

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA
ÓPTICA PARA LA TRANSMISIÓN DE VOZ Y DATOS”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR:

AUGUSTO LÁZARO ARÉVALO

PROMOCIÓN 2000-I

LIMA-PERÚ

2003

**Con aprecio y admiración a mis
padres, tíos, primos y maestros**

“Por su ejemplo y apoyo brindado”

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CABLE
SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA PARA LA
TRANSMISIÓN DE VOZ Y DATOS”**

SUMARIO

La necesidad de contar con un sistema de transmisión de amplia capacidad que les permita desarrollar y expandir sus nuevos servicios y al mismo tiempo disminuir los riesgos de falla a lo largo de su ruta, ha impulsado a los operadores nacionales e internacionales la mejora de su actual infraestructura y la búsqueda de nuevas alternativas desde ya hace muchos años.

En el caso particular de nuestro país, éste vive en permanente vigilia y alerta ante fenómenos naturales y climatológicos que destruyen lo que encuentran a su paso, llámese casas, vías de comunicación y, por supuesto, infraestructura de telecomunicaciones. En este escenario planteado, se ha acopiado información respecto a cables submarinos ya instalados en diferentes zonas del mundo, su configuración, sus características a través del cual pueden enfrentar adecuadamente los problemas de seguridad y calidad. Se ha observado las tendencias de crecimiento en lo que a servicios de telecomunicaciones en el país se refiere y hemos llegado a la conclusión que un sistema de cable submarino en nuestra costa peruana podría ayudarnos a resolver esos problemas y al mismo servir para aplicaciones futuras.

Los sistemas de cable submarino han tenido un mayor auge enorme en los últimos años, lo que significa que también puede ser una alternativa para nuestras telecomunicaciones.

ÍNDICE

	Pág
PRÓLOGO	01
CAPÍTULO I	
TECNOLOGÍA A UTILIZAR	04
1.1. Introducción	04
1.2. Fibra Óptica	05
1.2.1. Historia	05
1.2.2. Características y ventajas de la fibra óptica	10
1.2.3. Configuración del Sistema de Comunicación por fibra óptica	11
1.2.4. Teoría de la transmisión óptica	12
1.2.5. Características de transmisión de la fibra óptica	19
1.2.6. Dispositivos ópticos activos	21
1.3. PDH y SDH	24
1.3.1. Introducción	24
1.3.2. Recomendaciones ITU-T sobre SDH	26
1.3.3. Redes SDH	27
1.3.4. Estructura SDH	32
1.3.5. Estructura de Multiplexación	35
1.3.6. Calidad de Transmisión	55

CAPÍTULO II

JUSTIFICACIÓN	60
2.1. Consideraciones Técnicas	60
2.1.1. Sobre el medio de transmisión	60
2.1.2. Sobre la tecnología de transmisión	61
2.1.3. Sobre la utilización de aguas marinas	62
2.2. Consideraciones Económicas	63
2.3. Consideraciones de Mercado	66

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO	69
3.1. Introducción	69
3.2. Ruta de la Red	69
3.3. Topología y Arquitectura de la Red	72
3.4. Equipos de la Red	75
3.4.1. Equipos sumergibles	75
3.4.2. Equipos de la estación	80
3.5. Características del Sistema	83
3.5.1. Rendimiento	83
3.5.2. Fiabilidad	84
3.5.3. Disponibilidad	85
3.5.4. Flexibilidad	86
3.5.5. Crecimiento	86
3.5.6. Compatibilidad	87
3.6. Enrutamiento	87

3.7.	Operación, Administración, Mantenimiento y Aprovisionamiento	89
3.8.	Protección y Restauración	91
3.9.	Sincronización	92
CAPÍTULO IV		
COSTOS Y PRESUPUESTOS		95
4.1.	Presupuesto de Planta Externa	95
4.2.	Presupuesto de Equipos de Transmisión	97
4.3.	Costos de Restauración	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		101
ANEXOS		103
BIBLIOGRAFÍA		164

PRÓLOGO

Actualmente sabemos todos que los sistemas de transmisión constituyen un aspecto fundamental de las redes de los operadores de telecomunicaciones. Porque son éstos los que permiten la interconexión de todo los puntos de presencia y centrales telefónicas, es decir, son las carreteras que a través de las cuales se unen los principales centros de información. Es innegable, pues, su importancia. En las ciudades o redes locales, normalmente son llamadas backbone.

Las empresas de telecomunicaciones nacionales e internacionales dejaron de invertir muchos años en sus redes en la década del 80. Pero a inicios de los 90 muchas de ellas pasaron de la edad de la piedra al siglo XXI con el tendido de redes de fibra óptica en todo su territorio. Son miles de kilómetros que multiplicaron la capacidad de servicio entre las ciudades de un país con el exterior.

La privatización jugó en este caso un papel muy importante. Las empresas incluyeron los enlaces de fibra óptica en sus planes de inversión y algunas de ellas incursionaron en algunos proyectos de cable submarino, porque en ese momento se presentaba como la mejor alternativa frente a los otros medios para las comunicaciones de larga distancia internacional principalmente.

En 1988, sólo 2 por ciento del flujo mundial de mensajes y datos fue llevado por cables submarinos. Los satélites fueron el transporte dominante. Hoy día, a más de una docena de años después, los cables submarinos llevan el 80 por ciento de un

amplio y creciente total. La razón: el ancho de banda ofrecido, o más específicamente, la capacidad del canal, el cual no sólo es función del ancho de banda sino también del nivel de ruido.

Los últimos cables de fibra óptica tienen al menos 3000 veces la capacidad de sus antepasados coaxiales, mientras que los satélites de hoy sólo han mejorado modestamente sobre ellos. Lo que es más, algunos cables ópticos están mejorando a tasas impresionantes. Los cables actuales de Alcatel SA, Paris, por ejemplo, llevan 10 Gbps sobre cada uno de las 42 longitudes de onda para una total capacidad de 420 Gbps sobre una simple fibra. Y es probable que eso crezca hasta 68 longitudes de onda para el siguiente año.

En la historia de la evolución de las redes, tres fuerzas diferentes han manejado consistentemente la arquitectura y evolución de las redes de telecomunicaciones: el tráfico creciente, el desarrollo de nuevo servicios y los avances en tecnología. Estas fuerzas no son independientes una de cada otra, pero cada una configura la evolución en una diferente manera. Por ejemplo, la competencia entre vendedores de equipos y avances tecnológicos resultan en la reducción de costos, el cual a su vez, estimula el crecimiento de tráfico y fortalece el desarrollo de nuevos servicios.

A través de la presente tesis queremos presentar el diseño fundamental de un sistema de cable submarino de fibra óptica, un sistema moderno y confiable, como una alternativa posible para ayudar a los actuales medios de transmisión en su propósito de llevar las comunicaciones a diferentes departamentos del país y al mismo tiempo soportar adecuadamente el incremento de tráfico que se pudieran presentar en los próximos años. Asimismo, por las características propias de un cable

submarino, el sistema nos permitiría estar protegidos de ciertas acciones vandálicas del hombre o de ciertos fenómenos naturales y climatológicos que con regularidad afectan a nuestro país. El proyecto no pretende ser la única y absoluta alternativa, es una propuesta que se hace, una posibilidad, en vista de su ejecución en otras zonas costeras de América del Sur principalmente. Queremos demostrar que un sistema de cable submarino ofrecería grandes ventajas para nuestras comunicaciones en cuanto a capacidad y gestión centralizada.

Este diseño comprende el establecimiento de los posibles lugares donde estarían las estaciones terminales y la descripción de las características generales para los equipos sumergibles y los de transmisión propiamente dichos. Asimismo, se propone una topología y arquitectura que consideramos adecuada para nuestra realidad y se hace un estimado de los costes de su implementación. Las limitaciones que hemos tenido para la realización de esta tesis están referidas principalmente al cálculo de la inversión a efectuarse, ya que normalmente los datos económicos de las empresas proveedoras son muy reservados y, al mismo tiempo, porque los precios de los componentes de redes ópticas están en constante variación debido a que cualquier avance tecnológico se ve reflejado rápidamente en sus costos; lo que hemos hecho en este caso es hacer una aproximación. En cuanto a los equipos de transmisión no se menciona ninguna marca en particular, sino que se dan un conjunto de características que deberían ser buscados al momento mismo de la ejecución.

El método empleado ha sido la recolección de datos en publicaciones especializadas y recientes investigaciones en redes ópticas, los cuales nos han permitido comparar y conocer otras situaciones, muchas veces distintas a las de Perú, para de ese modo poder tomar lo más aplicable a nuestra realidad.

CAPÍTULO I

TECNOLOGÍA A UTILIZAR

1.1. Introducción

Uno de los propósitos de las Telecomunicaciones es la transferencia de información entre dos interlocutores: el emisor y el receptor. Para ello, el mensaje emitido por el emisor se transforma en una señal en el codificador o también llamado modulador y pasa al canal de transmisión que será el encargado de llevarlo al otro extremo donde será decodificado por el demodulador y finalmente recibido por el receptor como información. Tanto el modulador como el demodulador dependen del tipo de información a manejar, mientras que el medio de transmisión no tiene en cuenta este aspecto o naturaleza, pero sí la capacidad que cuenta para transmitir.

El vertiginoso avance de las Telecomunicaciones ha provocado que no sólo la voz sea la información más importante a transmitir; hoy en día el manejo de datos se ha incrementado considerablemente a tal punto que tiende a superar enormemente al tráfico de llamadas telefónicas. Pero no sólo importa lo que se va a transmitir sino que, cualquiera sea ésta, la información que se recibe debe ser la correcta. En ese sentido, la necesidad de incrementar la eficiencia de las redes telecomunicaciones motivó el empleo de técnicas que aumenten su capacidad de transmisión. Así es como surgieron los sistemas de multiplexación de la información(FDM, TDM) con el consiguiente requerimiento de portadoras de muy alta frecuencia y de medios de

transmisión con gran ancho de banda, acorde con la cantidad de información a transmitir.

Los medios de transmisión son los encargados de transmitir las señales desde el emisor hasta el receptor. En cualquier medio de transmisión la señal es atenuada (o sufre pérdidas) y está sujeto a degradaciones debido a señales aleatorias o ruidos, así como también posibles distorsiones impuestos por mecanismos dentro del propio medio. Por lo tanto en todo sistema de comunicaciones hay una distancia máxima permitida entre el transmisor y receptor, más allá del cual las comunicaciones dejan de ser inteligibles. Existen tres tipos: físicos, inalámbricos y ópticos.

En esta parte del proyecto se describen las características principales de un medio de transmisión óptico porque sobre él se basa todo el sistema que se ha diseñado.

1.2. Fibra Óptica

1.2.1. Historia: Las comunicaciones ópticas no constituyen un privilegio de este siglo. Desde muy temprano el hombre supo aprovechar las *fuentes luminosas* existentes con el objetivo de comunicarse a distancia. El sol, por ejemplo, sirvió como base para los primeros sistemas de comunicaciones ópticos conocidos. A través de la manipulación del humo y otros objetos interpuestos a la luz solar, se conseguía transportar informaciones instantáneamente de un lugar a otro. Las distancias eran limitadas apenas por la sensibilidad de los *receptores ópticos* disponibles en aquella época (es decir el ojo humano). En la noche antorchas reemplazaban al sol con ventajas en cuanto al alcance y posiblemente en cuanto a la tarifación. Se cuenta que los griegos, en el siglo VI antes de Cristo, utilizaron señales de fuego para transmitir informaciones sobre la caída de Troya. Estos sistemas de

comunicaciones ópticas eran compuestos por una cadena de estaciones (humanas) repetidoras, conectando Asia menor a Argos.

Un ejemplo más reciente de comunicaciones ópticas es dado por el *Semaphore* construido por el francés Claude Chappe en 1791. El *Semaphore* era basado en un dispositivo de brazos mecánicos, el cual instalado en lo alto de una torre y operado manualmente, permitía la transmisión (visual) de señales a lo largo de 200 Km en apenas 15 minutos. Este sistema cayó en desuso con la invención del telégrafo de Morse en 1835.

Otro invento pionero en la historia de las comunicaciones ópticas fue la invención del *Photophone* por Alexandre Graham Bell en 1880. El *Photophone* era un dispositivo para transmisión de voz por medio de un haz de luz solar. Las ondas sonoras de voz modulaban mecánicamente el haz luminoso, a través de un espejo reflector móvil. En la recepción una célula de selenio convertía la energía luminosa modulada en intensidad de corriente eléctrica que, a su vez, era convertida en sonido por un receptor telefónico. La tecnología disponible en aquella época limitaba el alcance del sistema a 200 metros. Además el *Photophone* no funcionaba sin luz solar directa.

Los sistemas ópticos pioneros presentados hasta aquí se basaban exclusivamente en la transmisión de luz a través de la atmósfera. Uno de los primeros experimentos científicos de transmisión de luz a través de un medio diferente del aire es atribuido al inglés John Tyndall, quien, en 1870, demostró la transmisión de un haz de luz por medio de un chorro de agua fino y curvo.

En 1910 los alemanes Hondros y Debye realizaron los primeros estudios rigurosos sobre la propagación electromagnética en cilindros dieléctricos, estructura

básica para las primeras fibras ópticas. Más tarde, en 1930, el alemán Lamb ejecutó los primeros experimentos de transmisión de luz en fibras de vidrio. Pero fue sólo en 1951 que las fibras ópticas encontrarían una aplicación práctica con la invención del *Fiberscope* por el holandés Heel y por los ingleses Hopkins y Kapany. Utilizado principalmente en las aplicaciones médicas, el *Fiberscope* permitía la transmisión de imágenes a través de fibras de vidrio flexibles. Los altos niveles de pérdida de potencia luminosa presentados, en aquella época, por las fibras de vidrio (orden de millares de dB/Km) restringían su aplicación para distancias muy cortas (menores a 1 metro). Era el caso, por ejemplo, de sistemas de iluminación y observación en lugares de difícil acceso, tales como el interior del cuerpo humano o de una máquina.

Con la invención del láser en 1958 y su primera realización práctica en Estados Unidos en 1960, los esfuerzos de investigación y desarrollo de las comunicaciones ópticas tuvieron un nuevo impulso. El láser surgió como una fuente luminosa con potencia y capacidad de transmisión enormes, permitiendo concebir sistemas de comunicaciones ópticas de gran alcance con ancha banda pasante. En 1962 fue lanzado el primer láser semiconductor y el primer fotodiodo PIN de Silicio de alta velocidad, y en 1963 se demostraba la emisión de luz de baja coherencia con diodos electroluminescentes (LEDs).

Si por un lado, en términos de fuentes y receptores luminosos el inicio de la década del 60 fue significativo, el desarrollo de sistemas de transmisión óptica, por otro lado, estaba limitado por la falta de un medio adecuado para transmitir la luz a distancia. La atmósfera sujeta a inferencias diversas (lluvia, neblina, nieve, polvo, etc.), se presentaba bastante limitada, estimulando la búsqueda de nuevas alternativas de transmisión. En 1966, Kao y Hockman, en Inglaterra presentaron un trabajo cuyo

resultado sugería la posibilidad de usar fibra de vidrio en sistemas de transmisión para largas distancias. Las fibras analizadas tenían una estructura de núcleo y revestimiento, conforme propusieron Kapany y otros en 1958. El trabajo demostraba que una fuerte atenuación, hasta ese entonces no era intrínseca del vidrio, sino que principalmente se debía a la presencia de impurezas. También establecieron Kao y Hockman que, a través de la purificación del material básico de la fibra (vidrio), sería posible llegar a atenuaciones inferiores a 20 dB/Km, límite de operación, en aquella época, para el uso de fibras en sistemas de telecomunicaciones. Con estos resultados, además de Inglaterra, otros países como Estados Unidos, Japón y Alemania comenzaron un intenso programa de investigación con el objetivo de purificar el vidrio y también estudiar los problemas de transmisión vía fibras ópticas.

En los años 70, la retirada de las impurezas pesadas permitió inicialmente atenuaciones inferiores a 20 dB/Km en longitudes de ondas situadas en el infrarrojo próximo (800 a 900 nm), compatibles con las fuentes luminosas de Arseneto de Galio (AsGa) ya disponible en aquella época, permitiendo algunas aplicaciones en distancias y velocidades pequeñas. Ese rango de longitudes de onda es conocido hoy como *primera ventana óptica*. Aunque estos sistemas no eran competitivos con los cables metálicos en términos de capacidad de transmisión, estimularon el interés y la inversión en la investigación sobre comunicaciones ópticas, así como el reconocimiento del gran potencial del nuevo medio de transmisión.

La segunda etapa de purificación incluyó la extracción de iones OH-residuales, resultantes del secado imperfecto del vidrio. Esos iones presentan una fuerte absorción en longitudes de ondas más largas, con un pico de alrededor de 1400 nm. Por este motivo el uso de estas longitudes de onda tuvo que esperar el

perfeccionamiento de la purificación del vidrio, además del desarrollo de nuevas fuentes y fotodetectores que operasen arriba de los 1000 nm. Esto vino a ocurrir ya en los años 80. El pico de absorción alrededor de los 1400 nm separaba esa región de largas longitudes de onda en dos ventanas de transmisión óptica: la *segunda ventana óptica*, situada alrededor de 1300 nm, con atenuaciones entre 0.3 y 0.5 dB/Km; y la *tercera ventana óptica* alrededor del mínimo teórico de atenuación del silicio puro en 1550 nm, con atenuaciones entre 0.18 y 0.25 dB/Km. A la derecha de este mínimo, la atenuación sube fuertemente en virtud de los procesos de absorción por resonancia de la molécula del silicio, cuya eliminación es imposible sin el cambio del material básico de la fibra.

Otro aspecto que limita es la *dispersión*. Esta consiste en la deformación de las señales, causada por la mayor atenuación de sus componentes de alta frecuencia, o por el atraso diferencial entre diferentes componentes de frecuencia de la señal modulada. En fibras multimodo utilizadas en los 70, el principal mecanismo de dispersión es la dispersión multimodal o dispersión geométrica, causada por la diferencia entre los atrasos de grupo de los diversos modos propagantes viajando por la fibra y transportando la misma modulación. Este aspecto negativo empeora con la distancia. Es por eso que a finales de los 70, se adoptó la fibra monomodo para comunicaciones a grandes distancias. En fibras monomodo, los mecanismos dominantes de dispersión pasan a ser cromáticos: la anchura de los pulsos es causada por las diferencias de tiempo de trayectoria entre las diversas longitudes de onda (o colores) que componen el espectro de luz propagada. Las fibras convencionales actuales presentan una dispersión mínima de alrededor de 1300 nm (segunda ventana) y atenuación mínima de alrededor de 1500 nm (tercera ventana).

Actualmente, puede observarse que la tecnología de las comunicaciones por fibra óptica ha alcanzado tal grado de madurez que permite la implementación de redes eficientes y confiables, y de bajo costo, hecho que explica que hoy en día su aplicación se extienda a gran escala dentro de las redes de telecomunicaciones, redes de Televisión por cable (CAT), redes de cómputo (LAN) y en los sistemas de telecontrol y de telemetría de las redes de transporte de energía.

1.2.2. Características y ventajas de la fibra óptica: De la tabla que presentamos a continuación se puede observar que ofrece grandes ventajas en cuanto a capacidad y calidad, pero sus costos todavía son moderados; aunque están disminuyendo.

	SISTEMAS DE TRANSMISIÓN				
	SATELITE	MICROONDAS	RADIO		FIBRA OPTICA
Capacidad	Media	Alta	Media	Baja	Muy Alto
Rango (BW)	Alto	Corto	Medio	Largo	Muy largo
Cobertura	Grande	Pequeña	Grande	Grande	Multipunto
Calidad / Rendimiento	Rendimiento afectado por condiciones ambientales con rangos variables				Calidad Consistente
Tiempo de Instalación	Largo	Corto	Corto	Corto	Largo
Costo de Capital	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado a alto
Costo de Operación	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 1.1. Comparación entre la fibra óptica y los otros medios de transmisión

1.2.3. Configuración del Sistema de comunicaciones por fibra óptica: Un sistema de comunicaciones por fibra óptica conceptualmente es similar a cualquier tipo de sistema de comunicaciones.

El sistema de comunicaciones por fibra óptica se diferencia del sistema de comunicaciones convencional en que, además de la fibra óptica como medio de transmisión, requiere de dispositivos de conversión electro-óptico y óptico-eléctrico ver figura 1.1.

Así, un sistema de comunicaciones por fibra óptica comprende los siguientes elementos:

- * Una fuente óptica que convierte las señales eléctricas en señales ópticas por medio de elementos luminosos tales como el láser de semiconductores (LD) o el diodo emisor de luz (LED) enviándolas a través de la fibra óptica.
- * El cable de fibra óptica, que es el medio de transmisión.
- * Un detector óptico, que convierte las señales ópticas en señales eléctricas por medio de fotodiodos tales como un fotodiodo de avalancha (APD) o un fotodiodo PIN.

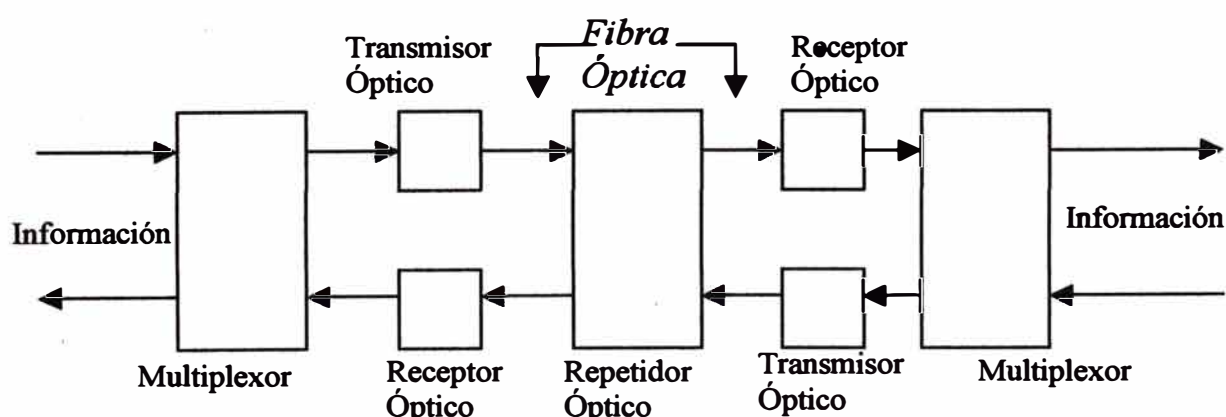


Figura 1.1.: Sistema de comunicación de fibra óptica

1.2.4. Teoría de transmisión óptica:

1.2.4.1. Conceptos Básicos:

a) Espectro electromagnético y ventanas de transmisión óptica: Las frecuencias y longitudes de onda relativas a los diferentes tipos de ondas electromagnéticas pueden observarse en el espectro electromagnético.

La frecuencia y longitud de onda están relacionadas por la fórmula 1.1. donde $C=3 \times 10^8$ m/s es la velocidad de luz en el aire.

$$f=C/\lambda \quad (1.1.)$$

Fórmula 1.1. Relación entre frecuencia y longitud de onda

Existen tres regiones de frecuencia ligadas a la óptica o luz. Éstas son: INFRARROJO, VISIBLE Y ULTRAVIOLETA.

Las regiones infrarrojo (0.75 a 4000 μm) y ultravioleta (0.005 a 0.39 μm) corresponden a longitudes de onda que no son visibles para el ojo humano. La región de ondas visibles (0.39 a 0.75 μm) corresponde a longitudes de onda que son visibles para el ojo humano, distinguiéndose la longitud de onda en 0.43 μm como el color violeta y en 0.68 μm como el color rojo.

Las zonas espectrales de trabajo en las que se centran los desarrollos actuales de los sistemas de transmisión por fibras ópticas son los correspondientes al Infrarrojo próximo. Dichas zonas denominadas “ventanas” sitúa espectralmente las energías luminosas que hoy son posibles de generar, transmitir y detectar con máxima eficiencia y confiabilidad.

La denominada “primera ventana óptica” en la cual se lograron los primeros desarrollos, se encuentran en la zona entre 800 y 900 nm. La “segunda ventana óptica” cuya aplicación se ha hecho extensivo en gran escala a nivel mundial, se sitúa alrededor de 1300 nm. La “tercera ventana óptica” en la que actualmente se centra el máximo interés, se encuentra entre 1500 y 1600 nm.

b) Velocidad de la luz e índice de refracción: En el vacío, las ondas de luz se propagan a una velocidad de $C=3 \times 10^8$ m/s. En cualquier otro medio, su velocidad es menor y está dada por: $V=C/\eta$, don “ η ” es el índice de refracción del medio. El índice de refracción de un medio se define como la proporción de la velocidad de luz en el vacío a su velocidad en el medio:

$$\eta=C/V \quad (1.2.)$$

Fórmula 1.2. Índice de refracción

Un rayo de luz se propaga más lentamente en un medio denso ópticamente que en uno menos denso y el índice de refracción proporciona una medida de este efecto. El índice de refracción para el aire es 1, mientras que los vidrios ópticos tienen valores de 1.52 a 1.72.

c) Reflexión y Refracción de la luz: Siempre que un haz de luz desde un medio con un índice de refracción η_1 (tal como el aire), incide sobre otro medio de diferente índice de refracción η_2 (tal como el vidrio), una parte del haz es reflejado dentro del medio de origen y la otra parte es refractada cruzando el límite entre los dos medios.

El haz es reflejado en un ángulo (ϕ_r) igual al ángulo de incidencia (ϕ_i). Cabe mencionar que los ángulos son medidos con respecto a una línea normal al límite de los dos medios.

El haz de luz es refractado según la ley de Snell:

$$\eta_1 \times \text{Sen}(\phi_i) = \eta_2 \times \text{Sen}(\phi_t) \quad (1.3.)$$

Fórmula 1.3. Ley de Snell

El ángulo ϕ_t es el ángulo del haz refractado con respecto a una línea normal al límite entre los dos medios.

Podrá notarse desde la ecuación anterior que cuanto mayor sea η_1 con respecto a η_2 el ángulo de refracción es siempre mayor que el ángulo de incidencia. Así, cuando el ángulo de refracción es de 90° y el haz refractado emerge paralelo al límite entre los dos medios, el ángulo de incidencia es menor de 90° . Este es el caso límite de refracción y al ángulo de incidencia correspondiente se le denomina ángulo crítico ϕ_c . Desde la ecuación de la ley de Snell, el valor del ángulo crítico está dado por $\text{Sen}(\phi_c) = \eta_2/\eta_1$.

En ángulos de incidencia mayores que el ángulo crítico el haz es reflejado totalmente dentro del medio dieléctrico de origen. A este fenómeno se le denomina Reflexión Interna Total. Como trataremos posteriormente este es el fenómeno en que se basa la propagación de luz en una fibra óptica.

1.2.4.2. Propagación Óptica: Si creamos un cilindro con un medio transparente (vidrio) de índice de refracción “ η_1 ” y lo recubrimos con otro de índice de refracción

“ η_1 ” al hacer incidir un haz de luz en el cilindro interior, con un ángulo mayor al ángulo crítico (ϕ_c) dicho haz quedará confinado y se propagará a través de una serie de reflexiones internas totales en la superficie límite entre ambos cilindros. Esta es la estructura básica de una fibra óptica donde al cilindro interior se le denomina “núcleo” y al exterior “revestimiento”.

Del concepto de propagación óptica podemos derivar algunos parámetros fundamentales asociados con las características de transmisión y tipos de las fibras ópticas. Estos son:

a) Diferencia de Índice de Refracción Relativa (Δ): Definida como la diferencia relativa entre el índice de refracción del núcleo y el índice de refracción del revestimiento. Se expresa como:

$$\Delta = (\eta_1 - \eta_2) / \eta_1 \quad (1.4.)$$

Fórmula 1.4. Refracción Relativa

b) Ángulo de Aceptancia y Apertura numérica(AN): Desde que únicamente los rayos con un ángulo de incidencia mayor al ángulo crítico podrán transmitirse por reflexión interna total, es claro que no todos los rayos que entran al núcleo de la fibra podrán hacerlo.

Un rayo A que incide en el núcleo con un ángulo θ_a respecto al eje de la fibra es refractada en el límite aire-núcleo y luego transmitida a la interface núcleo-revestimiento con un ángulo igual al ángulo crítico ϕ_c . Por lo tanto, cualquier rayo que incida en el núcleo con un ángulo mayor que θ_a será transmitido a la interface núcleo-revestimiento con un ángulo menor de ϕ_c , y no será reflejada totalmente.

Por lo tanto, θ_a es el ángulo máximo con respecto al eje de la fibra con el cual un rayo de luz puede incidir sobre la superficie frontal de la fibra para que sea propagada por reflexión interna total dentro del núcleo. A este ángulo se le denomina **Ángulo de Aceptancia**.

Al seno (geométrico) del ángulo de aceptación se le denomina **Apertura Numérica (AN)**. La apertura numérica es un parámetro de la fibra que define su capacidad para captación de luz

c) Modos de Propagación: A partir de las consideraciones anteriores, aparentemente cualquier rayo de luz con un ángulo de incidencia menor que el ángulo crítico, puede propagarse por el núcleo de la fibra. En realidad si tomamos en cuenta el fenómeno de interferencia entre las bandas lumínicas, solamente se propagarán los rayos con ciertos ángulos discretos.

Por el fenómeno de interferencia, dos ondas en contrafase se extinguirán y si tiene fases iguales ocurrirá un proceso de amplificación. Por lo tanto la luz podrá propagarse sólo en las direcciones en las cuales las ondas lumínicas participantes no se disminuyan mutuamente.

A los rayos relacionados con un ángulo de propagación específico se le denomina MODO. Así la fibra soportará únicamente un número limitado de modos guiados.

El número de modos de propagación N podrá obtenerse a partir de la siguiente relación:

$$N = \frac{V^2}{2(V+2)} \rightarrow V = 2\pi a(AN)/\lambda \rightarrow V = 2\pi a[\eta_1 \sqrt{2\Delta}]/\lambda \quad (1.5.)$$

Fórmula 1.5. Modos de Propagación

Donde: “ V ” es la frecuencia normalizada, “ g ” representa el perfil del índice de refracción del núcleo, “ a ” es el radio del núcleo y λ es la longitud de onda del rayo luminoso.

Podemos notar que el número de modos que se propaga en la fibra está relacionado con los parámetros estructurales de la fibra (diferencia de índice de refracción relativo, perfil de índice de refracción y radio del núcleo) y la longitud de onda de la luz inyectada.

El perfil de índice de refracción del núcleo define la forma en que varía su índice de refracción con respecto al centro de la fibra. Así se distinguen dos tipos de fibra según su perfil de índice de refracción, éstos son: fibra de índice escalón y fibras de índice gradual.

Las fibras de índice escalón son aquellas en las que el índice de refracción del núcleo tiene un valor constante η_1 en todo su diámetro, disminuyendo abruptamente (salto escalón) hasta el valor η_2 del revestimiento.

Las fibras de índice gradual son aquellas en las que el índice de refracción del núcleo disminuye gradualmente desde un valor máximo η_1 en el eje de la fibra, siguiendo una determinada curva (parabólica o triangular) hasta un valor constante η_2 en el revestimiento.

Según el número de modos de propagación, también se distinguen dos tipos de fibras: fibras multimodo y fibras monomodo. Las fibras multimodo son aquellas que admiten varios modos de propagación y para las cuales el parámetro $V > 2.405$. Las fibras monomodo son aquellas que admiten un solo modo de propagación y para las cuales el parámetro $2.405 \geq V \geq 0$.

Podrá notarse que el comportamiento monomodo se logra ajustando el parámetro V dentro del rango anterior, disminuyendo el radio “a” del núcleo o la diferencia de índice de refracción Δ .

En consecuencia las fibras monomodo son especificadas con una longitud de onda de corte (λ_c), por encima del cual la fibra tendrá un comportamiento monomodo. Un valor típico para esta longitud de onda de corte es $\lambda_c=1.1 \mu\text{m}$.

El perfil de índice de refracción y el número de modos de propagación definen tres tipos básicos de fibra óptica: FIBRA MULTIMODO DE INDICE ESCALON, FIBRA MULTIMODO DE INDICE GRADUAL, FIBRA MONOMODO.

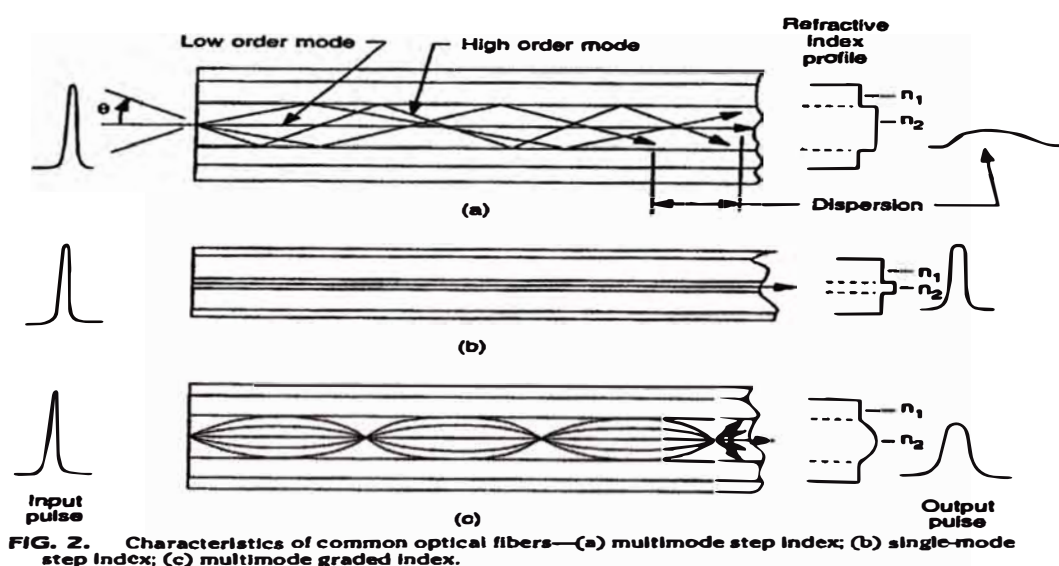


Figura 1.2. Características de fibras ópticas comunes

1.2.5. Características de Transmisión de la Fibra Óptica: Las principales características de una fibra óptica son la atenuación óptica y el ancho de banda, los que determinan la capacidad o velocidad de transmisión y la longitud enlace de un sistema de comunicaciones.

1.2.51. Atenuación Óptica: Expresa una medida de cuánto se atenúa la potencia de la luz al propagarse por la fibra óptica.

Los factores de atenuación se pueden clasificar de acuerdo a sus fuentes de generación en dos aspectos:

* Factores intrínsecos: que dependen de la composición de la fibra óptica, tales como absorción, dispersión de Rayleigh a imperfecciones estructurales.

* Factores Extrínsecos: se origina por causa de impurezas, curvaturas, microcurvaturas, empalmes y pérdidas por acoplamiento.

a) Pérdida por absorción: Corresponde a la pérdida en forma de calor causada por la absorción de luz mientras ésta es transmitida a través de la fibra óptica. La absorción generalmente incluye: absorción inherente del material (vidrio) y absorción por impurezas contenida en el vidrio.

b) Pérdida por dispersión de Rayleigh: Cuando la luz choca con partículas pequeñas comparada con su longitud de onda, ésta es reflejada en varias direcciones, ocasionando pérdidas, los cuales son inversamente proporcionales a la longitud de onda de la luz transmitida. Las variaciones microscópicas en el índice de refracción, generadas en el proceso de fabricación de la fibra, también causan este tipo de dispersión.

c) Pérdida por dispersión debida a imperfecciones estructurales: Cuando una fibra óptica es producida, ésta no presenta núcleo ni revestimiento perfectamente

cilíndricos. En general, existen diversas concavidades y convexidades microscópicas entre las paredes del núcleo y del revestimiento, que causan dispersión de la luz y cierta cantidad de luz no puede pasar a través del núcleo y es radiada hacia el exterior.

d) Pérdidas por curvaturas: Cuando una fibra óptica es curvada se generan pérdidas por cuanto la luz que entra en la superficie límite entre el núcleo y el revestimiento en un ángulo mayor al ángulo crítico es radiada fuera de la fibra óptica.

e) Pérdidas por microcurvaturas: Es generada por la flexión del eje de la fibra óptica en el orden de algunos micromilímetros, cuando presiones desiguales son aplicadas a la fibra después de su fabricación.

f) Pérdidas por empalme: Son pérdidas causadas por diferencias entre los núcleos o entre los ángulos de dos fibras conectadas.

g) Pérdida por acoplamiento: Es generada cuando la fibra óptica es conectada a una fuente de luz o un receptor de luz. Esta pérdida está relacionada con la Apertura Numérica de la fibra óptica.

1.2.5.2. Ancho de banda y dispersión temporal: El ancho de banda de una fibra óptica se define como la menor frecuencia de modulación para la cual la potencia de la luz se reduce hasta una fracción especificada, generalmente, -3 dB entre puntos ópticos (-6 dB entre puntos eléctricos), del valor para la frecuencia cero. El ancho de banda da una medida de la capacidad de transmisión de la fibra óptica. El ancho de banda de una fibra óptica es limitado por los mecanismos de dispersión temporal que distorsionan la señal óptica transmitida. Estos mecanismos de dispersión se clasifican en dos tipos: dispersión intermodal y dispersión intramodal o cromática.

La Dispersión Intermodal resulta de la diferencia en el tiempo de propagación entre los modos que siguen trayectorias lumínicas diferentes en una fibra multimodo. Las fibras multimodo índice escalón presentan una mayor dispersión intermodal que las fibras del tipo gradual. Cabe mencionar que en las fibras monomodo no existe el problema de dispersión intermodal y la limitación de ancho de banda se debe solamente a los mecanismos de dispersión cromática.

La Dispersión Intramodal o Cromática resulta de las diferencias en el tiempo de propagación de las diferentes componentes espectrales de la señal transmitida. Estas pueden ser causadas por las propiedades dispersivas del material de la fibra (dispersión de material) o por los efectos de guía de la estructura de la fibra (dispersión de guía de onda). Esta dispersión es especificada por el parámetro denominado Coeficiente de dispersión cromática.

La dispersión de material es originada por la dependencia del índice de refracción del núcleo con la longitud de onda óptica. Y la dispersión de guía de onda es producto de las imperfecciones estructurales de la fibra óptica.

1.2.6. Dispositivos ópticos Activos

1.2.6.1. Fuentes Ópticas: Las fuentes ópticas son componentes activos en un sistema de comunicaciones por fibra óptica, cuya función es convertir la energía eléctrica (en forma de corriente) en energía óptica (luz), de una manera eficiente de modo que permita la salida de luz sea efectivamente inyectada o acoplada dentro de la fibra óptica.

En los inicios del desarrollo de las comunicaciones ópticas fueron necesarios fuentes de luz potentes, coherentes y de espectro de emisión angosto, debido a las altas atenuaciones y dispersión en las fibras. Por lo tanto, inicialmente fueron

utilizados LASER'S a gas (Helio-Neón). Sin embargo, el desarrollo de los LED's y LASER's a semiconductores, conjuntamente con el mejoramiento substancial en las propiedades de las fibras ópticas, han dado prominencia a estos dos tipos específicos de fuentes de luz.

Los LED's y LASER's son fabricados utilizando varios materiales semiconductores. Los materiales de interés particular son el Ga As/ Al Ga As para región de longitudes de onda entre 0.8 y 0.9 μm y el In P/In Ga As P para la región entre 1 y 1.6 μm .

Algunos requerimientos son: dimensiones compatibles con el de la fibra óptica, linealidad en la característica de conversión electro-óptica, emisiones compatibles con las características de transmisión de la fibra óptica, coherencia, gran capacidad de modulación, suficiente potencia óptica de salida y eficiencia de acoplamiento, funcionamiento estable con la temperatura, confiabilidad, bajo consumo de energía, economía, etc.

a) Estructura LED

**** LED de emisión superficial (tipo burrus):** Estructura donde la radiación emitida se encuentra en un plano paralelo al de la unión. Proporciona una mayor eficiencia en el confinamiento eléctrico y óptico, también como menor absorción de la radiación emitida.

**** LED de borde (ELED):** Estructura de geometría de franjas, donde la radiación emitida se encuentra en el mismo plano de la unión. Proporciona alta radiación.

**** LED Superlumínico:** Estructura de alta potencia de salida, haz de salida direccional y anchura espectral angosta. Su estructura y propiedades son muy similares a los ELED y a los LASER de inyección.

b) Estructura Láser

**** Láser guiado por ganancia:** Estructura de Geometría de franjas donde la distribución de modos ópticos a lo largo del plano de la unión es determinada por la ganancia óptica de la cavidad. Por lo general proporciona una emisión multimodo.

**** Láser guiados por índice:** Estructura donde la distribución de modos ópticos es determinada por los índices de refracción de la capa activa y de las capas de confinamiento lateral. La emisión puede ser monomodo o multimodo.

**** Láser monomodo:** Estructura que proporciona una realimentación selectiva de frecuencia de manera que la pérdida de cavidad es diferente para varios modos longitudinales. La emisión de luz contiene un solo modo longitudinal.

1.2.6.2. Detectores Ópticos: Algunos de sus requerimientos son: alta sensibilidad en las longitudes de onda de operación, alta fidelidad, alta respuesta eléctrica a la señal óptica recibida, reducido tiempo de respuesta, mínimo ruido, estabilidad en las características de funcionamiento, pequeñas dimensiones, bajo voltaje de polarización, alta confiabilidad, bajo costo.

a) Fotodiodo PIN: Detector óptico con una estructura de semiconductores compuesto de una capa tipo “p” una intrínseca y otra tipo “n” que genera un simple par electrón-hueco por cada fotón incidente.

b) Fotodiodo de avalancha: Detector óptico con una estructura de semiconductores en el cual se crea una región de campo eléctrico elevado, de tal forma que los portadores (huecos y electrones) pueden adquirir suficiente energía para excitar nuevos pares electrón-hueco, produciéndose un efecto de multiplicación. Estos dispositivos por lo general requieren altos voltajes de polarización inversa (50V a 400V).

1.3. PDH Y SDH

1.3.1. Introducción: Un gran avance del SDH sobre el existente sistema PDH se encuentra en el área de las cross-conexiones. Si la conexión esta hecha en tecnología PDH, una señal entrante tiene que ser completamente demultiplexada al nivel en el cual toma lugar la transferencia de canales. Todos los canales son demultiplexados, aún esos que no son transferidos. Mostramos la diferencia en cada caso según la figura 1.3.

