retransmitir una trama. Si todas las estaciones esperaran el mismo periodo de tiempo antes de la retransmisión, entonces ocurriría otra colisión inevitablemente. Esta situación es evitada al generar un tiempo de espera aleatorio en cada estación, antes de censar por una señal portadora. Este periodo es conocido como el retardo de espera (*back off delay*).

El algoritmo de espera implementado en Ethernet es oficialmente conocido como *truncated binary exponential back off*, (espera exponencial binaria truncada). Subsiguiente a una colisión, cada estación genera un número aleatorio contenido en un rango de valores. Luego se aguarda ese número de *slot times* antes de intentar retransmitir. El rango de valores aumenta exponencialmente luego de cada retransmisión fallida. Para el primer intento, el rango es de 0 a 1; para el segundo intento, es de 0 a 3; para el tercer intento, de 0 a 7 y así sucesivamente.

Si ocurren colisiones repetitivamente, el rango continúa aumentando hasta que luego de diez intentos alcanza de 0 a 1023 *slot times*. Luego de alcanzar este rango, el mismo continúa fijo de 0 a 1023. Si una estación continúa detectando colisiones luego de 16 intentos, la función MAC reporta “error de colisiones excesivas”. Entonces la trama transmitida es descartada, requiriendo que la aplicación detecte la pérdida de información e inicie la retransmisión.

La espera exponencial binaria resulta en un retardo mínimo antes de retransmitir cuando el tráfico sobre una LAN es ligero. Cuando el tráfico es ligero, colisiones repetitivas causan que el rango de espera se incremente, aminorando la posibilidad de nuevas colisiones. En una red en el que el tráfico es extremadamente alto, colisiones repetitivas generarán errores de colisiones excesivas. A su vez estos errores son el indicador de que la carga de tráfico ha alcanzado un punto en el que una sola red Ethernet ya no es eficiente en su manejo.

### **3.5. Efecto de captura**

Cuando la red opera bajo una carga de tráfico pesada, el algoritmo de espera exponencial binaria puede exhibir un problema de inequidad conocido como “efecto de captura”. El problema resulta del manejo de los contadores de colisiones.

Cada estación actualiza sus contadores de colisiones independientemente y solo después de intentar una retransmisión. Únicamente la estación que consiguió transmitir reinicia su contador de colisiones, luego de una transmisión exitosa. Esta situación beneficia a una sola estación transmisora permitiéndole “capturar” la red por un periodo de tiempo extendido.

En 1994 fue propuesto un nuevo algoritmo de espera llamado método de arbitración logarítmica binaria (*binary logarithmic arbitration method, BLAM*), para aliviar el efecto de captura. Se formó el grupo IEEE 802.3w para agregar BLAM como una característica opcional al estándar de Ethernet. A pesar de que resultados obtenidos por simulación probaron que BLAM ofrecía una mejora definitiva al algoritmo entonces actual, el trabajo para incorporarlo al estándar Ethernet nunca se completó, dado el cambio hacia *full-duplex* Ethernet y la falta de interés en actualizar el hardware *half-duplex*.

### **3.6. *Half-duplex***

El Ethernet *half-duplex* fue definido en el RFC 802.3 original, en el que Ethernet utiliza solamente un par de claves con señal digital, recorriendo en ambas direcciones sobre el medio.

Ethernet *half-duplex* es la forma tradicional de Ethernet que emplea el protocolo CSMA/CD. Este utiliza el protocolo CSMA/CD para evitar colisiones y retransmitir en caso ocurriera alguna.

### **3.7. *Full-duplex***

La realización del estándar 802.3x de la IEEE, definió un segundo modo de operación para Ethernet, llamado "*full-duplex*", el cual relevó la utilización del protocolo CSMA/CD. Este modo de transmisión permite a dos estaciones intercambiar información simultáneamente sobre un enlace punto a punto conformado por recorridos independientes para transmisión y recepción. Ante esta situación, en que cada estación puede transmitir y recibir información simultáneamente, el ancho de banda originado del enlace resulta el doble.

La operación de *full-duplex* queda restringida a un medio capaz de soportar transmisión y recepción simultánea sin interferencia. Esta restricción implica un enlace punto a punto que conecta únicamente a dos estaciones, entre las cuales ambas deben soportar la operación de *full-duplex*; estas transmitirán en el momento necesario, limitado únicamente por la separación mínima entre tramas.

Cuando un puerto *full-duplex* es implementado, se conecta al terminal remoto y entonces realiza una negociación con este. Esta negociación es llamada mecanismo de autodetección, el cual primero establece la capacidad de transmisión (10, 100 o 1000 Mbps), luego el tipo de transmisión, si será *full-duplex* o *half-duplex*.

### **3.8. Tramas de pausa**

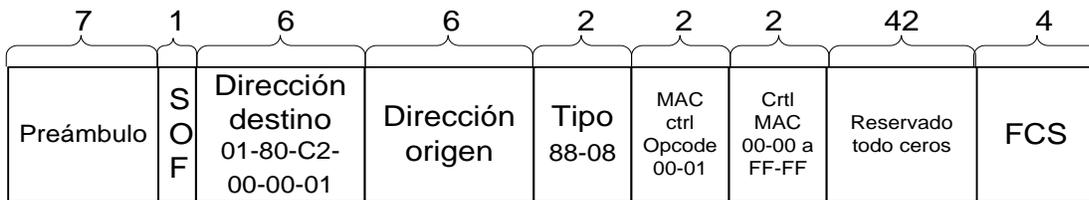
La implementación del modo *full-duplex* al estándar Ethernet, conllevó la inclusión de control de flujo, como opcional, conocido como *PAUSE Frames* (tramas de pausa). Estas tramas, permiten a una estación terminal detener temporalmente el tráfico proveniente de su contraparte, a excepción de las tramas de control MAC.

Esta trama especial puede ser empleada en un ambiente en que un nodo terminal transmita tramas a una rata que provoque congestión en el dispositivo destino. Caso en el cual, el nodo congestionado transmitiría una trama de pausa hacia el nodo transmisor, requiriendo que este pausara temporalmente el envío de información, hasta que el periodo de tiempo haya transcurrido. Esta pausa momentánea permite que el nodo congestionado se recupere, y que se prosiga con la comunicación sin errores.

Este protocolo es bidireccional, en cuyo funcionamiento la única trama que puede ser enviada es una trama de pausa, aun en un estado de transmisión pausada. El soporte para este tipo de trama es opcional entre los dispositivos que implementan el modo *full-duplex*. Así como es válido en un dispositivo soportar solo la mitad del protocolo, es decir, que pueda transmitir tramas de pausa sin contar con la capacidad de decodificarlas en caso de recibirlas, y viceversa, los dispositivos que soportan esta función, emplean el protocolo de autonegociación para descubrir si esta es disponible.

El formato de una trama de pausa incluye un campo único que define el tipo de trama que representa, y es concordante con el estándar Ethernet, el cual se representa como:

Figura 3. **Formato trama de pausa Ethernet**



Fuente: elaboración propia.

La dirección destino de la trama puede ser establecida a una dirección única, o a la dirección multicas 01-80-C2-00-00-01 (hex). Esta dirección *multicast* es reservada por el estándar IEEE 802.3, para utilizarse por las tramas de control MAC. Es también reservada en el estándar IEEE 802.1D *bridging* como una dirección que no será transmitida por *bridges*.

- El campo “*Type*” (tipo) de la trama de pausa es establecida a 88-08 (hex) para indicar que la trama es una trama de control MAC.

- El campo de control MAC *Opcode* es establecido a 00-01 (hex) para indicar que el tipo de trama de control MAC empleado es una trama de pausa. La trama de pausa es el único tipo de trama de control MAC actualmente definida.
- El campo de parámetros de control MAC contiene un valor de 16 bits que especifica la duración de la pausa en unidades tiempo de 512 bits. Los valores válidos son de 00-00 a FF-FF (hex). Si una trama de pausa adicional es recibida antes que la duración de la actual pausa expire, este nuevo parámetro reemplaza el tiempo de pausa actual, por lo que una trama de pausa con parámetro cero permite que el tráfico sea reanudado inmediatamente.
- Un campo reservado de 42 bytes (trasmitido como todos ceros) es necesario para rellenar a la longitud mínima de trama Ethernet, una trama de pausa.

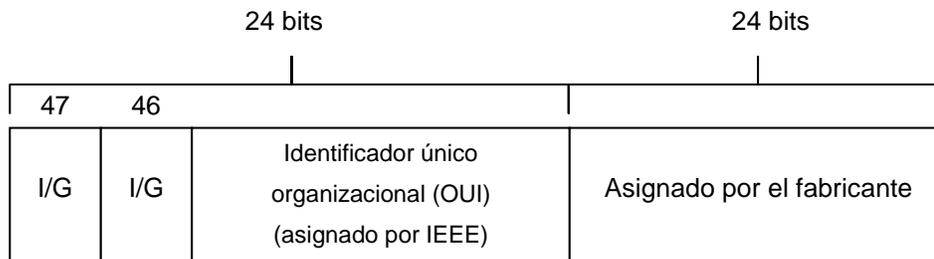
### **3.9. Direccionamiento Ethernet**

El direccionamiento Ethernet emplea la dirección de control de acceso al medio (MAC, por sus siglas en inglés) almacenada en cada una de las tarjetas de Interface a la red Ethernet (NIC por sus siglas en inglés).

La dirección MAC, también llamada dirección física, es una dirección de 48 bits escrita en un formato canónico, para asegurar que cuando menos las direcciones tengan el mismo formato, aun cuando se utilicen diferentes tecnologías LAN.

La figura muestra la dirección MAC de 48 bits y cómo está organizada.

Figura 4. **Estructura dirección MAC**



Fuente: elaboración propia.

El identificador organizacional único (OUI por sus siglas en inglés) es asignado por IEEE a una organización (24 bits o 3 bytes). Dicha organización, asigna una dirección administrada globalmente (24 bits o 3 bytes), la cual es única (supuestamente) a cada adaptador manufacturado. El bit 46, debe ser establecido como 0, si es asignado globalmente por el fabricante y 1 si es localmente administrado por el administrador de red.

### 3.10. Ethernet & IEEE 802.3

Ethernet es una especificación LAN de banda base creada por Xerox que opera a 10 Mbps, empleando detección de portadora de acceso múltiple con detección de colisión (CSMA/CD, *carrier sense multiple access collision detect*) sobre cable coaxial.

Posteriormente se desarrolló la especificación IEEE 802.3, basada sobre la tecnología original Ethernet.

Ethernet y IEEE 802.3 son usualmente implementadas en una tarjeta de interface o en circuitería sobre una tarjeta base.

Las convenciones de cableado Ethernet definen el uso de un *transceiver* para ajustar el cableado necesario de la red. El *transceiver* realiza muchas funciones de la capa física, incluyendo la detección de colisión.

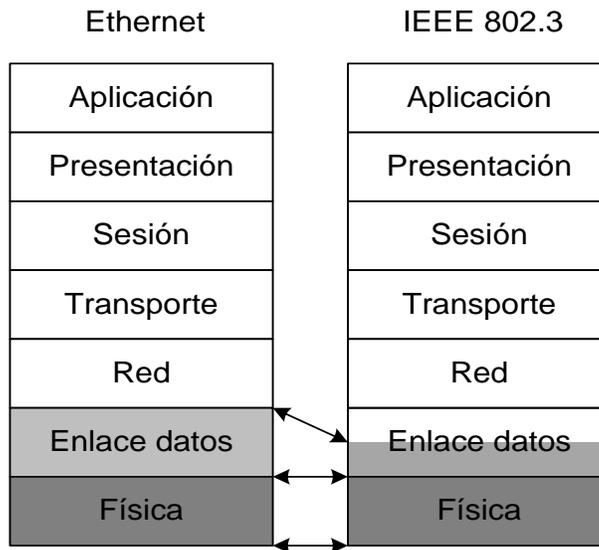
El cable de conexión es referido como interface de unidad de acceso (AUI, *attachment unit interface*), y el dispositivo de acceso a la red es referido como unidad de acceso al medio (MAU, *media attachment unit*), en remplazo de *transceiver*.

Ethernet brinda servicios correspondientes a las capas 1 y 2 del modelo de referencia OSI, e IEEE 802.3, especifica la capa física (capa 1) y la porción de acceso de canal (capa 2).

Adicionalmente, IEEE 802.3 no define el protocolo de control de enlace lógico, pero especifica varios tipos diferentes de capa física, mientras Ethernet únicamente define uno.

A continuación se ilustra la relación con el modelo OSI.

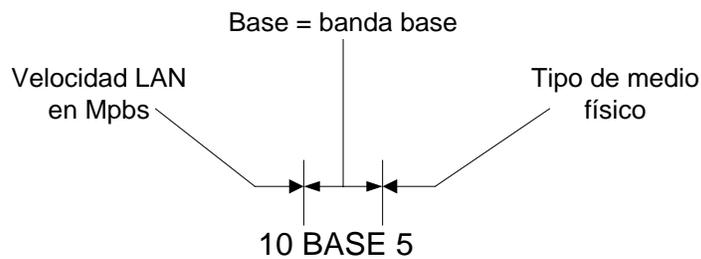
Figura 5. **Ethernet & IEEE 802.3, según modelo OSI**



Fuente: elaboración propia.

Cada protocolo de capa física IEEE 802.3 se identifica con un nombre de tres partes que resume sus características. Los componentes especificados en el nombre corresponden a velocidad LAN, método de señalización y tipo de medio físico.

Figura 6. **Identificación IEEE 802.3**



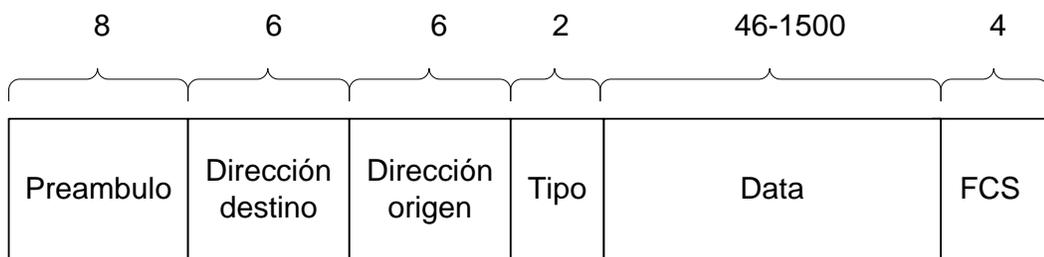
Fuente: elaboración propia.

### 3.10.1. Tramas Ethernet & IEEE 802.3

La función de las estaciones Ethernet es transmitir tramas de una a otra estación, empleando un grupo de bits conocido como trama MAC. Este formato brinda detección de errores de un algoritmo de redundancia cíclica. Sin embargo, esta es solamente detección de error, no corrección.

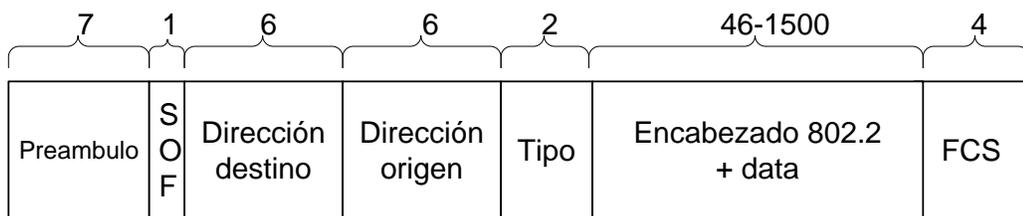
La trama 802.3 y la trama Ethernet (en bytes), son ilustradas y detalladas sus diferentes partes.

Figura 7. **Ethernet II**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **802.3 Ethernet**



Fuente: elaboración propia.

- **Preámbulo:** este es un patrón alternante de 1,0 que provee una señal de reloj de 5 MHz al inicio de cada paquete, el cual permite a los dispositivos receptores asegurar la recepción correcta del flujo entrante. El preámbulo utiliza un SFD (delimitador de inicio de trama), o campo de sincronía, para indicar que la porción subsiguiente corresponde al mensaje.
- **Delimitador de inicio de trama (SFD)/synch:** el SFD es 1, 0, 1, 0, 1, 0, etc., y el campo de synch es todo 1. El preámbulo y el campo SFD/synch conforman 64 bits de longitud.
- **Dirección destino:** transmite un valor de 48 bits iniciando con el bit menos significativo. La dirección destino es empleada por la estación receptora para determinar si el paquete recibido es enviado a un nodo particular. La dirección destino puede ser una dirección MAC individual, o una *broadcast* o *multicast*. La dirección de *broadcast* es toda 1 o F en hexadecimal y es transmitida a todos los dispositivos, mientras una dirección *multicast* es enviada solamente a un subconjunto similar de nodos en una red.
- **Dirección de origen:** es la dirección MAC de 48 bits utilizada por la unidad transmisora. Inicia con el bit menos significativo. Direcciones *broadcast* y *multicast* son ilegales en este campo.
- **Campo de longitud o tipo:** el estándar 802.3 emplea un campo de longitud, mientras la trama Ethernet utiliza un campo para identificar el protocolo de red contenido. Esto destaca que 802.3 no puede identificar el protocolo de la capa superior empleado, y por ende debe ser utilizado

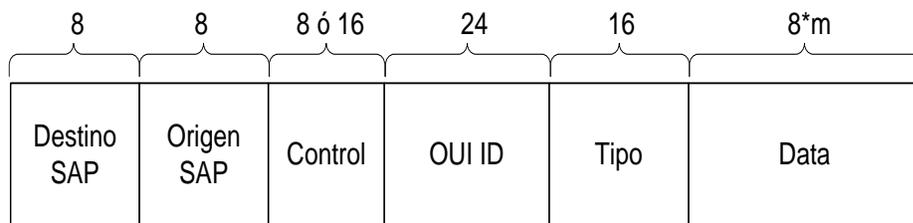
con una LAN propietaria, como por ejemplo, IPX de Novell, quien también definió el estándar 802.3.

- **Data:** este conforma la información transportada por la capa de enlace de datos, proveniente de la capa de red. El tamaño de este campo puede variar de 46 a 1500 bytes.
- **Frame check sequence (FCS):** este campo (secuencia de revisión de trama), localizado al final de la trama, es empleado para almacenar el valor de la redundancia cíclica (CRC, por sus siglas en ingles).

### 3.11. NSAP & IEEE 802.2

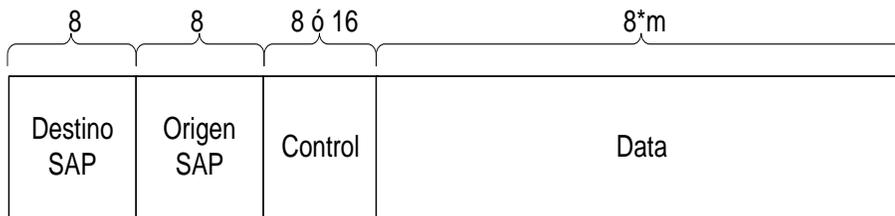
El protocolo Ethernet 802.3, en su trama, no puede identificar por sí mismo el protocolo empleado por la capa superior (capa de red), requiere ayuda adicional. La IEEE definió para el efecto la especificación LLC 802.2. A continuación se ilustran las tramas respectivas a la especificación 802.3 con LCC (802.2) y el protocolo de arquitectura de subred, SNAP (*subnetwork architecture protocol*) por sus siglas en inglés.

Figura 9. **802.2 (SNAP)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **802.2 (SAP)**



Fuente: elaboración propia.

Las figuras ilustran (en bits) cómo es agregada la información, de encabezado LLC, a la porción de datos. Es decir, que esta es la forma en que la porción de “datos” es reestructurada al momento en que es empleada la especificación 802.2. De esta manera, se interpreta que una trama 802.2, es una trama 802.3 con información LLC en la cabecera del campo de datos, y así determinar cuál es el protocolo empleada en la capa superior.

La trama SNAP posee su propio campo de protocolo para identificar el de capa superior. Se puede diferenciar una trama SNAP, a partir de los campos destino punto de acceso de servicio (SAP, *service access point*) y origen SAP, ya que estos son siempre “AA”, y el campo de control es “03”. El motivo por el que fue creada esta trama, es porque no todos los protocolos interactuaban apropiadamente con la trama Ethernet 802.3, la cual no tenía un campo de Ethernet. Para permitir a los protocolos propietarios ser utilizados en la trama LLC, la IEEE definió el formato SNAP.

- Campo destino/origen SAP: cada trama LLC puede contener dos campos de dirección, punto de acceso de servicio destino (DSAP, *destination service access point*) y punto de acceso de servicio origen (SSAP, *source service access point*). Cada dirección contiene una única dirección. El

campo DSAP identifica uno o varios puntos de acceso de servicio para los cuales se emplea el campo de información LLC. El campo SSAP identifica el punto de acceso específico para el cual el campo de información LLC es inicializado.

- Campo de control: este campo consiste de uno o dos octetos empleados para designar funciones de comando y respuesta, y contiene secuencias numéricas cuando es requerido.
- Campo de data: cualquier cantidad de octetos entre 0 y  $m$  donde  $m$  está limitada por el medio de control de acceso empleado (IEEE 802.3), que conforman la información transportada.

### **3.12. 100 Mbps Ethernet**

Esta tecnología ofrece mayor ancho de banda para usuarios de ordenadores particulares hacia el centro de concentración de comunicación, así como a servidores y centros de datos.

Se formó un grupo de estudio para definir las características de esta nueva tecnología, de esto resultaron dos tecnologías: 100BASE-T y 100VG-AnyLAN. La tecnología 100BASE-T es la especificación que interesa, la cual emplea par trenzado (UTP, *unshielded twisted pair*) y par trenzado blindado (STP, *shielded twisted pair*) y es compatible con el control de acceso a medio IEEE 802.3. 100BASE-T utiliza la interface de capa MAC IEEE 802.3, conectada a través de una capa de interface independiente del medio (MII, *media independen interface*) a una capa física (PHY, *physical*) tal como 100BASE-T4, 100BASE-TX o 100BASE-FX.

100BASE-T extiende las funcionalidades de IEEE 802.3 MAC a 100 Mbps. Esta velocidad mayor implica que el tiempo para cada bit se reduce, los tiempos de transmisión son menores y el presupuesto de propagación por el medio es menor, todo en proporción al cambio en ancho de banda. Es decir, que la relación de duración de transmisión de trama con el retardo de propagación en la red para 100BASE-T es la misma que 10BASE-T.

La principal diferencia entre 100BASE-T y 10BASE-T es el diámetro de la red, que para 100BASE-T es de 205 metros, aproximadamente 10 veces menos que 10 Mbps Ethernet. Esta reducción en el diámetro es necesaria porque 100BASE-T usa el mismo mecanismo de detección de colisión que 10BASE-T. Esta limitación es definida para que cada estación perciba que una colisión ha tenido lugar con la estación más lejana.

Para alcanzar el incremento en la velocidad de transmisión, el tamaño del dominio de colisión debió de encogerse. Este es debido a que la velocidad de propagación sobre el medio no cambió; así que una estación que transmita 10 veces más rápido debe tener una distancia máxima 10 veces menor. Como resultado, cualquier estación puede detectar una colisión en los primeros 64 bytes transmitidos (trama mínima definida).

### **3.12.1. 100BASE-T FLPS**

100BASE-T utiliza pulsos, llamados FLPs, para verificar la integridad del enlace entre dispositivos. Los FLPs son retrocompatibles con los pulsos de enlace normal (NLP, *normal-link puses*) de 10BASE-T, sin embargo los FLPs contienen más información y son usados en el proceso de autonegociación de 100BASE-T.

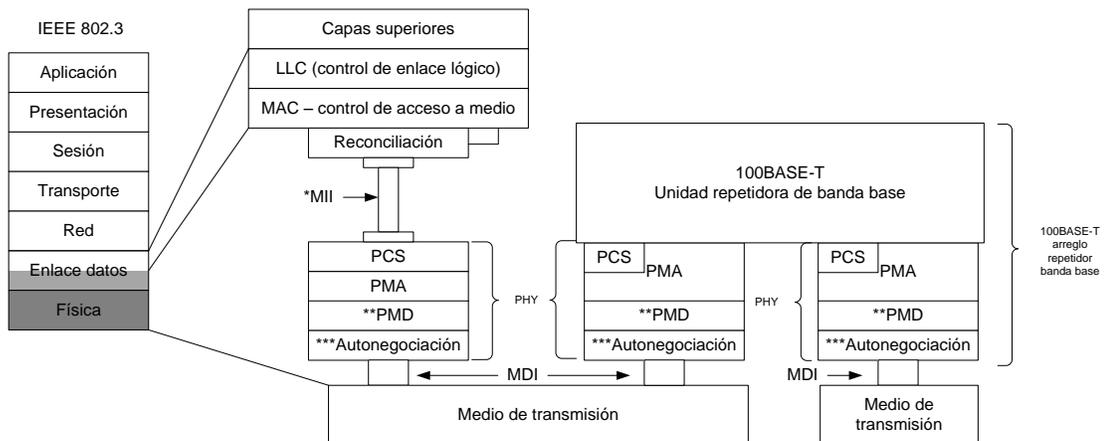
### 3.12.2. Autonegociación

Las redes 100BASE-T soportan un función opcional llamada autonegociación, que habilita a los dispositivos intercambiar información sobre sus capacidades, creando por lo tanto un entorno de comunicación óptimo. La autonegociación soporta diferentes capacidades, incluyendo concordancia de velocidad entre dispositivos que soportan ambas velocidades de 10 y 100 Mbps, *full-duplex* sobre dispositivos este modo, y configuración de señalización automática para estaciones 100BASE-T4 y 100BASE-TX.

### 3.12.3. Arquitectura

La arquitectura de 100BASE-T se presenta a continuación.

Figura 11. **Arquitectura 100BASE-T**



Fuente: IEEE. IEEE Std 802.3-2008, sección 2. p. 2.

- MDI = *Medium independent interface*, interface independiente del medio
- MII = *Media independent interface*, interface independiente del medio

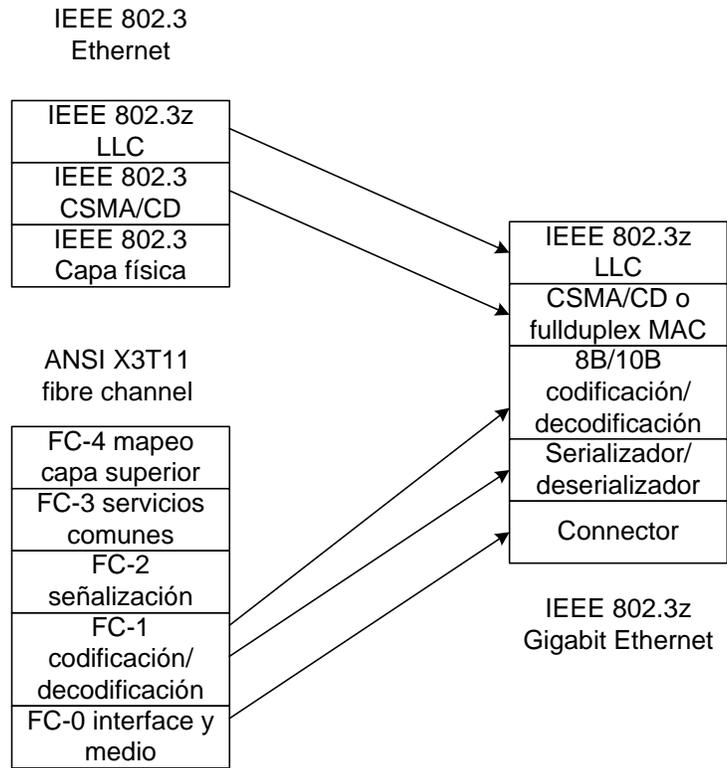
- PCS = *Physical coding sublayer*, subcapa de codificación física
- PMA = *Physical medium attachment*, adhesión al medio físico
- PHY = *Physical layer device*, dispositivo de capa física
- PMD = *Physical medium dependent*, dispositivo de medio físico
- \*MII es opcional para DTE 10 Mbps y no es especificado para 1 Mbps
- \*\*PMD especificado para 100BASE-X; 100BASE-T4 no emplea esta capa
- \*\*\*Autonegociación es opcional

La arquitectura de Ethernet, en la capa 1, según el modelo OSI, el dispositivo de capa física (PHY) conecta al medio físico de fibra óptica o cobre con la capa MAC a través de la tecnología de conectividad empleada. Este esquema adicionalmente divide la capa física en tres subcapas: Dependiente del medio físico (PMD), adhesión al medio físico (PMA), y subcapa de codificación física (PCS). El PMD brinda la conexión física y señalización al medio; *transceivers* ópticos, por ejemplo, son PMD. El PCS consiste en codificación (64B/66B) y serializador o multiplexor.

### 3.13. Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet está basado en el protocolo estándar Ethernet, incrementando la velocidad diez veces sobre Fast Ethernet (100BASE-T). Debido a que Gigabit Ethernet tiene semejanza con Ethernet, los administradores de redes pueden emplear el conocimiento previo para mantener redes Gigabit. Fue establecido que Gigabit Ethernet sería idéntico a Ethernet de la capa de enlace de datos hacia capas superiores. El reto implicado de acelerar la señal a 1 Gbps fue resuelto uniendo dos tecnologías: IEEE 802.3 Ethernet y ANSI X3T11 *Fibre Channel*.

Figura 12. **Componentes de Gigabit Ethernet**



Fuente: elaboración propia.

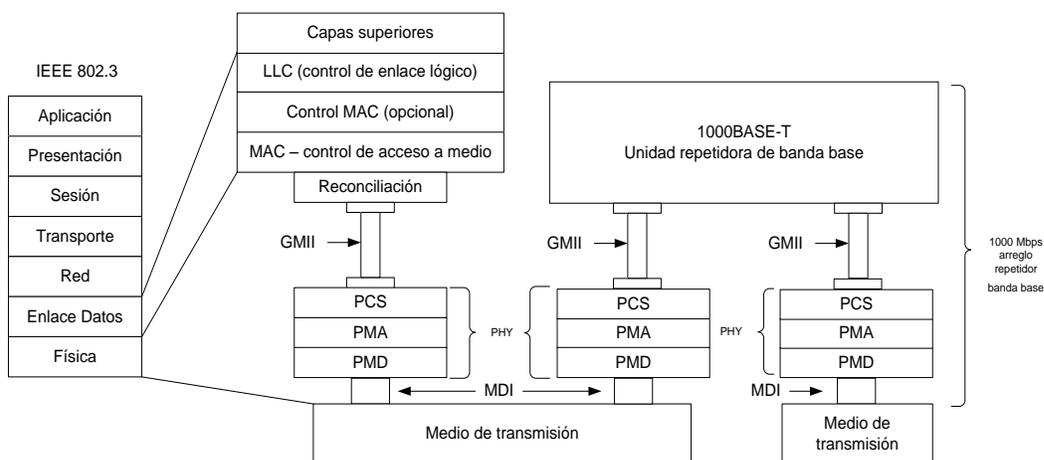
Combinando estas dos tecnologías resultó un estándar que toma la ventaja de una interface existente de alta velocidad como *Fibre Channel*, mientras mantiene el formato de trama IEEE 802.3, proporcionando retrocompatibilidad con equipos ya instalados y uso de *full* o *half-duplex* (vía CSMA/CD).

La ilustración muestra los componentes claves de cada tecnología empleados en Gigabit Ethernet.

### 3.13.1. Arquitectura

La arquitectura de 1000BASE-X está conformada como se ilustra a continuación:

Figura 13. **Arquitectura 1000BASE-X**



Fuente: IEEE. IEEE Std 802.3-2008, sección 3. p. 2.

### 3.13.2. Capa física

La especificación Gigabit Ethernet comprende tres formas de medios de transmisión:

- Largo alcance sobre fibra monomodo (1000BaseLX)
- Corto alcance sobre fibra multimodo (1000BaseSX)
- Cobre balanceado blindado de 150 Ohms (1000BaseCX)
- Cobre trenzado, 1000BaseT

### **3.13.3. Serializador/deserializador**

La subcapa de conexión (PMA, *physical media attachment*) de Gigabit Ethernet es idéntica a la empleada en *fibre channel*. El serializador/deserializador es responsable de brindar múltiples esquemas de codificación y presentar dichos esquemas a capas superiores. La data que ingresa por la capa física (PHY) ingresará por el PMD y empleará un esquema de codificación apropiado para el medio empleado. El esquema de codificación de *fibre channel* es 8B/10B, diseñado específicamente para cables de transmisión de fibra óptica. Gigabit Ethernet emplea un esquema de codificación similar.

La diferencia entre dichas tecnologías, es que *fibre channel* utiliza una señalización de 1.062 gigabauds, mientras Gigabit Ethernet usa una señalización de 1.25 gigabauds.

Un esquema de codificación diferente es empleado para transmisión sobre UTP, este es realizado por la capa física (PHY) 1000BaseT.

### **3.13.4. Codificación 8B/10B**

La capa FC1 de *fibre channel* describe la sincronización y el esquema de codificación 8B/10B. El protocolo de transmisión es definido por FC1, incluyendo la codificación y decodificación serial hacia y desde la capa física, caracteres especiales y control de error. Gigabit Ethernet usa la misma codificación/decodificación especificada en la capa FC1 de *fibre channel*. El esquema 8B/10B es similar al 4B/5B empleado en FDDI; sin embargo, 4B/5B fue rechazado para *fibre channel* debido a que carece de balance DC.

La carencia de balance DC puede resultar en calentamiento de láseres dependiente de la información transmitida, debido a la transmisión de más valores 1 que 0, resultando en tasas de error mayores.

Codificar la información transmitida brinda algunas ventajas:

- Delimita las características de transmisión, como la relación de 1 a 0, y la tasa de error.
- La recuperación de reloj a nivel de bits, puede ser mejorada significativamente empleando codificación de información.
- Incrementa la posibilidad que la estación receptora pueda detectar y corregir errores de transmisión o recepción.
- Ayuda a reconocer bits de control de bits de información.

En Gigabit Ethernet, la capa FC1 tomará la información decodificada de la capa FC2, 8 bits a la vez de la subcapa de reconciliación (RS, *reconciliation sublayer*), la cual intercomunica la interface física de *fibre channel* a las capas superiores IEEE 802.3 Ethernet. La codificación sucede como un mapeo de caracteres de 8 a 10 bits. La información decodificada comprende 8 bits con una variable de control. Esta nueva información es a su vez codificada en un carácter de transmisión de 10 bits.

La codificación se consigue brindando a cada carácter de transmisión un nombre, denotado como "Zxx.y". La variable de control, Z, tiene dos valores: D para datos y K para carácter especial. La designación "xx" es el valor decimal del número binario compuesto de un subarreglo de bits decodificados.

La designación “y” es el valor decimal del número binario de los bits decodificados remanentes. Esto implica que hay 256 posibilidades de data (designación D) y 256 posibilidades para caracteres especiales (designación K). Sin embargo, solo 12 valores Kxx.y son caracteres de transmisión válidos en *fibre channel*. Cuando son recibidos los datos, el carácter de transmisión es decodificado en uno de las 256 combinaciones de 8 bits.

### **3.14.10 Gigabit Ethernet**

El estándar de 10 Gigabit Ethernet extiende a IEEE 802.3 de 1000 Mb/s a 10Gb/s. La velocidad de transmisión es mayor y los tiempos de bits son más cortos; ambas características en proporción al cambio en ancho de banda.

10 Gigabit Ethernet conserva la arquitectura clave de Ethernet, incluyendo el protocolo de control de acceso al medio (MAC), el formato de trama, así como el mínimo y máximo tamaño de trama. Se introduce una diferencia respecto de las definiciones anteriores; este estándar funciona únicamente en modo *full-duplex*, volviendo innecesario el protocolo de detección de colisión (CSMA/CD).

