

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“DISEÑO DE UNA RED DE SINCRONISMO PARA LA
RED DE TRANSPORTE ÓPTICO SDH, PARA
TRANSELECTRIC S.A.”**

ALEJANDRO CASTILLO SHCHERBAKOV

Sangolquí – Ecuador

2008

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el proyecto de grado titulado:

“DISEÑO DE UNA RED DE SINCRONISMO PARA LA RED DE TRANSPORTE
ÓPTICO SDH, PARA TRANSELECTRIC S.A.”

Ha sido desarrollado en su totalidad por el señor **Alejandro Castillo Shcherbakov**
con C.C. 171680358-8, bajo nuestra dirección.

Ing. Carlos Usbeck
DIRECTOR

Ing. Rubén León
CODIRECTOR

RESUMEN

La base de toda red de transporte óptico de nueva generación es la temporización y el sincronismo, debido a la gran exigencia en calidad de sus servicios.

El sincronismo es establecer la precisión del tiempo entre todos los elementos de la red, y comprende dentro de la ingeniería su diseño, distribución y funcionamiento.

Los deslizamientos son desfases en el régimen del tiempo que ocurren entre la transmisión y recepción de símbolos digitales. Estos son la principal causa de pérdida de información.

TRANSELECTRIC S.A. es la Compañía Nacional de Transmisión Eléctrica conformada como empresa privada, cuyo principal socio es el Fondo de Solidaridad. Tiene por visión para el año 2010 ser una de las cinco primeras empresas de Sudamérica de Transmisión de Energía Eléctrica y Portadores de Telecomunicaciones, que brindan la más alta calidad de servicio al cliente.

La fortaleza de las redes de transporte SDH es el sincronismo, por lo que su arquitectura es parte fundamental en el diseño.

El diseño y plan de sincronismo para la red de transporte óptico de TRANSELECTRIC S.A. cumple con los requisitos de acuerdo a normas internacionales y con el plan técnico fundamental del CONATEL, garantizando un correcto funcionamiento, disponibilidad y calidad.

DEDICATORIA

A mis padres por todo el apoyo y la confianza que me brindaron, en especial a mi madre por todo el esfuerzo realizado para poder completar mis estudios.

A mi hermano por ser una persona de confianza que me ha respaldado en toda mi trayectoria estudiantil.

A la memoria de mi abuelita quien siempre me dio aliento para seguir adelante y concluir mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ayudarme y darme su mano en los momentos difíciles, además de toda la sabiduría que ha cultivado en mí.

A mi madre por brindarme su confianza, dedicación, comprensión y amor a lo largo de mi carrera profesional.

A TRANSELECTRIC S.A., en especial a todos quienes conforman la Gerencia de Telecomunicaciones por brindarme la oportunidad de desarrollar el proyecto de grado.

A los Ingenieros Carlos Usbeck y Rubén León, por toda la experiencia y conocimientos aportados para el correcto desarrollo del proyecto de grado.

PRÓLOGO

El sincronismo es fundamental para ofrecer calidad en los servicios de telecomunicaciones, además en la actualidad es la base para la nueva generación de redes y servicios.

El proyecto tiene como objetivo plantear una solución de diseño para la Red de Transporte Óptico de TRANSELECTRIC S.A., y así garantizar la disponibilidad y calidad del servicio a los clientes, orientado a los objetivos estratégicos de la empresa.

El diseño presentado contempla tres etapas: fundamento teórico, análisis de diseño y justificación de soluciones. Se debe resaltar que todas las consideraciones técnicas están en base a las recomendaciones de UIT-T y al plan técnico fundamental del CONATEL.

Las redes de sincronismo basadas en un esquema Jerárquica Mutua, facilitan la distribución adecuada de temporización a todos los elementos de la red. Este tipo de esquema será robusto siempre y cuando ofrezca redundancia de referencia y rutas de protección.

Los estudios realizados también incluyen la descripción de la instalación y configuración de los equipos actuales que operan la red de transporte con la red de sincronismo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ¿Qué es una red de sincronismo?	1
1.2 ¿Para qué una red de sincronismo?	2
1.3 TRANSELECTRIC S.A.....	3
1.3.1 Mapa del Sistema Nacional de Transmisión	6
1.3.2 Estructura del Sistema Nacional de Transmisión	7
1.3.4 Estrategia Organizacional.....	7
1.3.5 Objetivos Estratégicos.....	8

CAPÍTULO 2

DESFACES EN EL TIEMPO

2.1 Problemas que genera la falta de una red de Sincronismo en una Red de Transporte.	9
2.2 Deslizamientos.....	11
2.3 Temporización y Tramas Digitales	13

2.3.1 Jitter	15
2.3.1 Wander	15
2.4 Factores que causan deslizamientos de tiempo	16
2.4.1 Temperatura	16
2.4.2 Multiplexación de Canales y Jerarquías	18
2.4.3 Re-sincronización de las Tramas SDH.....	21
2.5 Imperfecciones en las Señales de Temporización	22
2.6 Características para el rendimiento de la Temporización	23
2.6.1 Jitter pico a pico y RMS	24
2.6.2 Máximo Error en el Intervalo de Tiempo (MTIE)	25
2.6.3 Varianza de Tiempo (TVAR) y Desviación de Tiempo (TDEV)	25
2.7 Límites de la fluctuación de fase y rendimiento de la red	25
2.7.1 Fluctuación de fase lenta (Wander)	25
2.7.2 Fluctuación de fase rápida (Jitter)	27
2.8 Límites de la fluctuación de fase y rendimiento de la red de conmutación de paquetes	35
2.8.1 Fluctuación de fase lenta	36

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE ÓPTICO DE TRANSELECTRIC S.A.

3.1 Situación Actual y Proyección para el 2009	39
3.2 Servicios disponibles para clientes	41

3.3 Estructura de la Red	42
3.4 Capacidades	45
3.4.1 Trafico Internacional	45
3.4.2 Trafico Interno (Nacional)	45
3.5 Equipos de la red de Transporte Óptico	48
3.5.1 Core	50
3.5.2 Metro Access	50
3.5.3 Descripción de los Equipos del Core	51
3.5.4 Descripción de los Equipos del Metro Access	53
3.6 Equipos de Sincronización para la red de transporte	56
3.7 Proyecto de Red con Multiplexación de Longitudes de Onda (WDM)	60

CAPÍTULO 4

ARQUITECTURA DE LAS REDES DE SINCRONISMO

4.1 Área de Sincronización.....	64
4.2 Distribución de la Sincronización	66
4.2.1 Reloj de Referencia Primario (PRC)	66
4.2.2 Unidad de Suministro de Sincronización (SSU)	69
4.2.3 Reloj del elemento de red SDH (SEC)	82
4.3 Modos de funcionamiento de temporización del elemento de red	91
4.4 Métodos de Sincronización.....	95
4.4.1 Maestro – Subordinado.....	95
4.4.2 Mutua	96

4.4.3 Jerárquica Mutua	97
4.5 Referencia y Selección.....	99
4.5.1 Mensajes de Estado de Sincronización (SSM).....	101
4.6 Protección de la Sincronización	106
4.7 Plan y Diseño de las Redes de Sincronismo	107
4.7.1 Requisitos para el diseño de las redes de sincronismo	108
4.7.2 Análisis de las redes de sincronismo	109
4.8 Ethernet Síncrona	111
4.8.1 Arquitectura de las Redes Ethernet Síncrona	112
4.8.2 Función de Interoperabilidad (IWF).....	113
4.9 Manejo y Gestión de las Redes de Sincronismo	115

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y PLAN DE SINCRONISMO

5.1 Diseño de la red de sincronismo.....	122
5.2 Distribución de la red de sincronismo	126
5.3 Estudio y definición de las soluciones de la red de sincronismo	129
5.4 Descripción de los equipos a utilizar	132
5.4.1 PRC	132
5.4.2 SSU	133
5.4.3 Servidores NTP	134
5.5 Detalles sobre la instalación de los equipos y distribución del sincronismo dentro de la red.....	135

5.5.1 Instalación y configuración del sincronismo en los equipos Siemens Surpass hiT 7070.....	135
5.5.2 Instalación y configuración del sincronismo en los equipos Siemens SMA 16 144	
5.5.3 Instalación y configuración del sincronismo en los equipos Huawei OSN 3500	156
5.6 Manejo y Gestión de la red de sincronismo	163
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.....	166
6.2 Recomendaciones.....	168

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Figura. 1.1. Mapa del sistema nacional de transmisión.	6
---	---

CAPÍTULO 2

DESFASES EN EL TIEMPO

Figura. 2.1. Estructura de una red de transporte.	11
Figura. 2.2. Diagrama de un receptor digital.	12
Figura. 2.3. Descripción gráfica de los deslizamientos de tiempo.	13
Figura. 2.4. Transmisión digital ideal (ecuación).	13
Figura. 2.5. Transmisión digital ideal.	14
Figura. 2.6. Transmisión digital real (ecuación).	14
Figura. 2.7. Transmisión digital real.	15
Figura. 2.8. Variación de tiempo de propagación de una fibra óptica (ecuación).	17
Figura. 2.9. Alineamiento de tramas STM-N.	21
Figura. 2.10. Variación de frecuencia (ecuación).	22

Figura. 2.11. Jitter RMS (ecuación).	24
Figura. 2.12. Límite de la fluctuación lenta (MRTIE) de fase de salida de una interfaz a 2048 kbps.	27
Figura. 2.13. Tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-1.....	30
Figura. 2.14. Requisito de tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-1e (se aplica solamente a redes de la jerarquía de 2048 kbps).	31
Figura. 2.15. Tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-4.....	32
Figura. 2.16. Tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-16.	33
Figura. 2.17. Tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-64.	34
Figura. 2.18. Modelos de la red y casos para la sincronización de paquetes.	37

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE ÓPTICO DE TRANSELECTRIC S.A.

Figura. 3.1. Mapa de la red de transporte de fibra óptica.	40
Figura. 3.2. Diagrama de la red SDH de TRANSELECTRIC.	44
Figura. 3.3. Equipos de la red de transporte.	49
Figura. 3.4. Fotografía del equipo Siemens Surpass hiT 7070.	51
Figura. 3.5. Fotografía del equipo Siemens SMA16.	52
Figura. 3.6. Fotografía del equipo Surpass hiT 7020.....	54
Figura. 3.7. Fotografía del equipo Huawei Optix Metro 1000.	54
Figura. 3.8. Diagrama de la red de sincronismo actual de TRANSELECTRIC.	57
Figura. 3.9. Fotografía del equipo Symmetricom TimeSource 3100.	58
Figura. 3.10. Fotografía del equipo Symmetricom SSU 55400A.	59

Figura. 3.11. Diagrama de Red Regional y Acceso a Cables Submarinos con DWDM.	62
---	----

CAPÍTULO 4

ARQUITECTURA DE LAS REDES DE SINCRONISMO

Figura. 4.1. Cadena de referencia de la red de sincronización.	65
Figura. 4.2. MTIE en función del periodo de observación (t) de un PRC.	68
Figura. 4.3. TDEV en función del periodo de observación t de un PRC.	69
Figura. 4.4. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) máxima de un SSU.	74
Figura. 4.5. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) con temperatura constante máxima de un SSU.	75
Figura. 4.6. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE).	79
Figura. 4.7. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) máxima de un SSU.	80
Figura. 4.8. Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para el reloj SSU de nodo tipo I.	81
Figura. 4.9. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) límite de un SEC.	85
Figura. 4.10. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) límite de un SEC con temperatura constante.	86
Figura. 4.11. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) máxima de un SEC.	89
Figura. 4.12. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) límite de un SEC.	90
Figura. 4.13. Límite inferior de la fluctuación de fase a la entrada admisible máxima de un SEC.	91

Figura. 4.14. Diagrama del circuito de recuperación de datos y temporización de un elemento de red SDH.	92
Figura. 4.15. Modos de funcionamiento de temporización del elemento de red SDH.	93
Figura. 4.16. Configuración de Sincronización Maestro – Esclavo.	96
Figura. 4.17. Configuración de Sincronización Mutua.	97
Figura. 4.18. Configuración de Sincronización Jerárquica Mutua.	99
Figura. 4.19. Sección de Cabecera de las tramas STM-N.	102
Figura. 4.20. Funcionamiento de los SSM (ejemplo).	106
Figura. 4.21. Mapa de la red de sincronización en una zona de sincronización (ejemplo).	111
Figura. 4.22. Arquitectura de la red Ethernet síncrona.	113
Figura. 4.23. Relación entre Ethernet, LAPS y SDH.	114
Figura. 4.24. Configuración del protocolo Ethernet sobre LAPS.	114
Figura. 4.25. Gestión y control de la red de sincronismo propuesta en áreas y niveles jerárquicos.	118
Figura. 4.26. Modelo de la configuración de red de Administración y Gestión de la Red de Sincronismo.	119

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y PLAN DE SINCRONISMO

Figura. 5.1. Diagrama de la Red de Transporte SDH de TRANSELECTRIC.	121
Figura. 5.2. Diagrama de la Red de Transporte DWDM de TRANSELECTRIC.	121
Figura. 5.3. Red de Sincronismo para la red SDH de TRANSELECTRIC.	123
Figura. 5.4. Red de Sincronismo para la red DWDM de TRANSELECTRIC.	124

Figura. 5.5. Distribución de la señal de sincronismo para la red de transporte SDH.	127
Figura. 5.6. Distribución de la señal de sincronismo para la red de transporte DWDM.	128
Figura. 5.7. Esquema de configuración de los servidores NTP para la red Ethernet.	135
Figura. 5.8. Descripción de los pines del conector DB-15 para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.	136
Figura. 5.9. Configuración de los pines del conector DB-15 hembra para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.	138
Figura. 5.10. Panel de conexión COPA del sistema Surpass hiT 7070.	139
Figura. 5.11. Configuración de la señal de reloj de sincronismo del sistema Surpass hiT7070.	140
Figura. 5.12. Configuración de la señal de sincronismo T0 del sistema Surpass hiT7070.	141
Figura. 5.13. Configuración de la señal de sincronismo proveniente de la interfaz T1 del sistema Surpass hiT7070.	142
Figura. 5.14. Configuración de la señal de sincronismo de las interfaces T3 y T4 del sistema Surpass hiT707.	143
Figura. 5.15. Descripción de los pines del conector DB-9 para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.	145
Figura. 5.16. Configuración de los pines del conector DB-9 hembra para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.	146
Figura. 5.17. Acceder a la ventana de configuración de la señal de reloj de sincronismo para el sistema SMA 16.	147
Figura. 5.18. Ventana de configuración de la señal de reloj de sincronismo del sistema SMA 16.	148
Figura. 5.19. Acceso y configuración de la interfaz T0 del sistema SMA 16.	149
Figura. 5.20. Acceso y configuración de la interfaz T4 del sistema SMA 16.	150
Figura. 5.21. Acceso y configuración de las interfaces T1 y T2 del sistema SMA 1.	152

Figura. 5.22. Acceso y configuración de la interfaz T3 del sistema SMA 16.	154
Figura. 5.23. Acceso y configuración de prioridades de sincronismo del sistema SMA 16.....	155
Figura. 5.24. Panel AUX del equipo OSN 3500.....	156
Figura. 5.25. Configuración de pines para el puerto RJ-45 (120 Ω) para señales de reloj del sistema OSN 3500.....	157
Figura. 5.26. Configuración de la lista de prioridades de la fuente de la señal de reloj para el sistema OSN 3500.	159
Figura. 5.27. Configuración de la lista de prioridades para la primera señal de salida de reloj para el sistema OSN 3500.	160
Figura. 5.28. Configuración de la lista de prioridades para la segunda señal de salida de reloj para el sistema OSN 3500.	161
Figura. 5.29. Configuración de la conmutación de la fuente de la señal de reloj para el sistema OSN 3500.....	162
Figura. 5.30. Ventana de parámetros de retorno de la fuente de reloj del sistema OSN 3500.....	162
Figura. 5.31. Ventana de conmutación a una fuente de reloj del sistema OSN 3500.	163
Figura. 5.32. Diagrama de la red de administración y gestión de la red de sincronismo.....	164

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

DESFASES EN EL TIEMPO

Tabla. 2.1. Valores típicos de variación de la longitud de onda de un laser por la variación de la temperatura.	18
Tabla. 2.2. Límite de la fluctuación lenta (MRTIE) de fase de salida de una interfaz a 2048 kbps.	27
Tabla. 2.3. Máxima fluctuación de fase permisible en las interfaces de red.	28
Tabla. 2.4. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-1.	30
Tabla. 2.5. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-1e.	31
Tabla. 2.6. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-4.	32
Tabla. 2.7. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-16.	33
Tabla. 2.8. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-64.	34
Tabla. 2.9. Calidad en los servicios de nueva generación.	35
Tabla. 2.10. Caso 1: Límite de fluctuación lenta de fase de salida de interfaz a 2048 kbps.	37

Tabla. 2.11. Caso 2: Límite de fluctuación lenta de fase de salida de interfaz a 2048 kbps.....	38
---	----

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE ÓPTICO DE TRANSELECTRIC S.A.

Tabla. 3.1. Capacidades de trafico ruta Quito – Jamondino.....	45
Tabla. 3.2. Capacidades de trafico ruta Quito – Santo Domingo.....	46
Tabla. 3.3. Capacidades de trafico ruta Santo Domingo – Quevedo.....	46
Tabla. 3.4. Capacidades de trafico ruta Quevedo – Manta.	46
Tabla. 3.5. Capacidades de trafico ruta Quevedo – Guayaquil.	46
Tabla. 3.6. Capacidades de trafico ruta Guayaquil – Milagro.....	47
Tabla. 3.7. Capacidades de trafico ruta Milagro – Machala.	47
Tabla. 3.8. Capacidades de trafico ruta Milagro – Cuenca.....	47
Tabla. 3.9. Capacidades de trafico ruta Cuenca – Loja.	47

CAPÍTULO 4

ARQUITECTURA DE LAS REDES DE SINCRONISMO

Tabla. 4.1. Límite MTIE de la fluctuación de fase lenta de un PRC.....	67
Tabla. 4.2. Límite TDEV de la fluctuación de fase lenta de un PRC.....	68
Tabla. 4.3. Requisitos de exactitud de frecuencia de salida de un SSU.	71

Tabla. 4.4. Requisitos de enganche, retención y desenganche de un SSU.	72
Tabla. 4.5. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) para reloj SSU de nodo tipo I con temperatura constante.	73
Tabla. 4.6. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) para relojes SSU de nodo tipos II y III con temperatura constante.	73
Tabla. 4.7. Generación de fluctuación lenta de fase total (MTIE) para reloj SSU de nodo tipo I con temperatura variable.	73
Tabla. 4.8. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) para reloj SSU de nodo tipo I con temperatura constante.	74
Tabla. 4.9. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) para relojes SSU de nodo tipos II y III con temperatura constante.	75
Tabla. 4.10. Generación de fluctuación de fase STM-N máxima de un SSU.	77
Tabla. 4.11. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) para relojes SSU de nodo tipo I.	78
Tabla. 4.12. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) para relojes SSU de nodo tipos II y III.	78
Tabla. 4.13. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) para reloj SSU de nodo tipo I.	79
Tabla. 4.14. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) para relojes SSU de nodo tipos II y III.	80
Tabla. 4.15. Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para el reloj SSU de nodo tipo I.	81
Tabla. 4.16. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) máxima de un SEC con temperatura constante.	84
Tabla. 4.17. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) máxima de un SEC adicional con efectos de temperatura.	85
Tabla. 4.18. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) máxima de un SEC con temperatura constante.	85
Tabla. 4.19. Generación de fluctuación de fase a la salida de una interfaz STM-N de un SEC.	88

Tabla. 4.20. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) máxima de un SEC.	89
Tabla. 4.21. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) máxima de un SEC.	90
Tabla. 4.22. Descripción de los campos de la Sección de la Cabecera de Regeneración (RSOH).	102
Tabla. 4.23. Descripción de los campos de la Sección de la Cabecera de Multiplexación (MSOH).	103
Tabla. 4.24. Mensajes de Estado de Sincronización (SSM).....	104

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y PLAN DE SINCRONISMO

Tabla. 5.1. Descripción de los pines del conector DB-15 para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.	137
Tabla. 5.2. Descripción de los pines del conector DB-9 para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.	145
Tabla. 5.3. Descripción de los puertos para las señales de reloj del panel AUX del sistema OSN 3500.....	157

GLOSARIO

- ADM** Multiplexor de Inserción/Extracción (*Add/Drop Multiplexer*). Dispositivo de la red capaz de insertar y/o extraer contenedores de información.
- APS** Protección por Conmutación Automática (*Automatic Protection Switching*).
- ASETA** Asociación de Empresas de Telecomunicaciones de la Comunidad Andina.
- ATM** Modo de Transferencia Asíncrono (*Asynchronous Transfer Mode*). Sistema de transferencia por paquetes para redes de información.
- BGP** Protocolo de Enlace de Frontera (*Border Gateway Protocol*). Protocolo de enrutamiento de paquetes entre portadores de servicios de Internet. Se basa en la publicación de listas de acceso entre los Sistemas Autónomos (AS, *Autonomous System*).
- BNC** Conector de Tuerca forma de Barril (*Barrel Nut Connector*).
- bps** bits por segundo (*bits per second*). Tasa de transmisión de bits (símbolo digital) medida en un segundo. Incluye el uso de sufijos del Sistema Internacional de pesos y medidas como es: Gbps (mil millones de bits por segundo), Mbps (millón de bits por segundo), kbps (mil bits por segundo).

- BSHR** Anillo Bidireccional de Auto recuperación (***B**idirectional **S**elf **H**ealing **R**ing*).
- CBR** Velocidad Constante de Bits (***C**onstant **B**it **R**ate*). Define una transmisión de símbolos digitales constante en flujo y velocidad. Este tipo de transmisión es común en los sistemas síncronos.
- CDM** Multiplexación por División de Códigos (***C**ode **D**ivision **M**ultiplex*). Técnica de acceso de un sistema de telecomunicaciones con el uso de códigos.
- CES** Servicio de Emulación de Circuitos (***C**ircuit **E**mulation **S**ervice*).
- DCOCX** Oscilador de Cuarzo con Temperatura Controlada Digitalmente (***D**igital **C**ontrolled **O**venized **C**rystal **O**scillator*).
- DNI** Interface Digital de Red (***D**igital **N**etwork **I**nterface*).
- DS-N** Señal Digital de nivel N (***D**igital **S**ignal level **N***). Jerarquía de transmisión de datos utilizada por operadores de telecomunicaciones. Existen 3 niveles que son DS-0 (64 kbps), DS-1 (1,544 Mbps) y DS-3 (44,736 Mbps). Este sistema de niveles es utilizado en los sistemas de transporte PDH en Estados Unidos.
- DSP** Densidad Espectral de Potencia (***D**ensity **S**pectral **P**ower*).
- DUS** No usar para Sincronización (***D**on't **U**se for **S**ynchronization*).
- DWDM** Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda (***D**ense **W**avelength **D**ivision **M**ultiplex*). Técnica de multiplexación de varias longitudes de onda en un mismo hilo de fibra óptica. Utilizada en telecomunicaciones para transmisión de Información (voz, video, datos).

- E1** portadora-E de nivel 1 (*E-carrier nivel 1*). Sistema de niveles de portadoras utilizado en PDH Europeo. La velocidad de un E1 es 2048 kbps. Contiene 32 canales multiplexados en el tiempo (TDM).
- ESCIU** Unidad de Inserción Sincronizada de Reloj a nivel E1 (*E1 Synchronous Clock Insertion Unit*).
- FDM** Multiplexación por División de Frecuencia (*Frequency Division Multiplex*). Técnica de acceso de un sistema de telecomunicaciones con el uso de diferentes frecuencias dentro de un mismo rango.
- FICON** Conexión de Fibra (*Fiber Connection*).
- FOFF** Frecuencia de fuera de rango en Fracción (*Frequency Offset Fractional*).
- GFP** Protocolo Genérico de Tramas (*General Framing Protocol*).
- GMII** Interfaz independiente de los medios en Gigabit (*Gigabit Media Independent Interface*).
- GMPLS** Conmutación Generalizada por Etiquetas Multiprotocolo (*Generalized Multiprotocol Layer Switch*). Sistema de conmutación óptico usado en DWDM para direccionar las diferentes longitudes de onda de acuerdo a su etiqueta o destino.
- GPS** Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System*). Sistema desarrollado por el Ejército de los Estados Unidos para dar soporte logístico a sus tropas. Usado comercialmente y en especial en las telecomunicaciones para suministrar una referencia de tiempo y sincronismo.