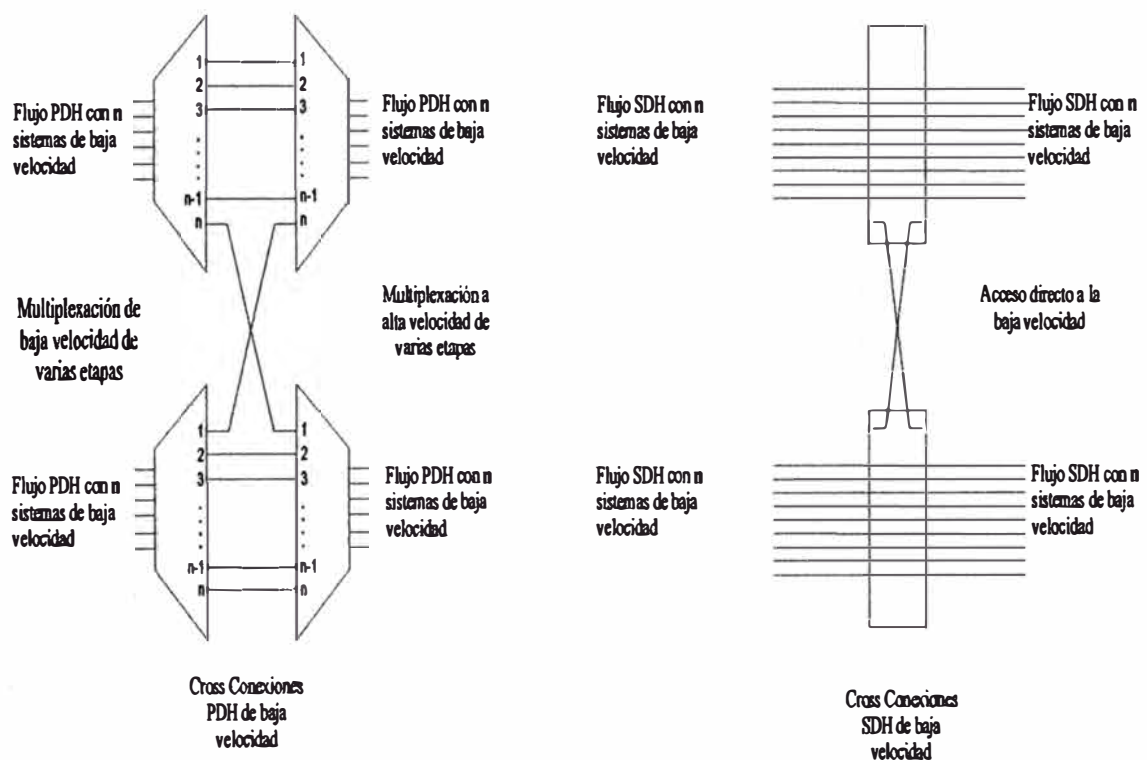


Figura 1.3. Demultiplexación en Tecnologías PDH y SDH.

En SDH es posible identificar la fracción de la señal que va ser cross-conectada. La estructura de ambas señales SDH y PDH son ilustrada como bloques en la figura 1.4. En ambos casos, los bloques consisten de algunos encabezados más un número de ranuras, cada una conteniendo un nivel de bajo orden. Esta estructura puede ser repetida hasta los niveles bajos de señal conteniendo canales de tráfico de voz.

Los niveles de las señales PDH no son sincronizados. Por lo tanto es necesario mirar dentro de la señal buscando un patrón de bits que pueda identificar el inicio del bloque de bajo orden.

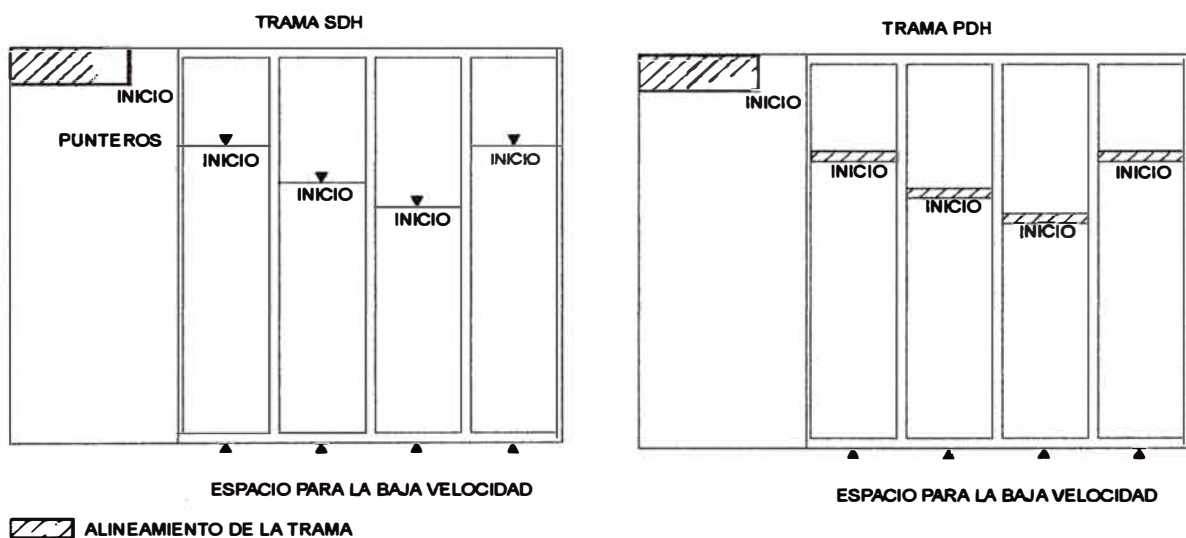


Figura 1.4. Estructura de las tramas SDH y PDH.

Los niveles de las señales SDH son sincronizados. Esto permite llevar en el inicio del nivel más alto de SDH información acerca del comienzo de los niveles

bajos. Entonces una vez encontrado el inicio del nivel más alto, también se encuentra el inicio de los niveles bajos.

1.3.2. Recomendaciones del SDH: Los sistemas son definidos por la ITU-T. Le mostramos a continuación el número de recomendación que necesitamos tener en cuenta para este tema.

Recomendaciones sobre la estructura básica y señales eléctricas

G.702 Tasa de bit en Jerarquía Digital.

G.703 Características Físicas/Eléctricas de las Interfaces de Jerarquía Digital.

G.707 Tasa de bits en Jerarquía Digital Síncrona.

G.708 Interfaces de los nodos de Red en SDH.

G.709 Estructura de Multiplexación Síncrona.

Recomendaciones para los elementos de red en SDH

G.781 Estructura de recomendaciones sobre el equipo de multiplexación para SDH.

G.782 Tipos y características generales para equipos multiplexores en SDH.

G.783 Características de los bloques funcionales del equipo de multiplexación en SDH.

G.784 Administración de SDH.

Recomendaciones sobre estructuras SDH

G.803 Arquitectura de transporte de redes basados en SDH.

Recomendaciones sobre Sistemas ópticos

G.957 Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados a SDH.

G.958 Sistemas de línea digital basado en SDH para uso en cables de fibra óptica.

Recomendaciones sobre Jitter y Wander

G.823 El control del Jitter y Wander dentro de las redes digitales basadas en tasas 2048Kbps.

G.825 El control del Jitter y Wander dentro de las redes digitales basadas en SDH.

Recomendaciones sobre estructuras de redes SDH

G.826 Parámetros y objetivos del performance del error internacional.

Recomendaciones sobre Telecomunicaciones

M.30 Principios para la administración en Redes de telecomunicación(TMN).

G.773 Conjunto de protocolos en las interfaces Q para administración de sistemas de transmisión.

1.3.3. Redes SDH

1.3.3.1. Estructura de las redes SDH: Se tienen definidos cuatro niveles de señales SDH, con sus correspondientes tasas de velocidad de datos. Ver Tabla 1.2.

Nivel SDH	Tasa de datos
STM-1	155520 Kbps
STM-4	622080 Kbps
STM-16	2488320 Kbps
STM-64	9953280 Kbps

Tabla 1.2. Niveles de Señales en SDH.

La tasa de bits será usada en la red dependiendo de los requerimientos del Ancho de Banda (BW). Típicamente, el núcleo de una red tendrá enlaces punto a punto en una tasa alta disponible (por ejemplo STM-16). A nivel regional, también líneas punto a punto o anillos SDH proveerán distribución de la señal SDH dentro de una región. De esta manera observamos la Figura 1.5. en donde nos muestra necesidades usuales de niveles en SDH.

Una combinación típica será un sistema SDH que sirva de Línea de Alta Velocidad, y una otros sistemas llevando señales PDH de 140Mbps con una estructura de multiplexación normal PDH. Se puede observar esta forma de utilización de las redes SDH en el Gráfico 1.6.

1.3.3.2. Elementos de Red:

a) *Synchronuos Digital Cross Connect (SDXC)*: El SDXC es un Cross-conetor Digital Síncrono que permite conmutaciones de las líneas de transmisión con diferentes tasas de bits. Un SDXC puede agregar y bajar señales de bajo orden.

b) *Add and Drop Multiplexer (ADM)*: El ADM permite agregar y bajar señales de bajo orden. Este ha demostrado su viabilidad mediante la integración de la multiplexación síncrona y la conmutación digital. Existe un gran interés por los ADMs, debido a la libertad que aportan al diseño de nuevas redes.

c) *Synchronous Multiplexers (MUX)*: El MUX es un Multiplexor Síncrono. Estos son interfaces de señales PDH a SDH y multiplexan señales SDH de bajo orden en el interior de señales SDH de alto orden. Un MUX será una parte SDXCs y ADMs.

d) *Synchronous Regenerators (REG)*: Son regeneradores síncronos que restablecen la Señal de Línea Entrante. Además de los regeneradores PDH, los regeneradores síncronos también supervisan la calidad de transmisión de la línea.

Todos los Elementos de Red (NE) pueden ser accesados por una red Administrativa de telecomunicaciones (TMN), para su operación y mantenimiento de los propios NE, como de toda la Red en general. Mostramos los diferentes Elementos de Red en la Figura 1.7.

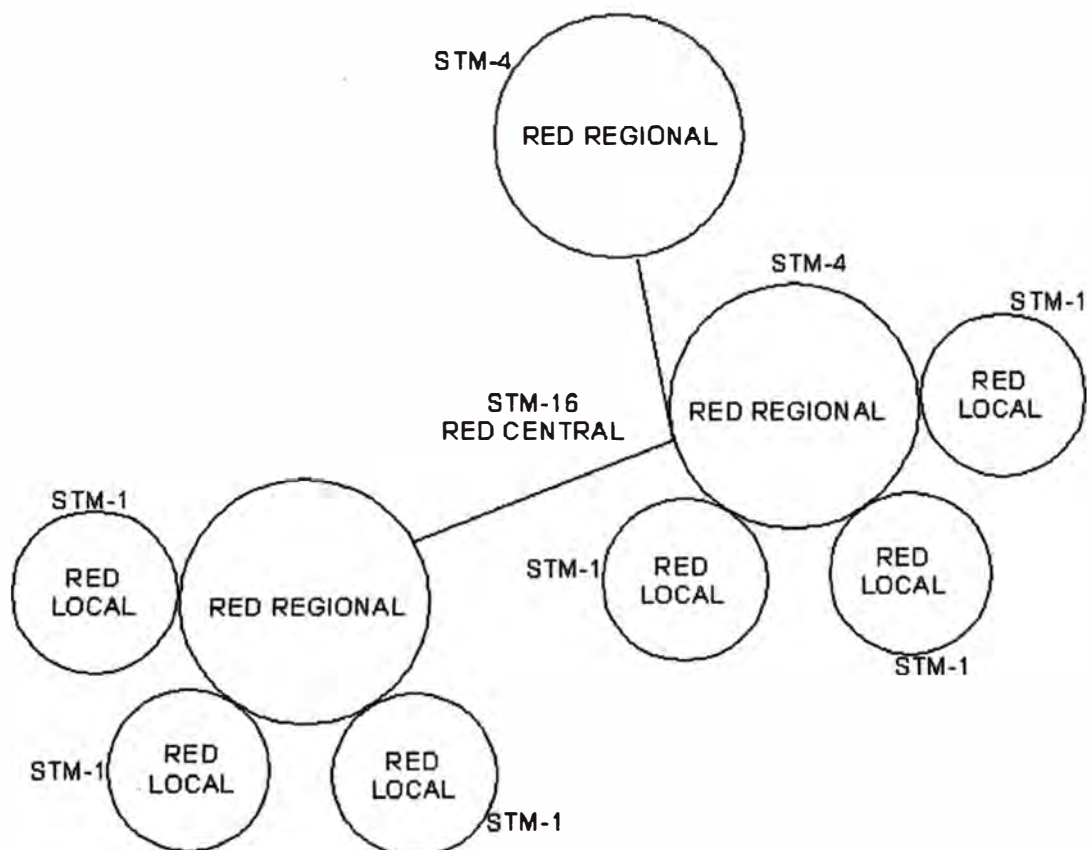


Figura 1.5. Niveles SDH requeridos para diferentes tipos de redes.

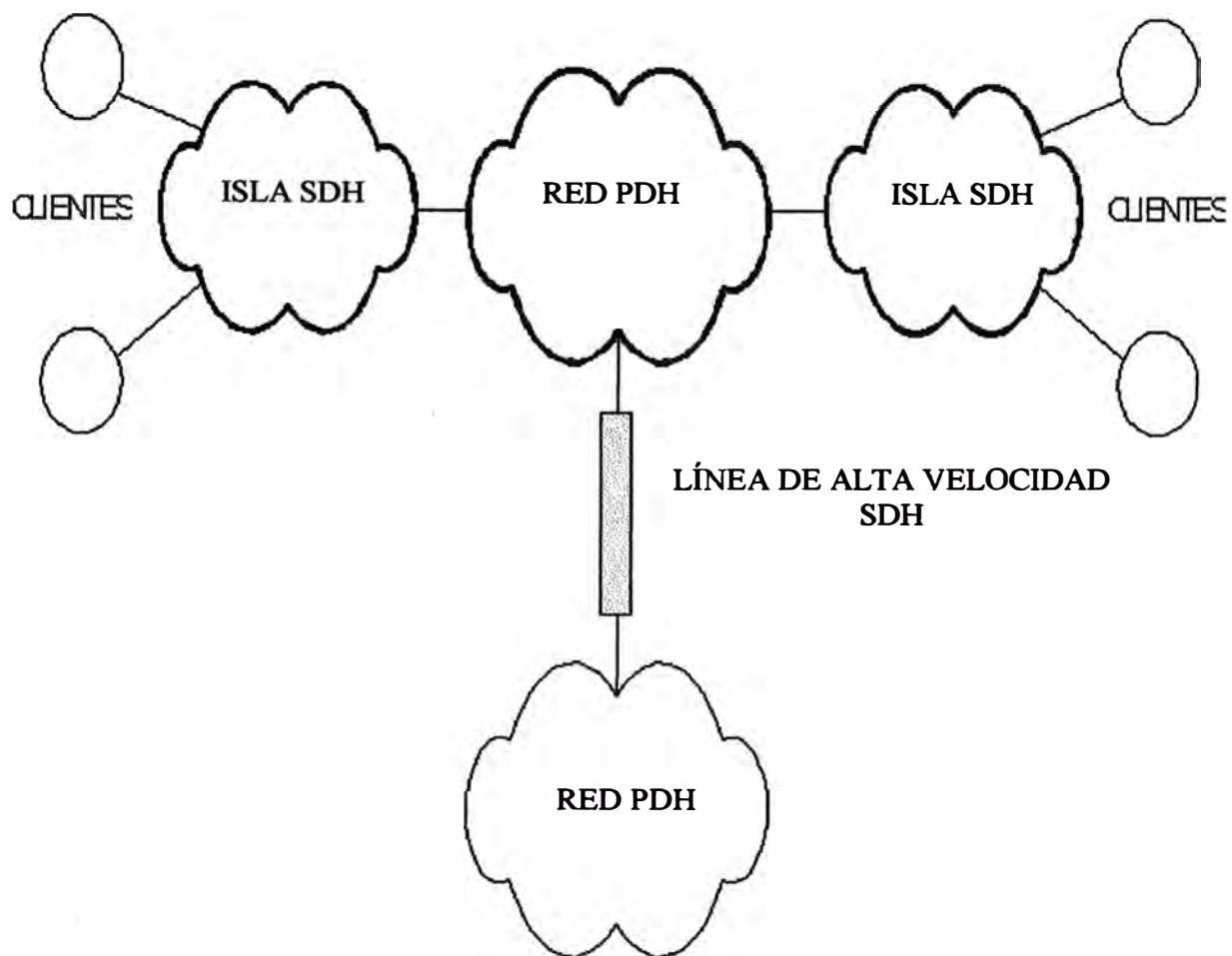


Figura 1.6. Sistema SDH utilizada como Línea de Alta Velocidad

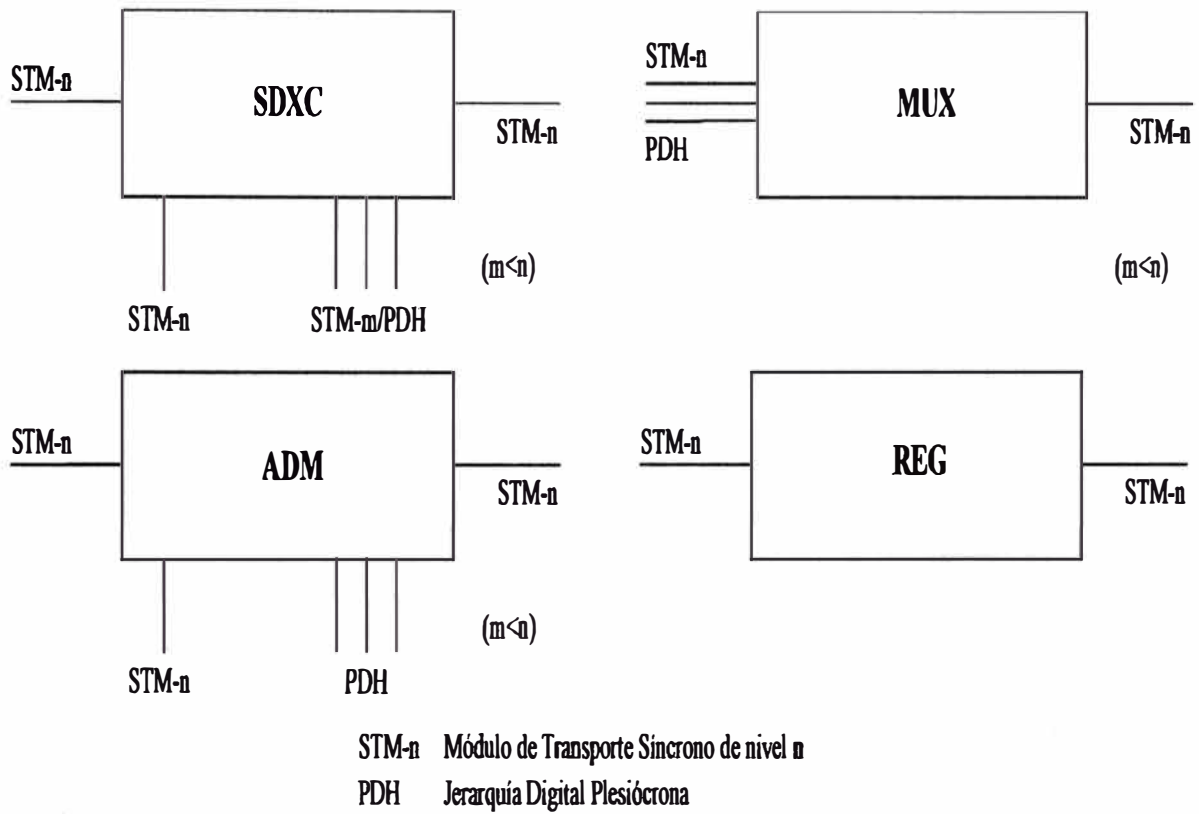


Figura 1.7. Elementos de Red en un sistema SDH

1.3.4. Estructura SDH: Un sistema está constituido por un número de secciones individuales. Cuando se encuentran conectadas dichas secciones individuales, nos proveen rutas de transmisión de información como se muestra en la figura 1.8.

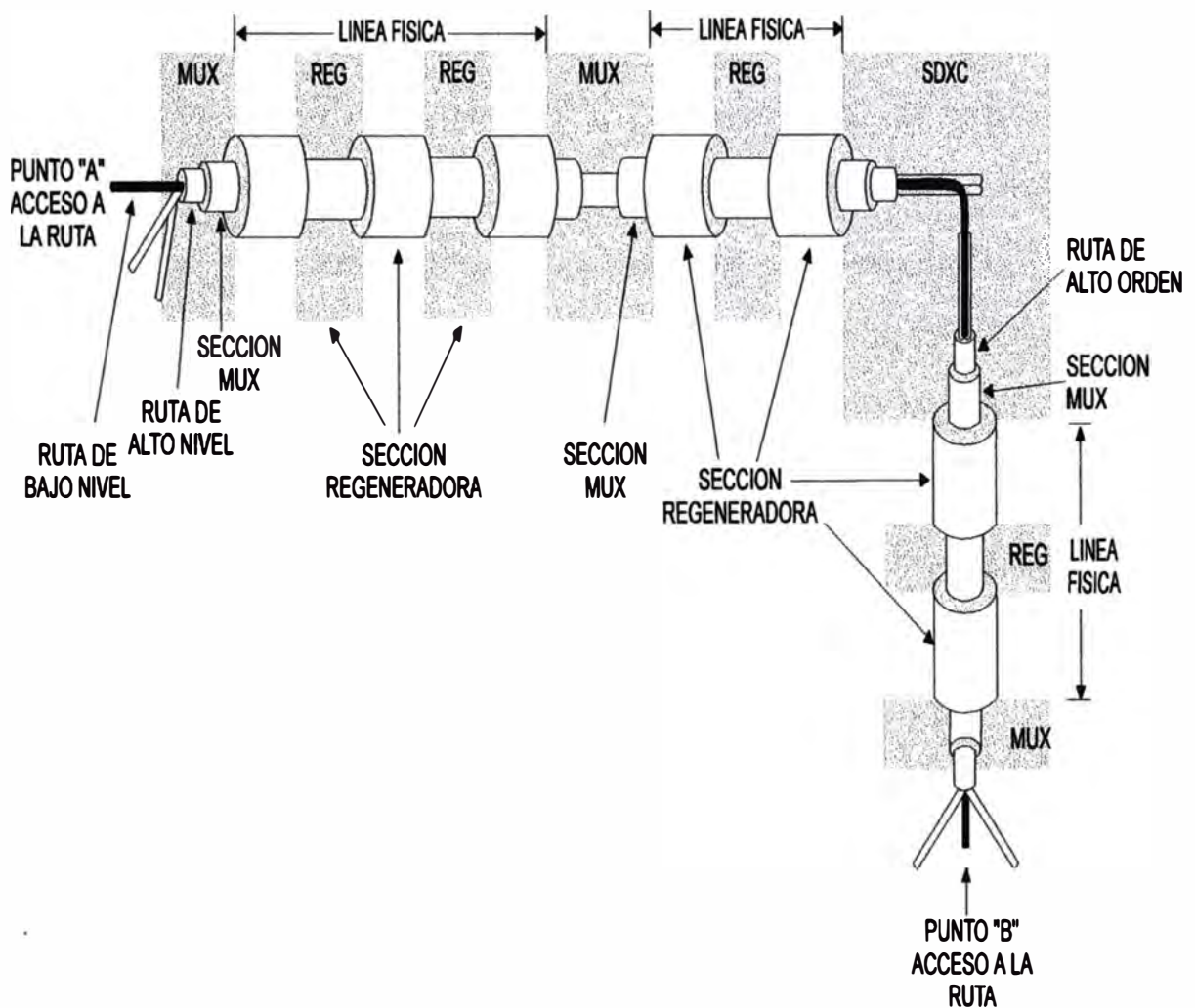


Figura 1.8. Secciones Individuales en un Sistema SDH

Por ejemplo, tenemos Información con una tasa de bits de 2048Kbps, la cual es cargada y sacada del sistema por los “Low-order path- access points” (puntos de acceso a rutas de bajo orden). Los “Low-order path- access points” proveen estos accesos a los niveles bajos dentro de la Red SDH. Además, se tiene un número de rutas de bajo orden que se encuentran multiplexadas todas juntas dentro de una ruta de nivel alto. Ambos niveles de rutas proveen una conexión final entre dos puntos de acceso.

Las líneas físicas terminan en multiplexores; tanto en los multiplexores “*stand-alone*”, multiplexores que son parte de los elementos de *multiplexación Add/Drop* o elementos digitales síncronos de Cross-conexiones. Entre los multiplexores y regeneradores puede haber lugares (Amplificadores ópticos) que aseguren que los niveles de señal nunca caigan por debajo de los límites inferiores permitidos en las especificaciones de los equipos de SDH. El Sistema SDH define los tramos entre multiplexores como "Sección de Multiplexación" y los tramos entre regeneradores (o desde un multiplexor a un regenerador) como "Sección de Regeneración". Como se observa en la figura 1.8.

El sistema SDH incluye facilidades de administración y supervisión para cada ruta y sección, el cual es adicionado en el encabezado de la señal transportada. La figura 1.9. muestra el diagrama funcional de bloques para la construcción del paquete de información a transportar en el sistema SDH.

El sistema provee bytes con funciones de supervisión y mantenimiento dentro del encabezado para las diferentes secciones y rutas:

- (a) Bytes para cada sección de regeneración.
- (b) Bytes para cada sección de multiplexación.

(c) Las rutas para los niveles altos (punto a punto).

(d) Las rutas para los niveles bajos (punto a punto).

Entidad del Encabezado SDH

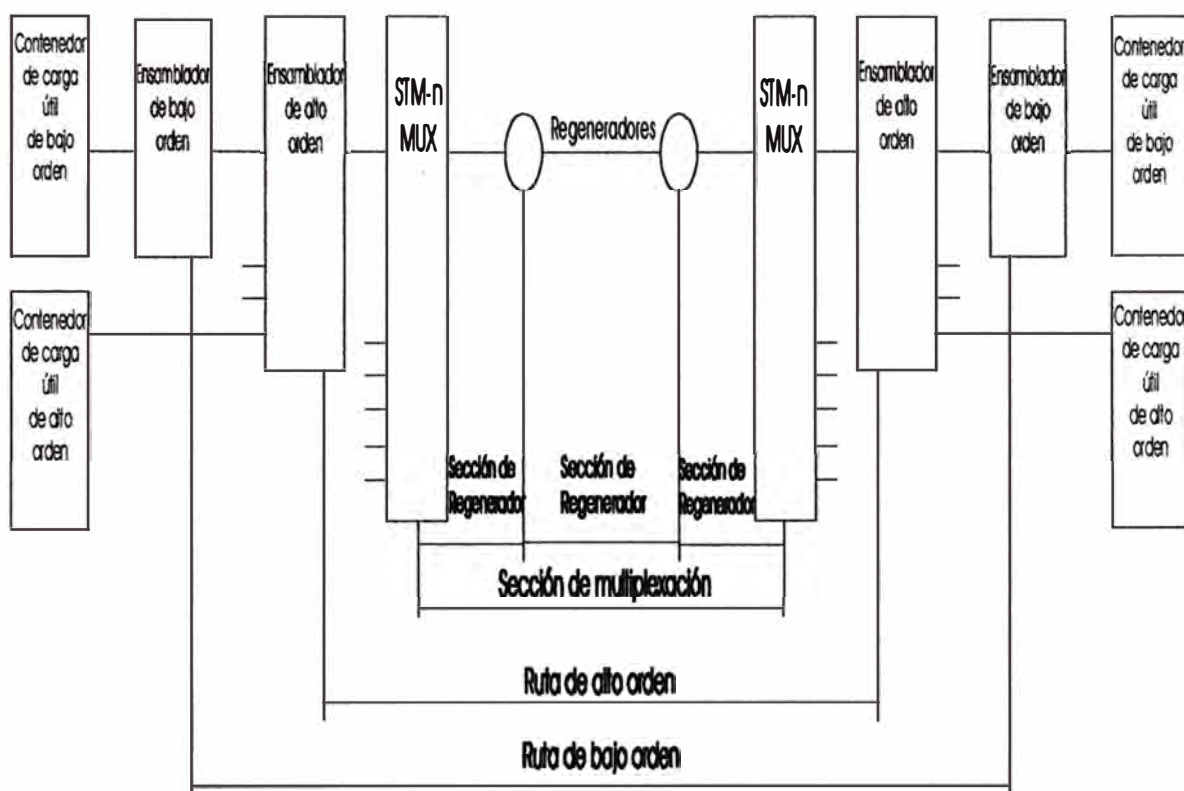


Figura 1.9. Construcción del paquete de información a transportar en SDH.

1.3.5. Estructura Básica de Multiplexación: El método para multiplexar niveles de bajo orden dentro de la señal SDH utilizada. Se muestra en la fig. 4.3 dicha multiplexación tal como lo define para las normas ETSI.

El diagrama consiste de las siguiente velocidades de información:

1544Kbps

2048Kbps

34368Kbps

44736Kbps

139264Kbps

Para la Multiplexación en el SDH, se hace uso de los siguientes conceptos:

C-n (Contenedor-n): Es la capacidad, dentro de la cual esta ubicada la señal de entrada. Para cada contenedor dado, las reglas son definidas por la adaptación de la tasa de datos dentro de la estructura SDH. En particular, los contenedores proveen justificación para las señales PDH que se ubican dentro de estos, similares a las justificaciones implementadas en los Sistemas PDH. La justificación compensa la desviación de frecuencia permitida entre el sistema SDH y la señal PDH. El dígito “n” define el nivel del contenedor y se refiere al nivel de la tasa de bits de la señal PDH que se adecua dentro del contenedor. Los niveles bajos son entramados o mapeados dentro de dos contenedores que son: el *C-11* usado para el primer orden en el sistema americano con 1544Kbps y el *C-12* usado para el primer orden en el sistema europeo con 2048Kbps.

VC-n (Contenedor Virtual-n): El Contenedor Virtual agrega facilidades para la supervisión y mantenimiento de las rutas punto a punto de un Contenedor o Grupos de Unidades Tributarias, debido a los bytes insertados como encabezado. El

contenedor virtual lleva información punto a punto entre dos accesos de ruta a través del sistema SDH. El dígito “n” se refiere directamente con el nivel de contenedor que le corresponde directamente. Se han identificado dos tipos de contenedores virtuales:

**** Contenedor Virtual-n de orden inferior (VC-n, donde n = 11, 12, 2);** este comprende un solo contenedor-n (n = 11, 12, 2) más su POH para ese Contenedor Virtual de orden inferior.

**** Contenedor Virtual-n de orden superior (VC-n, donde n = 3, 4);** este comprende un solo contenedor-n (n = 3, 4) o un conjunto de Unidades Tributarias (TUG-2 ó TUG-3), junto con su POH para ese Contenedor Virtual de orden superior.

TU-n (*Unidad Tributaria-n*): La Unidad Tributaria agrega punteros al Contenedor Virtual, es decir, alinea el contenedor virtual para ser multiplexado. Un puntero permite al SDH compensar las fases diferentes dentro de la red SDH con la PDH. El dígito “n” se refiere al nivel del contenedor virtual que corresponde directamente con la Unidad Tributaria.

TUG-n (*Grupo de Unidades Tributarias-n*): Las unidades tributarias son multiplexadas luego de ser alineadas, para conformar un Grupo de Unidades Tributarias. El dígito “n” se refiere al nivel de la unidad tributaria que corresponde directamente con el Grupo de Unidades Tributarias.

AU-n (*Unidad Administrativa-n*): Una Unidad Administrativa es la estructura de información que proporciona la adaptación entre la capa de trayecto de orden superior y la capa de sección de multiplexación. En la Unidad Administrativa se le agrega un puntero al contenedor virtual (similar a las Unidades Tributarias). Se definen dos unidades administrativas: el AU-4 y el AU-3. La primera consta de un VC-4 más un puntero de unidad administrativa que indica la alineación de fase del

VC-4 con respecto a la trama del módulo de transporte síncrono-n (STM-n). La segunda consta de un VC-3 más un puntero de unidad administrativa que indica la alineación de fase del VC-3 con respecto a la trama STM-n. En cada caso, la ubicación del puntero de unidad administrativa es fija con respecto a la trama STM-n.

AUG (*Grupo de Unidades Administrativas*): El AUG define un grupo de unidades administrativas que multiplexadas juntas forman un primer orden del sistema SDH. En la estructura de multiplexación de ETSI, el AUG es idéntico a la Unidad Administrativa única definida por éste (AU-4).

STM-n (*Módulo de Transporte Síncrono-n*): En el Módulo de Transporte Síncrono se le agrega facilidades para la supervisión y mantenimiento (*Section OverHead-SOH*) de la Sección de Multiplexación y Regeneración. El STM es la señal que es transmitida por la línea de SDH. El dígito n define el orden del STM como también la cantidad de AUGs que lleva dentro de este módulo.

1.3.5.1. Multiplexación a Altos Ordenes: Las Velocidades de Transmisión de alto orden para SDH son múltiplos de las velocidades de transmisión del primer orden. Como la velocidad de transmisión para el primer orden es de 155520Kbps, entonces la velocidad de un STM-n será $n \cdot 155520 \text{Kbps}$. En principio, “n” puede ser cualquier valor entero, pero la ITU-T actualmente recomienda que los ordenes usados sean 1, 4, 16 y 64 dentro de redes SDH. Las correspondientes tasas de datos para los diversos órdenes se muestran en la Tabla 1.3.

Nivel SDH	Tasa de datos
STM-1	155520 Kbps
STM-4	622080 Kbps
STM-16	2488320 Kbps
STM-64	9953280 Kbps

Tabla 1.3. Tasas de datos para las señales SDH permitidas por la ITU-T

En los Sistemas SDH, para definir a una señal de n-ésimo orden (STM-n), ésta es lograda luego de la multiplexación de n señales de Primer Orden (STM-1), como se muestra en la figura 1.10.

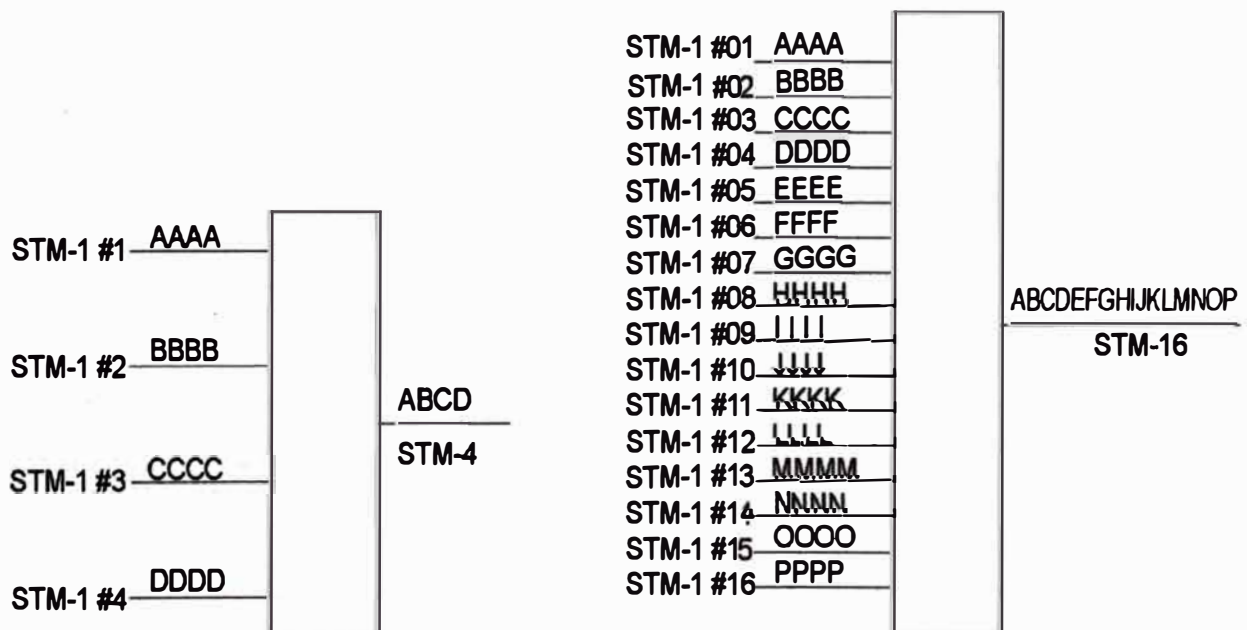


Figura 1.10. Construcción de Señales SDH de alto orden.

1.3.5.2. Estructura de trama STM-1: Una señal SDH, como muchas otras señales transmitidas en redes de telecomunicaciones, es básicamente un flujo serial de ceros y unos lógicos. Sin embargo, en común con señales PDH, las señales SDH son estructuradas en un camino tal que el flujo de bits puede ser subdividido dentro de un número de canales para aplicaciones diferentes. La estructura básica de una señal SDH de primer orden (STM-1) se muestra en la figura 1.11.

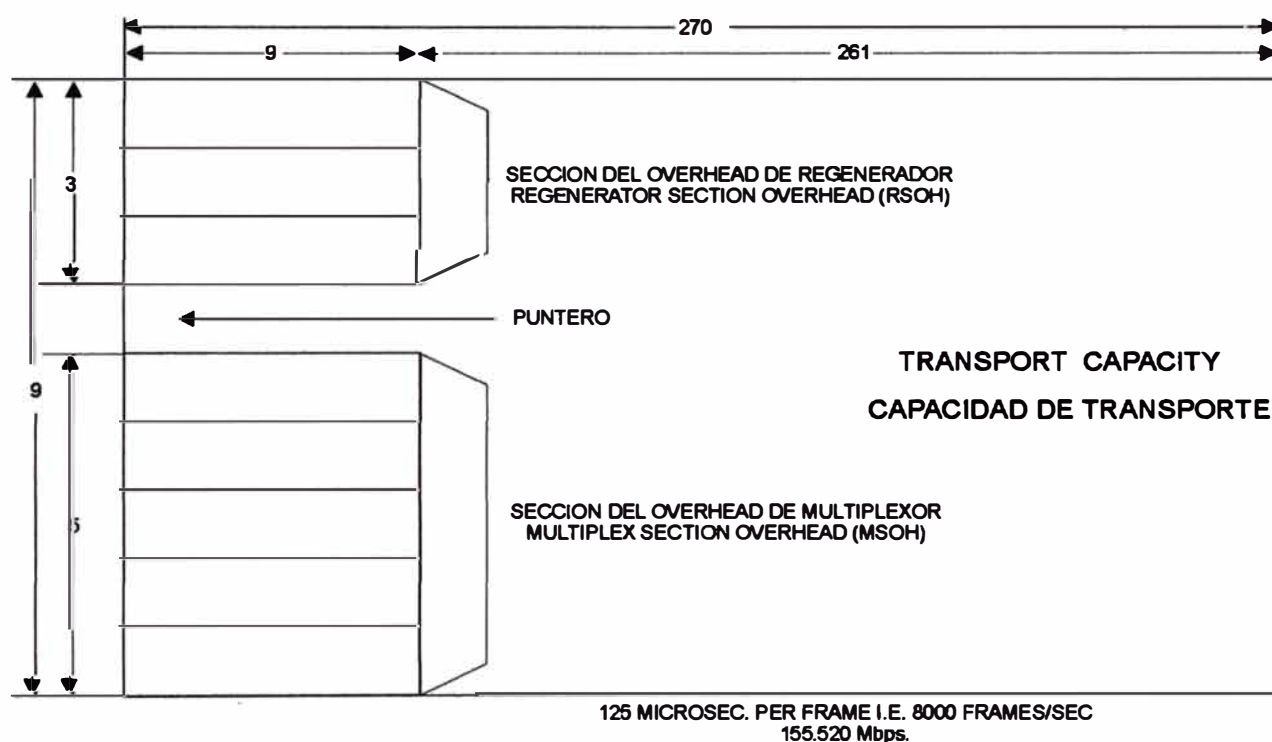


Figura 1.11. La estructura básica de una señal SDH de primer orden (STM-1).

El STM-1 puede ser visto como una trama de 9 filas de 270 bytes cada una. Lo cual aporta una capacidad total de señal de 2430 bytes, cada byte contiene 8 bits (19 440 bits por trama). La tasa de repetición de la trama es de 8000 tramas por segundo, por lo que la duración de cada trama es de 125 μ s, la cual es también la tasa utilizada para PCM (Codificación de voz). La secuencia de transmisión es una fila a la vez, comenzando por la fila superior. Cada fila es transmitida de izquierda a derecha. Cada byte es transmitido con el bit más significativo primero.

Por tanto, la tasa de datos en un STM-1 es:

$$8000 \frac{\text{frames}}{\text{seg}} * 9 \frac{\text{rows}}{\text{frames}} * 270 \frac{\text{bytes}}{\text{rows}} * 8 \frac{\text{bits}}{\text{bytes}} = 155520 \text{Kbps} \quad (1.6.)$$

Fórmula 1.6. Tasa de datos para un STM-1

Los primeros 9 bytes de cada fila son para información y usados por el mismo sistema SDH. Dicha área esta definida en tres partes:

Sección de regeneración en el encabezado (RSOH - Regenerator Section Overhead) que comprende 3 filas de 9 bytes cada una.

Sección de multiplexación en el encabezado (MSOH - Múltiplex Section Overhead) que comprende 5 filas de 9 bytes cada una.

Espacio de ubicación de los punteros (1 fila de 9 bytes). En este espacio la estructura de multiplexación ETSI acomoda un puntero.

Los 261 bytes que restan por fila que ocupan un total de 2349 bytes son los que proveen la capacidad de transporte en los sistemas SDH. Esto aporta una

oportunidad de canal de 150.34Mbps en la estructura de señal STM-1 para transportar señales tributarias intactas a través de la red Síncrona.

Cuando se inserta un VC-4 en la trama de transporte (STM-1), quedan disponibles unos bytes adicionales (denominados “punteros”) en la *SOH*. Estos bytes contienen un valor de puntero que indica la ubicación del primer byte (*J1*) del VC-4. Se permite que el VC-4 fluctúe libremente dentro del espacio dado para su disposición, dentro de la trama de transporte (STM-1), de forma que puedan realizarse ajustes de fase de temporización según sea necesario entre un VC-4 y la trama de transporte(STM-1).

1.3.5.3. Sección del Encabezamiento del STM-1 (SOH): Mostramos la estructura de la sección de encabezamiento en la figura 1.12.