En este estándar se definen dos tipos PHY: LAN PHY y WAN PHY. Ambos brindan la misma funcionalidad, divergiendo en que WAN PHY tiene una funcionalidad adicional en PCS que posibilita conectividad con redes SDH VC-4-64c/SONET STS-192c. La subcapa MAC conecta a través de una interface independiente del medio 10 Gigabit (XGMII) a entidades de capa física tales como:

- 10GBASE-SR
- 10GBASE-LX4

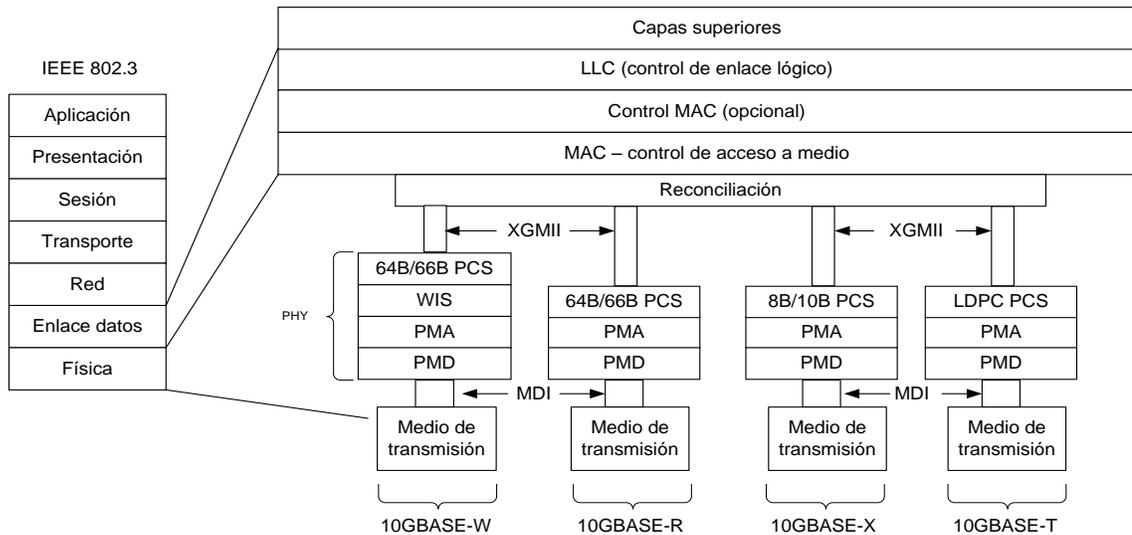
- 10GBASE-CX4
- 10GBASE-LRM
- 10GBASE-LR
- 10GBASE-ER
- 10GBASE-SW
- 10GBASE-LW
- 10GBASE-EW
- 10GBASE-T

#### **3.14.1. Arquitectura**

La arquitectura 10000BASE-X se encuentra conformada por los componentes descritos a continuación:

- 10GBASE-X se refiere a una familia de implementaciones de capa física (PHY) basadas en el método de codificación 8B/10B.
- 10BASE-R se refiere a una familia de implementaciones de capa física (PHY) basadas en el método de codificación 64B/66B.
- 10GBASE-W se refiere a una familia de implementaciones de capa física (PHY) basadas en el método de encapsulación SDH VC-4-64c/STS-192c de data codificada como 64B/66B.

Figura 14. **Arquitectura 1000BASE-X**



Fuente: IEEE. IEEE Std 802.3-2008, sección 4. p. 2.

- 10GBASE-R y 10GBASE-W comparten la especificación PCS en los dispositivos PHY. 10GBASE-W también requiere el uso de la subcapa de interface WAN (WIS).
- 10GBASE-T se refiere a una familia de implementaciones de capa física (PHY) basadas en el método de codificación 64B/65B colocada en una trama con chequeo de paridad de baja densidad (LDPC, *low density parity check*), que es mapeada a una constelación de doble cuadratura 128 (DSQ128) para transmisión a 4 pares, cableados de cobre de par trenzado.
- WIS proporciona a los dispositivos 10GBASE-W la capacidad de transmitir y recibir tramas IEEE 802.3 MAC dentro del encapsulamiento de la trama SDH VC-4-64c.

### 3.15. 40 & 100 Gigabit Ethernet

El crecimiento en ancho de banda para agregación de aplicaciones ha tendido a exceder la aplicabilidad de agregación de enlaces de 10 Gigabit Ethernet.

Tabla II. **Interfaces físicas 40&100 Gigabit Ethernet**

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
40GBASE-KR4	40 Gb/s PHY empleando codificación 40GBASE-R, sobre cuatro rutas de un <i>backplane</i> eléctrico, con alcance de al menos 1 m.
40GBASE-CR4	40 Gb/s PHY empleando codificación 40GBASE-R, sobre cuatro rutas de cableado de cobre balanceado blindado, con un alcance de al menos 7 m.
40GBASE-SR4	40 Gb/s PHY empleando codificación 40GBASE-R, sobre cuatro rutas en fibra multimodo, con un alcance de al menos 100 m.
40GBASE-LR4	40 Gb/s PHY empleando codificación 40GBASE-R, sobre cuatro rutas WDM en fibra monomodo, con un alcance de al menos 10 km.
100GBASE-CR10	100 Gb/s PHY empleando codificación 40GBASE-R, sobre 10 rutas en cableado de cobre balanceado blindado, con un alcance de al menos 7 m.
100GBASE-SR10	100 Gb/s PHY empleando codificación 40GBASE-R, sobre 10 rutas en fibra multimodo, con un alcance de al menos 100 m.
100GBASE-LR4	100 Gb/s PHY empleando codificación 40GBASE-R, sobre cuatro rutas WDM en fibra monomodo, con un alcance de al menos 10 km.
100GBASE-ER4	100 Gb/s PHY empleando codificación 40GBASE-R, sobre cuatro rutas WDM en fibra monomodo, con un alcance de al menos 40 km.

Fuente: IEEE. IEEE Std 802.3ba-2010. p.109.

Durante el análisis de velocidades superiores, se determinó que las aplicaciones de cómputo y de agregación de red crecen a diferentes velocidades, por lo que se definieron dos nuevas velocidades: 40 Gigabits por segundo para servidores y aplicaciones de cómputo y 100 Gigabits por segundo para aplicaciones de agregación de red. Se definió el estándar IEE 802.3ba. Siendo el sucesor de 10 Gigabit Ethernet, cumple con las mismas compatibilidades, excluyendo consecuentemente el soporte para *half-duplex* y sus implicaciones.

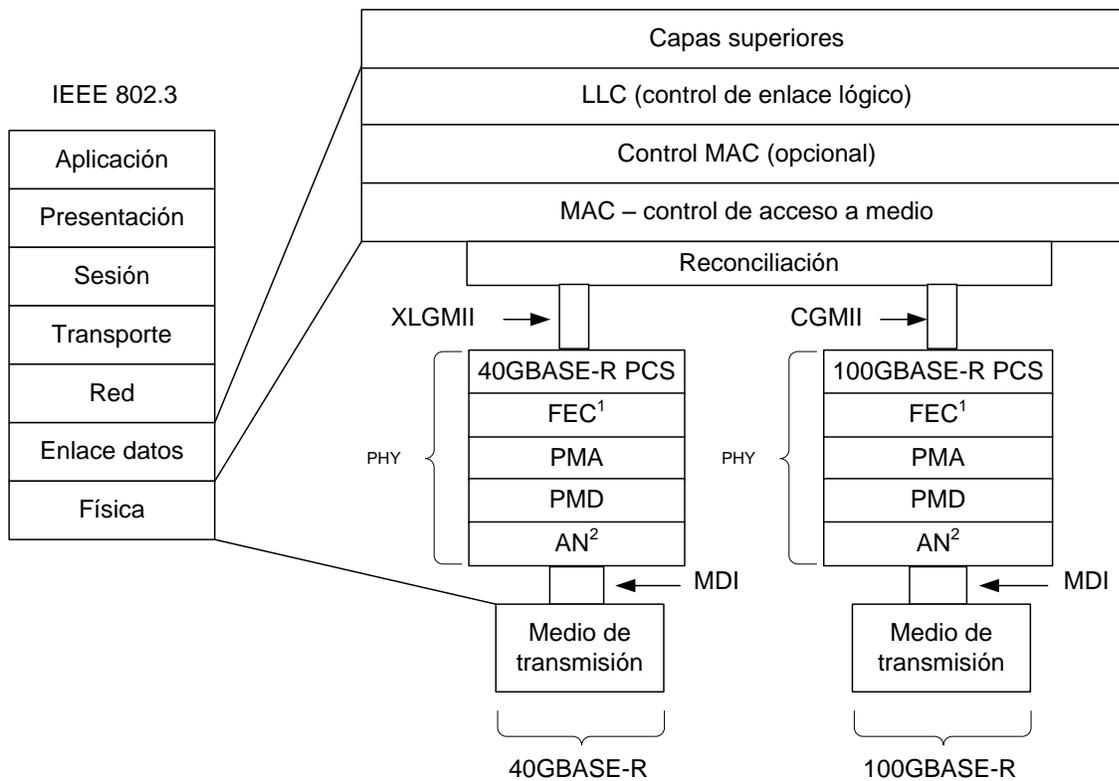
### **3.15.1. Arquitectura 1**

La arquitectura de 40 & 100 Gigabit Ethernet está conformada por los elementos descritos a continuación:

- XLGMII y CGMII, implementadas como una interconexión lógica entre la subcapa MAC y la capa física (PHY), emplea un ancho de data de 64-bits.
- PMA, cuando implementado como XLAUI (*40 Gigabit attachment unit interface*) emplea 4 rutas de data; cuando implementado como CAUI (*100 Gigabit attachment unit interface*), emplea 10 rutas de data.
- PMD, cuando implementado como XLPPI (*40 Gigabit parallel physical interface*), emplea 4 rutas de data; cuando implementado como CPPI (*100 Gigabit parallel physical interface*), emplea 10 rutas de data.

- MDI, para 40GBASE-KR4, 40GBASE-CR4, 40BASE-SR4, 40GBASE-LR4, 100GBASE-LR4 y 100GBASE-ER4 emplean 4 rutas de datos; mientras 100GBASE-CR10, 100GBASE-SR10 usan 10 rutas de data.

Figura 15. **Arquitectura 40&100 Gigabit Ethernet**



<sup>1</sup> Opcional u omitido, dependiendo del tipo de PHY

<sup>2</sup> Condicional, basado en el tipo PHY

Fuente: IEEE. IEEE Std 802.3ba-2010. p. 108.

- 40GBASE-R y 100GBASE-R, se refieren a la codificación empleada por la capa PCS común a las dos velocidades. Las dos codificaciones son basadas en un código 64B/66B. El código 64B/66B soporta transmisión de data y caracteres de control mientras mantiene una robusta detección

de errores. La distribución de data es introducida para soportar múltiples rutas en la capa física (PHY). Parte de esta distribución incluye la inserción periódica de un marcador de alineación, que permite al PCS receptor alinear la data de múltiples rutas.



## 4. REDES TDM

### 4.1. Sistema de transmisión PCM30

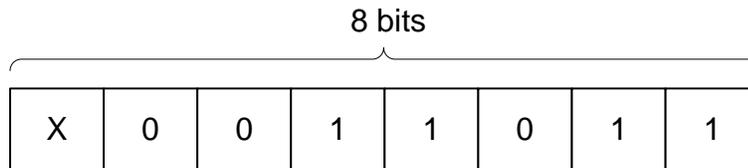
El sistema de transmisión PCM30 permite transmitir 30 señales independientes simultáneamente, por la conversión de cada una de ellas a una señal de 64 Kb/s, para luego ser combinados por medio de multiplexación por división en tiempo (TDM), conformando de esta forma una compuesta de 2048 Kb/s.

Por cada una de las 30 señales se transmiten 8,000 muestras por segundo, en ambas direcciones, en forma de palabras MIC (señales de carácter) de 8 bits. Adicionalmente a estas 30 señales, se transmiten otras dos señales de 8 bits. Una para señalización y otra para alineación de trama y señal de alarmas, alternadamente. Las 30 palabras MIC junto con las otras señales de 8 bits conforman una trama. Las tramas se transmiten en sucesión directa. El *time slot* 0 corresponde a la alineación de trama, y el *time slot* 16 corresponde a la señalización. El resto de los canales son de voz, en cada uno de estos *time slots* está contenida la palabra de 1 byte, correspondiente a una muestra.

#### 4.1.1. Señal de alineación de trama (F.A.S.)

Por el *time slot* 0, viaja alternadamente la información que permite la alineación de la trama, y la que permite transmitir la información de las alarmas correspondientes a posibles fallas existentes.

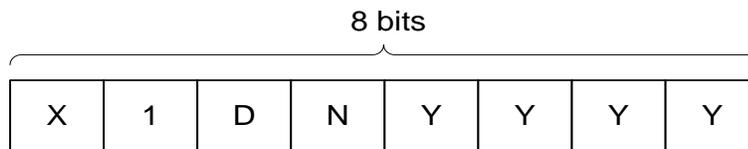
Figura 16. **Byte de alineación de trama**



Fuente: elaboración propia.

- X: Reservado para uso internacional

Figura 17. **Byte señalizador de alarmas**



Fuente: elaboración propia.

- X: Reservado para uso internacional
- 1: Diferenciación de la señal de alineación de trama
- D: Fijado internacionalmente para indicación de alarma urgente
- N: Fijado para la transmisión de alarma no urgente
- Y: Código de alarma

#### 4.2. Jerarquía digital plesíncrona (PDH)

Las señales de datos con el mismo rango de transmisión, pero que las mismas provienen de fuentes diferentes, siempre tienen un desplazamiento mayor o menor del valor nominal del *bit rate*; estos tienen pequeñas variaciones entre ellos.

Por otro lado, cada señal es sincrónica con las otras, es por ello que se denominan señales plesíncronas.

Las transmisiones de datos se hacían básicamente utilizando la jerarquía digital plesíncronas (PDH), la idea primordial es realizar una serie de multiplexaciones de señales provenientes de fuentes distintas, para así formar una señal común con un *bit rate* superior; realizando determinada cantidad de multiplexaciones se van logrando diferentes jerarquías propias de PDH. Dichas jerarquías están estandarizadas; sin embargo existen diferentes estándares en el mundo.

Tabla III. **Definiciones de PDH (EE.UU. & Japón)**

Nivel	EE.UU.			Japón		
	Circuitos	Kb/s	Denominación	Circuitos	Kb/s	Denominación
1	24	1544	T1	24	1544	J1
2	96	6312	T2	96	6312	J2
3	672	44736	T3	480	32064	J3
4	2016	274176	T4	1440	97728	J4

Fuente: elaboración propia.

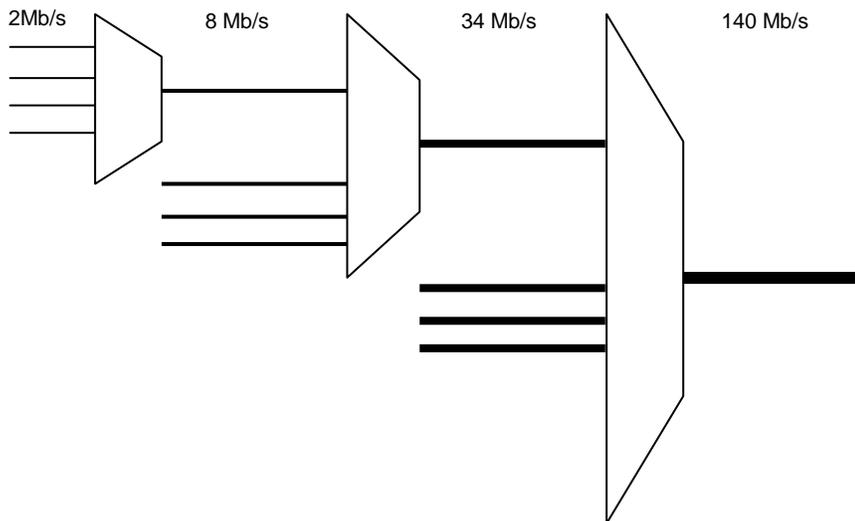
En el caso del estándar europeo, se alcanzan estas velocidades realizando una serie de multiplexaciones, las cuales se realizan tomando cuatro líneas de la jerarquía inmediata inferior; y multiplexando las mismas en tiempo, se alcanza el siguiente nivel de la jerarquía.

Tabla IV. **Definición de PDH (ETSI)**

Nivel	Europa		
	Circuitos	Kb/s	Denominación
1	30	2048	E1
2	120	8448	E2
3	480	34368	E3
4	1920	139264	E4

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Multiplexación en PDH**



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Jerarquía digital plesíncrona, norma europea**

	64Kb/s	2Mb/s	8Mb/s	34Mb/s	140Mb/s
Jerarquía	0	1	2	3	4
Canales de 64 Kb/s	1	30	120	480	1920
Codificación	Binario	HDB3	HDB3	HDB3	CMI
<i>Bit rate</i> (Kb/s)	64	2048	8448	34368	139264

Fuente: elaboración propia.

La jerarquía 0 podría ser, por ejemplo, un sistema PCM30, una central de conmutación digital, o cualquier dispositivo que cumpla con la norma.

Cabe mencionar que el factor multiplicador en el escalamiento en la jerarquía es mayor que cuatro, para los distintos *bits rates*. Esto se debe a que para cada nivel de jerarquía son insertados algunos bits adicionales, destinados a la generación de la trama y también para llevar información adicional dentro de la misma.

#### **4.2.1. Método de multiplexación**

La multiplexación, en la jerarquía PDH, se realiza utilizando el método de entrelazado bit a bit. Esto quiere decir que la señal de entrada de un multiplexor dado, aparecerá solamente a cada 4 bits de la señal de salida del mismo.

En la multiplexación, cabe mencionar dos casos concretos que a continuación se explican.

#### **4.2.1.1. Señales síncronas**

Las señales tienen exactamente el mismo reloj de sincronismo. Esto es válido para un sistema PCM30, donde el reloj de cada señal de 64 Kb/s y de 2 Mb/s son derivadas a partir del mismo reloj central. En este caso, el proceso de multiplexación se reduce a una simple conversión paralelo-serie de las palabras codificadas de 8 bits.

#### **4.2.1.2. Señales asíncronas**

Las señales originales no fueron generadas con un reloj común, sino de distintos lugares. Esto es válido para la multiplexación de señales de salida originadas por varios sistemas PCM30 cuyos relojes son generados en cada uno de los sistemas en forma autónoma. Aquí es necesario tomar medidas apropiadas, con el fin de compensar las diferencias de relojes.

### **4.3. Jerarquía digital síncrona**

Con el paso del tiempo, las redes de comunicación fueron pasando gradualmente a la tecnología digital. Para poder soportar mayores velocidades binarias surgió la jerarquía PDH. Pero como las velocidades de transmisión de esta no son estándares, las pasarelas entre redes diferentes son complejas y costosas.

El objetivo de la jerarquía SDH, fue subsanar estas desventajas inherentes a los sistemas PDH, como también normalizar las velocidades superiores a 140 Mb/s que previamente eran propietarias de cada compañía.

En 1988, el CCITT, basado en la primera parte de la norma SONET, elaboró la llamada SDH (*Synchronous digital hierarchy*, jerarquía digital sincrónica).

Este es un estándar para redes de telecomunicaciones de “alta velocidad y capacidad”. Es un sistema de transporte digitalizado realizado para proveer una infraestructura de redes de telecomunicaciones más simple, económica y flexible.

#### **4.3.1. Características de SDH**

La tecnología SDH, ofrece diversas ventajas sobre una red, destacando las que a continuación se describen.

##### **4.3.1.1. Altas velocidades de transmisión**

Los modernos sistemas SDH logran velocidades de 10 Gb/s. SDH es la tecnología más adecuada para los *backbones*, que son la infraestructura central de transporte de las redes de telecomunicaciones actuales.

##### **4.3.1.2. Función simplificada de inserción extracción**

Comparado con los sistemas PDH tradicionales, en SDH es mucho más fácil extraer o insertar canales de menor velocidad en las señales compuestas de alta velocidad. Ya no hace falta demultiplexar y volver a multiplexar la estructura plesíncrona, que en el mejor de los casos resultaba complejo y costoso.

Esto es debido a que en SDH todos los canales están identificados por medio de un sistema de “etiquetas” que hacen posible conocer exactamente la posición de dichos canales individualmente.

#### **4.3.1.3. Alta disponibilidad y escalabilidad**

A consecuencia de herramientas de monitoreo remoto sobre las redes SDH, junto con las ventajas inherentes a la estructura jerárquica de SDH, se facilita la expansión de una red previamente existente, o bien el aumento de sus capacidad de transportar tráfico. Asimismo, se tiene una disponibilidad total de la red.

#### **4.3.1.4. Fiabilidad**

En el funcionamiento de SDH, se pueden implementar varios mecanismos automáticos de protección y recuperación ante posibles fallos del sistema. Una falla en un enlace o en un elemento de la red no provoca el colapso de toda la red. De igual manera, estos mecanismos de protección también pueden ser manipulados mediante un sistema de gestión.

#### **4.3.1.5. Interconexión**

Con SDH es mucho más fácil crear pasarelas entre distintas redes, y hacia sistemas SONET. Las interfaces SDH están normalizadas; lo que simplifica las combinaciones de elementos de redes de diferentes fabricantes.

### **4.3.2. Componentes de una red síncrona**

La mezcla de varias aplicaciones diferentes es típica de los datos transportados por la red SDH. Las redes síncronas deben ser capaces de transmitir las señales plesíncronas y, al mismo tiempo, ser capaces de soportar servicios futuros. Estas posibilidades son alcanzadas mediante el empleo de distintos tipos de elementos de red.

#### **4.3.2.1. Regeneradores**

Estos se encargan de regenerar el reloj y la amplitud de las señales de datos entrantes que han sido atenuadas y distorsionadas por la dispersión y otros factores.

Obtienen sus señales de reloj del propio flujo de datos entrante. Los mensajes se reciben extrayendo varios canales de 64 Kb/s de la cabecera RSOH.

#### **4.3.2.2. Multiplexores**

Se emplean para combinar las señales de entrada plesíncronas y terminales síncronas en señales STM-N de mayor velocidad.

#### **4.3.2.3. Multiplexores de agregación/sustracción (ADM)**

Permiten insertar o extraer señales plesíncronas y síncronas de menor velocidad binaria en el flujo de datos SDH de alta velocidad.

Gracias a esta característica es posible configurar estructuras que ofrecen la posibilidad de conmutar automáticamente a un trayecto de reserva, en caso de fallo de alguno de los elementos del trayecto.

#### **4.3.2.4. Transconectores digitales (DXC)**

Este elemento de red es el que más funciones contiene. Permite mapear las señales tributarias en contenedores virtuales, así como conmutar múltiples contenedores, hasta VC-4 inclusive.

#### **4.3.2.5. Sistema de gestión**

La red de gestión de las telecomunicaciones se considera un elemento más de la red síncrona. Todos los elementos SDH mencionados, se controlan por software, lo que significa que pueden monitorearse y controlarse desde un lugar remoto.

### **4.3.3. Ruta de transmisión SDH**

En una red SDH, una ruta de transmisión puede incluir las siguientes funciones fundamentales en su operación.

#### **4.3.3.1. Terminal multiplexadora**

Esta permite la inserción y remoción de señales tributarias en hacia y desde las tramas SDH.

### 4.3.3.2. Switch cross-conector

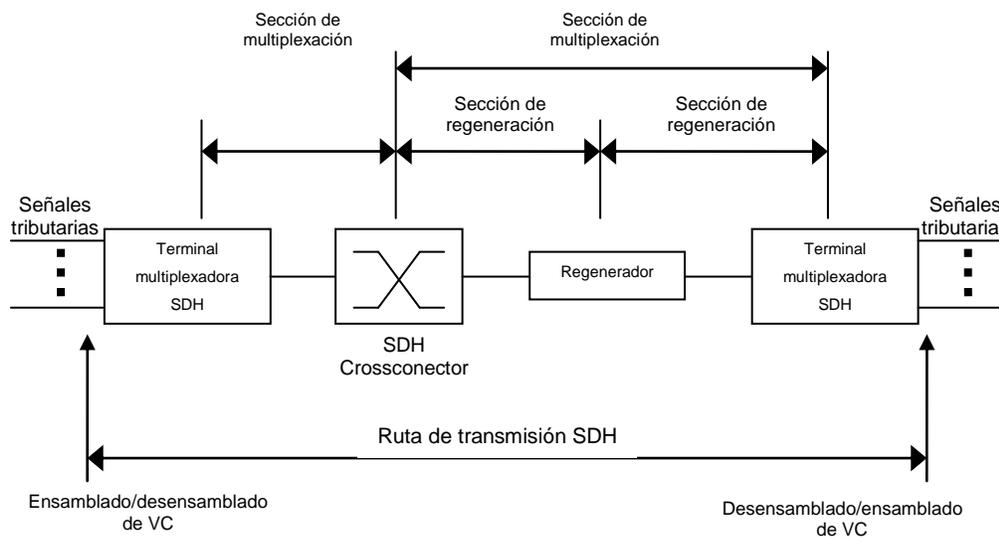
Este permite cambiar las rutas de distribución de señales tributarias transportadas en tramas SDH.

### 4.3.3.3. Regenerador

Empleado para incrementar la distancia física recorrible por la señal SDH en dada ruta de transmisión.

Acorde a lo anteriormente presentado, una ruta de transmisión puede comprender tres tipos de segmentos.

Figura 19. Estructura de ruta de transmisión SDH



Fuente: elaboración propia.

#### **4.3.3.4. Sección de multiplexación**

Esta sección se distribuye a través de una parte de la ruta de transmisión, ubicada entre una terminal multiplexora y un equipo *cross-conector*, o bien entre dos terminales multiplexoras adyacentes.

#### **4.3.3.5. Sección de regeneración**

Esta sección es transmitida entre una parte de la ruta localizada entre una terminal multiplexora o un equipo *cross-conector* y/o un regenerador adyacente, o bien entre dos regeneradores adyacentes. Una sección de multiplexación puede incluir hasta tres secciones de regeneración.

#### **4.3.3.6. Ruta**

Esta sección comprende la conexión lógica establecida entre el punto en que la señal tributaria es ensamblada en el correspondiente contenedor virtual, y el punto en el cual es desensamblada del contenedor virtual. Debido a los diferentes segmentos que se pueden encontrar en una ruta de transmisión en una red SDH, cada uno de dichos segmentos brinda su propia sección de encabezado, en la cual se cuenta con los medios para proveer soporte y mantenimiento a la señal asociada.

#### **4.3.3.7. Sección de encabezado**

El encabezado es transportado en las primeras nueve columnas de la trama STM-1, y consta de las siguientes variaciones:

- Encabezado de sección de multiplexación, en las filas 5 a 9.

- Encabezado de sección de regeneración, transportado en las filas 1 a 3.
- Punteros de la unidad administrativa, transportado en la fila 4 del encabezado.

#### **4.3.3.8. Encabezado de ruta**

Transportado en la primera columna de un VC-4. El encabezado de ruta de un VC-4 es llamado encabezado de ruta de alto orden.

#### **4.3.4. Trama básica STM-1**

En la jerarquía digital síncrona, la menor velocidad prevista para la transmisión es un STM-1 (*Standard transport module – level 1*).

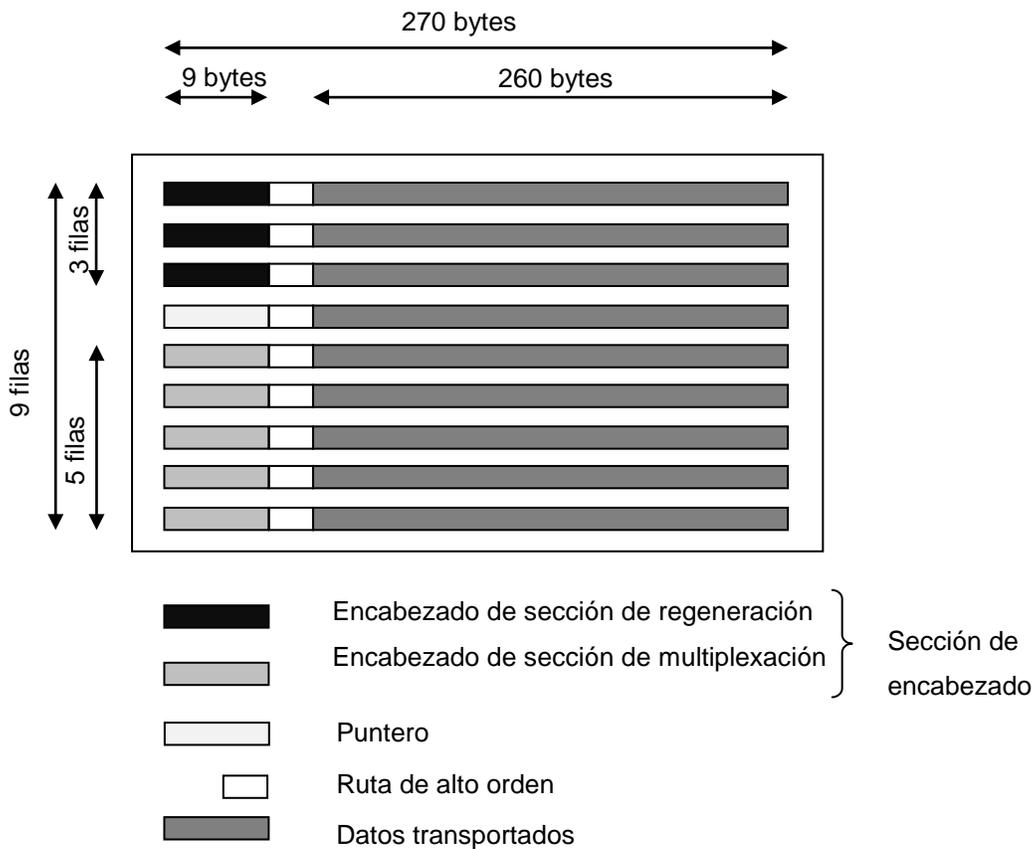
Un STM-1 es conformado por una trama de 2430 bytes en serie, 1944 bits por trama, a 8000 tramas por segundo, representado una razón de 155, 520 Mbps. A manera representativa, esta secuencia de bytes se ilustra en forma de matriz, quedando una arreglo bidimensional de 9 filas, con 270 bytes por fila. Esta matriz es recorrida de izquierda a derecha, y en sentido descendente.

La transmisión de cada trama es realizada a 8 KHz, lo que significa que cada trama es reproducida cada 125  $\mu$ s. A partir de esta frecuencia de transmisión, un byte individual representa una capacidad de transmisión de 64 Kb/s.

Cada trama SDH comienza con bytes de “inicio de trama”, lo cual permite al equipo receptor identificar el comienzo de cada trama.

La ubicación de los demás bytes dentro de la estructura de la trama queda determinada por su posición relativa al byte de “inicio de trama”.

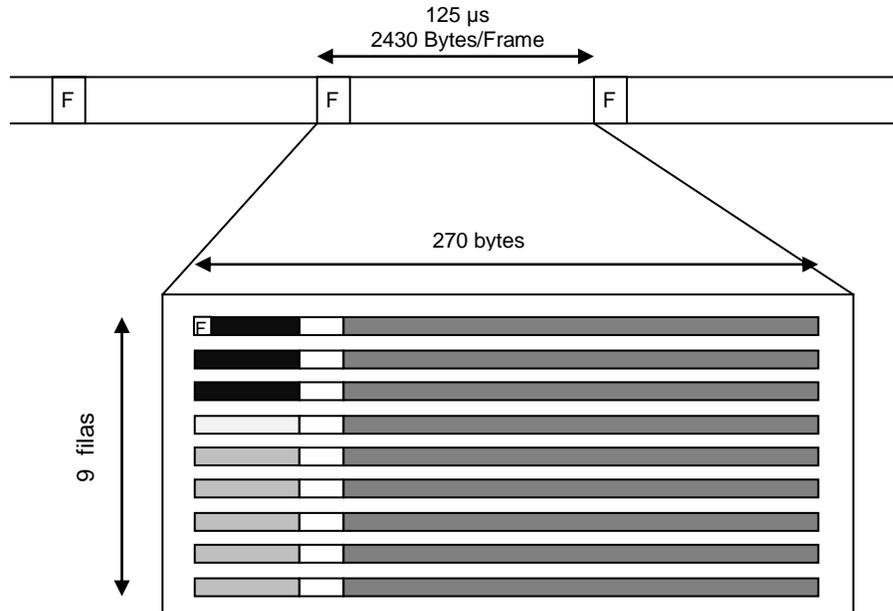
Figura 20. **Representación matricial de la trama STM-1**



Fuente: elaboración propia.

Los bytes que conforman una trama son transmitidos bit a bit, secuencialmente. Luego de la transmisión del último byte en la trama (extremo inferior izquierdo de la ilustración matricial), la secuencia completa es repetida, iniciando con el byte de inicio de trama de la siguiente trama.

Figura 21. **Transmisión secuencial (STM-1)**



Fuente: elaboración propia.

La trama STM-1 es conformada por dos bloques principales:

- *Section over-head (SOH)* (sección de encabezado). Esta sección ocupa las primeras 9 columnas de la trama STM-1, para un total de 81 bytes.
- *Virtual container* (contenedor virtual). Las restantes 261 columnas de la trama STM-1, conforman un total de 2349 bytes y son alojadas dentro del contenedor virtual. El contenedor virtual en sí mismo, comprende un contenedor para la señal transportada (*payload*) de 260 columnas, precedida por una columna para el encabezado de ruta (*path overhead*).

#### 4.3.4.1. Sección de encabezado (*section over-head*)

En redes SDH, el término “sección” hace referencia al enlace entre dos equipos SDH consecutivos del mismo tipo.

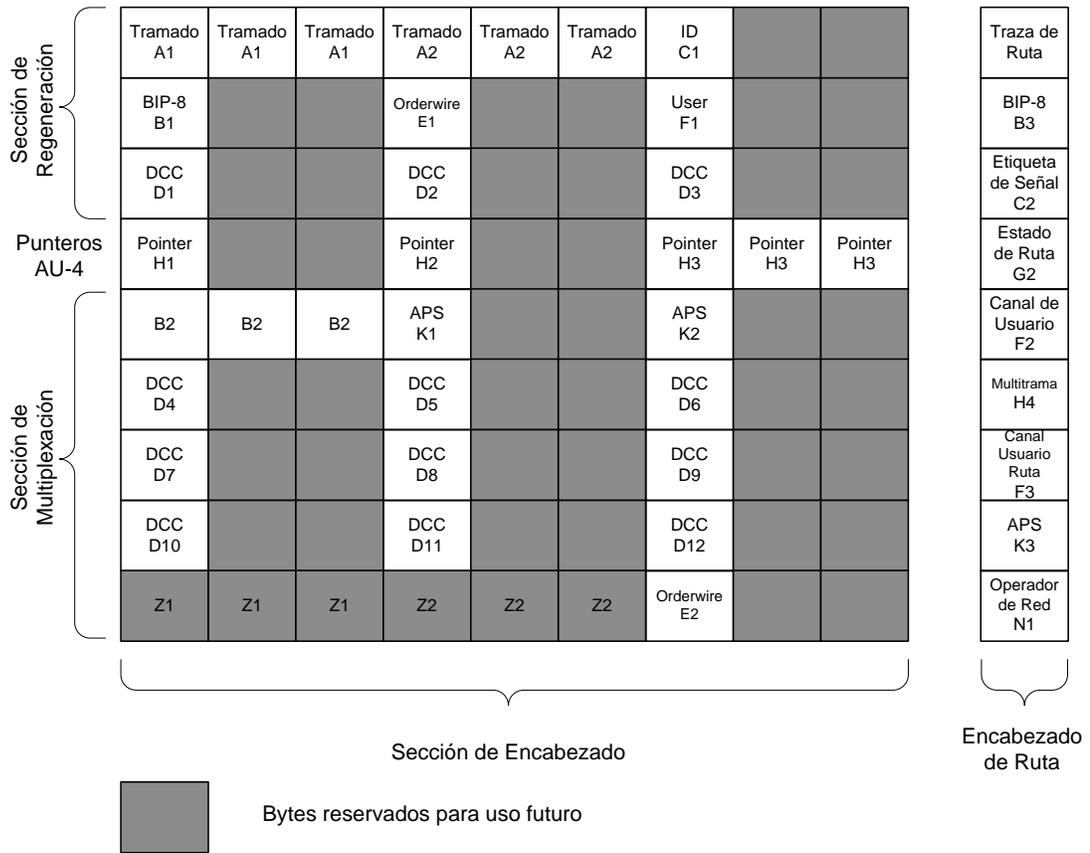
Cierta capacidad de transporte es dispuesta en cada trama SDH para la sección de encabezado. Esto brinda los medios (monitoreo de alarmas, monitoreo de BER, canales de comunicación, etc.) requeridos para soportar y mantener el transporte de un VC.

La sección de encabezado es concerniente a un sistema individual de transporte SDH, es decir, que esta sección es generada por el extremo transmisor y terminada en el lado receptor del siguiente nodo.

Por lo tanto, cuando varios sistemas de transporte SDH son interconectados en cascada, la sección de encabezado no es transferida con la carga (VC) entre los sistemas de transporte interconectados.

En la trama STM-1 la sección de encabezado ocupa las primeras nueve columnas, para un total de 81 bytes.

Figura 22. Estructura del encabezado de un STM-1



Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.4.2. Sección de regeneración

Una sección de regeneración en una red SDH comprende el medio de transmisión y los equipos asociados entre un elemento de red y el regenerador adyacente. Los equipos asociados incluyen las interfaces de agregados y equipos de procesamiento SDH, los cuales originan o terminan el encabezado de sección de regeneración.

#### **4.3.4.2.1. Tramado (bytes A1, A2)**

Los seis bytes de tramado portan el patrón de tramado, y son empleados para indicar el inicio de una trama STM-1.

#### **4.3.4.2.2. Identificador de canal (bytes C1)**

El byte C1 es empleado para identificar tramas STM-N con un nivel mayor al STM-1. Este byte porta la representación binaria del orden de la trama STM-N (nomenclatura en que N puede ser 4, 16, etc.).

#### **4.3.4.2.3. Chequeo de paridad (Byte B1)**

Un chequeo de paridad de 8 bits (BIP-8, 8 bit *wide bit-interleaved parity*) es calculada sobre todos los bits en la trama STM-N, para permitir monitorear la presencia de errores sobre la sección de regeneración. La paridad computada es ubicada en la sección de regeneración de la siguiente trama STM-N.