Hz Hertz. Medida con la cual una frecuencia de onda es medida. Significa un ciclo por segundo.

IEEE Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*Institute of Electrical and Electronics Enginners*).

INECEL Instituto Ecuatoriano de Electrificación.

IP Protocolo de Internet (*Internet Protocol*). Protocolo de nivel 3 (direccionamiento) del modelo de referencia OSI para comunicación de datos entre elementos de red.

IPTV Televisión sobre el Protocolo de Internet (*Internet Protocol Television*).

ISP Proveedor de Servicios de Internet (*Internet Service Provider*). Es definido como una empresa que distribuye a los usuarios finales conexiones hacia el Internet.

IWF Función de interfuncionamiento (*Interworking Function*).

LAN Red de Área Local (*Local Area Network*). Se define a una red de comunicación en un área geográficamente reducida (edificio, casa).

LAPS Procedimiento de acceso al enlace de la jerarquía digital síncrona (*Link Access Procedure SDH*).

LCAS Esquema de Ajuste de la Capacidad del Enlace (*Link Capacity Adjustment Scheme*).

LED Diodo Emisor de Luz (*Light Emitting Diode*).

- LMRTIE** Máximo Error Relativo en el Intervalo de Tiempo (*Last **M**aximun **R**elative **T**ime **I**nterval **E**rror*).
- MII** Interfaz independiente de los medios (***M**edia **I**ndependent **I**nterface*).
- MPLS** Conmutación por Etiquetas Multiprotocolo (***M**ultiprotocol **L**ayer **S**witch*).
Estándar que provee enrutamiento de paquetes a través de la conmutación de rutas dentro de una red IP de transporte.
- MRTIE** Máximo Error Relativo en el Intervalo de Tiempo (***M**aximun **R**elative **T**ime **I**nterval **E**rror*).
- MS-DCC** Canal de comunicación para la Sección de Multiplexación (***M**ultiplex **S**ection **D**ata **C**ommunication **C**hannel*).
- MSOH** Sección de la Cabecera de Multiplexación (***M**ultiplex **S**ection **O**ver-**H**ead*).
- MSP** Protección por Conmutación Manual (***M**anual **S**witch **P**rotection*).
- MS-REI** Indicador de Error Remoto de la Sección Multiplexación (***M**ultiplex **S**ection **R**emote **E**rror **I**ndicator*).
- MTIE** Máximo Error en el Intervalo de Tiempo (***M**aximun **T**ime **I**nterval **E**rror*).
- NE** Elemento de Red (***N**etwork **E**lement*). Se define como elemento de red a todo dispositivo electrónico y/o óptico activo que opera dentro de una red de comunicación de datos.

- NGN** Nueva Generación de Redes (*New Generation Networks*). Es el uso de servicios de voz, video y datos sobre un mismo protocolo de direccionamiento de red, el protocolo IP.
- NMS** Señal de Gestión de la Red (*Network Management Signal*).
- NTP** Protocolo de temporización de la red (*Network Time Protocol*). Protocolo usado para distribuir información de temporización a los elementos de la red.
- OC-N** Contenedor Óptico de nivel N (*Optical Carrier level N*). Describe al contenedor óptico de información para los sistemas basados en SONET.
- OPGW** Cable de protección a tierra con fibra óptica (*Optical Ground Wire*).
- OSI** Sistema de Interconexión Abierto (*Open System Interconnection*). Sistema creado para estandarizar las interconexiones de equipos dentro de una red de comunicación.
- OTN** Red de Transporte Óptico (*Optical Transport Network*).
- PDH** Jerarquía Digital Plesiócrona (*Plesiochronous Digital Hierarchy*). Sistema de transporte casi síncrono para la comunicación de canales de voz.
- PP** Protección de Ruta (*Path Protection*).
- PPM** Partes Por Millón (*Part Per Million*).

- PPP** Protocolo Punto a Punto (*Point to Point Protocol*). Protocolo de conexión entre dos equipos (puntos) en un canal. No requiere direccionamiento ya que la comunicación se la realiza por conmutación de circuitos.
- PPS** Pulsos Por Segundo (*Pulse Per Second*).
- PRC** Reloj de Referencia Primaria (*Primary Reference Clock*).
- PSN** Red Síncrona de Paquetes (*Packet Synchronous Network*). Sistema de transporte síncrono de información digital por medio de paquetes.
- RMS** Valor Cuadrático Medio (*Root Mean Square*).
- RPR** Protección de Anillo a nivel de Paquetes (*Resilient Packet Ring*).
- RS-DCC** Canal de comunicación para la Sección de Regeneración (*Regeneration Section Data Communication Channel*).
- RSOH** Sección de la Cabecera de Regeneración (*Regeneration Section Over-Head*).
- SDH** Jerarquía Digital Síncrona (*Synchronous Digital Hierarchy*). Sistema de transporte síncrono de información digital.
- SEC** Reloj del Equipo de red SDH (*Synchronization Equipment Clock*).
- SNCP** Conexión de Protección de Sub-Red (*Sub-Network Connection Protection*).

- SNMP** Protocolo Simple de Gestión de Redes (*Simple Network Management Protocol*). Forma parte del conjunto de protocolos de Internet. Usado para monitorear y administrar elementos de una red de telecomunicaciones.
- SNT** Sistema Nacional de Transmisión. Sistema de transporte de energía eléctrica que opera a lo largo de todo el territorio Ecuatoriano, administrado por TRANSELECTRIC S.A.
- SONET** Red Óptica Síncrona (*Synchronous Optical Network*). Sistema de transporte síncrono de transporte de información digital usado en los Estados Unidos.
- SSM** Mensaje de Estado de Sincronización (*Synchronization Status Message*).
- SSU** Unidad de Suministro de Sincronización (*Synchronization Supply Unit*).
- SSU-L** Unidad de Suministro de Sincronización de Local (*Synchronization Supply Unit Local*).
- SSU-T** Unidad de Suministro de Sincronización de Transito (*Synchronization Supply Unit Transit*).
- STM-N** Modulo de Transferencia Síncrono (*Synchronous Transfer Module*). Tramas digitales usadas en SDH. Estos módulos o tramas se dividen en diferentes niveles de acuerdo a la capacidad de su contenedor de información, STM-1(155,52 Mbps), STM-4 (622,08 Mbps), STM-16 (2,48 Gbps), STM-64 (10 Gbps).
- STP** Protección Spaninng Tree (*Spanning Tree Protection*).

- TDEV** Desviación de Tiempo (*Time Desviation*).
- TDM** Multiplexación por División de Tiempo (*Time Division Multiplex*). Técnica de acceso por lapsos o intervalos de tiempo del canal de comunicación en un sistema de telecomunicaciones.
- TNM** Gestión de Redes de Telecomunicacion (*Telecommnication Network Management*). Estándar de la UIT-T para gestionar vía software una red de telecomunicaciones.
- TOD** Tiempo Real (*Time Of Day*).
- TVAR** Varianza de Tiempo (*Time Variance*).
- Ulpp** Intervalo Unitario pico a pico (*Unit Interval peak to peak*).
- UIT-T** Unión Internacional de Telecomunicaciones sección Telecomunicaciones (*International Telecommunication Union section Telecommunications*).
- UTC** Tiempo Universal Coordinado (*Universal Time Coordinate*). Tiempo coordinado o referenciado en el meridano cero de Greenwich – Inglaterra.
- VCAT** Concatenación Virtual (*Virtual Conca*tenation).
- VC-N** Contenedor Virtual de nivel N (*Virtual Container level N*). Niveles de carga útil de una trama STM-N. Estos contenedores facilitan la integración de las jerarquías SDH y PDH.
- VCSEL** Laser Emisor Superficial de Cavidad Vertical (*Vertical Cavity Surface-Emitting Laser*).

VLAN Red Virtual de Área Local (*Virtual Local Area Network*).

VoIP Voz sobre el Protocolo de Internet (*Voice over Internet Protocol*).

WDM Multiplexación por División de Longitud de Onda (*Wavelength Division Multiplex*). Técnica de acceso por divisiones de longitud de onda estableciendo diferentes canales de comunicación en un mismo hilo de fibra óptica para un sistema de telecomunicaciones.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ¿Qué es una red de sincronismo?

Una red de sincronismo es aquella que distribuye la información de temporización a todos los nodos que conforman la red de transporte SDH, para que estos actúen de forma sincronizada en la transmisión y recepción de tramas digitales.

Esta sincronía se la realiza a través de relojes de referencia ubicados en capas o niveles, que distribuyen su señal a todos los nodos de la red. En cada nivel existe un reloj de cierta calidad. A mayor calidad del reloj el nivel de referencia será mejor y a su vez deberá garantizar su correcto funcionamiento a largo y corto plazo.

Para diferenciar entre estos tipos de niveles la UIT-T establece tres niveles de relojes de referencia, establecidos en las recomendaciones: G.811, G.812 y G.813.

La aplicabilidad de una red de sincronismo va mas allá de una red SDH de transporte, es aplicable también con el uso con varias longitudes de onda como en DWDM.

1.2 ¿Para qué una red de sincronismo?

Ahora también se deben conocer los motivos por los cuales una red de transporte con tecnología SDH requiere una red de sincronismo. En una red de transporte óptico SDH su base radica en la sincronización de todos sus elementos de red para recibir y transmitir información digital a altas velocidades.

Dado que sus tramas de información (STM-N) son siempre constantes, sea que se la utilice a su totalidad o no, estas requieren de una correcta temporización para que al llenar o tomar información de dicha trama sea la correcta y se evite las pérdidas de información. Además cabe señalar que la trama STM-N dispone de un contenedor virtual (VC) donde se carga la información digital multiplexada en el tiempo (TDM). El VC es de gran tamaño y por más mínimo que sea el error en la sincronización este se vera reflejado en perdida de la información del VC.

La realidad actual de las telecomunicaciones nos lleva a la convergencia de todos los servicios multimedia y de datos a un mismo protocolo de red, el protocolo IP. Dado que este protocolo de red no garantiza la transmisión y recepción correcta del paquete de datos, es encargada a niveles superiores.

El problema se empeoraría si sumamos las deficiencias del protocolo IP (mejor esfuerzo) más las deficiencias que se pueden generar a nivel del enlace físico. Las exigencias de la nueva generación de redes y servicios (NGN) requieren de una red de transporte de calidad.

En esta nueva generación de servicios la calidad en la transmisión y recepción de la información juega un factor muy crítico, dado que, dicha calidad en la transmisión y recepción de información afecta directamente con la calidad del servicio y a su vez esta calidad del servicio se ve reflejada directamente con la percepción que el cliente tiene del mismo.

Toda esta cadena finaliza en la economía de la empresa, entonces el garantizar una transmisión de la información de forma correcta a nivel de la capa de enlace del modelo de referencia OSI garantizará una red de transporte óptico eficiente y a su vez mejorar la calidad del servicio y por ende la percepción del cliente será la adecuada.

Entonces reflejada la sincronización en una red de transporte óptico bajo SDH como la base de la red, allí marca su importancia del porque una red de sincronismo.

Las razones están planteadas, la tecnología para usarla esta a nuestro alcance, ahora debemos tomar el reto de ofrecer calidad a más de disponibilidad en nuestra red de transporte óptico SDH.

1.3 TRANSELECTRIC S.A.

El 13 de enero de 1999 tras la disolución de Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), nace la Compañía Nacional de Transmisión Eléctrica, TRANSELECTRIC S.A. encargada de la transmisión de la energía eléctrica desde las empresas generadoras hacia las empresas distribuidoras a través del Sistema Nacional de Transmisión (SNT) a lo largo de todo el país.

Conformada como una empresa privada cuyo único accionista es el Fondo de Solidaridad.

TRANSELECTRIC administra y opera un conjunto de subestaciones y líneas troncales de transmisión en 230 y 138 kilovoltios que transporta la energía eléctrica producida por las generadoras hidroeléctricas y térmicas. La energía producida es llevada desde las generadoras a las subestaciones del SNT y esta energía es entregada a las empresas distribuidoras a nivel nacional para su comercialización a los consumidores finales.

Hasta mediados del año 2006 se encuentran conectados al SNT 18 empresas de distribución y 11 empresas de generación.

Además de la transmisión de energía eléctrica, TRANSELECTRIC ha instalado una red de fibra óptica OPGW cubriendo las principales ciudades del país como son: Quito, Santo Domingo, Quevedo, Portoviejo, Manta, Ciudad Alfaró, Guayaquil, Milagro, Machala, Cuenca y Loja.

Las subestaciones que TRANSELECTRIC administra y opera son:

- Ambato
- Babahoyo
- Chone
- Cuenca
- Dos Cerritos
- Esmeraldas
- Ibarra
- Loja
- Machala
- Milagro
- Molino (Paute)
- Mulaló
- Pascuales
- Policentro (Guayaquil)
- Pomasqui
- Portoviejo
- Posorja
- Pucará
- Quevedo
- Riobamba
- Salitral (Guayaquil)
- San Idelfonso
- Santa Elena
- Santa Rosa
- Santo Domingo
- Totoras (Ambato)

- Trinitaria
- Tulcán
- Vicentina (Quito)
- Francisco de Orellana
- Tena

1.3.1 Mapa del Sistema Nacional de Transmisión

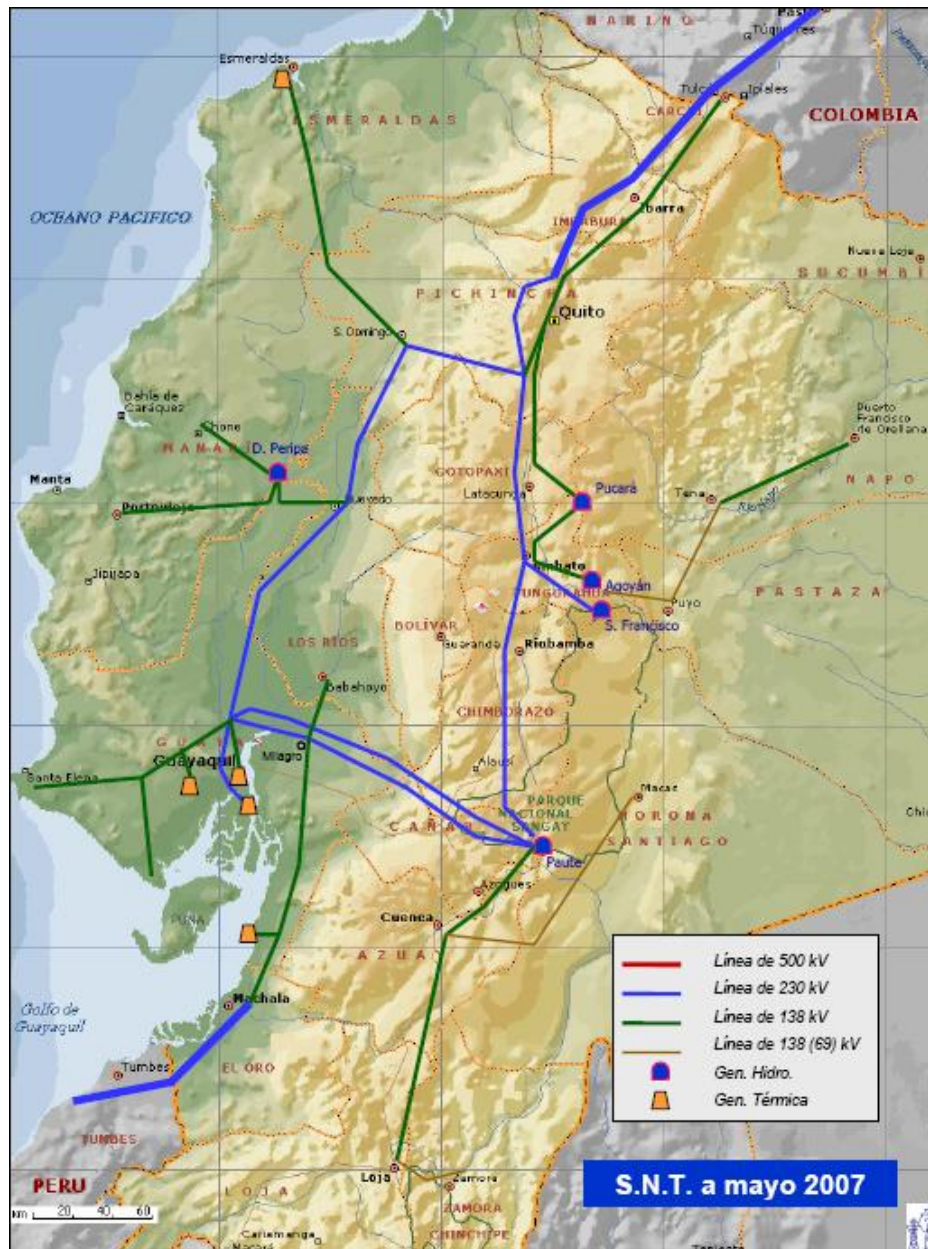


Figura. 1.1. Mapa del sistema nacional de transmisión¹.

¹ pagina web de TRANSELECTRIC S.A. www.transelectric.com.ec

1.3.2 Estructura del Sistema Nacional de Transmisión

La red troncal de 230 KV, que conforma el anillo principal del sistema nacional, une las subestaciones de: Molino, Milagro, Dos Cerritos, Pascuales, Trinitaria, Quevedo, Santo Domingo, Santa Rosa, Pomasqui, Totoras y Riobamba. Cubriendo 1521,75 kilómetros en líneas de transmisión.

El sistema nacional también consta de líneas radiales de 138 KV que interconectan a las subestaciones de: Ibarra, Tulcán, Esmeraldas, Daule, Chone, Babahoyo, Machala, Cuenca y Loja. Con una longitud de 1647,70 kilómetros en líneas de transmisión.

La capacidad instalada de transformación (MVA) en operación es de 6470 (89%) y de reserva es de 827 (11%), dando un total de 7297 (100%)².

1.3.4 Estrategia Organizacional

Visión

En el año 2010 ser una de las cinco primeras empresas de Sudamérica de transmisión de energía eléctrica y portadores de telecomunicaciones, que brindan la más alta calidad de servicio al cliente.

Misión

Garantizar a nuestros clientes la disponibilidad del Sistema Nacional de Transmisión y de la red de telecomunicaciones, con calidad, generando valor para accionistas, colaboradores y la comunidad.

² Datos obtenidos hasta el 3 de julio de 2007, según el manual de inducción general 2007.

1.3.5 Objetivos Estratégicos

- Perspectiva Financiera
 - Incrementar Ingresos.
 - Racionalizar Costos.
- Perspectiva de Clientes
 - Percibir Calidad del Servicio.
 - Percibir accesibilidad de servicios.
- Perspectiva de Procesos
 - Lograr acuerdos para la apertura del capital.
 - Cumplir el plan de expansión del SNT.
 - Orientar la organización hacia la calidad.
 - Reducir el impacto y/o los riesgos de ocurrencia de eventos no deseados.
 - Impulsar normas legales para que promuevan el desarrollo del Sector Eléctrico.
 - Ampliar la cobertura de la red de Telecomunicaciones.
- Perspectiva de Aprendizaje y Desarrollo
 - Fomentar la cultura del servicio.
 - Mantener un adecuado clima laboral.
 - Mantenerse actualizados en las mejores prácticas respecto a la calidad de gestión.
 - Promover procesos de investigación y desarrollo.
 - Aplicar adecuadamente la tecnología de la información.
- Perspectiva de Comunidad
 - Actuar con responsabilidad social empresarial para el desarrollo en la comunidad.

CAPITULO 2

DESFACES EN EL TIEMPO

2.1 Problemas que genera la falta de una red de Sincronismo en una Red de Transporte.

Al emplear una red de transporte con tecnología de Jerarquía Digital Síncrona (SDH) para una red de transporte óptico su fortaleza es el sincronismo.

La falta de una adecuada sincronización entre los elementos de una red de transporte óptico puede causar dos tipos de problemas principalmente.

Uno de ellos se manifiesta como una degradación progresiva del sincronismo entre los elementos de la red. Esto conlleva a la pérdida de información de diversas formas como: error de bits, pérdida de tramas y deslizamientos. A su vez dichos inconvenientes degradan la calidad en el transporte de información.

El segundo de los problemas que puede causar la falta de un adecuado sincronismo, esto provocará una falla total en el sistema de sincronismo llevando al colapso de toda la red de transporte.

El principal objetivo de una red de sincronización es la de minimizar la ocurrencia de los dos tipos de problemas antes mencionados.

Cabe señalar que los problemas por falta de un correcto sincronismo existen únicamente en las redes digitales donde la transmisión se realiza a velocidad constante de bits (CBR) y todo su desempeño se basa en un factor tan delicado como es la temporización.

Con el surgimiento de los sistemas de multiplexación por división de tiempo (TDM) el problema de los deslizamientos de tiempo se agudiza. Como ejemplo, en un sistema PDH, una trama de un E1 que se encuentra dividido en 32 canales de 64 kbps, se requiere tanto en la multiplexación como en la desmultiplexación del canal, de una adecuada y correcta sincronización para que la información conserve su integridad.

Hoy en día SDH/SONET y WDM son las tecnologías más utilizadas para las redes de transporte a nivel mundial de todos los operadores de telecomunicaciones. La distribución de una señal de temporización es la base de las redes de transporte óptico como lo señala el “Reporte Especial: Estado de las Redes de Sincronización” de la firma consultora RHK ahora Ovum. En la figura 2.1 podemos apreciar la estructura de una red de transporte según la estructura que especifica el “Reporte Especial: Estado de las Redes de Sincronización” de la firma consultora RHK.

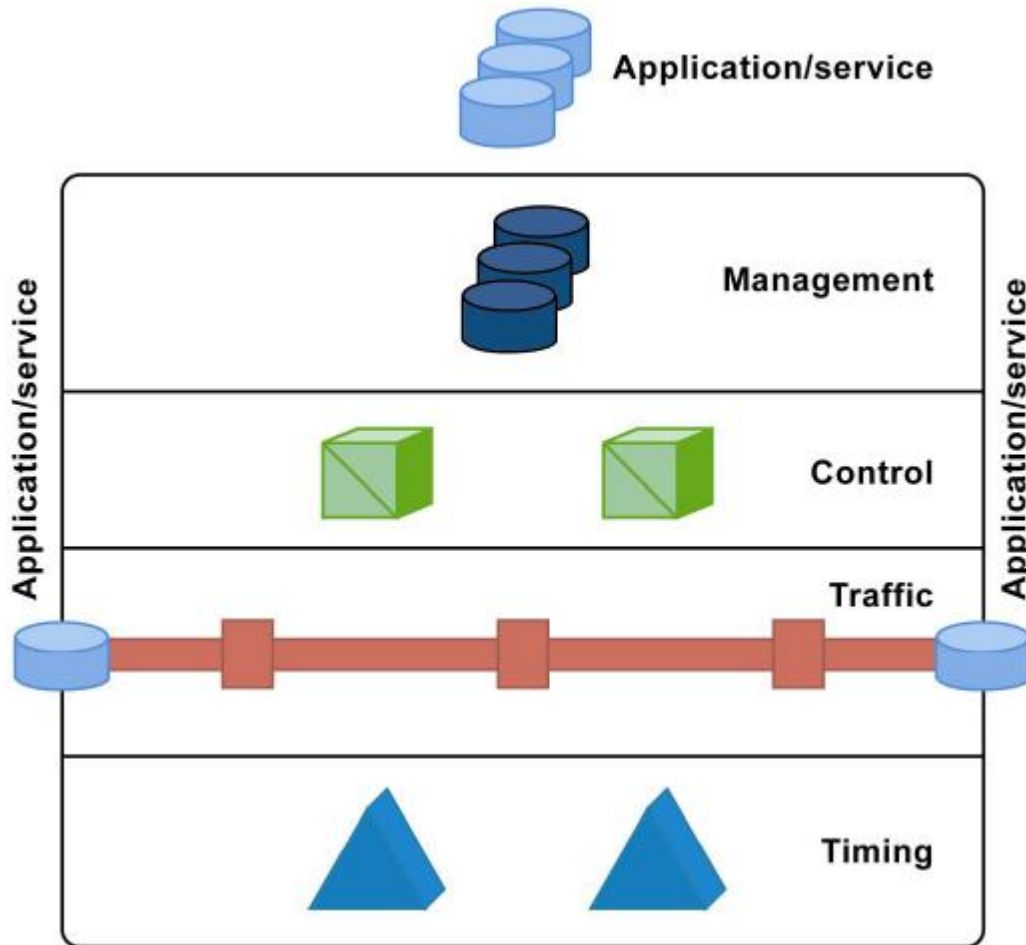


Figura. 2.1. Estructura de una red de transporte¹.