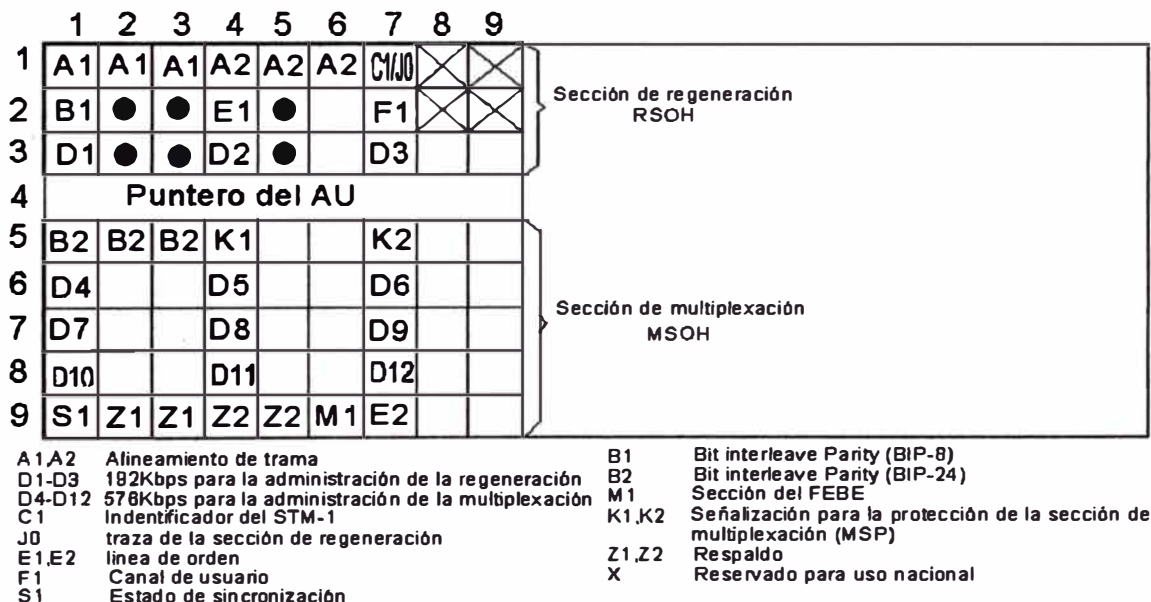


Figura 1.12. Estructura de la sección de encabezamiento en un STM-1

- A1, A2** Bytes de alineamiento de trama. Son los bytes que indican el inicio de la trama de transporte. Los bytes A1 tienen el valor hexadecimal F6, mientras que los bytes A2 tienen el valor hexadecimal 28.
- C1** Byte identificador del STM-1. Número que identifica en forma individual los STM-1s dentro de un STM-n de más alto orden.
- J0** Byte de señalización. Provee un canal de datos de 64Kbps, a través del cual envía un flujo de datos para la identificación de sección. Este byte se utiliza para transmitir de manera repetitiva un identificador de punto de acceso de sección, de tal modo que un receptor de sección pueda verificar la continuidad de su conexión con el transmisor pretendido. Este permite al receptor verificar continuamente, que la señal viene de una misma fuente. El formato de esta cadena de datos es una secuencia de 16 bytes, tiene un primer byte como marcador de comienzo de trama e incluye el resultado de un cálculo de CRC-7 efectuado en la trama precedente. Los 15 bytes siguientes se utilizan para el transporte de 15 caracteres de la Recomendación T.50 (versión internacional de referencia) requeridos para el identificador de punto de acceso de sección. En la Tabla 1.4. se da la descripción de la trama de 16 bytes.

Byte #	Valor (bit 1, 2, ..., 8)							
	1	1	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
2	0	X	X	X	X	X	X	X
3	0	X	X	X	X	X	X	X
:	:				:			
16	0	X	X	X	X	X	X	X
NOTAS								
1 C ₁ C ₂ C ₃ C ₄ C ₅ C ₆ C ₇ es el resultado del cálculo de CRC-7 efectuado en la trama precedente. C ₁ es el bit más significativo.								
2 0XXXXXXXX representa un carácter de la Recomendación T.50.								

Tabla 1.4. Trama de 16 bytes para identificador de punto de acceso de ruta.

B1 Se asigna un byte para la supervisión de errores en la sección de regeneración. Este cumple esa función con un código de paridad con entrelazado de bits 8 (BIP-8) [P1] que utiliza paridad par. La BIP-8 se calcula basándose en todos los bits de la trama STM-n precedente, después de la aleatorización, y se sitúa en el byte B1 de la trama siguiente antes de la aleatorización. Un “byte-interleaved parity” (BIP-8) verifica la suma, la cual es monitoriada y calculada por cada regenerador y multiplexor dentro de una línea SDH.

Nota- El código de paridad con entrelazado de bits “n” (BIP-n) se define como un método de supervisión de errores. Con paridad par, el equipo

transmisor genera un código de bits “n” en una parte especificada de la señal de manera que el primer bit del código proporciona la paridad par en todas las secuencias de bits “n” en la porción cubierta de la señal, el segundo bit proporciona la paridad par en los segundos bits de todas las secuencias “n” en la porción especificada, etc. La paridad par se genera fijando los bits de BIP-n de modo que haya un número par de unos en cada una de las particiones supervisadas de la señal que incluye BIP-n. Una partición de supervisión de la señal se constituye mediante todos los bits que están en la misma posición dentro de las secuencias de bits “n” en la porción cubierta de la señal. La porción cubierta incluye la BIP-n.

- E1** Byte de Order Wire para la Sección de Regeneración. Este byte provee un canal de 64Kbps. Este es destinado para transmisión de voz en la aplicación del mantenimiento como regenerador. Este byte puede utilizarse para proporcionar canales de circuito de órdenes para comunicaciones vocales. Este viene a ser parte de la RSOH y puede accederse a él en los regeneradores.
- F1** Canal de usuario. Este byte es destinado para transmisión de información digital en la aplicación del mantenimiento como regenerador. El uso de este byte tiene aun que ser definido según la necesidad del sistema. Este byte está reservado para utilizaciones propias del usuario (por ejemplo, conexiones temporales de canales de datos y voz para fines de mantenimiento especiales). Una aplicación sugerida es la identificación de una sección fallada en una cadena de la sección regeneradora. Si un regenerador detecta una falla en esta sección, éste puede insertar un número

de 6 bits identificando el regenerador y un número de 2 bits especificando la naturalidad de la falla.

D1-D3 Estos 3 bytes proveen un canal de datos para comunicación (DCC) de 192Kbps para la operación y administración de los regeneradores dentro de una línea SDH.

B2 3 bytes que llevan "24 byte-interleaved parity" (BIP-24) verifica la suma, la cual es calculada e insertada dentro del byte B2 por los multiplexores que transmiten una señal SDH. El multiplexor que recibe esta señal SDH, será igualmente verificada y comparada con el contenido del byte B2. Este check sum es calculado antes del aleatorizado(scrambling), dentro de la trama entera de STM-1 excepto para los bytes contenidos en RSOH. Este valor es almacenado y luego cargado dentro del byte B2 de la trama siguiente antes de que se realice el proceso de scrambling.

K1, K2 2 bytes que son principalmente usados para señalización relacionada a la protección de la sección de multiplexación. Es un canal de conmutación de protección automática (APS). El byte K1 indica una petición de un canal para acción de conmutación. Los bits 1-4 indican el tipo de petición, que se enumeran en la tabla 4, y estas pueden indicar:

- Una condición (SF y SD) asociada con una sección. Una condición tiene alta o baja prioridad. La prioridad se fija para cada canal correspondiente;
- Un estado (espera para restaurar, no invertir, no hay petición, petición de reversión) de la función MSP; o

Una petición externa (exclusión de protección, conmutación forzada o manual y ejercicio).

Los bits 5-8 indican el número del canal para el cual se pide la acción de conmutación, como se muestra en la tabla 1.5.

En el byte K2, los bits 1-5 indican el estado del puente en el conmutador MSP. Los bits 6-8 se reservan para uso futuro a fin de introducir la conmutación de extracción e inserción (anidada). Obsérvese que los códigos 111 y 110 en las posiciones 6, 7 y 8 del byte K2 antes de la aleatorización, no serán asignados para ese uso, ya que se utilizan para la detección de MS-AIS y la indicación MS-FERF.

Los bits 1-4 indican un número de canal, como se muestra en la tabla 1.7.. El bit 5 indica el tipo de la arquitectura MSP: fijar un 1 indica arquitectura 1:n y fijar un 0 indica arquitectura 1.1.

Bits 1234	Condición, estado o petición externa
1111	Exclusión de protección (*)
1110	Conmutación forzada
1101	Fallo de señal (SF) – alta prioridad
1100	Fallo de señal (SF) – baja prioridad
1011	Degradación de señal (SD) – alta prioridad
1010	Degradación de señal (SD) – baja prioridad
1001	No utilizado (**)
1000	Conmutación manual
0111	No utilizado (**)
0110	Espera al restablecimiento
0101	No utilizado (**)
0100	Ejercicio
0011	No utilizado (**)
0010	Invertir petición
0001	No invertir
0000	Ninguna petición

(*)Sólo se permite al canal 0 una petición de exclusión de protección.

(**)Algunos operadores de red pueden emplear estos códigos para utilizations específicas de la red. El receptor debe poder ignorar estos códigos.

Las peticiones se seleccionan del cuadro, según las disposiciones de la conmutación de protección; es decir, en un caso determinado, puede necesitarse sólo un subconjunto de peticiones.

Tabla 1.5. Interpretación de los bits 1-4 del Byte K1.

Número de canal	Petición de acción de conmutación
0	Canal nulo (ningún canal de servicio ni canal de tráfico adicional). Se aplican condiciones y prioridad asociada (alta fija) a la sección de protección.
1-14	Canal en servicio (1-14) Se aplican condiciones y prioridad asociada (alta o baja) las correspondientes secciones de servicio. Para 1, sólo es aplicable el canal de servicio 1 con alta prioridad fija.
15	Canal de tráfico adicional. Las condiciones no son aplicables. Existe sólo cuando se dispone en una arquitectura 1 : n

Tabla 1.6. Interpretación de los bits 5-8 del Byte K1.

Número de canal	Indicación
0	Canal nulo
1-14	Canal en servicio (1-14) Para 1 1, sólo es aplicable el canal de servicio 1.
15	Canal de tráfico adicional Existe sólo cuando se dispone en una arquitectura 1 : n.

Tabla 1.7. Interpretación del Byte K2.

- D4-D12** Estos 9 bytes proveen un canal de datos para comunicación (DCC) para operación y mantenimiento del multiplexor dentro de la línea SDH.
- E2** Byte de Order Wire para la sección de multiplexación. Este byte puede utilizarse para proporcionar canales de circuito de órdenes para comunicaciones vocales. Similar al byte E1.
- S1** Estado de sincronización. Tiene la función de indicar la calidad de referencia del sincronismo utilizado por el equipo. Este se utiliza para la gestión y la recuperación del reloj de sincronismo. Los bits 5 a 8 de este byte se asignan para mensajes de estado de sincronización. La tabla 1.8. da la asignación de bits a los cuatro niveles de sincronización acordados en el UIT-T. Se asignan dos esquemas de bits adicionales: uno para indicar que la calidad de sincronización es desconocida y otro para señalar que no

debe utilizarse la sección para sincronización. Los códigos restantes se reservan para los niveles de calidad definidos por cada una de las Administraciones.

Z1, Z2 Bytes reservados para uso futuro.

M1 Sección FEBE. Este byte indica el número de bits de error B2 detectados por el lado remoto en las últimas tramas recibidas. Indicación de error distante de sección de multiplexación (MS-REI): M1. Se asigna un byte para emplearlo como indicador de error distante (REI) de sección de multiplexación.

El interfuncionamiento de un equipo que sustenta la MS-REI con un equipo que no la sustenta no puede conseguirse de manera automática. Para niveles de STM-n, este byte lleva la cuenta (en el rango de [0, 255]) de bloques de bits entrelazados que han sido detectados como erróneos por el BIP-24×N (B2). Para velocidades de STM-16 y superiores, este valor será truncado a 255.

Bits S1 bits 5 a 8	Descripción de nivel de calidad de sincronización de SDH
0000	Calidad desconocida
0001	Reservado
0010	Recomendación G.811
0011	Reservado
0100	Tránsito de la Recomendación G.812
0101	Reservado
0110	Reservado
0111	Reservado
1000	Local de la Recomendación G.812
1001	Reservado
1010	Reservado
1011	Fuente de temporización del equipo (SETS)
1100	Reservado
1101	Reservado
1110	Reservado
1111	No utilizar para sincronización (Nota)

NOTA - Este mensaje puede ser emulado por fallos de equipo y será emulado por una señal AIS (señal de indicación de alarma) de sección de multiplexación. La asignación del mensaje de nivel de calidad de no utilizar para sincronización es obligatoria, ya que la recepción de una AIS de sección de multiplexación no necesariamente se interpreta como indicación de un puerto de interfaz de fuente de sincronización en fallo físico. Esta asignación permite que ese estado se reconozca sin interacción con el proceso de detección de AIS de sección de multiplexación.

Tabla 1.8. Interpretación de los bits 5-8 del Byte S1.

STM-1, generación de M1: El byte se fijará para que lleve la cuenta de bloques de bits entrelazados que han sido detectados como erróneos por el BIP-24 en la gama de [0, 24].

STM-1, interpretación de M1: El valor del byte se interpretará, para el interfuncionamiento con equipos que generan un código de 7 bits que representa el número de violaciones de BIP-24, ver Tabla 1.9.

STM-4, generación de M1: El byte se fijará para que lleve la cuenta de bloques de bits entrelazados que han sido detectados como erróneos por el BIP-96 en la gama de [0, 96].

STM-4, interpretación de M1: El valor del byte se interpretará, para el interfuncionamiento con equipos que generan un código de 7 bits que representa el número de violaciones de BIP-96, ver Tabla 1.10.

STM-16, generación de M1: El byte se fijará para que lleve la cuenta de bloques de bits entrelazados que han sido detectados como erróneos por el BIP-384 (en la gama de [0, 255]), cuando el valor transportado es truncado a 255.

STM-16, interpretación de M1: El valor del byte se interpretará según la Tabla 4.9.

STM-64, generación de M1: El byte se fijará para que lleve la cuenta de bloques de bits entrelazados que han sido detectados como erróneos por el BIP-1536 (en la gama de [0, 255]), cuando el valor transportado es truncado a 255.

STM-64, interpretación de M1: El valor del byte se interpretará según la Tabla 1.11.

Código M1[2-8], bits 234 5678	Interpretación del código
000 0000	0 violaciones de BIP
000 0001	1 violación de BIP
000 0010	2 violaciones de BIP
000 0011	3 violaciones de BIP
:	:
001 1000	24 violaciones de BIP
001 1001	0 violaciones de BIP
001 1010	0 violaciones de BIP
:	:
111 1111	0 violaciones de BIP
NOTA - No se tiene en cuenta el bit 1 del byte M1.	

Tabla 1.9. Interpretación de los bits 2-8 del Byte M1 para los casos de STM-1.

Código M1[2-8], bits 234 5678	Interpretación del código
000 0000	0 violaciones de BIP
000 0001	1 violación de BIP
000 0010	2 violaciones de BIP
000 0011	3 violaciones de BIP
000 0100	4 violaciones de BIP
000 0101	5 violaciones de BIP
:	:
110 0000	96 violaciones de BIP
110 0001	0 violaciones de BIP
110 0010	0 violaciones de BIP
:	:
111 1111	0 violaciones de BIP
NOTA - No se tiene en cuenta el bit 1 del octeto M1.	

Tabla 1.10. Interpretación de los bits 2-8 del Byte M1 para los casos de STM-4.

Código M1[1-8], bits 1234 5678	Interpretación del código
0000 0000	0 violaciones de BIP
0000 0001	1 violación de BIP
0000 0010	2 violaciones de BIP
0000 0011	3 violaciones de BIP
0000 0100	4 violaciones de BIP
0000 0101	5 violaciones de BIP
:	:
1111 1111	255 violaciones de BIP

Tabla 1.11. Interpretación del byte M1 para los casos de STM-16 y STM-64.

En el proceso de sincronización de tramas, los componentes de las señales de transporte (la cabecera de sección y el VC-4) se gestionan de manera distinta. Los bytes de la cabecera de sección para cada una de las señales de transporte se sincronizan con la trama, y para asistir en este proceso, la cabecera de sección incluye seis o más bytes de entramado (bytes A). Los bytes del VC-4, por otra parte, mantienen entre sí la misma relación relativa de fase de temporización. Esto se logra volviendo a calcular el valor de puntero asociado a cada VC-4 con el fin de dar cabida a cualquier ajuste en la fase de temporización de la cabecera de sección debido a la sincronización de la trama.

1.3.6. Supervisión de la Calidad de Transmisión: Como se indicó en capítulos anteriores, el sistema de SDH monitorea la calidad de transmisión usando el método Bit Interleaved Parity (BIP). Una información de paridad es agregada a la

transmisión. Un receptor hace el mismo cálculo de paridad y compara con el cálculo de paridad transmitida.

Un número de tipos BIP es usado en SDH: BIP-24, Bip-8 y BIP-2. Estos están basados en un solo principio pero difieren en longitud.

El procedimiento para calcular el BIP-n es:

Un número pertinente de bits es recibido. (por ejemplo el número total de bits en una trama STM-1)

- Estos bits son agrupados dentro de n columnas.
- Por cada columna, se calcula la paridad. La paridad es par (es 0) si hay un número par de 1s en la columna; La paridad es impar (es 1) si hay un número impar de 1s en la columna.
- El relacionado dentro del BIP-n es establecido por la paridad de la columna.

Mostramos un ejemplo de paridad BIP-8 para el flujo de datos: 1011 0010 0100

1101 1011 0011 1110 0101

	1 0 1 1 0 0 1 0
	0 1 0 0 1 1 0 1
	1 0 1 1 0 0 1 1
	1 1 1 0 0 1 0 1
	1 0 1 0 1 0 0 1
BIP-8	

Figura 1.13. Ejemplo de paridad BIP-8

Punteros

Aún cuando SDH es una Jerarquía Digital Síncrona, la desviación de fase puede ocurrir dentro de una red. En adición, la desviación de frecuencia probablemente pueda ocurrir en los puntos de conexión entre dos redes SDH.

¿Qué función desempeñan los punteros?

Permiten el funcionamiento asíncrono en una red síncrona: SDH está ideada como una red síncrona. Es decir, todos los nodos de la red Síncrona deberían obtener sus señales de temporización de un mismo reloj maestro de la red. Sin embargo, SDH está diseñada para permitir un funcionamiento asíncrono en la red. Esto es necesario para dar cabida a las diferencias de temporización que suceden cuando un nodo SDH pierde la referencia de temporización de la red y funciona de acuerdo con su reloj auxiliar, y para hacer frente a las diferencias de temporización en el límite entre dos redes SDH independientes. Para resolver las diferencias de temporización, el VC-4 puede moverse positiva o negativamente, tres bytes a la vez, con respecto a la trama de transporte.

Para ello se vuelve a calcular o se actualiza el puntero en cada nodo de la red SDH. Además de los ajustes en el reloj, la actualización del puntero también permite hacer frente a otros ajustes de fase de temporización necesarios entre las señales de entrada PDH y la referencia de temporización del nodo SDH.

Reducen el retardo de la red cuando ésta funciona en modo asíncrono: Otro enfoque para abordar los temas de temporización de la red es utilizar buffers de deslizamiento VC-4 de $125\mu\text{s}$ en las entradas de los equipos de multiplexación SDH. Este tipo de buffers corrige las diferencias de frecuencia suprimiendo o repitiendo una trama de información VC-4. Estos buffers no resultan deseables, debido al

retardo de señal que introducen y al deterioro que el desplazamiento provoca en la señal. El uso de punteros evita estas características no deseadas en la red.

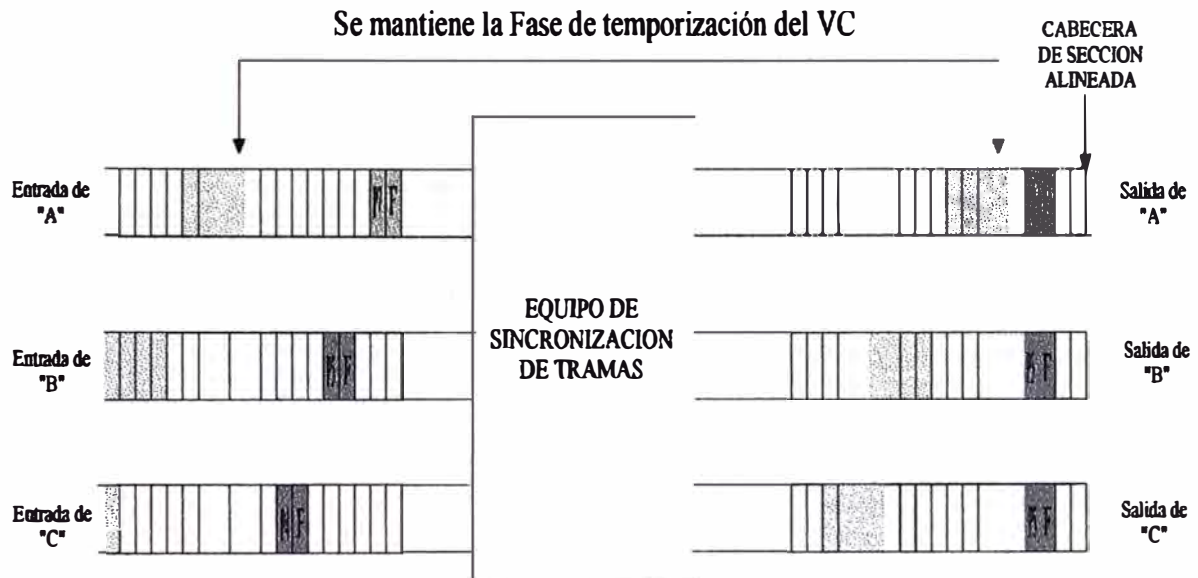
Crean un nuevo deterioro de la señal: El proceso de punteros introduce un deterioro de señal denominado “fluctuaciones por ajuste de puntero”. Este deterioro por fluctuación aparece en una señal tributaria recibida tras la recuperación de un VC-4 sometido a cambio de puntero. Una fluctuación excesiva en una señal tributaria influirá sobre el funcionamiento de los equipos de la red encargados de procesar la siguiente señal. Debe tenerse cuidado al diseñar la distribución de temporización para la red síncrona para reducir el número de ajustes de puntero y, por tanto, el nivel de fluctuación en las señales tributarias resultantes del transporte síncrono.

Sincronización de tramas - Punteros en acción: Antes de que pueda realizarse cualquier multiplexación en los equipos de la red SDH, deben sincronizarse en primer lugar las distintas señales de transporte SDH con los equipos de la red.

En la entrada de los equipos SDH, las distintas señales de transporte SDH pueden estar desalineadas en lo que respecta tanto a la fase de temporización como a la tasa de bits (obsérvese que tasas desiguales de bits serían un resultado directo del funcionamiento asíncrono entre equipos de la red). La sincronización de trama alinea tanto la fase de temporización como la tasa de bits de las distintas señales de transporte SDH. Ver figura 1.14.

Un puntero señala el inicio de un contenedor virtual como vemos desde el nivel Alto dentro del sistema. Para el mapeo de señales de 2Mbps dentro de SDH, dos niveles de punteros son usados. El primer nivel - el puntero del AU-4 - identifica el inicio del VC-4 relacionado a la trama básica STM-1. El segundo nivel - el

puntero del TU-12 - identifica el inicio del VC-12 relacionado al VC-4 para cada uno de los 63 VC-12.



A, B, C indica señales de transporte
 F indica byte de entramado
 PX indica valor X para byte de puntero

Figura 1.14. Sincronización de tramas – Punteros en acción.

CAPÍTULO II JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En este apartado desarrollamos los criterios y consideraciones que se han tenido en cuenta para la utilización de un Cable Submarino como sistema de comunicación para la costa peruana. Por esta razón, dividiremos toda la justificación en tres aspectos fundamentales en la que se hace mención a otros argumentos más puntuales.

2.1 Consideraciones Técnicas

2.1.1. Sobre el medio de transmisión: Las comunicaciones que utilizan una onda portadora óptica guiada a través de la fibra óptica poseen características extremadamente atractivas respecto a aquellas que utilizan los medios de transmisión convencionales como son el cable multipar telefónico y el cable coaxial. Los avances tecnológicos de la última década han superado las predicciones más optimistas, creando ventajas adicionales que servirán, definitivamente, a nuestro proyecto.

Estamos desarrollando un proyecto que pretende establecer comunicación entre diez departamentos de la costa peruana, los cuales, a su vez, reúnen las comunicaciones de poblaciones de otros departamentos. Son más de 2000 Km de distancia en las que la fibra óptica ofrece sin duda enormes ventajas, como por ejemplo, su reducido tamaño y peso que disminuyen los problemas de almacenamiento, transporte, fabricación del cable y sobre todo de instalación. De esta manera las longitudes de instalación pueden ser mayores.

Estamos desarrollando un proyecto que va transportar cualquier tipo de señal a cada uno de los 10 departamentos, llámese voz, video y datos utilizando distintos protocolos de comunicación, es decir, queremos llevar un gran volumen de información. En ese sentido la fibra óptica nos ofrece una gran capacidad de transmisión por su elevado ancho de banda.

Por su carácter dieléctrico, las fibras ópticas presentan un completo aislamiento con el exterior sin radiar ni captar campos electromagnéticos. Por lo tanto no existe el problema de la diafonía. Asimismo, la atenuación reducida nos permitirá aumentar las distancias de los enlaces. De acuerdo a esta última característica, un cable puede poseer varios pares de fibra óptica sin ningún problema.

2.1.2. Sobre la tecnología de transmisión: Los sistemas de fibra óptica son el principal soporte de transmisión para un ambiente SDH, es decir, la fibra óptica es la principal aliada de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH) y algunas de las razones que tenemos para utilizar esta tecnología las describimos a continuación.

SDH es la norma ITU-T vigente para la multiplexación y la transmisión de señales digitales sobre fibras ópticas. Por lo tanto, la transmisión digital de fuentes de señal plesiócrona y señal síncrona puede realizarse en una sola red. Esta capacidad de interactuar con los dos tipos de señales, permite al SDH introducirse en las redes que ya existen en los diferentes departamentos que abarca el proyecto. Cabe mencionar que la mayoría de los departamentos costeros del país ya usa SDH; luego la interoperatividad está asegurada. Con esto las señales de 2Mbps y 45Mbps, que son las más usadas, podrán ser llevados a través de un STM-1(155Mbps).

SDH ofrece la posibilidad de insertar y bajar canales sin tener que cambiar el flujo principal de los datos, es decir, proporciona una multiplexación e interconexión sencilla así como una transmisión simultánea de tasas de bits de diferente jerarquía. Esto es de particular importancia cuando hay la necesidad transferir canales de baja velocidad entre sistemas de transmisión concurrentes, como es el caso de Lima. Allí existe la necesidad de reunir y desagregar señales de 2Mbps principalmente.

SDH proporciona flexibilidad a la red que estamos diseñando y al mismo tiempo un elevado grado de fiabilidad al operador de los servicios de telecomunicaciones que lo utilice.

La normalización de interfaces SDH, es otra razón muy importante que hace posible el intercambio e interconexión de equipos de diferentes proveedores en el mismo sistema de transmisión. Esto asegura la incorporación de las mejoras que realice cualquier fabricante a sus productos.

SDH, como ningún otro, proporciona canales propios para la gestión y administración de la red, es decir, el sistema que estamos desarrollando posee la capacidad de establecer un punto central desde el cual se opera, supervisa y mantiene toda la red. Este punto se constituye en el centro de gestión y control. Este es una característica que hoy se busca en toda red: la centralización de las alarmas y el aprovisionamiento.

2.1.3. Sobre la utilización de aguas marinas: Consideramos que las costas peruanas ofrecen condiciones favorables para el tendido de cables submarinos, ya que en esta zona del Pacífico ya operan otros cables, aunque ninguno es de tipo doméstico o sin repetidores.

Un aspecto a tomar en cuenta para la utilización de las aguas marinas es evitar la rotura del medio por causa de vandalismos o fenómenos naturales tales como inundaciones, huaycos, etc. Es claro que una fibra óptica terrestre ofrece bastante facilidad de acceso y en sus tramos existe ausencia de seguridad. Como es conocido el principal enlace terrestre del Perú lo posee Telefónica, que ha instalado miles de kilómetro de fibra óptica acompañando a la carretera Panamericana desde Tumbes hasta Tacna y en ese trayecto se presentan acciones vandálicas con regularidad. Adicionalmente a ello, nuestro país está constantemente amenazado por fenómenos de la naturaleza como por ejemplo el Fenómeno del Niño que se manifiesta a través de los desbordes de ríos, huaycos, etc. provocando perjuicios materiales y económicos a los sistemas de telecomunicaciones, principalmente de fibra terrestre. En cambio, un sistema de cable submarino está menos propenso a los robos y cortes, debido a que se necesitaría una logística muy especial para poder realizarlo; se evitará estos actos tomando algunas medidas de protección para que no puedan ser arrastrados por las embarcaciones dedicadas a la pesca o cualesquiera otras actividades marítimas, por lo tanto, la probabilidad de sufrir pérdida de tráfico por esta causa sería casi nula. Sólo los fenómenos que se producen en el mar serían un riesgo para nuestro cable, pero que de acuerdo a la tecnología utilizada en la instalación pueden disminuir notablemente; cabe indicar que las estadísticas demuestran que la mayoría de problemas se presentan cerca a las playas y no en aguas profundas.

2.2. Consideraciones Económicas

Lo primero que podemos decir al respecto es que nuestro sistema costero será más barato que un sistema con repetidores submarinos ya que justamente son los

repetidores los que incrementan los costos de fabricación; cada repetidor está valorizado aproximadamente en \$1M mientras que el cable está entre \$5 a \$10 el metro. Esa es la razón fundamental para optar por un sistema de cable sin repetidores y porque de acuerdo a las últimas tecnologías un cable sin repetidores puede alcanzar hasta 400Km. Asimismo, como en cualquier proceso de compra-venta, a mayor cantidad de kilómetros de fibra el precio del mismo será menor.

La gestión centralizada nos permitirá también realizar ahorros en costos por operación y mantenimiento, ya que desde el centro de gestión primario se podrá tener acceso a todas las estaciones terminales a fin de ver el estado de los equipos y realizar las rutinas de mantenimiento preventivo. Es decir no es necesario que las estaciones terminales sean atendidas todos los días. Sólo en el caso de tareas programadas o de emergencias se necesitará de un apoyo prolongado. Eso no debe ir en contra de la limpieza y cuidado de la infraestructura donde se encuentran los equipos.

Los sistemas submarinos en general necesitan de rutas de restauración, adicionales a sus rutas de protección interna, que sean una alternativa cuando las rutas principales fallen, de acuerdo a esto nuestro sistema puede ser el backup o el camino de restauración para los distintos cables que pasan por las costas del Pacífico en el tramo que comprende nuestro litoral peruano. Con esto, nuestro proyecto adquiere un valor añadido que implica ingresos económicos adicionales. Al mismo tiempo también puede ser el medio que sirva para la interconexión con países vecinos como Ecuador y Chile, de esa manera incrementar las posibilidades de negocio.

A pesar de que el uso de los sistemas submarinos es una tendencia del mercado, esta tecnología todavía se encuentra en desarrollo, se siguen incorporando nuevas tecnologías y aparecen mejoras a los equipos y todos ellos orientados a la óptica; por lo que al ejecutarse este tipo de proyectos siempre se asume un riesgo tecnológico, ya que con el paso de los años se abaratan los costos y se incrementa la capacidad y disponibilidad de la planta. Adicionalmente está acompañado de una fuerte inversión, pero no tanto por los materiales que se necesitan puesto que han ido disminuyendo como se mencionó anteriormente sino, por el costo mismo de la instalación del cable; esta instalación podría también disminuir utilizando técnicas no tan sofisticadas, pero eso tiene como consecuencia que se necesite mayor mantenimiento a la planta sumergida y eso es justamente lo que no se quiere por sus altos costos.

Hace como cuatro años, en la medida en que aumentó el tráfico de voz y datos, los nuevos operadores y las empresas grandes empezaron a ampliar sus infraestructuras existentes, pero debido a la situación económica que sufre el país comenzaron a reutilizar los recursos que se destinaban a ellos en obras cuyo retorno de la inversión sea más mediano. Esto puede ser un aspecto que favorezca al proyecto ya que se puede constituir en el vehículo de transporte de las pequeñas y grandes empresas que ya no quieren ampliar su planta externa. Pero al margen de ello, instalar un sistema submarino es una decisión económica de cuánto se quiere invertir. ¿De acuerdo con el tráfico que normalmente existe en el Perú, amerita realizar una inversión tan fuerte como es el de implementar un sistema de cable submarino? ¿Existe la suficiente demanda como para que un sistema moderno como éste sea desarrollado y no sea un elefante blanco en las telecomunicaciones del Perú?.

Nosotros consideramos que sí amerita, siempre y cuando no se sobredimensione la demanda de capacidad, y esa es la razón por la que nuestro diseño sea de 2.5Gbps.

2.3. Consideraciones de Mercado

El proyecto que estamos presentando está orientado al mercado que más tráfico cursa en el Perú. Especialmente las ciudades del norte del país como Piura, Chiclayo, Trujillo y Chimbote que poseen más población y elevado número de líneas telefónicas fijas y móviles. Asimismo nuestro proyecto se da en un contexto de profundas y rápidas transformaciones tecnológicas; sólo la fibra óptica es la que mejor se adapta a dichos cambios y la que atiende en forma óptima la cada vez más creciente demanda de comunicaciones.

Existe cierta incertidumbre acerca del futuro de la industria de Comunicaciones, pero una cosa es clara: el futuro apunta hacia la óptica. Seguro que las transmisiones por Radio continuarán jugando un rol muy importante en broadcasting y las comunicaciones móviles o en los lugares de difícil acceso, asimismo el cobre no desaparecerá enteramente. Pero sólo sobre la base de la óptica y libre espacio se puede proporcionar la capacidad necesaria para la verdadera Banda Ancha del futuro. En el Perú por ejemplo eso se puede dar a través de aplicaciones como aprendizaje a distancia y video conferencia; es claro que con el tiempo la gente y los negocios peruanos intercambiarán gigabytes de datos tanto como lo que actualmente intercambia Kilobytes. Es definitivo que la óptica dominará no sólo los backbones sino que llegará al usuario final.

En estos últimos años en nuestro país se ha incrementado las ofertas para llamadas de larga distancia nacional, telefonía fija y móvil. Nuevos operadores han ingresado al mercado y al parecer esta “guerra” por captar más clientes continuará.

Al mismo tiempo, se observa un gran esfuerzo por llevar tráfico de datos hacia provincias, principalmente Internet. Aunque actualmente ya la mayoría de poblaciones cuenta con Internet, ésta todavía sigue siendo cara respecto a los costos que se manejan en Lima. Pero no sólo es Internet, también se ha observado que permanece la necesidad de enlazar negocios de las ciudades de la costa principalmente con Lima, debido a que en la capital se encuentra la sede principal de su empresa o porque la gestión la tienen que realizar directamente. Por todo ello, se necesitan sistemas de transmisión que aseguren niveles adecuados de calidad y fiabilidad para desarrollar e incrementar estos servicios.

Otra consideración de mercado es la tendencia actual de las telecomunicaciones. Y ésta es, la utilización de medios de transmisión físicos para los enlaces de larga distancia y la de medios atmosféricos o inalámbricos para los enlaces urbanos (corta distancia). Siguiendo esta tendencia, las grandes empresas operadoras de larga distancia han llevado a cabo proyectos de diseño y construcción de cables submarinos. Algunos ejemplos de ello en Sudamérica son los siguientes: Cable Panamericano (consorcio empresarial de medio centenar de propietarios), Cable SAM I (Grupo Telefónica), el SAC I (Global Crossing), estos dos últimos cables tendidos recientemente alrededor de América del Sur. El Cable MAYA I, que también es un consorcio y cuya área de acción comprende América Central. Todos ellos permiten la interconexión con EEUU y Europa principalmente. Pero los cables submarinos no son exclusividad de los grandes operadores ni de los enlaces intercontinentales, como parecería a primera vista, sino que en muchos países las comunicaciones nacionales son atendidas utilizando “cables domésticos”, como es el caso de Brasil y Venezuela, por hablar sólo de países cercanos al nuestro. En la

actualidad se están construyendo miles de kilómetros de cable submarino en el mundo y muchos más están en proyectos de ejecución. Como se puede desprender de lo anteriormente mencionado, el cable submarino es una tendencia mundial. Por consiguiente, si casi toda la comunicación internacional está utilizando esta tecnología y cada vez más se deja de utilizar otros sistemas como el satélite, significa que es confiable, estable y robusta. Desde ese punto de vista se justifica la utilización de cable submarino en toda la costa peruana. Transformará nuestras comunicaciones, haciéndola más moderna y ampliándola en capacidad.

CAPITULO III INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1. Introducción

El proyecto de cable submarino que presentamos es un cable doméstico sin repetidores planeado para proveer servicios de telecomunicaciones a 10 departamentos del país y consta de dos tramos:

- Un tramo terrestre, entre la interfaz del sistema en la estación terminal (A) y la cámara de playa o punto de amarre (B), que incluye el cable terrestre de fibra óptica, las uniones terrestres y el equipo terminal del sistema.
- Un tramo submarino sobre el lecho del mar, entre las cámaras de playa o puntos de amarre (B), que incluye sólo el cable submarino de fibra óptica.

En este capítulo se describe cada uno de estos tramos, la operación de las tecnologías usadas en el sistema y cómo el equipamiento es integrado para lograr su mayor rendimiento y funcionalidad.

Atendiendo la necesidad de interconexión normalizada de alta capacidad, nuestro sistema posee una capacidad de transmisión de 2.5Gbps, que consideramos suficiente para la actual y posterior demanda de nuestro país. Nuestro sistema utiliza interfaces ópticas y eléctricas.

3.2. Ruta de la Red

La figura 3.1. muestra el mapa del Perú con las estaciones terminales de nuestro sistema. La red interconecta las siguientes localidades:

- Tumbes
- Paita
- Chiclayo
- Trujillo
- Chimbote
- Huacho
- Lima
- Pisco
- Las Lomas
- Camaná
- Ilo
- Tacna

Hemos elegido dichas localidades porque concentran alto tráfico, porque ya poseen el equipamiento e infraestructura complementaria y porque entre ellas la longitud del cable no sobrepasa el límite permitido (aproximadamente 350Km). Otras consideraciones para establecer exactamente los lugares de punto de amarre son:

- Fuera de zonas de explotación de petróleo.
- Fuera de zonas muy transitadas por barcos: puertos.
- Fuera de zonas pesqueras: especialmente la pesca de arrastre.
- Fuera de zonas donde existan otros cables.
- Que se encuentren en zonas con potenciales posibilidades de negocio, como el caso de Tumbes y Tacna para la interconexión con Ecuador y Chile respectivamente.

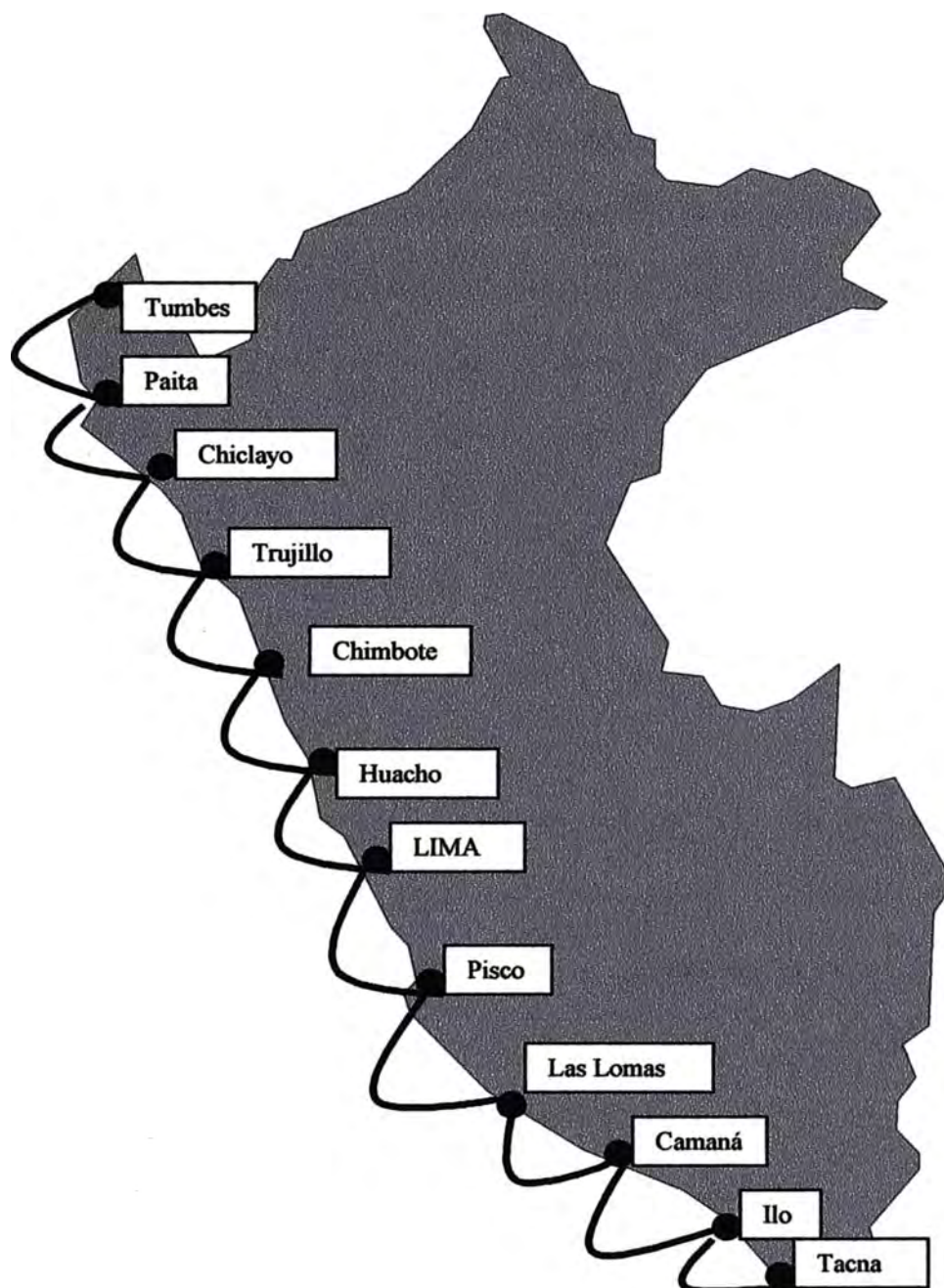


Figura 3.1. Ruta de la Red

3.3. Topología y Arquitectura de la Red

Existen tres configuraciones típicas en los sistemas de cable submarino: el sistema troncal punto a punto, el sistema bus lineal con inserción y extracción y el sistema en anillo. Nosotros proponemos un arreglo lineal de ADMs con la posibilidad de insertar y extraer señales en los ADMs intermedios y haciendo uso de dos pares de fibra óptica, de los cuales un par de fibra es para protección.

La figura 3.2. muestra la topología de la red. Cada segmento de cable submarino es un enlace directo y contiene 12 pares de fibra de los cuales usamos dos pares de fibra. Las actuales tecnologías pueden diseñar cables que superen los 12 pares, sin embargo su costo también se incrementa.

Un par de fibra es designado para servicio y el otro para protección. Cuando estamos en el modo normal de funcionamiento, es decir, cuando todos los segmentos de cable están libres de falla, el tráfico es transportado a través del par de fibra en servicio; este par de fibra transporta 1 STM-16 (2.5Gbps) de estación a estación.

Del mismo modo existe otros 2.5Gbps de capacidad sobre el par de fibra que corresponde a la protección. En el modo normal de funcionamiento, la capacidad de la fibra de protección no es utilizada o se encuentra libre. Pero esta capacidad no sólo es usada cuando existen fallas en la fibra o en algún componente de los equipos, sino también para llevar tráfico considerado de baja prioridad como es el caso del tráfico de restauración de otros cables o el tráfico que se puede interrumpir por un acuerdo con el que ha alquilado la capacidad.

En la figura 3.3. se muestra la arquitectura de la red, el cual se adecua muy bien a los propósitos que se persiguen. Al mismo tiempo los equipos con los cuales vamos a trabajar tienen la flexibilidad de realizar esa configuración.