#### **4.3.4.2.4. Canal de comunicación de datos (bytes D1, D2, D3)**

Los 192 Kbps del canal de comunicación de datos (DCC, *Data communication channel*) brindan la capacidad de transmitir la gestión de la red e información de mantenimiento entre equipos de terminación de sección de regeneración.

#### **4.3.4.2.5. Canal *orderwire* (Byte E1)**

El byte E1 es utilizado para brindar un canal local para comunicación de voz entre regeneradores y locaciones terminales remotas.

#### **4.3.4.2.6. Canal de comunicación de usuario (Byte F1)**

El byte F1 es proporcionado entre locaciones de regeneración, capaz de transportar comunicaciones propietarias. La información transmitida en este canal puede ser transmitida sin modificación a través de un regenerador, o ser sobrescrita por información generada por el regenerador.

#### **4.3.4.3. Punteros**

Cuando un VC-4 es ensamblado en una trama STM-1, un puntero (byte) ubicado en la sección de encabezado de la trama STM-1, indica la localización del primer byte (J1) del VC-4 que se encuentra en dicha trama STM-1.

La estructura STM-1 sugiere que el VC-4 inicia inmediatamente luego de la sección de encabezado en una trama STM-1. Sin embargo, para facilitar una eficiente multiplexación y *cross-conexión* de señales en una red SDH, las estructuras VC-4 pueden desplazar su posición dentro de la sección de *payload* en las tramas STM-1. Esto implica que el VC-4 puede comenzar en cualquier posición dentro de la sección de carga dentro del STM-1.

El resultado es comúnmente, que dado un VC-4, este comience en una trama STM-1 y termine en la siguiente.

Si este desplazamiento no fuera permitido, se requerirían *buffers* (memorias) para almacenar la información de dado VC-4, hasta el momento en que pudiera ser insertado en la trama STM-1. Estos *buffers*, llamados *slip buffers* (memorias de deslizamiento), que son usualmente empleados en equipos multiplexores PDH, introducen largos retardos; aun más, también pueden introducir interrupciones en caso suceda un desbordamiento durante el almacenaje en los *buffers*.

#### **4.3.4.3.1. Punteros de AU (bytes H1, H2, H3)**

Los punteros de AU (*Administration unit*, unidad de administración) son utilizados para habilitar la transferencia de tramas STM-1 dentro de tramas STM-N, y por lo tanto son procesadas por la sección de multiplexación en una trama STM-N.

La función de un puntero de AU es vincular la sección de encabezado con los contenedores virtuales asociados.

#### **4.3.4.3.2. Punteros en corrección de desfases de sincronía**

Las redes SDH son diseñadas para operar como redes síncronas. Idealmente, esto significa que todos los nodos en una red SDH habrían de derivar sus señales de sincronización de una única señal de reloj maestro. Sin embargo, en aplicaciones prácticas, durante la implementación de la red se deben acomodar diferencias de temporización (*clock offsets*).

Estos pueden ser el resultado de un nodo SDH que pierda la referencia de sincronía y opere con su reloj interno, o bien pueden ser causados por diferencias de sincronía en los límites colindantes entre dos redes SDH independientes.

Debido a que el VC-4 puede desplazarse libremente en el espacio asignado para carga en la trama STM-1, podrán efectuarse ajustes de fase entre el VC-4 y la trama STM-1.

Para realizar esta acomodación de diferencias de temporización, el VC-4 puede ser desplazado (justificado), positivamente o negativamente, tres bytes en dado momento, respecto de la trama STM-1. Esto es realizado simplemente con recalcular y actualizar el valor del puntero en cada nodo de la red SDH. Adicional a las diferencias de sincronía, al actualizar el puntero; también se afecta cualquier otro ajuste requerido entre la velocidad de la señal de entrada SDH y la referencia de sincronía.

Los ajustes de puntero introducen *jitter*. Excesivo *jitter* en una señal tributaria degrada la calidad de la señal y puede provocar errores. Por lo tanto, las redes SDH deben ser diseñadas para permitir la distribución confiable de sincronía, para minimizar el número de ajustes de punteros.

#### **4.3.4.4. Sección de multiplexación**

Una sección de multiplexación de una red SDH comprende el medio de transmisión; asimismo, con el equipo asociado (incluyendo regeneradores) que brinda los medios de transporte entre dos nodos consecutivos (multiplexadores SDH). Uno de los nodos de la red original es el encabezado de sección de multiplexación (MSOH) y el otro, termina este encabezado.

#### **4.3.4.4.1. Chequeo de paridad (byte B2)**

Un chequeo de paridad de 24 bits (BIP-24, 24 bit *wide bit-interleaved parity*) es calculada sobre todos los bits en la trama STM-N (exceptuando aquellos en la sección de regeneración). La sumatoria computada es ubicada en la sección de multiplexación, MSOH, de la siguiente trama STM-N.

#### **4.3.4.4.2. Conmutación de protección (bytes K1, K2)**

Los bytes K1 y K2 transportan la información necesaria para activar/desactivar la conmutación entre las rutas principal y de protección, en la sección de multiplexación.

#### **4.3.4.4.3. Canal de comunicación de datos (bytes D4 al D12)**

Los bytes D4 al D12 brindan un canal de 576 kbps, para comunicación de datos (DCC) entre equipos terminales de sección de multiplexación. Este canal es empleado para transmitir gestión de la red e información de mantenimiento.

#### **4.3.4.4.4. Canal orderwire (byte E2)**

El byte E2 es utilizado para brindar un canal local para comunicaciones de voz, entre equipos terminales de sección de multiplexación.

#### 4.3.4.5. Virtual container

Referido más puntualmente como VC (*virtual container*, contenedor virtual). El VC es un envoltorio (e.g. un tipo especial de estructura de señal, o trama) que es empleada para transportar una señal tributaria a través de la red SDH.

El camino recorrido por un VC dentro de la red, puede incluir cualquier número de nodos, por lo tanto el VC puede ser transferido de un sistema de transporte SDH hacia otro, muchas veces en su ruta a través de la red. Sin embargo, en la mayoría de casos, el VC es ensamblado en el punto de entrada de la red SDH y desensamblado únicamente en el punto de salida.

Debido a que el VC es manipulado como un envoltorio que es abierto únicamente en los puntos terminales, cierta capacidad de transporte es dedicada para *path overhead* (encabezado de recorrido). Esta porción del VC, *path overhead*, brinda los medios requeridos para realizar y mantener el transporte del VC entre puntos terminales.

En una trama STM-1, de las 270 columnas, las restantes 261 columnas, que equivalen a 2349 bytes, son asignadas para el contenedor virtual. Esta capacidad comprende la carga de información transportada (260 columnas) junto con una columna para el encabezado de ruta (*path overhead*). Este arreglo equivale a una capacidad de información de 150.34 Mbps, que corresponde a un contenedor virtual nivel 4, o VC-4. La estructura VC-4 incluye una columna (9 bytes) para el encabezado de ruta, dejando 260 columnas para capacidad de transporte (149.76 Mbps).

La capacidad de transporte de VC-4 puede ser subdividida, para permitir el transporte de múltiples señales de orden menor (menor capacidad).

#### **4.3.4.5.1. Proceso de ensamblado y desensamblado de un VC**

Para la operación de redes SDH, es fundamental el concepto de la inserción de una señal dentro de un contenedor virtual (VC), para que la misma sea transportada de punto a punto, a través de la red SDH. A este proceso de insertar la señal tributaria a la ubicación apropiada de un VC, se le llama “mapeo”.

En todas las señales SDH, en su estructura la capacidad provista para cada señal tributaria individual es un poco mayor que la requerida por la señal tributaria. Por lo tanto el proceso de mapeo debe compensar esta diferencia.

Esto es logrado al agregar bytes de “relleno” (*stuffing bytes*), bytes de *path overhead*, a la secuencia de la señal como parte del proceso de mapeo. Este proceso incrementa la razón de bits de la señal compuesta a la velocidad provista para el transporte de señales tributarias en la estructura SDH.

En el punto de salida de la red SDH, la señal tributaria debe ser recuperada del contenedor virtual, al remover los bits de relleno del *path overhead*. Luego del “desmapeo”, es necesario restaurar velocidad de la señal original de la señal tributaria recuperada.

#### 4.3.4.5.2. Encabezado de ruta

El encabezado de ruta (POH) se encuentra contenido dentro del contenedor virtual en una trama STM-1. La información del POH en un VC-4 ocupa los 9 bytes de la primera columna.

- Mensaje de rastro de ruta (byte J1): el byte J1 es utilizado para repetitivamente transmitir una cadena de 64 bytes (un mensaje). El mensaje es transmitido por medio de un byte por trama VC-4. Un mensaje único suele ser asignado a cada ruta en una red SDH. Por lo tanto, el mensaje de rastro de ruta puede ser utilizado para corroborar continuidad entre cualquier locación en una ruta de transmisión y la ruta de origen.
- Chequeo de paridad (byte B3): una sumatoria de paridad par de ocho bits es calculada a partir de todos los bits que componen el VC-4 previamente transmitido. Esta paridad es empleada para monitorear el desempeño en la ruta. El valor es ubicado en el byte B3.
- Etiqueta de señal (byte C2): este byte indica la estructura del VC-4. Esta etiqueta de señal puede tomar 256 valores diferentes, sin embargo dos de estos valores son de particular importancia:
  - Todos los "0" representan un estado de VC-4 no equipado. (el VC-4 no transporta ninguna señal tributaria).
  - El código "0000 0001" representa el estado VC-4 equipado.

#### **4.3.5. Unidades tributarias SDH**

La capacidad de VC-4, 149.76 Mbps, ha sido específicamente definida para el transporte de una señal PDH de cuarto nivel (139.264 Mbps).

Para posibilitar el transporte y conmutación de señales tributarias de velocidades inferiores dentro de VC-4, varias estructuras especiales, llamadas unidades tributarias (TU, *tributary units*), han sido definidas. Las características de cada tipo de TU, han sido seleccionadas específicamente para portar una de las velocidades estándares de señales PDH. En adición, un número fijo de TU puede ser mapeado dentro de un VC-4.

##### **4.3.5.1. Estructura de trama de unidad tributaria**

La estructura de trama de una unidad tributaria es similar a la estructura de trama SDH, previamente descrita. Haciendo referencia a la representación matricial de la estructura SDH, la trama de unidad tributaria también incluye una sección de encabezado y un contenedor virtual, el cual comprende un contenedor y un encabezado de ruta.

En general, la trama de unidad tributaria es generada en tres pasos:

- Una señal tributaria de baja velocidad es mapeada en el “contenedor” TU.
- Se agrega el encabezado de ruta de bajo orden, antes que el contenedor, para conformar el contenedor virtual (VC-11, VC-12, VC-2 o VC-3, dependientemente del tipo de TU).

- Un puntero TU es adicionado para indicar el principio del VC dentro de la trama TU. Este es el único elemento de la sección de encabezado de una TU.

La trama TU es luego multiplexada en una posición fija dentro del VC-4.

Debido al método de intercalación de byte, una estructura de trama TU es distribuida en cuatro tramas VC-4 consecutivas. La fase de una estructura multitrama es indicada por el byte H4 contenido en el encabezado de ruta del VC-4.

#### **4.3.5.2. Tipos de unidades tributarias**

Anteriormente se mencionó sobre contenedores específicos (C), contenedores virtuales (VC) y estructuras TU asociadas, que han sido definidas para cada señal multiplexada PDH estándar.

##### **4.3.5.2.1. TU-11**

Cada trama TU-11 consiste en 27 bytes, estructurados como 3 columnas de 9 bytes. A una velocidad de trama de 8 kHz, estos brindan una capacidad de transporte de 1.728 Mbps y acomodarán el mapeo de una señal DS1 (1.544 Mbps), proveyendo un total de 84 unidades TU-11, que pueden ser multiplexadas en un VC-4.

##### **4.3.5.2.2. TU-12**

Cada trama TU-12 consiste de 36 bytes, estructurados como 4 columnas de 9 bytes.

A una velocidad de trama de 8 kHz, estos brindan la capacidad de transporte de 2.304 Mbps y acomodarán el mapeo de una señal CEPT 2.048 Mbps, pudiendo transportar hasta 63 TU-12 multiplexados en un VC-4.

#### **4.3.5.2.3. TU-2**

Cada trama TU-2 consiste de 108 bytes, estructurados como 12 columnas de 9 bytes. A una velocidad de 8000 kHz, estos bytes proveen la capacidad de transporte de 6.912 Mbps y acomodarán el mapeo de una señal DS2, pudiendo multiplexar hasta 21 TU-2 en un VC-4.

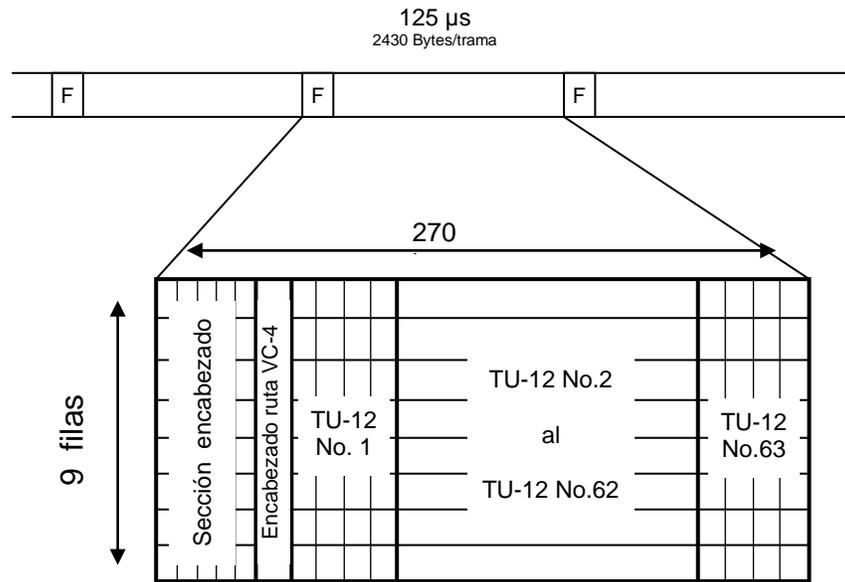
#### **4.3.5.2.4. TU-3**

Cada trama TU-3 consiste de 774 bytes, estructurado en 86 columnas de 9 bytes. A una velocidad de 8 kHz, estos brindan una capacidad de transporte de 49.54 Mbps y acomodarán el mapeo de una señal CEPT 34.368 Mbps o una señal norteamericana DS3 de 44.786 Mbps. Hasta tres TU-3 pueden ser multiplexados en un VC-4.

Como se ilustra a continuación, 63 TU-12 pueden ser contenidos dentro de las 260 columnas de capacidad de transporte provisto por un VC-4. Esto deja 8 columnas en el contenedor C-4 sin ser utilizadas.

Estas columnas no utilizadas resultan de las etapas intermedias en el proceso de multiplexación de TU-12 a VC-4, y son rellenas por bytes de relleno fijos.

Figura 23. **VC-4 portando carga de TU-12**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio.

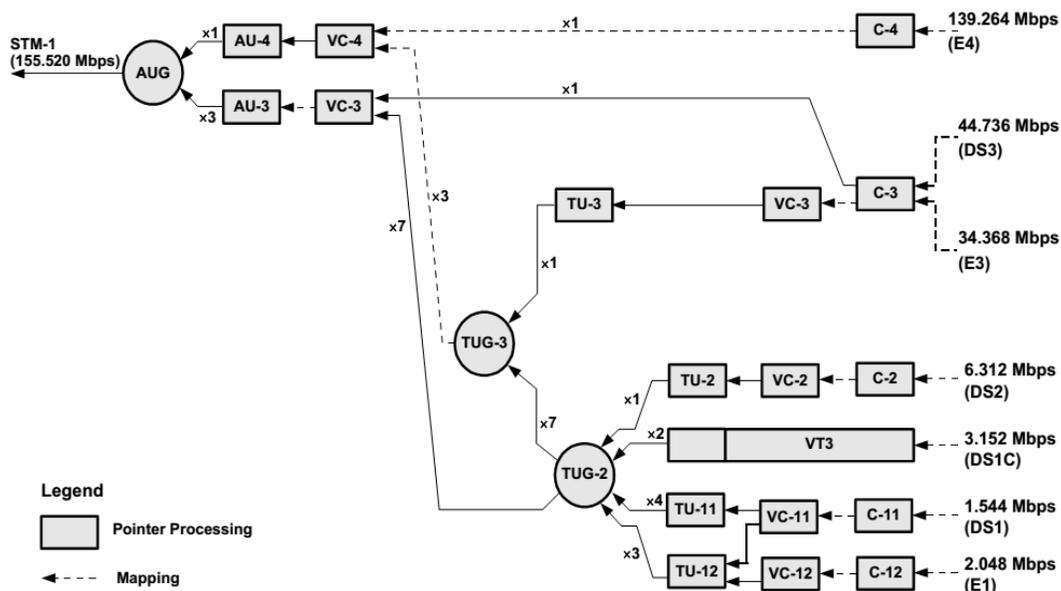
#### 4.3.6. Jerarquía de multiplexación SDH

La figura 24 ilustra una vista general de la jerarquía de multiplexación SDH. Asimismo, se ilustra la utilización de las diferentes estructuras de señales SDH:

- *TUG (tributary unit group)*: grupo de unidad tributaria, es la estructura generada al combinar varias señales tributarias de orden menor en el siguiente nivel tributario mayor. Por ejemplo, un TUG-2 es generado al combinar tres TU-12 o cuatro TU-11, y TUG-3 es generado al combinar siete TUG-2.

- *AU (administrative unit)*: unidad administrativa, es una estructura que incluye un VC y un puntero al principio del VC. Por ejemplo, AU-3 contiene un VC-3 e incluye un puntero al principio del VC.
- *AUG (administrative unit group)*: Grupo de unidad administrativa, es la estructura generada al combinar varias unidades administrativas de menor orden en el siguiente nivel superior de unidad administrativa. Por ejemplo, AUG para el nivel STM-1, es generado al combinar tres AU-3 (varios AUG pueden ser combinados para generar estructuras STM-N).

Figura 24. Jerarquía de multiplexación SDH



Fuente: [http://www.radusa.com/Media/6971\\_SDH\\_SONETbackgrounder.pdf](http://www.radusa.com/Media/6971_SDH_SONETbackgrounder.pdf).

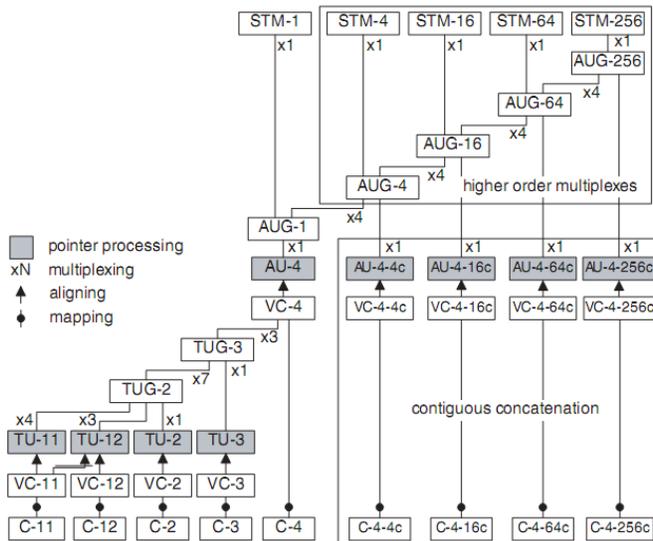
Consulta: noviembre de 2010.

#### 4.4. Concatenación

Impulsado por la demanda de multiplexaciones de SDH de orden aún mayor, requerido por nuevos desarrollos en tecnologías ópticas, los comités de estandarización extendieron las estructuras de multiplexación existentes.

Siguiendo las estructuras ya definidas en el modelo SDH, las velocidades de alto orden serían utilizadas adicionalmente, a transportar cuatro veces la carga del contenedor de la multiplexación previa, para trasladar un contenedor de carga contigua equivalente. Esta metodología es referida como concatenación; un procedimiento en que una multiplicidad de contenedores de carga son asociados uno a otro, con el resultado de que sus capacidades combinadas pueden ser empleadas como un contenedor individual.

Figura 25. Estructuras de multiplexación extendidas en SDH



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next generation SDH/SONET Evolution or revolution?

p. 10.

#### **4.4.1. Concatenación contigua**

En general, un contenedor creado por concatenación contigua es referido como C-n-Xc; un contenedor concatenado de X contenedores C-n.

Para el transporte de un C-n-Xc entre los dos puntos terminales de una ruta, todos los elementos intermedios de la red de transporte requieren soportar la *cross-connection* del contenedor C-n-Xc. Adicionalmente, a pesar de existir suficientes VC-ns libres disponibles en un STM-N, para transportar una señal VC-n-Xc, estos deben ser contiguos.

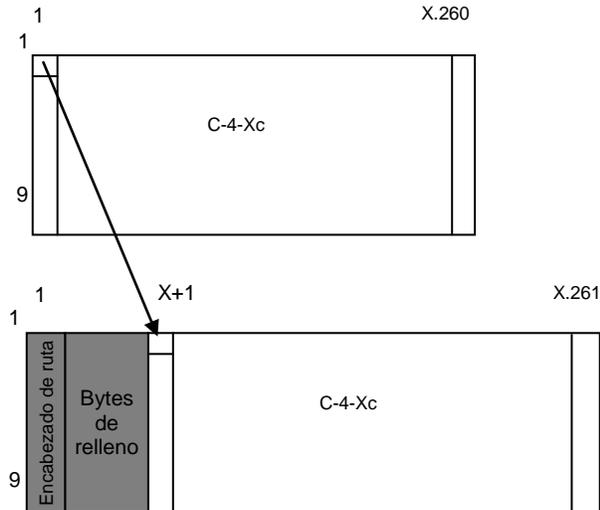
En la definición ITU-T se define al multiplexor de orden inmediato superior con una capacidad cuatro veces mayor al multiplexor en cuestión, y la concatenación contigua fue empleada inicialmente por los multiplexores de orden superior, por lo que el valor de X se encontraba limitado a múltiplos de cuatro, es decir:  $X = 4, 16, 64, 256$  para una señal C-n-Xc.

##### **4.4.1.1. Concatenación contigua de VC-4**

Acorde a la recomendación ITU-T G.707, la capacidad total brindada por una señal C-4-Xc ( $X = 4, 16, 64, 256$ ) es igual a la capacidad brindada por X contenedores virtuales VC-4.

En general, la estructura de una trama de un contenedor VC-4-Xc se representa como una matriz conformada por 9 columnas y  $X \cdot 261$  filas, en donde cada celda contiene un byte u octeto. Cada trama es repetida cada 125  $\mu$ seg.

Figura 26. Estructura SDH VC-4-Xc



Fuente: elaboración propia.

Un VC-4-Xc es construido entrelazando byte por byte los X contenedores virtuales VC-4. El resultado es tal, que las columnas que contienen el encabezado de ruta (POH) de cada VC-4 individual, se encuentran localizadas en las primeras X columnas del VC-4-Xc. De dichas X columnas, únicamente la primera es empleada como encabezado de ruta (POH) común para el VC-4-Xc completo, y consiste de 9 bytes. Las columnas restantes, de la 2 a la X incluida, contienen bytes de relleno. Las  $X \cdot 260$  columnas brindan la capacidad de transporte para el VC-4-Xc, el tamaño exacto de un C-4-Xc.

Un VC-4-Xc será transportado en X contiguos AU-4s en una señal STM-N. La primera columna de un VC-4-Xc siempre será ubicada en el primer AU-4 de X contiguos AU-4s; es decir, para un VC-4-4c esto será en el AU-4 #1, AU-4#5, AU-4 #9 o AU-4 #13 en una señal STM-16.

El puntero del primer AU-4 indica la posición del primer octeto en el encabezado de ruta (POH) de la señal VC-4-Xc.

Los punteros de los AU-4 restantes, son establecidos como indicación de concatenación, es decir, los bytes de punteros H y H2 de dichos AU-4 contienen el valor '1001xx1 11111111', para indicar la trama concatenada contigua. La justificación de puntero se realiza en común para los X AU-4 concatenados, y X\*3 bytes de relleno son empleados.

Las capacidades provistas por las diferentes capacidades concatenadas se presentan en la tabla siguiente.

Tabla VI. **Capacidades concatenadas contiguas**

<b>Señal concatenada contigua</b>	<b>Capacidad provista</b>
VC-4-4c	599.04 Mbit/s
VC-4-16c	2396.16 Mbit/s
VC-4-64c	9584.64 Mbit/s
VC-4-256c	38,338.56 Mbit/s

Fuente: elaboración propia.

#### **4.4.1.2. Concatenación contigua de VC-2**

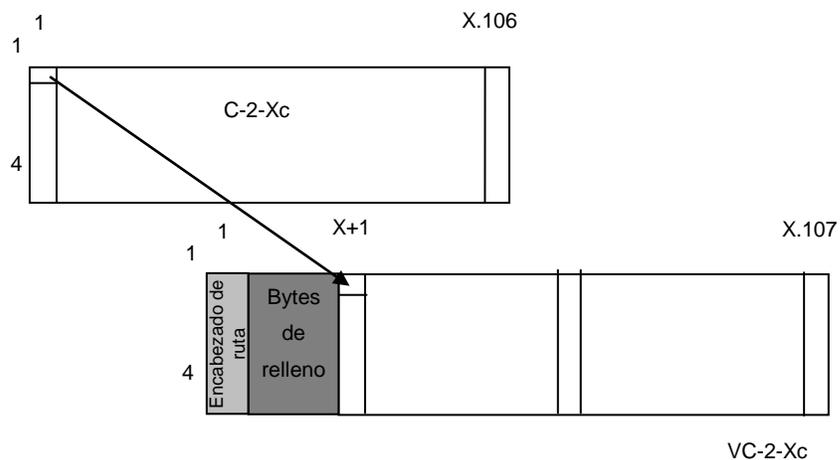
Al momento de la primera definición de concatenación contigua, existían aplicaciones que requerían un ancho de banda mayor al ofrecido por una señal VC-2 y menor al de una VC-4.

Para satisfacer este requerimiento, la concatenación contigua de C-2-Xc (X= 1...7) fue definida.

La estructura de un VC-2-Xc ( $X=1\dots7$ ), es representada como una matriz constituida por 4 filas y  $X*107$  columnas. La primera columna es designada para los cuatro bytes del encabezado de ruta (POH) del VC-2.

Un arreglo común de encabezado de ruta (POH), correspondiente al encabezado de ruta del primer VC-2, es empleado para el arreglo de VC-2-Xc y ubicado en la primera columna. Las columnas 2 a la X inclusive, contienen bits de relleno.

Figura 27. Estructura SDH VC-2-Xc



Fuente: elaboración propia.

El VC-2-Xc es ubicado en X contiguos TU-2 en un VC-3 de orden superior. La primera columna del VC-2-Xc siempre es ubicada en el primer TU-2. El puntero del primer TU-2 indica la posición del primer byte del POH del VC-2-Xc. Los punteros de los restantes TU-2 del arreglo son establecidos para indicar concatenación, es decir, los bytes V1 y V2 contienen el valor "1001xx11111111".

#### 4.4.2. Concatenación virtual

En un principio, los equipos instalados no soportaban la transmisión de señales concatenadas. Luego de actualizar los equipos instalados, habilitando el transporte de señales concatenadas, aún prevalecía la limitación al requerir señales concatenadas contiguas.

A pesar de que existían suficientes VC-n en un STM-N para brindar el transporte de una señal VC-n-Xc, estos no eran disponibles como arreglos contiguos.

En general, una señal concatenada virtualmente es referida como VC-n-Xv. Adicionalmente a las ventajas brindadas por VCAT en que los operadores de red pueden implementar contenedores de carga más gradualmente, VCAT también ofrece mayor granularidad en tamaño, al permitir cualquier valor de X. El método VCAT también es aplicable a bajo orden, VC-m-Xv.

La capacidad de carga de una señal, empleando concatenación virtual es un contenedor contiguo de tamaño C-n-Xc que es transportada a través de la red por X número de VC-ns individuales, cada uno con una capacidad de C-n. Los X VC-ns, tal como el VC-n-Xv, es en general referido como grupo de concatenación virtual (VCG, *virtual concatenation group*, por sus siglas en inglés), y los X números de VC-ns son referidos como miembros del VCG.

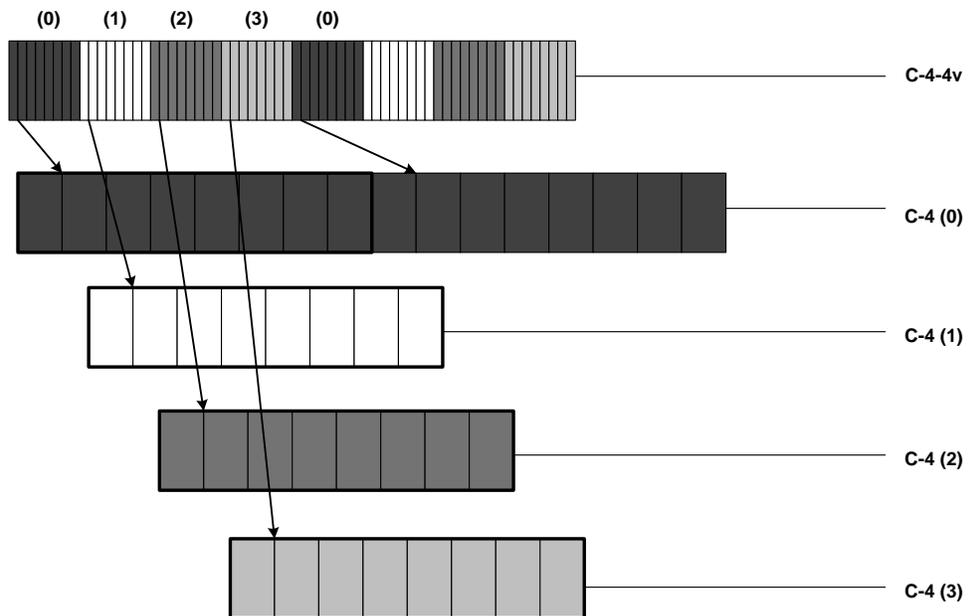
Adicionalmente, la función de concatenación brindando concatenación virtual es únicamente requerida en los equipos terminales del recorrido.

#### 4.4.2.1. Distribución y reconstrucción de la carga

Para la concatenación virtual, el contenedor contiguo C-n-Xc es mapeado en los contenedores C-n de X individuales VC-ns, que constituyen el VC-n-Xv.

La distribución del contenido de la carga contigua es byte a byte; cada byte de una secuencia consecutiva de X bytes en el C-n-Xc, es mapeado en el contenedor C-n apropiado en orden sucesivo. Este orden sucesivo es señalado por un número de secuencia (SQ) asignado a cada VC-n, miembro del VCG. El SQ determina el orden en que los bytes son distribuidos, como se ilustra.

Figura 28. Distribución de carga VCAT

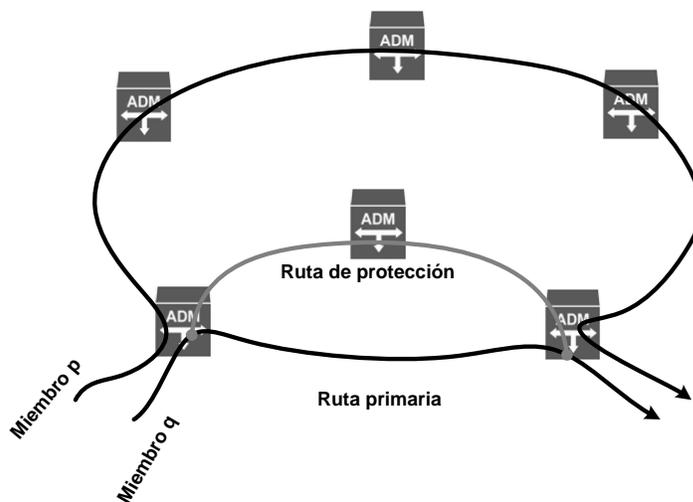


Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET  
Evolution or revolution? p.19.

Los valores asignados a la secuencia (SQ) en el VCG de tamaño X, serán del rango de 0 a (X-1).

Derivado de que cada miembro VC-n del arreglo VC-n-Xv del VCG es transportado individualmente por la red, cada uno puede tomar diferentes rutas; esta funcionalidad es conocida como enrutamiento diverso. Para mejorar la disponibilidad de miembros individuales del VCG, puede emplearse cualquier método de protección estándar de SDH.

Figura 29. **Enrutamiento diverso**



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p.19.

Cada miembro VC-n en el VCG experimentará retardo de propagación en el medio, debido a las diferencias físicas del recorrido. Asimismo, diferentes rutas por la red implican diferentes cantidades de equipos en el recorrido.

Cada nodo insertará un retardo de transmisión por cada VC-n. Esto resultará en que cada VC-n en el VCG tendrá diferentes retardos; estos se conocen como retardo diferencial (*differential delay*). Esta diferencia debe ser detectada en el receptor de la señal, para poder ser compensada.

La compensación o realineación es requerida por VC-n individual antes que la señal concatenada contigua del VCG pueda ser reconstruida. Debido a la posibilidad de conmutación de rutas por protecciones, es necesario que esta compensación sea dinámica.

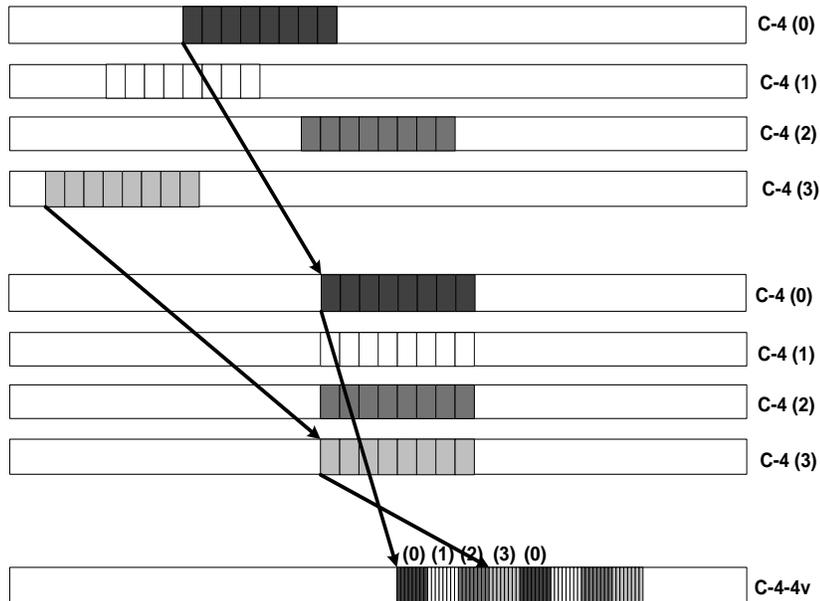
Para la detección del retardo diferencial, es definido el Indicador multitrama (MFI, *multiframe indicator*).

En un contenedor C-n-Xc, todos los X contenedores C-n tendrán el mismo valor MFI asignado en el punto de partida. El retardo diferencial puede ser determinado al comparar los valores MFI en el lado de recepción.

El miembro con el menor retardo tendrá el valor MFI mayor; el miembro con el retardo mayor tendrá el valor MFI menor.

La compensación del retardo diferencial es lograda al retardar el miembro más rápido, o con menor retardo, en el VCG. Esto se logra empleando almacenamiento (*buffers*) variable para cada miembro del VCG. El máximo retardo diferencial permisibles es de 256 ms.

Figura 30. **Reconstrucción de carga VCAT**



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 21.

El MFI es considerado un contador, limitado por el máximo retardo diferencial permisible (256 ms) y el número de bits disponibles en el encabezado de operación administración y monitoreo (OA&M, *operation administration & maintenance*).

#### 4.4.2.2. VCAT de VC-n

La estructura de la trama de un arreglo de concatenación virtual de VC-ns, es representado como una matriz de 9 filas por (p+1) columnas, una columna que incluye el encabezado de OA & M y p columnas, conteniendo la carga útil.

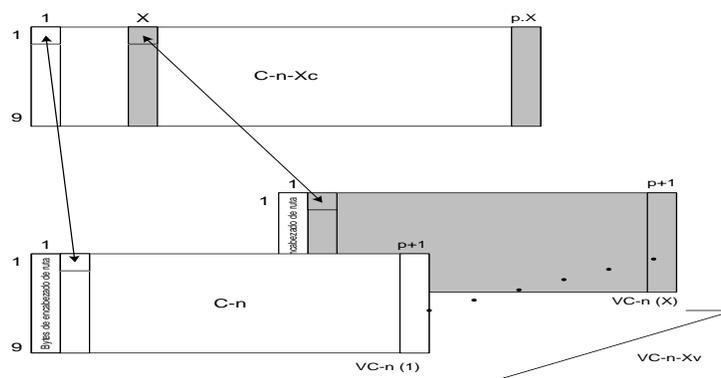
Tabla VII. **VCAT de VC-n**

<b>VC-n-Xv (X=1...256)</b>	<b>VC-n</b>	<b>p</b>	<b>Capacidad de transporte</b>
VC-4-Xv	VC-4	260	X*149,760 kbit/s
VC-3-Xv	VC-3	84	X*48,384 kbit/s

Fuente: elaboración propia.