2.2 Deslizamientos

Los deslizamientos son desfases en el régimen del tiempo que ocurren entre la transmisión y recepción de símbolos digitales.

Los deslizamientos pueden ser causados por agentes internos y externos a la red de transporte. Entre los agentes internos están los elementos de red como son: regeneradores, multiplexores, circuitería, calidad del reloj y líneas de transmisión. La degradación de la señal ocurre también por agentes externos como: temperatura,

¹ Reporte Especial: Estado de las Redes de Sincronización de la firma consultora RHK.

degaste físico de los materiales de los relojes, variación de voltaje y circuitería, entre otros factores de orden aleatorio.

Para la recepción todo sistema digital, utiliza un detector de nivel o símbolo, este detector se encuentra a su vez alimentado por una señal propia de reloj del sistema y otra obtenida de la señal que ingresa al sistema como se puede apreciar en la figura 2.2.

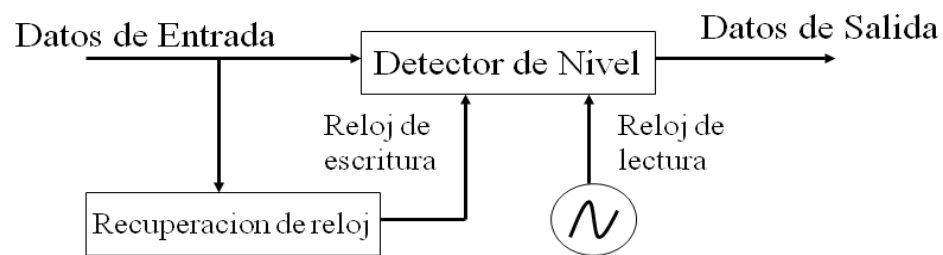


Figura. 2.2. Diagrama de un receptor digital.

Por este motivo las señales desde su origen hasta su recepción pueden tener deslizamientos en el tiempo como se muestra en la figura 2.3.

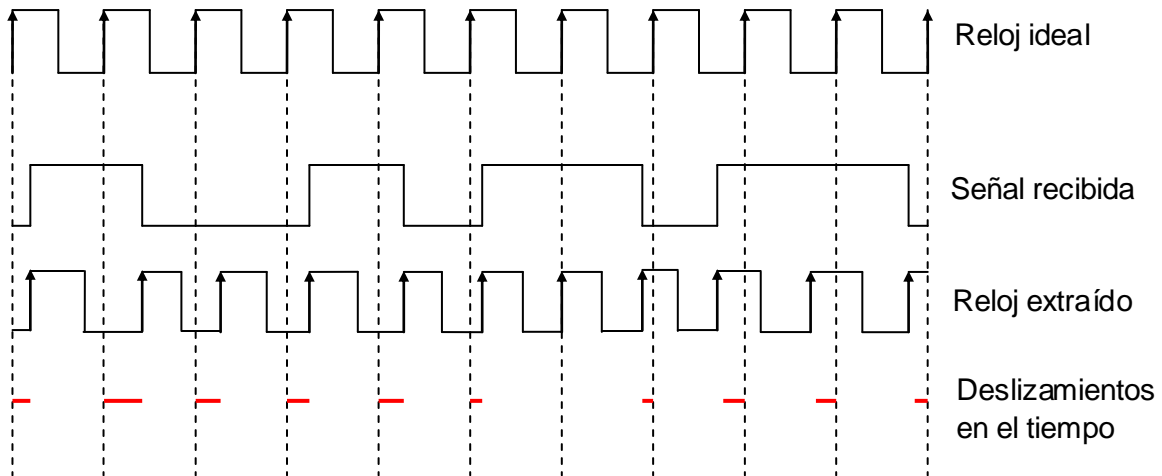


Figura. 2.3. Descripción gráfica de los deslizamientos de tiempo.

2.3 Temporización y Tramas Digitales

Para definir los intervalos de tiempo entre tramas, debemos primero definir que todas las transmisiones digitales utilizan algún código de línea.

De esta forma en la transmisión podemos representar la señal digital en la figura 2.4.

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n g(t - nT)$$

Figura. 2.4. Transmisión digital ideal (ecuación).

Donde:

$g(t)$ = representa la señal de forma rectangular desde $t=0$ a $t=T$.

a_n = representa el n -ésimo bit de la trama.

T = tamaño del Intervalo Unitario (UI) expresado en segundos.

$x(t)$ = función de la trama digital de la señal.

Visualizando la ecuación será como se manifiesta en la figura 2.5.

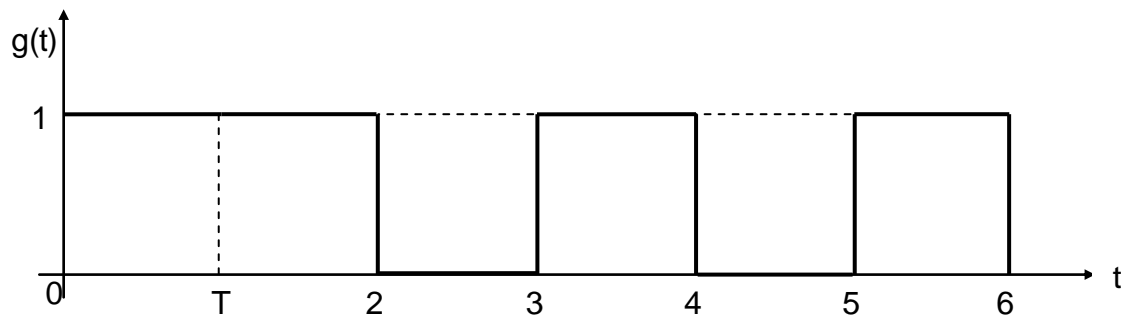


Figura. 2.5. Transmisión digital ideal.

Ahora añadiendo a dicha ecuación todos los factores antes señalados que provocan desfases en el tiempo, la señal digital en la recepción será representada en la figura 2.6.

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n h(t - nT - e[nT] - T_0) + \eta(t)$$

Figura. 2.6. Transmisión digital real (ecuación).

Donde:

$h(t)$ = representa la señal rectangular en la recepción desfasada en el tiempo.

$e[nT]$ = deslizamientos en el tiempo del pulso.

T = tamaño del Intervalo Unitario (UI) expresado en segundos.

$y(t)$ = función de la señal de la trama digital.

$\eta(t)$ = ruido de otras fuentes.

T_0 = retardo en el tiempo en el trayecto desde su transmisión hasta la recepción.

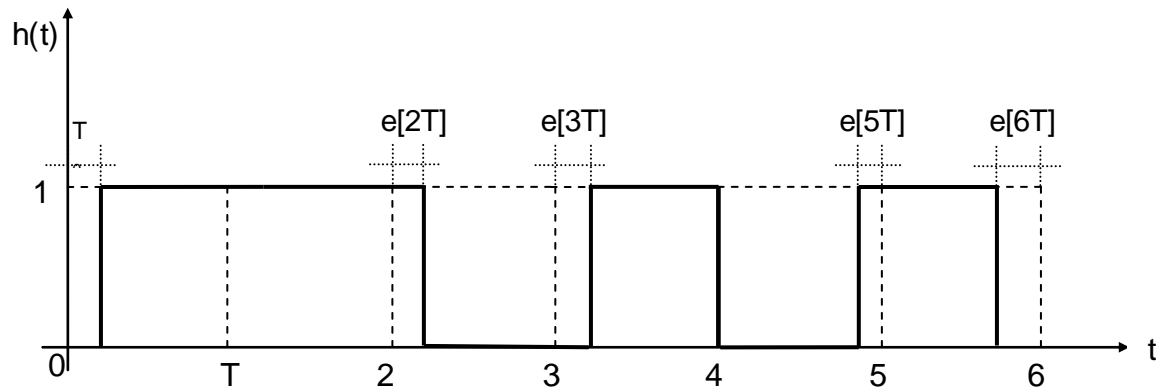


Figura. 2.7. Transmisión digital real.

Como se puede apreciar en la figura 2.7, la trama CBR en su recepción no llega con la temporización adecuada, por lo que sufre fluctuaciones de fase en el régimen del tiempo. A dichas fluctuaciones de fase o deslizamiento dependiendo de su variación en frecuencia se los conoce como: Jitter y Wander.

2.3.1 Jitter

El jitter es un tipo de deslizamiento o desfase en el tiempo, que se encuentra en el rango de variaciones de más de 10Hz hasta un máximo de 100kHz. Este deslizamiento es progresivo y acumulativo. El principal efecto que produce es el de elevar los tiempos transmisión entre los puntos de conexión.

2.3.1 Wander

Es definido como variaciones del tiempo en frecuencias menores a 10Hz. Estas variaciones pueden ser esporádicas y no muy frecuentes. Las variaciones son tan lentas que es imposible usar un filtro para eliminarlas, para reducir los deslizamientos se utiliza buffers de datos elásticos.

El jitter y wander provocan errores en la transmisión de información como pérdida de bits y tramas, además eleva los tiempos de conexión al incrementarse el

porcentaje de pérdidas de los paquetes de información de los servicios multimedia o datos.

Dado que este fenómeno está implícito en toda comunicación digital, existen varias formas de minimizar los deslizamientos. La principal forma de reducir el jitter es la de utilizar un filtro pasa bajos en la recepción de la señal. Otra forma es la utilización de buffers elásticos en la recepción para tratar de recuperar la información y minimizar los efectos de deslizamientos en el tiempo. Pero con estos métodos los deslizamientos solo se pueden reducir más no eliminar por completo.

Para esto se establece límites y rangos de deslizamientos de forma que sus efectos no afecten parámetros de calidad establecidos y tratar de que sean imperceptibles en los servicios por los usuarios.

2.4 Factores que causan deslizamientos de tiempo

2.4.1 Temperatura

La temperatura es el principal factor ambiental que afecta en la introducción de deslizamientos lentos en el tiempo o wander.

El cambio de temperatura en las fibras ya sea entre el día y la noche o por cambios de estación, afecta en la propagación de la luz dentro de la fibra que depende directamente del índice de refracción de la fibra y de la longitud de la fibra. Como se indica en la figura 2.8.

$$\tau = \frac{ln_c}{c}$$

Figura. 2.8. Variación de tiempo de propagación de una fibra óptica (ecuación).

Donde:

τ = representa la variación del deslizamiento en el tiempo (wander).

l = es la longitud de la fibra.

n_c = representa el índice de reflexión del núcleo de la fibra.

c = es la velocidad de la luz.

El índice de refracción del núcleo de la fibra depende directamente de los materiales con los que esta fabricado y de su pureza. Ahora dichos materiales pueden cambiar sus características refractivas por variaciones de temperatura. Entonces pueden existir fluctuaciones de fase en el tiempo entre el día y la noche y entre épocas en el año.

También se debe tomar en cuenta los cambios que se pueden producir en las longitudes de onda de la señal. Como se habla de un sistema SDH y porque no de WDM, en el que una o varias longitudes de onda que se transmite se cree que son constantes e invariantes, pero no es así. La longitud de onda sufre ligeras variaciones debido a la temperatura del laser. Esta variación en la longitud de onda implica cambios de refracción de la señal de luz en el núcleo de la fibra.

Sumando los dos efectos entre las variaciones como es: el índice de refracción y la longitud de onda, inducen también a una variación en la dispersión cromática de la fibra y producen un wander variante.

En la tabla 2.1 podemos encontrar algunos valores típicos de la fibra óptica y del laser.

Tabla. 2.1. Valores típicos de variación de la longitud de onda de un laser por la variación de la temperatura.

$\frac{\partial n_c}{\partial \theta}$	$1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
$\frac{1}{l} \frac{\partial l}{\partial \theta}$	$8.0 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$
$\frac{1}{c} \frac{\partial n_c}{\partial \lambda}$	$17\text{ps}/(\text{nm}) \times (\text{Km})$ para $\lambda = 1500 \text{ nm}$
$\frac{\partial \lambda}{\partial \theta}$	$0.1\text{nm}/^\circ\text{C}$

Donde:

n_c = representa el índice de reflexión del núcleo de la fibra.

θ = es la temperatura de la fibra.

l = es la longitud de la fibra.

λ = representa la longitud de onda de la señal.

Según los valores en la tabla que presenta una fibra óptica, la variación de 1°C en la temperatura causara alrededor de 1,7ps de retardo por cada kilómetro de fibra óptica. Durante el día y la noche puede variar entre 12°C dando como resultado una variación de 20,7ps de retardo por cada kilómetro de fibra. Todo esto considerando una variación uniforme de la temperatura en la fibra.

2.4.2 Multiplexación de Canales y Jerarquías

En la multiplexación de canales y especialmente entre jerarquías (PDH y SDH), dan surgimiento a problemas de deslizamientos. Dichos deslizamientos pueden ser de dos tipos.

Uno de los tipos de deslizamiento se en la sincronización de las tramas PDH a una trama SDH. En este caso se requiere de un relleno o justificación de bits que se

requiere para poder colocar una trama en la otra. El más claro ejemplo se da al colocar una trama E1 (2,048 Mbps) en un contenedor VC12 de una trama STM-1 (155,520 Mbps). Para llevar a cabo esta operación se requiere completar los siguientes pasos:

1. El puntero de la trama STM-1 debe ajustar la unidad administrativa (AU) al contenedor virtual (VC4) asignado y este requiere de una unidad tributaria (TU) que se encarga de señalar la posición del contenedor virtual (VC12) que va a contener el E1. Esta operación necesitara de bits de justificación, alineamiento y relleno de ser el caso.
2. Dado que la trama E1 no tiene la misma velocidad que la trama STM-1 por la cual se la va a conducir, se puede decir que están asíncronos las dos tramas. Para poder transmitir el E1 por la trama STM-1 se requiere hacer un ajuste de velocidades y temporización. Esta operación conlleva a un retardo propio en la adaptación de las tramas.
3. Ya en una trama STM-1 esta puede ser transmitida a través de la red SDH desde su origen hasta su destino. Para que esta trama no se afecte en su trayectoria todos los nodos deben estar sincronizados.
4. Una vez en el destino se realiza la desmultiplexación de la trama STM-1 y de su contenedor VC12 donde se ubico el E1. Ahora volver dicho E1 a la red PDH requiere de una nueva sincronización de velocidades en las tramas lo que genera otro retardo en esta operación.

Como se realizó la explicación, una trama PDH desde su origen hasta su destino se ve implícito en retardos generados en las diferentes operaciones de multiplexación y desmultiplexación de las diferentes tramas. El retardo dependerá íntegramente de la sincronización que se tenga entre los sistemas.

En un segundo caso tenemos el de la multiplexación de las tramas STM-N, que para esto dependerá más que todo de la sincronización que se tenga entre los nodos de la red SDH, y esto directamente relacionado con la señal de reloj y su calidad que cada elemento de red tenga. Para multiplexar tramas STM-N entre ellas lo que variara es la capacidad de su contenedor, ya que en este sistema SDH todas las tramas STM-N tienen la misma duración que es de 125µs, por lo que al transportar un contenedor de mayor capacidad será más frágil a efectos de temporización en su trayecto.

Entre las operaciones que se requiera realizar para la multiplexación o desmultiplexación existirá la presencia de jitter que puede minimizarse pero no desaparecer.

Tanto en los procesos de multiplexación y desmultiplexación de tramas SDH presentan tres efectos que pueden provocar deslizamientos en el tiempo:

1. Justificación de bits.- usado para alinear una trama PDH en un contenedor SDH. Este proceso se lleva a cabo con el fin de emparejar las velocidades entre las dos tramas para que sea posible su acople y transmisión. Esta operación introduce retardos en el tiempo variantes (jitter) al introducir bits de justificación propiamente dichos para emparejar las tramas. Además del jitter también existe un problema en las cabeceras por el mapeo de los contenedores.

2. Alineamiento de tramas.- consiste en emparejar todas las tramas en un elemento de la red SDH, dado que una trama al viajar por un trayecto de fibra nunca lo hace en el mismo tiempo por razones de dispersión de la señal óptica dentro del núcleo de fibra. Para compensar dicho inconveniente las tramas tienen una sección de cabecera en la que existen $9 \times N$ bits (**N** depende de la trama STM-N), estos bits por lo general son repetitivos para sobre guardar la información de cabecera por los deslizamientos de las tramas al momento de alinearlas. En la figura 2.9 se puede apreciar este evento.

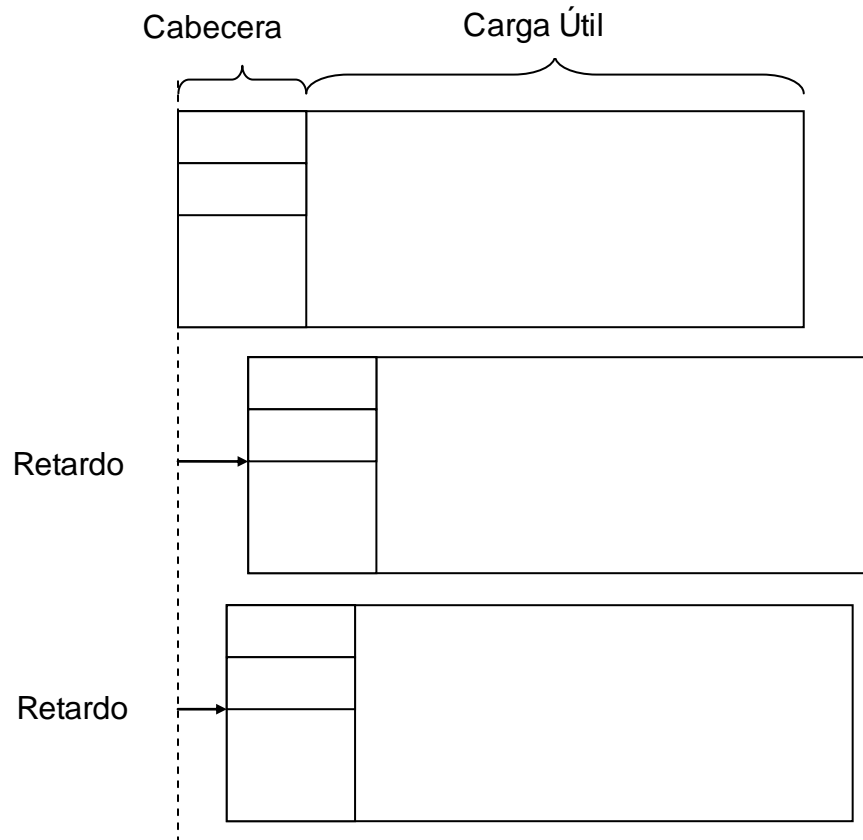


Figura. 2.9. Alineamiento de tramas STM-N.

Entonces al alinear las tramas se introduce un deslizamiento en el tiempo.

2.4.3 Re-sincronización de las Tramas SDH

Cada vez que una trama cruza un elemento de red, multiplexor, dicha trama requiere sincronizarse con el elemento de red. Ahora si este elemento no se encuentra debidamente temporizado, introducirá errores de temporización en la recepción de la trama.

La re-sincronización de las tramas STM-N ocurrirá en nodos de la red SDH y las estaciones regeneradoras óptico-eléctricas.

Cada reloj del elemento de red sufre variaciones en sus pulsos que genera debido a varios factores como: temperatura, desgaste físico de los cristales, entre otros. Entonces al atravesar una trama por una cadena de elementos de la red sufre deslizamientos variantes.

Para compensar en parte los efectos de los deslizamientos producidos por los relojes de los elementos de la red usan buffers elásticos. Estos buffers elásticos a su vez que solucionan un problema generan otro que se refleja directamente con un evidente retardo de las tramas.

2.5 Imperfecciones en las Señales de Temporización

Se puede pensar que una señal de temporización de referencia para un sistema es o debería ser perfecta, esto no sucede, por más precisión que se requiera para dicha señal esta posee imperfecciones. Las imperfecciones se deben principalmente a la forma de cómo se obtiene la frecuencia de la señal que es a través de una comparación entre la señal actual y la deseada.

Al realizar la operación para generar la señal de temporización, pueden surgir pequeñas imperfecciones conocidas como *offset* (fuera de rango), definidas por la figura 2.10.

$$y = \frac{V - V_0}{V_0}$$

Figura. 2.10. Variación de frecuencia (ecuación).

Donde:

y = frecuencia de offset

V = frecuencia actual

V₀ = frecuencia nominal o deseada

De la ecuación anterior 'y' es un número quebrado, la forma de representar esta variación es de partes por millón (ppm), por lo que se debe realizar una conversión para obtener el valor en las unidades deseadas.

La frecuencia de tolerancia de la señal de un reloj es expresada como el valor absoluto máximo de la frecuencia de *offset*.

La frecuencia de la señal del reloj también puede tener imperfecciones en un rango de tiempo, a esta se la conoce como tasa de frecuencia de deslizamiento, la cual es expresada en ppm/s. Esta imperfección puede determinar que tan estable es una señal de reloj a corto y/o largo plazo.

Además de las imperfecciones en la frecuencia de la señal de reloj, esta señal es susceptible a un ruido de fase de naturaleza aleatoria. Este ruido de fase es caracterizado por la Densidad Espectral de Potencia (DSP) que interviene en la etapa de generación de la señal de reloj de los osciladores.

El jitter es otro efecto que no se encuentra ausente en las señales de temporización, este aparece al filtrar la señal de reloj. También se debe indicar la presencia de wander que en este caso su principal implicación se debe a los cambios de temperatura del sistema y sus líneas de transmisión de la señal de reloj.

2.6 Características para el rendimiento de la Temporización

Se debe proponer límites para los deslizamientos de tiempo, jitter y wander, con el fin que su efecto negativo dentro de la red sea mínimo y cumpla con estándares de operación.

Para esto debemos definir algunos conceptos implicados como: jitter pico a pico, jitter RMS (valor cuadrático medio), máximo error en el intervalo de tiempo (MTIE), varianza de tiempo (TVAR) y el tiempo de desviación (TDEV).

2.6.1 Jitter pico a pico y RMS

Asumiendo que el jitter es producto de un proceso estacionario, se lo puede definir con la ecuación de la figura 2.11.

$$J_{RMS} = \sqrt{[e_a^2(nT)]}$$

Figura. 2.11. Jitter RMS (ecuación).

Donde:

$e_a[nT]$ = es el valor del deslizamiento de tiempo (jitter)

T = es el intervalo de tiempo de bit

En la práctica el valor RMS del jitter se obtiene como un valor estimado para una muestra de tiempo determinada. Dado esto se puede afirmar que el jitter es de naturaleza aleatoria pero repetitiva.

El jitter pico a pico se lo puede definir como la medida entre el valor máximo y mínimo del jitter en un intervalo de tiempo dado. En la práctica se puede considerar una sola muestra para determinar el máximo y el mínimo en un intervalo de tiempo.

Para SDH, un intervalo de análisis de 60 segundos se puede considerar válido para el análisis del jitter pico a pico y RMS.

2.6.2 Máximo Error en el Intervalo de Tiempo (MTIE)

El Intervalo de Tiempo Máximo de Error (MTIE), es el valor del error de fase máximo medido pico a pico de la señal de reloj en un intervalo de tiempo de observación.

En la práctica solo una medida de MTIE es utilizada y se estima el valor dependiendo de la muestra.

El máximo error relativo en el intervalo de tiempo (MRTIE) es la media que en la práctica es más útil. El MRTIE se define como la variación del retardo máximo medido pico a pico de una señal de temporización dada con respecto a una señal de temporización ideal en un tiempo de observación.

2.6.3 Varianza de Tiempo (TVAR) y Desviación de Tiempo (TDEV)

La varianza de Tiempo (TVAR) es un valor estadístico de segundo orden producto del ruido de fase. Este ruido de fase como se indicó anteriormente es producido de forma aleatoria en los relojes y osciladores producto de la densidad espectral de potencia.

La Desviación de Tiempo (TDEV) es el valor cuadrático medio del TVAR. El TDEV es muy útil pero su obtención es de forma estadística.

2.7 Límites de la fluctuación de fase y rendimiento de la red

2.7.1 Fluctuación de fase lenta (Wander)

Definir un límite y reducir el efecto del wander es importante dentro de la red SDH, dado que como es una red de transporte se enlazarán con otros tipos de red del

lado de los clientes. La señal viajara de una red TDM a FDM o CDM, para este cambio de dominio la señal deberá pasar por un buffer de deslizamiento.

Independiente de las velocidades entre los dominios, la señal deberá alinearse de un dominio hacia el otro. Este proceso implica un retardo propio, pero si a esto las tramas llegan con desfase el retardo puede aumentar y en el peor de los casos se perderá la trama.