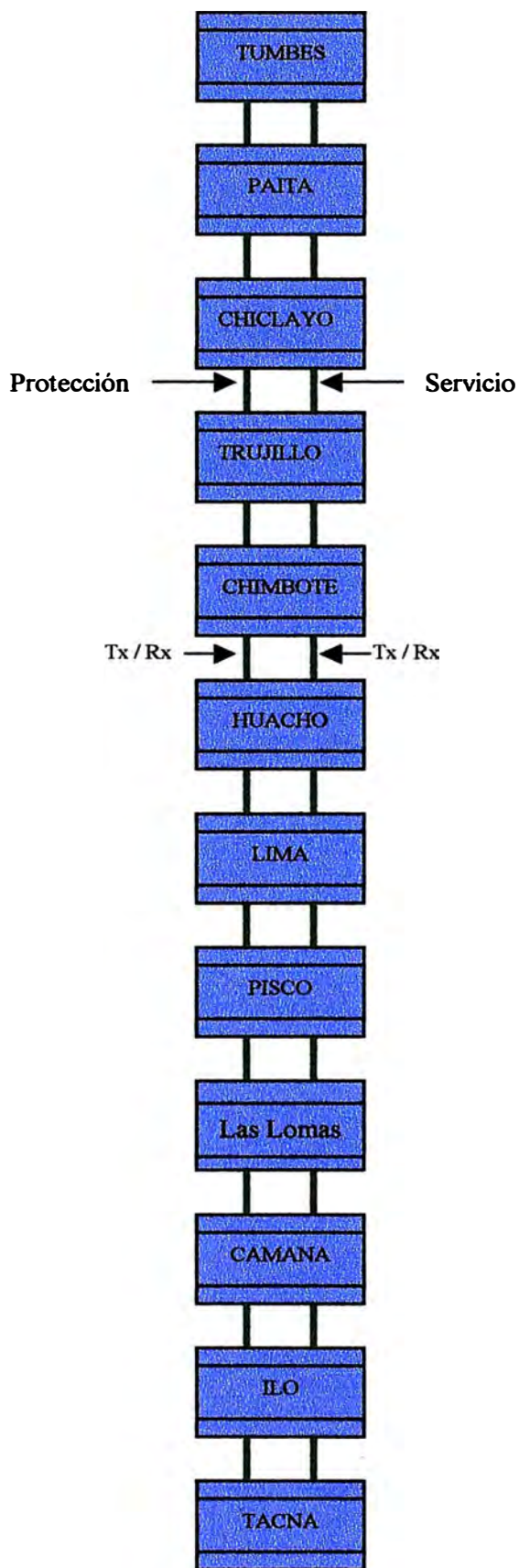


Figura 3.2. Topología de la Red

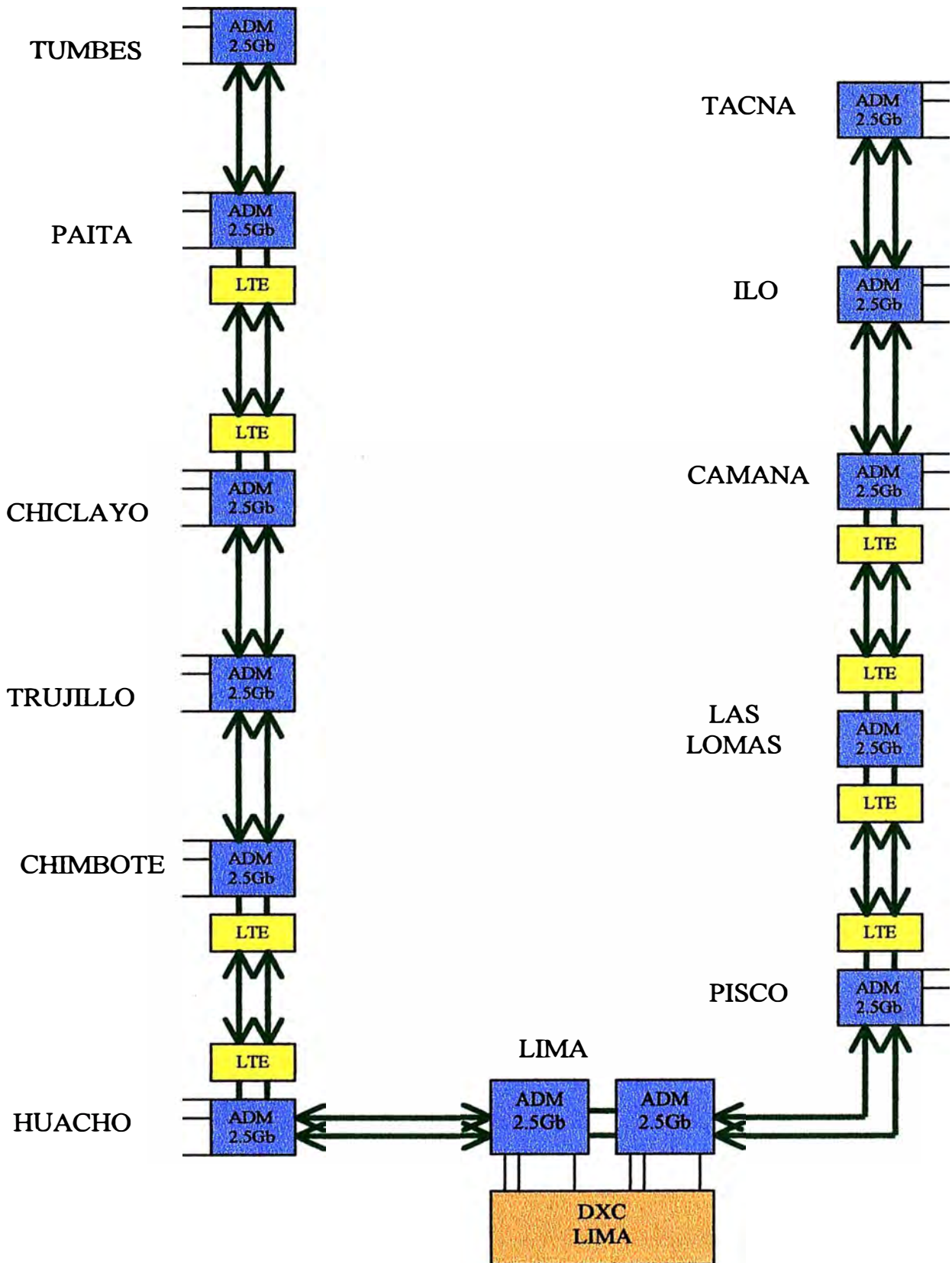


Figura 3.3. Arquitectura de la Red

3.4. Equipos de la Red

Como ya se mencionó, existe dos tramos claramente diferenciados. El equipo de la parte sumergida se refiere al cable propiamente dicho y los equipos de la estación a los multiplexores, equipos terminales de líneas, equipo para cross-conexiones, etc.

3.4.1. Equipo sumergible: Para nuestro sistema, el cable pertenece a una familia especial de cables submarinos para sistemas sin repetidores. Cabe resaltar que la fibra que utiliza este cable debe aceptar como mínimo dos longitudes de onda de trabajo, esto con finalidad de permitir la ejecución de mejoras o efectuar un cambio de topología en el futuro. Algunas propiedades que posee el cable son: efectiva protección para las fibras ópticas; alta resistencia a la flexión, torsión y vibración que son esenciales para los trabajos de instalación y reparación; flexibilidad, bajo peso, compatibles con los actuales equipos de manipulación de cables; fácil identificación del cable y de las fibras ópticas; sencillez en la limpieza, corte y empalme de las fibras.

Los cables submarinos sin repetidores son igualmente adecuados para su utilización en aguas profundas y poco profundas. Normalmente se les somete a pruebas exhaustivas para verificar que pueden instalarse y repararse in situ, incluso en las peores condiciones climatológicas, sin que se produzca degradación alguna en la fiabilidad o en el comportamiento óptico, eléctrico o mecánico.

Para un sistema de cable submarino de fibra óptica, de acuerdo a la recomendación G.971 de la ITU-T, las siguientes características técnicas son importantes:

- Un sistema de cable submarino debe tener una larga vida útil y una elevada fiabilidad; la razón principal es que debido a la dificultad de acceso a la planta sumergida, la construcción y el mantenimiento de un enlace son largos y costosos; además, la mayoría de los enlaces submarinos tienen una importancia estratégica en la red de transmisión y la interrupción de un enlace normalmente provoca pérdidas muy significativas de tráfico y de ingresos.

- Las características mecánicas de un sistema de cable submarino han de permitir que:

- * Se instale en el fondo del mar con exactitud, con la holgura correcta y teniendo debidamente en cuenta los aspectos relativos a la seguridad; las instalaciones en aguas profundas pueden alcanzar los 8000 metros.
- * Resista las condiciones ambientales del mundo marino a la profundidad de su instalación y especialmente la presión hidrostática, la temperatura, la abrasión, la corrosión y la vida marina.
- * Esté protegido adecuadamente (blindándolo o enterrándolo) contra la agresión provocada, por ejemplo, por los palangres o las anclas.
- * Soporte la recuperación desde esas profundidades, la subsiguiente reparación y el nuevo tendido, con la atención debida a la seguridad.

- Las características materiales de un sistema de cable submarino deben permitir a la fibra óptica:

- * Alcanzar la fiabilidad deseada durante toda su vida nominal.
- * Tolerar las pérdidas indicadas y los mecanismos de envejecimiento, sobre todo las curvaturas, la deformación, el hidrógeno, la tensión, la corrosión y la radiación.

- La calidad de transmisión de un sistema de cable submarino debe ajustarse, como mínimo, a la Recomendación G.821.

Por lo mismo que el cable estará tendido en aguas poco profundas, el cable debe contar con la protección adecuada para evitar cortes o cualquier otro destrozo. Existen técnicas para lograr ello: protección ligera del cable, armado del cable y enterrado del cable. Sobre el enterrado se recomienda enterrar el cable, adicionándole una capa de hilo blindado, hasta una distancia de 1000 metros aguas adentro desde el punto de amarre. Nosotros proponemos usar para la parte enterrada un cable doblemente armado y a partir de allí un cable con protección ligero o de peso simple.

Antes del tendido del cable se lleva a cabo una verificación de la ruta. Esa verificación consiste en estudiar el perfil del fondo marino, la temperatura del fondo del mar y sus variaciones en las diferentes estaciones, la morfología y naturaleza de dicho fondo, la posición de los cables y conductos existentes, los datos estadísticos sobre averías del cable, las actividades de pesca y minería, las corrientes marinas, la actividad sísmica, etc. Este es una tarea previa insoslayable.

La fibra que se utiliza para fabricar el cable trabaja como mínimo con dos longitudes de onda, esto permitirá que el sistema no se convierta obsoleto al poco tiempo. Es decir, los límites de capacidad no lo pondrán la fibra óptica puesta en el cable, sino el diseño original del sistema y el equipamiento de la estación.

La utilización de **amplificadores ópticos con bombeo a distancia** es una tecnología que ofrece grandes ventajas a los sistemas sin repetidores. Consiste de una fibra dopada que se activa mediante un haz de bombeo enviado desde la estación terminal principalmente ubicado en el lado de recepción. Usa el proceso de emisión estimulada para amplificar la luz entrante. Es un elemento totalmente pasivo y de

fácil construcción. La fibra de transmisión entrante es empalmada a una corta longitud (aproximadamente 10m) de fibra dopada con iones Er^{3+} . Esta fibra dopada tiene la propiedad de amplificar una señal de luz ($\lambda=1550\text{nm}$) cuando una energía externa conocida como “pumping” (de distinta longitud y en sentido contrario) es inyectado usando un acoplador óptico. La emisión estimulada está acompañada de emisión espontánea que también se amplifica convirtiéndose en ruido óptico llamado “emisión espontánea amplificada”. Para prevenir la luz reflectada de la propagación se usa un aislador óptico. Por ejemplo Ericsson Optoelectronics anunció en diciembre del 2002 la inmediata disponibilidad del más compacto amplificador EDFA de la compañía a la fecha. El PGE 60841 EDFA mide 70x45x10 mm y consume baja potencia.

Sin embargo, nosotros no utilizaremos estos amplificadores debido a la necesidad de insertar en nuestra fibra normal una porción de fibra dopada con Erblio que puede significar un incremento en el costo y a una posible disminución del número de longitudes de onda a usarse.

En la figura 4 se muestran tres grados de cable de fibra óptica submarina de SIMPLEX vista en su sección recta. Todos tienen la misma construcción del núcleo y rendimiento óptico, se diferencian sólo en cómo ellos están armados contra el ambiente. El tipo básico, cable no armado (parte inferior), el núcleo consiste de 3 a 24 hebras de fibra óptica espiraladas alrededor de un cable de acero soporte, y asegurado por una envoltura de Nylon. La fuerza de tensión es proporcionada por 24 cables de acero que rodean la envoltura. Una tira de cobre es formada y soldado alrededor de los cables de acero para proteger al núcleo contra la contaminación.

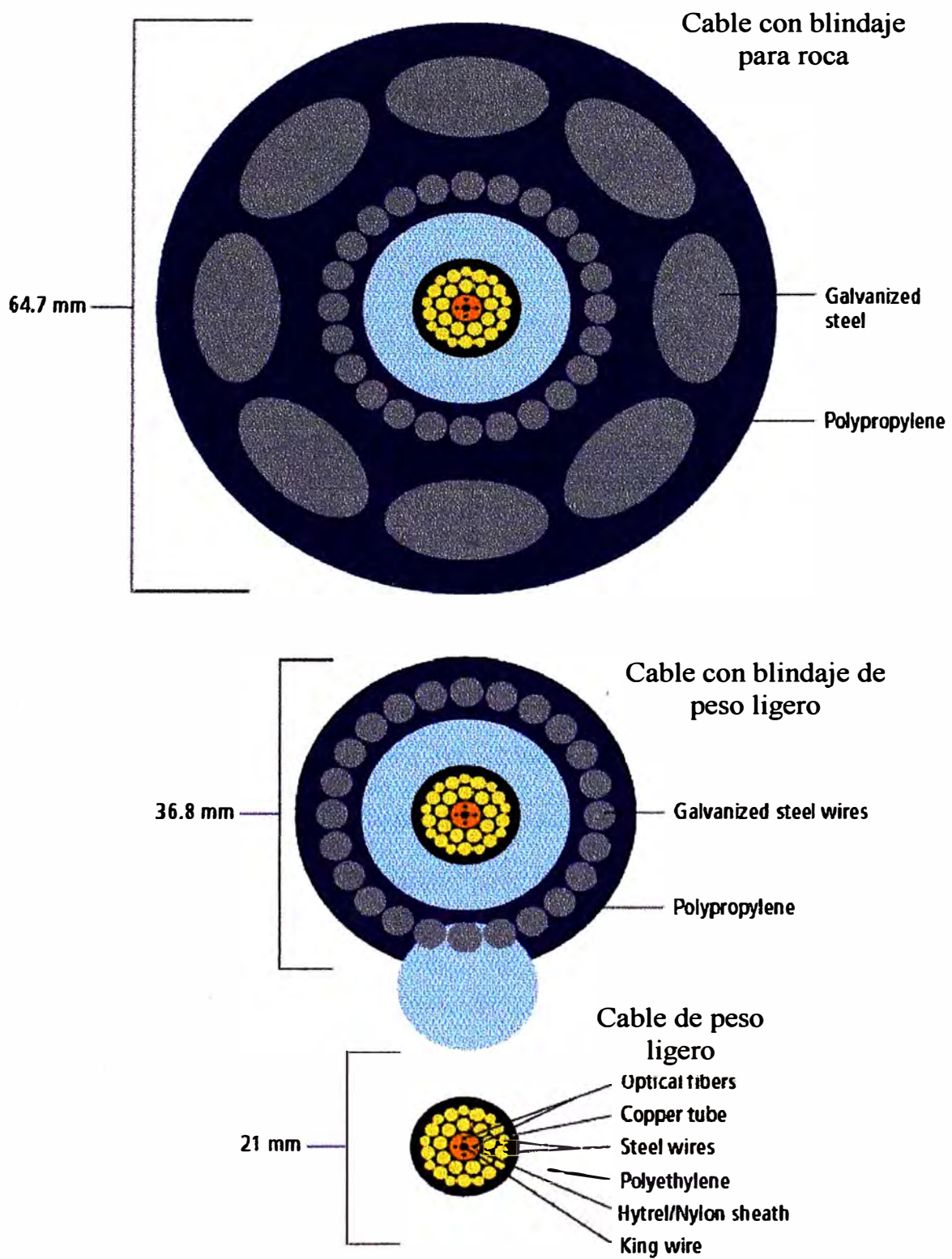


Figura 3.4. Ejemplo de cables submarinos

3.4.2. Equipos de la Estación: Son los equipos que permiten el acceso a la planta sumergida y a la red interna de los operadores en cada una de las estaciones. La recomendación G.972 nos da las definiciones de los diferentes equipos utilizados en una estación de cable, a continuación una descripción de los equipos utilizados y sus funciones y facilidades:

3.4.2.1. Equipo de transmisión: Es el equipo que termina la línea de transmisión submarina óptica en la interfaz óptica y está conectada a la interfaz del sistema.

Vamos a utilizar equipos digitales, por eso nosotros proponemos el uso de multiplexores de inserción y extracción (ADMs) que van a ser los encargados de la multiplexación SDH adoptado por las recomendaciones ITU-T y especificaciones de la ETSI. Los ADMs 2.5Gbps multiplexarán señales tributarias de 140Mbps, 155Mbps (STM-1 con interfaz eléctrica u óptico), 622Mbps (STM-4 con interfaz óptica) en una señal síncrona STM-16. Asimismo, posee la facilidad de cross-conectar las señales a nivel VC-4 (Ver el punto 2.2.3.2. de la presente Tesis). Es decir, el tráfico que se desea transportar debe ser conformado antes de la estación en cualquiera de las señales mencionadas para luego ser multiplexados y enviados al sistema por el ADM.

Un ADM generalmente consiste de los siguientes subsistemas: subsistema de cross-conexión, subsistema de sincronización, subsistema de control de equipo, subsistema de puertos de tráfico, subsistema de potencia. Cada uno de ellos cumple una función específica que en conjunto dan la versatilidad y flexibilidad al equipo.

Normalmente el ADM trabaja con $-48\text{ V DC } -20\% +20\%$ y con respecto a las condiciones ambientales, en temperatura trabaja desde los -5°C hasta $+45^{\circ}\text{C}$ y en humedad relativa hasta 95% a 35°C . Existen de todos los tamaños pero la mayoría

está en el orden de 1000mm(alto) x 500mm(ancho) x 280mm(profundidad). Asimismo es importante que el ADM posea una línea de orden (EOW) que nos permitirá usar un canal de 64Kbps dentro de la trama SDH para las comunicaciones de voz entre todas las estaciones terminales.

Para nuestro sistema existen los siguientes modos de operación:

a) Modo Multiplexor Terminal: Actúa como un concentrador de las señales tributarias para multiplexarlas dentro de una señal de alta velocidad STM-16. Referencia ITU-T G.782 Multiplexores tipo Ia y tipo IIa. Este tipo de ADM se encuentra en Tumbes y Tacna que coinciden con ser los extremos del sistema.

b) Modo Multiplexor Add/Drop: Proporciona acceso a todas las señales VC-4 dentro de una señal STM-16. Referencia ITU-T G.782 Multiplexores tipo IIIa y tipo IIIb. Este tipo de ADM los encontramos en las estaciones de Paita, Chiclayo, Trujillo, Chimbote, Guacho, Lima (2), Piso, Las Lomas, Camaná e Ilo. Sobre el ADM de Las Lomas hay que mencionar que en una etapa inicial trabaja sólo como elemento de paso, similar a un regenerador, en el que todos los STM-1 siguen hasta el siguiente ADM sin ninguna bajada.

3.4.2.2. Equipo terminal de línea: Los LTEs contienen los transmisores y receptores a 2.5Gbps que permiten acondicionar la señal óptica proveniente del ADM para poder ser transportados a través del cable submarino hasta la siguiente estación terminal. En una etapa inicial trabaja a 2.5Gbps, pero este equipo podría combinar dos señales de este tipo para enviarlo a una tasa de 5 Gbps (dos longitudes de onda). Es una solución de efectivo costo para distancias de transmisión de hasta 350Km sin ningún elemento electrónico en la línea de transmisión.

Asimismo, el LTE adiciona el código de corrección de errores en recepción (función FEC) mediante el cual la información es codificada previa a la transmisión y decodificada en el receptor, de tal manera que los errores de transmisión pueden ser corregidos. Su implementación en los sistemas de cable submarino aporta ventajas significativas en el balance total de potencia óptica del enlace y disminuye al mismo tiempo el valor mínimo de la BER de la línea del sistema. Vale decir, permitirá aumentar la longitud del salto entre terminales así como protegerla contra condiciones degradadas de funcionamiento. En contrapartida, la utilización de la función FEC supone el aumento de la velocidad binaria en la línea.

Las dimensiones estándares para estos equipos son similares a la de los ADM: 800mm(alto) x 500mm(ancho) x 280mm(profundidad) y también trabaja en temperaturas que van desde los -5°C hasta $+45^{\circ}\text{C}$.

En el caso de nuestro sistema se utiliza los LTE para los tramos más largos a saber: Paita-Chiclayo (350 Km), Chimbote-Huacho (330 Km), Pisco-Las Lomas (350Km) y Las Lomas-Camaná (320 Km), debido a que en esos tramos es necesario alzar el pulso óptico adecuadamente y así lograr llegar al siguiente punto de la red.

3.4.2.3. Digital Acces Cross Connect: Este equipo proporciona un punto centralizado para el acicalamiento, la comprobación así como la consolidación del tráfico. Técnicamente es un equipo que nos permite tener acceso a los diferentes niveles menores al STM-16 y llegar inclusive hasta las señales PDH (2Mbps) o SDH (VC-12) con la finalidad de redirigirlos e interconectarlos a otros VC-12 sin necesidad de demultiplexar la señal. Es totalmente redundante y permite conmutar en forma unidireccional o bi-direccional. El cross-connect será ubicado en la estación de terminal de Lima y actuará como un gateway natural para operar los enlaces entre

STM-1s principalmente. Su configuración exacta estará basada en las interfaces propias que utiliza la red local, los requerimientos de tráfico y planes de restauración. Es decir la señal que viene antes del DxC no necesariamente tiene que estar en determinado formato, sino que en este caso tiene más flexibilidad. Definitivamente el cross-connect nos da mayor eficiencia y mejor uso de la capacidad existente.

3.5. Características del Sistema

3.5.1. Rendimiento: El rendimiento está relacionado con los errores que puedan ocurrir en el sistema. Se toma en cuenta la recomendación G.826 de la ITU-T que especifica los eventos, parámetros y objetivos de características de error para trayectos digitales. Los eventos citados en esta recomendación son los bloques errados, segundos errados y segundos severamente errados. Un bloque es un conjunto de bits consecutivos asociados con el trayecto; cada bit pertenece a un solo bloque. Para un STM-1 (155Mbps) un bloque con error (**EB**) se refiere a un bloque de 18792 bits con uno o más errores.

Un segundo con error (**ES**) es el periodo de un segundo con uno o más bloques con errores o por lo menos con un defecto. Un segundo con muchos errores (**SES**) es el periodo de un segundo que contiene mayor o igual que 30% de bloques con errores o por lo menos un defecto. SES es un subconjunto de ES. Adicionalmente existe otro evento conocido como error de bloque de fondo (**BBE**) que es un bloque con error que no se produce como parte de un SES.

Los parámetros utilizados para evaluar las características de error mientras el trayecto está en estado de disponibilidad, son:

a) Tasa de segundos con error (**ESR**): Relación entre ES y el total de segundos de tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo.

b) Tasa de segundos con muchos errores (**SESR**): Relación entre SES y el total de segundos de tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo.

c) Tasa de errores de bloque de fondo (**BBER**): Relación entre BBEs y el total de bloques en el tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo. El cómputo total de bloques excluye todos los bloques durante los SES.

La norma especifica los objetivos para un STM-1:

ESR 1.6×10^{-1}

SESR 2×10^{-3}

BBER : 2×10^{-4}

3.5.2. Fiabilidad: El sistema ha sido diseñado para operar en condiciones normales durante 25 años, tiempo en el cual se espera tener sólo una intervención de un barco de reparación debido a fallos en los componentes submarinos.

El sistema tendrá este nivel alto de fiabilidad si se aplican estrictos procedimientos de control de calidad durante el diseño, fabricación y tendido del sistema. Dos de estos procedimientos importantes son: la cualificación de diseños y tecnologías así como la certificación de componentes.

La cualificación pretende demostrar que el comportamiento de una tecnología es compatible con la calidad de funcionamiento del sistema y que ofrece la garantía razonable de alcanzar los objetivos de fiabilidad. Se hacen, para ello, pruebas de resistencia y pruebas de vida útil a largo plazo.

La certificación pretende asegurar que los componentes satisfagan las especificaciones de calidad de funcionamiento y fiabilidad una vez instalados. Se eliminan cualquier componente no satisfactorio, especialmente aquellos con averías tempranas.

La confiabilidad del sistema aumenta debido a la ausencia de elementos activos en el tramo submarino como son los repetidores y unidades de derivación o también conocidos como Branching Unit.

3.5.3. Disponibilidad: Es el porcentaje de tiempo durante el cual el tráfico permanece o es mantenido sobre la red. Lo que realmente interesa a los proveedores de servicios y a los usuarios del cable es que siempre haya disponibilidad de sus circuitos; ya que asegurar este aspecto significará brindar mayor confiabilidad al sistema. Lo ideal es llegar al 100% y lo puede lograr.

Se dice que la disponibilidad es pobre cuando los fallos ocurren en los equipos de la estación terminal, por esa razón es que debe existir un adecuado mantenimiento preventivo que permita corregir anticipadamente cualquier causa de un posible funcionamiento anormal de los equipos y esto también se extiende al tramo terrestre, debe ser supervisado con regularidad. El mantenimiento de rutina se lleva a cabo desde el centro de gestión primario hacia las estaciones terminales utilizando el sistema de supervisión. Esta supervisión consiste en la verificación periódica de los parámetros del sistema y, cuando sea necesario, en la conmutación preventiva hacia los dispositivos redundantes.

Asimismo los cortes accidentales de cable hacen disminuir la disponibilidad y se ha notado estadísticamente que los cortes son más propensos en las costas – aguas poco profundas - que en aguas profundas. Por ello además del enterrado y armado de los cables es importante definir equipos y procedimientos de reparación a fin de facilitar dichas reparaciones y limitar el tiempo de pérdida de tráfico.

3.5.4. Flexibilidad: Es la capacidad del sistema de insertar y bajar tráfico hacia y desde la red con mucha facilidad. Se busca que el sistema sea bastante flexible. De acuerdo a la configuración establecida en los ADMs de nuestro sistema, ellos pueden recibir señales ópticas y eléctricas en sus tributarios con lo cual podemos trabajar con las señales de redes actuales y también con las que vienen. Seguramente que los avances tecnológicos en los siguientes años permitirán la conmutación a nivel óptico y para entonces el sistema ya estará preparado.

Otro aspecto de la flexibilidad también tiene que ver con la facilidad del sistema de realizar modificaciones al enrutamiento de tal modo que se implementen nuevas rutas cuando las necesidades así lo requieran o cuando el comportamiento de la demanda de capacidad así lo exija.

3.5.5. Crecimiento: Una de las características que posee el sistema es que es capaz de sostener el crecimiento de tráfico, es decir satisface las necesidades para los próximo 25 años. Se ha asignado los suficientes STM-1s a cada estación para enlazarse con Lima y los otros departamentos e inclusive se puede hasta duplicar. Además las estaciones pueden ampliar su capacidad desde 1 STM-1 hasta 16 STM-1.

Realizar un up-grade al sistema, como ya se manifestó, no depende de la fibra óptica porque ésta soporta más allá de los 2.5Gbps y además podemos hacer uso de los otros pares que aún quedan libres en el cable. Cambiando los multiplexores por otros de mayor capacidad así como los LTE lograríamos resolver el problema de la demanda de capacidad. Como ya se manifestó otra opción sería que los LTE a instalarse tengan la opción de agregársele otro STM-16 a su entrada y funcione como el sistema que inicialmente se había diseñado, es decir funcione como un Mux WDM.

3.5.6. Compatibilidad: Como es sabido existen muchos proveedores de equipos SDH, cables, equipos terminales de línea, etc. que podemos utilizar en la construcción e instalación del sistema submarino. Debido a la normalización de las interfaces, el reto de integrar cada uno de estos elementos, diseñados en forma independiente por sus fabricantes, es totalmente logrado.

Deben realizarse pruebas de laboratorio para asegurar principalmente el adecuado uso de las interfaces. Del mismo modo, con esas pruebas, se pretende establecer el menor tiempo posible para que el tráfico sea restaurado en caso de fallo o avería. Es decir, se busca la compatibilidad de todos los diseños y esto principalmente se va notar cuando se haga la integración de las alarmas de los equipos. Y aunque en algunos casos todavía algunos proveedores mantienen su sistema de supervisión separado del resto, siempre existe posibilidades de unificarlos en un gran sistema de gestión.

3.6. Enrutamiento

Nuestro cable doméstico constituye un sistema de transporte para las señales de baja velocidad que se forman en los diferentes departamentos. Es decir, es el core o núcleo de una red más grande. Por eso los STM-1 acceden a las estaciones de cable a través de la red local o también llamado backhaul. Los STM-1 llevan 63 E1s y cada E1 contiene 30 circuitos de voz o de datos pero que pueden ampliarse hasta 150 circuitos utilizando los equipos multiplicadores de conmutación.

Se ha dividido la red en tres zonas, sólo con propósitos explicativos: zona norte, la capital y la zona sur. La zona norte está formada por las estaciones de: Tumbes, Paita, Chiclayo, Trujillo, Chimbote y Huacho. La zona sur por: Pisco, Las

Lomas, Camaná, Ilo y Tacna. Enlazando ambas zonas tenemos a la capital del Perú: Lima.

La mayor parte de las comunicaciones en el Perú se concentra en Lima, asimismo las provincias establecen contacto con Lima más que con cualquier otra ciudad del país. Teniendo en cuenta esta realidad hemos desarrollado un enrutamiento que asigna a cada estación de cable un STM-1 punto a punto con Lima a la que hemos denominado **“ENLACE CAPITAL”**. Estos enlaces sólo servirán para comunicaciones con la capital, vale decir, únicamente para las que se inician en una estación terminal y finalizan en la estación de Lima. Así tenemos que para la zona norte existen 6 enlaces capitales y para la zona sur 4 enlaces capitales. La estación terminal de Las Lomas es sólo una estación de regeneración por eso es que desde allí no salen ni entran enlaces, todas son pasantes. De esta manera se logra un enlace directo, sin saltos, de la señal.

Para proveer las comunicaciones **“ZONALES”** se ha asignado un STM-1 entre dos estaciones adyacentes. Las comunicaciones zonales se refieren a aquellas que se inician en una estación cualquiera, ya sea de la zona norte o de la zona sur, y finaliza en otra cualquiera menos Lima. Así tenemos que para la zona norte existen 5 enlaces de este tipo y para la zona sur 3 enlaces, y estos a su vez se unen por medio de un STM-1 asignado entre Huacho y Pisco. A diferencia de los enlaces capitales, los STM-1 zonales realizan saltos en cada estación intermedia con la finalidad de bajar o insertar sus EIs correspondientes.

Adicionalmente a los ya mencionados, se ha asignado otros STM-1s para hacer posible las comunicaciones entre Ecuador, Perú y Chile. Estas tienen las mismas características que los STM-1s capitales, pero el objetivo en este caso es que

el cross-conector (DXC) lo encamine al STM-1 correspondiente de otro sistema que podría ser el Cable Panamericano, el SAM o Global Crossing, dos enlaces van directamente desde Tumbes hasta Tacna, dos enlaces desde Tumbes hasta Lima y finalmente otros dos enlaces desde Tacna hasta Lima. Sin embargo, también puede usarse como capacidad de restauración para los mencionados sistemas.

3.7. Operación, Administración, Mantenimiento y Aprovisionamiento

Como nuestro cable doméstico no posee repetidores ni otros elementos activos en la parte sumergida, el sistema de administración de red sólo está compuesto por el administrador de los elementos de red SDH y los LTE. Sus tareas las puede desarrollar desde un punto central desde el cual ofrece la operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento en forma local o remota. Se ha visto conveniente que exista un servidor principal y otro de backup en el que se encuentra la información reflejada para que entre en funcionamiento cuando el principal falle o no esté disponible por mantenimiento. El Centro de Gestión estará ubicado en Lima y se comunicará con todos los elementos de red del sistema mediante uno de los ADMs de Lima que actuará como puerta de enlace; esta comunicación se realiza generalmente haciendo uso de los bytes DCC ubicados en la cabecera de la señal STM-16 y a través de la interface Q propia de los equipos SDH.

Como todos los sistemas de gestión, el nuestro debe poseer una interfaz gráfica que permita fácil y rápidamente configurar los ADMs así como la visualización de las ocurrencias. Las funciones que debe incluir el sistema administrador son:

a) Administración segura y centralizada: Sólo los usuarios debidamente autorizados podrán ejecutar acciones en el sistema de acuerdo a los niveles de acceso

pre-establecidos. La centralización de la gestión permitirá un accionar más rápido a la hora de configurar nuevos enlaces, en las pruebas y sobre todo cuando se produzcan averías.

b) Administración remota de los elementos de red SDH: No sólo para poner en servicio, modificar y borrar la información de los NE sino también para configurar el enrutamiento de la red y lo referido a la arquitectura de la misma.

c) Administración de fallas: Esto con la finalidad de monitorear las condiciones de alarma que se presentan en los equipos. La información de las alarmas es coleccionada periódicamente y clasificada de acuerdo a la gravedad de las mismas para finalmente ser transferidas y reportadas. Las alarmas reportadas se irán almacenando para posteriores toma de decisiones.

d) Monitoreo del rendimiento: Esta función es para coleccionar y analizar continuamente la calidad de transmisión, es decir, de las rutas configuradas. Con esto podemos detectar y predecir la degradación de la calidad de transmisión antes de que ocurra una pérdida de tráfico. Nos brindan información sobre los BBE, ES, SES, etc.

También se ha visto conveniente que el administrador del Cross-Conector pueda ser integrado con el administrador de los elementos de red para que las tareas de monitoreo y supervisión sean más eficientes, sin embargo también podremos trabajar sin problemas si es que están separados.

En los sistemas donde se utiliza amplificadores ópticos con bombeo a distancia, en los que la planta sumergible es completamente pasiva y donde toda la parte activa está situada en el lado de transmisión o recepción del equipo de transmisión, no es preciso llevar a cabo acciones de mantenimiento específicas distintas de las adoptadas para el equipo de transmisión.

3.8. Protección y Restauración

El término protección se utiliza normalmente cuando los recursos redundantes son fijos y están asignados previamente a una tarea específica de protección, mientras que el término restablecimiento se utiliza cuando la capacidad redundante no está asignada previamente, pero debe ser “descubierta” por alguna inteligencia de la red.

Los fallos en la red se reparan con procedimientos normalizados aplicados a las conexiones de enlace o a las conexiones de sub-red. La meta y objetivo del plan de restauración de nuestro sistema será restaurar el 100% del tráfico en menos de una hora.

Sobre la protección, utilizamos la llamada redundancia del equipo o protección local, mediante el cual ciertas unidades directamente relacionados con la continuidad del tráfico de los ADM, LTE y Cross-Conector cuentan con unidades de backup como por ejemplo las fuentes de energía, interfaces de sincronización, interfaces de transmisión. En este último caso pueden desarrollar configuración 1:N, donde N es 4, 8 ó 16, dependiendo del proveedor. Es decir existe una tarjeta lista para actuar cuando cualquiera de las N falle. Asimismo, los fallos del software se pueden detectar bien por auto pruebas o bien por verificaciones durante la operación; los mecanismos que proporcionan protección a tales fallos se llaman mecanismos de defensa.

El tipo de protección utilizado es el denominado “Span Switch”, usado cuando el tráfico de servicio sobre un segmento dado ha fallado o degradado pero la capacidad de protección sobre el mismo segmento no es afectada y por consiguiente está disponible para restauración del tráfico de servicio.

Sobre la restauración, consideramos dos niveles: dentro de la red y fuera de la red. Que contempla las posibilidades de falla parcial o total de cable entre dos estaciones terminales. Como ya se manifestó anteriormente, dos de las cuatro fibras son dedicadas al tráfico de servicio, mientras que las otras dos fibras sobrantes dedicadas a la capacidad de protección. El tráfico en nuestro sistema está administrado y protegido a nivel VC-4 y la decisión de conmutar a la protección está determinada por parámetros de falla detectadas o incluidas dentro de la trama SDH. La capacidad de protección tiene un principal propósito: proteger todos los STM-1 que transporten tráfico de servicio. El tráfico de baja prioridad, también llamado tráfico interrumpible, es llevado a través de la capacidad de protección. También se podría configurar que vaya sobre el par de fibra de servicio pero al momento de la interrupción del servicio estos STM-1 no conmutan sólo aquellos considerados de alta prioridad. Después de solucionado el problema los STM-1s de servicio, llámese de alta prioridad, regresan a su posición original.

Cuando se produzca corte de cable en algún tramo sólo se restaurará los STM-1s que van a la capital a través de la ruta terrestre (fuera de la red).

3.9. Sincronización

El objetivo principal de la red de sincronización es suministrar la mejor fuente posible de temporización a todos los nodos de la Red. Para asegurar este objetivo la red de sincronización requiere fundamentalmente de dos cosas:

- a) Una fuente de temporización de buena precisión
- b) Una sistema confiable de distribución del sincronismo a todos los nodos de la red.

La arquitectura empleada actualmente para la distribución del sincronismo se basa en una distribución jerárquica de la temporización. Esta involucra el

establecimiento de un Reloj Primario de Referencia (PRC: Primary Reference Clock) en localizaciones donde pueda sincronizar a Relojes de Nodos de Tránsito (TNC: Transit Node Clock) y Relojes de Nodos Locales (LNC: Local Node Clock). Los relojes primarios son típicamente de alta precisión calibrados con el Universal Coordinated Time (UTC).

El exceso en la actividad del puntero tiene un impacto directo en el movimiento de fase de la temporización y el enganche con la fuente primaria de sincronismo. Existen dos tipos de solución recomendadas para este problema:

- * Usar el tributario de STM-n para sincronización
- * Utilizar un reloj externo a la red SDH

En una red SDH los tributarios tienen tasas definidas y los terminales de la red SDH pueden servir para distribuir sincronismo. Los elementos de red pueden entregar una fuente de referencia de sincronismo bastante precisa para sus tributarios salientes y servir como sincronismo a otras redes. Cada nodo de la red representa una posición donde se recibe la temporización derivada de la señal de entrada y retransmitida al nodo siguiente.

Por tanto, en los multiplexores ADM las fuentes de sincronización que pueden usar las unidades son: una señal de línea STM-n, una señal de temporización externa 2048Khz G.703 o un oscilador interno (operación en modo holdover).

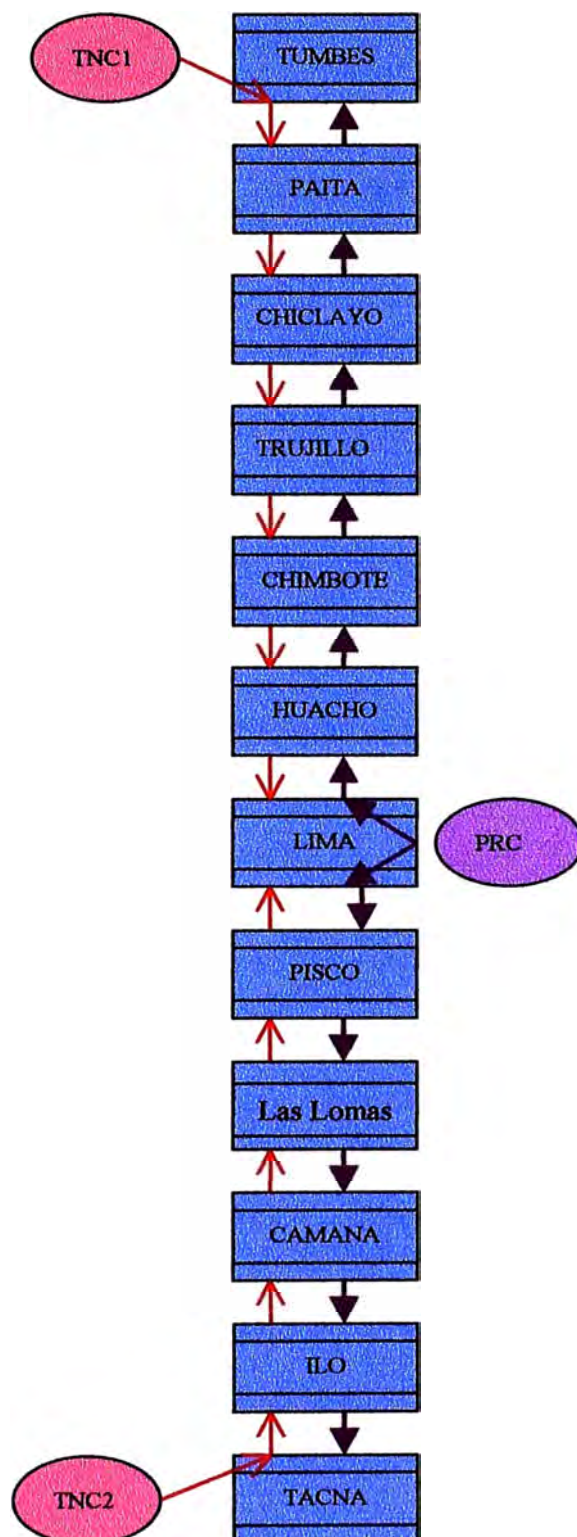


Figura 3.5. Sincronización de la red

CAPÍTULO IV COSTOS Y PRESUPUESTOS

En el presente capítulo hacemos una estimación de los costos por los equipos de transmisión y planta externa así como también hacemos referencia a ciertos aspectos comerciales. Cabe mencionar que los montos que se consignan en este capítulo son valores aproximados, ya que no existe una lista de precios disponible y abierto al público por parte de los proveedores del cual podamos valernos para hacer un cálculo más real. Generalmente estos tipos de datos son presentados cada vez que hay una convocatoria internacional.

4.1. Presupuesto de Planta Externa

Se considera planta externa todos aquellos equipos, materiales o construcciones que se tienen que utilizar fuera de la estación terminal. Como ya se mencionó antes, la planta externa de nuestro proyecto comprende el segmento submarino y el segmento terrestre. El segmento submarino es el cable submarino propiamente dicho y el segmento terrestre es la canalización entre la Beach Manhole (cámara de playa que recibe el cable submarino y se une al cable seco) y la estación terminal.

Sin duda que la planta externa es, desde el punto de vista económico, el aspecto que más eleva el presupuesto ya que los cables submarinos son manufacturados exclusivamente para un determinado sistema. Esto se hubiera

incrementado aún más si el diseño hubiera considerado cables de varios tipos para el segmento submarino y diferentes al segmento terrestre; para nuestro proyecto ambos pertenecen a la misma familia para así ahorrar los costos de fabricación.