Cada VC-n tiene su propio encabezado de ruta OA & M. El byte H4 en el encabezado de un VC-n que es miembro de un VCG es establecido con la información del encabezado de ruta del arreglo de concatenación virtual. Este encabezado de ruta de VCAT contendrá el número de secuencia (SQ) y el identificador de multitrama (MFI). El uso del byte H4 para este propósito específico está implicado por el valor en la etiqueta de la señal en el byte C2, en el encabezado de ruta. La ilustración muestra una distribución genérica de un arreglo C-n-Xc distribuido en X contenedores C-n individuales, de una estructura VC-n-Xv.

Figura 31. **Correspondencia C-n con C-n-Xc**



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

Una multitrama de dos etapas es introducida en el VCAT para detectar retardos diferenciales de 125  $\mu$ s y mayores. El valor de 512 ms fue establecido para detectar retardos diferenciales de hasta 256 ms. El byte H4, los bits [5.8] son empleados para la primera etapa y proveen un indicador multitrama de 4-bits (MFI-1).

El contador MFI-1 es incrementado cada trama contenedor de carga útil básica, contando de 0 a 15. Estas 16 tramas básicas constituyen la trama de encabezado de ruta de un VCAT, también referido como paquete de control. La segunda etapa de la multitrama VCAT emplea un contador de 8-bits (MFI-2) que es ubicado en el byte H4, los bits [1...4] de la trama de encabezado VCAT (MFI-1=0) para MFI-2 bits [1...4] y trama (MFI-1=1) para MFI-2 bits [5...8].

Es decir, que cada vez que el contador MFI-1 reinicie su cuenta (0...15), al pasar por el valor (MFI-1=0) aumentará los bits más significativos del MFI-2 bits [1...4], cuando sea aplicable; y al pasar por el valor (MFI-1=1) aumentarán los bits menos significativos de MFI-2 bits [5...8]. Lo que resulta en que el contador MFI-2 es aumentado cada multitrama VCAT, contando de 0 a 255; resultando en una multitrama VCAT que consiste de 4096 tramas básicas de contenedores de carga útil, que serán repetidos cada 512 ms. El indicador de secuencia (SQ) identifica la secuencia u orden en que los VC-n individuales de un VC-n-Xv son combinados para formar el contenedor contiguo VC-n-Xc.

Cada miembro individual VC-n de un VCG tiene un número de secuencia en el rango de 0 a (X-1). El VC-n transportado en el tiempo (*time slot*) 1, (X+1), (2X+1)... de un C-n-Xc tiene el número de secuencia 0; el VC-n transportado en el tiempo (*time slot*) 2, (X+2), (2X+2)... de un C-n-Xc tiene el número de secuencia 1; y así sucesivamente hasta alcanzar al VC-n transportado en el tiempo (*time slot*) X, 2X, 3X... de un C-n-Xc con el número de secuencia (X-1).

VCAT proporciona una capacidad fija de transporte, por lo tanto el arreglo de secuencia es invariable. Este arreglo debe ser provisionado tanto en la fuente como en el destino. Al modificar la capacidad de un VCG, únicamente puede ser realizado al modificar completamente el VCG, es decir, restablecerlo a la nueva disposición.

Se muestra una tabla conteniendo valores representativos en los contadores de multitrama y de secuencia recuperados.

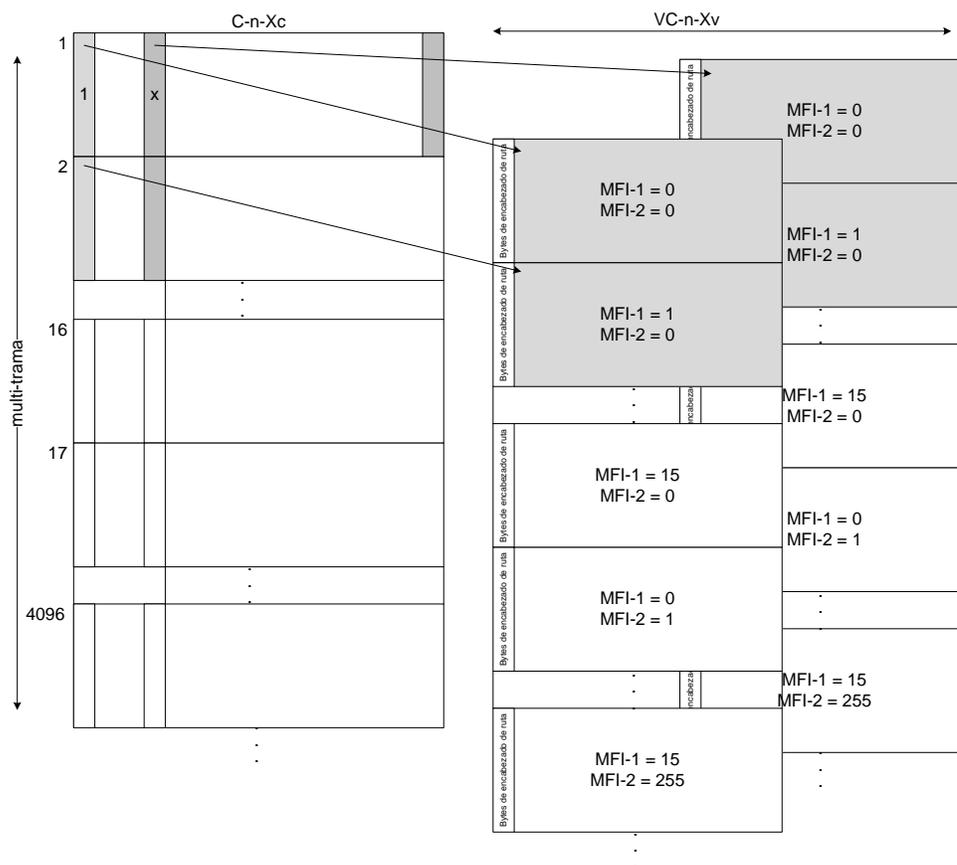
Tabla VIII. Bits SQ y MFI

Byte H4								MFI -1	MFI -2
Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	Bit 8		
				MFI-1 bits [1..4]					
Reservado (≈ '0000')				1	1	0	1	13	n-1
SQ MSB bits [1..4]				1	1	1	0	14	
SQ MLB bits [5..8]				1	1	1	1	15	
MFI-2 MSB bits [1..4]				0	0	0	0	0	n
MFI-2 MIB bits [5..8]				0	0	0	1	1	
Reservado (≈ '0000')				0	0	1	0	2	
Reservado (≈ '0000')				0	0	1	1	3	
Reservado (≈ '0000')				0	1	0	0	4	
Reservado (≈ '0000')				0	1	0	1	5	
Reservado (≈ '0000')				0	1	1	0	6	
Reservado (≈ '0000')				0	1	1	1	7	
Reservado (≈ '0000')				1	0	0	0	8	
Reservado (≈ '0000')				1	0	0	1	9	
Reservado (≈ '0000')				1	0	1	0	10	
Reservado (≈ '0000')				1	0	1	1	11	
Reservado (≈ '0000')				1	1	0	0	12	
Reservado (≈ '0000')				1	1	0	1	13	
SQ MSB bits [1..4]				1	1	1	0	14	
SQ MLB bits [5..8]				1	1	1	1	15	
MFI-2 MSB bits [1..4]				0	0	0	0	0	n+1
MFI-2 MIB bits [5..8]				0	0	0	1	1	
Reservado (≈ '0000')				0	0	1	0	2	

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

El número de secuencia (SQ) de 8-bits, que brinda valores de X hasta 256, emplea el byte H4, los bits [1...4] en el encabezado de la trama VCAT (MFI-1=14) para los bits SQ [1..4] y la trama (MFI-1=15) para los bits SQ [5...8]. Es decir, que el número de secuencia es establecido/recuperado en la trama (MFI-1=14) y (MFI-1=15) de una multitrama VCAT, que representa una estructura multitrama como se ilustra a continuación.

Figura 32. Correspondencia C-n-Xc con VC-n-Xv



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 25.

#### 4.4.2.3. VCAT de VC-m

La definición de la trama de concatenación virtual para bajo orden es similar a la referida en alto orden; debido a esto; solo las diferencias relevantes son contenidas en este apartado.

Un contenedor VCAT de bajo orden brinda una carga útil igual a  $C-m-Xc$ , empleando la capacidad total de  $X$  contenedores individuales  $C-m$ . La estructura de un VC-m es representada como un arreglo de 4 filas por  $(q+1)$  columnas y es repetida cada 500  $\mu s$ . La primera columna contiene el POH de 4 bytes. Las diferentes velocidades posibles en estos arreglos se listan en la tabla siguiente.

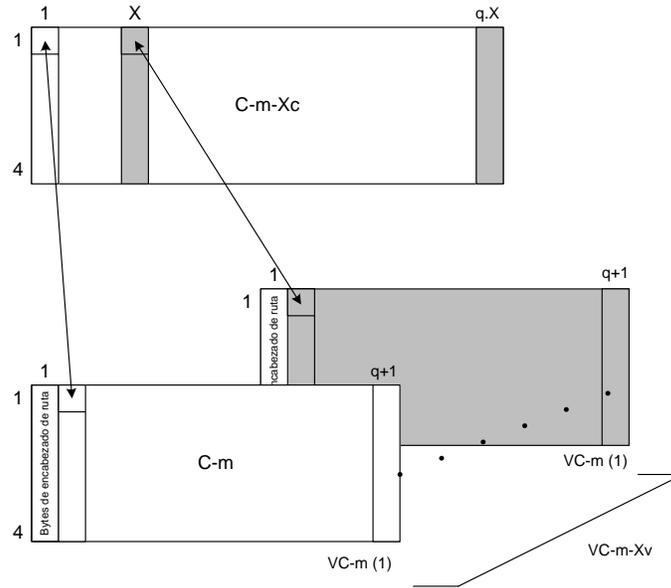
Tabla IX. **Contenedores LO VCAT**

<b>VC-m-Xv (X=1..64)</b>	<b>VC-m</b>	<b>Q</b>	<b>Capacidad de transporte</b>
VC-2-Xv	VC-2	106	$X*6784$ kbit/s
VC-12-Xv	VC-12	34	$X*2176$ kbit/s
VC-11Xv	VC-11	25	$X*1600$ kbit/s

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 26.

El valor de  $X$  para bajo orden se encuentra limitado entre 1 a 64, debido a que un número diferente resultaría en un arreglo ineficiente y es improbable mapear más de 63 VC-11 o VC-12 en un VC-4; por lo tanto el campo SQ puede ser limitado a 6 bits. La distribución del contenido del  $C-m-Xc$  de los  $X$  contenedores VC-m individuales en el VCG se ilustra en la figura 33.

Figura 33. Estructura VC-m-Xv



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 26.

Cada VC-m posee su propio POH. En el existente encabezado no se encuentran suficientes bits reservados disponibles para emplearlos por el encabezado de bajo orden VCAT OH. Se define un proceso de dos etapas para brindar los bits requeridos.

Los bits empleados son del byte V5, bits 5 al 7, en el cual se emplea la señal '101' indicando "etiqueta de señal extendida". Esta extensión es necesaria para brindar valores tanto para concatenación virtual como para aplicaciones futuras. La presencia del valor de "etiqueta de señal extendida" implica que el byte K4 bit 1, es empleado para brindar valores de etiquetas de señal adicionales.

Si una de estas etiquetas de señal extendida indica que la aplicación emplea concatenación virtual, el encabezado VCAT OH se encontrará en el byte K4, bit 2. Este encabezado contendrá el número de secuencia SQ y el indicador multitrama MFI requerido por VCAT.

Si el valor del byte V5 bits [5..7] es '101', el byte K4 bit 1 contiene una multitrama de 32 tramas que brinda una cadena de 32 bits, como se representa en la tabla X. La cadena de 32 bits, contiene la señal de alineación de multitrama (MFAS, *multiframe alignment signal*), que consiste de '0111 1111 110', un campo de etiqueta de señal extendida de 8 bits, un bit separador con valor '0' y 12 bits reservados para uso futuro, todos establecidos a '0'. Si los bits reservados son empleados, se debe evitar replicar la cadena de MFAS. La etiqueta de multitrama de señal extendida es repetida cada 16 ms.

El encabezado multitrama de bajo orden VCAT OH o paquete de control consiste de los siguientes campos:

- Indicador multitrama (MFI): el VCAT MFI de bajo orden es contenido en los bits 1 a 5 del paquete de control. Brinda una medida para el retardo diferencial con granularidad de 16 ms. El tiempo total de la multitrama VCAT de bajo orden, es determinada por el MFI de 5 bits, y es igual a 512 ms (32 x 16 ms).
- Campo de número de secuencia (SQ): la secuencia SQ VCAT de bajo orden es contenido dentro de los bits 6 a 11 del paquete de control.
- Reservado: los restantes 21 bits del paquete de control son reservados para futura estandarización y deben ser establecidos a '0'. Los bits reservados deben ser ignorados por el receptor.

Tabla X. Encabezado multitrama VCAT

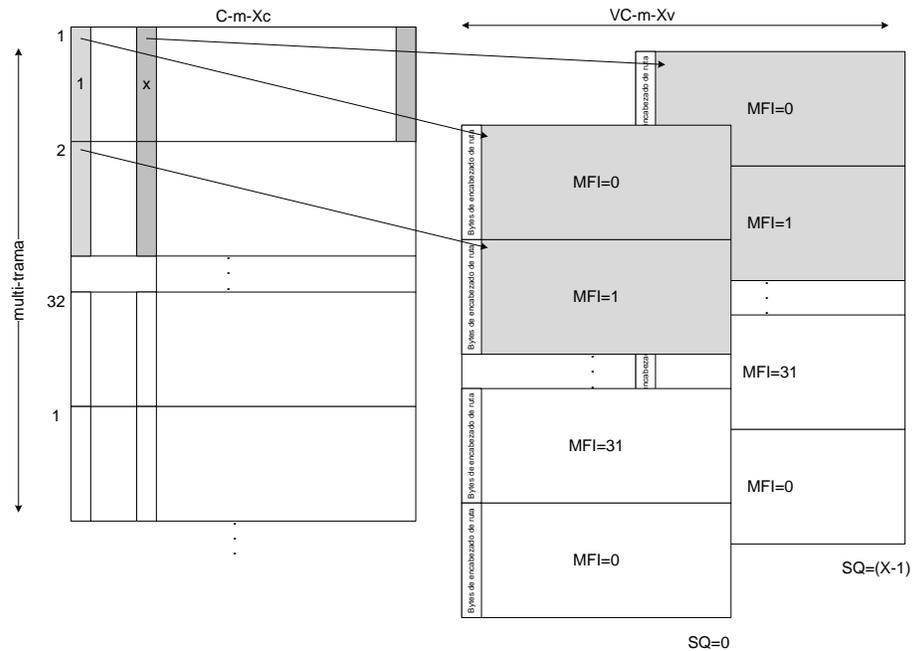
MFAS en bit 1 byte K4		VCAT OH bit 2 byte K4		Número de bit
Función	Valor	Función	Valor	
Señal de alineación de multitrama	0	MFI (bits 1-5)	MSB	1
	1			2
	1			3
	1			4
	1		LSB	5
	1	SQ (bits 1-6)	MSB	6
	1			7
	1			8
	1			9
	1			10
0	LSB		11	
Etiqueta de señal extendida		Reservado	0	12
		Reservado	0	13
No empleado por VCAT		Reservado	0	14
		Reservado	0	15
Establecido	0	Reservado	0	16
Reservado	0	Reservado	0	17
Reservado	0	Reservado	0	18
Reservado	0	Reservado	0	19
Reservado	0	Reservado	0	20
Reservado	0	Reservado	0	21
Reservado	0	Reservado	0	22
Reservado	0	Reservado	0	23
Reservado	0	Reservado	0	24
Reservado	0	Reservado	0	25
Reservado	0	Reservado	0	26
Reservado	0	Reservado	0	27
Reservado	0	Reservado	0	28
Reservado	0	Reservado	0	29
Reservado	0	Reservado	0	30
Reservado	0	Reservado	0	31
Reservado	0	Reservado	0	32

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 28.

La figura 34 ilustra los campos MFI y SQ para los *time slots* de C-m-Xc sobre X individuales VC-m de un VC-m-Xv VCG.

Figura 34. Estructura multitrama C-m-Xc



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 28.

#### 4.5. Esquema de ajuste de capacidad de enlace

Referido por sus siglas en inglés LCAS (*link capacity adjustment scheme*) es una adición a la concatenación virtual, que brinda mecanismos para poder ajustar la capacidad de transporte de manera activa sin generar afectación de tráfico, es decir, permite el incremento o reducción del ancho de banda del arreglo, sin necesidad de interrumpir el mismo.

Para la operación de este mecanismo se definió un nuevo paquete de control contenido en el encabezado del arreglo VCAT, el cual brinda los medios para asegurar la interoperación entre ambos extremos, fuente (emisor) y sumidero (receptor).

#### **4.5.1. Paquete de control**

Para sincronizar todos los cambios en la capacidad de transporte del transmisor o fuente y el receptor o sumidero, un paquete de control es empleado para transmitir la información de control requerida. Este paquete de control es el mismo empleado en la multitrama VCAT. Los paquetes de control son transmitidos continuamente, aunque no exista cambio que reportar.

Por definición, cada paquete de control describe el estado del miembro del siguiente paquete de control, es decir, la información de control del miembro es enviada previamente, así los cambios son enviados por adelantado, de tal manera que el proceso sumidero puede conmutar a una nueva configuración tan pronto como el paquete arribe y sea validado. Esto asegura que todos los cambios planeados del VCG no impacten en el tráfico.

El flujo de información fluye en ambas direcciones, de fuente a sumidero y viceversa. En dirección de envío, de fuente a sumidero, la información transmitida es:

- Indicador de multitrama (MFI), reutilizada de la multitrama origina VCAT
- Indicador de secuencia (SQ), reutilizada de la multitrama origina VCAT
- Control (CTRL)
- Bit identificador de grupo (GID)

En dirección inversa, de sumidero a fuente, la información transmitida es:

- Estado de miembro (MST)
- Bit confirmación de resecuencia (RS-Ack)

Debe notarse que el paquete de control de todos los miembros contiene la misma información de MST y RS-Ack. Esto permite que la fuente seleccione el paquete de control de uno de los miembros para recuperar la información de MST y RS-Ack de todos los miembros.

En ambas direcciones, la información transmitida es:

- Comprobación de redundancia cíclica (CRC)
- Bits no empleados y establecidos a '0'

Todos los paquetes de control son procesados en el extremo sumidero luego de compensar el retardo diferencial de los miembros. El paquete de control está conformado de los diferentes campos listados anteriormente, y se explican con mayor detalle a continuación.

#### **4.5.1.1. Indicador de multitrama**

En un VCG con X miembros, la capacidad a transmitir es dividida en partes conteniendo X bytes. Cada una de estos X bytes sucesivos son transportados por uno de los X miembros del VCG.

En la fuente, el valor MFI es igual para cada uno de los miembros C-n del VCG y será incrementado en cada trama transmitida. En el extremo sumidero el valor MFI se utiliza para realinear cada miembro del VCG antes de reconstruir la capacidad transmitida original C-n-Xc.

Para simplificar el proceso de multitrama MFI, es posible ignorar el resultado de CRC del paquete de control. Esto posibilita que el proceso de multitrama VCAT con o sin soporte de LCAS, sean idénticos.

#### **4.5.1.2. Indicador de secuencia (SQ)**

Para la reconstrucción de la capacidad transmitida original C-n-Xv luego de la compensación de retardo diferencial, es necesario conocer el orden de los bytes. Para este propósito, a los miembros del VCG es asignado un valor único de secuencia por el proceso LCAS en la fuente.

Este valor es diferente al empleado por VCAT, debido a que es asignado específicamente por el proceso LCAS; sin embargo la asignación del mismo es similar. Este valor debe ser ignorado por el sumidero para todos los miembros que no están activos en el VCG.

#### **4.5.1.3. Control (CTRL)**

En el proceso LCAS, en la fuente, cada miembro puede estar en un estado de operación específico. El campo de control (CTRL) es empleado para transmitir esta información de estado de la fuente al sumidero.

La información de estado es empleada para sincronizar el sumidero con la fuente y refleja el estado de cada miembro individual dentro del grupo.

Actualmente existen cinco estados definidos para LCAS, y uno definido por VCAT al establecer los bits en '0', conformados por cuatro bits.

Tabla XI. **Valores de control CTRL de LCAS**

Bits CTRL				Valor	Descripción
CT <sub>1</sub>	CT <sub>2</sub>	CT <sub>3</sub>	CT <sub>4</sub>		
0	0	0	0	FIXED	Establecido o fijo, definido por VCAT. Indica que el ancho de banda es invariable, es decir, no es LCAS. Este valor es compatible con VCAT donde fue definido de este modo.
0	0	0	1	ADD	Agregar, indica que el miembro esta por ser agregado al VCG; es un estado transitorio de IDLE hacia NORM/EOS.
0	0	1	0	NORM	Normal, transmisión normal. Este miembro es empleado para la reconstrucción del contenedor original C-n-Xv.
0	0	1	1	EOS	Fin de secuencia (end of sequence), este es un caso especial de normal, indicando que este es el último miembro de la secuencia del VCG. Solo un miembro en el VCG puede tener este valor.
1	1	1	1	IDLE	Este miembro no es parte del VCG o está por ser removido del VCG.
0	1	0	1	DNU	No utilizar (do not use), no utilizar este miembro, el sumidero reporta un estado de falla (FAIL) para el mismo.

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 41.

En el establecimiento de un VCG, la fuente transmitirá en todos los miembros, el valor "IDLE" (inactivo), hasta que los miembros sean agregados al VCG y entonces se transmitirá el valor "ADD" (agregar).

#### 4.5.1.4. Identificador de grupo (GID)

En circunstancias normales, múltiples VCGs pueden existir al mismo tiempo; el bit identificador de grupo (GID) es empleado para verificar cada VCG. El GID de todos los miembros de un mismo VCG tiene el mismo valor en tramas con el mismo valor MFI. De esta manera el GID brinda a LCAS en el sumidero de un VCG, los medios para verificar que todos los miembros entrantes se originen de un mismo VCG fuente.

El contenido del GID es proporcionado por un generador pseudoaleatorio que brinda un patrón con una longitud de  $2^{15}-1$  bits. En el extremo de sumidero es suficiente verificar que los bits GID de todos los miembros en el VCG, luego de compensar el retardo diferencial, tengan el mismo valor.

Sin el bit GID, sería imposible detectar miembros de distintos VCGs en los casos de:

- La traza de identificador de rastro (TTI) de los miembros es idéntica o no empleada.
- El retardo diferencial, de miembros de distintos VCGs, se encuentra dentro del rango aceptable.
- Los valores de SQ son idénticos.

Debe notarse que el bit GID no es evaluado en miembros con el valor "IDLE" en el campo de control (CTRL).

#### **4.5.1.5. Comprobación de redundancia cíclica (CRC)**

En SDH es común validar una señal, inspeccionando tres de cinco valores consecutivos idénticos. En LCAS un nuevo paquete de control es transmitido cada 2 ms (para alto orden) o 16 ms (para bajo orden) y una validación “normal” requeriría entonces de 4 a 10 ms, o 32 a 80 ms. Para simplificar y acelerar la validación de los cambios en el encabezado de VCAT, se emplea CRC para proteger y validar cada paquete de control.

La verificación de CRC es realizada en cada paquete de control luego de que ha sido recibido, y los contenidos son descartados si la verificación falla. Si el paquete de control cumple con la verificación de CRC, entonces su contenido es empleado inmediatamente. Si el paquete de control contiene información de cambio en la capacidad de transmisión y sufre corrupción, dicho cambio puede provocar impacto sobre el tráfico; sin embargo, la validación de CRC limita este impacto a una única trama del contenedor. Validación “normal” provocaría un impacto mucho más prolongado.

##### **4.5.1.5.1. Multiplicación/división de CRC**

Los bits del paquete de control pueden ser considerados los coeficientes de un polinomio donde el primer bit del paquete de control a ser transmitido es el más significativo.

Un bloque CRC-n es el residuo luego de la multiplicación del paquete de control polinomial por  $x^n$  y la división (módulo 2) por el generador polinomial específico de la aplicación. El residuo es un polinomio de máximo grado (n-1).

Cuando se representa el contenido del paquete de control como un polinomio, el primer bit del paquete de control, bit 1, debe ser considerado como el más significativo. Consecuentemente,  $C_1$  es considerado el más significativo del residuo y  $C_n$  el bit menos significativo del residuo.

#### 4.5.1.5.2. Codificación de CRC

El paquete de control es considerado estático, es decir, su contenido no cambiará durante el proceso de codificación CRC.

Esto implica que la comprobación CRC-n puede ser calculada *a priori* sobre el paquete de control. El proceso de codificación es como se detalla a continuación:

- Los bits del paquete de control CRC-n son remplazados por '0'.
- El paquete de control es multiplicado/dividido como se describió en el apartado anterior.
- El residuo del proceso de multiplicación/división es insertado en el campo CRC-n del paquete de control.

Los bits CRC-n generados no afectan el resultado del proceso de multiplicación/división debido a que las posiciones del paquete de control de CRC-n son establecidos a '0'.

#### **4.5.1.5.3. Decodificación de CRC**

El proceso de decodificación se realiza como sigue:

- Un paquete de control recibido es comprobado mediante el proceso de multiplicación/división, como se indicó anteriormente.
- Si el residuo calculado es cero, se concluye que el paquete se encuentra libre de errores.

#### **4.5.1.6. Estado de miembro (MST)**

El MST es utilizado para reportar el estado de todos los miembros de un VCG del sumidero hacia la fuente. El estado de los miembros en el sumidero es afectado por el estado de los mismos miembros en la fuente y este es transferido de la fuente al sumidero por el valor de CTRL en el paquete de control; el estado también es afectado por el comportamiento de la red. En el sumidero, los miembros pertenecientes a un VCG son operacionales y el estado es "OK", o experimentan problemas y el estado es "FAIL" (fallido).

Debido a que solamente existen dos estados en el extremo sumidero, el MST es definido como un bit individual. El valor de MST es "OK" (bit establecido a '0') y "FAIL" (bit establecido a '1'). Los estados de todos los miembros son transportados en el encabezado LCAS de todos los miembros de sumidero a fuente.

El proceso LCAS de la fuente puede seleccionar cualquier miembro del VCG para recuperar el MST de todos los miembros del VCG. El máximo número de miembros en un VCG depende de la aplicación específica.

El campo MST ha sido limitado a 8 bits por paquete de control y el MST de todos los miembros es distribuido en múltiples paquetes de control como una multitrama MST, resultando en una multitrama MST repetida, cada 64 ms para alto orden y 128 ms para bajo orden.

Para cada miembro, el sumidero utiliza el número de secuencia que recibe de la fuente como el número correspondiente MST del lado de la fuente, es decir, asignación unívoca de secuencia a número de bit MST.

Para determinar el número de miembros en el VCG, el miembro mayor activo no fallido enviará el valor EOS en el CTRL.

En la inicialización de un VCG los miembros reportan MST = "FAIL". Una transición de MST = "OK" ocurre cuando un paquete de control es recibido para dicho miembro con CTRL de valor "ADD"; es decir, que el valor "ADD" implica que el establecimiento de la ruta en la red fue exitoso. El valor MST = "OK" se enviará también cuando el valor CTRL recibido en el sumidero sea NORM o EOS. Todos los miembros en el sumidero que no sean provisionados como parte del VCG, y miembros que transmitan el valor CTRL de "IDLE", transmitirán MST = "FAIL".

#### **4.5.1.7. Confirmación de resecuencia (RS-Ack)**

Al modificar el tamaño de un VCG en la fuente se provocará un cambio en la secuencia del grupo. La asignación de números de secuencia es responsabilidad del proceso LCAS del extremo fuente, mientras que los cambios en los números de secuencia son detectados en el extremo sumidero.

El extremo sumidero consecuentemente modificará el MST del miembro afectado y reportará el cambio a la fuente. Por lo tanto, desde el tiempo que el número de secuencia fue cambiado (enviado por la fuente) hasta que el valor MST ha sido recibido por la fuente, esta no debe emplear el valor MST recibido, para evitar interpretaciones imprecisas y provocar la pérdida de sincronización entre fuente y sumidero.

Para confirmar desde el sumidero hacia la fuente que un cambio en la secuencia ha sido detectado y que la relación de cambio de MST por SQ es válida, se introduce la confirmación de resecuencia (RS-Ack).

Cuando ocurre una reasignación de SQ de algún miembro transmitiendo CTRL como NORM, DNU o EOS es detectada por el sumidero; una notificación hacia la fuente debe ser transmitida por VCG al alternar el bit RS-Ack, es decir, cambiando su valor de '0' a '1' o de '1' a '0'.

Más formalmente definido, la alternación del valor del bit RS-Ack puede ocurrir por:

- Adición de uno o más miembros al VCG, es decir, el cambio del valor CTRL de un miembro de "ADD" a "EOS" o "NORM". Lo último ocurre cuando múltiples miembros son agregados al VCG al mismo tiempo.
- La exclusión de uno o más miembros de un VCG, es decir, el cambio del valor CTRL de un miembro de "NORM" o "EOS" a "IDLE".
- La exclusión de uno o más miembros fallidos del VCG, es decir, el cambio del valor CTRL de un miembro de "DNU" a "IDLE".

- Cualquier cambio en la secuencia del VCG, es decir, una reasignación de los valores SQ en un VCG. El cambio en la secuencia es detectado por el sumidero para los miembros, transmitiendo valores CTRL de “NORM” o “EOS” o “DNU” únicamente.

El bit RS-Ack puede ser alternado únicamente luego que el estado de todos los miembros del VCG ha sido evaluado y el cambio de la secuencia ha sido realizado. En el evento en que la alternación del bit RS-Ack no es detectada por la fuente, la sincronización entre sumidero y fuente es lograda con la activación de un temporizador de RS-Ack. El temporizador RS-Ack es iniciado durante operaciones que requieran reasignación de secuencia en el VCG. La expiración del temporizador es equivalente a la alternación del bit RS-Ack y su correspondiente detección por el sumidero.

Se debe notar que para evitar perder la sincronización entre fuente y sumidero, no se deben realizar cambios adicionales en un VCG hasta que el RS-Ack ha sido recibido o el temporizador RS-Ack ha expirado para el cambio activo.

#### **4.5.2. Detalles del paquete de control**

Como LCAS es una extensión de VCAT, el paquete de control LCAS reutiliza el encabezado VCAT. La posición del MFI y SQ permanece igual; para el encabezado adicional LCAS los bits reservados son empleados. El VCAT y LCAS OH es normalmente referido como información VCAT/LCAS, VLI por sus siglas en inglés (*VCAT/LCAS information*).

#### 4.5.2.1. VLI de alto orden

El paquete de control de alto orden LCAS comienza en MFI-1 [8] del MFI-2 [n] y termina en MFI-1 [7] del MFI-2 [n+1]. Esta definición varía de VCAT, para permitir el remplazo del resultado CRC de los últimos *nibbles* de LCAS del paquete de control.

Tabla XII. VLI de alto orden

Byte H4								MFI -1	MFI -2
Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	Bit 8		
				MFI-1 bits [1..4]					
Reservado ('0000')				0	1	0	1	5	n
C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	0	1	1	0	6	
C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	0	1	1	1	7	
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	1	0	0	0	8	
M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	1	0	0	1	9	
0	0	0	RS-Ack	1	0	1	0	10	
Reservado ('0000')				1	0	1	1	11	
Reservado ('0000')				1	1	0	0	12	
Reservado ('0000')				1	1	0	1	13	
SQ MSB bits [1..4]				1	1	1	0	14	
SQ MLB bits [5..8]				1	1	1	1	15	
MFI-2 MSB bits [1..4]				0	0	0	0	0	
MFI-2 LSB bits [5..8]				0	0	0	1	1	
CT <sub>1</sub>	CT <sub>2</sub>	CT <sub>3</sub>	CT <sub>4</sub>	0	0	1	0	2	
Reservado ('0000')				0	0	1	1	3	
0	0	0	GID	0	1	0	0	4	
Reservado ('0000')				0	1	0	1	5	
C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	0	1	1	0	6	
C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	0	1	1	1	7	
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	1	0	0	0	8	
M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	1	0	0	1	9	
0	0	0	RS-Ack	1	0	1	0	10	

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 52.

El paquete de control de alto orden está conformado por MST, ocho bits en los dos nibbles MFI-1 [8] y MFI-1 [9]; el reporte de estado de todos los miembros individuales de un VCG utiliza la multitrama mostrada en la tabla. El estado de los 256 miembros es transmitido en 64 ms, es decir ocho miembros por paquete de control; 32 paquetes consecutivos son requeridos para cubrir los 256 estados, y el paquete de control es transmitido cada 2 ms porque es enviado en el byte H4 de 16 tramas VC-n cada 125  $\mu$ s.

Tabla XIII. **Multitrama LCAS MST de alto orden**

Número de multitrama MST según valor MFI-2								Número de miembro			
1	2	3	4	5	6	7	8	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>
Valores no considerados			0	0	0	0	0	0	1	2	4
			0	0	0	0	1	5	6	7	8
			.	.	.	.	.	9	10	11	12
			.	.	.	.	.	13	14	15	16
			.	.	.	.	.	.	.	.	.
			1	1	1	1	0	240	241	242	243
			1	1	1	1	1	244	245	246	247
								248	249	250	251
								252	253	254	255

La interpretación de los bits MST está basada en el valor MFI-2 al momento de recibir el octeto MST M<sub>1</sub>...M<sub>8</sub>, es decir, el valor MFI-2 recibido en el paquete de control anterior.

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 53.

- RS-Ack, ubicado en el bit 4 del nibble MFI-1 [10].
- SQ, ocho bits ubicados en dos nibbles MFI-1 [14] y MFI-1 [15]; el valor SQ para LCAS de alto orden puede ser de 0 a 255 inclusive.

- MFI-2, ocho bits ubicados en dos nibbles MFI-1 [0] y MFI-1[1]; la combinación de MFI-1 y MFI-2 brinda en contador multitrama LCAS de alto orden [0-4095].
- CTRL, cuatro bits ubicados en el nibble MFI-1 [2]; contiene el código de control LCAS. Para detalles referirse a la tabla XI.
- GID, un bit ubicado en bit del nibble MFI-1 [3].
- CRC-8, ocho bits ubicados en dos nibbles MFI-1 [6] y MFI- [7]; los bits CRC  $C_1 \dots C_8$  contienen el residuo del cálculo CRC-8 como sigue: los primeros 14 nibbles del paquete de control representan un polinomio  $M(x)$  de grado 55, donde MFI-1 [8] bit 1 en la tabla XII es el bit más significativo y MFI-1 [7] bit 4 es el bit menos significativo.  $M(x)$  es primero multiplicado por  $x^8$  y luego dividido (modulo 2) por el generador polinomial  $G(x)=x^8+x^2+x+1$  que da lugar al residuo  $R(x)$  de grado 7 o menor.  $R(x)$  es el código CRC-8 con  $x^7$  de  $KR(X)$  correspondiente a  $C_1$  como el bit más significativo del residuo y  $x^0$  de  $R(x)$  correspondiente a  $C_8$  el bit menos significativo del residuo. Con el polinomial generador definido  $G(x)$  la probabilidad de un error no detectado es mejor que  $1.52 \times 10^{16}$ .
- Los nibbles restantes, MFI-1 [3, 5, 11, 12, 13] están reservados para futuro uso y deben ser establecidos a ('0000'), y los bits 1,2,3 de MFI-1 [4,10] son también reservados y establecidos a '0'.

#### 4.5.2.2. VLI de bajo orden

El paquete de control de bajo orden se encuentra alineado en fase con la señal MFAS en el bit 1, del byte K4. Esta secuencia de 32 bits en K4 bit 1, puede considerarse el MFI-1 de bajo orden LCAS, que consiste de lo siguiente:

- MFI-2, cinco bits ubicados en las posiciones MFI-1 [1] a MFI-1 [5]; la combinación de MFI-1 y MFI-2 brinda el contador multitrama LCAS [0-1024].
- SQ, seis bits ubicados en las posiciones MFI-1 [6] a MFI-1 [11]; el valor SQ se encuentra comprendido de 0 a 63 inclusive.
- CTRL, cuatro bits ubicados en las posiciones MFI-1 [12] a MFI-1 [15]; contienen el código de control LCAS. Para la codificación de los bits  $CT_1$  a  $CT_4$  referirse a la tabla de valores de control CTRL de LCAS.
- GID, ubicado en la posición MFI-1 [16].
- RS-Ack, ubicado en la posición MFI-1 [21].
- MST, ocho bits ubicados en las posiciones MFI-1 [22] a MFI-1 [29]; el reporte de estado de todos los miembros individuales utiliza el formato multitrama MST mostrado en la tabla siguiente. El estado de los 64 miembros es transmitido en 128 ms; es decir, ocho estados de miembro  $M_1$  a  $M_8$  son reportados por paquete de control, 8 paquetes de control consecutivos son requeridos para todos los posibles miembros, y el paquete de control es transmitido cada 16 ms, por ser transmitido en el byte K4 de 32 VC-m tramas, a una velocidad de 500  $\mu$ s.