En la operación de transición de los dominios, el buffer sufre un proceso de sobrellenado o vaciado. El sobrellenado del buffer conlleva a la perdida de la trama en exceso como sucede al rebasar agua en un vaso, y en el otro lado el vaciado del buffer conduce a un retardo y repetición de toda la trama.

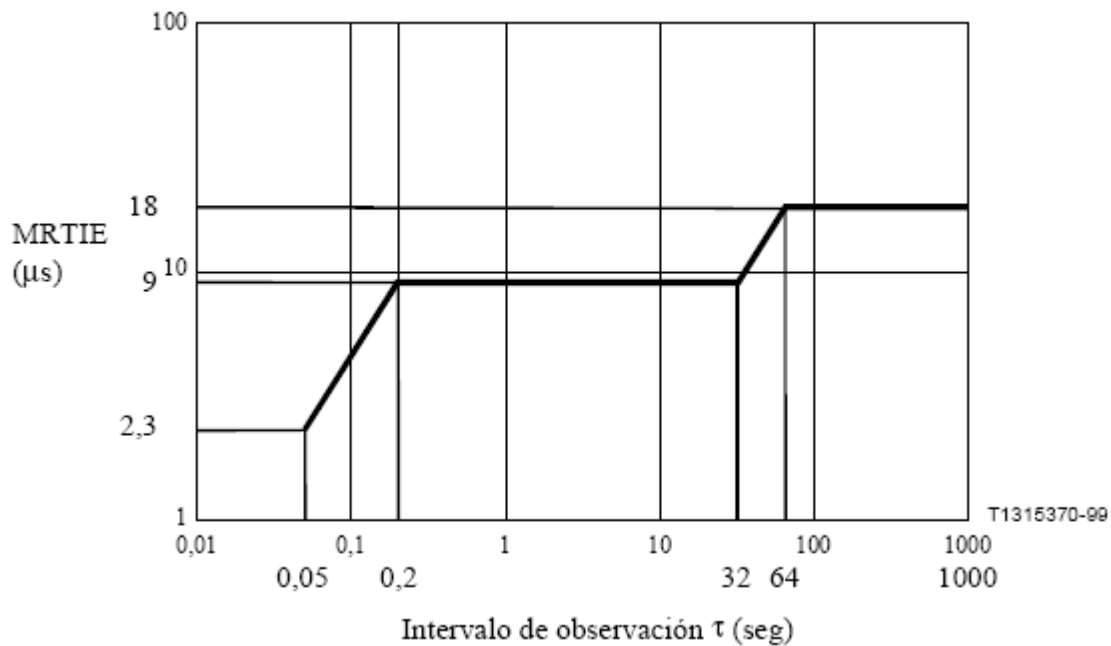
Ante lo indicado es necesario establecer un límite de estas fluctuaciones para que la calidad del servicio no se vea afectada. El límite para la estabilidad a largo plazo es fundamental para evitar en demasía tanto la perdida de tramas como su retardo.

El límite especificado en la recomendación de la UIT-T G.823 define que el límite del TDEV para una fluctuación de fase lenta en un intervalo de monitoreo de 24 horas será de 18 μ s. De cumplirse con este límite se puede asegurar un correcto funcionamiento de la red SDH.

En la recomendación de la UIT-T G.823 expresa además que el nivel máximo de la fluctuación lenta de fase que puede existir en una interfaz de red a 2048 kbps (E1), expresado en forma de MRTIE, no deberá superar el límite indicado en la tabla 2.2. En la figura 2.12 se ilustra la especificación global resultante.

Tabla. 2.2. Límite de la fluctuación lenta (MRTIE) de fase de salida de una interfaz a 2048 kbps².

Intervalo de observación (τ seg)	Requisito de MRTIE (μ s)
$0,05 < \tau \leq 0,2$	46τ
$0,2 < \tau \leq 32$	9
$32 < \tau \leq 64$	$0,28 \tau$
$64 < \tau \leq 1000$	18

Figura. 2.12. Límite de la fluctuación lenta (MRTIE) de fase de salida de una interfaz a 2048 kbps².

2.7.2 Fluctuación de fase rápida (Jitter)

Dentro de una red la generación del jitter debido a los efectos anteriormente, se acumula al atravesar de la cadena de elementos presentes. Así se afirma que el jitter es acumulativo y por esta razón no debe en ningún caso sobrepasar los límites que establece la UIT-T G.825 en ninguno de los nodos de la red.

² UIT-T Recomendación G.823

La recomendación de la UIT-T G.825 manifiesta que los límites indicados en la tabla 2.3 representan los niveles máximos permisibles de fluctuación de fase en una red digital. La fluctuación de fase medida en un intervalo de 60 segundos no rebasará los límites indicados en la tabla 2.3.

Tabla. 2.3. Máxima fluctuación de fase permisible en las interfaces de red³.

Interfaz	Anchura de banda de medición, frecuencias de -3dB	Amplitud pico a pico (U_{lpp})
STM-1e	500 a 1,3 MHz	1,5
	65 k a 1,3 MHz	0,075
STM-1	500 a 1,3 MHz	1,5
	65 k a 1,3 MHz	0,15
STM-4	1 k a 5 MHz	1,5
	250 k a 5 MHz	0,15
STM-16	5 k a 20 MHz	1,5
	1 M a 20 MHz	0,15
STM-64	20 k a 80 MHz	1,5
	4 M a 80 MHz	0,15
STM-1e = STM-1 eléctrico U _{lpp} = Intervalo Unitario pico a pico STM-1 1 UI = 6,43 ns STM-4 1 UI = 1,61 ns STM-16 1 UI = 0,402 ns STM-64 1 UI = 0,100 ns El intervalo unitario (UI) es el valor en tiempo que dura un símbolo digital en una trama STM-N.		

³ UIT-T Recomendación G.825

Si se respetan los límites dispuestos, la recomendación de la UIT-T G.825 garantiza lo siguiente:

- No se provoquen alarmas.
- No se provoque deslizamientos.
- No se provoquen errores de bit; exceptuadas las interfaces STM-N ópticas a frecuencias de fluctuación de fase superiores a f_p (f_p es 6,5 kHz para STM-1, 25 kHz para STM-4, 100 kHz para STM-16 y 400 kHz para STM-64), en las que no se excederá una penalización de potencia óptica equivalente de 1 dB.

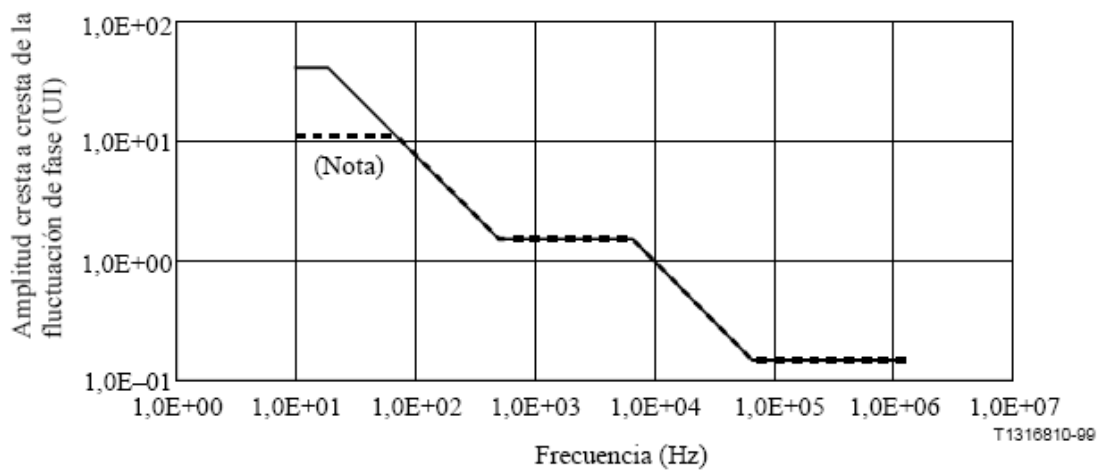
Además cabe recalcar que los límites dispuestos en la recomendación de la UIT-T G.825 van de la mano con los requerimientos mínimos de señal de entrada para el correcto funcionamiento de los equipos de la red.

Para esto no se recomienda mantener el estado de la red cumpliendo al límite lo establecido en la recomendación de UIT-T G.825 debido a una principal razón: el desgaste propio de los materiales de los circuitos de reloj y osciladores conlleva a que estos presenten mayor error con el transcurso del tiempo.

En la recomendación de la UIT-T G.825 establece los límites de fluctuación de fase en la entrada de las señales para el funcionamiento de los elementos de red SDH. Estos límites se detallan a continuación.

Tabla. 2.4. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-1³.

Frecuencia f (Hz)	Requisito (pico a pico)
Redes de 2048 kbps	
$10 < f \leq 19,3$	38,9 UI (0,25 μ s)
$19,3 < f \leq 68,7$	$750 f^{-1}$ UI
$68,7 < f \leq 500$	$750 f^{-1}$ UI
$500 < f \leq 6,5$ k	1,5 UI
$6,5$ k $< f \leq 65$ k	$9,8 \times 10^3 f^{-1}$ UI
65 k $< f \leq 1,3$ M	0,15 UI



NOTA – La curva de trazo discontinuo representa el requisito para redes de la jerarquía de 1544 kbit/s en frecuencias inferiores a 68,7 Hz.

Figura. 2.13. Tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-1³.

³ UIT-T Recomendación G.825

Tabla. 2.5. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-1e³.

Frecuencia f (Hz)	Requisito (pico a pico)
$10 < f \leq 19,3$	38,9 UI (0,25 μ s)
$19,3 < f \leq 500$	$750 f^{-1}$ UI
$500 < f \leq 3,3 \text{ k}$	1,5 UI
$3,3 \text{ k} < f \leq 65 \text{ k}$	$4,9 \times 10^3 f^{-1}$ UI
$65 \text{ k} < f \leq 1,3 \text{ M}$	0,075 UI

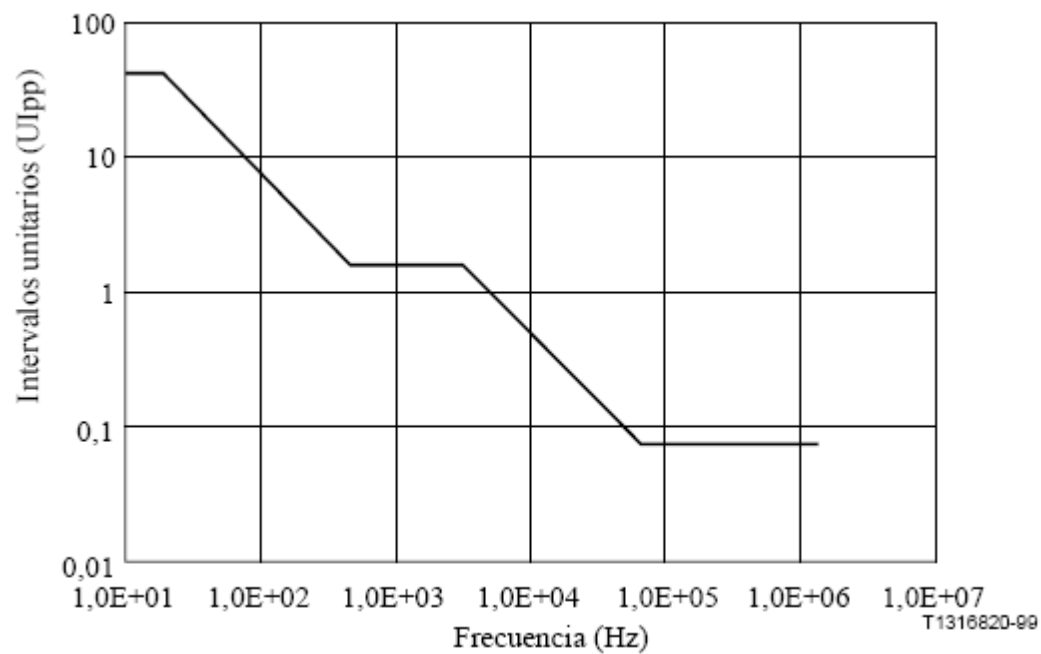
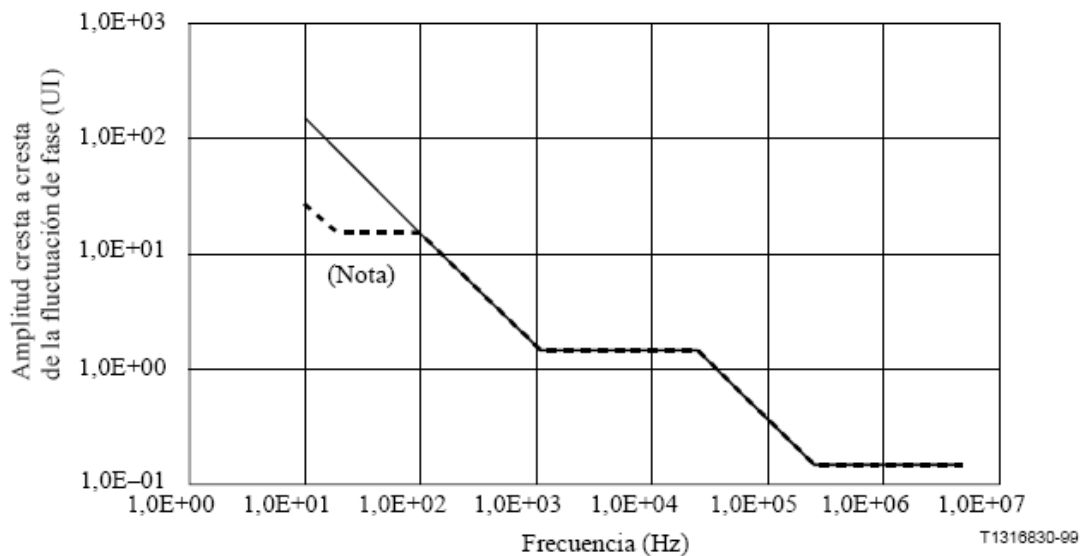
Figura. 2.14. Requisito de tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-1e (se aplica solamente a redes de la jerarquía de 2048 kbps)³.³ UIT-T Recomendación G.825

Tabla. 2.6. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-4³.

Frecuencia f (Hz)	Requisito (pico a pico)
Redes de 2048 kbps	
$9,65 < f \leq 100$	$1500 f^{-1}$ UI
$100 < f \leq 1000$	$1500 f^{-1}$ UI
$1k < f \leq 25 k$	1,5 UI
$25 k < f \leq 250 k$	$3,8 \times 10^4 f^{-1}$ UI
$250 k < f \leq 5 M$	0,15 UI



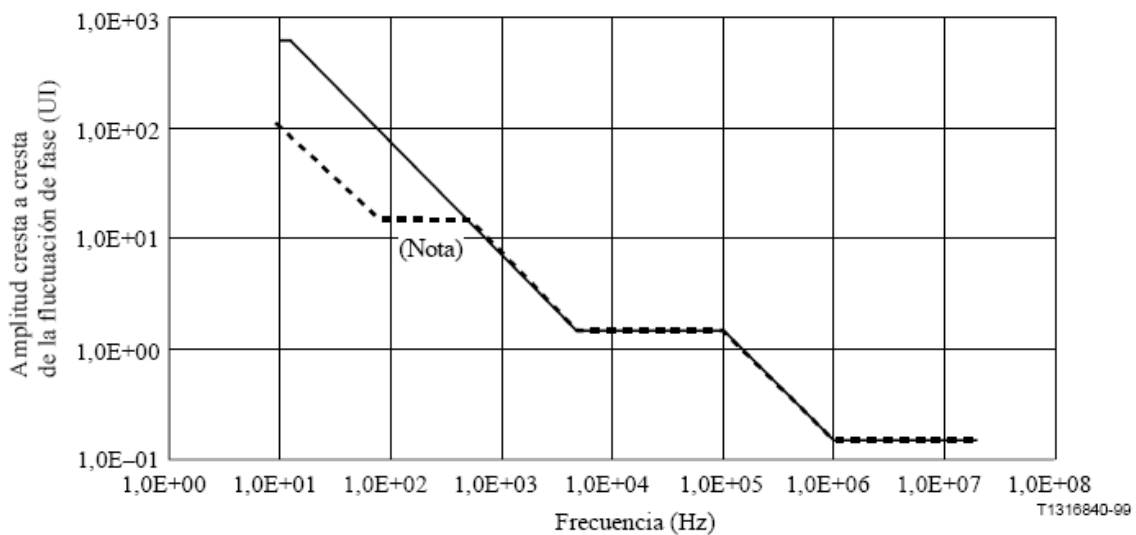
NOTA – La curva de trazo discontinuo representa el requisito para redes de la jerarquía de 1544 kbit/s en frecuencias inferiores a 100 Hz.

Figura. 2.15. Tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-4³.

³ UIT-T Recomendación G.825

Tabla. 2.7. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-16³.

Frecuencia f (Hz)	Requisito (pico a pico)
Redes de 2048 kbps	
$10 < f \leq 12,1$	622 UI
$12,1 < f \leq 500$	$7500 f^{-1}$ UI
$500 < f \leq 5 \text{ k}$	$7500 f^{-1}$ UI
$5 \text{ k} < f \leq 100 \text{ k}$	1,5 UI
$100 \text{ k} < f \leq 1 \text{ M}$	$1,5 \times 10^5 f^{-1}$ UI
$1 \text{ M} < f \leq 20 \text{ M}$	0,15 UI



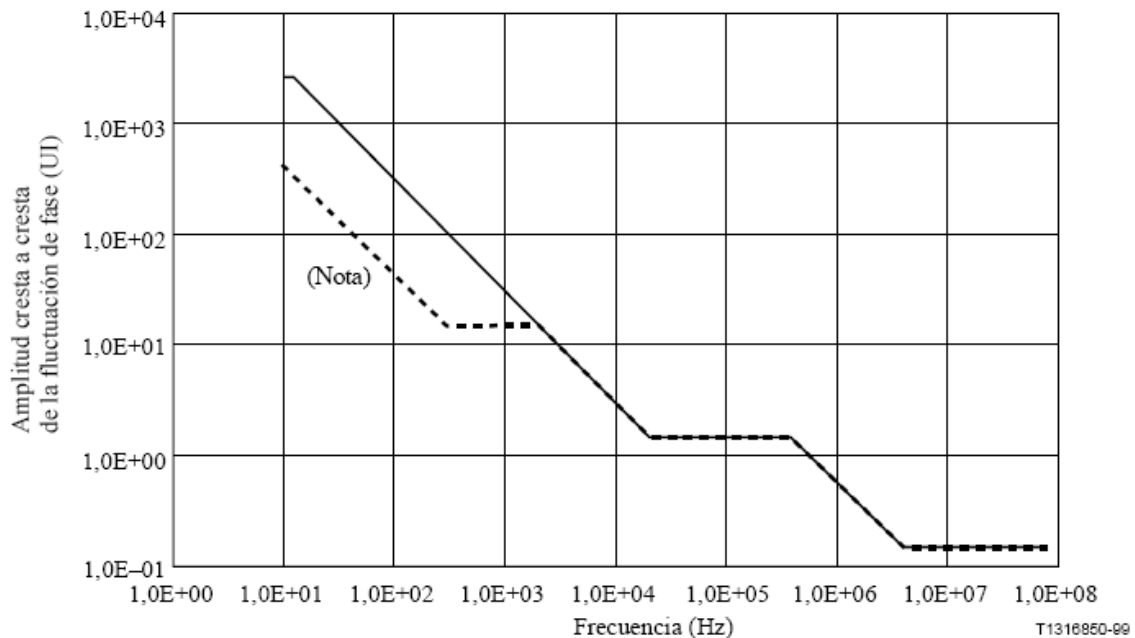
NOTA – La curva de trazo discontinuo representa el requisito para redes de la jerarquía de 1544 kbit/s en frecuencias inferiores a 500 Hz.

Figura. 2.16. Tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-16³.

³ UIT-T Recomendación G.825

Tabla. 2.8. Límite de la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de las interfaces STM-64³.

Frecuencia f (Hz)	Requisito (pico a pico)
Redes de 2048 kbps	
$10 < f \leq 12,1$	2490 UI (0,25 μ s)
$12,1 < f \leq 2000$	$3,0 \times 10^4 f^{-1}$
$2k < f \leq 20 k$	$3,0 \times 10^4 f^{-1}$
$20 k < f \leq 400 k$	1,5 UI
$400 k < f \leq 4 M$	$6,0 \times 10^5 f^{-1}$ UI
$4 M < f \leq 80 M$	0,15 UI



NOTA – La curva de trazo discontinuo representa el requisito para redes de la jerarquía de 1544 kbit/s en frecuencias inferiores a 2 kHz.

Figura. 2.17. Tolerancia a la fluctuación de fase en las interfaces STM-64³.

Además de los límites que dispone la recomendación de la UIT-T G.823 y G.825, recomienda el uso de una red de sincronismo con el propósito de mantener dentro del rango las fluctuaciones de fase lentas (wander) y rápidas (jitter), para

³ UIT-T Recomendación G.825

asegurar un correcto funcionamiento de la red digital y cumpliendo los estándares de calidad.

2.8 Límites de la fluctuación de fase y rendimiento de la red de conmutación de paquetes

La conversión de los servicios de nueva generación a las redes existentes de transporte es una realidad. El protocolo IP es el favorito a utilizarse en esta convergencia de servicios. Las redes de transporte como también los proveedores deberán ajustarse a las exigencias de calidad que sus clientes demandaran por los servicios requeridos de nueva generación.

En la tabla 2.9 se detallan de manera general los requerimientos de calidad de la nueva generación de servicios según el Informe Especial del Estado de las Redes de Sincronización de la firma consultora RHK.

Tabla. 2.9. Calidad en los servicios de nueva generación⁴.

Servicio	Requerimiento min. de ancho de banda	Retardo en un sentido	Perdida de paquetes	Jitter
VoIP	0,1 Mbps	150 ms	1%	10 ms
Juegos en línea	0,1 Mbps	300 ms	3%	50 ms
Videoconferencia	> 0,3 Mbps	200 ms	1%	30 ms
Video en línea	0,5 Mbps	5 s	2%	NA
IPTV	2-15 Mbps	300 ms	< 0,1%	10 ms

Como el protocolo IP en la mayoría de redes esta soportado sobre Ethernet, se requiere que las tramas Ethernet sean soportadas sobre SDH.

⁴ Reporte Especial: Estado de las Redes de Sincronización de la firma consultora RHK.

Para el caso de tramas digitales las recomendaciones de la UIT-T anteriormente analizadas son validas, además de estas recomendaciones con la introducción de paquetes en la red digital (Ethernet sobre SDH) la UIT-T propone una recomendación para fijar límites y establecer normas sobre la sincronización que se requiere para asegurar niveles de calidad confiables. En la recomendación de la UIT-T G.8261 se señala los siguientes límites.

2.8.1 Fluctuación de fase lenta

Para establecer los límites de la fluctuación de fase lenta dentro de una red que maneja conmutación de paquetes, se establece dos casos como se puede apreciar en la figura 2.18. El primero hace referencia a una isla CES (Servicio de Emulación de Circuitos) entre dos islas SDH. El segundo caso se enfoca a un CES en el lado del cliente. Esta red CES hace referencia a una red de conmutación de paquetes propiamente dicha como ATM o Ethernet.