Para determinar el costo del segmento submarino, se detalla a continuación las distancias entre las 12 estaciones y los montos por cada tramo:

Tramo	Long. (Km)	Con cable DA	Sin cable DA
Tumbes – Paita	250	\$1,550,000	\$1,250,000
Paita – Chiclayo	350	\$2,050,000	\$1,750,000
Chiclayo – Trujillo	220	\$1,400,000	\$1,100,000
Trujillo – Chimbote	220	\$1,400,000	\$1,100,000
Chimbote – Guacho	330	\$1,950,000	\$1,650,000
Huacho – Lurín	220	\$1,400,000	\$1,100,000
Lurín – Pisco	220	\$1,400,000	\$1,100,000
Pisco - Las Lomas	350	\$2,050,000	\$1,750,000
Las Lomas - Camaná	320	\$1,900,000	\$1,600,000
Camaná – Ilo	270	\$1,650,000	\$1,350,000
Ilo – Tacna	200	\$1,300,000	\$1,000,000
TOTAL	2950	\$18,050,000	\$14,750,000

Tabla 4.1. Estimado de coste de cables – parte submarina

Para el cálculo de la tabla anterior se ha considerado \$20 el metro de cable submarino del tipo Doblemente Armado y \$5 el metro de cable submarino normal.

Para el caso que se utilice cable DA, en cada tramo se considera 20Km de este tipo: 10 Km por cada estación terminal. La utilización o no del cable DA dependerá de la verificación que se haga a la ruta final por donde será tendido el cable, ya que es posible que en algunas estaciones no sea necesario su utilización.

En lo que respecta al segmento terrestre estamos considerando un máximo de 5Km para la canalización de cada estación. Asimismo se considera \$25 el metro de construcción de la canalización en terreno normal y \$30 en terreno rocoso. De acuerdo a esto tenemos:

Km por estación	No. de estaciones	Terreno Normal	Terreno Rocosos
5	12	\$1,500,000	\$1,800,000

Tabla 4.2. Estimado de coste de cables – parte terrestre

4.2. Presupuesto de Equipos de Transmisión:

El elemento principal de cada estación terminal es el ADM 2.5Gbps con la única excepción de Lima donde hay 2 ADMs. Lo que totaliza 13 ADMs para nuestro proyecto.

Para los tramos cuya distancia de estación a estación sea mayor a 300Km (Paita-Chiclayo, Chimbote-Huacho, Pisco-Las Lomas, Las Lomas-Camaná) se ha considerado insertar los LTEs que podrían funcionar también como fuente del láser de bombeo para los amplificadores ópticos con bombeo a distancia.

	ADMs	LTEs	DxC	Monto
Tumbes	1	0	0	\$60,000
Paita	1	1	0	\$160,000
Chiclayo	1	1	0	\$160,000
Trujillo	1	0	0	\$60,000
Chimbote	1	1	0	\$160,000
Guacho	1	1	0	\$160,000
Lurín	2	0	1	\$390,000
Pisco	1	1	0	\$160,000
Las Lomas	1	2	0	\$260,000
Camaná	1	1	0	\$160,000
Ilo	1	0	0	\$60,000
Tacna	1	0	0	\$60,000
TOTAL	13	8	1	\$1,850,000

Tabla 4.3. Estimado de coste de equipos de transmisión

En la tabla anterior se ha considerado los siguientes montos: \$60,000 para un ADM, \$100,000 para un LTE y \$270,000 para un DxC.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los costos para mi sistema de cable submarino. Después de ver esta tabla y agregándole un 20% por otros rubros, consideramos que el costo promedio de nuestro proyecto es de **\$33.6 Millones**.

Cable	\$18,050,000
Canalización	\$1,800,000
Equipos de Transmisión	\$1,850,000
Tendido del cable	\$4,800,000
Inst. del Cable Terrestre	\$750,000
Inst. de Equip. De Tx	\$500,000
Sistema de Gestión	\$150,000
GPS	\$10,000
Clock (Primario y Secundario)	\$40,000
Ingeniería y otros	\$65,000
TOTAL	\$28,015,000

Tabla 4.4. Estimado de coste del sistema

4.3 Costos de Restauración:

De acuerdo al diseño propuesto nuestro sistema posee un sistema de protección que está en el mismo cable. Recalamos nuevamente lo importante que es restaurar el sistema cuando se produzca corte de cable o alguna otra indisponibilidad.

Considerando que nuestros puntos de amarre están en la misma localidad de las cabeceras de la fibra óptica terrestre y siendo factible su interconexión, analizamos el costo económico de la restauración. Consideramos \$100 el costo del tránsito de un STM-1 por Km en suelo peruano, de acuerdo a esto tenemos la tabla 4.5.

Generalmente los acuerdos de restauración tienen una vigencia de 1 año y durante ese año las facilidades de restauración sólo pueden ser usados entre 20 a 30 días. Es decir, si reparar el segmento de cable submarino averiado va durar más de 1

mes, es necesario hacer un pago extra del orden de \$2500 por cada día adicional que se use la restauración.

Costos similares obtenemos cuando la restauración es vía otro cable submarino como por ejemplo el Panamericano. Aunque en este caso existe la posibilidad que los costos disminuyan si es que se llega a establecer un Acuerdo de Restauración de Ayuda Mutua entre ambos cables.

Tramo	Long. (Km)	Rest. De 1 STM-1
Tumbes - Paita	250	\$25,000
Paita - Chiclayo	350	\$35,000
Chiclayo - Trujillo	220	\$22,000
Trujillo - Chimbote	220	\$22,000
Chimbote - Huacho	330	\$33,000
Huacho – Lurín	220	\$22,000
Lurín – Pisco	220	\$22,000
Pisco - Las Lomas	350	\$35,000
Las Lomas - Camaná	320	\$32,000
Camaná – Ilo	270	\$27,000
Ilo – Tacna	200	\$20,000
TOTAL	2950	\$295,000

Tabla 4.5. Estimado de coste de restauración

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Teniendo en cuenta que los actuales medios de transmisión de la costa peruana, llámese fibra óptica terrestre o sistema de radio, son muy propensos a la acción vandálica del hombre, debido a su accesibilidad y ubicación, y a las averías producidas por fenómenos naturales como desborde de ríos, huaycos y lluvias torrenciales, un sistema de cable submarino es una alternativa que reduciría los riesgos de falla por las causas anteriormente mencionadas. Ya que por estar tendidas en aguas marinas y contar con la adecuada protección a las orillas del mar, sería muy difícil para el hombre aproximarse a la infraestructura. Sería sólo necesario realizar una adecuada supervisión de las rutas terrestres entre la beach manhole y la estación terminal.
2. Se observa que las empresas dedicadas a la telefonía fija, telefonía celular, servicios de valor agregado y al comercio, cada vez más están incrementando su radio acción y buscan establecer comunicaciones confiables y rápidas. Se podría necesitar más capacidad que la que actualmente se posee. Consideramos que un sistema de cable submarino con una capacidad de 2.5Gbps puede transportar el tráfico y los nuevos servicios que se genere en los próximos años pero con características que hacen la diferencia: fiabilidad y modernidad; con lo cual ayuda enormemente, no sustituye ni elimina, a los actuales medios de transmisión.

3. Es claro que un sistema de cable submarino requiere de una inversión bastante fuerte. Son varios millones de dólares a destinarse, sobre todo en lo que se refiere a estudio de ruta y tendido del cable, que tendría que evaluarse con mayor detenimiento. Y justamente aquí es donde podríamos recomendar que se realicen estudios económicos más profundos para determinar un modelo de negocio aplicable a esta posibilidad, de tal modo que las expectativas de mejora en la red concurren con las expectativas de retorno de inversión. Asimismo, sería recomendable ver qué tipo de organización es la más adecuada, si un cable tipo privado o uno de tipo consorcio
4. Por lo mismo que un proyecto de cable submarino está en el contexto de las redes ópticas, en el que los últimos años se vienen dando avances gigantescos en su arquitectura y equipamiento, se asume un riesgo tecnológico ya que principalmente dichas mejoras siempre se reflejan en menores costos de instalación y mantenimiento. Es decir, en pocos años, el equipamiento para mayores capacidades podría al final costar lo mismo que hoy estimamos. Pero no sólo está referido al costo, también, podrían surgir nuevas tecnologías de transmisión con características superior.
5. Los sistemas de cable submarino son, en la actualidad, los medios de transmisión sobre los cuales cerca del 80% de las telecomunicaciones internacionales. Es una tendencia mundial que podría ser de mucho beneficio para nuestras comunicaciones costeras.

ANEXO A

**CABLE DE FIBRA ÓPTICA PARA SISTEMAS SUBMARINOS SIN
REPETIDORES ALCATEL URC2**

URC2

Fibre optic cable for unrepeated submarine systems

- Up to 24 fibres
- Maximum deployment depth: 7000m
- Highly reliable over 25 years
- Highly resistant to cable breaks
- Hermetic barrier against hydrogen
- Electroding capabilities
- Complete range of armouring
- UQJ* qualified

Alcatel has developed a complete range of fibre optic submarine cables, one of them being the URC2 cable family. The URC2 cable has been designed specially for unrepeated systems, benefiting from our past extensive experience in the conception and development of submarine fibre optic cables.

The cable design is based on a welded steel tube, housing up to 24 fibres in a stress-free environment to ensure a long lifetime.

The fibres have a defined excess length relative to the tube which is filled with a water-blocking compound. The steel tube offers mechanical and hydrostatic protection and acts as an hermetic barrier against hydrogen for the optical fibres.

A steel vault protects the steel tube to complete the cable core. This vault provides a high level of protection and a very good mechanical behaviour during sea-going operations, allowing the URC2 cable to be laid in very deep water, to depths of 7000 metres.

For electroding purposes (fault location by means of sea electrodes), the cable design can also be offered with a copper conductor fitted over the steel tube.

The necessary mechanical properties of the URC2 cable family are adapted for each application. Different structures external to the steel tube, such as the number and diameter of armour wires, differ according to different water depths, seabed topology and the degree of protection needed.

Two layers of polypropylene yarn outer servings, flooded in bitumen, are applied over the armouring to provide corrosion protection.

The URC2 cable family and associated joints are designed to perform reliably for at least 25 years. The URC2 cables are also qualified for use with the Universal Quick Joint (UQJ).

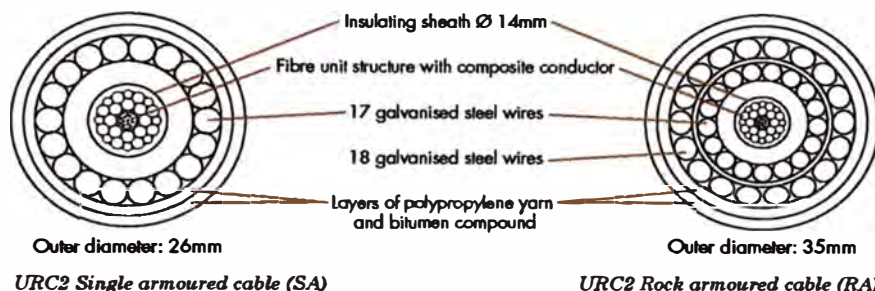
The cable design ensures that no strain is exerted on the fibres during normal operation. In the case of a cable break, high strains and seawater ingress are limited to a short length, so the majority of the cable remains serviceable.



Typical cable types from the URC2 family

*Universal Quick Joint

Cable performance



URC2 Single armoured cable (SA)

URC2 Rock armoured cable (RA)

		LW	LWP	SA	DA	RA
Performance	Unit	Values	Values	Values	Values	Values
NTTS*	kN	42	42	156	196	156
NOTS*	kN	24	24	117	147	117
NPTS*	kN	12	12	58	50	58
UTS*	kN	60	60	186	264	215

Characteristics

		LW	LWP	SA	DA	RA
Outer diameter	mm	14	19.6	26	35	35
Weight in air	kg/m	0.44	0.62	1.6	3.5	3.3
Weight in water	kg/m	0.28	0.31	1.0	2.4	2.2

*NTTS: nominal transient tensile strength

*NOTS: nominal operating tensile strength

*NPTS: nominal permanent tensile strength

*UTS: ultimate tensile strength

URC2 global submarine cable references

System	Length (km)
CC5 (France mainland-Corsica)	310
Boss Strait	255
Cyprus Domestic (Kinyras)	149
Greece Domestic	395
ECFS (Eastern Caribbean Fibre System)	810
Adria 1	460
CJFS (Cayman-Jamaica Fibre System)	868
Sesimbra-Lagos	320
Northstar	160
LFON (Libya Fibre Optic Network)	1,640
Transcan 3	203

All rights reserved © 1999
Alcatel Submarine Networks,
Nanterre

The Alcatel word and the
Alcatel logo are registered
trademarks and service marks
of Alcatel.

This publication is provided "as
is" without warranty of any
kind, either expressed or
implied, including, but not
limited to, the implied
warranties of merchantability,
fitness for a particular purpose,
or non-infringement.

Alcatel may make
improvements or changes in the
products described in this
publication at any time without
notice.

July 1999 Ed. 1

Printed in England

Alcatel Submarine Networks

72, avenue de la Liberté
92723 Nanterre cedex
France
Tel: +33 (0)1 55 51 51 51
Fax: +33 (0)1 55 51 63 28
submarine_networks@www.
alcatel.com
[http://www.alcatel.com/
telecom/snd](http://www.alcatel.com/telecom/snd)

For more details on this product
please contact:

Elisabeth Lefranc
Alcatel Submarine Networks
Product Marketing
Tel: +33 (0)1 64 49 29 49
Fax: +33 (0)1 64 49 21 07
elisabeth.lefranc@alcatel.fr



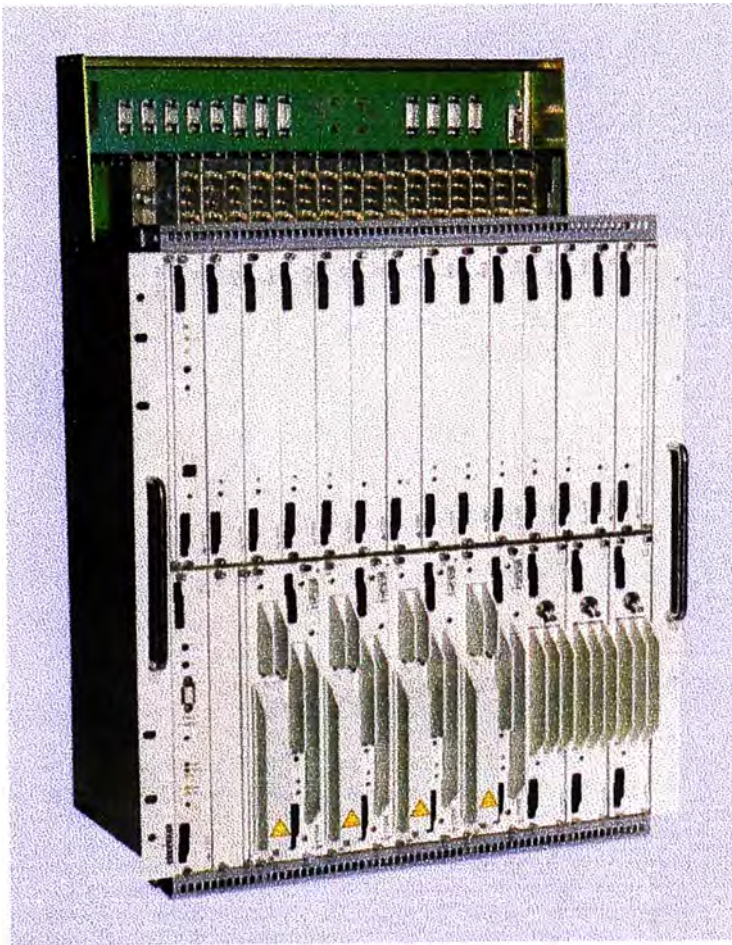
ANEXO B

MULTIPLEXOR DE INSERCIÓN Y EXTRACCIÓN

ALCATEL 1664 SM

Alcatel 1664 SM

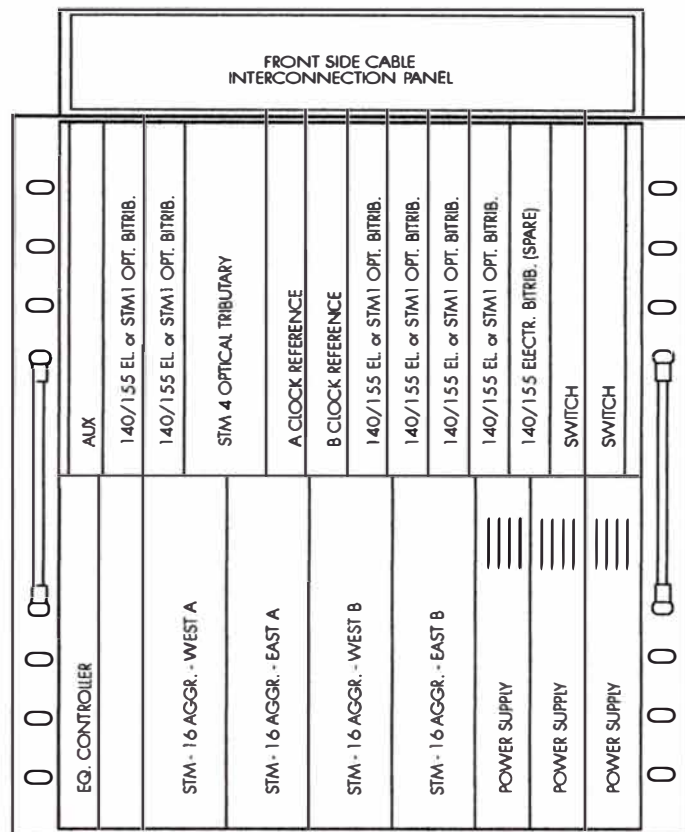
2488 Mbit/s (STM-16) Synchronous Add Drop Multiplexer



ALCATEL 1664 SM Synchronous Add-Drop Multiplexer, (2488 Mbit/s) compliance with SDH ITUT Standards.

- 140 Mbit/s plesiochronous tributaries.
- Synchronous STM 1 (155.250 Mbit/s) Electrical and Optical tributaries.
- Synchronous STM 4 (622 Mbit/s) Optical tributaries.
- Line Terminal and Add-Drop configurations unprotected or protected both at Tributary and at Common Part level.
- Wide Optical Interface choice for transmission on G652, G653 and G654 fibers.
- Self-healing ring protection schemes:
 - SNC-P at VC4 level.
 - 2 Fiber and 4 Fiber Multiplex Section Shared Protection Rings (MS-SPRINGS).
- Dual node ring interconnecting facility.
- VC4 cross connect features.
- Flexible tributary allocation inside STM-16 frame.
- Wide service channel availability.
- Network Management facilities.
- Integrated OFA capability.

Fig. 1 - 1664 SM Mechanical Layout



The Alcatel 1664 SM Synchronous Add-Drop Multiplexer, is part of Alcatel's family of products that comply with the synchronous digital hierarchy (SDH) defined in the relevant ITU-T Recommendations. The 1664 SM is an STM-16 system for transmission and add/drop of STM-1 and STM-4 signals.

The tributaries can be 140/155 Mbit/s electrical, optical STM-1 and optical STM-4.

Up to 8+1 (spare) 140 Mbit/s or STM-1 tributary units or up to 4 STM-4 tributary can be housed in the 1664 SM.

Any mix of the above tributary units is

possible in the same shelf.

The system can be configured as Line Terminal Equipment, or as Add-Drop Multiplexer in both protected and unprotected configurations for transmission on standard and dispersion shifted fibers.

The tributary subsystem can provide 1+1, or 1+N (N=max 8 Cards) HW protection facilities for electrical tributary. The STM-1 and STM-4 tributaries can be MS protected in 1:1 or 1+1 configuration.

A VC4 cross connect matrix allows the possibility to change the inframe allocation of the tributary signals in the STM-16 stream.

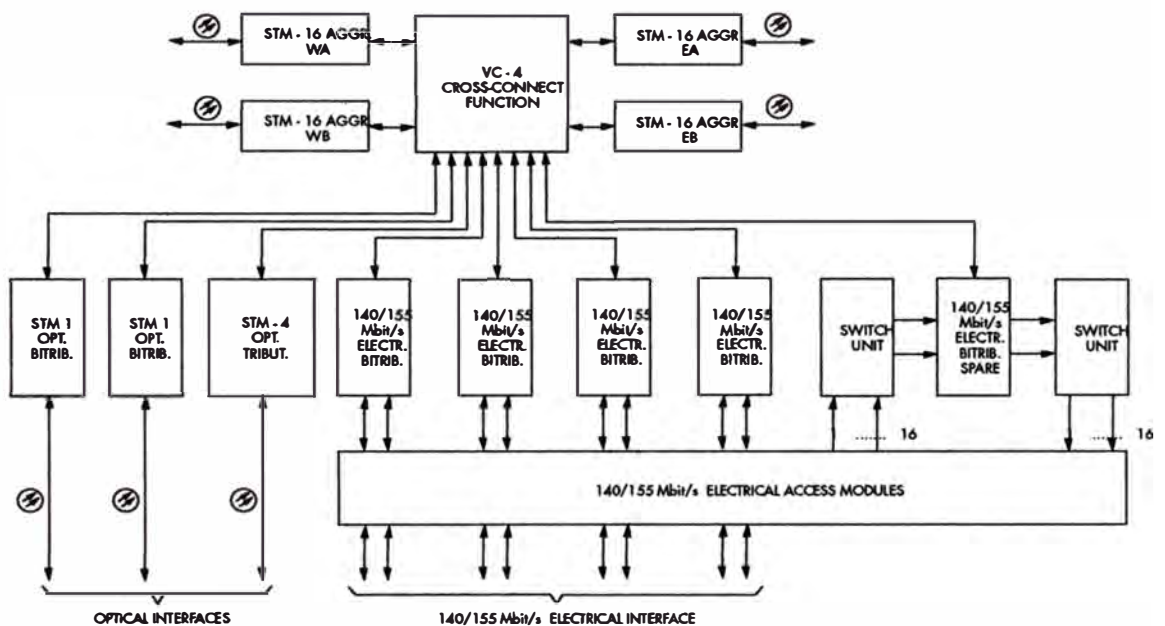
Up to 4 Aggregate units can be fitted in the shelf when the line interfaces are 1+1 (or 1:1) protected in Add-Drop configuration.

Two of the four Aggregate cards can be replaced with two Integrated Optical Fiber Amplifier units (OFA) for application on ultra long distance link.

An extensive auxiliary capacity, in accordance with SDH standards, is available for embedded services and user accessible interfaces.

The system is fully managed locally by a standard PC connected via the Craft Terminal 'F' interface which uses standard MS-DOS/Window based SW being able to make equipment

Fig.2 - 1664 SM Block Diagram



configuration Performance Monitoring and Alarm Status enquiries. Through the QB3 interface connection to TNM systems, at the EML and NML layers, is possible as part of the Telecommunications Network Management. The following main applications for the 1664 SM have been identified in the telecommunication network: metropolitan rings, regional and national backbones, linear links, international gateways and long span links. The product is suitable for applications in both linear and ring network topologies.

As far as the ring solutions are concerned, it is possible to implement SNCP and MS-SPRING protection mechanisms. Optical length spans up to about 160 Km can be covered. The 1664 SM can perform the following functions:

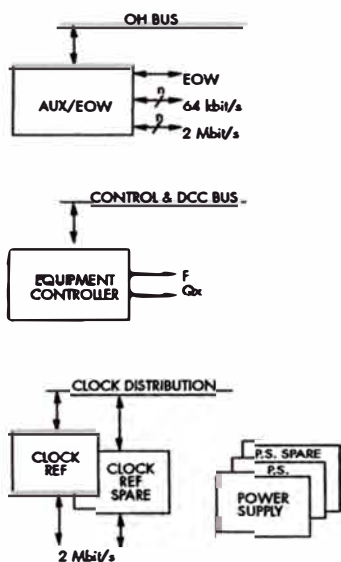
- 1+0 & 1+1 Terminal multiplexer
- Add/Drop multiplexer
- Hub

The above functions can be provided with Integrated Optical Amplifier. A VC4 cross-connect matrix allows the use of the 1664 SM as a small cross-connect node with a maximum capacity of the 16 STM-1 equivalent ports.

For long-haul an STM-16 regenerator according to ITU-T G958 is also available. The regenerator is a through-timing network element manageable remotely from the 1664 SM terminals or ADM's, and locally through an Equipment Craft Terminal (ECT). It can also be equipped with Integrated Optical Amplifiers.

This equipment adopts the most advanced technologies suitable to optimize dimensions, power consumption and reliability, such as:

- VLSI HCMOS and ECL Asics
- ElectroOptic hybrid circuits
- Surface mounting



Equipment structure

The mechanical design of the 1664 SM is compact and modular. The equipment can be mounted in the Alcatel S9 rack, which complies with ETS300119. The S9 equipment rack can house up to two 1664 SM shelves. The printed board dimensions for all units are Double Eurocards (233 mm high x 220 mm deep). Figure 1 shows an example layout of the 1664 SM shelf.

The upper part is devoted to the front interconnection panel which houses the access and protection switch modules.

The lower part of the shelf contains slots for the following units:

- 4 slots for aggregate units (2 slots can also be devoted to integrated OFA's)
- 1 slot for equipment controller
- 3 slots for power units

The middle section of the shelf contains slots for the following units:

- 9 slots for tributaries
- 2 slots for clock reference units
- 1 slot for aux unit
- 2 slots for switch units

System description

The 1664 SM can be equipped with up to four STM-16 aggregates. The STM-16 aggregate is a bidirectional interface, one STM-16 optical transmitter and one STM-16 optical receiver are mounted on each aggregate unit (transceiver). Up to two STM-16 aggregates can be replaced with two OFA Units.

The 1664 SM can be equipped with up to eight plus one 140/155 Mbit/s or STM-1 tributary units or up to four STM-4 tributary units. Both tributary and tributary cards provide bidirectional interface.

The traffic modularity is equivalent to two STM-1 channels for tributary units and four STM-1 channels for STM-4 tributary units.

The tributaries can be of the following types:

- 140/155 Mbit/s electrical according to G703

The choice between 140 or 155 Mbit/s is set via SW from both ECT or OS:

- STM-1 Optical according to G957
 - STM-4 Optical according to G957
- Every mix of tributaries is possible.

Two redundant Clock Reference units are devoted to the generation and distribution of the clock necessary to synchronize the system.

A very powerful control system guarantees complete alarm, diagnostic, configuration provisioning and performance monitoring

management.

One of the three power supplies is in hot stand-by.

Figure 2 shows an example of 1664 SM Block Diagram.

All units except the power supplies have an on-board microprocessor which is slave to the Equipment Controller. Remote inventory is also implemented. The equipment controller interfaces are:

- F interface to the local Craft Terminal
- QB3 interface to the TMN

The SDH standard offers a large capacity of overhead channels. The 1664 SM offers access to several of those channels through 64 kbit/s and 2 Mbit/s interfaces.

Direct access by microtelephone to an on-board Engineering Order Wire with DTMF signalling is possible.

Optical Interfaces

With reference to ITU-T recommendation G.957, the STM-16 optical interfaces are short and long haul types working at 1300 and 1550 nm wavelengths: S-16.1; L-16.1; L-16.2.

Two types of L-16.2 J.E. optical interfaces are also available depending of the total dispersion required.

LASERS are DFB and the detectors are in GaAs APDs and PINs.

The STM-1 tributary optical interfaces are S-1.1, L-1.1, L-1.2 types.

The STM-4 tributary optical interfaces are S-4.1 and L-4.2 types.

The Optical source are InGaAsP laser diodes FabryPerot type for 1300nm; DFB type for 1550 nm.

The optical receivers are Germanium or InGaAs APD.

Standard connectors are FC-PC or SC-PC type.

Automatic laser shutdown facility is implemented, according to CCITT Rec. G.958.

ANEXO C

MULTIPLEXOR DE INSERCIÓN Y EXTRACCIÓN

LUCENT WAVESTAR ADM 16/1

Lucent Technologies
Bell Labs Innovations



WaveStar™ ADM 16/1



The 2.5 Gbps SDH Multiplexer and Transport System



Lucent Technologies, leader in optical networking, offers the industry's widest range of high-quality communications systems. Intelligent multiplexers, flexible high-capacity transport systems and associated management systems form the building blocks of today's networks. Using these building blocks, customers are provided with equipment to meet their requirements for services, capacity and quality. The WaveStar™ ADM 16/1 is a member of the WaveStar family of Lucent Technologies optical networking products.

INTRODUCTION

The WaveStar ADM 16/1 is a high-capacity intelligent multiplexer and transport system able to multiplex PDH, SDH, SONET and Ethernet bit rates to higher levels up to 2.5 Gbps (STM-16). Because of this wide range in capacity, this system is a key element in building efficient and flexible networks.

The main strengths of the product are:

- Massive add/drop capacity directly from the STM-16 level e.g. 504 x E1, 96 x DS-3, 64 x 10/100 BASE-T, 32 x STM-1 etc.
- Compact design (single row).
- Easy installation & maintenance.
- Flexibility in applications.
- Advanced protection mechanisms allowing state-of-the-art SDH network design.

These outstanding features make the WaveStar ADM 16/1 one of the most cost-effective future-proof network elements. The system can be deployed with other Lucent Technologies optical networking products, making the WaveStar ADM 16/1 one of the main building blocks of future SDH networks.

The WaveStar ADM 16/1 is controlled and managed by Lucent Technologies Integrated Transport Management (ITM), a user-friendly network and element level management system with in-service upgrade facilities.

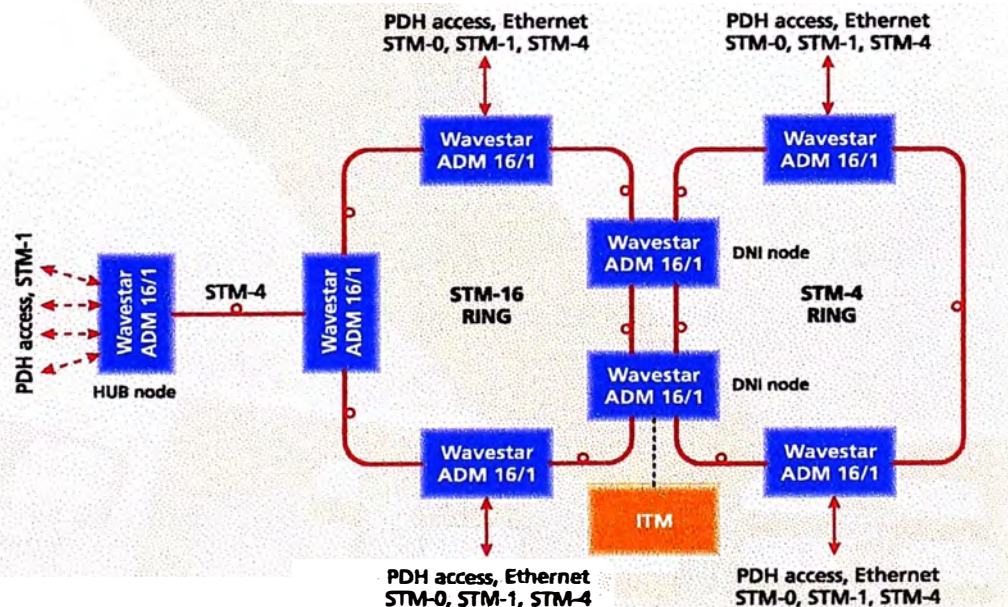


Figure 1: WaveStar ADM 16/1 Network Application

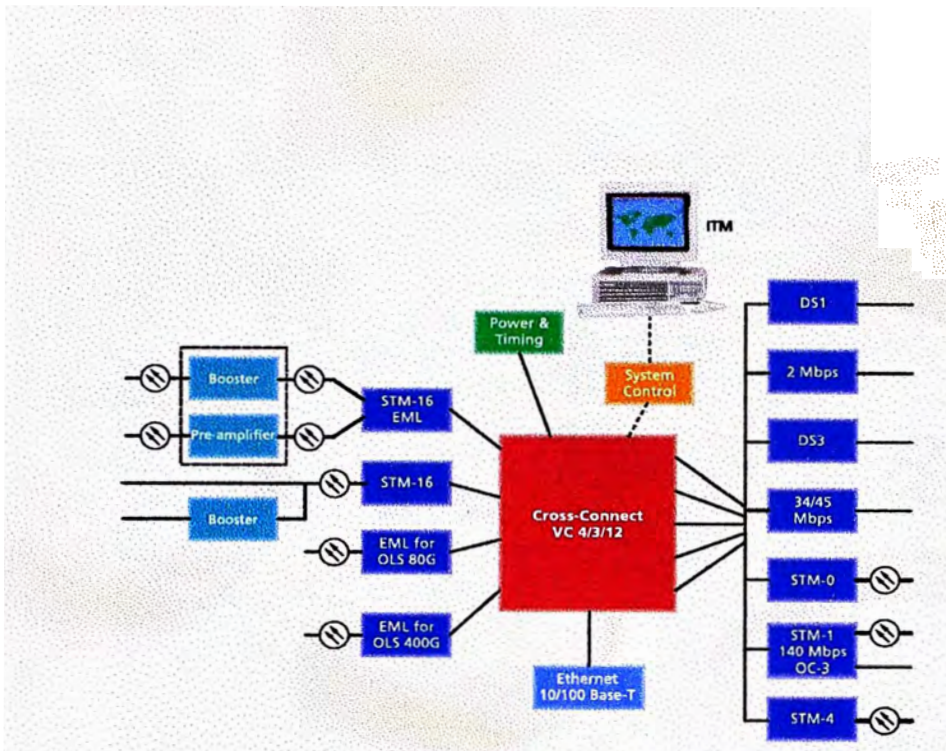


Figure 2: Basic Architecture of the WaveStar ADM 16/1

FEATURES AND BENEFITS

One of the main features of the WaveStar ADM 16/1 is the ability to add/drop and flexibly cross-connect directly from the STM-16 level. Signals that can be connected are: 1.5 (DS-1), 2 (E1), 34 (E3), 45 (DS-3), 51.8 (STM-0), 140 (E4), 155 (STM-1/OC-3) and 622 (STM-4/OC-12) Mbps. Unique to the system is that it supports the advanced protection mechanisms MS-SPRing, VC-SNC/N and Dual Node Interconnection as well as the conventional MSP. To reduce overall installation and test time, pre-fabricated cabling is used.

Summary of main features and benefits:

- Protection mechanisms supported: MS-SPRing, SNC/N, MSP and DNL.
- VC-4, VC-3 and VC-12 cross-connect capability

- Single network element for interconnection of STM-16, STM-4 and STM-1 rings
- TransLAN™-functionality based on ML-PPP at 8 x 10/100 BASE-T for each circuit pack.
- The system architecture allows a broad range of applications: add/drop, terminal, local cross-connect.
- Support of ETSI Synchronization Status Message (SSM) protocol.
- AU-3 / TU-3 to AU-4 conversion.
- Full Time Slot Assignment (TSA) for port interface signals and Time Slot Inter-change (TSI) for through channels.
- Support of PDH signals: E1, E3 and E4.
- Support of SONET Signals: DS-1, DS-3, OC-3 & OC-12.

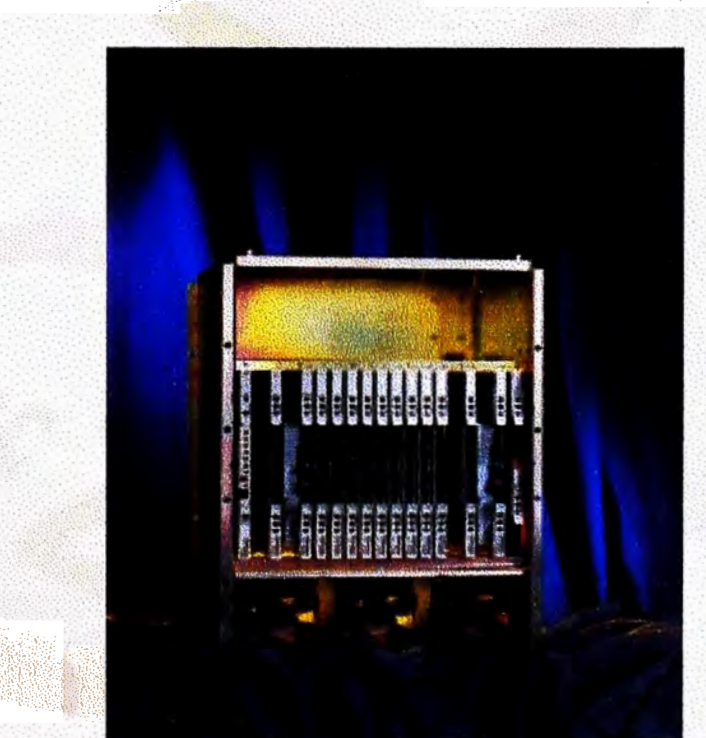


Figure 3: ADM 16/1 open shelf

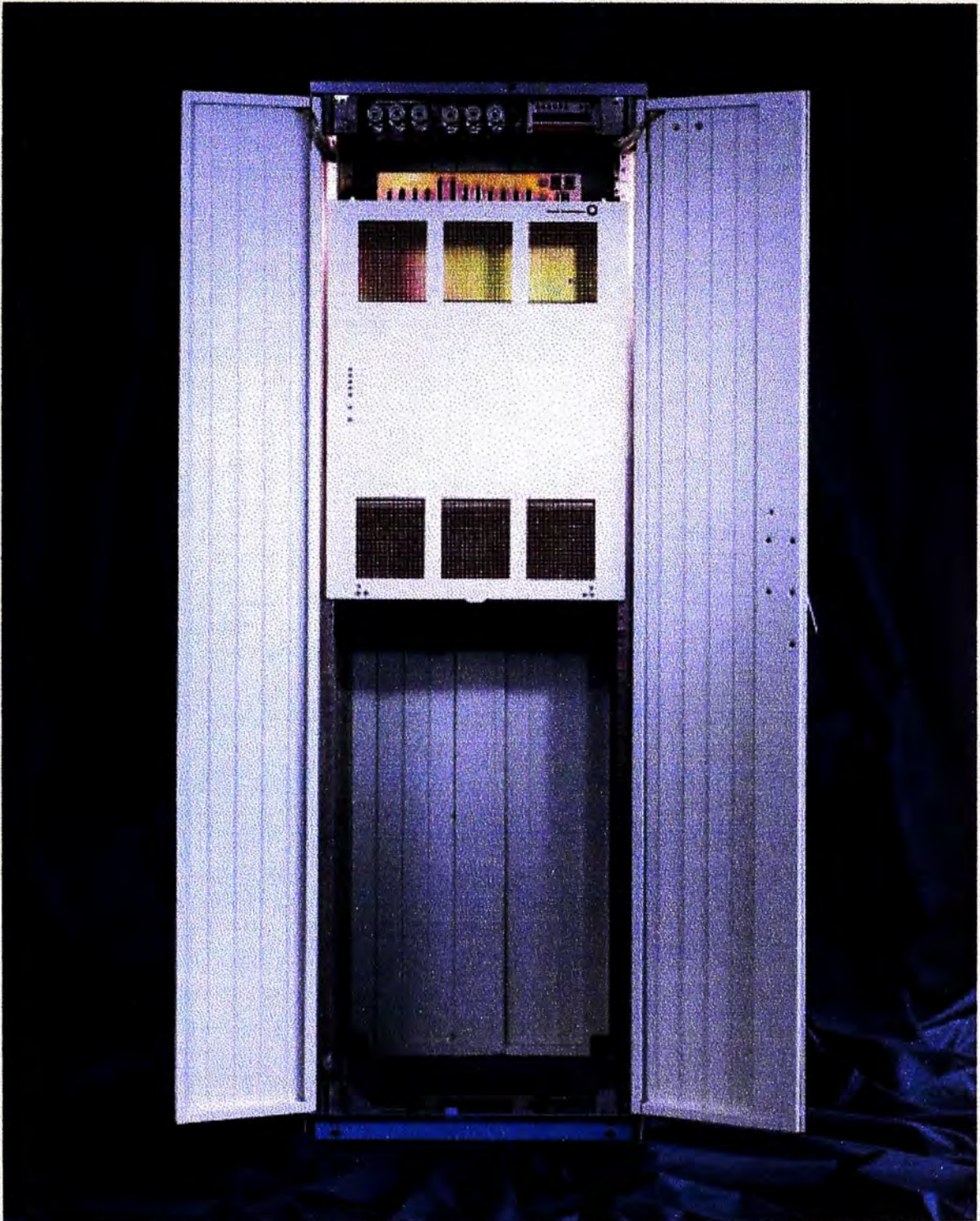


Figure 4: WaveStar ADM 16/1 Shelf in rack

- Support of SDH signals: STM-0, STM-1, STM-4 & STM-16.
- Mixing of various payload types.
- In-shelf optical booster or booster/pre-amplifier.
- Remote maintenance and management by Lucent Technologies ITM network management system.
- Compact self-supporting single shelf design and easy installation.
- Duplication of critical circuit racks in the shelf.

APPLICATIONS

The WaveStar ADM 16/1 is a single product platform for STM-16, STM-4 and STM-1 applications. Based on its flexibility with regard to interface units and cross-connect capabilities, the system supports applications for bandwidth access, service-on-demand and network protection.

The WaveStar ADM 16/1 can be applied in two tiers of the network: access & regional networks. The system allows for growth and changing service needs by supporting in-service conversions and upgrades. Inherent to its basic design, the WaveStar ADM 16/1 operates equally well within fully synchronous as well as asynchronous environments and provides a flexible link between the two.

The WaveStar ADM 16/1 supports a large variety of configurations for various network applications (see Figure 1):

- Terminal for point-to-point connections.
- Ring add/drop multiplexer or STM-4 and 16 rings.
- Access mux to DWDM, 10G, cross-connect & SONET.
- Hub mux of STM-1 and STM-4 rings to STM-16.
- Grooming of lower-order VCs.
- PDH front-end for digital cross-connect systems.
- Single ADM 16/1 for interconnection of STM-16, STM-4 and STM-1 rings (Ring Closure on tributary side).
- TransLAN-functionality for 10/100 BASE-T Ethernet signals.

Traffic can be protected by:

- Path protection: VC-n SNC/N.
- Section protection:
 - MS-SPRing, MSP.
- Dual Node Interconnection (DNI).

PRODUCT DESCRIPTION

This flexible product resulted from a big step forward in technology. Due to the high level of integration at the circuit pack level, it is possible to add/drop up to 504 x E1/DS1, 48 x E3, 64 x 10/100 BASE-T, 96 x DS3/STM-0, 32 x E4/STM-1/OC-3 or 8 x STM-4/OC-12 using only one subrack. One rack with a height of 2400 and 2600 mm, can accommodate two subracks. The heart of the WaveStar ADM 16/1 system is the Cross-Connect, which has connections with all interface cards (see Figure 2). The Cross-Connect is the core of the system.

It enables the flexible routing of VC-4, VC-3 and VC-12 between:

- Aggregate and aggregate.
- Aggregate and tributary.
- Tributary and tributary.

To contribute to overall system reliability and availability, the Cross-Connect can be protected by an accompanying unit. If required, interface redundancy can be provided. The flexible design of the WaveStar ADM 16/1 makes it possible to place interface units in almost any interface slot position of the subrack. The System Controller (SC) unit controls all major functions of the WaveStar ADM 16/1 and communicates with the centralized management system (ITM). Communication is established via the Data Communication Channels within the STM-N section overhead signals or via one of the Q-interfaces of the system. The ITM-SC manages the WaveStar ADM 16/1 at the element level and the ITM-NM can manage the system at the network level. The ITM-Craft Interface Terminal (ITM-CIT) is used for managing small networks and for maintenance purposes.