Tabla XIV. Encabezado de concatenación de bajo orden

MFAS en bit 1 byte K4		VCAT OH bit 2 byte K4		MFI-1
Función	Valor	Función	Valor	
Señal de alineación de multitrama	0	MFI-2 (bits 1-5)	MSB	1
	1			2
	1			3
	1			4
	1		LSB	5
	1	SQ (bits 1-6)	MSB	6
	1			7
	1			8
	1			9
	1			10
0	LSB		11	
Etiqueta de Señal Extendida		CTRL (bits 1-4)	CT <sub>1</sub>	12
			CT <sub>2</sub>	13
			CT <sub>3</sub>	14
			CT <sub>4</sub>	15
No empleado por VCAT		GID		16
		Reservado	0	17
Establecido	0	Reservado	0	18
Reservado	0	Reservado	0	19
Reservado	0	Reservado	0	20
Reservado	0	RS_Ack		21
Reservado	0	MST (bits 1-8)	M <sub>1</sub>	22
Reservado	0		M <sub>2</sub>	23
Reservado	0		M <sub>3</sub>	24
Reservado	0		M <sub>4</sub>	25
Reservado	0		M <sub>5</sub>	26
Reservado	0		M <sub>6</sub>	27
Reservado	0		M <sub>7</sub>	28
Reservado	0		M <sub>8</sub>	29
Reservado	0	CRC (bits 1-3)	C <sub>1</sub>	30
Reservado	0		C <sub>2</sub>	31
Reservado	0		C <sub>3</sub>	32

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 56.

Tabla XV. **Multitrama LCAS MST de bajo orden**

Número MFI-2 de trama	Número de miembro							
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>
0,8,16,24	0	1	2	3	4	5	6	7
1,9,17,25	8	9	10	11	12	13	14	15
2,10,18,26	16	17	18	19	20	21	22	23
3,11,19,27	24	25	26	27	28	29	30	31
4,12,20,28	32	33	34	35	36	37	38	39
5,13,21,29	40	41	42	43	44	45	46	47
6,14,22,30	48	49	50	51	52	53	54	55
7,15,23,31	56	57	58	59	60	61	62	63

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 57.

- CRC-3, tres bits ubicados en las posiciones MFI-1 [30] a MFI-1 [32]; los bits CRC C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> contienen el residuo del cálculo CRC-3 sobre el paquete de control de bajo orden LCAS. El residuo CRC-3 es calculado como sigue: los primeros 29 bits del paquete de control representan un polinomio  $M(x)$  de grado 28, donde el bit MFI-1 [1] es el menos significativo.  $M(x)$  es primero multiplicado por  $x^3$  y luego dividido (módulo 2) por el generador polinomial  $G(x) = x^3+x+1$  para brindar el residuo  $R(x)$  de grado 2 o menor.  $R(x)$  es el código CRC-3 con  $x^2$  de  $R(x)$  correspondiendo a C<sub>1</sub> como el más significativo del residuo y  $x^0$  de  $R(x)$ , correspondiendo a C<sub>3</sub> ser el bit menos significativo del residuo. Con el generador polinomial  $G(x)$  la probabilidad de un error no detectado con una señal con una tasa de errores promedio de  $5.32 \times 10^{-9}$  es mejor que  $4 \times 10^{-30}$ .
- Los bits restantes en las posiciones MFI-1 [17, 18, 19, 20] están reservados para uso futuro y deben ser establecidos a '0'.

#### 4.6. Procedimiento de tramado genérico

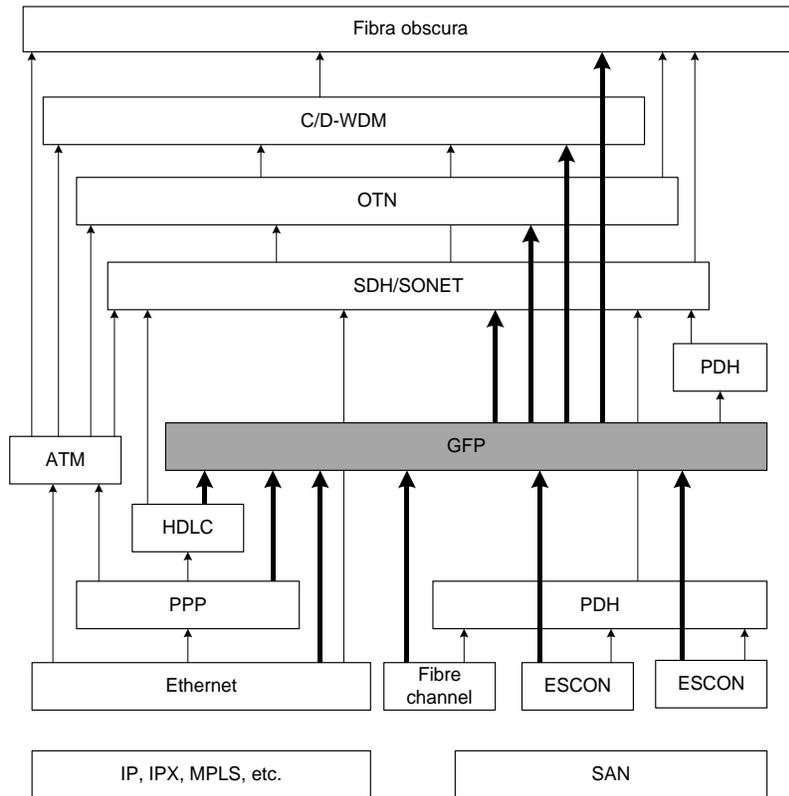
La ITU-T definió GFP (*generic framing procedure*) para brindar una metodología uniforme a ser empleada para transportar señales relacionadas con datos. GFP evolucionó de propuestas previas de transporte de datos sobre SDH, tal como PoS (*packet over SONET*) y SDL (*simple data link*). GFP reutiliza muchos aspectos de ATM (*asynchronous transfer mode*). Comparado con LAPS (*link access protocol SDH*), GFP soporta el transporte de más señales de clientes y las transporta más eficientemente. Existen dos variantes de GFP:

- GFP-F (*frame-mapped GFP*) empleado para mapear data orientada a paquetes, como Ethernet.
- GFP-T (*transparent-mapped GFP*) empleado para volcado de data (vídeo).

GFP puede ser empleado para mapear todas las señales asíncronas o VBR (*variable bit rate*) en una señal constante CBR (*constant bit rate*). La señal constante CBR resultante puede ser mapeada en un contenedor provisto por SDH. De hecho, la señal CBR puede ser transportada por cualquier sistema de transporte síncrono.

La siguiente figura ilustra el ambiente en que GFP opera en la estructura de multiplexación actual.

Figura 35. **Ubicación de GFP en las estructuras de multiplexación**



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 100.

El procedimiento de mapeo descrito por GFP puede aplicarse a:

- Encapsulamiento y transporte de tramas enteras de cliente: GFP-F o GFP tramas mapeadas.
- El mapeo y transporte de caracteres de data de cliente: GFP-T o GFP transparente.

La siguiente figura ilustra la relación entre señales cliente de capas superiores, GFP, y las rutas de servidor de transporte de capas inferiores.

Figura 36. **Relación de GFP a señales cliente y rutas de transporte**

Ethernet	Otras señales cliente	ESCON
GFP – aspectos específicos cliente (dependiente de la carga de transporte)		
GFP – aspectos comunes (independiente de la carga de transporte/mapeo)		
GFP – aspectos específicos del servidor (dependientes del mapeo)		
SDH ruta VC-n	Cualquier ruta síncrona orientada a byte	OTN ruta ODUk

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 101.

La función de adaptación servidor/cliente empleando mapeo GFP-F, puede operar en la capa de enlace de datos (o una capa superior) de la señal cliente y requiere visibilidad del PDU cliente. Esta visibilidad es obtenida cuando los PDUs cliente son recibidos de una función *switch* o *router* ubicada en un elemento de red de transporte (TNE: *transport network element*, por sus siglas en inglés), (un ADM (*Add-drop multiplexer*) SDH, o un elemento de red de data (DNE *Data network element*, por sus siglas en inglés), como un *router* IP.

La función de adaptación servidor/cliente usando mapeo GFP-T, opera en el volcado de caracteres del cliente, y no sobre los PDUs cliente. Esto requiere procesar el ámbito de codificación de la señal cliente entrante.

#### **4.6.1. Aspectos comunes de GFP para tráfico alineado por octeto**

Dos tipos de tramas GFP son definidas:

- Tramas cliente GFP
- Tramas de control GFP

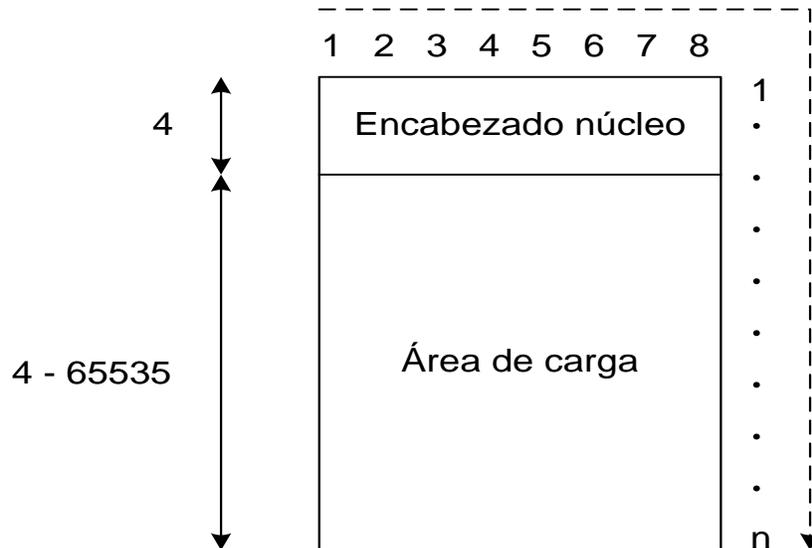
Asimismo, GFP soporta un mecanismo de extensión de encabezado flexible para facilitar la adaptación de GFP, para ser empleado por diversos mecanismos de transporte.

##### **4.6.1.1. Estructura de señal básica para tramas cliente GFP**

El formato para tramas GFP es ilustrado a continuación. Los PDUs de GFP son alineados por octeto y consisten de un encabezado núcleo GFP y, excepto por las tramas de inactividad, un área de carga GFP.

El orden de transmisión principia en el bit 1 del octeto 1, ascendiendo al bit 8 del octeto n.

Figura 37. **Estructura tramas cliente GFP**

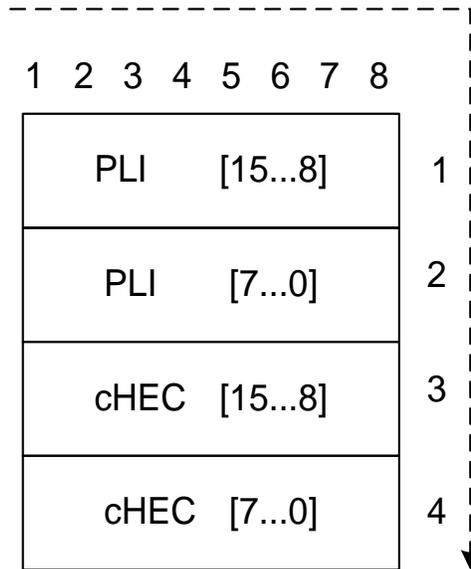


Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 103.

#### 4.6.1.1.1. Encabezado núcleo GFP

El formato del encabezado núcleo GFP es ilustrado a continuación. Este encabezado permite la delineación de la trama GFP, independientemente del contenido de las capas PDUs superiores.

Figura 38. Encabezado núcleo GFP



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 103.

Los cuatro octetos del encabezado núcleo GFP consisten de:

- Indicador de longitud de PDU (PLI, *PDU length indicator*) de 16 bits, que contiene un número binario que representa el número de octetos en el área de carga GFP. El valor mínimo absoluto del campo PLI en una trama cliente GFP es de 4 octetos.
- Chequeo de error de encabezado núcleo (cHEC, *core header error check*) de 16 bits, que contiene un código de control de error CRC-16 que protege la integridad del contenido del encabezado núcleo. El valor cHEC es el residuo del cálculo CRC-16 sobre los cuatro octetos del encabezado núcleo realizado por el proceso fuente de adaptación.

El polinomio  $G(x)=x^{16}+x^{12}+x^5+1$  es empleado. El proceso sigue los siguientes pasos:

- Los primeros dos octetos del encabezado núcleo GFP son tomados en el orden de octeto de la red, para formar una secuencia de 16 bits, representando los coeficientes del polinomio  $M(x)$  de grado 15.
- $M(x)$  es multiplicado por  $x^{16}$  y dividido (módulo 2) por  $G(x)$ , brindando un residuo  $R(x)$  de grado 15 o menor.
- Los coeficientes de  $R(x)$  son considerados una secuencia de 16 bits, donde  $x^{15}$  es el bit más significativo. Este es el CRC-16, el primer bit transmitido es el coeficiente de  $x^{15}$  y el último bit transmitido es del coeficiente  $x^0$ .

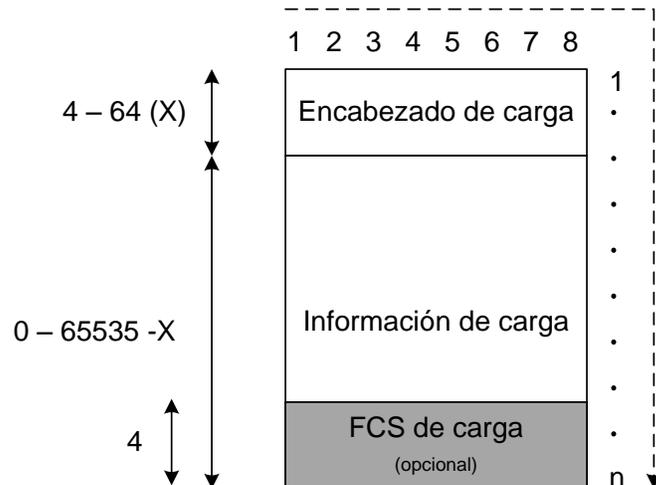
El proceso de adaptación en el sumidero realiza el mismo cálculo CRC-16. En la ausencia de bits errados, el residuo será cero. Un único error en el encabezado núcleo puede ser corregido. Un encabezado núcleo con múltiples errores será registrado para propósitos de monitoreo de desempeño. El PDU GFP asociado será descartado.

El encabezado núcleo es aleatorizado para mejorar la robustez del proceso de delineación de trama de GFP y brindar la suficiente cantidad de transiciones  $0 \rightarrow 1$  y  $1 \rightarrow 0$  para balanceo de corriente directa. El aleatorizador realiza una adición módulo 2, con el número hexadecimal 0xB6AB31E0. Este número es la secuencia de longitud 32 con el máximo de transiciones, mínimo lóbulo lateral y mayor grado de redundancia.

#### 4.6.1.1.2. Área de carga GFP

Todos los octetos en la trama GFP luego del encabezado núcleo GFP son considerados en el área de carga GFP. El área de carga GFP es empleada para transportar la información específica del protocolo cliente. Esta área de longitud variable puede incluir de 4 a 65535 octetos.

Figura 39. Área de carga GFP



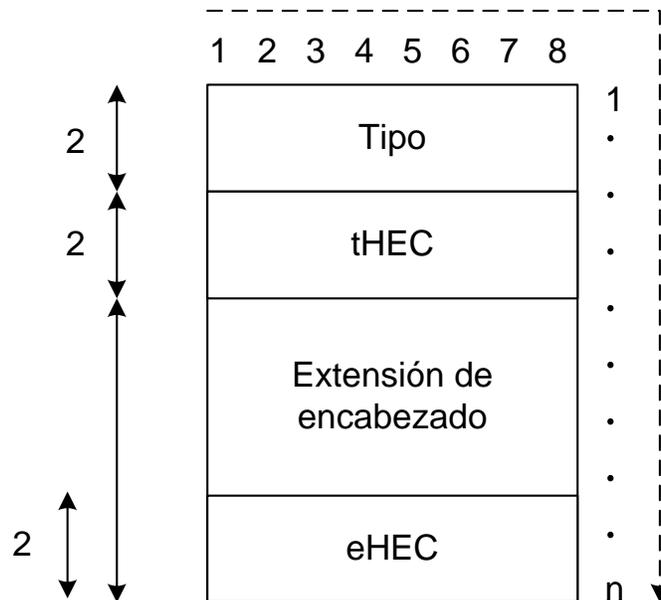
Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 104.

El área de carga GFP consiste de dos componentes comunes, los cuales se describen a continuación.

#### 4.6.1.1.3. Encabezado de carga GFP

Es un área de longitud variable, de 4 a 64 octetos, destinada a mantener procedimientos de administración específicos de la señal cliente para mantener en enlace de datos. La estructura se representa en la ilustración siguiente.

Figura 40. Encabezado de carga GFP



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 105.

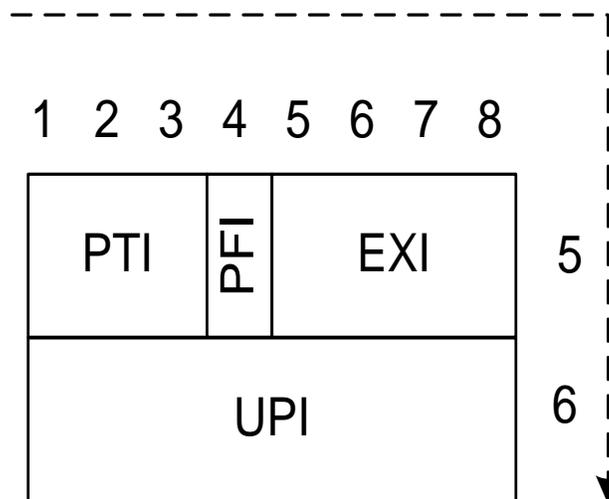
El área contiene dos campos obligatorios, los campos de Tipo y tHEC, y un número variable de campos adicionales de encabezado de carga. Este grupo de encabezados adicionales, es referido como la extensión de encabezado.

La presencia de esta extensión, su formato, y la presencia del FCS de carga opcional, son especificados por el campo tipo. El tHEC protege la integridad del campo tipo.

#### 4.6.1.1.4. Campo tipo GFP

El campo de tipo, es un campo obligatorio de dos octetos en el encabezado de carga, indicando el contenido y el formato del campo de información de carga de GFP. Este campo distingue entre tipos de tramas GFP y entre diferentes servicios en un ambiente multiservicios. El campo se conforma como se ilustra a continuación.

Figura 41. Campo tipo de GFP



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 106.

A continuación se describen las partes que conforman el campo tipo de GFP:

- Identificador de tipo de carga (PTI, *payload type identifier*): un campo de 3 bits identifica el tipo de trama cliente GFP. Actualmente se emplean dos tipos de tramas: tramas de datos de usuario (PTI=000) y tramas de administración de cliente (PTI=001).
- Indicador FCS de carga (PFI, *payload FCS indicator*): un solo bit indicando la presencia (PFI=1) o ausencia (PFI=0) del campo FCS de carga.
- Identificador de extensión de encabezado (EXI, *extension header identifier*): un campo de 4 bits identifica el tipo de extensión de encabezado GFP. Actualmente, tres tipos de extensiones de encabezados son establecidos: extensión de encabezado nulo (=0000), extensión de encabezado lineal (=0001), y una extensión de encabezado de anillo (=0010).
- Identificador de carga de usuario (UPI, *user payload identifier*): un campo de 8 bits identifica el tipo de carga transmitido en el campo de información de carga GFP. La interpretación del campo UPI es relativo al tipo de trama cliente GFP indicada en PTI.

Los valores UPI para las tramas de datos y para administración de cliente serán explicados más adelante.

#### 4.6.1.1.5. Campo tipo HEC (tHEC)

Los dos octetos del campo de encabezado de control de error de tipo contienen un código de control de errores CRC-16, que protege la integridad del contenido del campo tipo habilitando, la corrección de error en un bit y la detección de error en múltiples bits.

El valor tHEC es el residuo del cálculo CRC-16 sobre los dos octetos del campo tipo realizado por el proceso de adaptación fuente. Es empleado el polinomio  $G(x)=x^{16}+x^{12}+x^5+1$ . El proceso se realiza así:

- Los primeros dos octetos del campo tipo GPF son tomados orden de transmisión para formar una secuencia de 16 bits, representando el coeficiente de un polinomio  $M(x)$  de grado 15.
- $M(x)$  es multiplicado por  $x^{16}$  y dividido (módulo 2) por  $G(x)$ , resultando un residuo  $R(x)$  de grado 15 o menos.
- Los coeficientes de  $R(x)$  son considerados como una secuencia de 16 bits, donde  $x^{15}$  es el más significativo. Esto es el CRC-16, donde el coeficiente  $x^{15}$  es el primer bit transmitido y el coeficiente  $x^0$  el último.

El proceso de adaptación de sumidero de GFP aplica el mismo cálculo CRC-16 y realizará corrección de error en un solo bit en el campo de tipo.

Un campo tipo con múltiples bits errados se almacenará para monitoreo de desempeño. El PDU GFP asociado será descartado.

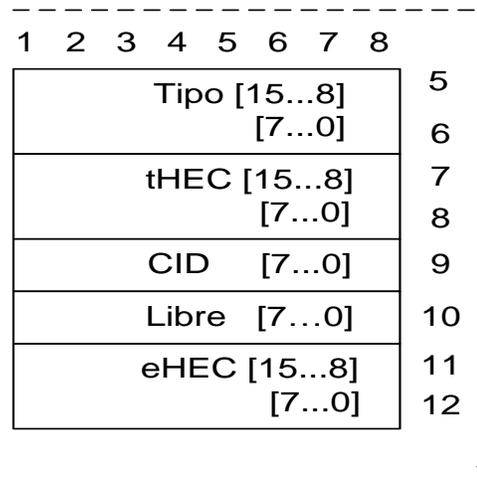
#### **4.6.1.1.6. Extensión de encabezado GFP**

La extensión de encabezado de carga es un campo de 0 a 60 octetos (incluyendo el eHEC), que soporta encabezados de enlace de datos específicos a tecnología tal, como identificadores de enlaces virtuales, direcciones de origen y destino, número de puertos, clase de servicio, etc.

El tipo de extensión de encabezado es indicado por el contenido de los bits EXI en el campo tipo del encabezado de carga, es decir:

- Extensión de encabezado nulo: aplica a una configuración punto a punto. Está destinado a escenarios en los que la ruta está dedicada a una señal cliente. Como lo implica el nombre, solo el campo tipo y tHEC están presentes.
- Extensión de encabezado lineal: está destinada a escenarios en que hay varios enlaces independientes, empleando agregación en una misma ruta de transporte. El encabezado de carga para una trama lineal (punto a punto) con extensión de encabezado se ilustra a continuación.

Figura 42. **PDU de encabezado de carga lineal**



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 107.

Además del campo tipo y el campo tHEC, contiene un identificador de canal (CID, *channel identification*), un número binario de 8 bits usado para indicar uno de los 256 canales en los puntos de terminación GFP, un campo de 8 bits libre reservado para uso futuro y un campo de dos octetos eHEC.

#### 4.6.1.1.7. **Campo de extensión HEC (eHEC)**

Un campo de dos octetos de extensión de encabezado de control de error contiene un código de control de error CRC-16, que protege la integridad del contenido de la extensión de encabezado. El valor eHEC es el residuo del cálculo del CRC-16 sobre todos los octetos de la extensión de encabezado por el proceso de adaptación de origen.

El polinomio  $G(x)=x^{16}+x^{12}+x^5+1$  es empleado. El proceso sigue los siguientes pasos:

- Todos los octetos de la extensión de encabezado GFP, a excepción de los octetos de eHEC, son tomados en orden de transmisión, para formar una secuencia de  $n$  bits, representando los coeficientes de un polinomio  $M(x)$  de grado  $(n-1)$ .
- $M(x)$  es multiplicado por  $x^{16}$  y dividido (módulo 2) por  $G(x)$ , produciendo un residuo  $R(x)$  de grado 15 o menor.
- Los coeficientes de  $R(x)$  son considerados una secuencia de 16 bits, donde  $x^{15}$  es el bit más significativo. Esto es el CRC-16, el primer bit transmitido es el coeficiente de  $x^{15}$  y el último bit transmitido es el coeficiente de  $x^0$ .

El proceso de adaptación de sumidero realiza el mismo cálculo de CRC-16. En la ausencia de bits errados, el residuo será cero. Opcionalmente, un único error en la extensión de encabezado puede ser corregido. Una extensión de encabezado con múltiples errores será almacenada para propósitos de monitoreo de desempeño. El PDU GFP asociado será descartado.

#### **4.6.1.1.8. Campo de información de carga**

El campo de información de carga contiene el PDU cliente para GFP mapeado tramado o un grupo de caracteres de señal cliente para GFP mapeado transparente. Este campo de longitud variable puede incluir desde 0 a 65535-X octetos, donde X es el tamaño del encabezado de carga.

El PDU de señal cliente siempre es mapeado alineado por octeto en el campo de información de carga GFP.

#### 4.6.1.1.9. Campo FCS de carga

El campo de información de carga puede incluir un campo opcional de FCS de carga GFP, una secuencia de verificación de trama de cuatro octetos (FCS, *frame check sequence*). Este campo contiene un código de control de errores CRC-32, que protege el contenido del campo de Información de Carga GFP. El valor de FCS de carga GFP es el residuo del cálculo CRC-32 sobre todos los octetos de información de carga, realizado por el proceso fuente de adaptación. El polinomio  $G(x)=x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x^1+1$  es empleado. El proceso es como continúa:

- Todos los octetos del campo de información de carga GFP, excepto los octetos del FCS, son tomados en orden de transmisión, para formar una secuencia de  $n$  bits, representando los coeficientes de un polinomio  $M(x)$  de grado  $(n-1)$ ;
- $M(x)$  es multiplicado por  $x^{32}$ , sumado al polinomio de coeficientes todos unos  $U(x)=1+x^1+x^2+\dots+x^{31}$ , y luego dividido por  $G(x)$ , produciendo un residuo de grado 31 o menor;
- El coeficiente de  $R(x)$  es considerado como una secuencia de 32 bits, donde  $x^{31}$  es el bit más significativo. El complemento de esta secuencia de 32 bits es el CRC-32.

El proceso de adaptación de sumidero realiza el mismo cálculo CRC-32. Un campo de información de carga con bit errados será almacenado para propósitos de monitoreo de desempeño.

#### **4.6.1.1.10. Aleatorización del área de carga**

El área de carga GFP es aleatorizada para prevenir replicación de información de la palabra aleatorizada de la capa de servidor (o la situación inversa). Todos los octetos en el área de carga GFP son aleatorizados utilizando un  $1+x^{43}$  autosincrónico aleatorizador.

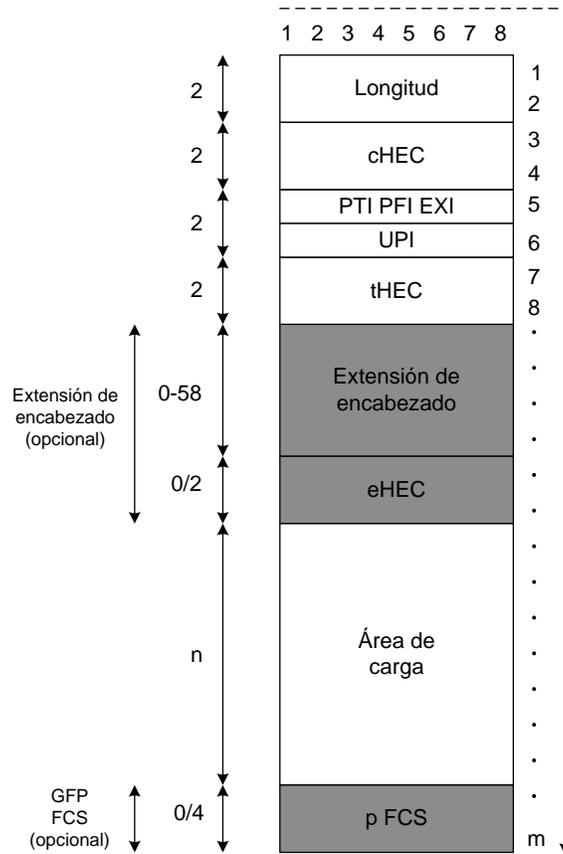
En el proceso de adaptación, el aleatorizador/desaleatorizador es habilitado, comenzando en el primer bit del primer octeto transmitido luego del campo eHEC, y es deshabilitado luego que el último bit del último octeto de la trama GFP es transmitido. Cuando el aleatorizador/desaleatorizador es deshabilitado, su contenido es conservado.

#### **4.6.1.1.11. Detalle de formato de trama GFP-F**

La figura ilustra el formato detallado del PDU GFP-F; las regiones sombreadas indican campos opcionales.

El máximo valor de  $m$  es 4+65536 octetos, es decir, cuatro octetos de encabezado núcleo y  $2^{16}$  octetos, son determinados por el indicador de longitud de 16 bits en el encabezado núcleo.

Figura 43. **PDU GFP**



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 110.

#### 4.6.1.2. Tramas cliente GFP

Actualmente se definen dos tramas cliente GFP:

- Tramas data cliente
- Tramas de control cliente

#### 4.6.1.2.1. Tramas data cliente GFP

Estas son usadas para transportar data de la señal cliente. Estas tramas consisten de un encabezado núcleo y un área de carga.

El campo tipo de una CDF (*client data frames*) emplea los valores de los campos:

- PTI = 000
- PFI = Específico de la carga, se establece como se requiere (FCS habilitado o deshabilitado).
- EXI = Específico a la carga, establecido consistentemente con los requerimientos de topología y multiplexación de trama para la conexión GFP.
- UPI = Específico a la carga, establecido de acuerdo con el tipo de señal cliente transportada.

Tabla XVI. **Identificadores de carga de usuario para tramas cliente GFP**

UPI (hex)	PTI = 000 Área carga trama GFP
0x00	Reservado y no disponible
0x01	Ethernet mapeado por trama
0x02	PPP mapeado por trama
0x03	Canal de fibra ( <i>fibre channel</i> ) transparente
0x04	FICON transparente
0x05	ESCON transparente
0x06	Gb Ethernet transparente
0x07	Reservado para uso futuro
0x08	Protocolo de acceso múltiple sobre SDH mapeado por trama
0x09	DVB ASI transparente
0x0A	IEEE 802.17 anillo de paquetes resiliente mapeado por trama
0x0B	Canal de fibra FC-BBW mapeado por trama
0x0C	Canal de fibra asíncrono transparente
0x0D	MPLS mapeado por trama
0x0E hasta 0xEF	Reservado para futura estandarización
0xF0 hasta 0xFE	Reservado para uso propietario
0xFF	Reservado y no disponible.

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 111.

#### 4.6.1.2.2. **Tramas de administración de cliente GFP**

Las tramas de administración de cliente GFP (CMF, *client management frames*) son usadas para transportar información asociada con la administración de la señal cliente o la conexión GFP. Estas brindan un mecanismo genérico opcional específico para el proceso de adaptación fuente cliente GFP, de enviar información de administración al proceso GFP de adaptación específico, destino o sumidero.

El CMF consiste de un encabezado núcleo y un área de carga. El campo tipo de CMF utiliza los siguientes valores de campos:

- PTI = 100
- PFI = Específico de la carga, establecido como requerido (FCS habilitado o deshabilitado. El uso de FCS en CMF reduce la cantidad de ancho de banda disponible que puede emplearse para dichas tramas).
- EXI = Específico de la carga (el uso de extensión de encabezado en CMF reduce significativamente la cantidad de ancho de banda disponible que puede emplearse en tales tramas).
- UPI = Específico de la carga, define el uso de la carga CMF. De esta manera el CMF puede ser usado para propósitos múltiples. La tabla define los usos de la carga de CMF.

Tabla XVII. **Identificadores de carga de usuario para tramas de administración cliente GFP**

<b>UPI (hex)</b>	<b>PTI = 100 Uso</b>
0x00	Reservado y no disponible
0x01	Falla en señal cliente (pérdida de señal cliente)
0x02	Falla en señal cliente (pérdida de sincronización de carácter)
0x03 hasta 0xFE	Reservado para uso futuro
0xFF	Reservado y no disponible

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

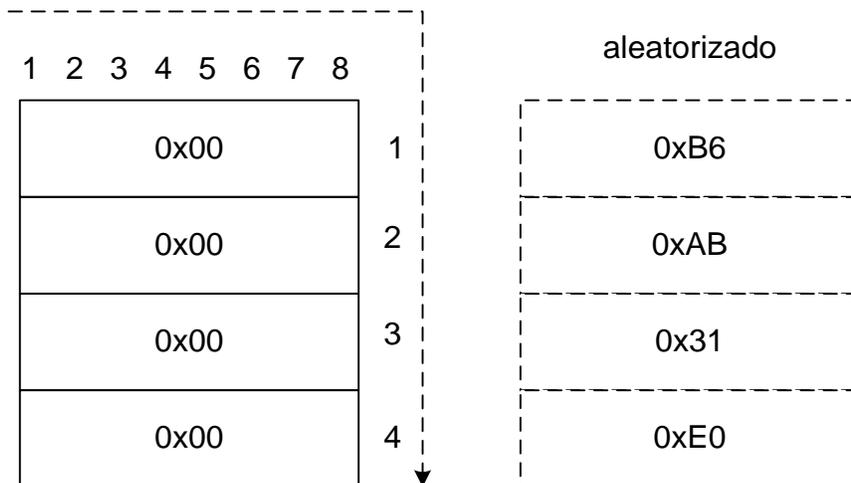
p. 111.

### 4.6.1.3. Tramas de control GFP

Las tramas de control GFP son usadas en la administración de la conexión GFP. La única trama de control especificada hasta este momento es la trama de inactividad GFP (GFP *Idle*).

La trama de inactividad GFP es una trama de control especial de cuatro octetos, conformada únicamente por un encabezado núcleo GFP y los campos PLI y cHEC establecidos a 0, sin área de carga. La trama de inactividad es usada para mantener una tasa de transferencia constante cuando no existen PDUs cliente, disponibles. Se ilustra el formato de la trama GFP de inactividad, con los valores aleatorizados (similarmente a un aleatorizado Barker) presentados en los recuadros punteados.

Figura 44. Formato trama de inactividad GFP



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 112.

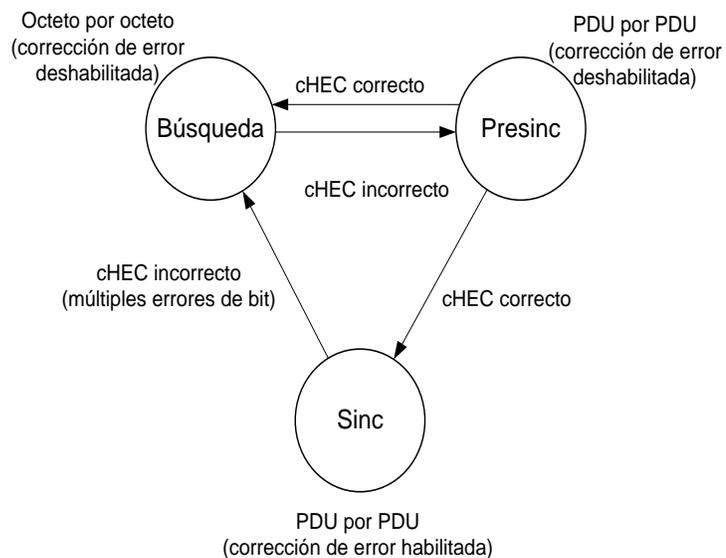
#### 4.6.1.4. Funciones a nivel de trama GFP

En esta sección se describen los procesos a nivel de trama, comunes a todas las cargas que son tramadas vía GFP-F y GFP-T.

##### 4.6.1.4.1. Proceso de delineación de trama GFP

La delineación de trama GFP está basada en el contenido del encabezado Núcleo GFP, es decir el PLI, y los subsecuentes dos octetos cHEC. El funcionamiento se explica mediante un diagrama de flujo:

Figura 45. Delineación trama GFP



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 113.

- En el estado de búsqueda, el proceso GFP busca octeto por octeto, por una combinación PLI y cHEC sin falla en el encabezado Núcleo. En este estado, la corrección de error está deshabilitada. Una vez un PLI/cHEC es detectado en el encabezado núcleo candidato, un candidato PDU GFP es identificado y el proceso de delineación entra en estado Pre-SINC.
- En el estado Presinc, el proceso GFP chequea PDU por PDU, por una coincidencia PLI/cHEC correcta en el encabezado núcleo candidato de los siguientes PDU GFP. El campo PLI en el encabezado núcleo del PDU GFP precedente, es usado para encontrar el principio del próximo candidato PDU GFP. La corrección de un único error continúa deshabilitado mientras, en este estado. Si un PLI/cHEC errado es detectado, el proceso regresa al estado de búsqueda.
- En el estado Sinc, el proceso GFP chequea por una coincidencia correcta PLI/cHEC en el próximo candidato PDU GFP. El campo PLI en el encabezado núcleo del PDU GFP precedente, es usado para encontrar el comienzo del siguiente PDU GFP candidato. En este estado, la corrección de un único bit errado en el encabezado núcleo se encuentra habilitado. Cuando múltiples bits errados son detectados en el PLI/cHEC, un defecto de delineación de trama perdida GFP es declarada y el proceso de delineación regresa al estado búsqueda. Una señal de falla de señal de servidor cliente es enviada al cliente del proceso de adaptación.