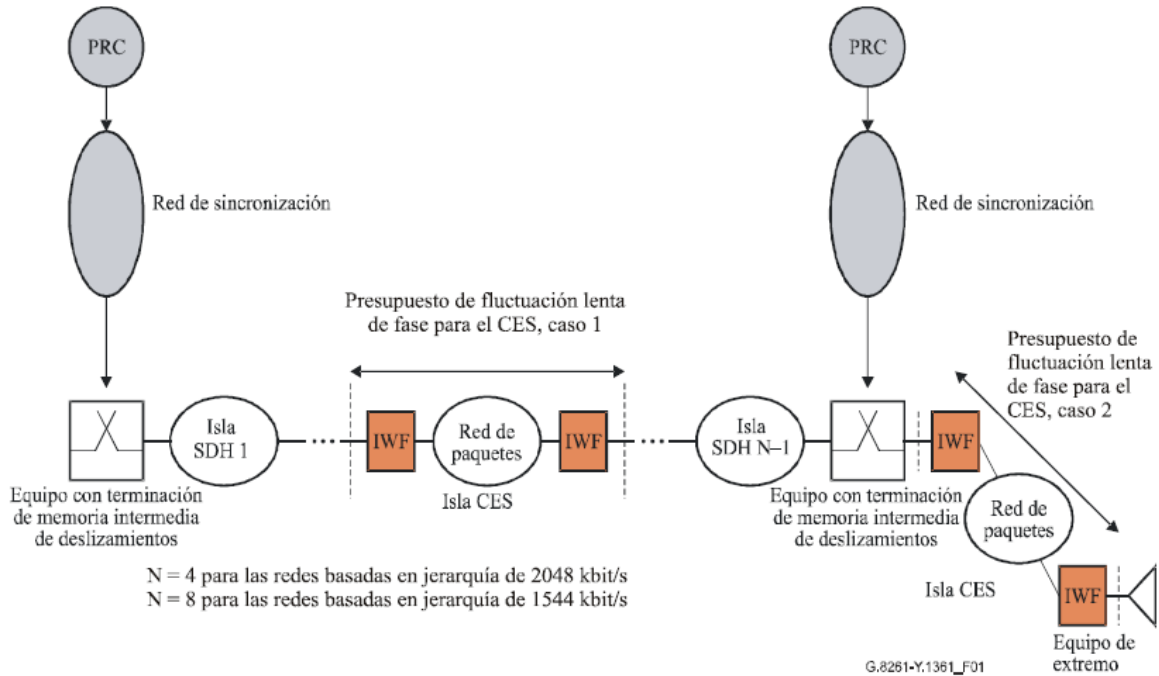


Figura. 2.18. Modelos de la red y casos para la sincronización de paquetes⁵.

En las tablas 2.10 y 2.11 se definen los límites de fluctuación lenta de fase para señal a 2048 kbps.

Tabla. 2.10. Caso 1: Límite de fluctuación lenta de fase de salida de interfaz a 2048 kbps⁵.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MRTIE (μ s)
$0,05 < \tau \leq 0,2$	$10,75 \tau$
$0,2 < \tau \leq 32$	$9 \times 0,24 = 2,15$
$32 < \tau \leq 64$	$0,067 \tau$
$64 < \tau \leq 1000$	$18 \times 0,24 = 4,3$

⁵ UIT-T Recomendación G.8261

Tabla. 2.11. Caso 2: Límite de fluctuación lenta de fase de salida de interfaz a 2048 kbps⁵.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MRTIE (μ s)
$0,05 < \tau \leq 0,2$	40τ
$0,2 < \tau \leq 32$	8
$32 < \tau \leq 64$	$0,25 \tau$
$64 < \tau \leq 1000$	16

Para mantener la red operativa dentro de los rangos antes mencionados en la recomendación de la UIT-T G.8261 propone el uso de una Red de Ethernet Síncrona (*Synchronous Ethernet*).

⁵ UIT-T Recomendación G.8261

CAPITULO 3

DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE ÓPTICO DE TRANSELECTRIC S.A.

3.1 Situación Actual y Proyección para el 2009

La red de transporte óptico de TRANSELECTRIC S.A. cubre actualmente las ciudades de: Quito, Santo Domingo, Quevedo, Portoviejo, Manta, Ciudad Alfaro, Guayaquil, Milagro, Machala, Cuenca y Loja. Existe un proyecto de expansión que esta puesto en marcha para cubrir las ciudades de Riobamba, Ambato y Santa Elena. El proyecto de expansión será finalizado en el 2009. A continuación se muestra en la figura 3.1.

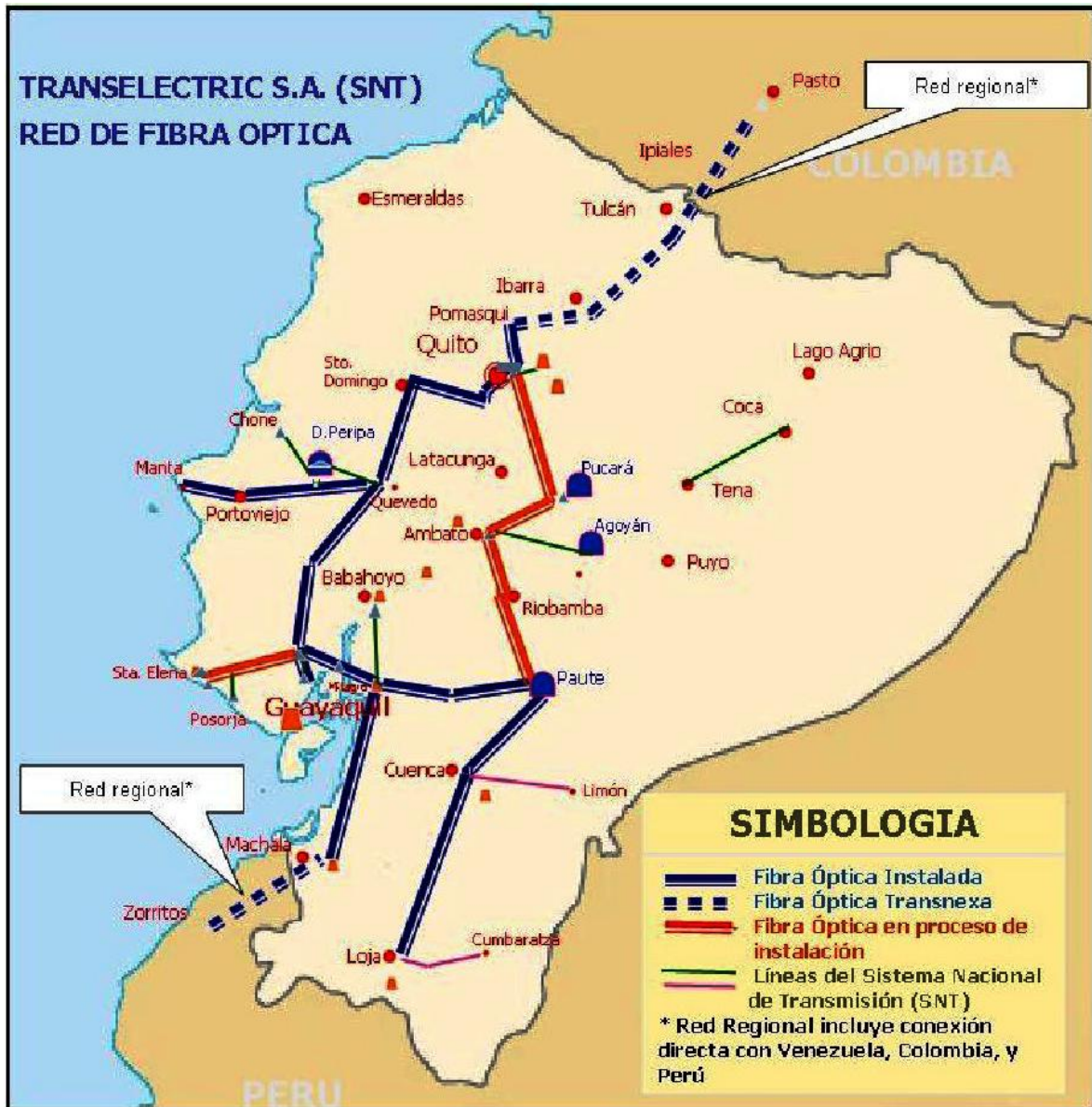


Figura. 3.1. Mapa de la red de transporte de fibra óptica¹.

Las rutas internas del país tienen una capacidad de STM-16 (red TRANSELECTRIC) y la ruta de salida internacional hacia Colombia es de STM-64 (red TRANSNEXA). También está puesta en marcha la integración a la red regional que une los países de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. Para esto la red de existe una interconexión con Perú con una capacidad de STM-16 (red

¹ Pagina web de TRANSELECTRIC S.A. www.transelectric.com.ec

TRANSNEXA). Próximamente a esta red se conectar con los países de Bolivia y Brasil.

La red de transporte consta con un Centro de Gestión que opera los 365 días del año las 24 horas de forma ininterrumpida para garantizar la disponibilidad de la red. La disponibilidad de la red de TRANSELECTRIC es del 99,8% y la disponibilidad de la red de TRANSNEXA es de 99,6%².

3.2 Servicios disponibles para clientes

Los servicios que ofrece son de dos tipos:

1. Servicio Portador Clase IP

a. Características:

El medio físico es una red de fibra óptica.

El nodo de conexión se encuentra en Quito y se conecta directamente hacia Colombia donde se tiene salida a los operadores internacionales de cables submarinos hacia Estados Unidos, Asia y Europa.

Asignación de IP públicas dependiendo del proveedor internacional.

b. Conexión:

Se conecta a través de un enrutador IP-v4 cuyo protocolo de enrutamiento es BGP-v4.

Las interfaces de conexión son ópticas y eléctricas. Las interfaces eléctricas son E1/DS3/STM-1 con 75 ohm de impedancia en los circuitos de conexión cumpliendo la norma UIT-T G.703. Para las interfaces ópticas se realiza a nivel STM-1 cumpliendo con la norma UIT-T G.671.

No se realiza conexiones de última milla hacia los clientes (ISP).

² Datos de disponibilidad obtenidos en hasta abril de 2008.

2. Servicio Clear Channel

a. Características:

El medio físico es una red de fibra óptica.

Conexión entre los nodos de la red de transporte.

Se realiza a nivel SDH y PDH la asignación de canales por los cuales el cliente es libre de enviar el tipo de información de cualquier tipo (voz, datos, video).

b. Conexión:

Las interfaces de conexión son ópticas y eléctricas. Las interfaces eléctricas son E1/DS3/STM-1 con 75 ohm de impedancia en los circuitos de conexión cumpliendo la norma UIT-T G.703. Para las interfaces ópticas se realiza a nivel STM-1 cumpliendo con la norma UIT-T G.671.

No se realiza conexiones de última milla hacia los clientes.

3.3 Estructura de la Red

La red de transporte óptico de TRANSELECTRIC y TRANSNEXA opera a nivel SDH. Existe un proyecto de ampliación de la red a tecnología DWDM, que cambiara la situación actual en el uso de varias longitudes de onda para ampliar las capacidades de transporte y utilizando SDH en el nivel de transporte.

La red actual presenta una topología de línea con radiales cubriendo las ciudades de: Quito, Santo Domingo, Quevedo, Manta, Guayaquil, Machala, Cuenca y Loja.

En esta red cabe señalar que existen dos tipos de nodos en las ciudades antes mencionadas. Un nodo corresponde propiamente a la red de transporte de TRANSELECTRIC que opera dentro del SNT y en las Subestaciones. Y el otro nodo conocido como el nodo comercial, que es en el cual los clientes se conectan para

recibir el servicio. La conexión entre el nodo operativo y el nodo comercial consta de un enlace de fibra óptica para garantizar al cliente el servicio prestado.

En la actualidad se encuentra en marcha el proyecto para unir a las ciudades de Riobamba, Ambato y Santa Elena a la red de transporte óptico, utilizando la misma metodología de nodos, uno operativo de la red y otro comercial.

En la figura 3.2 se detalla la proyección de la red de transporte óptico para el 2009.

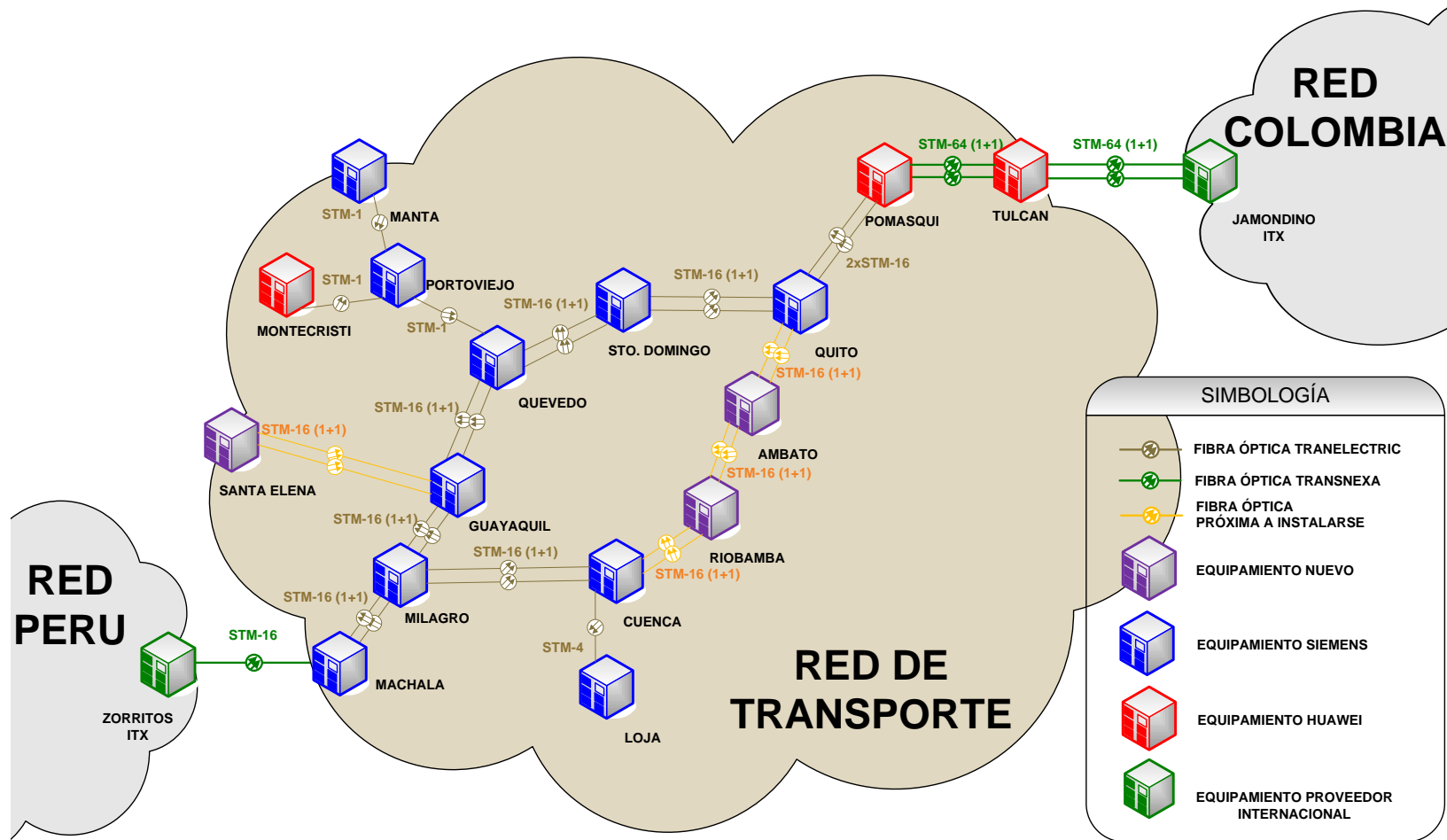


Figura. 3.2. Diagrama de la red SDH de TRANSELECTRIC.

En base a la estructura de la red presentada se realizará el diseño de la red de sincronismo.

3.4 Capacidades

3.4.1 Trafico Internacional

En la ruta hacia Quito - Colombia existe una capacidad física de 1 STM-64. La capacidad operativa y total que se encuentra operando esta ruta se la indica en la tabla 3.1.

Tabla. 3.1. Capacidades de trafico ruta Quito – Jamondino.

RUTA QUITO – JAMONDINO		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	64 STM-1 (STM-64)	100%
Operativa	28 STM-1 + 22 E1	44,30%
Disponible	35 STM-1 + 41 E1	55,70%

Existe otra ruta hacia Perú con el fin de conformar la Red Regional. Esta ruta se encuentra en fase de prueba y gestión, por lo que no existen canales contratados al momento. Consta con una capacidad de 1 STM-16 de forma inicial y existen proyectos para su expansión. Esta en fase de prueba con una capacidad de 2 STM-1 del Proyecto “Red Clara” hacia Perú, desde Machala hasta Zorritos.

3.4.2 Trafico Interno (Nacional)

En las rutas internas entre las principales ciudades, se encuentra operando una capacidad máxima de 1 STM-16. Las capacidades tanto operativa, disponible y total se encuentra detallada en las siguientes tablas:

Tabla. 3.2. Capacidades de trafico ruta Quito – Santo Domingo.

RUTA QUITO – SANTO DOMINGO		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	16 STM-1 (1 STM-16)	100%
Operativa	8 STM-1 + 55 E1	55,46%
Disponible	7 STM-1 + 8 E1	44,54%

Tabla. 3.3. Capacidades de trafico ruta Santo Domingo – Quevedo.

RUTA SANTO DOMINGO – QUEVEDO		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	16 STM-1 (1 STM-16)	100%
Operativa	8 STM-1 + 41 E1	54,07%
Disponible	7 STM-1 + 22 E1	45,93%

Tabla. 3.4. Capacidades de trafico ruta Quevedo – Manta.

RUTA QUEVEDO – MANTA		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	16 STM-1 (1 STM-16)	100%
Operativa	21 E1	2,08%
Disponible	15 STM-1 + 42 E1	97,92%

Tabla. 3.5. Capacidades de trafico ruta Quevedo – Guayaquil.

RUTA QUEVEDO – GUAYAQUIL		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	16 STM-1 (1 STM-16)	100%
Operativa	8 STM-1 + 22 E1	52,18%
Disponible	7 STM-1 + 41 E1	47,82%

Tabla. 3.6. Capacidades de trafico ruta Guayaquil – Milagro.

RUTA GUAYAQUIL – MILAGRO		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	16 STM-1 (1 STM-16)	100%
Operativa	1 STM-1 + 7 E1	6,94%
Disponible	14 STM-1 + 56 E1	93,06%

Tabla. 3.7. Capacidades de trafico ruta Milagro – Machala.

RUTA MILAGRO – MACHALA		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	16 STM-1 (1 STM-16)	100%
Operativa	1 E1	0,01%
Disponible	15 STM-1 + 62 E1	34,8%

Tabla. 3.8. Capacidades de trafico ruta Milagro – Cuenca.

RUTA MILAGRO – CUENCA		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	16 STM-1 (1 STM-16)	100%
Operativa	1 STM-1 + 6 E1	6,85%
Disponible	14 STM-1 + 57 E1	93,15%

Tabla. 3.9. Capacidades de trafico ruta Cuenca – Loja.

RUTA CUENCA – LOJA		
Capacidad	Valor	Porcentaje
Total	16 STM-1 (1 STM-16)	100%
Operativa	0 STM-1	0,00%
Disponible	16 STM-1	100%

Nota: Todos los Valores de las capacidades de tráfico son hasta abril de 2008.

3.5 Equipos de la red de Transporte Óptico

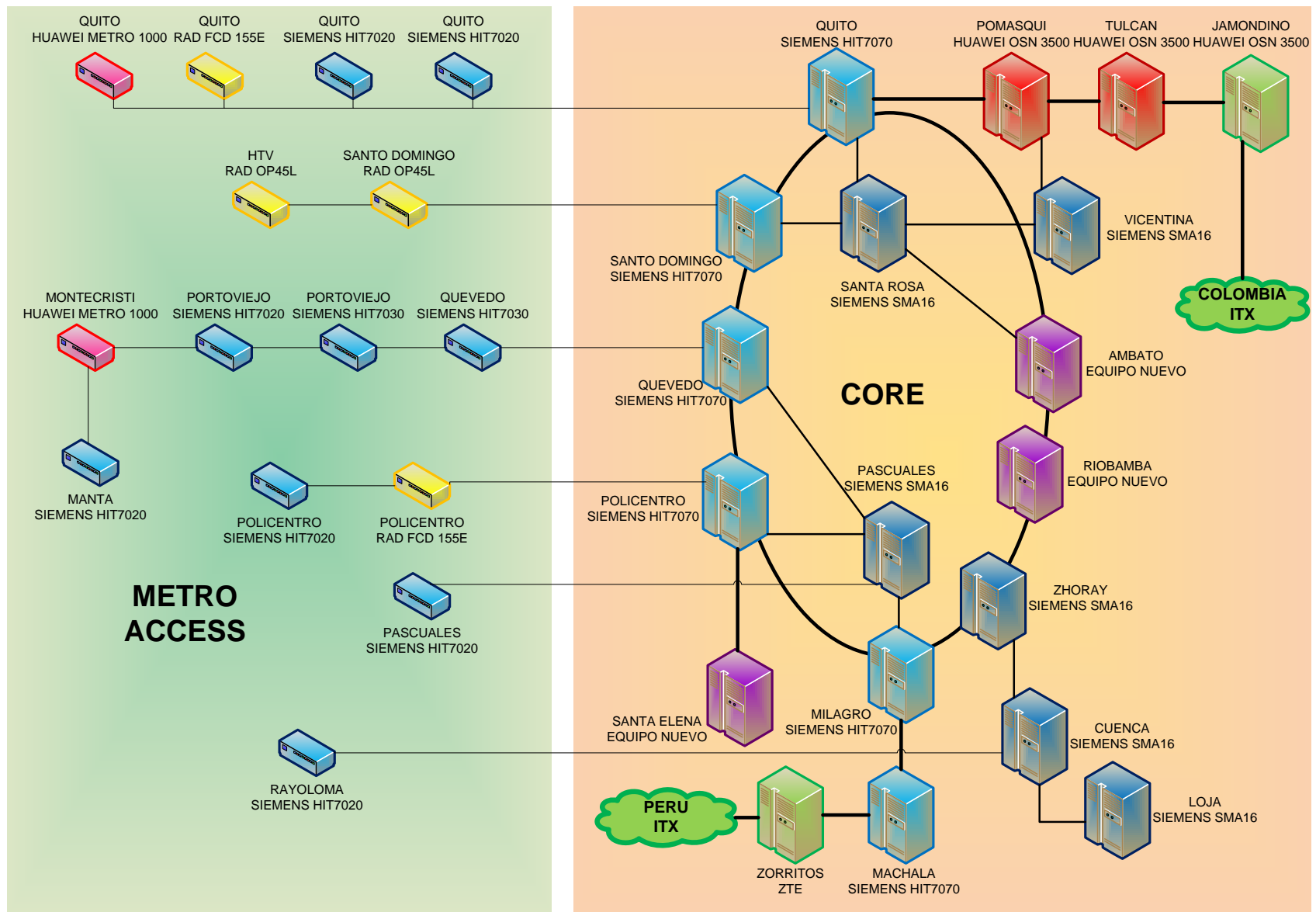


Figura. 3.3. Equipos de la red de transporte.

3.5.1 Core

Se define como el núcleo de la red de transporte, donde la multiplexación se realiza a través de circuitos, longitudes de onda y/o paquetes. Esta red será utilizada para transportar información de cualquier tipo de un nodo a otro nodo de la red. También existe la opción de interconexión entre otros operadores a este nivel de transporte. Las tecnologías que se manejan en este tipo de red núcleo son: SDH (alta capacidad), DWDM y OTN.

El núcleo de la red de un operador nacional o regional será aquel sistema de la red en su nivel más alto de transporte que desinteresadamente del contenido de la información que maneje realiza su operación y es capaz de realizar interconexiones internacionales, interregionales o intercontinentales.

3.5.2 Metro Access

Es una red de acceso a los clientes de un operador que soporta multiplexación de circuitos y/o paquetes y a su vez maneja el direccionamiento de la red. Esta red de acceso tiene como función principal el interconectar al cliente con la red núcleo de transporte del operador. Las tecnologías que se utilizan en esta red de acceso son: SDH (baja capacidad), PDH, Ethernet, Gigabit Ethernet.

3.5.3 Descripción de los Equipos del Core

Siemens Surpass hiT 7070.



Figura. 3.4. Fotografía del equipo Siemens Surpass hiT 7070.

- Unidad de conmutación de 160G@VC-4 y 10G@VC-12.
- Funcionalidad (RPR, MPLS) realiza conmutación de capa 2.
- Plataforma Multiservicios: 2Mbps, 34/45Mbps, 155Mbps, STM-1/4/16, GFP para 10/100, Gigabit Ethernet, interfaces SAN (FICON); STM-16, GFP para 10 Gigabit Ethernet.
- Variedad de interfaces STM-64 incluyendo DWDM.
- Conserva las funciones de protección SDH (SNCP, MSP, BSHR, Hardware).
- Puede soportar tráfico de baja prioridad sobre líneas de reserva.
- Integrable con el sistema de gestión de altas prestaciones TNMS-Core de Siemens.
- Es posible la interconexión para anillos en todos los puertos de tráfico.
- Parada automática en caso de una interrupción del enlace de acuerdo con UIT-T G.664 y UIT-T G.958.
- Equipamiento sencillo y modular.

- Posee dos núcleos de operación, llamados single y dual core. Cada una de estas capas maneja sistemas tributarios de alto y bajo orden SDH.
- Permite cross-conectar servicios del mismo orden y de diferente orden.