The system is synchronized by an optionally duplicated Power and Tuning generator circuit pack. Both 2048-kHz and 2048 kbps synchronization interfaces are supported. References can be selected by and prioritized from among the synchronization interfaces, STM-N interfaces and 2-Mbps tributary interfaces. Reference protection is possible by enabling the ETS 300 417-6 compliant synchronization message protocol which uses the S1-byte information (SSM support).

Technical Data

Interfaces

Compliant with the ITU-T Recommendations:

General	G.707 (includes G.708 and G.709)
Equipment	G.781, G.782, G.783, G.784, G.813
Physical interface	G.957 & G.691 for optics and G.703 for electrical interfaces.
Performance requirements	G.823, G.825, G.826
Mapping Structure	AU4, AU-3 to TU-3, TU-3 & TU-12 (TU-11), VC-4, VC-3 and VC-12

Electrical Interfaces

1.5 Mbps a-synchronous/byte-synchronous	63 (DS-1) interfaces per circuit pack
2 Mbps a-synchronous/byte-synchronous	63 (E1) interfaces per circuit pack
34 / 45-Mbps and 45 Mbps a-synchronous	12 (E3/DS-3) interfaces per circuit pack
140 Mbps/STM-1 electrical intra-station	4 (E4/STM-1) interfaces per circuit pack

Optical Interfaces

Ethernet 10/100 BASE-T & (MI-PPP)	8 interfaces per circuit pack
STM-0 (51840 kbps) interface	12 x interfaces per circuit pack
STM-1/OC-3 (155520 kbps) interface	4 x (S-1.1 & L-1.2) interfaces per circuit pack
STM-4/OC-12 (622080 kbps) interface	1 x (S-4.1 & L-4.2) interface per circuit pack
STM-16 (2 488 320 kbps) interfaces	1 x (L-16.1, L-16.2 & L-16.3) interface per circuit pack
Optical Booster/Pre-amplifier	1 x (U-16.2/3) interface per circuit pack
Optical Booster	1 x (V-16.2/3) interface per circuit pack
OLS 80G (DWDM) interworking	1 x interface per circuit pack, 16 different wavelengths (1549 - 1559 nm)
OLS 400G (DWDM) Interworking	1x interface per circuit pack, 80 different wavelengths (1530 - 1565 nm)
Data interfaces:	
Six user selectable datachannels	User can select out of E1, E2, F1, F2 and NU bytes (4xG.703 and 2xV.11)
Standard External clock interfaces	Two programmable Input/Output station clock interfaces: 2048 kHz (G703.10) or 2048 kbps (G703.6), 75 or 120 Ω

Bandwidth Management

System capacity:	VC-12: 504 x 1.5 Mbps, 504 x 2 Mbps, VC-3: 48 x 34 Mbps, 96 x 45 Mbps, 96 x STM-0, VC-4: 32 x 140 Mbps, 32 x STM-1 or 8 x STM-4
------------------	---

Complete VC-4 Cross-connecting
Higher Order Cross-connect size 64 x 64 VC-4
Lower Order Cross-connect currently 16x16 and 32 x 32 VC-4
Fixed Cross-Connect for 0x1 and 0x2 Terminal Applications
Uni & Bi-directional Cross-connecting
Broadcast connections type VC-n
VC-4-4c Continuos Concatenation
Higher Order and Lower Order broadcast functionality 1:N (NE9)

Protection access (LPT) on Scalable MS-SPRING Drop & Continue	MS-SPRING
---	-----------

Performance requirements

Jitter on STM-N interfaces	G.813, G.825
Jitter on PDH interfaces	G.823, G.783
Error Performance	G.826
Performance monitoring	G.784, G.826

Performance Monitorings

Trail Termination Points	Equipment
VC-12	for each DS1 and E1 port
VC-3	for each DS3, E3 and STM-0 interfaces
VC-4	for each E4 interface and on the Cross-Connect
MS-0	Multiplex Section on the STM-0 interfaces
MS-1	Multiplex Section on the STM-1 interfaces
MS-4	Multiplex Section on the STM-4 interfaces
RS-16	Regenerator Section of the 2.5 Gbps interfaces
MS-16	Multiplex Section of the 2.5 Gbps interfaces
Non-Intrusive Monitoring	on VC-4, VC-3 & VC-12 trails & VC-4-4c
Severity setting for alarms	on each TP instance
Enhancements	compliant 24 hr counters Unavailable period storage
History bin:	every 15 minutes (16 bins + 4 hour storage time)
	Every 2.4 hours (1 bin + 1 day storage time)
Threshold reports	

Supervision and alarms

Plug-in circuit pack Indication	LED continuously on: diagnostic error LED flashing: transmission signal error
System Controller indicators/buttons:	
LED indicators	Power, Prompt and Deferred alarm Abnormal, Info, Suppressed, UseCTT, and Disconnect
Push-buttons	Suppress, Disconnect
CIT connector F-interfaces	V.10/RS-232
Station alarm interface outputs	Floating
Miscellaneous Discretes	8 inputs and 8 outputs
Q-LAN interface	to connect to EMS or other Network Elements

Protection and redundancy

Tributary Level Redundancy:

- 1:N Equipment protection on 1.5 Mbps & 2 Mbps Interface circuit packs (N= max. 8)
- 1+1 Equipment protection on 34/45 Mbps, 45 Mbps Interface circuit packs
- 1:N Equipment protection on 140/STM1e (N= max. 4)
- 1+1 Equipment protection on Cross-connect circuit pack and Power & Timing circuit pack

SNC/N protection:

- VC-4 level
- VC-12, VC-3 level
- Programmable hold-off times

Dual Node Interworking (DNI):

- between two MS-SPRings
- between MS-SPRING and LO-SNC protected SubNetworks
- Support of VC-4-4c Concatenation

MSP:

- 1+1 MSP on optical STM-0 (G.783 Annex B), STM-1 (G.783 Annex A & B) and STM-4 (G.783 Annex A & B) tributary Interface signals
- 1+1 MSP on optical Line Interface circuit packs STM-16 (G.783 Annex A)

MS-SPRING:

- MS-SPRING in two fiber ring Add/Drop applications
- Selective MS-SPRING

Cascading of protection schemes in one Network Element

- Programmable hold-off times
- Maximum of 50 ms switching time for all protection mechanisms

Timing and Synchronization

Built-in oscillator Standard	Accuracy 4.6 ppm acc.G.813 option 1
Built-in oscillator Stratum-3	Accuracy 4.6 ppm acc.G813 option 1, Stability 0.37 ppm/ first 24 hours
Timing modes:	
Free running mode	Accuracy 4.6 ppm
Hold-over mode	
Locked mode with reference to-	one of the external sync. inputs
	- one of the 2 Mbps tributary inputs
	- one of the STM-N inputs
Automatic reference signal switching	Compliant with ETSI ETS 300 417-6
Support of Synchronization Status Message	on STM-N interfaces, 2 Mbps and at 2048 kbps external clock interface on 2 Mbps
Retiming	

Network Management

Fully manageable by ITM-NM and ITM-SC	
Local Workstation (ITM-CIT) via RJ-45 connections	V.10(RS-232 compatible) / F-interface
Access to Embedded Communication Channels via in-station Q-LAN interface	G.773-CLNS1 / 10-Base-T and 10-Base-2 Interfaces
ITM-CIT for small network management	CIT-Q connector / V.10

Physical design

Subrack dimensions	750 x 500 x 545 mm (H x W x D) In accordance with ETSI
Recommendation	
Rack Types	ETS 300 119-4 for wide racks 2000 mm Earthquake proof (zone 4) 2200 mm ETSI (D700) rack 2600 mm ETSI (D700) rack
Connectors-Optical	Standard universal build-out optical connector (FC/PC, SC) on the STM-4 and STM-16 interfaces LC connectors on STM-0 and LC or SC connectors on STM-1 interfaces
Connectors-Electrical	Choice out of: SUB-D, DIN Coax, APT Coax, Modular Jack, BT43, ISC 1.5/5.6 RJ-45
Connectors-Ethernet	
Station power input (Battery DC)	-48 or -60 V DC (Range: -40,5 ... -72 V)
Power Consumption	310 Watt for an average configuration

Environmental conditions

Acc. ETSI Requirement Class	3.1 Environment:	3.1 extended (3.1E)
	Temperature range	Humidity
Normal operation	+5°C to + 45°C	up to 90%
Short term operation	0°C to + 50°C	up to 80%*
Storage-	25°C to + 55°C	up to 100%
*Short term conditions last at most 72 hours per year during at most 15 days		

EMC

EC Declaration of Conformity per ETS300 386-1 & -2: "EMC requirements for Public Telecommunication Network Equipment" which covers:

Radiated emission	EN 55022
Conducted emission	EN 55022
Electro-static discharge	IEC 801 -2,3,4
Radiated immunity	IEC 1000-4-x series
Conducted immunity:	
- Electrical fast transients	IEC 1000-4-x series
- Surges	IEC 1000-4-x series
- Continuous wave	IEC 1000-4-x series
Compliant with LVD	EN 60950

This document is for planning purposes only, and is not intended to modify or supplement any Lucent Technologies specifications or warranties relating to these products or services. Performance figures and data quoted in this document are typical and must be specifically confirmed in writing by Lucent Technologies before they become applicable to any particular order or contract. The company reserves the right to make alterations or amendments to the detailed specifications at its discretion.

The publication of information in this document does not imply freedom from patent or other protective rights of Lucent Technologies or others.

WaveStar is a trademark of Lucent Technologies Inc.

To learn more about our comprehensive portfolio and the new WaveStar™ ONG Series, please contact your Lucent Technologies Sales Representative or call +33 49 23 83 333 Visit our web site at <http://www.lucnet-optical.com>

Copyright © 1999 Lucent Technologies. All Rights Reserved. Printed in Holland

Lucent Technologies Inc.
Marketing Communications
Order Number: PB-025/991102

Lucent Technologies
Bell Labs Innovations



ANEXO D

CROSS-CONECTOR DIGITAL ALCATEL 1664 SX



Alcatel 1664 SX
4/4 Multi-Service Core Gateway and cross Connect

The Alcatel family of intelligent Optical Multi-service Metro and Core Gateway systems (OMSG) provides you with significant advantages over your competitors. These systems are designed in particular for the real-time aspects of continuously developing networks. The ability to support a wide range of applications requested by network operators has been a determining factor when designing the OMSG.

The Multi-service Core Gateway and Cross Connect Alcatel 1664 SX considerably improves facility management, substantially reduces operational costs, and efficiently offers new services in today's and tomorrow's network environment.

This product provides real-time network control for network protection and restoration as well as re-routing and offers hubbing, traffic grooming and segregation, as well as add-drop functions. Moreover it is equipped with many other features that promote efficient use of Interoffice and local distribution facilities.

Alcatel 1664 SX provides highly available and innovative services that utilize existing facilities while also making provision for network evolution.

Intelligent Optical Multi-Service Transport Applications

Alcatel 1664 SX is the fully featured "High Performance Cross Connect" with a VC-4 switch matrix.

It is a modular, flexible Digital Cross Connect system with interfaces for the transmission of STM-16, STM-4, STM-1, and 140 Mbit/s signals switched as VC-4 signals. Additionally Alcatel 1664 SX switches concatenated VC-4 (VC-4-nc) needed for new services such as ATM and IP.

The matrix of the OMSG has a switching capacity of up to 1280 STM-1 equivalent signals.

Alcatel 1664 SX can be implemented in a wide range of configurations. The Figure 1 -Network Applications - shows some examples of the intercommunication between Alcatel SDH products

Alcatel Optical Multi-service Gateway systems offer hubbing, traffic grooming, segregation and consolidation, as well as add-drop functions and real-time networking capabilities for network protection and re-routing.

Designed for infinite scalability, for cross connecting traffic without any limitation and for "just-in-time" service delivery, the Alcatel optical multi-service metro and core gateway systems provide the node flexibility mandatory in today's dynamically growing networks, with their rapidly changing traffic flows and unprecedented bandwidth requirements.

Alcatel 1664 SX

The blocking-free 3 stage Clos matrix in the Alcatel 1664 SX grooms VC-4 traffic to higher bandwidths, i.e. efficiently concentrate the traffic from several supply lines into one high-capacity and high-speed line and vice versa. This feature enables the network operator to utilize the network economically. Alcatel 1664 SX supports linear Multiplex Section Protection (MSP) for STM-16, STM-4, and STM-1 interfaces complying with ITU-T G.841 and G.783.

The STM-16 partsystem also supports the Multiplex Section Shared Protection Rings (MS-SPRing).

Embedded in the Alcatel Network Management scheme, the Alcatel 1664 SX is fully controlled by the Operation System (OS).

Therefore it is possible to restore a path/line in the backbone network.

The Figure 2 – Restoration – shows, as an example, a failure detected on the line between the Network Elements NE "A" and NE "B" and reported to the OS.

The OS manages all resources in the meshed network and allocates spare capacity in the network for the restoration.

Thus the traffic is restored through the NE "C".

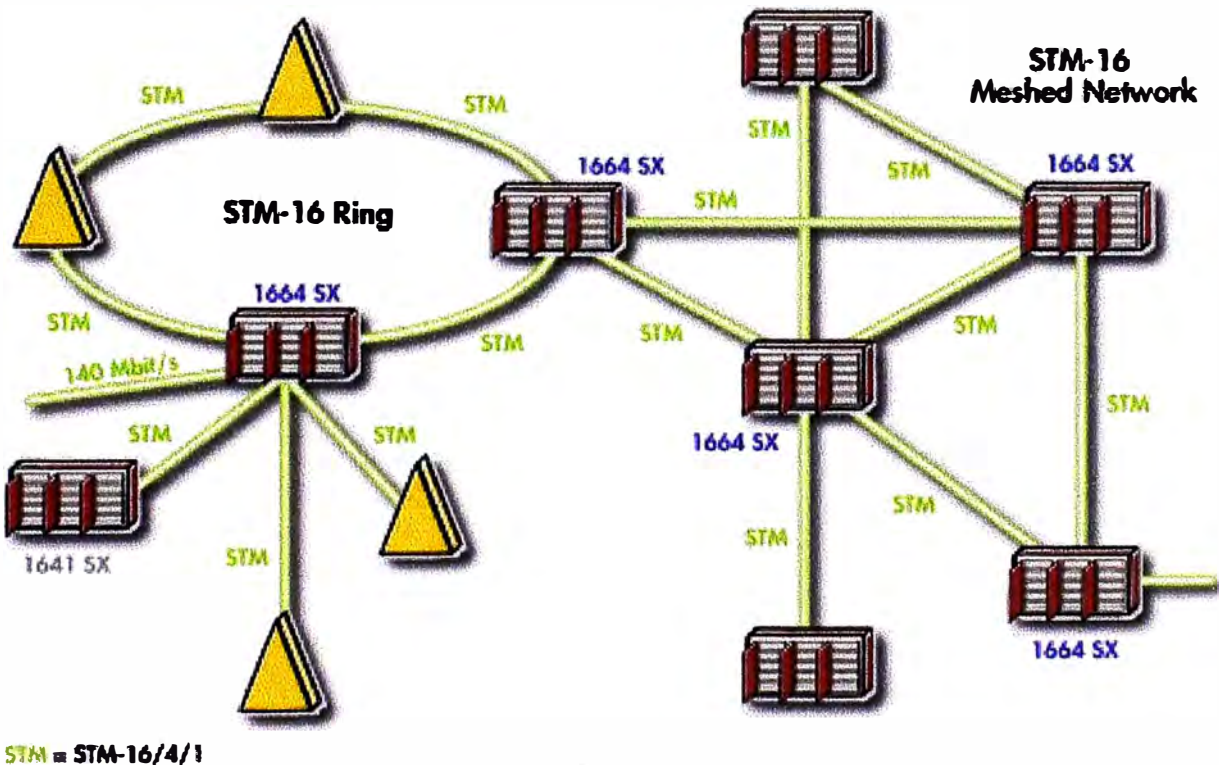


Fig. 1: Network Applications for Alcatel 1664 SX

Alcatel 1664 SX

For external transmission facilities Alcatel 1664 SX provides automatic Sub-Network Connection Protection (SNCP).

The first NE in the network to receive the VC-4 broadcasts the signal on two different paths. Each of the VC-4 is transported in an STM-16, STM-4, or STM-1 signal.

At the far end, a selector in the receiving NE chooses the VC-4 with the highest integrity.

Signal degrading on the currently selected path causes switchover to the better path.

If a failure occurs on the working path the Fast SNCP on the VC-4 level reacts in less than 50 ms in compliance with ITU-T G.841.

This feature can be used for high availability services.

If located at two different mesh points between two rings, the Alcatel 1664 SX supports the drop-and-continue function.

The SNCP selectors route signals in such a way that it is not possible that any combination of simultaneous failures on each ring causes traffic interruption.

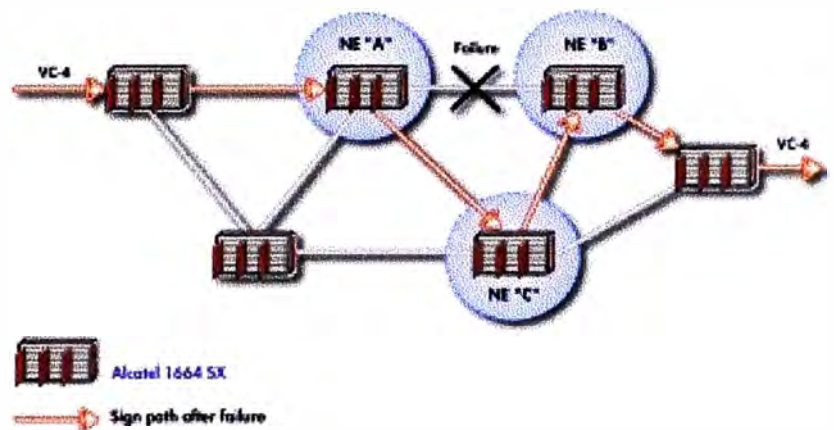


Fig. 2: Restoration

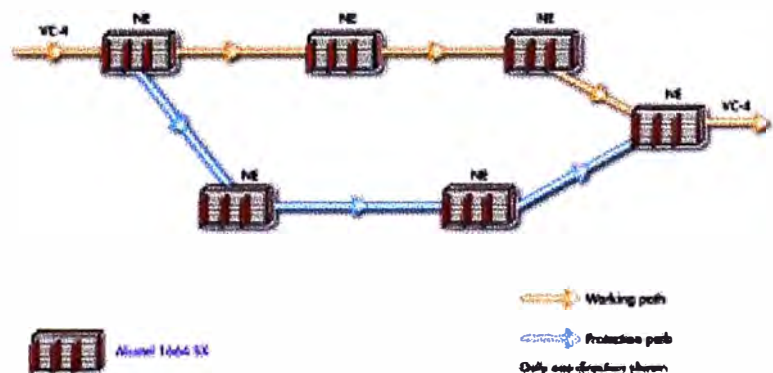


Fig. 3: Sub-Network Connection Protection (SNCP)

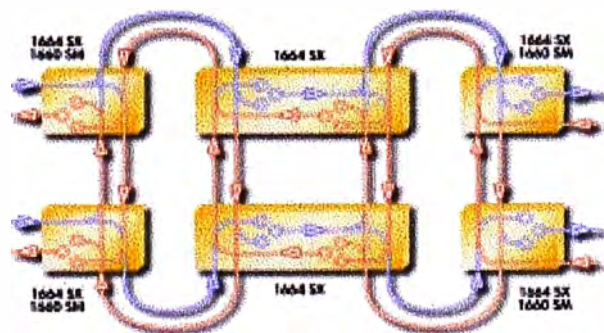


Fig. 4: Drop and Continue

Alcatel 1664 SX



Design

One of the primary philosophies behind the design of the Alcatel 1664 SX is that the system can be extended in both size and functionality according to customer demands. The OMSG matrix and network interfaces can be expanded simply by adding hardware as needed. It can be equipped with any combination of STM-16, STM-4, STM-1, and 140 Mbit/s I/O partsystems. This enables customers to tailor the system to their specific needs.

All central partsystems, i.e. matrix, clock generation and distribution, control, are working fully redundant, i.e. they are (1+1) protected.

All electrical I/O partsystems are designed for (1:N) equipment protection; for the optical I/O partsystems (1+1) line and equipment protection is provided.

The equipment practice of the Alcatel 1664 SX is complying with the ETSI standards T/TM02-13.

For redundancy reasons the partsystems are arranged in twin subracks. One rack houses two twin subracks; the racks are mounted in rows. The matrix is a non-blocking VC-4 Clos matrix from the Alcatel Large Matrix Configuration family for High-order Path Connection (HPC). Not fully equipped matrices may hitlessly be upgraded during operation.

Two configurations are available:

- > HPC1280 for up to 1280 STM-1 equivalent data streams, upgradable in steps of 32 STM-1 equivalents. This configuration is especially designed for large network applications providing SNCP, Drop&Continue and Protected Broadcast in an I/O group.

- > HPC640 (with fast VC-4 SNCP) for up to 640 STM-1 equivalent data streams, upgradable in steps of 16 STM-1 equivalents. This configuration is especially designed for network restoration applications.

The Alcatel 1664 SX is an integral part of the Alcatel SDH Network Management strategy. It is controlled by the Element Manager (EM) Alcatel 1353 SH. Since the EM controls different types of network element, the resources of several EMs are managed by the Alcatel 1354 RM Network Manager. In case of a restorable network, the Restoration Manager for 4/4 Core Gateways Alcatel 1354 NP ensures path restoration in a few seconds while minimizing the network protection capacity provision.

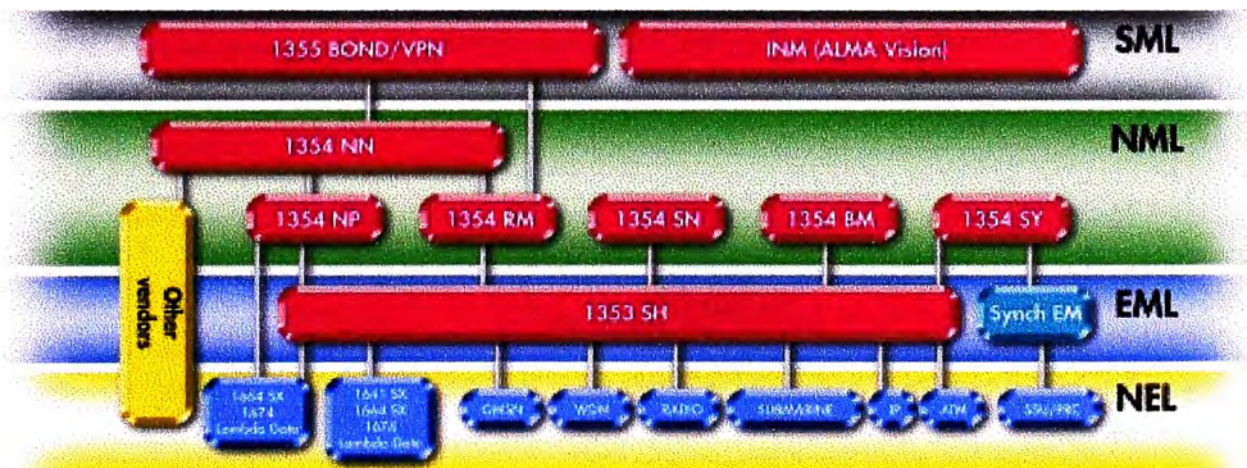


Fig. 5: Network Management Strategy

Alcatel 1664 SX



Operation

The Alcatel 1664 SX receives the incoming synchronous signals (STM-16, STM-4, STM-1) and processes them according to ITU-T and ETSI. The plesiochronous 140 Mbit/s signal is mapped into VC-4 according to ITU-T Recommendation G.707 and ETSI requirements. The matrix of the Alcatel 1664 SX provides cross connection for VC-4 and VC-4-nc container types. The Alcatel 1664 SX can be equipped modularly with

- > STM-16 optical ports complying with G.957. Therefore STM-16 optical interfaces can be short-haul (1300 nm) and long-haul types (1550 nm); all standard types of interface are available. Colored lasers are provided for direct and cost-effective connection to WDM equipment.
- > STM-4 optical ports complying with G.957. The STM-4 optical interfaces are S-4.1, L-4.1, L-4.2.
- > STM-1 optical ports complying with G.957. The STM-1 optical interfaces are S-1.1, L-1.1, L-1.2.
- > STM-1 electrical ports, complying with G.703.
- > PDH electrical ports (140 Mbit/s), complying with G.703.

The clock can be used in the Synchronization Supply Unit (SSU) mode or in the Synchronous Equipment Clock (SEC) mode; it complies with the ITU-T Recommendations G.812/813 as regards the oscillator holdover stability and G.703 as regards the reference inputs. The system clock distribution in the OMSG is redundant.

The task of the clock partsystem is to distribute and to supervise the clock and timing reference signals.

The system clock can be synchronized to one of four 2.048 MHz timing references in the modes

- > Automatic choice
- > Manual choice
- > Free-running.

The OMSG uses a three-tiered hierarchical distributed processor system for control. The central processor, Administrative Unit AU, hosts all application and configuration software. The application software comprises the internal Alcatel Information Model Interface, which allows connecting the OMSG to the OS system-specific application software. The AU provides a non-volatile memory storage system for all system data. The second stage of the control system consists in the satellite processors controlling the twin subracks, the third stage in the processing elements on the boards. To protect the internal data communication all links and processing elements are redundant. Control access to the OMSG can be obtained by local or remote Element Managers EM and by the OS (Network Management).

The following control interfaces are available:

- > LAN interface for connecting the local/remote EM
- > V.24/V.28 interface for connecting the maintenance equipment
- > Q interface for control by an OS
- > Management information via DCC with full support of IS-IS and ES-IS routing.

On the workstation of the EM a window system based on HP OPENVIEW provides a user-friendly graphical interface. The operator is guided by the system throughout the working sequences; all operator inputs are checked. Functions available to the operator can be configured by the Security Management. Access rights for functions and users (operator) can be set by an administrator.

The following management functions are available:

- > Security Management
- > Configuration Management
- > Performance Management
- > Fault Management
- > Path Management.

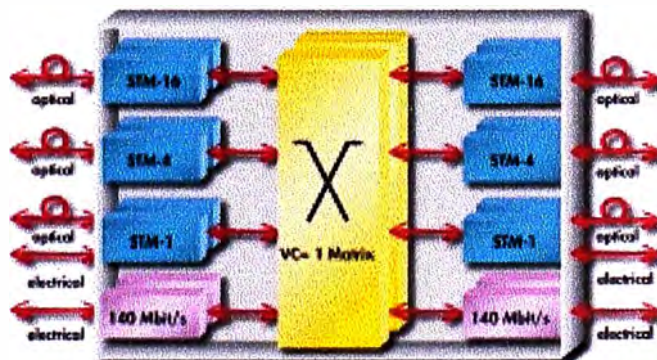


Fig. 6: Alcatel 1664 SX Overview

Alcatel 1664 SX

Technical Summary

Optical Interfaces

(STM-16, STM-4, STM-1)

- > Signal handling complying with ITU-T Rec. G.707
- > Optical characteristics complying with ITU-T Rec. G.957
- > Application code:
 - S-16.1, S-4.1, S-1.1 (1300 nm, short-haul)
 - L-16.1, L-4.1, L-1.1 (1300 nm, long-haul)
 - L-16.2, L-4.2, L-1.2 (1500 nm, long-haul)
 - L-16.2JE (Joint Engineering)
- > Colored laser (STM-16)
- > Connector SC, FC/PC
- > Automatic Laser Shutdown ALS

Electrical Interface (STM-1, PDH)

- > Electrical characteristics complying with ITU-T Rec. G.703
- > PDH interface: 140 Mbit/s
- > Line impedance: 75 Ohm
- > Coaxial Connector: 1.0/2.3

Input/Output Functions

- > Transparent mode (VC-4)
 - Termination and adaptation complying with ITU-T Rec.783
 - Higher-order Connection Supervision HCS
- > SOH handling
 - MS-AIS, MS-RFI in M1 and K2 bytes
 - Section trace (STM-16) in J0 byte
 - DCC in D1...D12 bytes
 - APS using K1, K2 bytes
 - Synchronization status in S1 byte
 - E1, E2, F1 bytes optional

- > POH handling (VC-4)
 - Parity BIP-8 in B3 byte
 - Signal label in C2 byte
 - Path trace in J1 byte
 - REI and RFI in G1 byte
 - Higher-order path Tandem Connection Monitoring on VC-4 level supported

- > Network Protections
 - MSP linear (< 50 ms)
 - MS-SPRing (STM-16)
 - SNCP/N and SNCP/I higher-order
 - Drop and continue

Matrix Function

- > Three-stage Clos structure
- > Unidirectional, bidirectional, and broadcast connections (VC-4)
- > Switching of concatenated VC-4
- > 100 % non-blocking (unidir./bidir.)
- > Matrix size
 - 1280 STM-1 equivalents with SNCP, Drop&Continue and Protected Broadcast in an I/O group
 - 640 STM-1 equivalents with SNCP

Clock Generation and Distribution

- > SSU mode
- > SEC mode complying with ITU-T Rec. G.812/B13
- > Timing reference signal
 - 2048 kHz clock from external timing reference
 - 2048 kHz clock derived from STM-1 or STM-16 input signal
 - 2048 kHz timing reference output
- > Operation modes: Tracking, Hold-over, Free-running
- > 1+1 equipment protection

Control

- > Controlling up to 120 system subbracks
- > Local/remote craft terminal via F-interface
- > Network Management via Q-interface, protocol stack Q3
- > Time and date source
 - GPS or internal clock
 - Network Timing Protocol NTP via DCC/Q-interface

System Management

- > General
 - Support of DCC routing
 - Remote inventory of every replaceable unit
- > Security Management SM
 - Functional Access Domains FAD
 - Network Access Domains NAD
 - Authentication of users by name and password
 - User profile with access rights
 - Session management, automatic logoff
 - User and activity log
- > Configuration Management CM
 - Configuration of ports/TPs, connections, clock, protection
- > Performance Management PM
 - Collecting and filtering of events, based on ITU-T Rec. G.826
 - Setting thresholds and Threshold Crossing Notification TCN
 - PM statistics and data export
- > Fault Management FM (Alarms)
 - Alarm status of ports/TPs, connections, equipment
 - Alarm history and logs
 - Alarm filtering and suppression
 - Trouble Ticketing

www.alcatel.com

Alcatel and the Alcatel logo are registered trademarks of Alcatel. All other trademarks are the property of their respective owners.

Alcatel assumes no responsibility for the accuracy of the product information presented, which is subject to change without notice.
© 12 2002 Alcatel. All rights reserved. 3AL 69223 AAAA - Ed.05. Printed in Italy

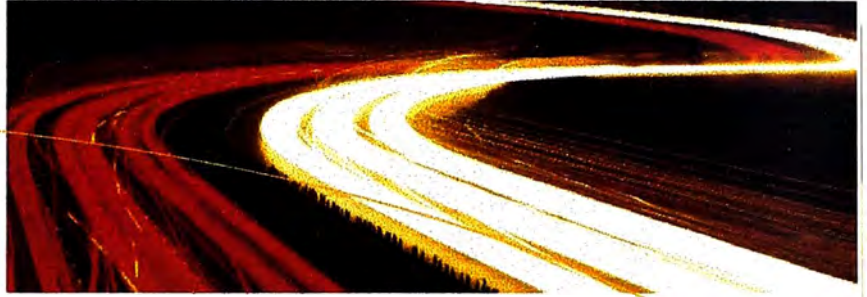
ARCHITECTS OF AN INTERNET WORLD



ANEXO E

CROSS-CONECTOR DIGITAL NORTEL TN-40X/1

Product Brief



NORTEL NETWORKS OPTICAL INTERNET – TN-40X/1 CROSS-CONNECT

The Complete Cross-Connect Solution

The TN-40X/1 is a best in class, scalable cross-connect managed by Nortel Networks industry leading Preside service enabling management software.

Grow your network smoothly

- Economic start-up configuration – small sub-rack of 8 or 16 STM-1 equivalent capacity.
- Fully protected high-end configurations – 512 STM-1 equivalent ports.
- Flexible equipment locating options in typical CO and POP environment – supports physically distributed bays.

Key Benefits

The TN-40X/1 has been widely deployed and provides a high level of flexibility and resilience with a low cost of ownership:

- 512 STM-1 equivalent non-blocking capacity
- Rich set of interfaces
- Comprehensive network and port protection
- Comprehensive network connectivity and performance management

Flexibility to mix and match access ports

A rich range of port types to meet typical growth and churn requirements of traffic hubs.

- STM-4 optical
- STM-1 optical
- STM-1 electrical
- 140 Mbit/s
- 45 Mbit/s
- 34 Mbit/s
- 2 Mbit/s

Required resilience at major traffic hubs

- 1:N equipment protection (2 Mbit/s)
- 1+1 equipment and line protection (34, 45, 140 Mbit/s)
- 1:N equipment and 1+1 MSP (STM-N)
- Path protection (2, 34, 45, 140 Mbit/s)
- Sub-network protection (VC-N and VC-4-4c)



NORTEL
NETWORKS™

Core features of the 4/3/1 cross-connect

- Capacity up to 512 x STM-1 equivalents
- VC-12, VC-2, VC-3 and VC-4 connectivity
- Enhanced connectivity – supports uni-directional, bi-directional broadcast and split access loopback, monitor and broadcast connections
- Full range of SDH and PDH port types
- Supports path, MSP and interface protection options

Versatile fit for all current and emerging applications

Traffic management for the network and traffic consolidation typically takes place at the following hubs:

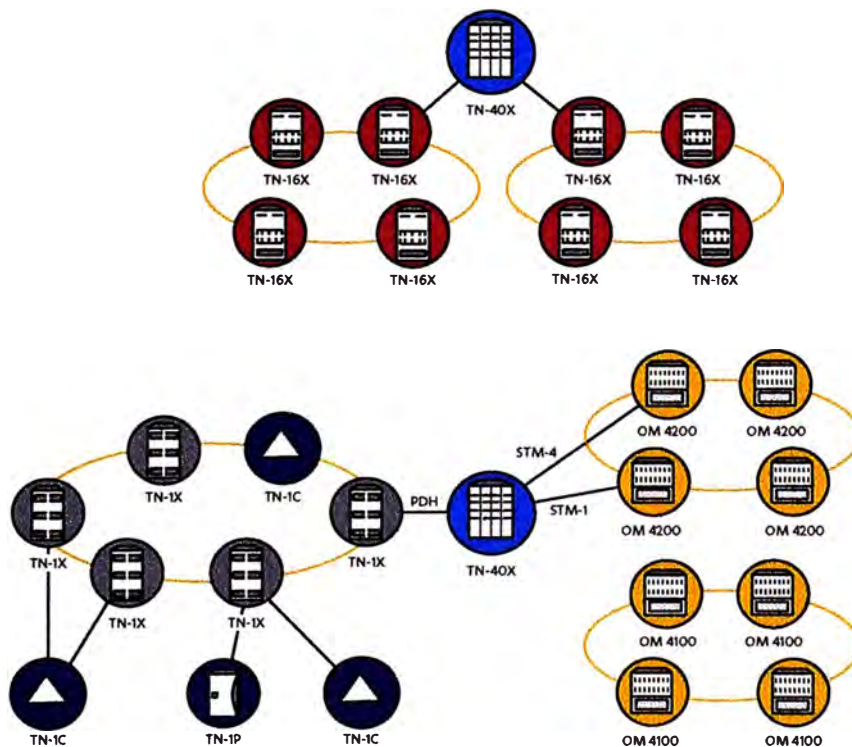
At transport network boundaries

- Between SDH network tiers e.g. collector, inter-office and backbone networks.
- The VC-12, VC-3, VC-4 granularity of the TN-40X/1 provides the required flexibility.

At host service nodes

- Within Central Office and other Points of Presence.
- To interface Voice and Data switches and routers which are terminating service traffic.
- To interface other CO equipment providing gateway functions e.g. Data services bypass.
- The completeness of the feature set and scalable capacity allows even the most demanding needs to be met.

Metro and Backbone Optical Networks connections using TN-40X/1 Cross-Connect



Preside service enabling management software

A suite of next generation management applications, enabling service providers an efficient, cost effective service delivery platform, making the creation, deployment and management of high value services faster and easier than ever.

Preside offers a best-in-class multi-domain and multi-vendor management solution for converging networks, networks containing SDH, SONET, ATM/FR, Telephony and IP.

Nortel Networks Preside unleashes the value of the next generation networks by:

- Supporting rapid, easy service creation, deployment and management
- Enabling service providers to shift their focus from infrastructure management to service delivery
- Enabling the creation of personalised relationships with customers, such as customer self-select services

Preside's carrier grade value-added applications deliver:

- Simplicity – A single management solution for complex networks, with a consistent, easy to use visual interface
- Openness – Interworking with existing operations systems and new application modules from third party sources
- Scalability – from small networks to networks containing 10,000 Network Elements
- Integration – Unified view of multi-vendor, multi-domain networks.

Nortel Networks SDH Family

- TN-1X STM-1 Full Access Add/Drop Multiplexer
- TN-1X/4 STM-1/4 Partial Access STM-4 Add/Drop Multiplexer
- TN-1X/S STM-1 Add/Drop Multiplexer for street cabinets
- TN-1C STM-1 Add/Drop Multiplexer for customer premises and cabinets
- TN-1P STM-1 Terminal Multiplexer for customer premises
- OPTera Metro 4100 STM-4 Full Access Add/Drop Multiplexer
- OPTera Metro 4200 STM-16 Full Access Add/Drop Multiplexer
- TN-64X STM-64 Transport and hub High Capacity Solutions
- OPTera Metro 5000 Family – a metro optical DWDM platform
- OPTera Long Haul – a long haul family of optical DWDM
- Preside service enabling management software connectivity and performance management



Why Nortel Networks?

- Global leader in the development and deployment of SDH and SONET transmission and access solutions providing a complete product portfolio with total functional coverage.
- IP-optimised optical networking solutions, designed with high reliability to support revenue earning customer applications and global web-based services.
- Mission-critical, next-generation networks unifying data and telephony in order to revolutionise the way people work, do business, enjoy entertainment and share ideas to create new knowledge.
- The highest per-fibre capacity commercially available in the marketplace – Nortel Networks 10 Gbit/s transmission system, plus Dense-Wavelength Division Multiplexing (DWDM), provides up to 6.4 Tbit/s of capacity.
- A leader in managed network solutions through Preside Serviceware, Nortel Networks next generation suite of multi-domain, multi-vendor management software is designed to enable fast, easy service creation, deployment and management. Preside enables service providers to shift their focus away from management of infrastructure and on to the creation and delivery of revenue-generating services accurately tailored to their customers needs.
- Compliant with European EMC requirements, a member of numerous telecommunications standards bodies.

Nortel Networks

Maidenhead Office Park
Westacott Way
Maidenhead, Berkshire
SL6 3QH United Kingdom

European Customer Information Centre

Tel 00 800 8008 9009*
+ 44 (0) 20 8920 4618

* Number accessible from most European countries

Fax

+ 44 (0) 20 8945 3060

e-mail

euroinfo@nortelnetworks.com

Internet

www.nortelnetworks.com

For more information please call your Nortel Network representative.

© 2000 Nortel Networks. All rights reserved.

Nortel, Nortel Networks, The Nortel Networks corporate logo, the globe/mark design, Unified Networks and Universal Edge are trademarks of Nortel Networks. All third-party trademarks are recognized and acknowledged. Information is subject to change since Nortel Networks reserves the right to make changes, without notice, in equipment design or components as engineering or manufacturing methods may warrant. The description of features and services in this document does not imply availability in all markets.

Published by Nortel Networks. Printed in UK.

<http://www.nortelnetworks.com>

Publication ref: 49.265.02-01-01EU_EN

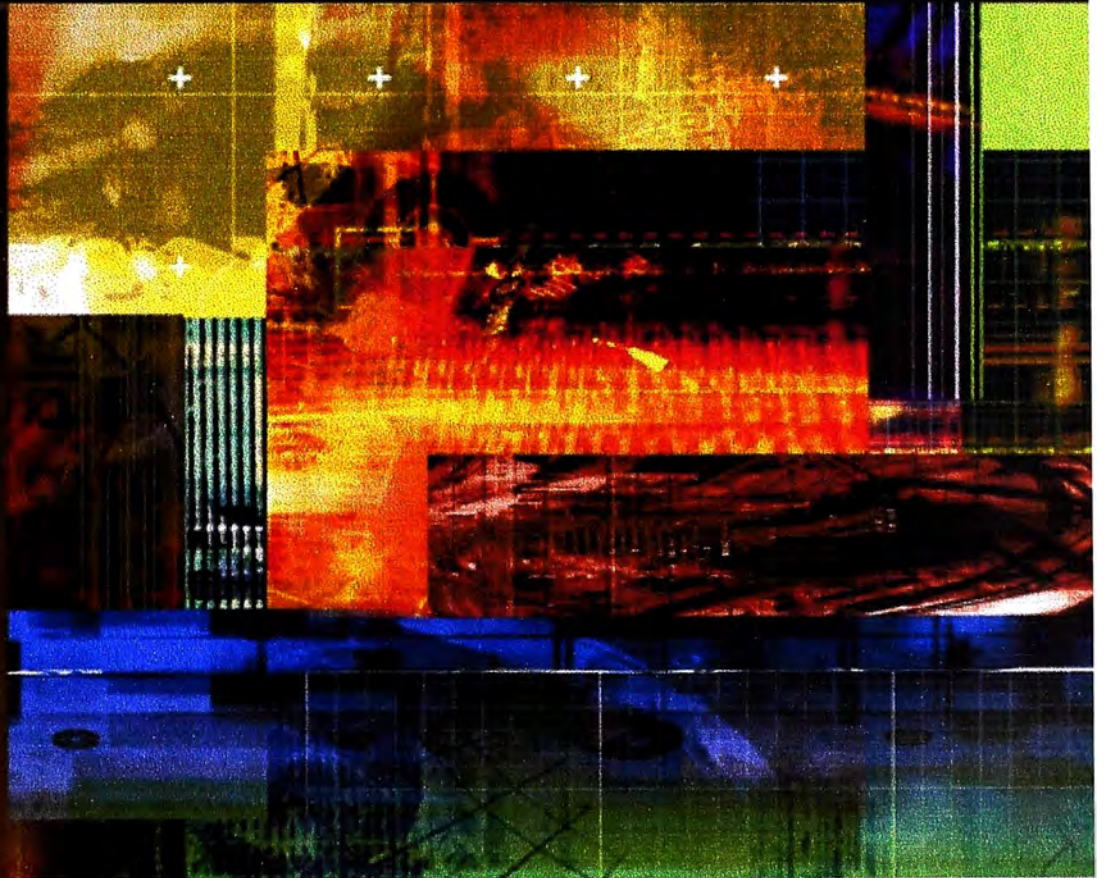
Printed January 2001



NORTEL
NETWORKS™

ANEXO F

INTRODUCCIÓN A E1/2.048 Mbps



Technology Series

Introduction to E1/2.048 Mbit/s

302 Enzo Drive
San Jose CA 95138 USA
ph 1 408 363 8000
fax 1 408 363 8313
info@sunrisetelecom.com
www.sunrisetelecom.com

Publication Number TEC-GEN-001 Rev. B

1 OVERVIEW

This technology note will introduce you to the basic concepts in 2.048 Mbit/s technology, including sampling a signal, line coding, framing, and basic alarms/errors. This note can be used as an introduction to the technology, as well as a field reference guide for everyday use.