Tramas de inactividad GFP también participan en el proceso de delineación y son entonces descartados.

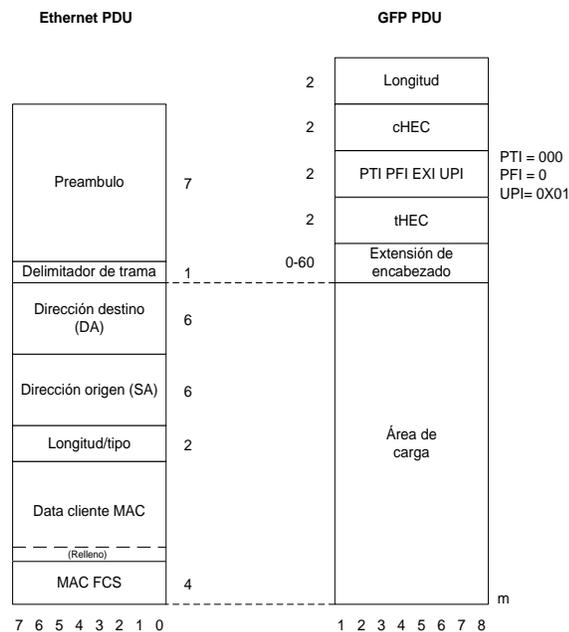
## 4.6.2. Aspectos específicos cliente GFP mapeado por trama

Esta sección describe los aspectos específicos cliente del encapsulamiento genérico, usando un mapeo trama por trama de PDUs cliente a GFP.

### 4.6.2.1. Carga Ethernet MAC

El formato de tramas MAC Ethernet está definido en IEEE 802.3, sección 3.1. Existe un mapeo uno a uno entre PDU cliente y PDU GFP. La relación entre PDUs MAC Ethernet y PDUs GFP es ilustrada a continuación.

Figura 46. Relación PDU Ethernet a PDU GFP



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 115.

Los octetos MAC Ethernet desde dirección destino hasta llegar a secuencia de chequeo de trama inclusive, son ubicados en el campo de información de carga GFP.

Específicamente, en una relación octeto por octeto, bits 0 y 7 en IEEE 802.3, parte 3, corresponde a los bits 8 y 1, respectivamente, en la especificación GFP.

#### **4.6.2.2. Carga IP/PPP**

Las cargas IP/PPP son primero encapsuladas en una trama similar a HDLC. El formato de una trama PPP está definido en el IETF RFC 1661, sección 2. El formato de una trama similar a HDLC está definido RFC 1662, sección 3.

A diferencia del RFC 1662, no se realiza procedimiento de relleno sobre banderas o caracteres de escape de control. Existe un mapeo de uno a uno entre los PDU de alto orden PPP/HDLC y un PDU GFP.

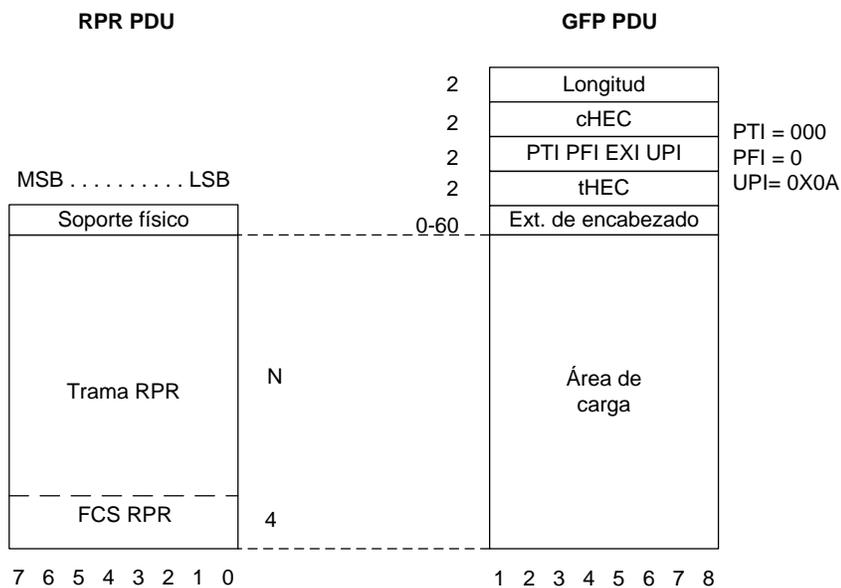
La relación entre la trama PPP/HDLC y la trama GFP es ilustrada a continuación.



### 4.6.2.3. Carga RPR

Se realiza un mapeo uno a uno entre un trama RPR y un PDU GFP. El formato de las tramas RPR es definido en IEEE 802.17, sección 8. La relación entre una trama RPR y una trama GFP es ilustrada a continuación.

Figura 48. Relación PDU RPR a PDU GFP



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 116.

Todos los octetos de una trama RPR son ubicadas en el campo de información de carga GFP.

La configuración preestablecida es sin extensión de encabezado y el campo pFCS no es empleado (PFI = 0). La alimentación por octeto es mantenida y la identificación de bit dentro de los octetos es conservada.

Específicamente, en una base octeto por octeto, los bits LSB y MSB en I333 802.17 cláusula 8 y anexo C, corresponden a los bits 8 y 1, respectivamente.

Una completa definición de este encapsulamiento se encuentra en IEEE 802.17, anexo C.

#### **4.6.2.4. Carga canal de fibra vía FC-BBW**

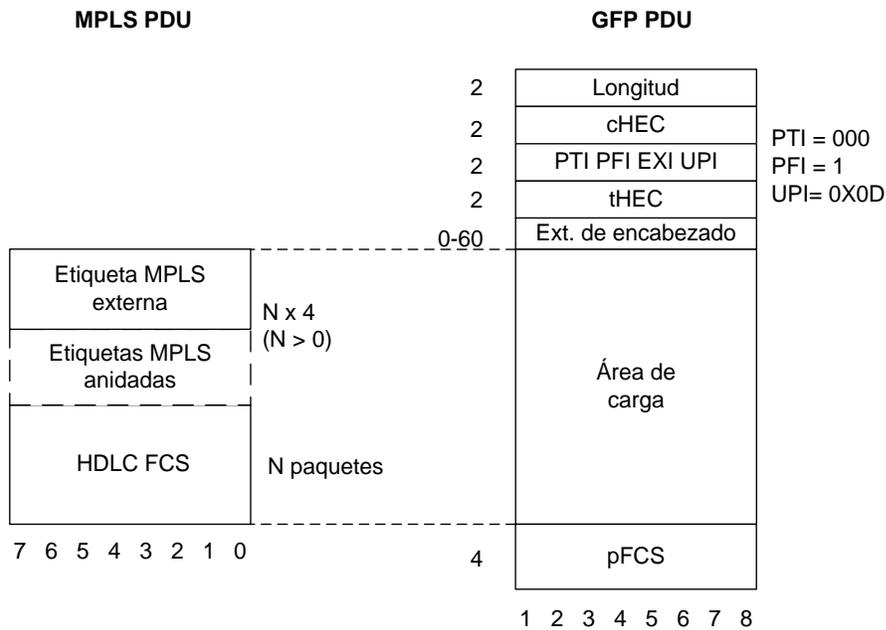
El formato de la trama de un canal de fibra banda ancha 2 para SONET (FC-BBW, *fibre channel broadband-2*) es definido en ANSI INCITS 342-2001 (FC-BB), sección 6.

Todos los octetos en el PDU FC-BBW, comenzando desde el encabezado LLC/SNAP hasta la carga de mensaje BBW, inclusive, son ubicados en el campo de información de carga de un PDU GFP. La relación entre un PDU FC-BBW y un PDU GFP es ilustrada a continuación.



El campo FPI es establecido a 1. Esta relación de PDU MPLS y PDU GFP-F es ilustrada a continuación.

Figura 50. **Relación PDU MPLS a PDU GFP**



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 118.

#### 4.6.2.6. Manejo de error en GFP mapeado por trama

Al ingreso, PDUs cliente recibidos, detectados con error por el proceso de adaptación fuente serán descartados. Los PDUs cliente detectados con error, mientras se transfieren por el proceso de adaptación fuente, serán rellenos con una secuencia de “todos unos”. Si el FCS de carga se encuentra presente, todos sus 32 bits son complementados. Estas acciones aseguran que el proceso de adaptación cliente sumidero, o el proceso terminal cliente, descartarán el PDU errado.

### **4.6.3. Aspectos específicos de cliente para GFP mapeado transparente**

El mapeo transparente de cargas de 8B/10B en GFP está destinado para soportar el transporte de códigos de bloque de 8B/10B de señal cliente, que requieren muy poca latencia de transmisión, como el canal de fibra (*fibre channel*), ESCON, FICON, y Gigabit Ethernet. En lugar de almacenar temporalmente un PDU cliente y mapearlo en una trama GFP, los caracteres individuales de la señal cliente son recuperados del bloque de código cliente y mapeados en tramas periódicas, de longitud fija GFP. El mapeo ocurre independientemente de si el carácter cliente es data o de control, el cual por ende preserva los códigos de control cliente 8B/10B.

#### **4.6.3.1. Aspectos comunes de GFP-T**

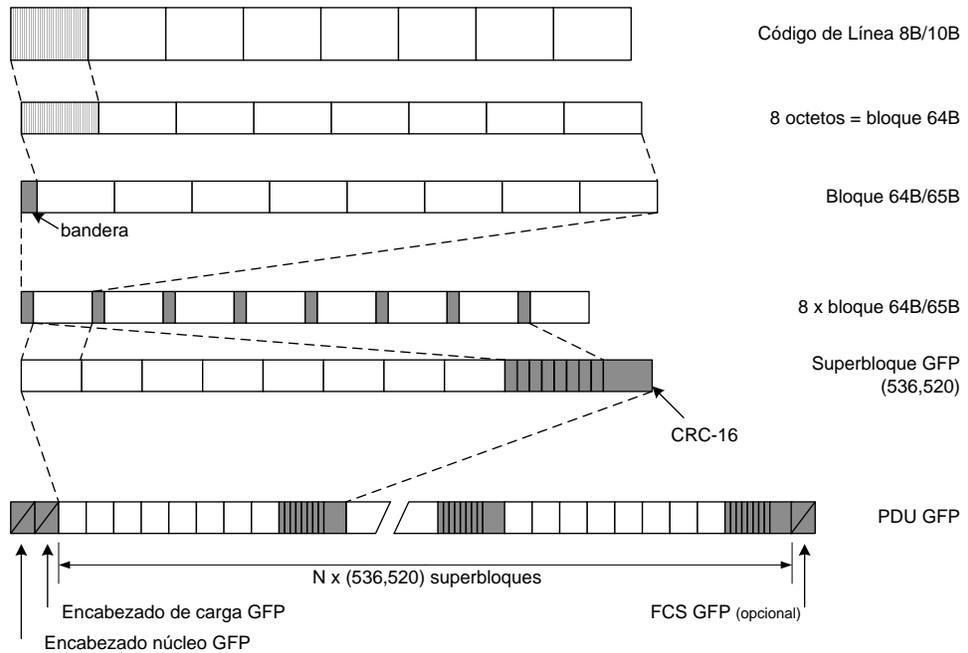
La trama GFP-T emplea la misma estructura que la trama GFP-F. Nuevamente el campo FCS de carga es opcional.

##### **4.6.3.1.1. Adaptando cliente 8B/10B vía bloques de código 64B/65B**

El primer paso en el proceso de adaptación de cliente es decodificar la capa física de la señal cliente. Cada carácter de 10 bits, recibido de una línea de código 8B/10B, es decodificado en su carácter original de datos de 8 bits, o en una de las doce palabras de control original.

Todos los caracteres 8B/10B y palabras clave son mapeados en un bloque de código de 64 bit/65 bit (64B/65B). La estructura del bloque de código 64B/65B se ilustra a continuación.

Figura 51. Relación 8B/10B a PDU GFP-T



Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 119.

El primer bit del bloque de 65 bits, el bit bandera, indica si ese bloque de data contiene caracteres de 8 bits (bandera = 0) o si también se encuentran presentes palabras clave de control dentro del bloque (bandera = 1). En el proceso inverso de mapeo, las palabras clave de control de data de 8 bits son recuperadas de los bloques 64B/65B y posteriormente codificadas en las palabras clave originales 8B/10B. Los siguientes códigos 64B/65B especiales son usados:

- Código 10B\_ERR, ciertas señales cliente de error pueden producir palabras clave 8B/10B al ingreso del proceso de adaptación fuente que no pueden ser reconocidas. Un carácter de control 64B/65B especial, el

código 10B\_ERR es brindado para soportar tales palabras clave 8B/10B irreconocibles de señal cliente de error.

- Código 63B\_PAD, para mantener una tasa de transmisión constante cuando no hay caracteres cliente disponibles, un carácter de relleno 65B\_PAD es insertado. El carácter relleno es mapeado en la trama GFP de la misma manera que un carácter de control y es reconocido y removido en el proceso inverso de mapeo GFP.

#### **4.6.3.1.2. Adaptando bloques de código 64B/65B a GFP**

Para conservar el alineamiento de octeto de la trama GFP-T con el contenedor de transporte SDH/ODUk, ocho códigos 64B/65B son agrupados en un superbloque GFP (536,520) como se ilustra en la figura anterior. El bit bandera de cada uno de los ocho códigos 64B/65B son agrupados juntos en el primer octeto de cierre de bloque. Los dos últimos octetos de cierre del superbloque son usados para un chequeo de error CRC-16 del mismo.

Asumiendo una extensión de encabezado nula y no FCS de carga, la trama resultante es  $[(4 \times 8) + (4 \times 8) + (N \times ((65 \times 8) + 16))]$  bits de longitud, donde  $N$  es el número de superbloques en la trama GFP. El mínimo valor de  $N$  depende de la tasa de transferencia de la señal cliente, el tamaño del encabezado GFP y el tamaño del contenedor de carga. CRC de superbloque GFP-T, un código de control de error CRC-16 protege la integridad del contenido del superbloque. Este es el residuo de un cálculo CRC-16 sobre 536 bits en el superbloque realizado por el proceso de adaptación fuente. Es empleado el polinomio  $G(x) = x^{16} + x^{15} + x^{12} + x^{10} + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$ .

El proceso de adaptación sumidero realiza el mismo cálculo CRC-16. En la ausencia de bits errados, el residuo será cero. Si el proceso de adaptación sumidero detecta un error, entregará un carácter 10B error o un carácter 10B irreconocible, en lugar de todos los caracteres cliente contenidos en el superbloque procesado. Este remplazo garantiza que el cliente sumidero será capaz de detectar la presencia de error. El CRC del superbloque es generado por el proceso de adaptación fuente, empleando los siguientes pasos:

- Los primeros 65 octetos de un superbloque son tomados en el orden de transmisión, para formar una secuencia de 520 bits que representa los coeficientes de un polinomio  $M(x)$  de grado 519.
- $M(x)$  es multiplicado por  $x^{16}$  y dividido (módulo 2) por  $G(x)$ , produciendo un residuo  $R(x)$  de grado 15 o menor.
- Los coeficientes de  $R(x)$  son considerados como una secuencia de 16 bits, donde  $x^{15}$  es el bit más significativo. Esta secuencia de 16 bits es la CRC-16. Con este CRC-16 es posible corregir errores en un solo bit. Sin embargo, debido a que la señal es aleatorizada en el origen y revertida en el sumidero, el circuito de corrección de errores CRC-16 debería de soportar errores de un solo bit, así como de dos bits errores espaciados por 43 bits al salir del aleatorizador.

El proceso de adaptación sumidero realiza los pasos de la misma manera que proceso de adaptación origen. En la ausencia de bits errados, el residuo debe ser 0000 0000 0000 0000.

#### **4.6.3.2. Aspectos específicos de cliente de falla de señal**

Cuando el mapeo GFP-T detecta una falla en la señal cliente al ingreso, este puede enviar una señal de falla de cliente (CSF). Las condiciones de GFP-T CSF incluyen por lo menos una pérdida de sincronización de 8B/10B y, en algunos casos, pérdida de señal (*loss of signal*) o de reloj (*loss of clock*). Varias fallas a nivel del proceso GFP en sí mismo, en el proceso de adaptación de 64B/65B, o en la red de transporte, pueden inducir un indicador CSF para el proceso de adaptación cliente.

#### **4.6.4. Aspectos específicos de servidor GFP**

Los aspectos específicos de servidor de GFP están relacionados con el proceso de mapeo. El mapeo de una carga tramada a un SDH VC-n es especificado en la recomendación ITU-T G-707.

El mapeo de cargas tramadas a una carga OTN DOUk está especificado en la recomendación ITU-T G.709. El mapeo de una carga tramada en señales PDH es especificado en la recomendación ITU-T G.8049.

Cuando se emplea LCAS en la capa de servidor, la tasa de transmisión de trama GFP debe adaptarse al ancho de banda disponible, como lo indicado por la señal  $X_A$  (número de miembros activos en un VCG), recibida de la capa de servidor.

La capa de cliente o procesamiento específico de capa de cliente debe implementar las medidas apropiadas (restricción de tráfico, modelación de tráfico) para ajustar la carga cliente correspondientemente.

#### **4.6.5. Ejemplos de PDU GFP**

Esta sección brinda un ejemplo de un PDU GFP-F ilustrando el orden de transmisión y el cálculo CRC. El proceso realizado para transportar un PDU cliente es el siguiente:

- Transmitir: Data cliente → Encapsulamiento origen GFP → aleatorización y balanceo DC → SDH.
- Recibir: SDH → desbalanceo DC y desaleatorización → Desencapsulamiento destino GFP → Data cliente.

##### **4.6.5.1. PDU GFP-F**

El siguiente ejemplo ilustra la encapsulación de una trama Ethernet de 64 bytes con encabezado lineal y FCS GFP, antes de realizar el balanceo DC y aleatorización auto-sincrónica.

Tabla XVIII. PDU GFP-F Ethernet

Byte	Campo	Valor	Comentario	
1	PLI [15...8]	0x00	PLI = Longitud: carga GFP + Campo de información de carga GFP + FCS GFP = 8+34+4=46 bytes	
2	PLI [7...8]	0x2E		
3	cHEC [15...8]	0xC5	cHEC calculado sobre PLI	
4	cHEC [7...0]	0xAC		
5	Tipo [15...8]	0x11	PTI [15...3]='000' (data cliente) PFI [12]='1' (GFP FCS habilitado) EXI [11...8]='000' (encabezado lineal)	
6	Tipo [7...0]	0x01	UPI [7...0]=0x01 (Ethernet)	
7	tHEC [15...8]	0x20	tHEC calculado sobre el campo tipo	
8	tHEC [7...0]	0x63		
9	EHDR [15...8]	0x80	CID [7...0]=0x80 (el valor es un ejemplo)	
10	EHDR [7...0]	0x00	SPARE [7...0]=0x00	
11	eHEC [15...8]	0x1B	eHEC calculado sobre el campo CID y SPARE.	
12	eHEC [7...0]	0x98		
13	DATA	0xFF	1	Dirección destino Ethernet DD=0xFFFFFFFFFFFF
14	DATA	0xFF	2	
15	DATA	0xFF	3	
16	DATA	0xFF	4	
17	DATA	0xFF	5	
18	DATA	0xFF	6	
19	DATA	0x41	7	Dirección origen Ethernet DO=0x416C6D657265
20	DATA	0x6C	8	
21	DATA	0x6D	9	
22	DATA	0x65	10	
23	DATA	0x72	11	
24	DATA	0x65	12	Tipo / Longitud Ethernet
25	DATA	0x00	13	
26	DATA	0x10	14	Carga Ethernet
27	DATA	0x41	15	
28	DATA	0x73	16	
29	DATA	0x74	17	
30	DATA	0x65	18	
31	DATA	0x72	19	
32	DATA	0x69	20	
33	DATA	0x78	21	
34	DATA	0x20	22	
35	DATA	0x26	23	
36	DATA	0x20	24	
37	DATA	0x4F	25	
38	DATA	0x62	26	
39	DATA	0x65	27	
40	DATA	0x6C	28	
41	DATA	0x69	29	
42	DATA	0x78	30	

Continuación de la tabla XIII.

43	DATA	0x9F	31	FCS Ethernet calculado sobre 30 bytes
44	DATA	0xA5	32	
45	DATA	0xB2	33	
46	DATA	0xDD	34	
47	FCS [31...24]	0x01	FCS GFP (opcional) cubre únicamente el campo de información de carga (en este caso el PDU Ethernet) , i.e. 34 bytes	
48	FCS [23...1]	0xA9		
49	FCS [15...8]	0x10		
50	FCS [7...0]	0xC8		

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p. 123.

#### 4.6.5.2. PDU GFP-T

Un PDU GFP-T difiere de GFP-F, respecto de la carga mapeada, por lo tanto la siguiente ilustración muestra un superbloque con el CRC calculado.

Tabla XIX. PDU GFP-T

Byte	Campo	Valor	Comentario
1	Data	0x80	1er. octeto de 1er. bloque de código 64B/65B
2	Data	0x00	2o. octeto de 1er. bloque de código 64B/65B
3	Data	0x00	3er. octeto de 1er. bloque de código 64B/65B
4 ... 62	Data	Todos 0x00	Octetos de bloques de código
63	Data	0x00	7o. octeto de 8o. bloque de código 64B/65B
64	Data	0x00	8o. octeto de 8o. bloque de código 64B/65B
65	Banderas	0x00	Banderas inicio del 1er. al 8o. bloque de código 64B/65B
66	CRC [15...8]	0x9A	CRC [16...0] GFP (536,520) de superbloque
67	CRC [7...0]	0xA2	

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?  
p.124.

### 4.6.5.3. PDU CMF GPT

La siguiente ilustración muestra una trama de administración de cliente GFP (CMF, *cliente management frame*) para transferir una pérdida de señal cliente, detectada desde el ingreso al egreso. Este es el mínimo tamaño para afectar el ancho de banda disponible el mínimo.

Tabla XX. PDU CMF GFP

Byte	Campo	Valor	Comentario
1	PLI [15...8]	0x00	PLI= Longitud: encabezado GFP = 8 octetos
2	PLI [15...8]	0x08	
3	cHEC [15...8]	0x00	cHEC calculado sobre PLI
4	cHEC [7...0]	0x38	
5	Tipo [15...8]	0x80	PTI [15...13] = '100' (data cliente) PFI [12] = '0' (FCS GFP deshabilitado) EXI [11...8] = '0000' (extensión de encabezado nula)
6	Tipo [7...0]	0x01	UPI [7...0] = 0x01 (pérdida señal cliente)
7	tHEC [15...8]	0x00	tHEC calculado sobre el campo Tipo
8	tHEC [7...0]	0xB1	

Fuente: VAN HELVOORT, Huub. Next Generation SDH/SONET Evolution or Revolution?

p. 124.

## 5. REDES OTN

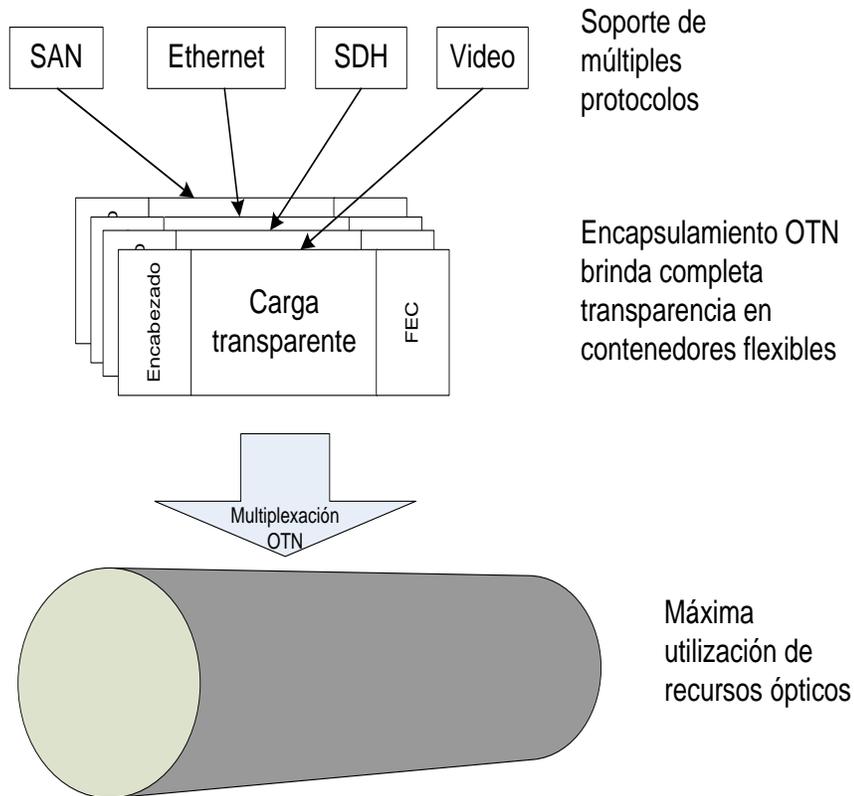
Producto de la evolución de la redes de transporte, la ITU-T ha desarrollado un conjunto de nuevos estándares cubriendo longitudes de onda y formatos de señal, con la intención de multiplexar un número sustancial de señales en una sola fibra.

Este formato de señal y jerarquía cubre señales digitales e incluye encabezados de OAM&P, como parte del formato de la señal. En el contexto de este documento, redes de transporte óptico (OTN, *optical transport network*) se refieren a las redes empleando el estándar ITU-T Rec G.709 para señales multiplexadas por división de longitud de onda (WDM, *wavelength division multiplexing*).

El transporte de señales por OTN es de manera transparente, incluyendo señales nativas de SDH, funcionando como transporte de transporte en que la señal de SDH se conserva a través de la red OTN.

Una de las razones para desarrollar nuevos formatos en las señales para WDM (en lugar de emplear los formatos existentes en SDH) fue la posibilidad de agregar nuevos canales de encabezado que brindarían las funcionalidades adicionales necesarias para realizar OAM&P eficientemente en la red WDM. Otra razón fue establecer los medios necesarios para habilitar corrección de errores más robusta (FEC, *forward error correction*).

Figura 52. Encapsulamiento OTN



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio.

Finalmente, otra razón para los nuevos estándares de transporte fue un encapsulamiento menos granular para transmitir clientes agregados individuales de amplio ancho de banda.

Por ejemplo, si la señal Gigabit Ethernet se vuelve la señal de cliente más pequeña transportada en la red, entonces brindar capacidades de conmutación a granularidad de VC-3 (51.84 Mbps) no brinda óptima complejidad y costo en la red.

## 5.1. Arquitectura de red WDM

Con el propósito de crear una red que transportara cualquier tipo de señal en cualquier longitud de onda con extensiones de operación, administración y mantenimiento (OAM) para cada señal, se evaluaron diferentes escenarios, los cuales son descritos a continuación:

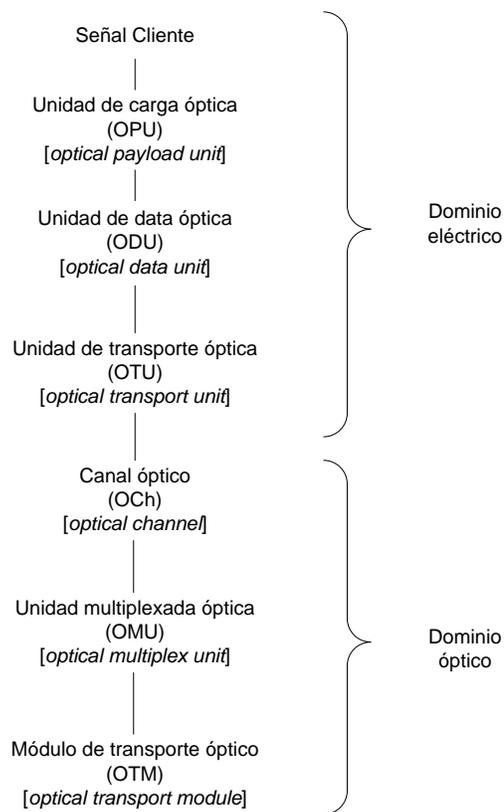
- Uno de ellos era enviar una señal esencialmente en su formato nativo (con excepción de su longitud de onda normal) y agregar capacidad de OAM en un canal separado;
- Otro enfoque era tratar la señal como una carga de transporte digital y encapsularla en una estructura que incluya encabezados OAM, esquema referido como encapsulamiento digital, muy similar conceptualmente a SDH.

Finalmente se estableció un esquema combinado de las dos propuestas mencionadas, se escogió el encapsulamiento digital con encabezados OAM para la señal cliente. La señal resultante es transmitida por una longitud de onda, o multiplexada por división de tiempo en una señal de mayor velocidad que luego es transmitida por una longitud de onda. Se emplea una longitud de onda separada para transmitir información de soporte para grupos de estas señales.

La señal de cliente es encapsulada en un área de carga, la cual con algunos encabezados, se convierte en la unidad de carga óptica (OPU). Un OPU es conceptualmente similar a la ruta de SDH (HOP). Encabezados OAM son agregados al OP para crear la unidad de data óptica (ODU), análoga a la sección de multiplexación de SDH (MS).

Encabezados de transporte (encabezado de alineación de trama) es agregado para crear una unidad de transporte óptica (OTU), que es la señal completamente establecida y funcional análoga a la sección de regeneración de SDH (RS).

Figura 53. Encapsulamiento OTN



Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).

p. 17.

La señal OTU es subsecuentemente transmitida por una longitud de onda, que constituye el canal óptico (OCh).

Una sección multiplexada óptica (OMS, *optical multiplexed section*) consiste en un grupo de canales ópticos multiplexados por división de longitud de onda, junto con una longitud de onda separada conteniendo un canal de supervisión óptica (OSC, *optical supervisory channel*), que es transportada entre puntos de acceso.

La sección de transporte óptico, de orden  $n$ , (OTS, *optical transport section*) consiste de un OMS (de orden  $n$ ) y un canal de encabezado en su propia longitud de onda. El OTS define los parámetros ópticos asociados con la interface física. Los encabezados OCh, OMS, y OTS brindan los medios para evaluar la calidad del canal de transmisión, incluyendo detección de errores para esa capa. Los encabezados OCh y OTS también brindan los medios para verificar conectividad. Las capas OCh, OMS y OTS son descritas en ITU-T Rec G.872.

## **5.2. Señales cliente**

Idealmente se deseaba permitir señales cliente, analógicas y digitales, en la misma OTN; el problema principal es que las señales analógicas y digitales tienen requerimientos de canal muy diferentes. Un canal muy adecuado para una señal digital puede tener una relación señal/ruido inaceptable para una señal analógica. Esto hace muy difícil, especialmente administrativamente, desplegar redes mixtas, análogo/digital, en un entorno DWDM.

Originalmente existía fuerte inclinación por transportar señales como Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet, adicionalmente a las señales SDH. La decisión fue limitar los clientes de tasa de bit constante (CBR, *constant bit rate*) a las señales SDH. La suposición realizada fue que cualquier otra señal podía ser primero mapeada en SDH, y luego dichas señales ser mapeadas en OTN.

Esta decisión de no soportar directamente señales nativas Ethernet, mientras potencialmente simplificaba la estructura de trama, demostró una significativa limitación a las primeras redes OTN G.709. Mientras las señales Ethernet aumentaban en importancia, mapeos hacia OTN fueron agregados.

### 5.3. Equipos OTN

Existe variedad de equipos implementados con base en el estándar OTN; los más comunes son:

- Regeneradores
- Equipo terminal OTN
- Multiplexores tributarios ópticos (OADM, *optical add/drop multiplexer*)
- Crosconectores ópticos (OXC, *optical cross connect*)

La tendencia actual es la presencia de equipos OADM reconfigurables (ROADM), caracterizados por tres funciones primarias:

- Filtros o *switches* de agregación/derivación de longitudes de onda: esta funcionalidad es referida genéricamente como matriz de longitud de onda (*wavelength fabric*) y opera únicamente en el dominio óptico. Sin embargo puede ser implementado por diferentes tecnologías, incluyendo bloqueadores de longitud de onda, y *switches* selectivos de longitud de onda (WSS, *wavelength selective switches*). La estructura de longitud de onda multiplexa y demultiplexa todas las lambdas individuales DWDM de las tarjetas interactuantes con el cliente. La estructura de longitud de onda también brinda protección de señal óptica.

- Control de potencia dinámico y capacidad de monitoreo remoto en la capa óptica, amplificación óptica con compensación de dispersión y ecualización de ganancia, control dinámico de potencia y monitoreo remoto de presencia/ausencia de señales ópticas, son algunas de las muchas de las funcionalidades desarrolladas.
- Terminación y generación de canal de servicio óptico, tradicionalmente en forma de *transponders* o *muxponders*.

Las funcionalidades de los equipos ROADM son extendidas con estructuras de conmutación en el dominio eléctrico, ya sea localmente o en la forma de *muxponders*, o centralizado en una estructura de conmutación individual. La conmutación en el dominio eléctrico puede ser TDM, de paquetes o ambos. El aliciente de esta estructura es permitir mayor flexibilidad al agregar o derivar señales clientes en la señal transportada por longitud de onda, y no simplemente agregando y derivando la longitud de onda completa. Esta más fina granularidad permite la agregación o agrupación de manera más eficiente de las longitudes de onda.

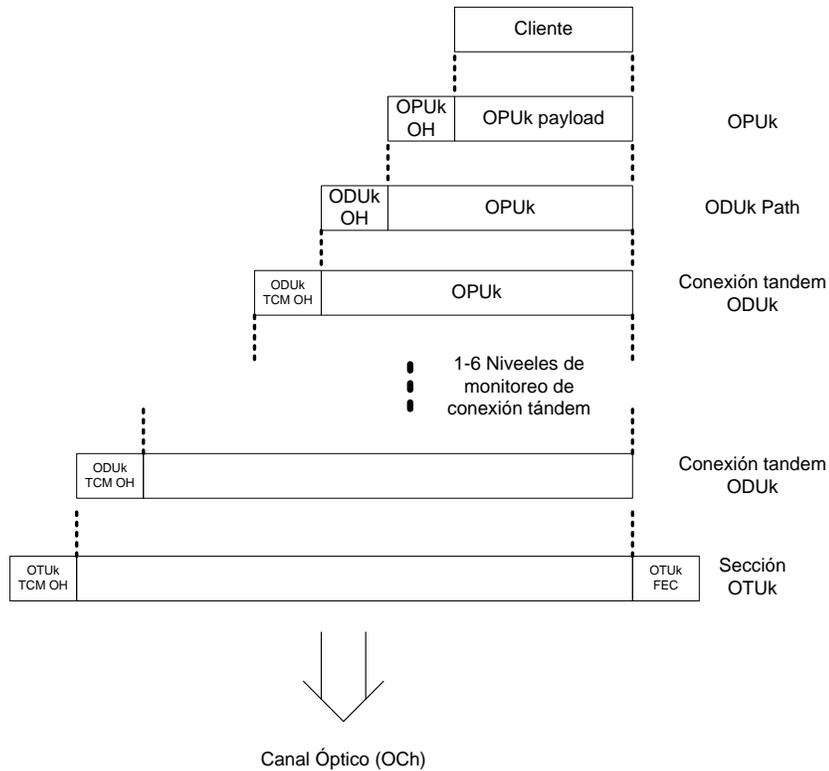
#### **5.4. Estructura de trama y formatos de señal**

En esta sección se ilustra la relación de contención de las capas cliente, OPU, ODU y OTU y sus encabezados. También se muestran los múltiples niveles de monitoreo de conexión tándem, así como la adición de FEC en el nivel OTU, el cual es el último paso previo a la transmisión de la señal óptica.

Existen actualmente cuatro velocidades OTU definidas y cinco fijas OPU/ODU. Un OPU, ODU o OTU de una velocidad particular es referida como OPU<sub>k</sub>, ODU<sub>k</sub> u OTU<sub>k</sub> siendo k=0, 1, 2, 3 o 4.

Adicionalmente a las velocidades fijas ODUk/OPUk, existen señales flexibles ODUflex que se adaptan a la velocidad de la señal cliente.

Figura 54. **Relación de encapsulamiento dominio eléctrico**



Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).  
p. 22.

- Todas las velocidades son  $\pm 20$  ppm para  $k = 0 - 4$ , y  $\pm 100$  ppm para ODUflex, como máximo.
- Todas las velocidades ODUk son  $239/238 \times$  (velocidad de carga OPU).

- Por uso eficiente de ancho de banda, la velocidad nominal de ODUflex (GFP) es  $n \times$  (velocidad tributario).