Siemens SMA16.

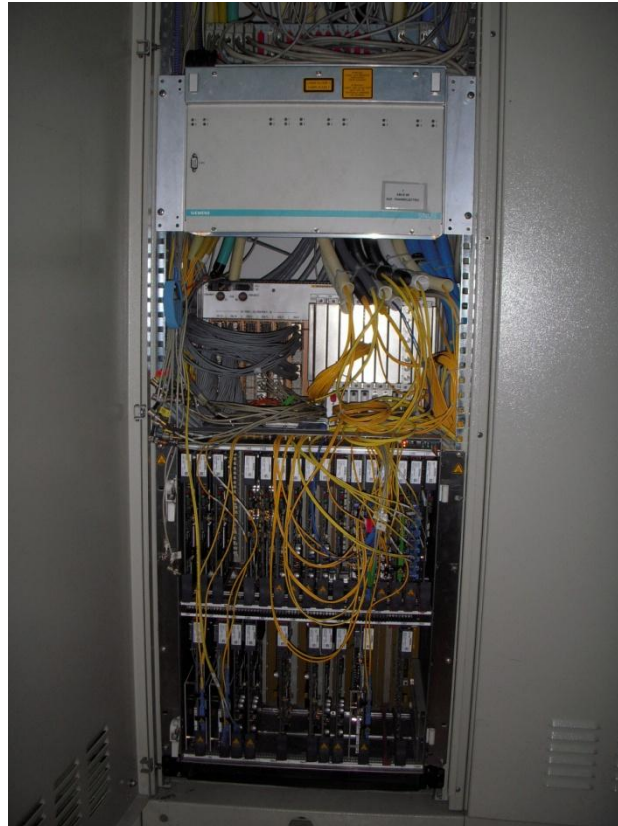


Figura. 3.5. Fotografía del equipo Siemens SMA16.

- Alto desempeño de conmutación no bloqueante, permitiendo la conexión de varios tipos de tráfico en combinaciones línea a línea, tributaria a línea y tributaria a tributaria.
- Interfaces ópticas aplicables a todos los rangos de distancias apoyadas por pre-amplificadores y amplificadores.
- Protección 1+1 para interfaces ópticas STM-1/4/16.
- Habilita la multiplexación de señales tributarias PDH y SDH en tasas de bits superiores hasta de nivel STM-16.

- Matriz de conmutación no bloqueante con capacidad VC-4, VC-3, VC-2, VC-12 y 64xSTM-1 para conexiones bidireccionales, de difusión y accesos separados.
- Interfaces para tributaria óptica STM-4/1 y eléctrica de 140/45/34/2 Mbps.

Huawei OSN 3500.

- Compatibilidad con STM-64/16/4/1.
- Provee cross-conexión de alto orden de 80G para VC-4, y cross-conexión de bajo orden de 20G para VC-12, o equivalencias de VC-3.
- Provisión multiservicio en interfaces: STM-1 (Óptico/Eléctrico); STM-4/16/64 estándar o concatenados; E1/T1/E3/T3/E4; ATM; y otros.
- Provisto de protocolo GMPLS para servicios *end-to-end*.
- Tecnología WDM incorporada.
- Provee dos canales ópticos para tarjetas ADM
- Completos mecanismos de protección de red: Protección SDH (1+N).
- Soporta 2F/4F MSP, SNCP, DNI, también comparte fibra para protección virtual.
- Soporta protección en anillo RPR y STP.

3.5.4 Descripción de los Equipos del Metro Access

Siemens Surpass hiT 7030.

- STM-1 o STM-4 para el enlace.
- 4 slot modulares. (Tarjetas Ethernet, PDH, STM-1)
- Soporte para conmutación a Nivel de Capa 2 (MPLS).
- GFP, VCAT y LCAS
- Amplia los mecanismos de protección (SNCP, MSP, hardware).

Siemens Surpass hiT 7020.

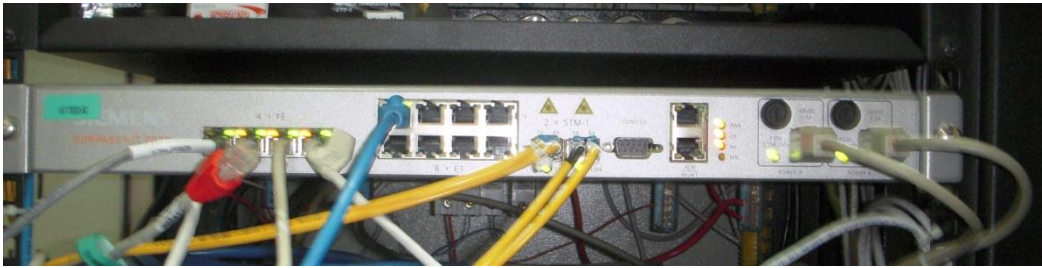


Figura. 3.6. Fotografía del equipo Surpass hiT 7020.

- STM-1 o STM-4 para el enlace.
- 8 x 2 Mbit/s, 4 Fast Ethernet, STM-1/4
- Soporte para conmutación a Nivel de Capa 2 (MPLS).
- GFP, LCAS y VCAT
- Amplia los mecanismos de protección (SNCP, MSP, hardware).

Huawei Optix Metro 1000.



Figura. 3.7. Fotografía del equipo Huawei Optix Metro 1000.

- Capacidad cross-conexión hasta una matriz de 26 x26 VC-4.
- Provisión multiservicio en interfaces: 6xSTM-1, 3xSTM-4; 80xE1, 64xT1, 6xE3 y DS3; 12x 10/100 Ethernet, Gigabit Ethernet transmisión transparente y 4xATM STM-1.
- GFP, LCAS y VCAT.
- Soporte para conmutación a nivel de capa 2 (MPLS).
- Amplios mecanismos de protección (SNCP, MSP, PP, hardware).

- Protección de la Sección de Multiplexación MSP.
- Protección de ruta del anillo PP.
- Protección de la conexión de subred SNCP.
- Protección de la cola virtual de la fibra compartida y protección del anillo de ruta virtual (*VP-Ring protection*) de una red con anillo ATM.

RAD FCD 155E.

- Soporte para multiplexar tráfico Ethernet sobre SDH.
- Tráfico Ethernet mapeado en 1 VC-3/VC-4/STS-1, hasta 3 VC-3, hasta 63 VC-12.
- Protección del enlace con redundancia 1+1 MSP/APS.
- Soporte para interfaces PDH 8/21 E1, 1 E3/T3.
- Soporte VLAN para interfaces 10/100 y Gigabit Ethernet y capacidad de conmutación punto-multipunto.

RAD Optimux 45L.

- Capacidad de multiplexar 21 canales E1 en una trama de 45 Mbps.
- Soporte y combinación de canales T1 y E1.
- Transmisión sobre cable coaxial y fibra óptica.
- Canales E1 eléctricos BNC.
- Varias Interfaces ópticas para el enlace principal de fibra óptica:
 - 850 nm VCSEL para fibra multimodo.
 - 1310 nm LED para fibra multimodo.
 - 1310 y 1550 nm laser para largo alcance de cobertura en fibra monomodo.
 - 1310 y 1550 nm laser para una fibra en operación WDM.
 - 1310 nm laser para una fibra en una sola longitud de onda.

3.6 Equipos de Sincronización para la red de transporte

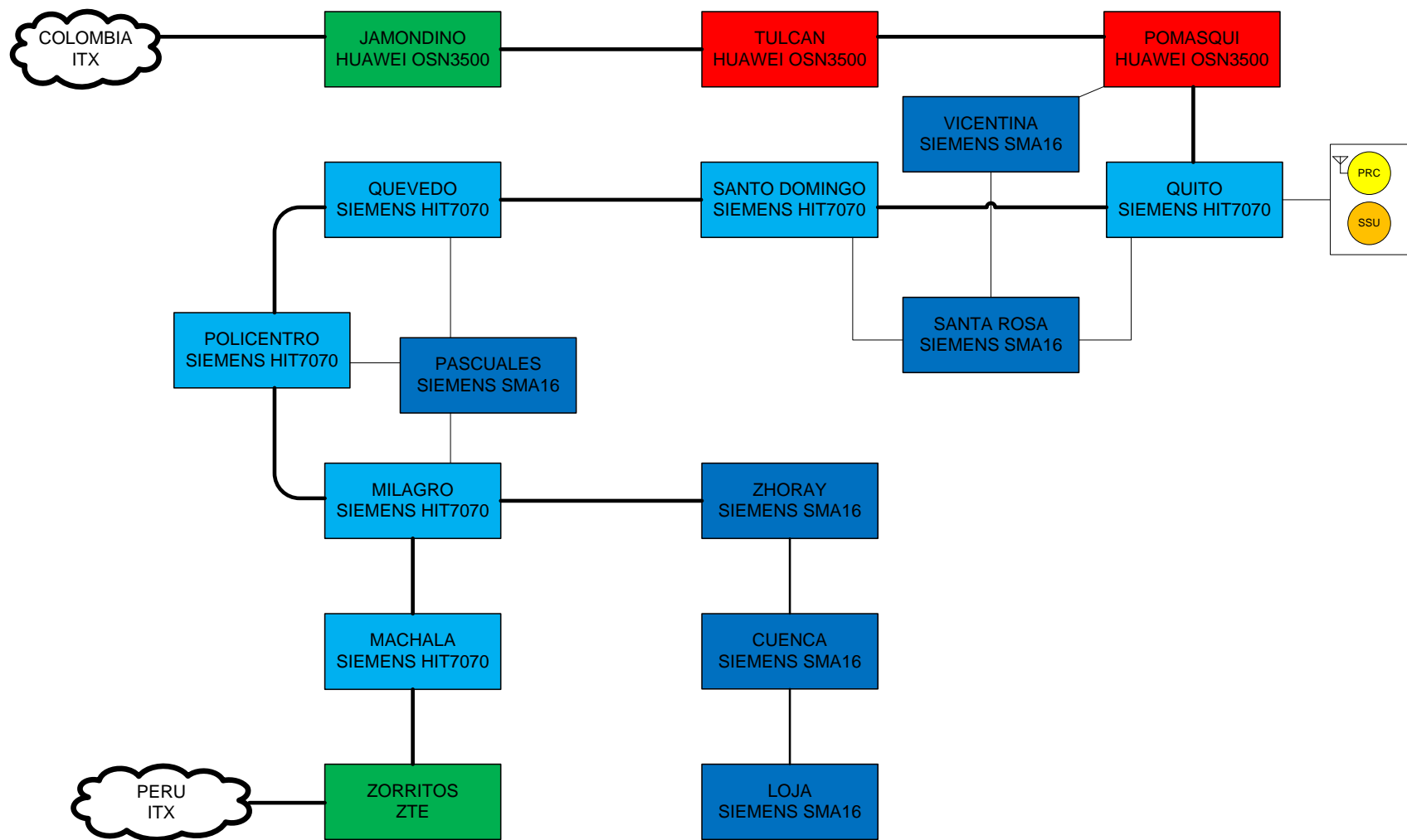


Figura. 3.8. Diagrama de la red de sincronismo actual de TRANSELECTRIC.

Symmetricom TS 3100 (PRC).



Figura. 3.9. Fotografía del equipo Symmetricom TimeSource 3100.

- Especificaciones: UIT-T G.811 y G.812.
- Oscilador Interno: con oscilador de cuarzo con temperatura controlada digitalmente (DCOCXO).
- Señales de entrada: GPS, E1/2,048 MHz u oscilador remoto.
- Señales de salida para sincronización: E1/2,048 MHz, 10 MHz, 1 PPS, TOD, ESCIU.
- Mensaje de estado de las señales de entrada y salida.
- Puertos de comunicación: RS-232, Ethernet.
- Gestión: TimeScan/Craft, TimeScan/NMS, TimePictra/TMN.

Symmetricom SSU 55400A (SSU).

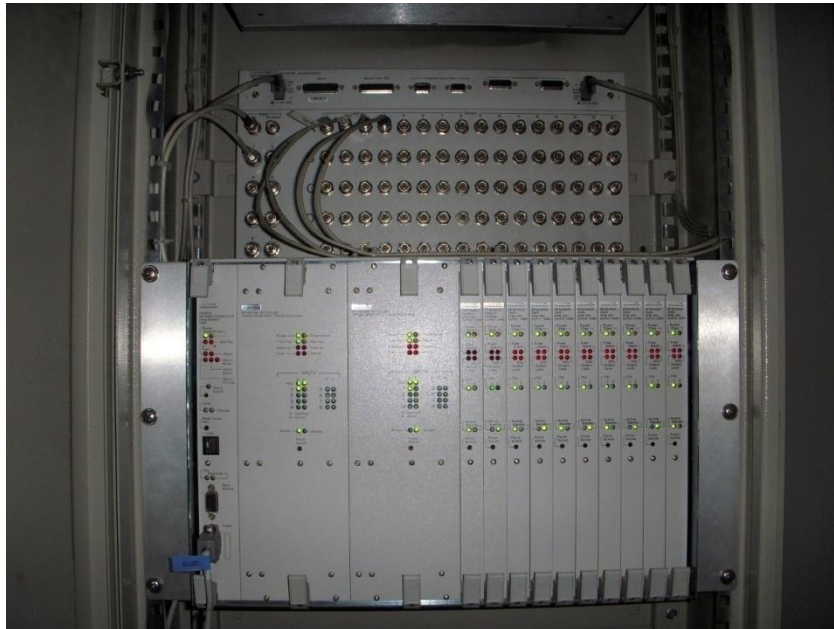


Figura. 3.10. Fotografía del equipo Symmetricom SSU 55400A.

- Número máximo de entradas de referencia 9, con protección 1:1.
- Número de entradas de referencia y monitoreo: 1 a 5 o 10 MHz PRC, hasta 8 señales en cualquier combinación de 2048 kHz o 2048 kbps.
- Tolerancia al Jitter/Wander en las señales de entrada según lo establecido en la recomendación de la UIT-T G.823.
- Monitoreo permanente de los siguientes parámetros: TDEV (desviación en el tiempo), MRTIE (máximo error relativo en el intervalo de tiempo), LMRTIE (último máximo error relativo en el intervalo de tiempo), FOFF (frecuencia de offset fraccional).
- Reloj Oscilador Interno: Oscilador de Cristal de Cuarzo.
- Estabilidad en funcionamiento de régimen libre: 1×10^{-10} por día.
- Número de salidas: hasta 80 salidas, con protección 1:1.
- Tipo de salidas: 2048 kHz, 2048 kbps.
- Puertos para la gestión: RS-232.

3.7 Proyecto de Red con Multiplexación de Longitudes de Onda (WDM)

Se encuentra en fase de estudio y planificación una red de gran capacidad de transporte con tecnología de Multiplexación Densa de Longitudes de Onda (DWDM).

Esta red DWDM cubrirá dos rutas además de la red actual de transporte. Las rutas son: Santa Elena – Guayaquil – Quito y Tulcán (Colombia) – Quito – Machala (Perú).

Vista la necesidad de dedicar dos rutas de tráfico especiales sobre la red de fibra óptica que posee TRANSELECTRIC. Las razones por las cuales fueron consideradas estas dos rutas son las siguientes:

Ruta Santa Elena – Guayaquil – Quito.- la península de Santa Elena por su ubicación estratégica en las costas del Océano Pacífico es un punto de acceso a los cables submarinos de fibra óptica como son: El cable Panamericano y El cable de Telefónica, tendidos a lo largo de las costas Sudamericanas cubriendo los países de Colombia, Ecuador, Perú y Chile con interconexiones hacia América del Norte y el resto del mundo.

La importancia es de poseer capacidad de tráfico en salidas internacionales, es primordial a su vez disponer de una red de alta capacidad interna entre las dos principales ciudades del país como son: Quito y Guayaquil para distribuir el acceso a la salida internacional.

Se establece que es útil usar la tecnología DWDM para establecer altas capacidades que están estimadas que estén alrededor de los 40 – 100 Gbps de acceso que serán distribuidas a los clientes en todo los nodos de la red de TRANSELECTRIC.

Ruta Tulcán (Colombia) – Quito – Machala (Perú).- una idea que nació en el Plan Maestro de Telecomunicaciones 1994 – 2000 suscrito por la Asociación de Empresas de Telecomunicaciones de la Comunidad Andina (ASETA) se estableció la Conformación del Corredor Andino Digital, la autopista digital de la información y las comunicaciones andinas con rutas terrestres, submarinas y satelitales que comprende:

- Desarrollo del Proyecto de una Red de Fibra Óptica Terrestre que recorre los cinco Países Andinos.
- Promoción de la participación de las empresas operadoras andinas en Proyectos de Cables Submarinos de Fibra Óptica que enlazan la Subregión y a esta con el resto del mundo.
- Digitalización de los enlaces satelitales en el sistema INTELSAT y otros que proveen capacidad en la subregión.

De entre todos los proyectos planteados el desarrollo del proyecto de una red de fibra óptica que recorrerá los cinco países de la comunidad andina esta tomando forma. Esta red regional se encuentra en fases de prueba de interconexión entre los países de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú.

Por lo tanto TRANSELECTRIC plantea una conexión a esta red estableciendo la ruta Tulcán (Colombia) – Quito – Machala (Perú) usando la tecnología DWDM para disponer de grandes capacidades de tráfico que estarán alrededor de los 40 – 100 Gbps.

En la figura 3.11 se describe la red DWDM de TRANSELECTRIC la cual cubrirá las dos rutas antes mencionadas para tener acceso a la red regional y a los cables submarinos. Cabe indicar que los equipos multiplexores en las diferentes ciudades como: Guayaquil, Quito, Machala, Tulcán y Santa Elena servirán para acceder en las dos redes SDH como DWDM.

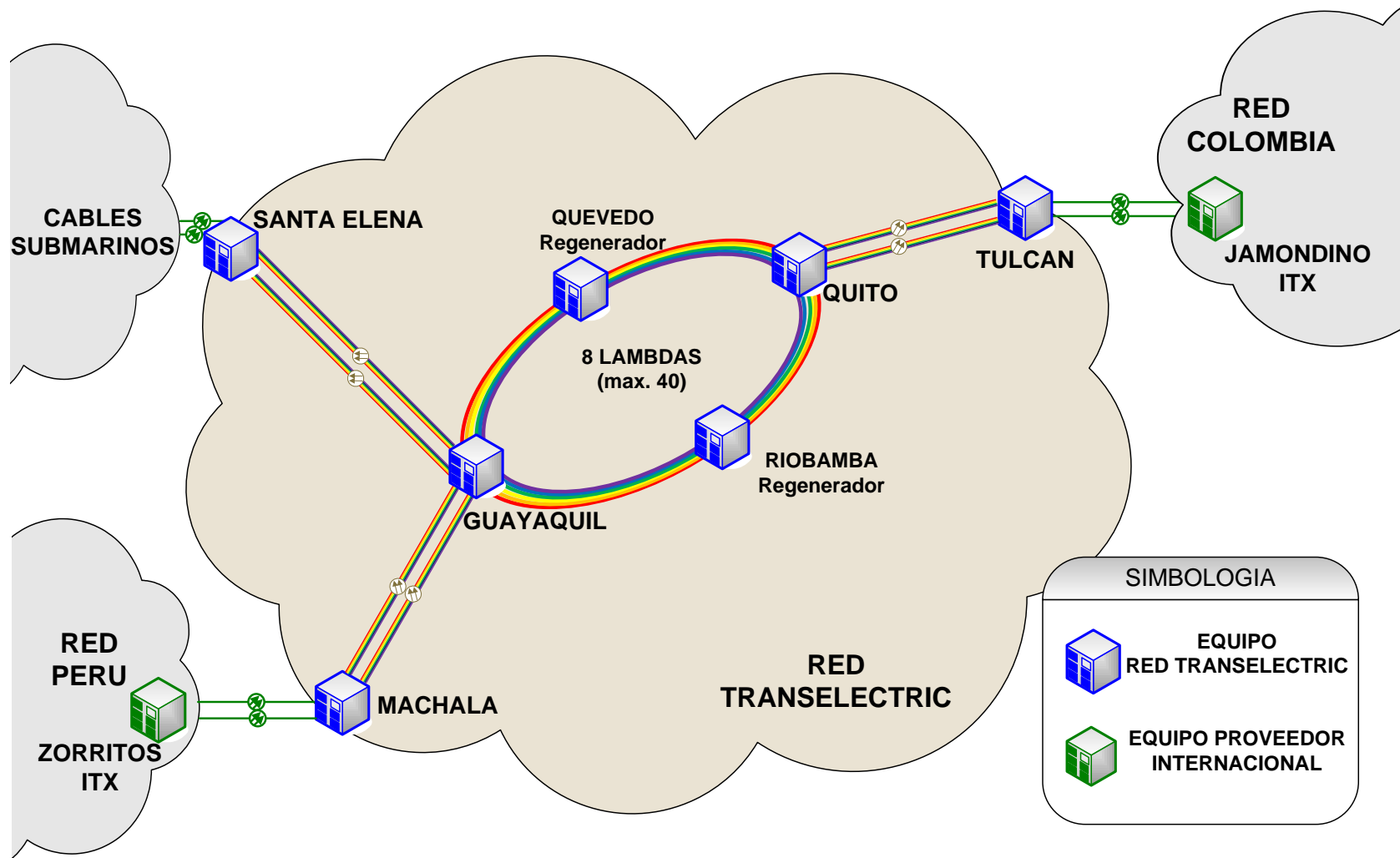


Figura. 3.11. Diagrama de Red Regional y Acceso a Cables Submarinos con DWDM.

CAPITULO 4

ARQUITECTURA DE LAS REDES DE SINCRONISMO

Conocidos los problemas que genera la falta de sincronismo en una red de transporte SDH, en este capítulo se hablará de la solución general para las redes de sincronismo inmersas en la red de transporte SDH.

El uso de una red síncrona en el que se envían tramas constantes de bits, demanda gran atención al uso de una adecuada temporización para evitar la pérdida de información.

Lo ideal es disponer de una sola señal de reloj perfecta de referencia para que sea distribuida a todos los elementos de la red sin distorsiones y no exista ninguna pérdida en la transmisión de la información. Pero la realidad es otra y este ideal difícilmente se puede cumplir en su totalidad.

Esta señal de sincronización debe ser repartida a todos los elementos de la red SDH y asegurar su integridad. Puede ser que a veces resulte más complicado distribuir la señal de sincronización pero es la realidad, los efectos que causan deslizamientos de tiempo también afectan a la señal de sincronización, la degradan y deterioran su calidad por lo que un adecuado diseño y plan de sincronismo son el pilar fundamental de la red de temporización y sincronismo.

Entre las tecnologías de transporte tanto SDH como PDH existen ciertas relaciones que permiten su interoperabilidad, pero dicha interoperabilidad presenta obstáculos, que con una adecuada temporización se soluciona.

Otro inconveniente que se presenta es la conmutación de paquetes sobre una red de transporte SDH, entre la más utilizada en la actualidad Ethernet sobre SDH. Dicha interoperabilidad entre dos dominios diferentes, TDM y FDM, el problema se agudiza aun más y la necesidad encarecida de una red de sincronización se presenta. A esta red de sincronismo en la actualidad se la conoce como: "Ethernet Síncrono".

En una arquitectura de red de sincronización cabe indicar algunos conceptos que serán muy útiles para entender su funcionamiento y proponer una adecuada solución para la red de transporte óptico de TRANSLECTRIC S.A.

4.1 Área de Sincronización

Una red de transporte SDH se usa idealmente para cubrir grandes distancias por las características tecnológicas de este tipo de red. En este caso puede cubrir desde ciudades, regiones, países y hasta continentes. A este espacio geográfico se la conoce como área de sincronismo.

El uso de un reloj máster para sincronizar un área específica compuesto por una cierta cantidad de nodos, sin sobrepasar los 60 elementos distribuidos como se muestra en la figura 4.1 de red como lo indica la recomendación de la UIT-T G.803.