2 PDH STRUCTURE

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy

- Numerous signals, almost synchronous, are received at a mux, where they are multiplexed into a single signal.
- The entire signal must be demultiplexed in order to switch one lower-order signal.
- No standards exist for optical transmission equipment, meaning different manufacturers make equipment to different standards, so the equipment may not interoperate.
- The E1 or 2.048 Mbit/s signal (bitstream) is achieved by multiplexing 32 individual 64 kbit/s bitstreams.

3 DIGITIZING A VOICE SIGNAL

To transmit voice in a digital medium such as a 2.048 Mbit/s line, the analog voice signal needs to be transformed into a binary format, then converted into a bitstream suitable for digital transmission.

3.1 Sampling/Nyquist Theorem

A signal must be sampled at a minimum of twice its maximum frequency in order to be reconstructed in an analog format without major loss of information.

- For voice signals, a maximum frequency of 4000 Hz provides adequate clarity and contains the majority of the information while conserving transmission bandwidth. Thus, a 4000 Hz voice signal must be sampled at at least 8000 samples per second.
- Each amplitude value (sample) is expressed as a 13-bit code "word".

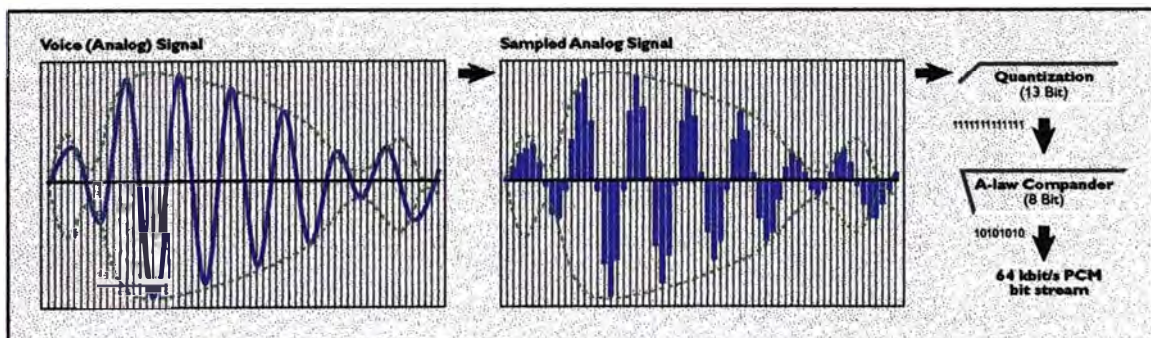


Figure 2 Converting a voice signal (Pulse Code Modulation, PCM)

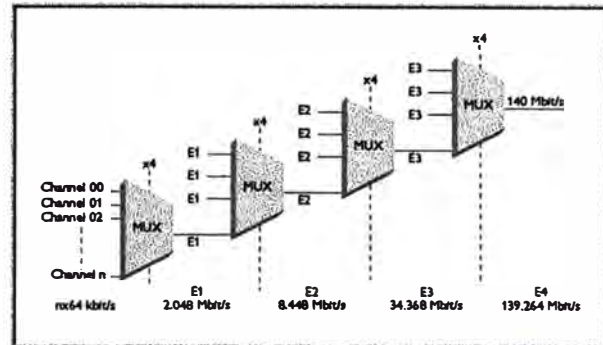


Figure 1 PDH hierarchy

- An 8-bit byte is formed by comparing the sample to a "companding characteristic", which is a non-linear formula.
- Internationally, a companding characteristic known as "A-law" is used, intended to provide optimum signal-to-noise performance over a wide range of signal levels (see Section 3.2).
- In North America, encoding is done according to the "μ-law".
- These 8-bit words occur 8000 times per second for the 64 kbit/s digital bit stream. See Figure 2.

3.2 A-Law Coding (ITU-T G.711)

This is a method used for amplitude compression (companding) that allows higher resolution for lower level signals and lower resolution to high power signals. This helps to assure the quality of the PCM-encoded signal (regardless of the speaker's voice level), by increasing the signal-to-noise ratio. Basically the voice is sampled at 8000 samples per second and converted into a 13-bit word that goes into the compander. The samples are processed using a non-linear formula to transform them into 8-bit words. The compander also inverts all even bits in the word - i.e. 1111111111111 is converted to 11111111 (+127) using compression, resulting in the PCM word 10101010 (AAh).

4 PULSES

The quality of the E1 pulse is an important factor in clear transmission.

- The ITU-T G.703 standard defines the max and min values in the form of a mask. A good pulse shape must fit inside this mask. Refer to Figure 3.
- See Table 1 for the specifications for an E1 pulse, as specified in ITU-T G.703, Table 6.

The 2.048 Mbit/s stream is the basic building block for the transmission of signals in the PCM digital hierarchy. Proper internetworking of equipment along that signal path requires strict compliance with various standards such as ITU-T G.703, G.704 and so on.

Output signals from such network elements (NE) as multiplexers, regenerators, switches and PBX must be within the defined limits. The input circuitry of the network elements must, further, be able to compensate for any attenuation or distortion caused by the transmission media. Then the logic 1s and 0s will be detected correctly; otherwise, bit/code errors will result.

A portable test instrument can be a useful tool to check the overall health of the transmission system and assist in locating the source of problems or defects. At the physical layer, the parameters of interest are bit rate (and its stability), jitter, wander, level, noise, code errors, and pulse shape distortion. A key test in this area is verification that the signal pulse shape conforms to the ITU-T G.703 recommendation, as illustrated in Figure 3.

The Importance of Pulse Shape Measurement

A G.703-compliant pulse-shaped 2 Mbit/s signal, when transported via metallic cable of correct impedance and prescribed length, will not distort beyond the design limits of the receive ports of the NEs. Otherwise, the resultant errors will lead to degraded service to customers and unnecessary repair costs for service providers (such as PTTs).

Pulse Shape (nominally rectangular)	All marks of a valid signal must conform with the mask (see Figure 15/G.703) irrespective of the sign. The value V corresponds to the nominal peak value.	
Pair(s) in each direction	One coaxial pair (see G.703, 9.4)	One symmetrical pair (see G.703, 9.4)
Test load impedance	74 ohms resistive	120 ohms resistive
Nominal peak voltage of a mark (pulse)	2.37 V	3 V
Peak voltage of a space (no pulse)	0 +/- 0.237 V	0 +/- 0.3 V
Nominal pulse width	244 ns	
Ratio of the amplitudes of positive & negative pulses at the center of the pulse interval	0.95 to 1.05	
Ratio of the widths of positive & negative pulses at the normal half amplitude	0.95 to 1.05	
Maximum peak-to-peak jitter at an output port	Refer to section 2 of Recommendation G.823	

Table 1 ITU-T G.703/Table 6, 2.048 Mbit/s Pulse Mask specifications

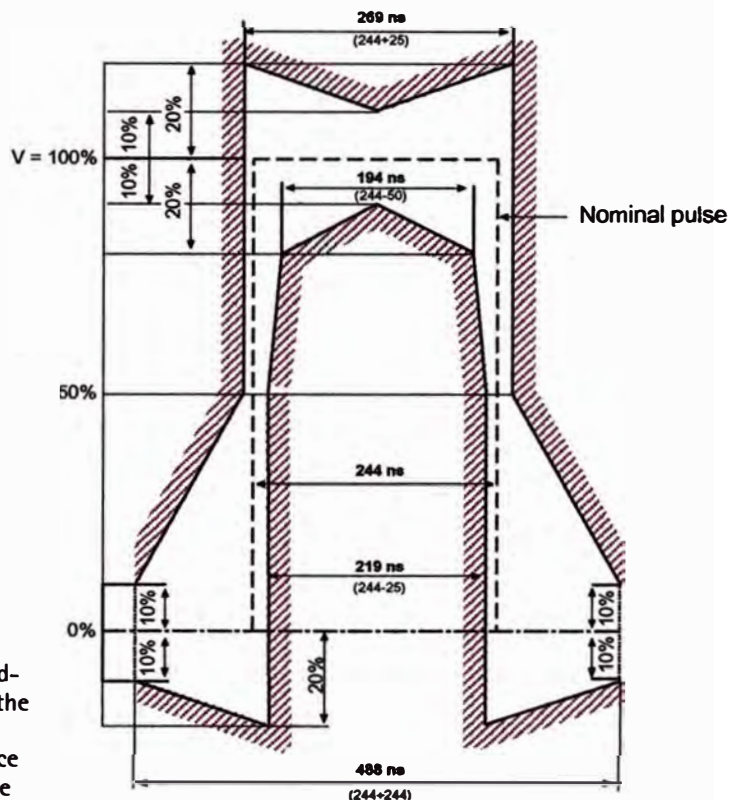


Figure 3 Mask of the pulse at 2.048 Mbps interface

At the time of new installations or recommissioning of service after repair, the importance of pulse shape analysis and level is widely recognized. However, these measurements have nonetheless been frequently omitted because they have been assumed to require the use of an expensive, bulky digital oscilloscope. Current-generation 2 Mbit/s transmission test sets such as the SunSet E-Series, alleviate this problem by incorporating pulse shape measurement, verification, and analysis through a method more practical and appropriate for field use.

The pulse shape can provide an excellent qualitative indication of both noise and jitter. Averaging tends to smooth the noise riding on the signal. If jitter is present, however, the rising and falling edges will be seen as scattered along the time axis. Digital measurement of the pulse width, rise and fall times, and over/undershoot values will give additional information on the possible sources of distortion. The results obtained using this technique (see Figure 4) compare favorably with pulse shape measurements obtained from testing with a digital oscilloscope. One example is shown in Figure 5. The closeness between the two measurement results will depend somewhat on the actual signal under test, but the correlation is generally reliable.

The method used in handheld BER test sets is intended primarily for field verification of the 2 Mbit/s transmission system, in that it provides a quick and easy-to-interpret result and relies on streamlined, hand-held equipment. While the more detailed or precise measurements obtained with a digital oscilloscope continue to be appropriate for other applications, such as design verification or type testing, the use of handheld test sets provides a powerful and efficient way for field service technicians to ensure layer 1 testing of a 2 Mbit/s link. If link quality is not restored to the highest level, other services such as GSM, ISDN PRI, and SS7 – which are also transported on 2 Mbit/s links – will function unreliably. This will lead to levels of downtime and service quality which are unacceptable in today's highly competitive market. Taking the time to perform basic pulse shape analysis plays an important role in both the initial and ongoing quality of any service provider's network.

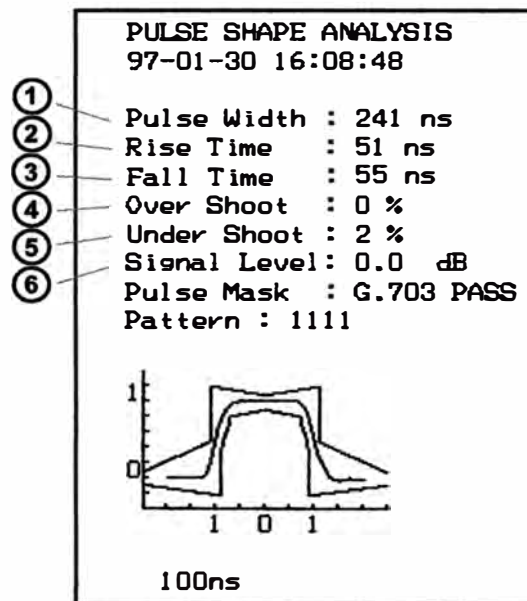


Figure 4 Example of pulse shape measurement screen

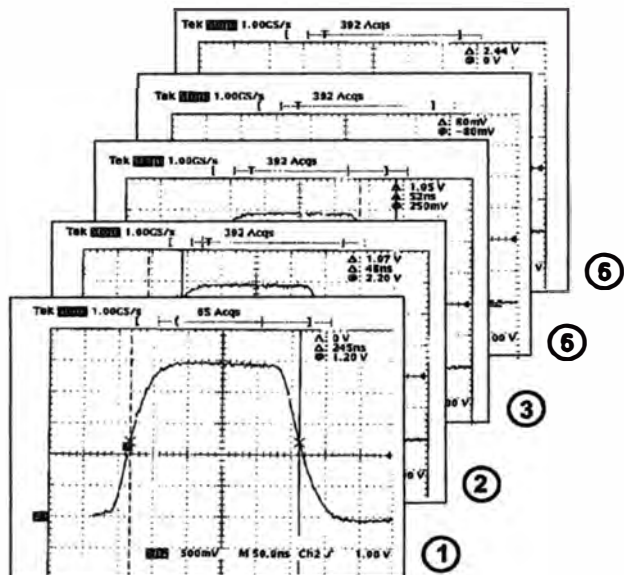


Figure 5 Comparable displays from a digital oscilloscope

5 LINE CODING

Two types of line coding are used in a typical E1 2.048 Mbit/s network: AMI (top of Figure 6) and HDB3 (bottom of Figure 6). HDB3 is the coding used most commonly for 2M, 8M, and 34M.

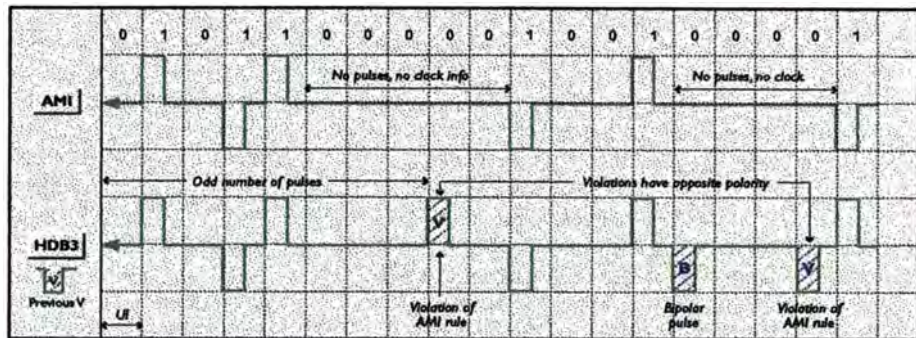


Figure 6 AMI and HDB3 line coding

5.1 AMI

- AMI: Alternate Mark Inversion
- AMI is used to represent successive 1s' values in a bitstream with alternating positive and negative pulses to eliminate any DC offset.
- AMI is not used in most 2.048 Mbit/s transmission because synchronization loss may occur during long strings of zeros as there are no pulses.

5.2 HDB3

High Density Bipolar 3 (HDB3) line coding is used for transmission of 2 Mbps for two key reasons:

- The HDB3 coded signal is DC-free. Therefore, the signal can be transmitted through balanced transformers' coupled circuits.
- The clock recovery circuits of the receivers can operate well, even though the data contains long strings of zeros.

5.2.1 Basic Encoding Principles

No more than three consecutive zeroes are permitted. The AMI (Alternate Mark Inversion) rule is violated intentionally whenever 4 or more zeros are encountered. The 4 zeros are

substituted in one of the two ways described and illustrated below. Which method is used is governed by the polarity of the last inserted violation pulse (V) and whether the number of pulses between the previous violation pulse and the next one is odd or even.

- If there is an odd number of pulses between the last violation pulse V and the next V to be inserted, the 0000 is

substituted with 000V. The polarity of the inserted V bit is the same as that of the pulse immediately preceding it. The polarity of this V is opposite to that of the previous V (Figure 7).

- If there is an even number of pulses between the last violation V and the next V, the 0000 is substituted with B00V. B (Bipolar pulse) is inserted in the place of the first zero and its polarity is opposite to that of the pulse immediately preceding it. The polarity of the inserted V is the same as that of B and opposite to that of the previous V.

5.2.2 Detection of Errors in HDB3 Coded Signals

In practice, the transmitted signal encounters a variety of distortions and impairments such as attenuation and noise. This leads to improper detection of the received signal – a zero, for instance, may be detected as a positive or negative one, or vice versa. Depending upon the pattern and the actual bit position errored, the receiver may declare code and/or bit error, as illustrated in the following example:

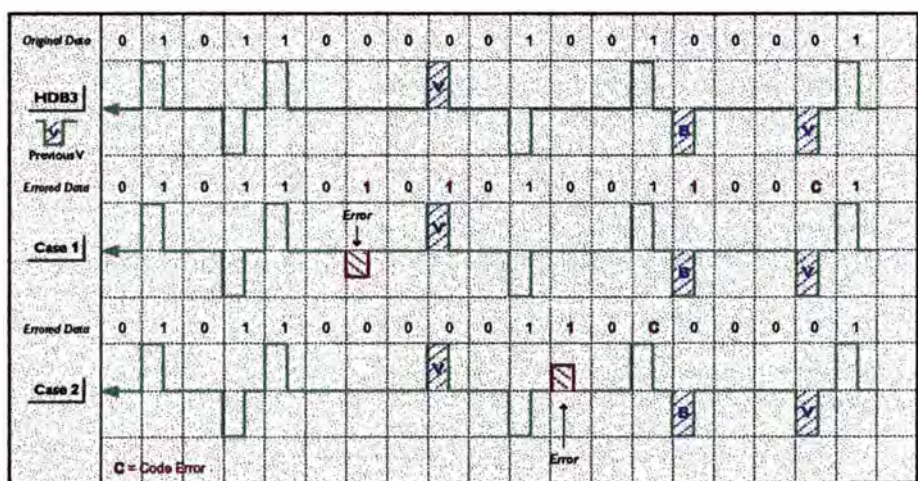


Figure 7 HDB3 error detection

6 FRAMING

- Framing is necessary so any equipment receiving the E1 signal can synchronize, identify, and extract the individual channels.
- 2M transmission utilizes two main types of framing:
 - Frame Alignment Signal (FAS)
 - MultiFrame Alignment Signal (MFAS)
- PCM-30 transmission systems use MFAS framing along with FAS framing
 - In PCM-30 timeslots 1 through 15 correspond to channels 1 through 15, and timeslots 17 through 31 correspond to channels 16 through 30.
 - Timeslot 16 is used for the multiframe alignment and Channel Associated Signaling (CAS)
- PCM-31 transmission systems use only FAS framing
 - In PCM-31 framing, timeslots 1 through 31 correspond to channels 1 through 31.
- Fractional E1 is not offered with unframed signals, because framing is required to determine the location of timeslots.

6.1 Frame Alignment Signal (FAS)

- The 2.048 Mbit/s frame consists of 32 individual timeslots (numbered 0–31). Each timeslot consists of individual 64 kbit/s channels of data.
- Timeslot 0 of every even frame is reserved for the FAS. See Figure 8.
- Odd frames have the NFAS (Non FAS) word that contains the Distant Alarm indication bit and other bits reserved for national and International use.
- 31 timeslots remain for bearer channels, into which customer data can be placed.

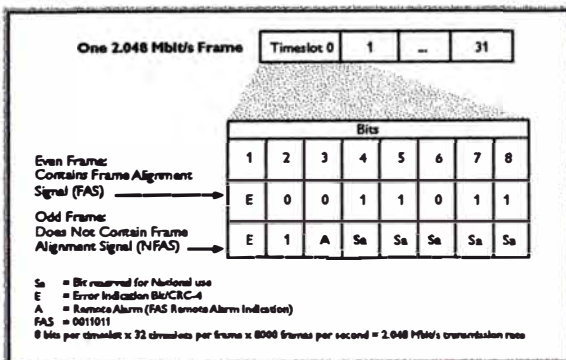


Figure 8 FAS framing format

6.2 MultiFrame Alignment Signal (MFAS)

- MFAS framing is used for Channel Associated Signaling (CAS) to transmit A/B/C/D bit information for each of the 30 channels (Refer to Figure 9).
 - This method uses the 32 timeslot frame format with timeslot 0 for the FAS and timeslot 16 for the MFAS and CAS.
- 16 frames make up a MultiFrame
- When a PCM-30 multiframe is transmitted, 16 FAS frames are assembled together. Timeslot 16 of the first frame is dedicated to MFAS bits, then timeslot 16 of the remaining 15 frames is dedicated to A/B/C/D bits.
- Frame 0, timeslot 16: 8-bit MFAS signal

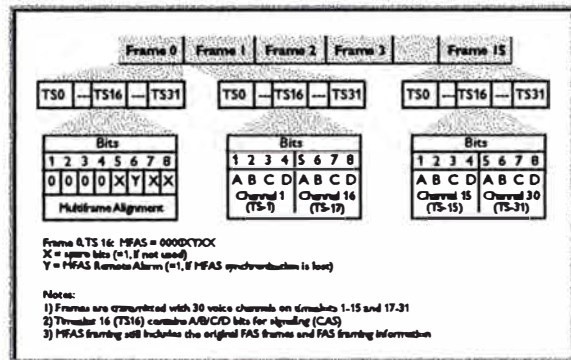


Figure 9 MFAS framing format

6.3 CRC Error Checking

A Cyclic Redundancy Check-4 (CRC-4) is often used in 2M transmission to identify possible bit errors during in-service error monitoring.

- CRC-4 is a checksum calculation which allows for the detection of errors within the 2.048 Mbit/s signal while it is in service. A discrepancy indicates at least one bit error in the received signal.
- The equipment which originates the 2M data calculates the CRC-4 bits for one sub-multiframe. It inserts the CRC-4 bits in the CRC-4 positions in the next sub-multiframe.
- The receiving equipment performs the reverse mathematical computation on the sub-multiframe. It examines the CRC-4 bits which were transmitted in the next sub-multiframe, then it compares the transmitted CRC-4 bits to the calculated value. If there is a discrepancy in the two values, a CRC-4 error is reported via E-bits indication.
- Each individual CRC-4 error does not necessarily correspond to a single bit error, which is a drawback. Multiple bit errors within the same sub-multiframe will lead to only one CRC-4 error for the block.

- Errors could occur such that the new CRC-4 bits are calculated to be the same as the original CRC-4 bits.
- CRC-4 error checking provides a most convenient method of identifying bit errors within an in-service system, but provides only an approximate measure (93.75% accuracy) of the circuit's true performance.

Consider the MFAS framing, illustrated in Figure 10. Each MFAS frame can be divided into "sub-multiframes". These are labeled SMF#1 and SMF#2 and consist of 8 frames apiece. We associate 4 bits of CRC information with each sub-multiframe.

The CRC-4 bits are calculated for each sub-multiframe, buffered, then inserted into the following sub-multiframe to be transmitted.

6.4 E-bit Performance Monitoring

When a 2.048 Mbit/s circuit's terminal equipment is optioned for CRC-4 transmission, E-bit transmission may also be enabled and E-bit performance monitoring of the circuit is possible. Check the specifications of your network equipment. Refer to Figure 11.

- When this type of terminal equipment detects an incoming CRC-4 error, it will respond by transmitting an E-bit error toward the other terminal.
 - Test set 2, shown in the diagram, will be able to see the E-bits by plugging into a protected monitoring point.
 - Note that the test set cannot see the actual code errors, framing bit errors, and CRC errors introduced at the trouble point. The test set can only see the E-bits transmitted by Terminal B.
- Without E-bits transmission, only a complete circuit failure can be reliably determined at any point on the circuit.
 - With a complete circuit failure, the test set will see either loss of signal, alarm indication signal, or remote alarm indication.
- E-bits indication has two bits; this notifies CRC-4 errors in sub-multiframe 1 and/or 2.

7 ERRORS AND ALARMS

Troubleshooting an E1 line often involves monitoring for errors or alarms, or intentionally injecting errors or a particular stress test pattern to see how the system responds.

- Specifications covering error conditions include ITU-T G.821 and G.826. The requirements also depend on the grade of the line.
- A key concept for the measurements is availability. A circuit is available for use only when the bit error rate is low enough that the signal can get through and be understood.

Multiframe	Sub-multiframe	Frame#	Timeslot 0							
			Bit				E-bit			
			bit1	bit2	bit3	bit4	bit5	bit6	bit7	bit8
SMF #1		0	c1	0	0	1	1	0	1	1
		1	0	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8
		2	c2	0	0	1	1	0	1	1
		3	0	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8
		4	c3	0	0	1	1	0	1	1
		5	1	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8
		6	0	0	0	1	1	0	1	1
		7	0	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8
SMF #2		8	c1	0	0	1	1	0	1	1
		9	1	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8
		10	c2	0	0	1	1	0	1	1
		11	1	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8
		12	c3	0	0	1	1	0	1	1
		13	E	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8
		14	0	0	0	1	1	0	1	1
		15	E	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8

SMF#1: Sub-multiframe #1
 Sa: Spare bit reserved for National use
 A: Remote Alarm (RAS Remote Alarm Indication)
 Frame Alignment Signal Pattern: 001011
 CRC-4 Frame Alignment Signal: 001011
 CRC multiframe is not aligned with MFAS timeslot 16 multiframe

SMF#2: Sub-multiframe #2
 E: E-bit indicator
 c1, c2, c3, c4: CRC bits

Figure 10 CRC-4 multiframe format

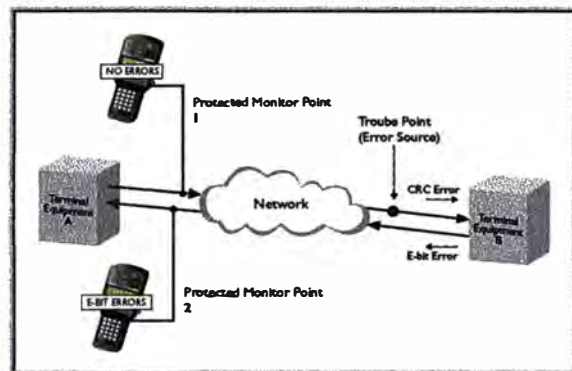


Figure 11 E-bit performance monitoring

- A circuit is said to be unavailable at the beginning of 10 consecutive severely errored seconds. Errors, errored seconds, and severely errored seconds are not counted when the circuit is unavailable.
- Once a circuit is unavailable, it becomes available only after 10 consecutive seconds without severe errors.

Below are the definitions of some important errors & alarms.

AIS: Alarm Indication Signal is an unframed, all 1s signal.

BBE: A Background Block Error is an errored block (a block is a set of consecutive bits associated with a path) not occurring as part of an SES.

Bit Errors: Bit errors are bits which are in error. Bit errors are not counted during unavailable time.

Bit Slip: A bit slip occurs when the synchronized pattern either loses a bit or has an extra bit stuffed into it.

Clock Slips: Clock slips occur when the measured frequency deviates from the reference frequency by one unit interval.

Code Errors: A Code Error is a violation of the coding rules: two successive pulses with the same polarity. In HDB3 coding, a Code Error is a bipolar violation that is not part of a valid HDB3 substitution.

CRC Errors: CRC-4 block errors. This measurement applies to signals containing a CRC-4 check sequence.

Degraded Minutes: A Degraded Minute (DM) occurs when there is a 10⁻⁶ or worse bit error rate during 60 available, non-severely bit errored seconds.

Errored Block: A block in which one or more bits are in error.

E-bit Indication: An E-bit is transmitted by the receiving equipment after detecting a CRC-4 error.

ES: An errored second is any second in which one or more bits are in error. An errored second is not counted during an Unavailable Second. For G.826, an errored second contains one or more blocks with at least one defect.

FALM: Frame Alarm seconds is a count of seconds that have had far end frame alarm (FAS Remote Alarm Indication, RAI), which is when a 1 is transmitted in every third bit of each timeslot 0 frame that does not contain the frame alignment signal.

FASE: A count of the bit errors in the Frame Alignment Signal words received. It applies to both PCM-30 & PCM-31 framing.

Frequency: Any variance from 2.048 Mbit/s in the received frequency is recorded in hertz or parts per million.

LOFS: Loss of Frame Seconds is a count of seconds since the beginning of the test that have experienced a loss of frame.

LOSS: Loss Of Signal Seconds is a count of the number of seconds during which the signal has been lost during the test.

MFAL: MultiFrame ALarm seconds is a count of seconds that have had far end multiframe alarm (MFAS Remote Alarm Indication, RAI).

MFAS Distant Alarm: In this alarm, a 1 is transmitted in every sixth bit of each timeslot 16 in the zero frame.

SES: A Severely Errored Second has an error rate of 10⁻³ or higher. Severely errored seconds are not counted during unavailable time. For G.826 block measurements, a SES is a one second period containing 30% or greater errored blocks.

Timeslot 16 AIS: In this alarm all 1s are transmitted in timeslot 16 of all frames.

UAS: Unavailable time begins at the onset of 10 consecutive severely errored seconds. Unavailable Seconds also begins at a loss of signal or loss of frame.

Wander: This is the total positive or negative phase difference between the measured frequency and the reference frequency. The +Wander value increases whenever the measured frequency is one UI larger than the reference frequency. The -Wander increases whenever the measured frequency is one UI less than the reference frequency.

8 64 KBIT/S INTERFACES

Data is generally transmitted at a rate of 64 kbit/s. Recommendation G.703 provides requirements for different interfaces. For each direction of transmission, three signals can be carried across the interface: 64 kbit/s information, 64 kHz timing, and 8 kHz timing. The 8 kHz timing signal is not mandatory.

8.1 Codirectional Interface

A codirectional interface is an interface across which the data and its timing signal are transmitted in the same direction. This interface is used for synchronized networks, or in pleisochronous networks with sufficiently stable network clocks. It has a maximum tolerance of ± 100 ppm for transmitted signals. A balanced pair is required for each direction of transmission.

8.2 Contradirectional Interface

A contradirectional interface is an interface across which the timing for both directions is directed towards the subordinate equipment. It has a maximum tolerance of ± 100 ppm for transmitted signals. Each direction should have two symmetrical pairs of wires: one pair carrying the data, the other pair carrying the timing.

9 ITU-T RECOMMENDATIONS

The following Recommendations are commonly used:

- G.703 Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.
- G.704 Synchronous frame structures used at 1544, 6312, 2048, 8488, and 44,736 kbit/s.
- G.706 Frame alignment and cyclic redundancy check (CRC) procedures relating to basic frame structures defined in Recommendation G.704.
- G.711 Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies.

ANEXO G

TECNOLOGÍAS BÁSICAS Y PRUEBAS FUNDAMENTALES DE SEÑALES

2.048Mbps

application note

2.048 Mbps Technology Basics and Testing Fundamentals

2.048 Mbps Technology Basics and Testing Fundamentals



he demand for high-quality 2.048 Mbps circuits requires thorough installation testing and consistent maintenance and circuit analysis. To provide clean, error-free transmissions, the 2.048 Mbps installation and maintenance personnel who test the performance of these circuits demand reliable equipment for their testing needs.

TTC supplies a range of test sets that are ideal for 2.048 Mbps installation, acceptance testing, routine maintenance, and fault isolation, all of which are integral to providing a quality 2.048 Mbps service.

This Application Note first describes 2.048 Mbps fundamentals and the impairments that can degrade 2.048 Mbps services. It then provides examples of applications for

- In-service monitoring
- Out-of-service testing

Each application section includes guidelines on how to accurately interpret the test results for rapid trouble shooting and fault isolation.

Those familiar with 2.048 Mbps basics may wish to turn immediately to the testing applications beginning on page 9.

2.048 Mbps Basics



2.048 Mbps circuit provides high speed, digital transmission for voice, data, and video signals at 2.048 Mbps.

2.048 Mbps transmission systems are based on the ITU-T specifications G.703, G.732 and G.704, and are predominant in Europe, Australia, Africa, South America, and regions of Asia. Due to an increase in demand for global communications in recent years, 2.048 Mbps installations in North America have risen sharply, and exist alongside the standard T-Carrier systems.

The 2.048 Mbps standards are now firmly established for transmission systems and are used by telecommunications network suppliers, international carriers and end users. The primary use of the 2.048 Mbps is in conjunction with multiplexers for the transmission of multiple low speed voice and data signals over one communication path rather than over multiple paths. **Figure 1** shows a typical system.

The 2.048 Mbps Line Code

The most common line code used to transmit the 2.048 Mbps signal is known as HDB3 (High Density Bipolar 3) which is a bipolar code with a specific zero suppression scheme where no more than three consecutive zeros are allowed to occur. The HDB3 line code is recommended for 2.048 Mbps signals by ITU-T Recommendations G.703, and it is defined in Annex A to Recommendations G.703.

In some instances straightforward bipolar AMI (Alternate Mark Inversion) coding with no zero suppression is also encountered.

In the following paragraphs, we will first review the AMI coding format, which represents the simplest version of bipolar line code. We will then move on to explaining the 2.048 Mbps HDB3 line code, which essentially is a variation of AMI where a high density of pulses is ensured by applying a zero suppression algorithm.

AMI or Bipolar Line Code

In the AMI coding format, a binary one (mark) is represented by a square pulse with a 50% duty cycle and a binary zero (space) is represented by the lack of pulse, i.e., 0 Volts. Since successive pulses (i.e., marks) alternate in polarity the line code is termed AMI (Alternate Mark Inversion).

HDB3 Line Code

Despite its numerous advantages, AMI coding has one very significant shortcoming. Since signal transition are the only way for 2.048 Mbps equipment to recover the timing information, long strings of zeros with no pulse transition in the data stream may cause the equipment to lose timing. Hence AMI coding puts strict limitations on the zero content of the data transmission in the 2.048 Mbps system.

One solution to this problem is to use a coding scheme that suppresses long string of zeros by replacing them with a specific sequence of pulses, which can be recognised and decoded as zeros by 2.048 Mbps equipment. HDB3 is one such coding scheme upon which the 2.048 Mbps industry standardised.

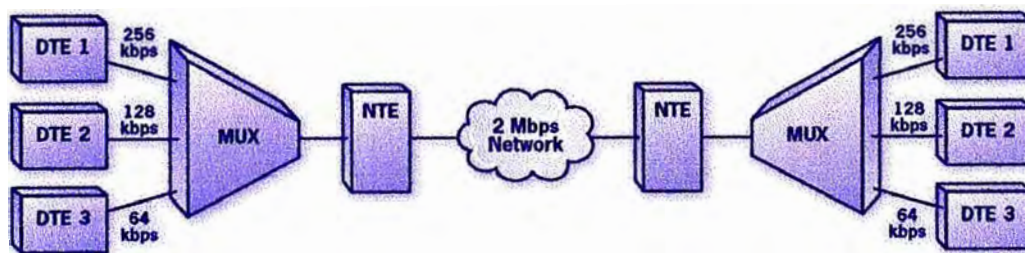


Figure 1:
A typical 2.048 Mbps transmission system

How HDB3 Works

The HDB3 signal is a bipolar signal, where sets of 4 consecutive zeros are replaced by a specific sequence of pulses and the last pulse is coded as a violation. This ensures that the 2.048 Mbps signal has a high density of pulses and no more than 3 consecutive zeros. **Table 1** shows the rules for zero substitution using the HDB3 coding scheme.

An example of how these rules are applied to an AMI signal is shown in **Figure 2**.

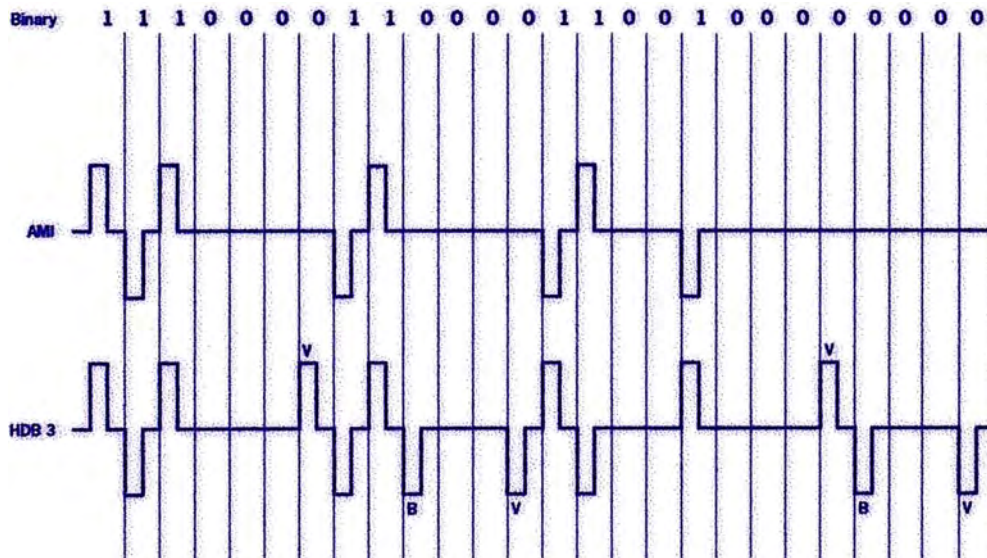
It is important to note that:

1. The 4th zero is always coded as a violation pulse.
2. The 1st zero may be coded as a "balancing" pulse to ensure that successive HDB3 violation pulses are of opposite polarity, so that the net DC component of the signal remains zero.

Hence the HDB3 code eliminates all the limitations on the zero content of the signal transmitted in the 2.048 Mbps system, while preserving all the advantages of AMI coding.

Polarity of Preceding Pulse	Number of Bipolar Pulses (Zeros) Since Last Substitution	
	Odd	Even
-	000-	+00+
+	000+	-00-

Table 1:
HDB3 substitution rules



V = Pulse violating the AMI sequence
B = Additional pulse ensuring that the consecutive V pulses are of opposite polarity

Figure 2:
Example of a HDB3 signal

The 2.048 Mbps Framing Format

The 2.048 Mbps signal typically consists of multiplexed data and/or voice which requires a framing structure for receiving equipment to properly associate the appropriate bits in the incoming signal with their corresponding channels. **Figure 3** shows the framing for the 2.048 Mbps signal as defined in ITU-T Recommendation G.704.

As can be seen in **Figure 3**, the 2.048 Mbps frame is broken up into 32 timeslots numbered 0-31. Each timeslot contains 8 bits in a frame, and since there are 8000 frames per second, each time slot corresponds to a bandwidth of $8 \times 8000 = 64$ kbps.

Time slot 0 is allocated entirely to the frame alignment signal (FAS) pattern, a remote alarm (FAS Distant Alarm) indication bit, and other spare bits for international and national use. The FAS pattern (0011011) takes up 7 bits (bits 2-8) in timeslot 0 of every other frame. In those frames not containing the FAS pattern, bit 3 is reserved for remote alarm indication (FAS Distant Alarm) which indicates loss of frame alignment when it is set to 1. The remaining bits in timeslot 0 are allocated as shown in **Figure 4**.

If the 2.048 Mbps signal carries no voice channels, there is no need to allocate additional bandwidth to accommodate signalling. Hence, time slot 1-31 are available to transmit data with an aggregate bandwidth of $2.048 \text{ Mbps} - 64 \text{ kbps (TS0)} = 1.984 \text{ Mbps}$.

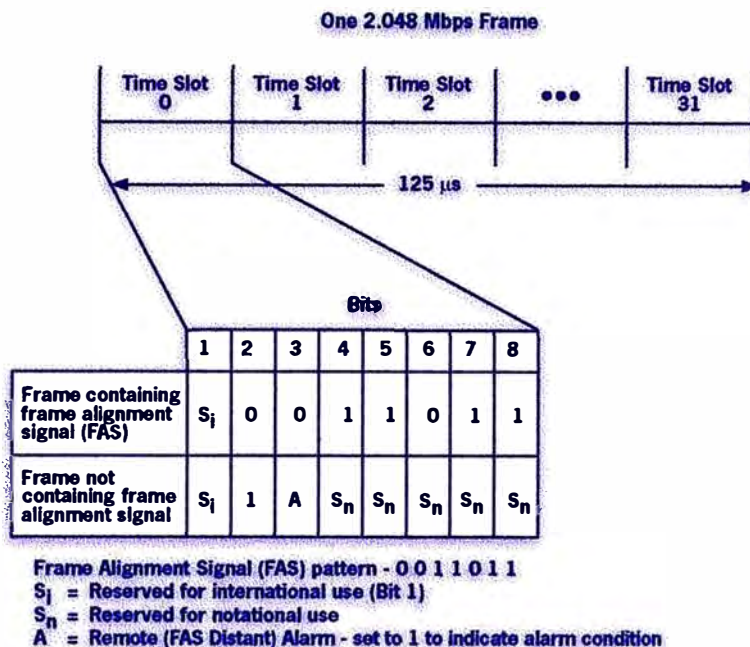


Figure 3:
The 2.048 Mbps framing format

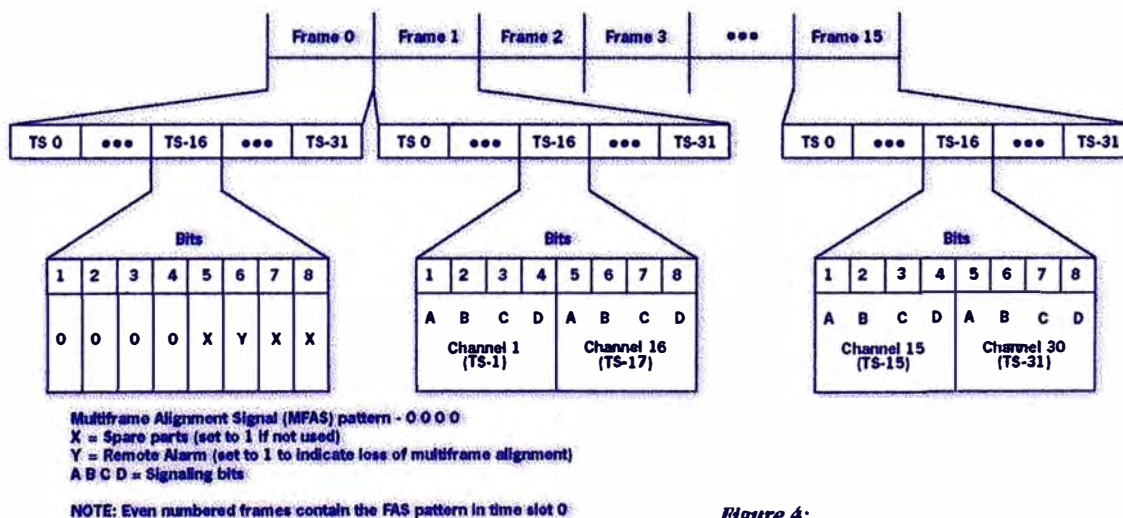


Figure 4:
The 2.048 Mbps TS-16 multiframe format

If there are voice channels on the 2.048 Mbps signal, it is necessary to take up additional bandwidth to transmit the signalling information. ITU-T Recommendation G.704 allocates time slot 16 for the transmission of the channel-associated signalling information. This is explained in the next section.

The 2.048 Mbps TS-16 Multiframe Format

The 2.048 Mbps can carry up to thirty 64 kbps voice channels in time slot 1-15 and 17-31.



Voice channels are numbered 1-30; voice channels 16-30 are carried in time slot 17-31.

However, the 8 bits in time slot 16 are not sufficient for all 30 channels to signal in one frame. Therefore, a multiframe structure is required where channels can take turns using time slot 16.

Since two channels can send their ABCD signalling bits in each frame, a total of 15 frames are required to cycle through all of the 30 voice channels. One additional frame is required to transmit the multiframe alignment signal (MFAS) pattern, which allows receiving equipment to align the appropriate ABCD signalling bits with their corresponding voice channels. This results in the TS-16 multiframe structure where each multiframe contains a total of 16 2.048 Mbps, numbered 0-15. *Figure 4* on the previous page shows the TS-16 multiframe format for the 2.048 Mbps signal as defined by the ITU-T Recommendation G.704.

As can be seen in *Figure 4*, time slot 16 of frame 0 contains the 4-bit long multiframe alignment signal (MFAS) pattern (0000) in bits 1-4. The "Y" bit is reserved for the remote alarm (MFAS Distant Alarm) which indicates loss of multiframe alignment when it is set to 1.