Tabla XXI. **Velocidades señales OTN**

Orden k	Velocidad señal OTUk	Velocidad área de carga OPUk	Periodo trama OTUk/ODUk/OPUk
0	No aplicable	$238/239 \times 1\,244\,160 \text{ kbps} = 1\,238\,954 \text{ kbps}$	98.354 $\mu\text{s}$
1	$255/238 \times 2\,488\,320 \text{ kbps} = 2\,666\,057 \text{ kbps}$	2 488 320 kbps	48.971 $\mu\text{s}$
2	$255/237 \times 9\,953\,280 \text{ kbps} = 10\,709\,255 \text{ kbps}$	$238/237 \times 9\,953\,280 \text{ kbps} = 9\,995\,277 \text{ kbps}$	12.191 $\mu\text{s}$
3	$255/236 \times 39\,813\,120 \text{ kbps} = 43\,018\,414 \text{ kbps}$	$238/237 \times 39\,813\,120 \text{ kbps} = 40\,150\,519 \text{ kbps}$	3.035 $\mu\text{s}$
4	$255/227 \times 99\,532\,800 \text{ kbps} = 104\,355\,975 \text{ kbps}$	$238/227 \times 99\,532\,800 \text{ kbps} = 104\,355\,975 \text{ kbps}$	1.168 $\mu\text{s}$
Flex (CBR)	No aplicable	Velocidad cliente (> 2.488 Gbps)	
Flex (GFP)	No aplicable	Velocidad brindada por transporte	

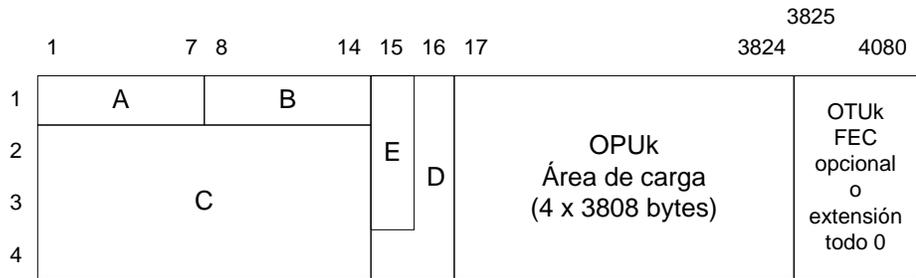
Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).

p. 23.

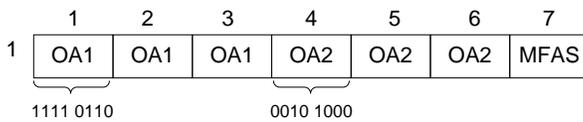
La trama ODU se estructura como cuatro filas y 3824 columnas, independientemente de la velocidad de la señal. Mientras la velocidad de la señal aumenta, el periodo de la trama disminuye, pero el tamaño de la trama permanece constante. El área de carga OPU consiste de las columnas 17 a la 3824, para las cuatro filas.

El OTU consiste de ODU, encabezado OTU y FEC, si es empleado. El encabezado OTU se ilustra como las áreas A y B. El campo A contiene la trama del patrón de alineación y la señal de alineación de multitrama (MFAS, *multiframe alignment signal*).

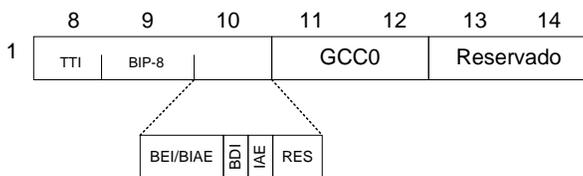
Figura 55. **G.709 OTN estructura de trama y encabezado**



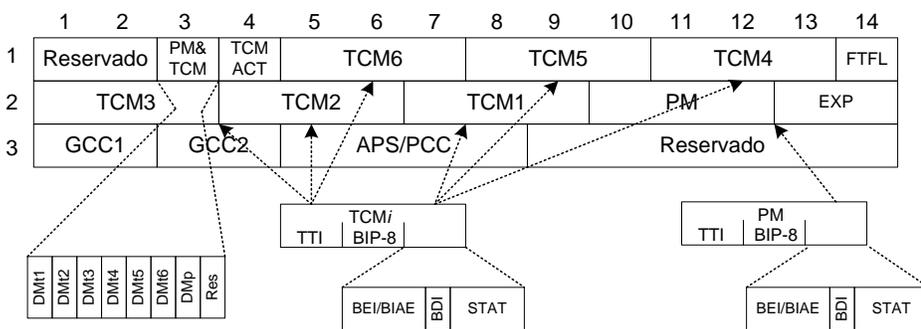
**A** Área de alineación de trama



**B** Área encabezado específico OTU



**C** Área encabezado específico ODU



Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).

p. 24.

El campo MFAS es un contador binario que muestra la fase de la trama actual dentro de la 256 multitrama. Los campos distribuidos en la multitrama (PSI y encabezado de concatenación virtual) usan el MFAS para determinar el significado del byte durante esa trama. El área B brinda un canal de comunicación general (GCC, *general communication channel*) y una sección de monitoreo (SM, *section monitoring*) para el OTU.

El encabezado SM incluye el identificador de traza (TTI, *trail trace identifier*; similar al de SDH), un detector de error BIP-8 (*bit interleaved parity*), y un retroindicador de error (BEI, *backward error indication*). De manera similar al REI de SDH, el BEI es enviado por el OTU sumidero al OTU fuente como una cuenta (binaria) de errores detectados por el BIP-8 previo. El retroindicador de defecto (BDI) es usado por el sumidero para informar a la fuente que está percibiendo una señal errada (similar al RDI de SDH). Adicionalmente, el encabezado SM de OTU incluye un indicador de error de alineación (IAE, *incoming alignment error*).

El IAE indica que un error de alineación de trama fue detectado en la señal recibida, con el BIAE (*backward IAE*), informando a la fuente que un IAE fue observado. El IAE y BIAE son usados para empleados para deshabilitar el conteo de errores en sus respectivas direcciones, durante la condición de pérdida de alineación.

Cabe notar que el último paso antes de transmitir el OTU en el canal óptico es mezclar la señal para asegurar una adecuada densidad de transiciones para una recuperación confiable de reloj. La mezcla es realizada sobre todos los bits de la trama OTU, incluyendo los bytes FEC, pero excluyendo los de demarcación.

Un mezclador sincronizado a la trama es usado con el polinomio  $x^{16}+x^{12}+x^3+x+1$  que es reiniciado en todos los 1, en el bit más significativo del byte MFAS.

El ODU consiste de OPU y de encabezado ODU, que funcionalmente es similar a la sección de multiplexación de SDH. Contiene el encabezado para monitoreo de desempeño de ruta (PM, *performance monitoring*), ubicación de falla y tipo de falla (FTFL, *fault type fault location*), dos canales de comunicación genéricos (GCC), conmutación de protección automática y protección de canal de comunicación (APS/PCC), seis niveles de monitoreo de conexión en tándem (TCM), y un arreglo de bytes reservados para propósito de experimentación.

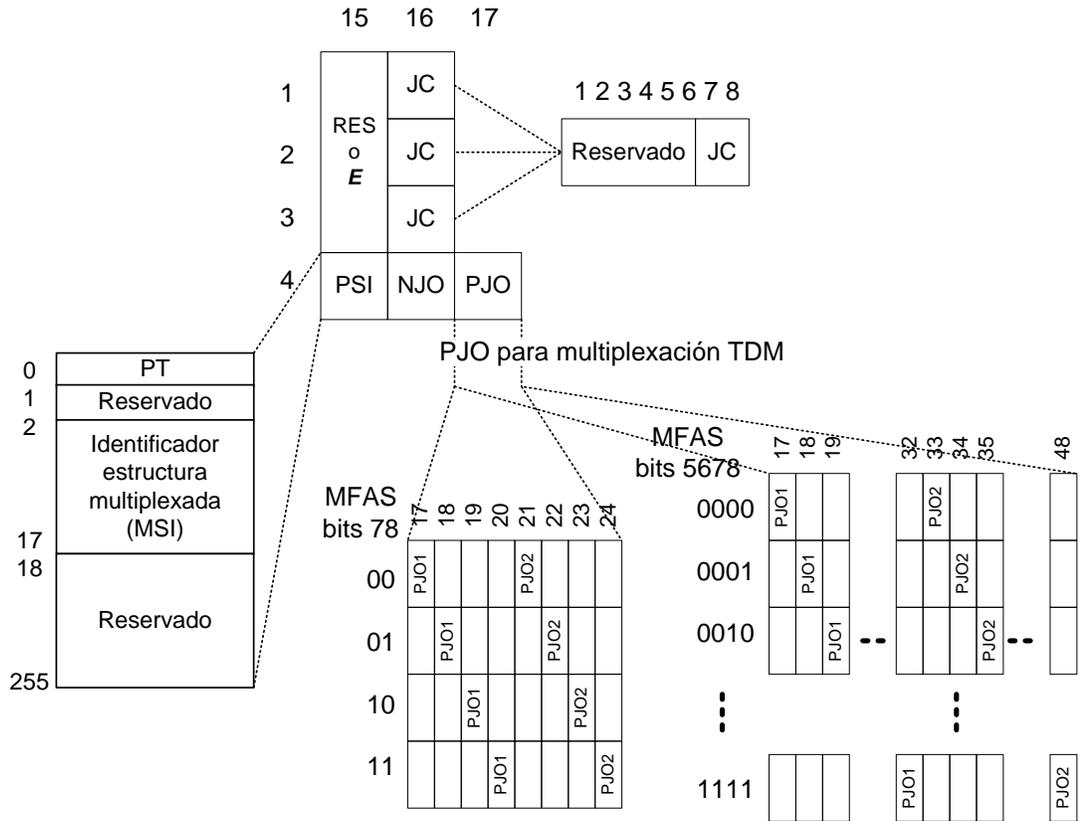
Una función de medición de retardo ha sido agregada al encabezado ODU para medir el retardo de ida y vuelta a nivel de ruta y cada nivel TCM. El encabezado PM y TCM consiste de un TTI (similar a SDH), un BIP-8 para detección de error, y BEI.

Un aspecto importante de la definición de encabezado ODU es la cobertura del BIP-8 de ruta y TCM. Cada uno de estos bytes cubre únicamente el OPU de la porción de la trama (columnas 15-3824, filas 1-4). En otras palabras, no cubren el ODU en sí mismo.

Esta definición permite la inserción o terminación de encabezado como el TCM en nodos intermedios a lo largo de la ruta ODU, sin requerir calcular o compensar los valores del BIP-8 existente.

Figura 56. **G.709 encabezado OPU mapeo asíncrono y bitsíncrono**

**D** Área encabezado específico OPU para AMP y BMP



Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).  
p. 27.

El encabezado OPU, que primariamente facilita el mapeo y desmapeo de la señal cliente cubre el OPU desde el punto en el cual dicha señal es mapeada en el OPU, hasta que es extraída en el punto de terminación. Incluye funciones similares al encabezado de ruta de SDH.

Para todas las aplicaciones, el byte indicador de estructura de carga (PSI, *payload structure indicator*) en la fila 4, columna 15, contiene indicadores del tipo de carga (PT, *payload type*) y el identificador de estructura multiplexada (MSI, *multiplex structure identifier*). La utilización de los otros bytes del encabezado OPU depende de varios factores, incluyendo el tipo de señal cliente transportado y el método de mapeo empleado.

En aplicaciones en que la justificación de frecuencia es requerida para adaptar la velocidad de la señal cliente y la del área de carga OPU, esta información de justificación es ubicada en el área de encabezado OPU. La definición de los bytes de control de justificación (JC, *justification control*) depende del tipo de mapeo empleado.

En aplicaciones en que no es requerida la justificación de frecuencia, los bytes JC no son utilizados normalmente.

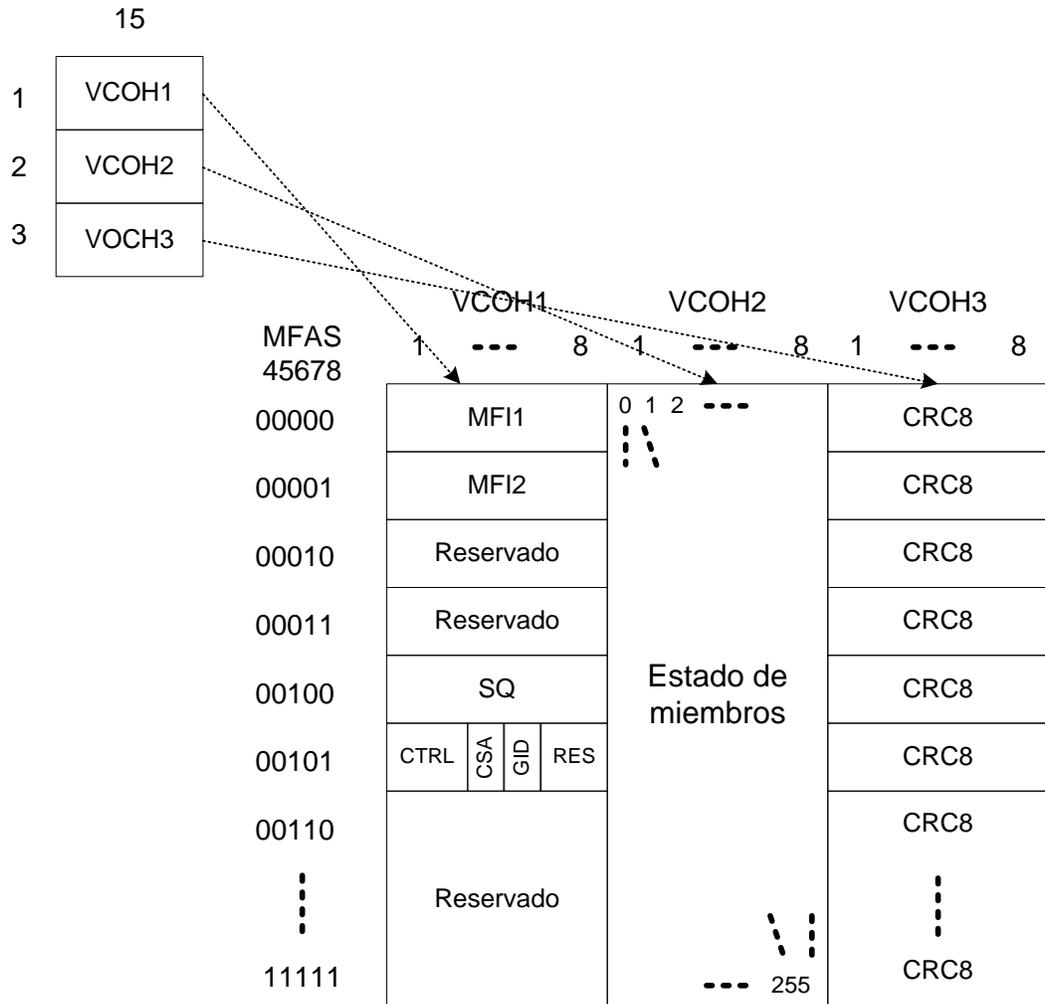
La concatenación virtual es soportada cuando se emplea mapeo asíncrono. Cuando la concatenación virtual es habilitada, sus encabezados se ubican en el área E.

En aplicaciones en que el área E no es usada para concatenación virtual o mapeo genérico, estos tres bytes son de uso reservado.

A diferencia del encabezado de ruta de SDH, OPU depende del nivel subsiguiente (ODU), para la detección de errores terminal a terminal.

Figura 57. **G.709 estructura encabezado de concatenación virtual**

**E** Encabezado de concatenación virtual



Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).  
p. 27.

## 5.5. Mapeo de carga

En términos generales, existen cinco tipos diferentes de mapeo definidos en G.709 para señales clientes hacia OTN.

Tabla XXII. **Métodos de mapeo OTN**

	<b>Método de mapeo</b>	<b>Aplicación</b>
C B R	Procedimiento de mapeo asíncrono (AMP)	Mapear señales SDH a OTN
	Procedimiento de mapeo bitsíncrono (BMP)	Método alternativo para mapear SDH a OTN. Mapear clientes CBR en ODUflex (CBR)
	Procedimiento de mapeo genérico (GMP)	Mapear clientes CBR diferentes a SDH en ODUk y SDH STM-1/4 en ODU0.
	Transcodificación Transparente de Temporización (TTT)	Transcodificar la señal cliente nativa en un flujo de velocidad menor CBR para incrementar la eficiencia de ancho de banda, y mantener la señal y temporización cliente transparente.
P a q u e t e s	Tramas GFP o celdas ATM en un contenedor OPU	Mapear paquetes cliente en ODUk con encapsulamiento GFP. Mapear paquetes cliente en ODUflex (GFP con encapsulamiento GFP). Mapear celdas ATM en OTN.

Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).

p. 29.

Los mapeos empleados más comúnmente, en base a las señales clientes predominantes se detallan a continuación:

Tabla XXIII. **Mapeos OTN comunes**

Señal cliente	OPU <sub>k</sub>	Método de justificación	Comentario
1GE	OPU0	GMP	Utiliza GFP-T
Clientes CBR ≤1.238 Gbps	OPU0	GMP	Incluye STM-1, STM-4, FC-100
Clientes CBR 1.238 Gbps < clientes < 2.488 Gbps	OPU1	GMP	Incluye FC-200
STM-16	OPU1	AMP o BMP	
STM-64	OPU2	AMP o BMP	
10GE LAN PHY	OPU2 extendido	GFP Inactivo	
10GE LAN PHY	OPU2e	BMP	
<i>Fiber channel</i> FC- 1200	OPU2e	BMP	Utiliza TTT/GFP- T
STM-256	OPU3	AMP o BMP	
40GE	OPU3	GMP	Transcodificado
100GE	OPU4	GMP	
Clientes CBR > 2.488 Gbps	OPUflex (CBR)	BMP	Incluye FC-400, FC-800, IB-SDR, IB-DDR, IB-QDR
Clientes Paquetes	OPU <sub>k</sub> , k=0,1,2,3,4	GFP Inactivo	GFP-F
Clientes flujo de paquetes	OPUflex (GFP)	GFP Inactivo	GFP-F

Fuente: GROSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).

p. 32.

## 5.6. Mapeo de clientes CBR

Los primeros dos métodos, ilustrados en la tabla anterior, fueron definidos en la versión original G.709 para transportar señales SDH o señales a esas velocidades. La versión original de G.J09 soportaba un mapeo de flujo de cliente no específico, el cual podía ser usado por un flujo CBR a la velocidad (síncrono a) del área de carga OPU. Estos mapeos de flujo AMP, BMP y no específicos al cliente, son descritos inicialmente como métodos de mapeo antiguos.

Los otros dos métodos fueron agregados para brindar flexibilidad para el mapeo de señales cliente en OPU0 y OPU4, y también para señales cliente con velocidades o tolerancia de frecuencia que no cazaban bien en las velocidades de carga OPU1, OPU2 o OPU3. Únicamente un solo método de mapeo CBR es definido para cada señal cliente, en un particular OPUk. De esta manera, mapeos antiguos son preservados y no reemplazados por nuevas opciones.

### 5.6.1. Antiguos métodos de mapeo CBR

El arreglo inicial para mapeo de señales cliente CBR definido en G.709 OTN era SDH STM-16, STM-64 y STM-256, los cuales son referidos como CBR2G5, CBR10G y CBR40G, respectivamente. Las estructuras de área de carga OPUk asociadas con estos mapeos son ilustradas a continuación, en donde D indica un byte de data de carga y FS indica byte de relleno. Los métodos de mapeo de estas señales son:

- Procedimiento de mapeo asíncrono (AMP, *asynchronous mapping procedure*)

- Procedimiento de mapeo bitsíncrono (BMP, *bit synchronous mapping procedure*)

Figura 58. Antiguos mapeos CBR

	15	16	17	.....	3824
1	RES	JC	3808D		
2	RES	JC	3808D		
3	RES	JC	3808D		
4	PSI	NJO	PJO	3807D	

Mapeo CBR2G5 en OPU1

	15	16	17	.....	1904	1905	.....	1920	1921	.....	3824
1	RES	JC	118x16D	16FS	119x16D						
2	RES	JC	118x16D	16FS	119x16D						
3	RES	JC	118x16D	16FS	119x16D						
4	PSI	NJO	PJO	15D+(117x16D)	16FS	119x16D					

Mapeo CBR10G en OPU2

	15	16	17	.....	1264	1265	.....	1280	2181	.....	2544	2545	.....	2560	2561	.....	3824
1	RES	JC	78x16D	16FS	79x16D	16FS	79x16D										
2	RES	JC	78x16D	16FS	79x16D	16FS	79x16D										
3	RES	JC	78x16D	16FS	79x16D	16FS	79x16D										
4	PSI	NJO	PJO	15D+(77x16D)	16FS	79x16D	16FS	79x16D									

Mapeo CBR40G en OPU3

Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN). p. 34.

- NJO (*negative justification opportunity byte*), byte de oportunidad de justificación negativa
- PJO (*positive justification opportunity byte*), byte de oportunidad de justificación positiva
- JC (*justification control byte*), byte de control de justificación
- FS (*fixed stuff byte*), byte de relleno fijo
- D (*payload data byte*), byte de data de carga
- RES (*reserved byte*), byte reservado

Las áreas de carga ODU2 y ODU3 incluyen columnas adicionales de relleno que son usadas cuando señales SDH son mapeadas en ellas.

El propósito de las columnas de relleno es aumentar la velocidad OPU suficiente para acomodar velocidades ODU menores, dentro, con las columnas de relleno eliminadas.

#### **5.6.1.1. Procedimiento de mapeo asíncrono**

Con AMP, el reloj OPU es generado localmente. La adaptación entre la velocidad de carga OPUk y la señal cliente es realizada con el uso de bytes de control de justificación (JC) y sus bytes asociados de oportunidad de justificación negativa y positiva.

La principal desventaja de AMP es que solo puede acomodar un rango limitado de velocidades de señales cliente y tolerancias de frecuencia. Diferentes velocidades de señales clientes podrían ser acomodadas, definiendo un número apropiado de bytes de relleno fijo, para cada tipo de señal cliente; sin embargo esto debe ser definido para cada nueva señal cliente y el ancho de las columnas típicamente no sería un patrón regular a través de la trama.

La técnica AMP puede acomodar un rango de frecuencia cliente de hasta  $\pm 45$  ppm. Este rango es más que apropiado para señales SDH, que típicamente tienen un rango de  $\pm 4.6$  ppm, con  $\pm 20$  ppm para las señales AIS. Bytes adicionales NJO y/o PJO serían necesarios para acomodar tolerancias de frecuencia más amplias, tales como  $\pm 100$  ppm que es típica para Ethernet y otras señales comunes. El método GMP fue desarrollado para brindar un mecanismo simple para manejar señales cliente de velocidades y tolerancias de reloj arbitrarias, de una manera consistente sin definiciones específicas para señales cliente.

#### **5.6.1.2. Procedimiento de mapeo bitsíncrono**

Con BMP el reloj OPU es derivado de la señal de reloj cliente (señal CBR10G). Debido a que el OPU está enganchado a la frecuencia y fase de la señal cliente, no hay necesidad para la justificación de frecuencia.

Los bytes JC contienen valores fijos, el NJO contiene un byte de justificación, y el PJO contiene un byte de data. Cabe mencionar que con BMP, la relación señal cliente con la carga de OPU puede ser alineada por bit o por byte. Para la mayoría de clientes, incluyendo SDH y ODUflex (CBR), se emplea alineamiento por byte.

BMP puede ser usado para mapear SDH STM-16, STM-64 o STM-256 en una señal ODU1, ODU2 u ODU3, respectivamente. Cuando una señal STM-16 es mapeada bitsíncronamente en un OPU1; la velocidad STM-16 es usada directamente para la velocidad del contenedor OPU1. La velocidad resultante ODU1 es:

$$\text{Velocidad ODU1} = (239/238)(\text{velocidad STM-16 cliente})$$

Cuando un STM-64 es mapeado bitsíncrono en un OPU2, el resultante ODU toma en cuenta la presencia de las columnas de relleno fijas de OPU2 empleadas para el mapeo, como resultado la velocidad ODU2 es:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad ODU2} &= (239/238)(\text{STM-64} + \text{columnas de relleno}) = \\ &= (239/237)(\text{velocidad STM-64 cliente}) \end{aligned}$$

El mapeo de STM-256 en un ODU3, similarmente toma en cuenta las columnas de relleno fijas.

Asimismo, BMP puede usarse para todas las señales cliente CBR para mapear en un ODUflex (CBR). Notar que ODU2e es un caso especial de ODUflex (CBR) que es empelado para transportar 10GBASE-R Ethernet, y conserva las mismas columnas de relleno empleadas en STM-64 en ODU2.

Como se extenderá posteriormente, las señales ODUflex (CBR) son multiplexadas en un ODU de alto orden, usando GMP para la adaptación de velocidad.

### **5.6.1.3. Mapeo de flujos no específicos**

Adicionalmente a CBR2G5, CBR10G y CBR40G, G.709 también permite el mapeo de flujos de clientes no específicos en el OPU. En este mapeo, la señal cliente (o arreglo de señales cliente) son encapsuladas en un flujo CBR a la velocidad de (síncronamente) el área de carga OPU. Cualquier adaptación de velocidad debe ser realizada dentro del flujo de bits CBR, como parte del proceso que lo crea.

### **5.6.2. Mapeo de señales CBR usando GMP**

Como se expuso anteriormente, AMP está limitado en su habilidad para acomodar convenientemente nuevas señales que son significativamente diferentes a la velocidad de la carga OPUk, y maneja señales con tolerancia de reloj, significativamente mayor a  $\pm 20$  ppm. La adopción de ODU0 y ODU4 crearon la oportunidad para definir señales con un método más flexible de mapeo. Este método, GMP, fue también elegido para mapear nuevas señales en OPU1, OPU2 y OPU3.

El concepto detrás de GMP es que los bytes JC de cada trama son usados para comunicar el número de palabras transportadas que serán mapeadas en el área de carga OPUk, durante la siguiente trama. El transmisor y receptor utilizan aritmética módulo, basada en esta cuenta, para determinar la ubicación de data y palabras de relleno dentro del área de carga de la trama. El tamaño de palabra es un número entero de bytes. Para propósitos de ejemplo, el tamaño de palabra es igual al máximo número de ranuras tributarias (TS, *tributary slots*) que puede ser soportada por el OPUk en el área de carga multiplexada. Específicamente, ODU0, ODU1, ODU2, ODU3 y ODU4 soportan tamaños de palabra de 1, 2, 8, 32 y 80 bytes, respectivamente.

La flexibilidad de GMP proviene de la capacidad de acomodar una señal CBR que requiere entre 1 y 15232 bytes por trama OPU. Asimismo, inherentemente permite gran flexibilidad en acomodar frecuencias de reloj de diferentes tolerancias; aunque en la práctica la mayoría de señales CBR poseen señales de reloj no peores que  $\pm 100$  ppm. En el caso de ODU0, esto permite mapeos incluyendo de 155.52 Mbps STM-1 y Gigabit Ethernet.

### **5.6.3. Mapeo de ODUflex (CBR)**

Señales CBR con velocidad menor que OPU0 u OPU1, son mapeadas directamente en un OPU0 u OPU1, respectivamente, empleando GMP. Similarmente, cuando la señal de cliente es ligeramente menor que un OPU2, OPU3 u OPU4, es mapeada directamente en esa señal. Sin embargo, muchas señales CBR importantes no se ajustan bien en un OPUk.

Ejemplos de tales casos son señales *fibre cannel*, con velocidades mayores a 2 Gbps. El ODUflex (CBR) es un ODU de velocidad flexible que fue creado para simplificar los mapeos de señales CBR de velocidad arbitraria.

El ODUflex (CBR) es creado para encapsular la señal cliente, con una trama OTN. En otras palabras, un proceso BMP es usado para agregar encabezado OTN a la señal cliente y crear una señal de velocidad (239/238) (velocidad cliente).

La velocidad ODU es entonces directamente derivada de la velocidad cliente. La señal ODUflex (CBR) es entonces multiplexada en las ranuras tributarias de un OPU2, OPU3 u OPU4.

#### **5.6.4. Mapeos a ODU4**

La señal ODU4 fue definida de manera diferente a ODU1, ODU2 y ODU3; las cuales fueron optimizadas para transportar señales SDH.

Para evitar problemas de compatibilidad con señales Ethernet y OTN, ITU-T definió ODU4, tal que está optimizada para transportar 100 Gigabit Ethernet y no según el modelo tradicional de definir su capacidad como cuatro veces la capacidad de la señal inferior inmediata (160 Gbps = 4 x ODU3). La suposición fue que 100GE se convertiría en la señal más importante a esa velocidad, y la esperanza es que OTU4 sea el método preferido para la transmisión de 100 GE cuando se requiera FEC.

IEEE se enfocó inicialmente en opciones de capa física de menor alcance, en múltiples fibras o múltiples longitudes de onda que no requiere FEC. La velocidad OTU4 alrededor de 112Gbps también permitió emplear tecnología óptica que es sustancialmente menos compleja y accesible, que lo habría sido si se requiriera una interface a 160 Gbps. El inconveniente es que la señal resultante OPU4 no es un múltiplo entero de las señales inferiores ODUk.

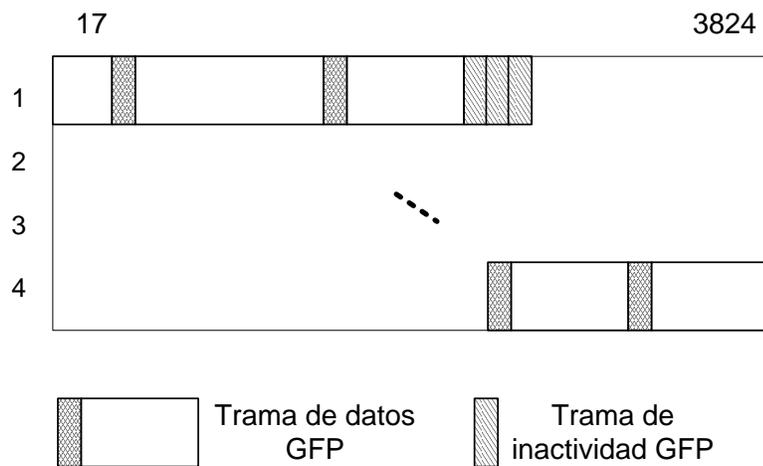
La estructura OPU4 elegida, consiste de 80 ranuras tributarias con una velocidad aproximada de 1.25 Gbps por ranura tributaria. GMP fue escogido como el mecanismo de justificación para todas las señales no mapeadas GFP dentro de OPU4.

#### **5.6.5. Mapeo de GFP**

El mapeo directo para tramas mapeadas utilizando GFP (GFP-F) en un área de carga OPU, ha sido definido.

En estos mapeos, un flujo continuo de tramas GFP-F es mapeado de una manera alineada por octeto en el área de carga OPU, sin columnas de relleno fijas. La delineación de la trama GFP es realizada usando la información de encabezado de este protocolo. La adaptación entre las velocidades de la señal cliente y el área de carga OPU, es realizada enviando tramas de inactividad cuando no se envía información.

Figura 59. **Mapeo de tramas GFP en OPU**



Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical Transport Networks (OTN).  
p. 38.

### 5.6.5.1. Mapeo de GFP-F en OPU2 extendido

Un caso especial de mapeo GFP-F existe para transportar 10GBASE-R Ethernet. El proceso de mapeo GFP fue extendido para acomodar transparencia del preámbulo e información de arreglo ordenado de la trama Ethernet, y algunos bytes del encabezado OPU2 son empleados para crear un área de carga extendida.

### 5.6.5.2. Mapeo ODUflex (GFP)

Este mapeo es usado para brindar un canal de velocidad fijo para transportar datos orientados a paquetes, con flexibilidad de escoger el tamaño del canal.

Este es esencialmente un híbrido de ODUflex (CBR) y GFP-F. Como con todos los mapeos, GFP-F encapsula la señal cliente en tramas con GFP-F, mapea la trama GFP-F en el OPU (OPUflex) y llena el ancho de banda no utilizado con tramas de inactividad GFP.

La velocidad ODUflex (CBR) es derivada directamente de la señal cliente. En contraste, la velocidad ODUflex (GFP) es predeterminada para el eficiente uso del área de carga OPU. Sin embargo, los acercamientos para derivar las velocidades difieren; ambos tipos de ODUflex son multiplexados en el OPU de alto orden por GMP, y son manejados de la misma manera en la red. Consecuentemente, no hay necesidad de que los elementos de red intermedios sepan qué tipo de ODUflex es conmutado o multiplexado.

La velocidad ODUflex (GFP) es determinada de la siguiente manera: la menor velocidad de granularidad en un OPU es 1.25 Gbps, como ranura de tributario (TS, *tributary slot*). El proveedor de red escoge una velocidad de servicio para este mapeo, el cual es empleado dentro del ancho de banda disponible de las  $N$  ranuras tributarias por el ODUflex (GFP). Es decir, la velocidad de servicio para clientes mapeados en ODUflex (GFP) es nominalmente  $N \times 1.25$  Gbps. El ancho de banda en estas ranuras tributarias debe considerar las potenciales variaciones en la velocidad, en ranuras tributarias que el ODUflex (GFP) puede encontrar dentro de la red.

ODUk.ts se refiere a un ODTU para un ODU de bajo orden, mapeado por GMP; donde ts es el número de TS ocupado dentro de dicho ODU de bajo orden.

Tabla XXIV. **Valores  $C_m$  fuente ODUflex (GFP) y velocidad ODUk.ts**

Velocidad ODUflex (GFP) (número de TS)	Velocidad HO OPUk ODUflex (GFP) fuente	Valor $C_m$ ODUflex(GFP) fuente	Velocidad por ODUk.ts (Gbps)
1-8	OPU2	15230	1.249245570 ±20 ppm
	OPU3	15165	1.249184746 ±20 ppm
	OPU4	14587	1.249212687 ±20 ppm
9-32	OPU3	15230	1.254538983 ±20 ppm
	OPU4	14649	1.254522291 ±20 ppm
32-80	OPU4	15498	1.301537974 ±20 ppm

Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN). p. 72.

$C_m$  corresponde a una constante empleada por el nodo fuente, la cual toma en cuenta la combinación del número de TS empleadas en la señal ODUflex (GFP), la tolerancia de reloj del ODU de bajo y alto orden, y su velocidad OTUk jerárquica; constante con la cual es posible mapear y recuperar la señal.

### 5.7. Procedimiento de mapeo genérico

GMP fue desarrollado para brindar un método consistente de mapeo asíncrono para acomodar nuevas señales cliente CBR con tolerancias de frecuencia y velocidades arbitrarias. El mapeo es logrado de una manera directa sin requerir definir un arreglo de relleno fijo o bytes NJO/PJO adicionales, para cada nueva señal cliente.

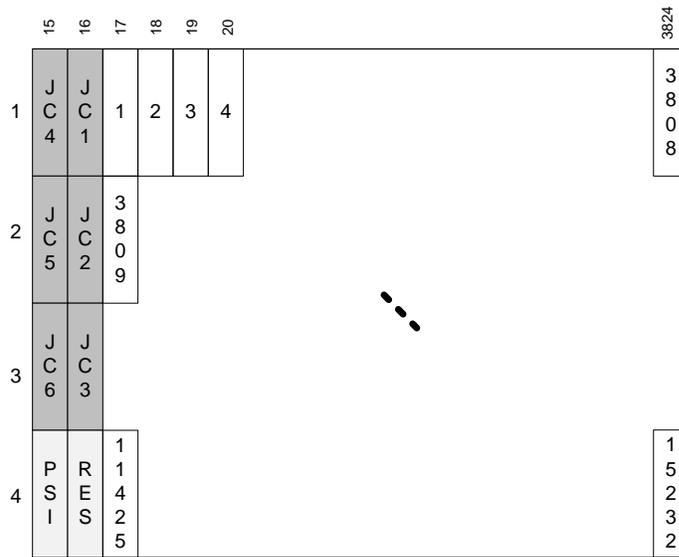
GMP fue desarrollado junto con ODU0 y ODU4 y es el único método de adaptación de velocidad empleado en estas señales. GMP es también usado para la mayoría de señales no SDH CBR en ODU1, ODU2 y ODU3. El mapeo a través de GMP funciona con un valor de cuenta, referido como  $C_m$  que es enviado en los octetos JC de la trama  $i$  para indicar el número de palabras cliente que serán transmitidas en el área de carga OPU $k$  durante la trama  $i+1$ . Las palabras de relleno son distribuidas a través del contenedor de carga OPU, de manera que el receptor puede identificarlas con el valor de cuenta.

Para propósitos de GMP, las palabras de carga de OPU están numeradas de  $1-15232/M$  para ODU $k$ ,  $k=0-3$ , y  $1-1520/M$  para ODU4, donde  $M$  es el número de 1.25 Gbps TS que OPU puede transportar; específicamente, para mapear en OPU $k$ ,  $M=1$  para OPU0,  $M=2$  para OPU1,  $M=8$  para OPU2,  $M=32$  para OPU3 y  $M=80$  para OPU4.