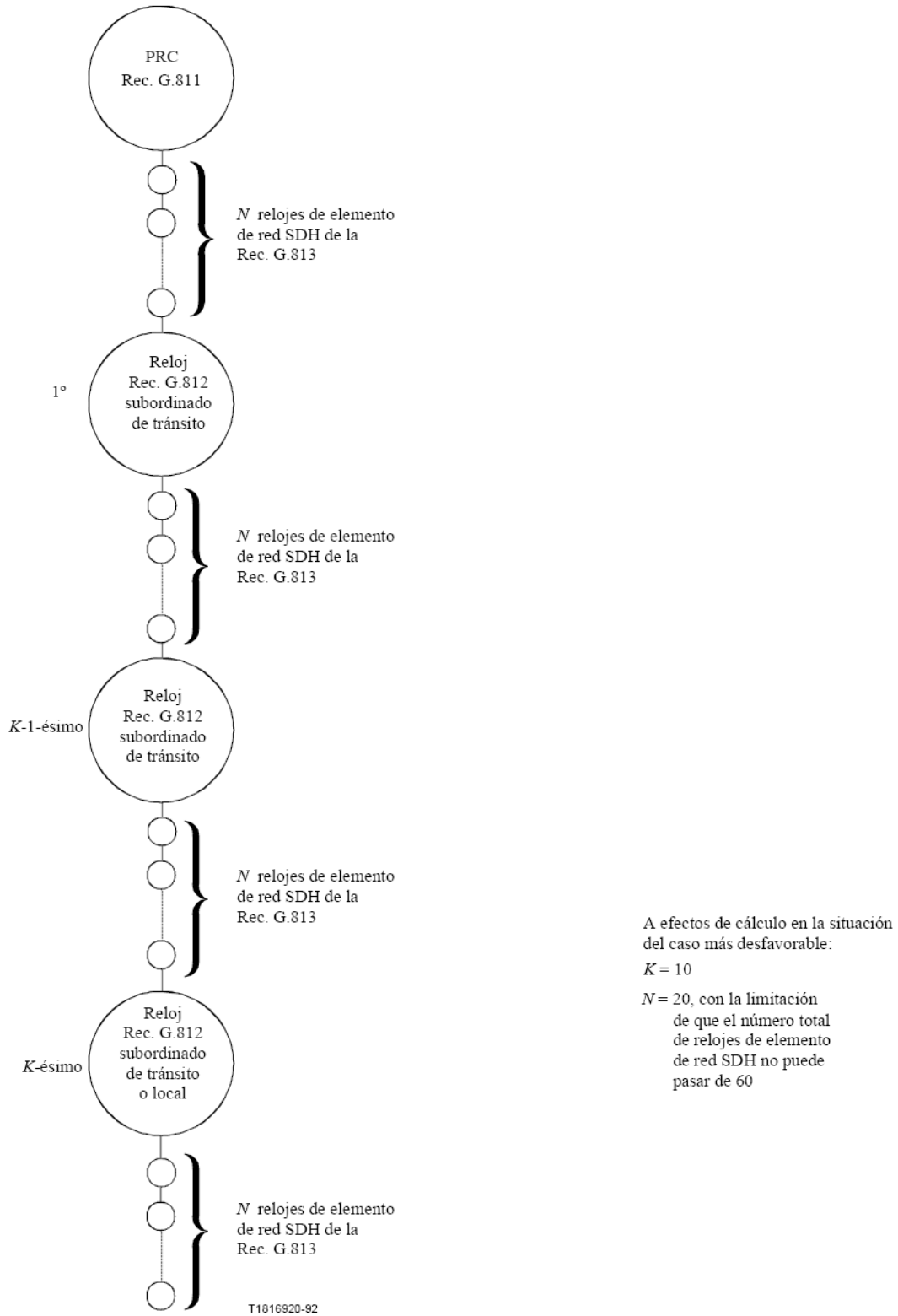


Figura. 4.1. Cadena de referencia de la red de sincronización¹.

¹ UIT-T Recomendación G.803

4.2 Distribución de la Sincronización

En un área de sincronización establecida, se requiere distribuir la señal de sincronismo del reloj máster a todos los elementos de la red, con el fin de que se encuentren debidamente temporizados para su correcto funcionamiento.

La UIT-T en su recomendación G.803 manifiesta el uso de una red de sincronismo clasificada en capas para distribuir la señal de sincronización de una forma óptima y adecuada. Los estratos están clasificados en tres los cuales son: Reloj de Referencia Primario (*Primary Reference Clock PRC*), Unidad de Suministro de Sincronización (*Synchronization Supply Unit SSU*) y Reloj del Elemento de Red SDH (*Synchronous Equipment Clock SEC*).

4.2.1 Reloj de Referencia Primario (PRC)

El reloj de referencia primario o reloj máster, se define como aquel dispositivo que genera una señal de referencia de reloj a través de un reloj autónomo de alta calidad. También es considerado aquel dispositivo que toma como referencia una señal de sincronización del sistema GPS.

La recomendación de la UIT-T G.811 que estandariza a este tipo de reloj conocido también como reloj de calidad 1.

El objetivo de calidad que debe cumplir el PRC se lo plantea en la recomendación de la UIT-T G.822, que norma el objetivo que deben cumplir todos los operadores internacionales para ser considerado como tal. La recomendación señala que en un lapso de 70 días debe ocurrir máximo un deslizamiento. Dado que todas las tramas STM-N tienen una duración de 125 μ s, entonces el valor límite será 2×10^{-11} para que ocurra un deslizamiento. Dicho límite establecido como objetivo de todo operador internacional no debe sobrepasarse para ser catalogado como tal.

La UIT-T en la recomendación G.811, para que alcance el objetivo planteado en la recomendación G.822 al operador internacional, propone que el límite de deslizamientos que debe cumplir el PRC será de 1×10^{-11} .

Además de la precisión en frecuencia que debe cumplir el PRC, por los efectos adversos que degeneran la señal de reloj, debe sujetarse a otros límites indicados en la recomendación de la UIT-T G.811 que se detallan a continuación.

Fluctuación lenta de fase.

Tabla. 4.1. Límite MTIE de la fluctuación de fase lenta de un PRC².

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MTIE (μs)
$0,1 < \tau \leq 1000$	$0,275 \times 10^{-3} \tau + 0,025 \mu\text{s}$
$\tau > 1000$	$10^{-5} \tau + 0,29 \mu\text{s}$

² UIT-T Recomendación G.811

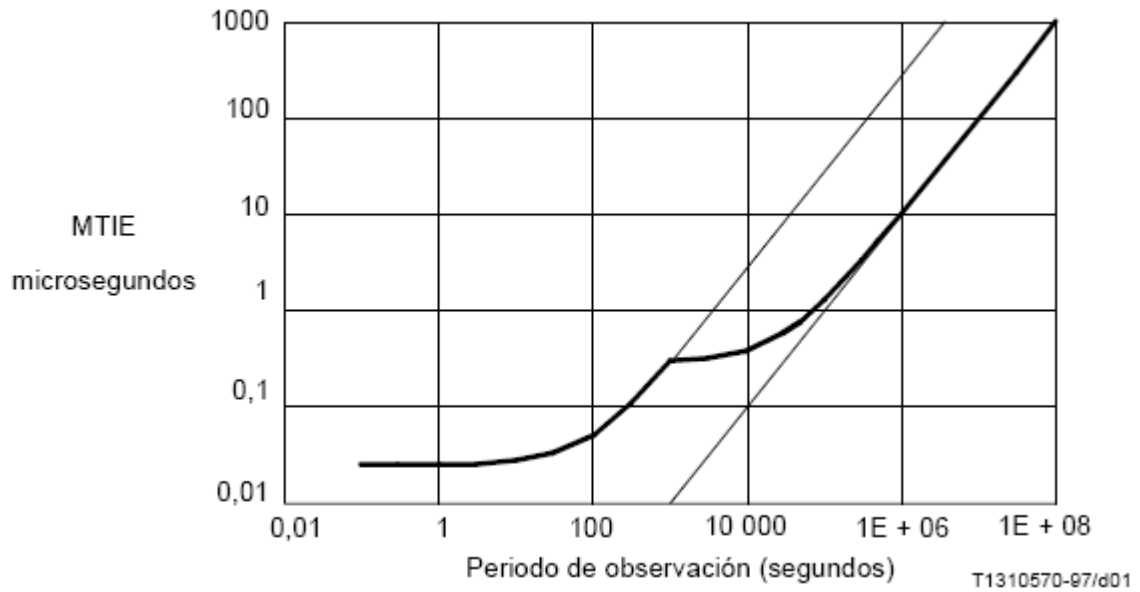


Figura. 4.2. MTIE en función del periodo de observación (t) de un PRC².

Tabla. 4.2. Límite TDEV de la fluctuación de fase lenta de un PRC².

Tiempo de observación τ (s)	Requisito TDEV (ns)
$0,1 < \tau \leq 100$	3
$100 < \tau \leq 1000$	$0,03 \tau$
$1000 < \tau \leq 10000$	30

² UIT-T Recomendación G.811

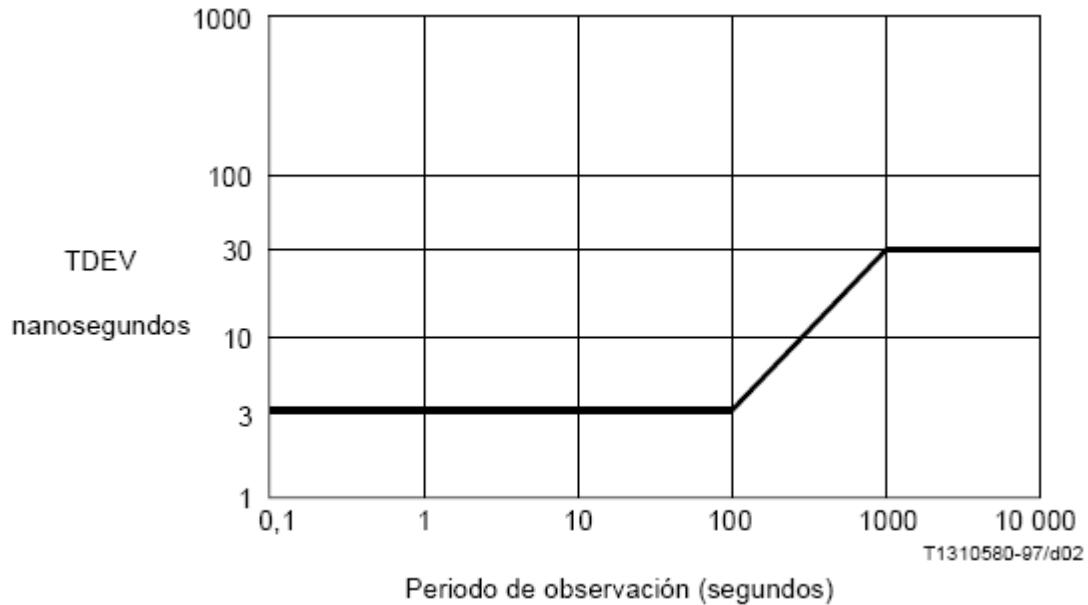


Figura. 4.3. TDEV en función del periodo de observación t de un PRC².

Fluctuación de fase rápida.

Los límites para la fluctuación de fase dependen de la interfaz STM-N con la que se este trabajando. El límite se establece en 0,05 U_{lpp} en un lapso de observación de 60 segundos para un rango de frecuencias comprendidas entre 20 Hz a 100 kHz. Dicho límite se encuentra especificado para una frecuencia de referencia de 2048 kHz correspondiente a una red de transporte SDH.

4.2.2 Unidad de Suministro de Sincronización (SSU)

La Unidad de Suplemento de Sincronización es un elemento de la red de sincronización que distribuye la señal de sincronismo del PRC y esta equipado con un reloj de calidad 2 o 3. Para esto existe un parámetro primordial al que deben someterse, el cual es de tener una precisión en modo régimen libre de $1,6 \times 10^{-8}$ deslizamientos en intervalo de tiempo de observación un mes. El rendimiento en

² UIT-T Recomendación G.811

modo enganchado, es decir cuando obtuvo los parámetros de la señal de un PRC, debe cumplir con una estabilidad de 1×10^{-10} deslizamientos máximos medidos en un intervalo de observación de 1 día.

Las SSU existen de dos tipos, que dependen de su ubicación dentro de la red de sincronización y por ende su calidad, y estos son:

- Unidad de Suministro de Sincronización de Nodo de Transito (SSU-T).
- Unidad de Suministro de Sincronización de Nodo Local (SSU-L).

Este dispositivo debe ser capaz de cumplir con las siguientes funciones para ser considerado como SSU, las cuales se detallan a continuación:

- Ser capaz de diferenciar y seleccionar entre las señales de entrada y su propia señal de reloj la que tenga la mejor calidad.
- Detectar deslizamientos de tiempo de entrada de las señales que procesa.
- Distribuir la señal de sincronización a los elementos de red conectados a él.
- En el caso de no poseer una adecuada señal de sincronización en sus entradas, utilizar su señal de sincronización para ser distribuida.

Como se pudo especificar en las funciones, el SSU posee un reloj de calidad (no mayor a un PRC) que se usará en el caso de no poseer ninguna señal de sincronización. A este modo de funcionamiento de utilizar la señal del reloj interno del SSU como señal de reloj de referencia se la conoce como: “Modo Régimen Libre”.

La recomendación de la UIT-T G.812 hace referencia a tres tipos de relojes. El tipo I, es utilizado para redes basadas en 2048 kbps para SDH. Los tipos II y III son para redes basadas en 1544 kbps para SONET. Dado que el estudio nuestra red está basado para un sistema SDH daremos mayor énfasis en el reloj de tipo I.

Para que SSU funcione de forma adecuada y correcta deberá cumplir los parámetros especificaciones por la recomendación de la UIT-T G.812 que establece varios límites de donde se hace referencia a lo siguiente.

Exactitud en Frecuencia.

La exactitud en frecuencia debe cumplirse precisamente en régimen libre de funcionamiento. La exactitud en frecuencia no es más que un valor de tolerancia entre la señal de un PRC y la señal generada por un SSU. En la tabla 4.3 se detallan los valores límites y en el intervalo de tiempo dado.

Tabla. 4.3. Requisitos de exactitud de frecuencia de salida de un SSU³.

	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Exactitud	NA	$1,6 \times 10^{-8}$	$4,6 \times 10^{-6}$
Periodo T	NA	1 año	1 año
NA = No Aplicable			
Nota: El periodo de tiempo T se aplica después de 30 días de funcionamiento sincronizado continuo.			

Gamas de enganche, retención y desenganche.

Cuando el reloj realiza una transición entre suministrar una señal de reloj de orden superior (PRC) o disponer de su señal interna de reloj y viceversa, esta transición de enganche, retención y desenganche debe a su vez no superar los límites establecidos en la tabla 4.4.

³ UIT-T Recomendación G.812

Tabla. 4.4. Requisitos de enganche, retención y desenganche de un SSU³.

	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Enganche	$1,6 \times 10^{-8}$	$1,6 \times 10^{-8}$	$4,6 \times 10^{-6}$
Retención	NA	$1,6 \times 10^{-8}$	$4,6 \times 10^{-6}$
Desenganche	TBD	NA	NA
NA = No Aplicable TBD = Por Definir			

El modo enganchado hace referencia al funcionamiento normal de un SSU cuando tiene en su entrada una señal de reloj de referencia de nivel superior y esta señal es controlada por el SSU para suministrar una señal a su salida. En el modo enganchado la SSU toma datos de frecuencia y variación de fase con el fin de controlar su señal de salida con respecto a la señal de entra respetando los límites establecidos.

Generación de Ruido.

La generación de ruido corresponde al límite que se puede inducir en la señal de referencia primaria proveniente de un PRC o a su vez al límite de ruido que la señal de reloj proveniente del SSU utilice para la red de sincronización.

Fluctuación lenta de fase en modo enganchado.

En la tabla 4.5 se detallan los valores límite para un SSU en modo enganchado.

³ UIT-T Recomendación G.812

Tabla. 4.5. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) para reloj SSU de nodo tipo I con temperatura constante³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MTIE (ns)
$0,1 < \tau \leq 9$	24
$9 < \tau \leq 400$	$8 \times \tau^{0,5}$
$400 < \tau \leq 10000$	160

Tabla. 4.6. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) para relojes SSU de nodo tipos II y III con temperatura constante³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MTIE (ns)
$0,1 < \tau \leq 1$	40
$1 < \tau \leq 10$	$40 \times \tau^{0,4}$
$\tau > 10$	100

Cuando se incluyen los efectos de la temperatura cuyos límites y rapidez de cambio se deben definir, la tolerancia para la contribución total del MTIE de un solo reloj de nodo tipo I viene dado por los valores de la tabla 4.7.

Tabla. 4.7. Generación de fluctuación lenta de fase total (MTIE) para reloj SSU de nodo tipo I con temperatura variable³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MTIE (ns)
$2500 < \tau \leq 10000$	$3,2 \times \tau^{0,5}$

Nota: Para periodos de observación mayores que 10000s, se espera que el MTIE no sea superior a 1 μ s.

En la figura 4.4 se muestran los requisitos resultantes de las tablas 4.5 – 4.7.

³ UIT-T Recomendación G.812

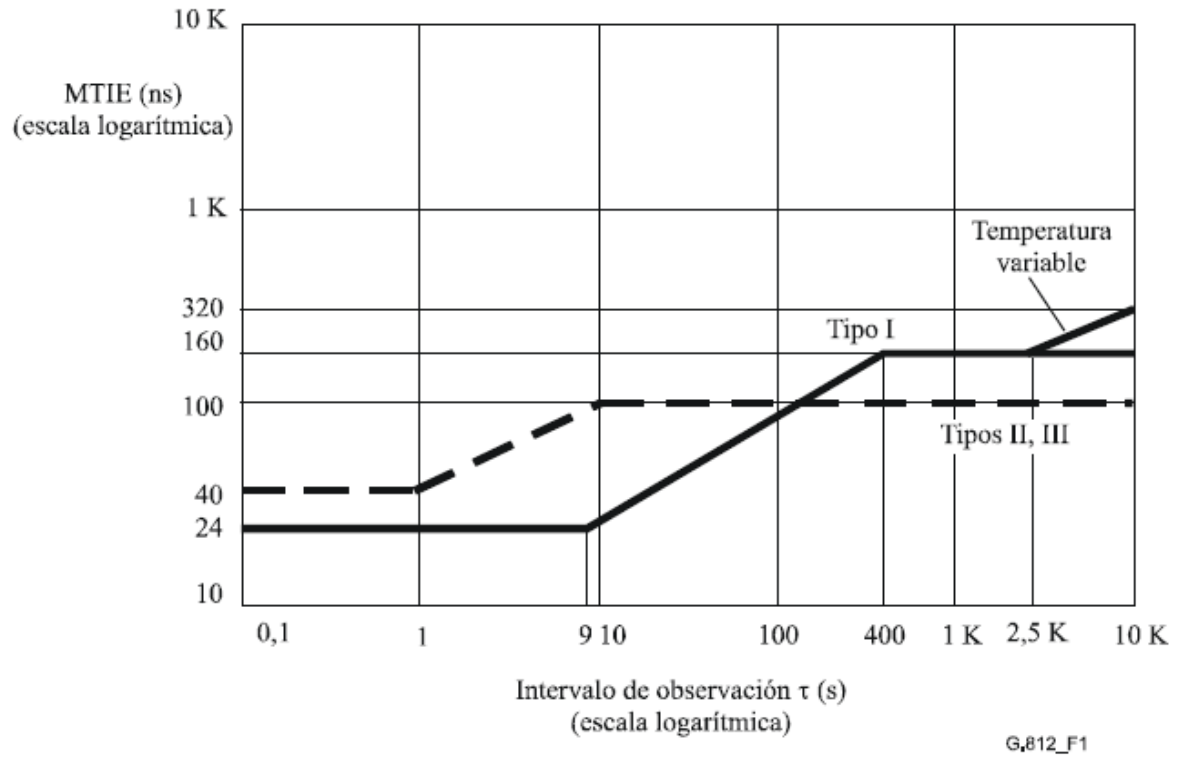


Figura. 4.4. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) máxima de un SSU³.

Tabla. 4.8. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) para reloj SSU de nodo tipo I con temperatura constante³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito TDEV (ns)
$0,1 < \tau \leq 25$	3
$25 < \tau \leq 100$	$0,12 \tau$
$100 < \tau \leq 10000$	12

³ UIT-T Recomendación G.812

Tabla. 4.9. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) para relojes SSU de nodo tipos II y III con temperatura constante³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito TDEV (ns)
$0,1 < \tau \leq 2,5$	$3,2 \times \tau^{-0,5}$
$2,5 < \tau \leq 40$	2
$40 < \tau \leq 1000$	$0,32 \times \tau^{0,5}$
$\tau > 1000$	10

Los requisitos resultantes se muestran en la figura 4.5.

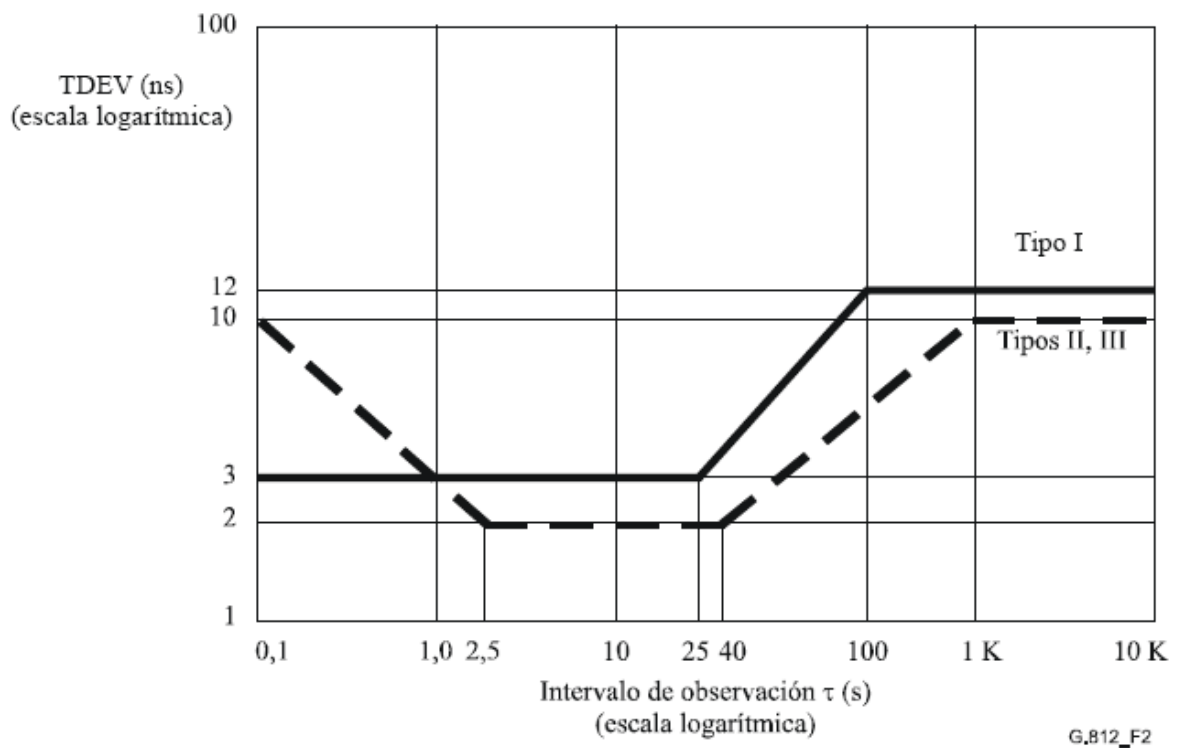


Figura. 4.5. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) con temperatura constante máxima de un SSU³.

³ UIT-T Recomendación G.812

Fluctuación de fase rápida.

Se establece límites de fluctuación de fase a la salida de la interfaz. Dependiendo de la interfaz STM-N que se utilice este límite también variará, para que dichos límites no rebasen a los establecidos en la recomendación de la UIT-T G.825 para el desempeño y funcionamiento óptimo de una red SDH.

Fluctuación de fase de salida en interfaces a 2048 kHz y 2048 kbps.

Cuando no hay fluctuación de fase a la entrada, la fluctuación de fase máxima interna que puede sufrir la señal a la salida medida durante un intervalo de observación de 60 segundos no debe exceder de 0,05 U_{pp}, medido a través de un filtro pasa banda unipolar con frecuencias de 20 Hz y 100 kHz.

Fluctuación de fase de salida en una interfaz STM-N.

Cuando no hay fluctuación de fase de entrada en la interfaz de sincronización, la fluctuación de fase máxima interna que puede sufrir la señal a la salida medida durante un intervalo de observación de 60 segundos no debe exceder los límites indicados en la tabla 4.10.

Tabla. 4.10. Generación de fluctuación de fase STM-N máxima de un SSU³.