Time slot 16 of frames 1-15 contains the ABCD signalling bits of the voice channels. Time slot 16 of the *n*th frame carries the signalling bits of the *n*th and (*n*+15)th voice channels. For example, frame 1 carries the signalling bits of voice channels 1 and 16, frame 2 carries the signalling bits of channels 2 and 17 etc.

It is also important to note that the frame alignment signal (FAS) is transmitted in time slot 0 of the even numbered frames.

We have thus explained how frame alignment and channel associated signalling are achieved in 2.048 Mbps transmission. (Alternatively, time slot 16 may also be used for common channel signalling applications such as primary rate ISDN). It must be noted, however, that the 2.048 Mbps framing and TS-16 multiframe structures discussed so far do not provide any built in error detection capabilities, which could be used to determine the error performance of the 2.048 Mbps system on an in-service basis. This capability is provided by the CRC (Cyclic Redundancy Check) multiframe structure as explained in the next section.

	Sub-multiframe (SMF)	Frame Number	Bits 1 to 8 (TS 0) of the Frame							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Multiframe	I	0	C ₁	0	0	1	1	0	1	1
		1	0	1	A	S _n	S _n	S _n	S _n	S _n
		2	C ₂	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	1	A	S _n	S _n	S _n	S _n	S _n
		4	C ₃	0	0	1	1	0	1	1
		5	1	1	A	S _n	S _n	S _n	S _n	S _n
		6	C ₄	0	0	1	1	0	1	1
	7	0	1	A	S _n	S _n	S _n	S _n	S _n	
	II	8	C ₁	0	0	1	1	0	1	1
		9	1	1	A	S _n	S _n	S _n	S _n	S _n
		10	C ₂	0	0	0	0	0	0	0
		11	1	1	A	S _n	S _n	S _n	S _n	S _n
		12	C ₃	0	0	1	1	0	1	1
		13	S ₁	1	A	S _n	S _n	S _n	S _n	S _n
		14	C ₄	0	0	1	1	0	1	1
15		S ₁	1	A	S _n	S _n	S _n	S _n	S _n	

C₁, C₂, C₃, and C₄ = Cyclic Redundancy Check Bits
 CRC Multiframe Alignment Signal 0 0 1 0 1 1
 S_n = Reserved for notational use
 A = Remote (FAS Distant) Alarm - set to 1 to indicate alarm condition

Figure 5:
The 2.048 Mbps CRC multiframe format

The 2.048 Mbps CRC Multiframe Format

This section describes the specifics of the 2.048 Mbps CRC Multiframe format. To find out how CRCs provide the enhanced error performance monitoring capabilities mentioned above, refer to the "CRC Error Analysis" section (page 9) under Application #1, In-Service Analysis of Live Traffic.

The 2.048 Mbps CRC Multiframe structure as defined by ITU-T Recommen-

dation G.704 is shown in *Figure 5* on the previous page.

The CRC Multiframe consists of 16 frames (numbered 0-15) which are divided into two sub-multiframes (SMF-1 and SMF-11) of 8 frames each. The 4-bit long CRC word associated with each sub-multiframe, SMF(N) is inserted into the next sub-multiframe, SMF(N+1). The CRC bits take up the 1st bit of time slot 0s containing the 7-bit FAS (Frame Alignment Signal) pattern. The CRC Multiframe

alignment signal uses the 1st bit of time slot 0s not containing the FAS pattern. (See *Figure 5*).

Combining the TS-16 and CRC Multiframe Structures

A 2.048 Mbps signal may come in a number of different formats, depending on which of the above frame and multiframe structures are implemented in the 2.048 Mbps system. *Table 2* gives a comparison of the possible variations of a 2.048 Mbps signal.

Framing Format	Total Bandwidth Available for Data/Voice	Notes/Limitations
No Framing	2.048 Mbps (32 time slots)	Cannot use the publicly switched network.
No Multiframe	1.984 Mbps (31 time slots)	No voice transmission with TS-16 signalling possible.
TS-16 Multiframe No CRC Multiframe	1.920 Mbps (30 time slots)	No error performance monitoring via CRCs.
CRC Multiframe No TS-16 Multiframe	1.984 Mbps (31 time slots)	No voice transmission with TS-16 signalling possible.
TS-16 Multiframe and CRC Multiframe*	1.920 Mbps (30 time slots)	Voice transmission with TS-16 signalling and error monitoring possible.

***Note:**

The two multiframe structures are not related, and need not be aligned with each other in any way.

Table 2:
Various 2.048 Mbps frame and multiframe formats

Causes of 2.048 Mbps Impairments



There are four main causes of 2.048 Mbps impairments:

1. **Faulty Equipment:** Any piece of 2.048 Mbps equipment can cause errors when the components fail or operate outside of specifications. Errors, which can signal faulty equipment, include code errors, bit errors, FAS (frame) errors, excessive jitter, and slips. For instance, code errors can occur due to faulty clock recovery circuitry in span repeaters. These errors occur as the equipment becomes older and begins to drift out of specifications.
2. **Improper Connections:** Transmission errors are created by improper connections or configurations. For example,

intermittent errors can occur when component or cable connections are loose, and timing errors can occur when improper or conflicting timing sources are connected together. Dribbling errors are often caused by loose or unconnected shield ground cables and by bridge taps. Further, upon installation, the circuit may not work at all due to mislabelled pin-outs on terminating cable blocks and to flip-flopped wires: transmit-to-transmit as opposed to transmit-to-receive. These errors are typically discovered upon circuit installation and possibly during circuit acceptance when tests are performed end-to-end.

3. **Environmental:** Electrical storms, power lines, electrical noise, interference, and crosstalk between transmission links can cause logic errors, FAS (frame) errors, CRC errors in addition to code errors. Typically, these conditions cause intermittent, bursty errors, which are some of the most difficult to locate.
4. **Data Specific:** Data characteristics, such as repetitive patterns, can force equipment to create pattern-dependant jitter and code errors. These errors may not exist when testing the transmission path with standard pseudorandom patterns.

Analyzing 2.048 Mbps Impairments

Techniques and Measurements



To analyse a 2.048 Mbps circuit's performance and to isolate the causes of degraded services, the test set must perform many measurements in different scenarios. There are four typical scenarios where 2.048 Mbps testing is required:

1. **Installation:** When installing a 2.048 Mbps circuit, out-of-service testing is very useful in verifying equipment operations and end-to-end transmission quality. One starts by testing the equipment (such as NTE's, channel banks, multiplexers), and then verifying cable connections, timing source selections, and frequency outputs.

Application #2 covers this test scenario.

2. **Acceptance Testing:** In addition to the test performed during installation, two other tests—stress tests and timed tests—should be performed to ensure that the 2.048 Mbps circuit is operating properly with respect to the relevant 2.048 Mbps circuit specifications and tariff. The equipment may be stressed by verifying the transmission frequency around 2.048 Mbps equipment. The same procedure may be performed end-to-end to stress the entire 2.048 Mbps circuit. Timed tests with printouts should be performed over a 24- or 48-hour period using standard pseudorandom patterns, which simulate live data.

Application #2 is useful for this scenario.

3. **Routine Preventive Measure:** Routine maintenance test are strongly recommended once live data is transmitted across the 2.048 Mbps circuit. Routine maintenance can alert technicians to degrading service before it disrupts normal operations. In most instances, this involves monitoring the live data for alarms, code errors, FAS (frame) errors,

CRC errors, and signal frequency measurements which provide information about the performance of the 2.048 Mbps circuit. These tests should be performed with printouts over a 24- or 48-hour period to detect time specific or intermittent errors.

Application #1 covers this scenario.

4. **Fault Isolation:** Fault isolation is required once service is disrupted due to excessive error rates. This can be performed using both in-service and out-of-service tests. In-service monitoring provides general information and can be used before out-of-service analysis to localise problems and minimise circuit downtime. By monitoring the circuit at various points, technicians are able to analyse the results and determine where problems are originating. By performing standard out-of-service tests, such as loopback and end-to-end tests, technicians are able to stress the equipment, find sources of errors, and verify proper operation once the trouble is repaired.

Application #1 and Application #2 are relevant for fault isolation.

Application #1: In-Service Analysis of Live Traffic



The following sections explain how to evaluate the performance of a 2.048 Mbps system using customer data. It is useful:

- When performing periodic maintenance and when looking for transmission degradation before it effects service.
- When analysing the span for intermittent errors, which are caused by faulty equipment or environmental influences.
- For analysis of 2.048 Mbps circuits which cannot be taken out-of-service.

- Before out-of-service analysis, to localise the problem and minimise circuit downtime.

To achieve all these benefits, the TTC test set may be configured to monitor the 2.048 Mbps circuit from practically any 2.048 Mbps access point. **Figure 6** shows a typical circuit and possible monitoring locations.

Analysis of Alarm and Error Indications (In-Service Testing)

Testing and troubleshooting of a 2.048 Mbps signal requires regular monitoring for alarms and errors. The monitoring for alarms and errors allows the user to detect and sectionalize transmission lines or equipment problems in a 2 Mbps signal. Errors can also be intentionally injected to see the response of the system.

Table 3 highlights some of the important alarm and error indications along with possible reasons and solutions.



Figure 6:
Possible 2.048 Mbps circuit monitoring locations

Result	Reason	Possible Solution
SIGNAL LOSS	Indicates history of receiver signal loss	Check cabling and connections. Check network equipment.
FRAME LOSS	Indicates history of frame synchronisation loss	Check SIGNAL LOSS and POWER LOSS LEDs. If these LEDs are not on, check FAS Distant alarm and AIS alarm.
FRAME SYNC	Signal is unframed, or synchronisation to the specified framing has not been achieved	Verify all settings and connections.
FAS Distant Alarm	Indicates remote (FAS Distant) alarm	Check span equipment downstream from present location. Check local Tx.
AIS Alarm	Indicates AIS alarm (Unframed All Ones)	Check span equipment upstream from present location.

Table 3:
Common alarm and error indications (in-service testing)

The AIS and FAS Distant Alarms

This section gives a detailed explanation of the 2.048 Mbps AIS and FAS Distant alarms.

The AIS Alarm

An AIS alarm is an unframed continuous stream of binary ones. However, a signal with all bits except the frame alignment in the 1 state is not mistaken as an AIS.

If the network equipment shown in *Figure 7* suffers a signal or frame synchronisation loss, or receives an AIS alarm at input #1 (2), it transmits the AIS alarm at output #1 (2). Hence, the AIS alarm indicates the presence of an alarm indication to the equipment farther downstream (away from the source of the trouble).

Therefore if the TTC test set receives an AIS alarm, this indicates that the trouble must lie somewhere farther upstream in the network. This is illustrated in *Figure 8*.

The FAS Distant Alarm

The FAS Distant alarm is indicated by setting bit 3 equal to 1 in time slot 0 of the frames not containing the FAS pattern. (See *Figure 3* on page 4).

If the network equipment shown in *Figure 9* suffers a signal or frame synchronisation loss, or receives an AIS alarm at input #1 (2), it transmits the FAS Distant Alarm at output #2(1). Hence, the FAS Distant alarm indicates the presence of an alarm condition to the equipment farther upstream (back towards the source of the trouble).

Therefore if the test set receives a FAS Distant alarm, this indicates that the trouble must lie somewhere farther downstream in the network. This is illustrated in *Figure 8*.

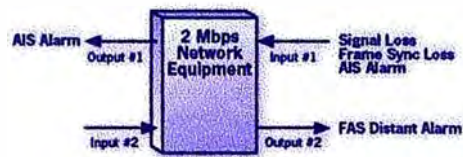


Figure 7:
2.048 Mbps network alarms

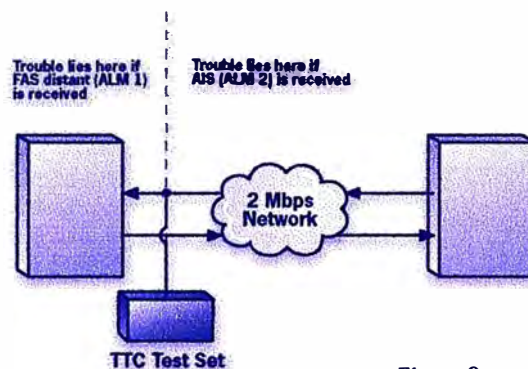


Figure 8:
Detection of 2.048 Mbps network alarms

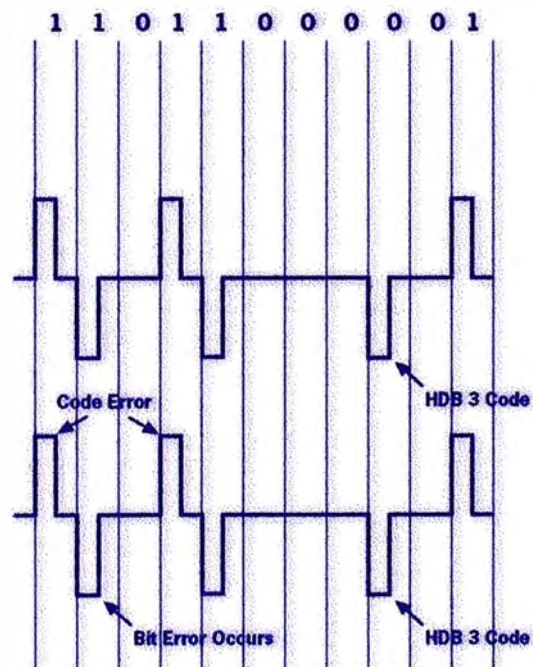


Figure 9:
Code errors

- A. Code violation due to HDB 3 (no code errors counted)
- B. The bit error on the 2nd bit causes a code error (the HDB 3 code is recognized and 1 code error is counted)

Code Error Analysis

The bipolar nature of the AMI signal allows the detection of single (isolated) errors since single errors on the line cause a pulse to be either incorrectly added or omitted, which in turn results in two successive pulses of the same polarity. This constitutes a violation of the bipolar coding scheme.

Recall that due to the zero suppression scheme used in HDB3, the signal may also contain *intentional* bipolar code violations representing strings of 4 consecutive zeros. These intentional code violations due to HDB3 must be distinguishing from code violations due to the errors occurring on the 2.048 Mbps line.

Since bipolar code violations due to HDB3 follow specific rules, they can be recognised as such by the TTC test set. This constitutes the basis for the code error analysis performed by the test set.

A *code error* is defined as any violation of the bipolar code, which is not a code violation due to HDB3's zero substitution algorithm. For comparison, an illustration of a code error along side an HDB3 substitution code is shown in **Figure 9**.

It is not necessary to receive and transmit a known pattern to recognise code errors. Hence the TTC test set can perform code error analysis on an in-service basis without disrupting the traffic on the 2 Mbps line. To do this analysis, the TTC test set provides the following key result:

Code Errors (CODE ERR)	Number of code errors detected since beginning of test.
Code Error Rate (CER)	Ratio of number of code errors in last test interval to number of bits examined in last test interval.

Advantages/Limitations of Code Error Analysis

Code errors provide an approximate indication of the error performance on a *metallic* 2.048 Mbps line without the need to disrupt live traffic. Furthermore, they can generally be used to sectionalise problems to the local span in the 2.048 Mbps network. (This will be discussed further under "Correlation of Results and Problem Causes").

It must be noted, however, that code error analysis has certain limitations. Code errors are useful in identifying local (near end) metallic span and repeater problems. However they are not a good indication of end-to-end performance since network equipment beyond the local span or non-metallic transmission media (e.g. microwave and fibre) will correct code errors in the far end 2.048 Mbps span.

FAS (Frame Alignment Signal) Error Analysis

As we explained in our discussion of the 2.048 Mbps Framing Format, time slot 0 of every other 2.048 Mbps frame contains a *fixed* 7-bit long FAS pattern (See **Figure 3** on page 4). When doing in-service FAS error analysis, the TTC test set takes advantage of the fact that even though the data portion of the 2.048 Mbps frame is unknown, the FAS bits contain a *known* pattern such that the errors occurring on these bits can be detected without disrupting the traffic.

Hence the TTC test set counts a FAS error each time one or more bits in the FAS pattern are received in error.

Upon synchronisation with the frame alignment signal, the TTC test set automatically provides the following result:

FAS Errors (FAS ERR)	Number of FAS errors received since beginning of test.
-------------------------	--

Advantages/Limitations of FAS Error Analysis

FAS errors allow in-service error performance analysis of the 2.048 Mbps circuit. Under random (Gaussian) error conditions, the FAS error rate will closely approximate the actual error rate if the test is performed over a significantly long period of time.

Moreover FAS errors can be used to isolate problems to network equipment (such as digital cross connect systems and higher order multiplexers) which frame (or reframe) the 2.048 Mbps data.

The limitations of FAS error analysis are threefold.

1. Since the FAS pattern takes up only 7 bits for every 512 bits transmitted (2 frames x 32 time slots/frame x 8 bits/time slot = 512 bits), the analysis is performed on a relatively small number of the received bits (about 1.4%). As a result, errors not occurring on the FAS bits will be missed.
2. Bursty error condition are far more common than random (Gaussian) error condition.
3. FAS errors are corrected by multiplexers and digital cross-connected systems. Hence, FAS error analysis cannot be used to determine end-to-end error performance in networks where this type of equipment is installed.

CRC Error Analysis

When the 2.048 Mbps signal has the CRC Multiframe format implemented, the TTC test equipment will automatically perform CRC error analysis as explained in **Table 4**.

At the Transmitter:	
Step 1	The 4-bit CRC is calculated for a 2.048 Mbps SMF (submultiframe = 8 frames).
Step 2	The CRC is inserted in the CRC bits of the next SMF.
At the Receiver:	
Step 1	The TTC test set recalculates the CRC for the SMF.
Step 2	The TTC test set compares the calculated CRC to the CRC it receives in the CRC bits of the next SMF.
Step 3	The TTC test set declares a CRC error if the received CRC and the calculated CRC do not match indicating the occurrence of one or more bit errors in the SMF.
For CRC error analysis, the TTC test set provides the following results:	
CRC Errors (CRC ERR)	Number of CRC errors counted since beginning of test.
CRC Error Rate (AVG CRC)	Ratio of number of CRC errors counted to number of CRCs received.

Note:

To derive the approximate bit error rate (BER) from the average CRC error rate use the following formula:

$$\begin{aligned} \text{Approximate BER} &= \text{AVG CRC} / (\# \text{ of bits in SMF} - \text{CRC bits in SMF}) \\ &= \text{AVG CRC} / (2048 - 4) = \text{AVG CRC} / 2044 \end{aligned}$$

This formula will give a fairly accurate approximation to the actual BER, as long as there is no more than one bit error per submultiframe (i.e., average BER < 1E-6).

Table 4:
CRC error analysis procedure

Advantages/Limitations of CRC Error Analysis

Most data sequences generate a CRC word which can be uniquely associated with that particular data sequence. Therefore, CRC errors can detect the presence of one or more bit errors in a submultiframe to a very high degree of accuracy (93.75%) without the need to take the 2.048 Mbps circuit out-of-service.

However, the following limitation of CRC error analysis must be kept in mind.

1. A CRC error indicates the *occurrence* of one or more errors, but not the *total number* of errors in a submultiframe. Hence, the BER obtained using the formula above will be somewhat lower than the actual error rate if the error rate is so high that there are several errors in the submultiframe.



1 error per submultiframe corresponds to an average error rate of 4.9E-4.

2. CRCs may be recalculated by network equipment such as digital cross connect systems. Therefore, CRC error analysis cannot be used to determine end-to-end performance in networks where this type of equipment is installed.

Correlation of In-Service Results

To find possible problem causes, use **Figure 10** to find your location along the 2.048 Mbps span, and cross-reference your location with **Table 5**, which shows various combinations of the results discussed in the previous sections.

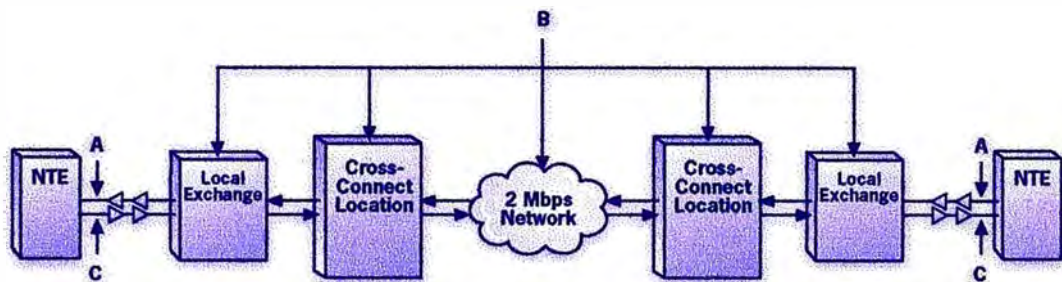


Figure 10:
Possible problem locations

Location for Figure 10	Results	Problem/Location
A	Code Errors	Local problem. Possibly bad cabling connections between test set and circuit, corroded "dirty" cable plugs, or defective NTE.
A, B, or C	Received Frequency Offset	Frequencies which are out of range may affect jitter tolerance and noise margins, in addition to causing error bursts and slips.
B or C	Code Errors, FAS Errors, or CRC Errors	Local 2.048 Mbps span problem. Possible faulty repeater, span line noise, crosstalk, poor cabling, or defective monitor jacks.
C	Code Errors, No FAS Errors, or CRC Errors	Local 2.048 Mbps span problem.
C	No Code Errors, FAS Errors, or CRC Errors	Typically far-end span line problem. Sectionalise further. Potential for light guide, radio, or Violation Monitor Removal (VMR) equipment in network.

Table 5:
Correlation of results and problem causes

Application #2: Out-of-Service Testing of 2.048 Mbps Circuits



The following sections explain how the TTC test set is used to evaluate the performance of a 2.048 Mbps system using pseudorandom data. It is useful:

- When installing 2.048 Mbps circuits and verifying end-to-end continuity.
- When isolating 2.048 Mbps circuit faults and verifying end-to-end continuity.
- When performing acceptance testing which includes timed and stress tests.

Errors found via this analysis may be caused by faulty equipment, improper connections, environmental influences, or data content. To find these errors, use results such as bit errors, bit error rate (BER), FAS errors, pattern slips, received frequency, error free seconds (EFS), percentage error free seconds (%EFS), etc, which are all measured simultaneously. These results will help in isolating the cause of the problem.

There are basically two methods of performing out-of-service testing: loopback testing and end-to-end testing. These methods are addressed in the following sections.

Analysis of Alarm and Error Indications (Out-of-Service Testing)

Testing and troubleshooting of a 2.048 Mbps signal requires regular monitoring for alarms and errors. The monitoring for alarms and errors allows the user to detect and sectionalize transmission lines or equipment problems in a 2 Mbps signal. Errors can also be intentionally injected to see the response of the system.

Table 6 highlights some of the important alarm and error indications along with possible reasons and solutions.

Result	Reason	Solution
PATTERN SYNC	Test set is not synchronised to the incoming pseudorandom pattern	Check BERT pattern selection and FRM SYNC status. If test set in self loop is operating properly, this indicates 2.048 Mbps circuit problem.
FRAME SYNC	Signal is unframed, or synchronisation to specified framing has not been achieved	Verify all settings and connections.
FAS Distant	Indicates remote (FAS Distant) alarm	Check span equipment downstream from present location.
AIS Alarm	Indicates AIS alarm	Check span equipment upstream from present location.

Table 6:
Common alarm and error indications

End-to-End Testing

End-to-end testing is performed with two TTC test sets so that both directions of the 2.048 Mbps circuit may be analysed simultaneously. **Figure 11** shows the set-up of an end-to-end test. This test method is better than the loopback test since the direction of errors can be found more quickly.

Loopback Testing

Loopback testing is performed with one TTC test set. **Figure 12** shows the set-up of the loopback test. If NTE loopbacks are

established to perform the test, it is important to realise that the far end NTE in loopback will affect the result. By design, most NTE's remove received code errors before transmitting the data. This will affect the analysis result, because the near end technician will be unaware of code errors occurring on the far end metallic loop and may draw inconclusive results. Furthermore loopback tests cannot identify incorrect timing configurations where the customer premises equipment (connected to the NTE) may not be loop-timed to the network.



The appropriate pseudorandom pattern recommended for out-of-service testing at 2.048 Mbps is the $2^{15} - 1$ pattern as specified by ITU-T Recommendation 0.151.

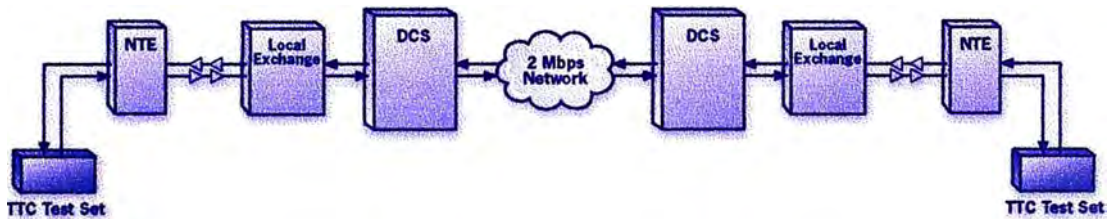


Figure 11:
Basic setup—end-to-end testing

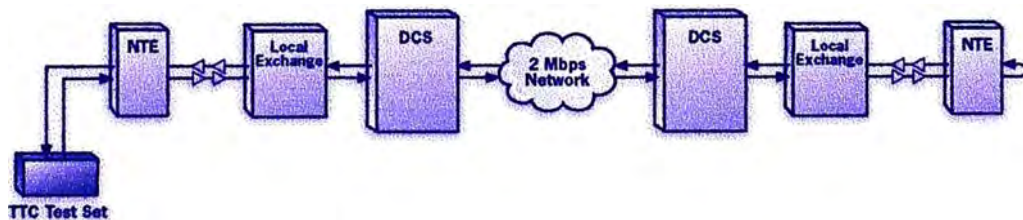


Figure 12:
Basic setup—loopback testing

Analysis of Slips

Slips and Their Causes

A pattern slip is the insertion of data bits into or from the data stream. Based on the source of the slip and its effect on the network, all slips can be placed on any of the following categories.

1. **Controlled Slips:** Controlled Slips are bit additions or deletions which do not disrupt frame synchronisation.

These slips are typically caused by synchronisation impairments in digital cross-connect (DCS) equipment. DCS equipment handles buffer overflows or underflows by deleting or repeating entire frames of data. Since data is added or deleted by entire frames, frame synchronisation is not disrupted.

2. **Uncontrolled Slips:** Uncontrolled slips are bit additions or deletions that cause both data and framing bits to be displaced. The misalignment of framing bits typically results in frame synchronisation loss.

Uncontrolled slips are typically from synchronisation problems in equipment which buffer the entire bit stream such as

satellite down link receivers. Since the buffer in this equipment does not distinguish between framing and data bits, buffer underflows or overflows result in the addition and deletion of arbitrary blocks of data.

It should be noted that slips can also result from impairments unrelated to network synchronisation. Low signal level, noise, and excessive jitter can also cause slips.

Examples of controlled and uncontrolled slips are illustrated in *Figure 13*.

Measuring the Slips

The TTC test sets pattern slip measurements count the number of times data is inserted into or deleted from the pattern.



This measurement is not a count of the actual number of bits added or deleted, but rather a count of the number of instances where a group of bits were added or deleted from the bit stream.

Interpreting the Results

To troubleshoot a problem, which causes slips, pattern slip results must be compared to other test results.

If an occurrence of a pattern slip is associated with a frame loss, it can be assumed that the frame loss is caused by an uncontrolled slip. If a pattern slip occurs without disrupting framing, it can be assumed that a controlled slip has occurred. Categorisation of slips can help identify the cause of the problem.

A better understanding of the underlying problems can also be obtained by considering the frequency at which pattern slips occur.

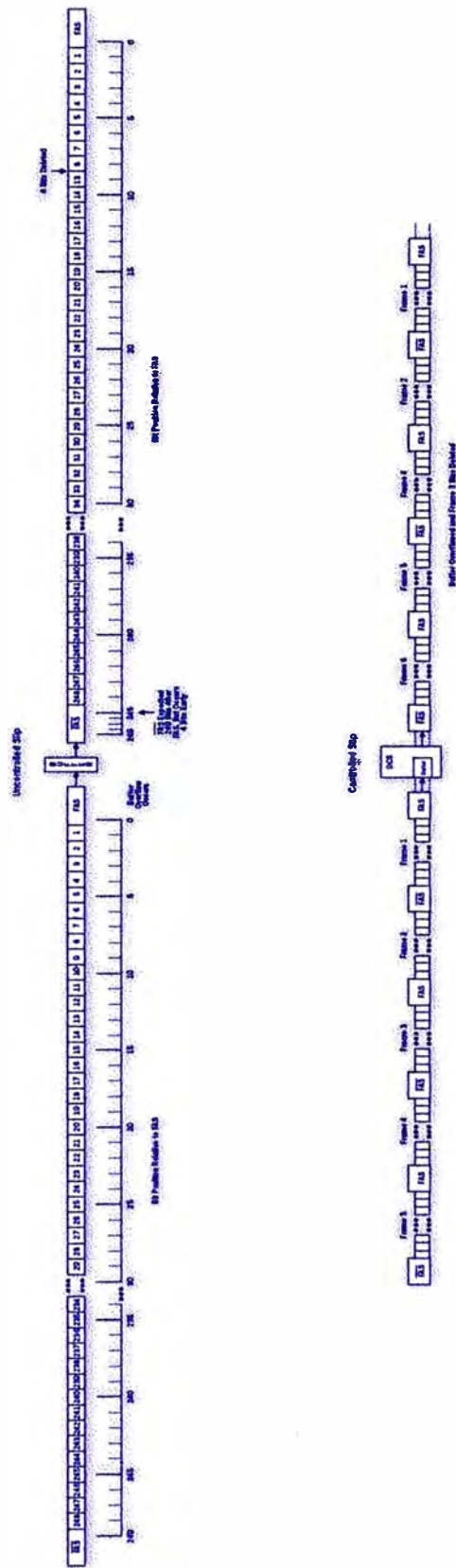


Figure 13:
Controlled and uncontrolled slips

Transmission Delay Analysis

Using the TTC test set's DELAY can help in troubleshooting specific problems such as protocol errors due to timeouts.

As an example consider the 2.048 Mbps circuit shown in **Figure 14**. In this figure, transmission path #1 has a roundtrip delay of 30 ms, whereas transmission path #2 has a round trip delay of 75 ms. If we assume a protocol timeout threshold of 50 ms, switching the

2.048 Mbps circuit from transmission path #1 to transmission path #2 would cause protocol timeouts not experienced when path #1 was in use. TTC test set's DELAY measurements can identify this problem by determining such changes in the transmission path of a 2.048 Mbps circuit.

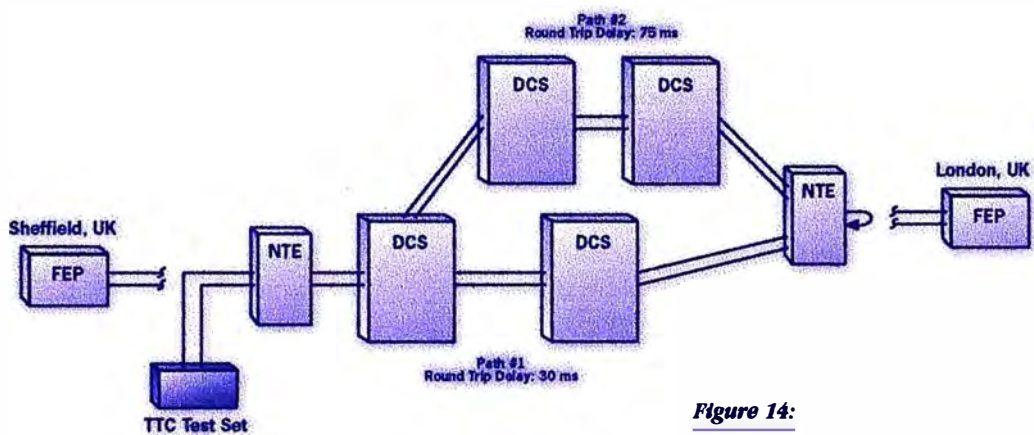


Figure 14:
Roundtrip delay measurements

ITU-T Performance Analysis

Performance Analysis results as specified by ITU-T Recommendations G.821 provide statistical information about the performance of the equipment or system under test. These results are used to check the compliance of equipment or circuits with the specified performance objectives.

Available Time vs. Unavailable Time

According to ITU-T Recommendation G.821, the total test time after the initial pattern synchronisation is broken up into available and unavailable seconds. Every test second belongs to either one of these categories. This is illustrated in **Figure 15**.

After initial synchronisation is achieved, seconds are considered to be

available time. When the bit error rate (BER) is worse than 10^{-3} for 10 consecutive seconds, a transition is made to unavailable time, and these 10 seconds are considered to be unavailable time. When the BER is better than 10^{-3} for 10 consecutive seconds, the period of unavailable time terminates, and these 10 seconds are counted as available seconds. Hence, a sliding window, 10 seconds in length, is used to detect transitions from available time to unavailable time and vice versa.



Any second in which a signal loss or pattern synchronisation loss occurs, is also considered to be a second with BER worse than 10^{-3} .

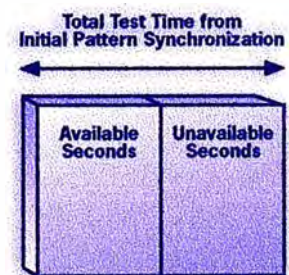


Figure 15:
G.821 available time and unavailable time

Available Time

As shown in Figure 16, available time (or available seconds) is broken up into further categories. These categories are explained below.

Error Free Seconds (EFS)	Available seconds in which no bit errors occurred.
Errored Seconds (ERR SEC)	Available seconds in which at least one bit error occurred.
Severely Errored Seconds (SES)	Available seconds in which the BER was worse than 10^{-3} .

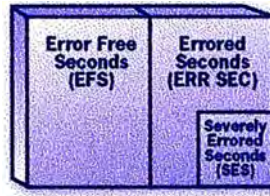


Figure 16:
Available time

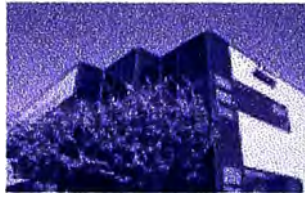


Severely errored seconds are defined to be part of available time. Therefore, severely errored seconds are likely to account for short error bursts with a BER worse than 10^{-3} , whereas longer error bursts with a BER worse than 10^{-3} are likely to be counted as part of unavailable time.

Degraded Minutes

Degraded minutes is a count of the number of minutes during which an average BER of 10^{-6} or worse occurs. The one-minute intervals are derived by removing unavailable seconds and severely errored seconds from the total test time, and then consecutively grouping the remaining seconds into blocks of 60. The average BER is calculated for the block of 60 seconds, and if it is 10^{-6} or worse, the block is counted as a degraded minute.

Copyright 1991, 1999, TTC, a division of Dymatech, LLC. All rights reserved. TTC is a registered trademark of TTC. All other trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Specifications, terms, and conditions are subject to change without notice.



World Headquarters

20400 Observation Drive

Germantown, Maryland 20876-4023 USA

USA 1-800-638-2049 • +1-301-353-1550 • FAX +1-301-353-0234

Canada 1-888-689-2165 • +1-905-812-7471 • FAX +1-905-812-3892

www.ttc.com

North American Offices

United States

Atlanta, Georgia • Chicago, Illinois • Dallas, Texas • Denver, Colorado
East Rutherford, New Jersey • Los Angeles, California
Roanoke, Virginia • San Jose, California

Canada

Calgary, Alberta • Laval, Quebec • Toronto, Ontario
Vancouver, British Columbia

International Offices

Australia

Melbourne +61-3-9563-4800

Sydney +61-2-9926-1447

Benelux +32-15-28-7686

China

Beijing +86-10-6460-5258

Hong Kong +852-2892-0990

Shanghai +86-21-6445-8938

France +33-1-39-30-24-24

Germany +49-6172-5911-00

United Kingdom +44-1189-759696

European Freephone +800-TTC-UKTAC
(+800-882-85822)

International Distributors

Argentina • Brazil • Chile • Colombia • Czech Republic
Denmark • El Salvador • Finland • India • Indonesia • Ireland
Israel • Italy • Japan • Korea • Malaysia • Mexico • Norway
Peru • Philippines • Saudi Arabia • Singapore • Slovakia
South Africa • Spain • Sweden • Switzerland • Taiwan
Thailand • United Arab Emirates • Venezuela



OPTIMIZING NETWORK PERFORMANCE



ITU-T BASICS-A-11/99

ANEXO H

EJEMPLO DE SISTEMA DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA

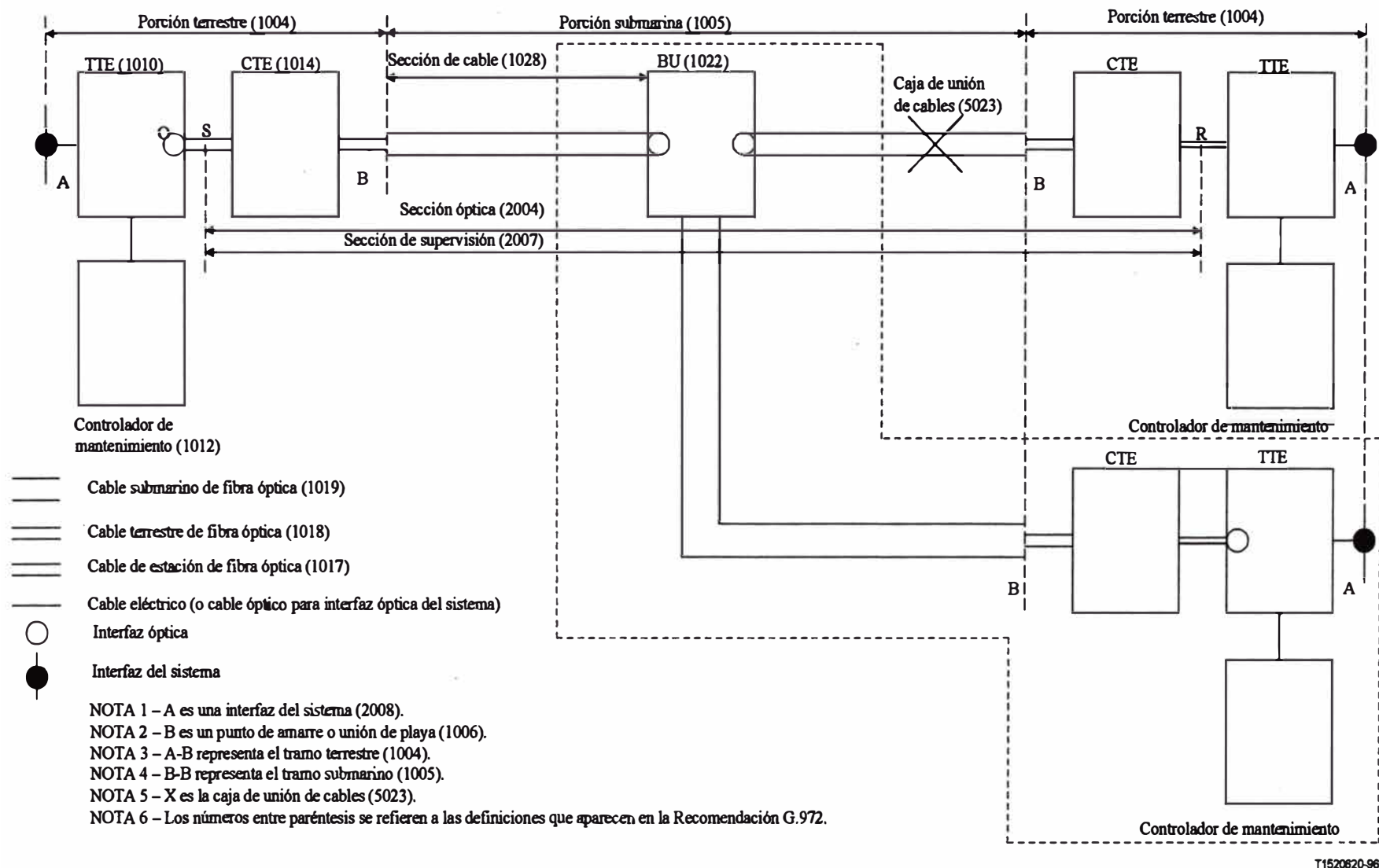


Figura A.1/G.973 – Ejemplo de sistema de cable submarino de fibra óptica sin repetidores

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Patrick Trischitta, Michel Colas, Mick Green, George Wuzniak and John Arena, "The TAT-3 12/13 Cable Network", IEEE Communications, vol 34, No. 2, Feb 1996, p. 24.
- [2] Thomas Welsh, Roger Smith, Haruo Azami and Raymond Chrisner, "The FLAG Cable System", IEEE Communications, vol 34, No. 2, Feb 1996, p. 30.
- [3] W. Christopher Barnet, Hitoshi Takahira, James C. Baroni and Yoshihiro Ogi, "The TPC-5 Cable Network", IEEE Communications, vol 34, No. 2, Feb 1996, p. 36.
- [4] David R. Gunderson, Antoine Lecroart and Koichi Tatekura, "The Asia Pacific Cable Network", IEEE Communications, vol 34, No. 2, Feb 1996, p. 42.
- [5] William C. Marra and Joel Schesser, "Africa ONE: The Africa Optical Network", IEEE Communications, vol 34, No. 2, Feb 1996, p. 50.
- [6] Mel Mandell, "120 000 leagues under the sea", IEEE Spectrum, vol 37, No. 4, April 2000, p. 50.
- [7] Mohamed El-Sayed y Jeffrey Jaffe, "A View of Telecommunications Network Evolution", IEEE Communications, vol 40, No. 12, Dec 2002, p. 74.
- [8] Pablo Maas, "Planos amplían servicios internos y con el exterior", TelePress LATINOAMERICA, set-oct 1993, p. 43.

- [9] Ethevaldo Siquiera, “SDH, el gran salto en tecnología de transmisión”, TelePress LATINOAMÉRICA, set-oct 1993, p. 19.
- [10] Norbert HaHn, “Philips presenta su nueva tecnología”, TelePress LATINOAMÉRICA, set-oct 1993, p. 22.
- [11] Mauricio Nannici, Michel Peruyero y YannYves Lebel, “La Transmisión por microondas y la SDH”, TelePress LATINOAMERICA, mar-abr 1995, p. 46.
- [12] Hugo Hernández Figueroa, “El Impacto de la óptica en las Telecomunicaciones”, INTERCON 2000, p. 1.
- [13] Michael J. Rezienman, “ Optical Nets Brace for Even Heavier Traffic”, IEEE Spectrum, vol 38, No. 1, Jan 2001, p. 44.
- [14] Malathi Veeraraghavan, Ramesh Karri, Tim Moors, Mark Karol y Reinette Grobler, “Arhitectures and Protocols that Enable New Applications on Optical Networks”, IEEE Communications, vol 39, No. 3, March 2001, p. 118.
- [15] Karen Liu and John Ryan, “All the Animals in the Zoo: The Expanding Menagerie of Optical Components”, IEEE Communications, vol 39, No. 7, July 2001, p. 110.
- [16] www.alcatel.com
- [17] www.lucent.com
- [18] www.nortel.com
- [19] Normas ITU-T G.973