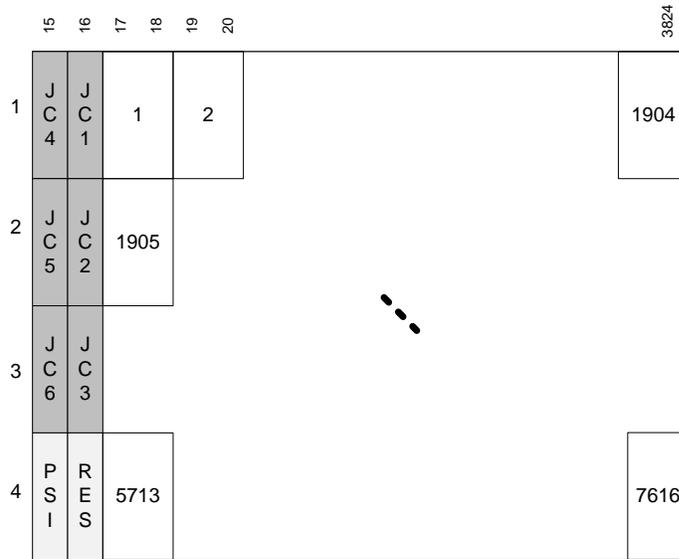
Por ejemplo, para  $k = 0-3$ , en la primera fila de la trama, columna 17, es el principio de la primera palabra de carga, columna  $17+M$  es el principio de la segunda palabra de carga, etc. Con la ubicación del último byte de palabra en  $3808/M$ , figurando en la columna 3824. La columna 17 en la segunda fila es el principio de la palabra de carga  $(3808/M)+1$ , y así sucesivamente, con la columna 3824 de la cuarta fila, siendo la último byte de la palabra de carga  $15232/M$ .

La estructura es similar para ODU4, excepto que las últimas 8 columnas de OPU4 contienen relleno fijo. Consecuentemente, la última palabra de la multitrama termina en la columna 3816 y no en 3824. La ubicación del byte NJO para mapeos AMP no está definida para GMP y nunca transporta data. Similarmente, el byte PJO para AMP es considerado parte del contenedor de carga para GMP.

Figura 60. Numeración de palabra de carga OPUk



Ejemplo OPU0



Ejemplo OPU1

Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).

p. 64.

El método para determinar la ubicación de las palabras de data y relleno se basa en aritmética módulo. En aritmética módulo, el residuo módulo de  $X$  dividido entre  $Y$ , el cual se expresa como  $(X) \bmod Y$ , es el residuo entero de  $X$  cuando es dividido por  $Y$ . Por ejemplo,  $(49) \bmod 13 = 10$ , ya que  $49 = (3)(13) + 10$ .

El número de palabras carga en la trama OPUk, es referida como  $P_{\text{servidor}}$ , ya que OPU es la capa de servidor para la señal cliente. Designado  $n$  como la ubicación de la palabra de carga y  $C_m$  la cuenta del número de palabras de  $m$ -bits será transmitido en la próxima trama. El contenido de la palabra  $n$  en la trama  $i+1$  es determinado por:

$$\text{Palabra } n = \begin{cases} \text{data} & : (n)(C_m) \bmod P_{\text{servidor}} < C_m \\ \text{relleno} & : (n)(C_m) \bmod P_{\text{servidor}} \geq C_m \end{cases}$$

$$P_{\text{servidor}} = \frac{15232}{M} \text{ para } k = 0 - 3$$

$$P_{\text{servidor}} = \frac{15200}{M} \text{ para } k = 4$$

El resultado comprende a agrupamientos de bytes de carga, espaciados regularmente y bytes de relleno, todos 0.

El número promedio de bytes de carga por trama es determinado por la relación de la velocidad codificada de señal cliente, y la velocidad del contenedor de carga:

$$C_m \text{ promedio} = (P_{\text{servidor}}) \left( \frac{\text{velocidad flujo cliente}}{\text{velocidad contenedor OPUk}} \right)$$

Otra forma de describir esta relación es que el residuo de  $(n)(C_m) \bmod P_{\text{servidor}}$  es aumentado por una cantidad igual a  $(P_{\text{servidor}} - C_m)$ , cada vez que el número de octetos de carga sea incrementado en uno. Cuando el residuo de  $(n)(P_{\text{servidor}} - C_m)$  alcanza un valor menor que el residuo previo una palabra de relleno es insertada.

Por ejemplo, al considerar un cliente que use 11,424 bytes en la siguiente trama, que es exactamente  $(7/8)(15232)$ , el residuo incrementa en 1904 para cada incremento de  $n$ , que resulta en un residuo 0 cada octavo octeto. Este tipo de cuenta módulo es fácilmente implementable en hardware.

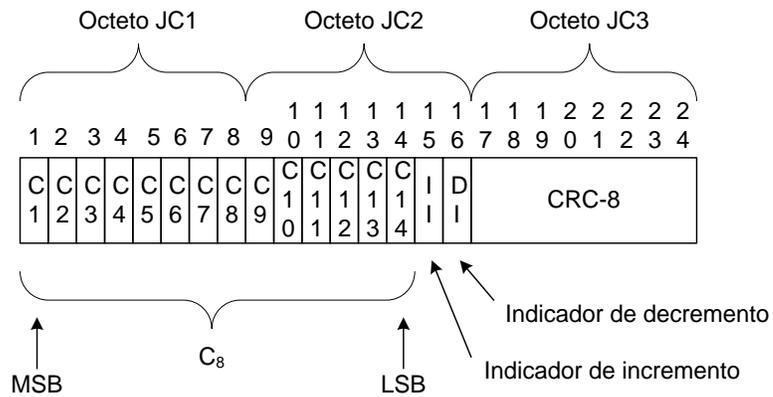
El formato de octeto de control de justificación OPUK es ilustrado a continuación. El valor promedio de  $C_m$  rara vez es un entero. Consecuentemente,  $C_m$  debe ser ajustado ocasionalmente de trama en trama.

Debido a que un desajuste entre el valor  $C_m$  de fuente y sumidero, causa corrupción de data significativa; es crítico comunicar el valor  $C_m$  y sus ajustes de manera muy confiable.

La comunicación confiable es lograda por dos mecanismos: el primero es una cuenta de incremento o decremento basada en la inversión de un subarreglo de los bits  $C_m$ . El segundo mecanismo es detección de error CRC-8 ( $G(x)=x^8+x^3+x^2+1$ ) y corrección de código sobre los tres octetos de campos JC.

El mecanismo de inversión de bit, es similar al ajuste de puntero de SDH, pero con tres diferencias importantes. Mientras el ajuste de puntero SDH se limita a  $\pm 1$ ,  $C_m$  puede ajustarse en  $\pm 1$  y  $\pm 2$ .

Figura 61. Encabezado control de justificación GMP



Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN). p. 65.

Figura 62. Patrones  $C_m$  para indicar incremento o decremento

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	II	DI	$\Delta$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	+1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	-1
0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	+2
1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	-2
Número binario														1	1	> $\pm$ 2

Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN). p. 66.

La fuente señala el signo y la magnitud del ajuste, transmitiendo a  $C_m$  con diferentes subarreglos de bits invertidos. Estos patrones de bits invertidos se establecieron una distancia Hamming por octeto, de al menos cuatro, entre patrones.

Otra diferencia es que el campo JC incluye un bit indicador de incremento (II) y un bit indicador de decremento (DI). La final y mayor diferencia es que los campos JC son protegidos por un código de chequeo de error CRC-8. El CRC-8 permite cambios a  $C_m$  por trama de cualquier magnitud, al eliminar la necesidad del chequeo de persistencia, usado con los punteros de SDH.

El CRC-8 es capaz de detectar cualquier explosión de errores de 8 bits, y por lo tanto puede proteger contra corrupción de cualquier octeto JC individual (debido al espaciado entre JC bytes, se asume que una explosión de error afectará no más que a un JC por trama). Consecuentemente, la combinación de usar un valor de cuenta de inversión de patrones (incluyendo a II y DI) y CRC-8, permite que el receptor interprete correctamente el valor  $C_m$  en cualquier situación en que sea necesario.

Este tipo de cambio ocurrirá típicamente en la inicialización, o al entrar o salir de condición de falla de la señal cliente.

La sincronización inicial o recuperación de fuente-sumidero  $C_m$  desde la corrupción del valor  $C_m$  esperado por el sumidero, puede ser conseguida en dos tramas, aun en la presencia de continuos incrementos y decrementos.

Por ejemplo, el mapeo con GMP de 1 Gbps *fibre channel* (FC-100), la velocidad nominal de FC-100 es 1.0625 Gbps  $\pm 100$  ppm.

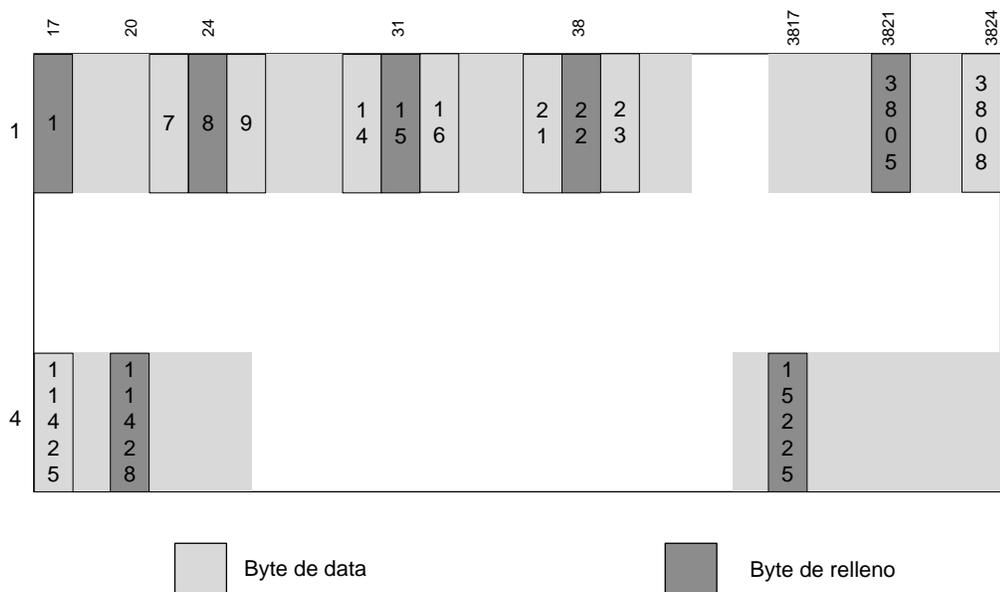
El valor de cuenta promedio GMP para transportar FC-100 en un OPU0 es 13062 bytes, basado en las velocidades nominales de ambas señales:

$$\text{Periodo de trama ODU0} = \left( \frac{1}{1.24416 \text{ Gbps}} \right) (3824 \times 4 \times 8 \text{ bits}) = 98.354 \mu\text{s}$$

$$\text{Bytes FC - 100} = (1.0625 \text{ Gbps}) \left( \frac{\text{byte}}{8 \text{ bits}} \right) (98.354 \mu\text{s}) = 13062.6 \text{ bytes}$$

Consecuentemente, el trasmisor ODU0 alternará entre enviar 13026 y 13063 bytes por trama, para conseguir esta transmisión promedio.

Figura 63. **Mapeo FC-100 con GMP  $C_8=13062$**

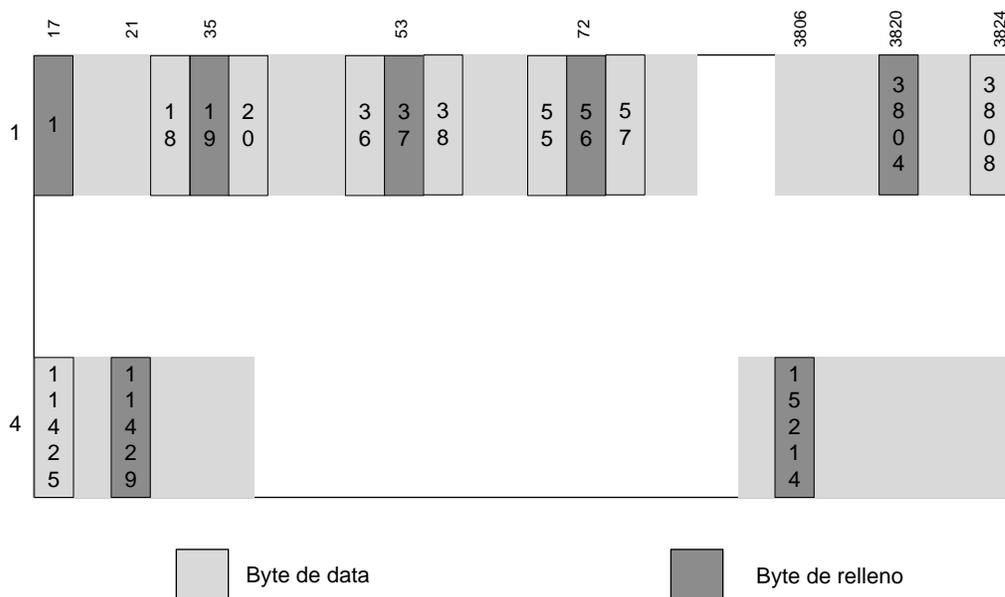


Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN).  
p. 68.

Otro ejemplo es una señal cliente 1000BASE-R Ethernet (GE). Esta utiliza transcodificación transparente, ya que 1.25 Gbps, que es la velocidad de esta señal excede ligeramente la capacidad de un OPU0; la señal GE es primero mapeada en GFP-T para tomar ventaja de la codificación más eficiente.

El flujo GFP-T es construido de tal manera que su velocidad sea derivada de la señal cliente original (exactamente 64 caracteres GbE son mapeados en cada trama GFP-T, cada trama GFP-T contiene un superbloque de códigos de bloque 64B/65B). Este flujo GFP-T es entonces mapeado en OPU con GMP. Cuando ambos GE y OPU0 corren a sus velocidades nominales, el flujo GFP-T brinda 14407.311 bytes/trama, lo que resulta que el mapeo varíe entre 14407 y 14408 bytes/trama.

Figura 64. Mapeo GE con GMP  $C_8=14407$



Fuente: GORSHE, Steve. A Tutorial on ITU-T G.709 Optical transport networks (OTN). p.

## **6. ANÁLISIS ECONÓMICO**

### **6.1. Visión de implementación de Ethernet sobre WAN**

La principal motivación para la implementación de esta tecnología es la utilización de una considerable infraestructura existente, como un paso de transición para la migración hacia una tecnología predominante diferente, en el ámbito de transporte.

La infraestructura predominante en las redes de transporte guatemaltecas es por mucho la tecnología SDH sobre fibra óptica. La tendencia general en los equipos clientes de la red de transporte muestra un crecimiento significativo en la demanda de interfaces Ethernet como acceso, en sus diferentes versiones, tanto en los servicios a clientes finales, como en las redes de acceso móvil.

Como primer paso para la adaptación a esta creciente demanda se propone la implementación de la tecnología de Ethernet sobre SDH (EoS), para brindar los medios necesarios para apuntalar esta inmediata necesidad.

Para este punto, existen diferentes acercamientos para proveer estos medios de acceso; en este caso en particular se propone la implementación de unidades anidadas en la infraestructura SDH existente, reportando una inversión mínima de implementación, ya que implica la expansión en la infraestructura ya instalada, es decir, la instalación de módulos o unidades que habiliten esta funcionalidad en los equipos presentes.

Esta consideración puede forzar la necesidad de aumentar la capacidad de transmisión de la red existente, que aunque pueda parecer contrario al deseo de migrar hacia otra tecnología y no aumentar la base instalada en SDH, implica un impacto mínimo en implementación, pues se modifica la base instalada y no se crea una nueva red desde cero.

Como segundo paso, en la adaptación para servicios con demanda predominante de Ethernet como acceso, se propone la migración de la tecnología predominante de SDH a la evolución de transporte de alta densidad OTN, que resulta en redes DWDM de alta capacidad (transmisión de 80 lambdas con cada lambda con velocidades de hasta 100 Gbps, resultando en velocidades de ODU4 (103.125 Gbps) x 80 lambdas= 8250 Gbps en fibra óptica).

Claro está que estos valores son ilustrativos, pues la viabilidad técnica de dichas capacidades está sujeta a diversos factores; sin embargo estos son alcanzables bajo situaciones específicas.

En este proceso de evolución se propone la implementación de esta tecnología como meta a largo plazo, ya que implica el remplazo de la infraestructura existente, especialmente en los puntos de concentración de tráfico.

Se propone como principal criterio de decisión, la posibilidad de realizar la implementación progresiva de aumento de capacidad en la red central de transporte, mientras se puede apuntalar la demanda inmediata de transporte, específicamente la creciente demanda de acceso por Ethernet.

## **6.2. Servicios brindados**

Los servicios brindados por la tecnología propuesta, no representan un incremento en los existentes, sino una mejora en eficiencia en los ya existentes:

### **6.2.1. Ethernet sobre SDH**

- GFP mejora la utilización del ancho de banda disponible, minimizando la transmisión de encabezados.
- LCAS mejora la disponibilidad de los servicios de EoS, por el esquema dinámico de aprovisionamiento de ancho de banda en donde es requerido, y brindando los mecanismos de control para el mantenimiento de los servicios existentes, aun en condiciones de falla parcial en la capacidad de transporte.
- VCAT brinda flexibilidad para la utilización de los recursos disponibles en la red de transporte existente, minimizando la necesidad de crecimiento de capacidad en la base instalada.

### **6.2.2. Ethernet sobre OTN**

- GMP brinda los medios para la adaptación de los servicios existentes, para el transporte sobre redes DWDM de alta densidad, transportándolos de manera nativa sin necesidad de transcódificarlos o encapsularlos en protocolos adicionales, disminuyendo la eficiencia de los recursos.
- DWDM brinda los medios para explotar la base instalada de fibra óptica, para aumentar la capacidad de transmisión de manera considerable.

- OTN ofrece compatibilidad con las definiciones de Ethernet a emplearse de manera frecuente en el futuro, es decir, la implementación de 100 GbE para transportarse en redes WAN.

Continuando con los servicios ya existentes y de uso común, se citan los siguientes:

- Acceso a internet
- Transmisión de vídeo
- Servicios de telefonía móvil y fija
- Servicios empresariales de comunicación

### **6.3. Análisis financiero**

Las consideraciones para la implementación de la tecnología expuesta dependerá grandemente de la demanda y las características de la red en que se realice; sin embargo, a manera ilustrativa, se consideran cantidades representativas.

Se propone la implementación de expansión de funcionalidades sobre la red SDH, así como la implementación de nuevos elementos de red OTN. Se dan a conocer representativos de ambas tecnologías.

Tabla XXV. **Costo propuesta de implementación EoS**

<b>Tecnología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Cantidad a implementar</b>	<b>Subtotal</b>
SDH	Módulos expansión capacidad	\$18 000,00	4	\$72 000,00
EoS	Módulo concentrador central	\$18 000,00	1	\$18 000,00
	Módulo acceso	\$5 000,00	5	\$25 000,00
<b>Costo inversión de hardware</b>				<b>\$115 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Se considera un escenario representativo, la implementación de 6 elementos de red, en una topología centralizada con un elemento de red concentrador y 5 elementos de acceso. Se considera la posibilidad de aumentar la capacidad de transmisión en dos segmentos de la topología.

Tabla XXVI. **Costo propuesta de implementación E-OTN**

<b>Tecnología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Cantidad a implementar</b>	<b>Subtotal</b>
ROADM	Elemento de red	\$100 000,00	5	\$500 000,00
E-OTN	Módulo acceso ADM (10 Gbps)	\$20 000,00	10	\$200 000,00
	Módulo acceso punto a punto (10 Gbps)	\$6 000,00	2	\$12 000,00
	Módulo acceso punto a punto (40 Gbps)	\$60 000,00	2	\$120 000,00
	Módulo acceso punto a punto (100 Gbps)	\$120 000,00	0	\$-
<b>Costo inversión de hardware</b>				<b>\$832 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se considera la topología anteriormente habilitada para transporte de Ethernet sobre SDH, como candidata a ser remplazada por equipos OTN.

Se propone la implementación de 5 elementos de red, como reducción de la topología anterior para la concentración de mayor densidad, y la implementación de 8 lambdas (cada par de módulos representa una lambda).

Se considera que las interfaces de 100 Gbps son prohibitivas para este punto, debido a que la demanda de capacidad es improbable que alcance dichas magnitudes, y los mismos precios de dichos módulos representan un punto crítico. Se presenta una matriz financiera que contiene los gastos como inversión y los ingresos por beneficios y servicios generados por la implementación de la tecnología expuesta.

Esta matriz permite calcular los parámetros de decisión: el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno. Se toma en cuenta el valor de la moneda en el tiempo, suponiendo una tasa de ganancia durante 5 años del 10% no acumulativa que es el porcentaje típico de pago anual por bancos locales o tasa interna aceptable. Para poder establecer la viabilidad económica de la inversión propuesta, el criterio de decisión se establecerá según lo siguiente:

- El valor actual neto (VAN) calculado debe ser mayor o igual a cero.
- La tasa interna de retorno (TIR) calculada debe ser mayor que la tasa interna aceptable.
- La relación beneficio/costo sea igual o mayor a cero.

El punto de referencia para el presente análisis, será la comparación de la propuesta contra la implementación de una red con tecnología de acceso Ethernet y transporte Ethernet nativo (equipos MPLS, o metro Ethernet).

Para estos fines ilustrativos, para EoS y posteriormente E-OTN, se proponen los siguientes costos:

Tabla XXVII. **Costo propuesta de referencia**

Costos	Descripción	Periodo
		0
Costos de construcción del sistema	Costo de inversión de hardware Ethernet	\$600 000,00
	Software y licencias	\$25 000,00
	Capacitación a los instaladores	\$3 000,00
	Sistema de gestión	\$20 000,00
	Subtotal	\$648 000,00
Costos de instalación	Capacitación del usuario	\$15 000,00
	Instalación y configuración de equipos	\$60 000,00
	Costo de pruebas	\$10 000,00
	Otros gastos de instalación	\$5 000,00
	Subtotal	\$90 000,00
Costos de operación y mantenimiento	Mantenimiento preventivo y soporte de equipos	\$-
	Reparación y repuesto de equipos	\$-
	Actualización de software de equipos	\$-
	Otras instalaciones	\$3 000,00
	Recurso humano	\$10 000,00
	Subtotal	\$13 000,00
Total inversión		\$751 000,00

Fuente: elaboración propia.

Con base en los costos de instalación de una tecnología que permita los mismos beneficios de acceso y transporte que se proponen por EoS, se pueden calcular los beneficios como punto de partida para justificar dicha opción.

El análisis muestra dos etapas: la primera de carácter transitorio en la implementación de EoS para mitigar la demanda inmediata con un mínimo de inversión e identificar los puntos de concentración, para posteriormente evolucionar a E-OTN.

Tabla XXVIII. Análisis financiero

Costos	Descripción	Periodos							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Costos de construcción del sistema	Costo de inversión de hardware EoS	\$115 000,00	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
	Costo de inversión de hardware E-OTN	\$-	\$-	\$-	\$832 000,00	\$-	\$-	\$-	\$-
	Software y licencias	\$10 000,00	\$-	\$-	\$20 000,00	\$-	\$-	\$-	\$-
	Capacitación a los instaladores	\$3 000,00	\$1 500,00	\$1 500,00	\$9 000,00	\$1 500,00	\$1 500,00	\$1 500,00	\$1 500,00
	Sistema de gestión	\$-	\$-	\$-	\$20 000,00	\$-	\$-	\$-	\$-
Costos de instalación	Capacitación del usuario	\$3 000,00	\$1 500,00	\$1 500,00	\$9 000,00	\$1 500,00	\$1 500,00	\$1 500,00	\$1 500,00
	Instalación y configuración de equipos	\$5 000,00	\$-	\$-	\$60 000,00	\$20 000,00	\$10 000,00	\$5 000,00	\$1 500,00
	Costo de pruebas	\$3 000,00	\$-	\$-	\$10 000,00	\$5 000,00	\$2 500,00	\$1 500,00	\$1 500,00
	Otros gastos de instalación	\$3 000,00	\$-	\$-	\$5 000,00	\$-	\$-	\$-	\$-
Costos de operación y mantenimiento	Mantenimiento preventivo y soporte de equipos	\$-	\$5 000,00	\$5 000,00	\$5 000,00	\$10 000,00	\$10 000,00	\$10 000,00	\$10 000,00
	Reparación y repuesto de equipos	\$-	\$40 000,00	\$20 000,00	\$-	\$100 000,00	\$50 000,00	\$20 000,00	\$20 000,00
	Actualización de software de equipos	\$-	\$10 000,00	\$5 000,00	\$-	\$15 000,00	\$10 000,00	\$5 000,00	\$5 000,00
	Otras instalaciones	\$-	\$3 000,00	\$3 000,00	\$3 000,00	\$3 000,00	\$3 000,00	\$3 000,00	\$3 000,00
	Recurso humano	\$7 000,00	\$7 000,00	\$7 000,00	\$10 000,00	\$10 000,00	\$10 000,00	\$10 000,00	\$10 000,00
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>		<b>\$149 000,00</b>	<b>\$68 000,00</b>	<b>\$43 000,00</b>	<b>\$983 000,00</b>	<b>\$166 000,00</b>	<b>\$98 500,00</b>	<b>\$57 500,00</b>	<b>\$54 000,00</b>
<b>BENEFICIOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Beneficios tangibles	Ahorro en costos de construcción del sistema	\$520 000,00	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
	Ahorro en costos de instalación	\$76 000,00	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
	Ahorro en costos de operación y mantenimiento	\$6 000,00	\$6 000,00	\$6 000,00	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Beneficios estratégicos	Implementación de nuevos servicios	\$-	\$15 000,00	\$15 000,00	\$22 500,00	\$30 000,00	\$22 500,00	\$15 000,00	\$10 000,00
	Incurción en nuevos mercados	\$-	\$30 000,00	\$30 000,00	\$45 000,00	\$50 000,00	\$45 000,00	\$40 000,00	\$30 000,00
	Diversificación de productos	\$-	\$15 000,00	\$15 000,00	\$22 500,00	\$30 000,00	\$22 500,00	\$20 000,00	\$15 000,00
	Atracción de nuevos clientes	\$-	\$10 000,00	\$10 000,00	\$20 000,00	\$30 000,00	\$30 000,00	\$25 000,00	\$20 000,00
	Ampliación de volumen de operación y crecimiento	\$-	\$10 000,00	\$10 000,00	\$40 000,00	\$80 000,00	\$80 000,00	\$55 000,00	\$45 000,00
Proyección de ventas		\$-	\$30 000,00	\$30 000,00	\$45 000,00	\$60 000,00	\$50 000,00	\$45 000,00	\$40 000,00
<b>BENEFICIOS TOTALES</b>		<b>\$602 000,00</b>	<b>\$116 000,00</b>	<b>\$116 000,00</b>	<b>\$195 000,00</b>	<b>\$280 000,00</b>	<b>\$250 000,00</b>	<b>\$200 000,00</b>	<b>\$160 000,00</b>
<b>SALDO ANTERIOR</b>		<b>\$-</b>	<b>\$453 000,00</b>	<b>\$501 000,00</b>	<b>\$574 000,00</b>	<b>\$(214 000,00)</b>	<b>\$(100 000,00)</b>	<b>\$51 500,00</b>	<b>\$194 000,00</b>
<b>FLUJO NETO EFECTIVO</b>		<b>\$453 000,00</b>	<b>\$501 000,00</b>	<b>\$574 000,00</b>	<b>\$(214 000,00)</b>	<b>\$(100 000,00)</b>	<b>\$51 500,00</b>	<b>\$194 000,00</b>	<b>\$300 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 6.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

Con base en la tabla de análisis financiero anteriormente expuesta, se obtiene el valor actual neto para las dos fases independientes.

Tabla XXIX. **Valor Actual Neto EoS**

<b>Flujo neto de efectivo (10% interés anual)</b>	
Año 0	\$(149 000,00)
Año 1	\$501 000,00
Año 2	\$574 000,00
VAN	\$709 849,74

Fuente: elaboración propia.

Esto representa una situación de inversión mínima, con un máximo de rentabilidad debido a la utilización de infraestructura existente, representando un ahorro considerable a la migración de otra tecnología de manera inmediata.

Posteriormente, se observa la inversión a una tecnología que representa una inversión considerable, que resulta en los valores de ilustrados.

Tabla XXX. **Valor Actual Neto E-OTN**

<b>Flujo neto de efectivo (10% interés anual)</b>	
Año 3	\$(214 000,00)
Año 4	\$ (100 000,00)
Año 5	\$51 500,00
Año 6	\$194 000,00
Año 7	\$300 000,00
VAN	\$80 283,64

Fuente: elaboración propia.

Se observa que el valor actual neto para la primera fase presenta un valor altamente atractivo, mientras que el valor para la segunda fase es considerablemente menor; sin embargo, se recalca que a partir de la base instalada en la segunda fase, el posterior crecimiento en capacidad presentará la tendencia de la primera fase, pues es la expansión sobre la base ya instalada.

Tomando en cuenta estos factores, se consideran altamente atractivos y viables los resultados obtenidos, por lo que la propuesta se considera aceptable y factible económicamente.

### **6.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)**

De igual manera, tomando los valores expuestos en la tabla financiera, se obtiene la tasa interna de retorno para cada fase, como se ilustra a continuación:

Tabla XXXI. **Tasa Interna de Retorno EoS**

<b>Flujo neto de efectivo (10% interés anual)</b>	
Año 0	\$(149 000,00)
Año 1	\$501 000,00
Año 2	\$574 000,00
TIR	327%

Fuente: elaboración propia.

Se observa que la fase de inversión en EoS reporta una muy alta Tasa Interna de Retorno, que es de esperarse por la mínima inversión, y la obtención de beneficios inmediatos, al suplir la demanda de acceso Ethernet junto con la máxima utilización del ancho de banda disponible.

Tabla XXXII. **Tasa Interna de Retorno E-OTN**

<b>Flujo neto de efectivo (10% interés anual)</b>	
Año 3	\$(214 000,00)
Año 4	\$(100 000,00)
Año 5	\$51 500,00
Año 6	\$194 000,00
Año 7	\$300 000,00
TIR	19%

Fuente: elaboración propia.

El resultado de la segunda fase muestra un resultado más modesto, de acuerdo con la considerable inversión realizada, para contar con la base de amplio crecimiento posible a plazo inmediato o bien como lo guie la demanda.

Tomando en cuenta el más desfavorable resultado, se concluye que la tasa interna de retorno de 19%, es mayor que la tasa mínima aceptable (10%); por lo que se considera viable la propuesta.

### 6.3.3. Punto de equilibrio

De igual manera a los valores anteriores, se calcula el punto de equilibrio de la tabla financiera con base en el flujo de efectivo para las dos fases, como se ilustra a continuación.

Tabla XXXIII. **Punto de equilibrio**

<b>Flujo neto de efectivo (10% interés anual)</b>	
Año 0	\$(149 000,00)
Año 1	\$501 000,00
Año 2	\$574 000,00
PE	1,07

Fuente: elaboración propia.

Se observa que el punto de equilibrio de la primera fase es casi inmediato, debido a la amplia presencia de Ethernet en el acceso.

El valor obtenido para la primera fase es de 1 año y poco menos de 1 mes.

Tabla XXXIV. **Punto de equilibrio E-OTN**

<b>Flujo neto de efectivo (10% interés anual)</b>	
Año 3	\$(214 000,00)
Año 4	\$(100 000,00)
Año 5	\$51 500,00
Año 6	\$194 000,00
Año 7	\$300 000,00
PE	4,27

Fuente: elaboración propia.

Para la segunda fase, en la implementación de nueva tecnología, se observa que el punto de equilibrio se encuentra a cuatro años y un poco más de tres meses.

Esta situación se considera realista debido a que la posibilidad de crecimiento sobre la base instalada de la nueva tecnología es similar en capacidad a la previamente existente.

Por lo que para obtener un punto de equilibrio menor se debe considerar la ampliación de capacidad de transmisión en los periodos subsiguientes a la implementación de la base nueva, para obtener mayores beneficios, tomando en cuenta que esta expansión implica un mínimo de inversión similar al observado durante la primera fase.

#### **6.3.4. Análisis costo/beneficio**

Uno de los aspectos primordiales para considerar la implementación de la propuesta expuesta, es la relación costo/beneficio que se obtenga.

De los valores expuestos en la tabla financiera, se obtiene la relación detallada:

Tabla XXXV. **Relación beneficio-costo EoS**

Periodo	Inversión	Beneficio
	(10% interés anual)	
Año 0	\$149 000,00	\$-
Año 1	\$68 000,00	\$501 000,00
Año 2	\$43 000,00	\$574 000,00
VAN	\$223 959,43	\$845 304,28
Beneficio/costo		3,77

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Relación beneficio-costo E-OTN**

Periodo	Inversión	Beneficio
	(10% interés anual)	
Año 3	\$409 000,00	\$195 000,00
Año 4	\$166 000,00	\$280 000,00
Año 5	\$98 500,00	\$250 000,00
Año 6	\$57 500,00	\$200 000,00
Año 7	\$54 000,00	\$160 000,00
VAN	\$583 012,77	\$596 506,39
Beneficio/costo		1.02

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados continúan con la tendencia ya observada en las diferentes fases de la propuesta; por lo que se puede concluir que en el escenario menos atractivo se observa una relación favorable.

De igual manera que en el resultado obtenido del análisis del punto de equilibrio, se recalca que se puede mejorar esta relación al aumentar la capacidad de transmisión de la nueva red, al realizar mínimas inversiones en los periodos subsiguientes, ya que la nueva red implementada considera una capacidad similar a la previamente existente.

## CONCLUSIONES

1. La tecnología desarrollada por el mercado brinda los medios necesarios (GFP, GMP) para poder realizar la migración de tecnologías antiguas a las tendencias actuales (E-OTN, ROADM), minimizando la inversión necesaria sobre la base instalada.
2. La implementación de GFP como protocolo de mapeo representa un aprovechamiento máximo sobre la capacidad de transmisión instalada por la alta eficiencia de transporte del ampliamente implementado Ethernet, como protocolo preferente de acceso.
3. En conjunto, los protocolos implementados para Ethernet sobre SDH (GFP, LCAS, VCAT) representan un arreglo de funcionalidad que ofrecen máxima eficiencia, alta disponibilidad, adaptabilidad a la demanda y flexibilidad de implementación.
4. La habilitación de Ethernet sobre SDH en la amplia base instalada TDM, supone un paso crucial para responder a la demanda actual de acceso, y brindar así los medios para evolucionar a nuevas tecnologías de manera paulatina.
5. La implementación de nuevas tecnologías de alta densidad (OTN y ROADM) ofrecen la posibilidad de establecer una base instalada con capacidad de satisfacer la alta demanda de ancho de banda actual y futura de manera eficiente.

6. En concordancia con la tendencia de los protocolos de acceso, la nueva tecnología propuesta brinda transporte eficiente para estos, ofreciendo un escenario apropiado para las redes futuras, representando así la decisión apropiada de evolución.

## RECOMENDACIONES

1. La implementación de Ethernet sobre SDH implica la introducción de una nueva tecnología al ámbito de transporte, situación que debe ser atendida disponiendo de personal apropiadamente capacitado.
2. Al implementar Ethernet sobre SDH se debe prestar atención a las tendencias de demanda para identificar múltiples puntos de concentración que podrían integrarse en uno solo elemento OTN de alta densidad.
3. La implementación de una nueva tecnología tan compleja como OTN, requiere la capacitación del personal en todos los aspectos (DWDM, fibra óptica, manejo y seguridad de altas potencias ópticas, etc.).
4. La alta concentración de capacidad en elementos de red debe de ser respaldada con la adecuada atención a los factores ambientales como: temperatura, humedad, estabilidad en el flujo eléctrico, etc.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *Architecture of transport networks based on SDH. ([G803])"G.803.* ITU-T. USA, march, 2000. 5 p.
2. BARLOW, Guylain. *A G.709 optical transport network tutorial* [en línea]. <[www.jdsu.com](http://www.jdsu.com)>. [Consulta: 12 junio de 2012].
3. GORSHE, Steve. *A tutorial on ITU-T G.709 optical transport networks (OTN).* [en línea]. <[www.pcm-sierra.com](http://www.pcm-sierra.com)>. [Consulta: 2 de julio de 2012]
4. *IEEE Std 802.3™-2008" Sección 1 a sección 5.* [en línea]. <<http://standards.ieee.org>>. [Consulta: diciembre de 2012].
5. LAMMMIE, Todd. *CCNA Cisco certified network associate study guide.* 2a ed. EE.UU: Sybex Inc. 2000. 10 p.
6. LAVALLÉE, Brian. *Next generation SONET/SDH networking technologies.* [en línea]. <[www.nortelnetworks.com](http://www.nortelnetworks.com)>. [Consulta: 9 de octubre de 2008].
7. OLSSON, Fredrik. *Ethernet over SONET/SDH; extending Ethernet into the metro jim shupenis, alisdair gunn.* [en línea]. <[www.agilent.com/semiconductors](http://www.agilent.com/semiconductors)>. [Consulta: 27 de agosto de 2008].

8. VAN HELVOORT, Hubb. *Next generation SDH/SONET. Evolution or revolution? USA*: Ed. John Wiley & sons, 2005. 124 p.
9. WALKER, Timothy. *ITU-T optical transport network (OTN) tutorial*. [en línea]. <[www.itu.int/ITU-T/studygroups/](http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/)>. [Consulta: 29 de noviembre de 2012].