Interfaz	Anchura de banda de medición, frecuencias de -3dB	Amplitud pico a pico (U_{lpp})
STM-1e	500 Hz a 1,3 MHz	0,5
	65 kHz a 1,3 MHz	0,075
STM-1	500Hz a 1,3 MHz	0,5
	65 kHz a 1,3 MHz	0,1
STM-4	1 kHz a 5 MHz	0,5
	250 kHz a 5 MHz	0,1
STM-16	5 kHz a 20 MHz	0,5
	1 MHz a 20 MHz	0,15
STM-1e = STM-1 eléctrico U _{lpp} = Intervalo Unitario pico a pico STM-1 1 UI = 6,43 ns STM-4 1 UI = 1,61 ns STM-16 1 UI = 0,402 ns El intervalo unitario (UI) es el valor en tiempo que dura un símbolo digital en una trama STM-N.		

Tolerancia al ruido.

Una vez dados los límites de fluctuación de fase máximos que debe cumplir el SSU, además en la recomendación de la UIT-T G.812 establece los límites que el SSU debe considerar como adecuados para una señal de sincronización a la entrada. Caso contrario al no cumplir dichos límites la señal de entrada, dicha señal deberá considerarse como no adecuada y el SSU pasara a modo régimen libre de funcionamiento o utilizar otra señal de referencia.

³ UIT-T Recomendación G.812

Los límites planteados en la recomendación de la UIT-T G.812 garantizaran:

- La señal de reloj se mantendrá dentro de los límites especificados.
- No originará ninguna alarma dentro de la red.
- No originará la necesidad de una conmutación de señal de reloj.
- No originará que el SSU pase a modo de régimen libre.

Tolerancia de fluctuación lenta de fase.

Tabla. 4.11. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) para relojes SSU de nodo tipo I³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MTIE (μs)
$0,1 < \tau \leq 7,5$	0,75
$7,5 < \tau \leq 20$	$0,1 \tau$
$20 < \tau \leq 400$	2
$400 < \tau \leq 1000$	$0,005 \tau$
$1000 < \tau \leq 10000$	5

Tabla. 4.12. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MRTIE) para relojes SSU de nodo tipos II y III³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MRTIE (μs)
$0,05 < \tau \leq 280$	$0,3 + 0,0025 \tau$
$\tau > 280$	$0,997 + 0,00001 \tau$

³ UIT-T Recomendación G.812

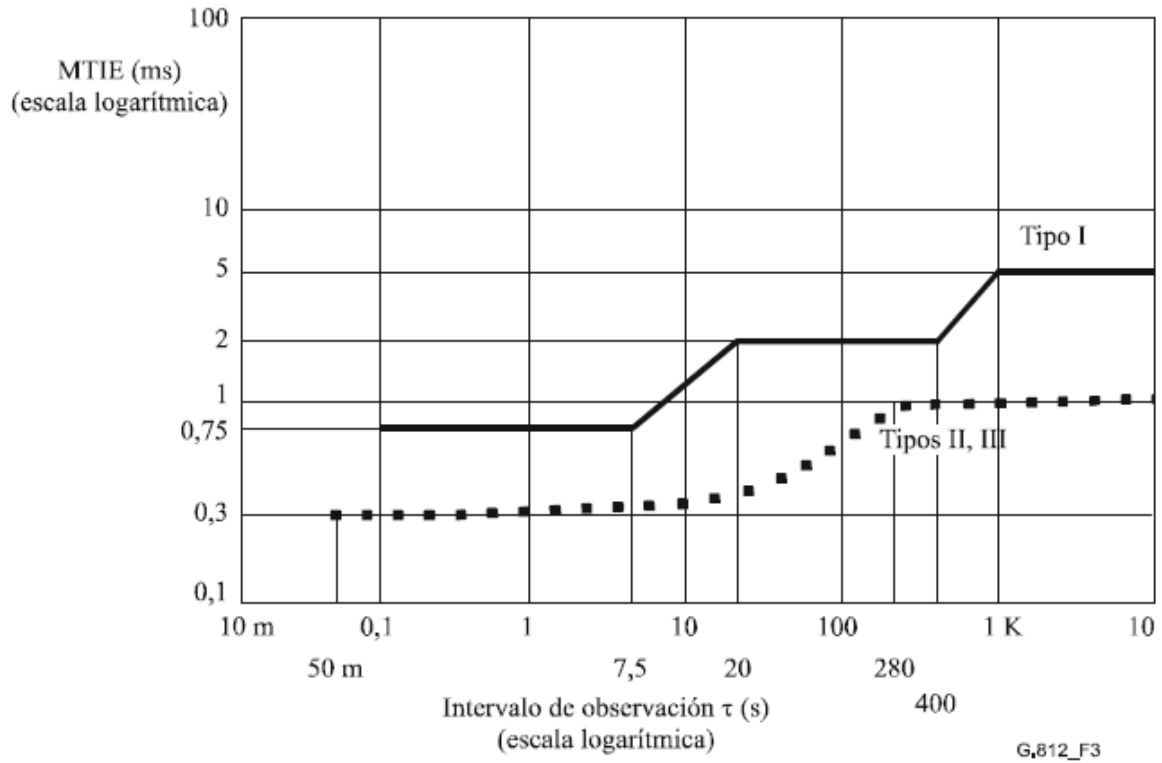


Figura. 4.6. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE)³.

Tabla. 4.13. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) para reloj SSU de nodo tipo I³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito TDEV (ns)
$0,1 < \tau \leq 20$	34
$20 < \tau \leq 100$	$1,7 \tau$
$100 < \tau \leq 1000$	170
$1000 < \tau \leq 10000$	$5,4 \times \tau^{0,5}$

³ UIT-T Recomendación G.812

Tabla. 4.14. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) para relojes SSU de nodo tipos II y III³.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito TDEV (ns)
$\tau \leq 0,05$	En estudio
$0,05 < \tau \leq 10$	100
$10 < \tau \leq 1000$	$31,6 \times \tau^{0,5}$
$\tau > 1000$	En estudio

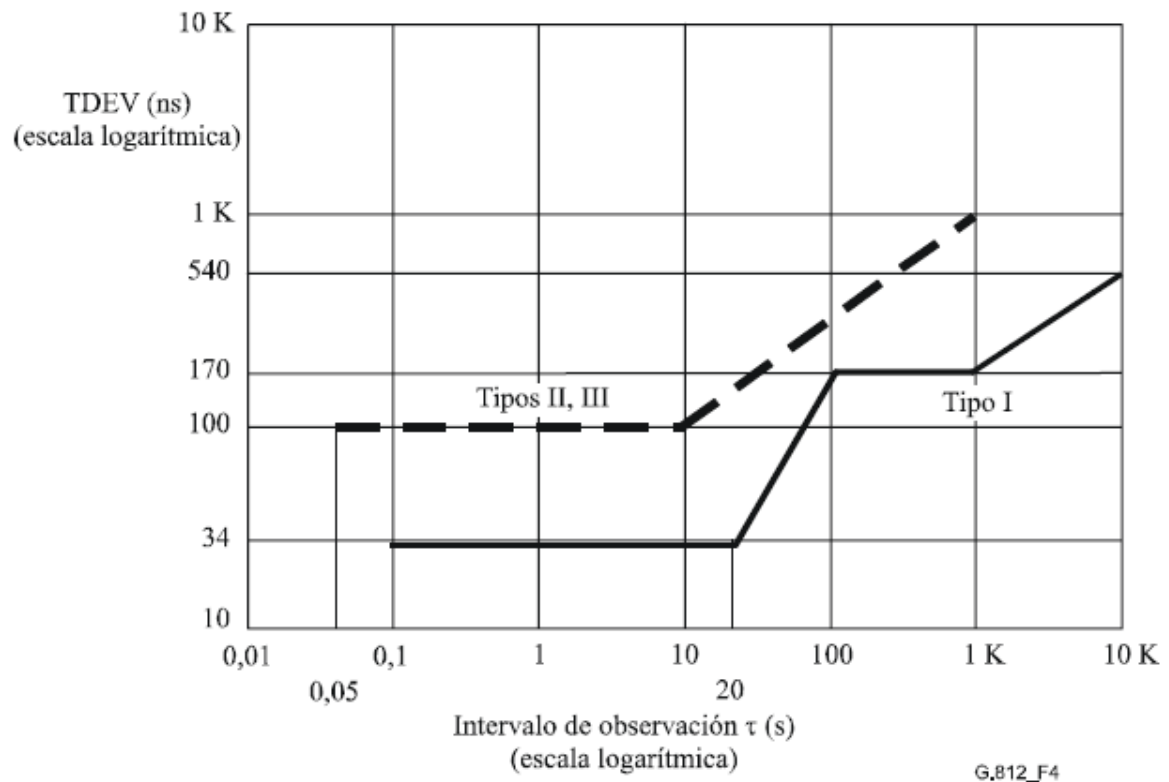


Figura. 4.7. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) máxima de un SSU³.

³ UIT-T Recomendación G.812

Tolerancia de fluctuación de fase.

Tabla. 4.15. Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para el reloj SSU de nodo tipo I³.

Frecuencia f (Hz)	Amplitud de la fluctuación de fase pico a pico (ns)
$1 < f \leq 2400$	750
$2400 < f \leq 18000$	$1,8 \times 10^{-6} f^1$
$18000 < f \leq 100000$	100

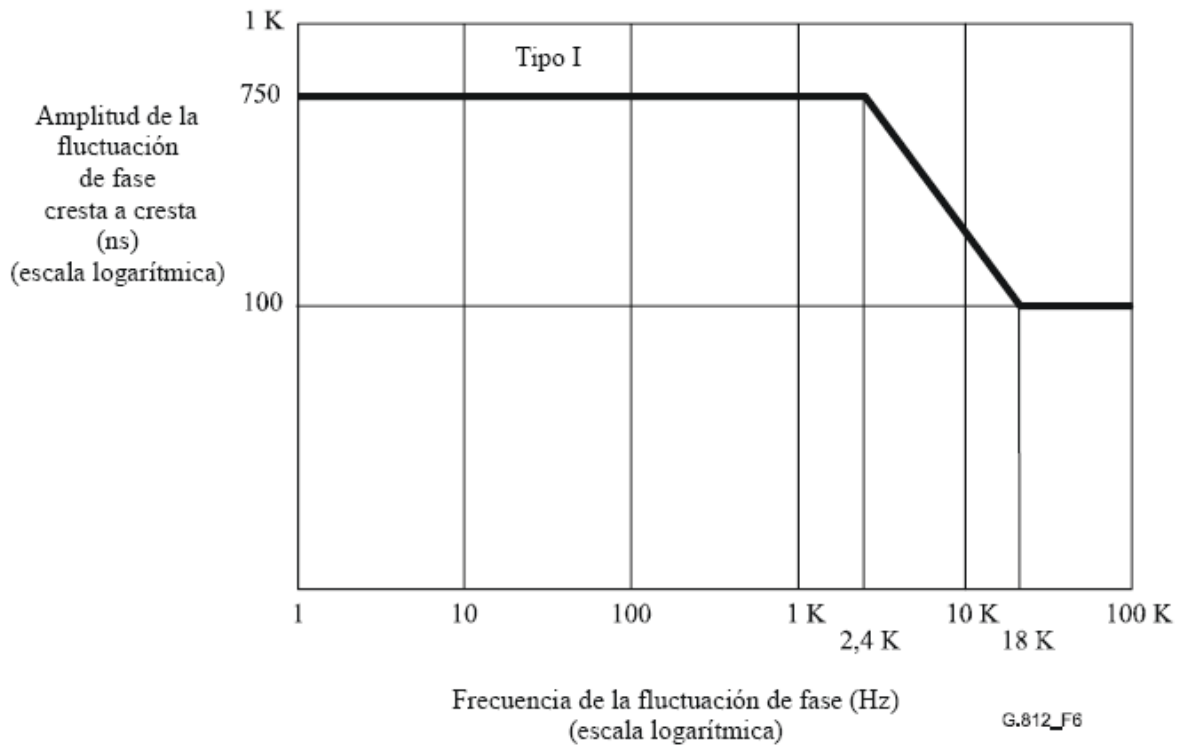


Figura. 4.8. Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para el reloj SSU de nodo tipo I³.

³ UIT-T Recomendación G.812

Tolerancia de fluctuación de fase en la interfaz STM-N.

La tolerancia de fluctuación de fase en las interfaces STM-N deberá cumplir los límites descritos en la recomendación UIT-T G.825. Los límites que expone la recomendación de la UIT-T G.825 hacen referencia a límites de funcionamiento de la red garantizando que:

- No se provoquen alarmas.
- No se provoquen deslizamientos.
- No se provoquen errores de bit; exceptuadas las interfaces STM-N ópticas a frecuencias de fluctuación de fase superiores a f_p (f_p es 6,5 kHz para STM-1, 25 kHz para STM-4, 100 kHz para STM-16 y 400 kHz para STM-64), en las que no se excederá una penalización de potencia óptica equivalente de 1 dB.

Por lo tanto, la tolerancia del SSU será igual que todo elemento de la red en su funcionamiento normal en régimen libre o enganchado respecto a la tolerancia de la fluctuación de fase en la interfaz STM-N.

4.2.3 Reloj del elemento de red SDH (SEC)

El reloj del elemento de red SDH es el último nivel de la red de sincronización. Se encuentra funcionando en el interior del equipo de la red y su calidad es inferior a la de un SSU y menor aún a un PRC. Su margen de calidad se encuentra en $4,6 \times 10^{-6}$ deslizamientos permitidos en modo de funcionamiento en régimen libre, en un período de minutos.

Un SEC debe cumplir con las siguientes funciones dentro del elemento de la red SDH:

- Aceptar y seleccionar la señal de referencia de reloj para su óptimo funcionamiento.
- Filtrar la señal de reloj seleccionada a fin de reducir los deslizamientos en el tiempo.
- En caso de que la señal externa de reloj se encuentre degradada o no exista, deberá ser capaz de generar su propia señal de reloj para entrar en régimen libre.

La recomendación de la UIT-T G.813 hace referencia a los límites que debe cumplir estos relojes SEC para su funcionamiento dentro de la red SDH los cuales se detallan a continuación.

Exactitud de frecuencia.

Valor de la frecuencia relativa con la del PRC. En condiciones de funcionamiento en modo régimen libre, es decir cuando el SEC funciona sin referencia alguna, el valor no debe superar los 4,6 ppm.

Gamas de enganche, de retención y de desenganche.

Gama de enganche.

El valor mínimo debe ser $\pm 4,6$ ppm, para cualquier tipo de desplazamiento del oscilador interno.

Gama de retención.

No requiere ningún valor especificado.

Gama de desenganche.

Requiere un posterior estudio para definir su valor. Se ha propuesto un valor de $\pm 4,6$ ppm.

Generación de ruido.

Es el valor de desfase producido por el SEC al estar referenciado por una señal a la entrada del mismo. Los límites del ruido que genera el dispositivo serán estimados con una señal de PRC. Se establece requisitos de estabilidad 10 veces mayor a los límites de funcionamiento de los elementos de red SDH establecidos en la recomendación de UIT-T G.825.

Fluctuación lenta de fase en modo enganchado.

Igual que para el SSU, el modo enganchado se define cuando el SEC opera referenciado con una señal de reloj externa.

Tabla. 4.16. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) máxima de un SEC con temperatura constante⁴.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MTIE (ns)
$0,1 < \tau \leq 1$	40
$1 < \tau \leq 100$	$40 \times \tau^{0,1}$
$100 < \tau \leq 1000$	$25,25 \times \tau^{0,2}$

⁴ UIT-T Recomendación G.813

Tabla. 4.17. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) máxima de un SEC adicional con efectos de temperatura⁴.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MTIE (ns)
$\tau \leq 100$	$0,5 \times \tau$
$\tau > 100$	50

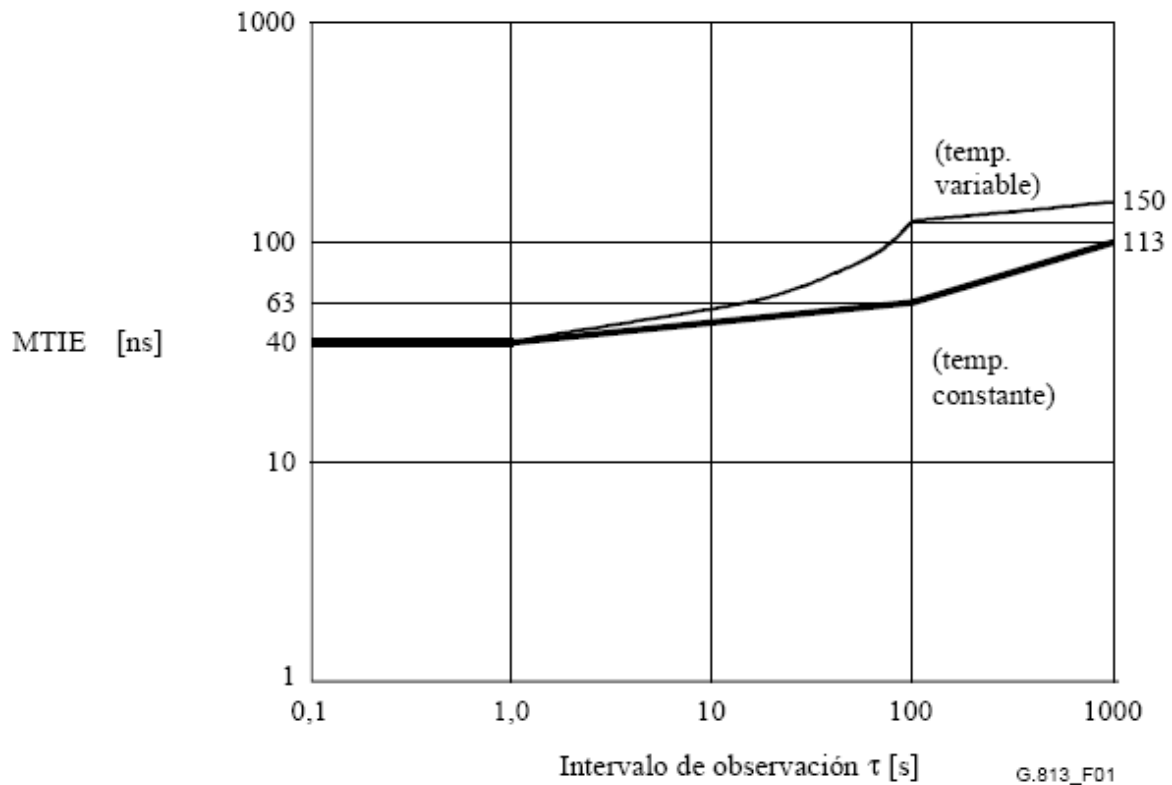


Figura. 4.9. Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) límite de un SEC⁴.

Tabla. 4.18. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) máxima de un SEC con temperatura constante⁴.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito TDEV (ns)
$0,1 < \tau \leq 25$	3,2
$25 < \tau \leq 100$	$0,64 \times \tau^{0,5}$
$100 < \tau \leq 1000$	6,4

⁴ UIT-T Recomendación G.813

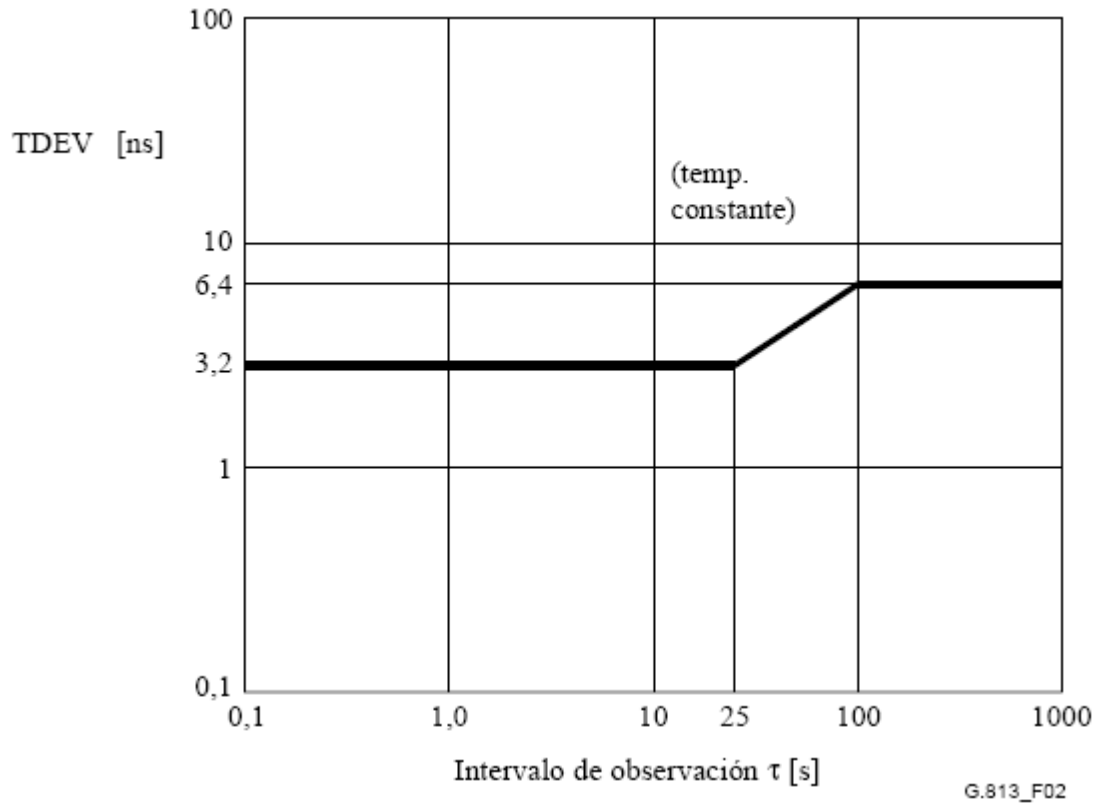


Figura. 4.10. Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) límite de un SEC con temperatura constante⁴.

Fluctuación lenta de fase no enganchada.

Al estar en funcionamiento el reloj interno del SEC, cuando no se encuentra enganchado o referenciado por una señal externa de sincronización, los valores del ruido de la señal interna de reloj son despreciables dado el efecto determinístico del desplazamiento inicial de frecuencia.

⁴ UIT-T Recomendación G.813

Fluctuación de fase.**Fluctuación de fase a la salida en una interfaz a 2048 kHz.**

Cuando no hay fluctuación de fase en la señal de entrada, la fluctuación de fase interna en la interfaz de salida a 2048 kHz medida en un intervalo de observación de 60 s, no debe exceder de 0,05 U_{lpp} cuando se mide a través de un filtro pasa banda con frecuencias laterales de 20 Hz y 100 kHz.

Fluctuación de fase a la salida en una interfaz STM-N.

Cuando no hay fluctuación de fase en la señal de entrada en la interfaz de sincronización, la fluctuación de fase interna para las interfaces de salida STM-N óptica medida en un intervalo de observación 60 segundos no deberá exceder de los límites indicados en la tabla 4.19.

Tabla. 4.19. Generación de fluctuación de fase a la salida de una interfaz STM-N de un SEC⁴.

Interfaz	Anchura de banda de medición, frecuencias de -3dB	Amplitud pico a pico (U _{lpp})
STM-1	500 Hz a 1,3 MHz	0,5
	65 kHz a 1,3 MHz	0,1
STM-4	1 kHz a 5 MHz	0,5
	250 kHz a 5 MHz	0,1
STM-16	5 kHz a 20 MHz	0,5
	1 MHz a 20 MHz	0,1
STM-64	20 kHz a 80 MHz	0,5
	4 MHz a 80 MHz	0,1
U _{lpp} = Intervalo Unitario pico a pico		
STM-1	1 UI = 6,43 ns	
STM-4	1 UI = 1,61 ns	
STM-16	1 UI = 0,402 ns	
STM-64	1 UI = 0,100 ns	
El intervalo unitario (UI) es el valor en tiempo que dura un símbolo digital en una trama STM-N.		

Tolerancia al ruido.

Una vez dadas los límites de fluctuación de fase máximos que debe cumplir el SEC, además en la recomendación de la UIT-T G.813 se establecen los límites que el SEC debe considerar como adecuados para una señal de sincronización de entrada. Caso contrario al no cumplir dichos límites la señal de entrada, dicha señal deberá considerarse como no adecuada y el SEC pasara a modo régimen libre de funcionamiento.

Los límites planteados en la recomendación de la UIT-T G.813 garantizaran:

⁴ UIT-T Recomendación G.813

- La señal de reloj se mantendrá dentro de los límites especificados.
- No originará ninguna alarma dentro de la red.
- No originará la necesidad de una conmutación de señal de reloj.
- No originará que el SEC pase a modo de régimen libre.

Tolerancia de fluctuación lenta de fase.

Tabla. 4.20. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) máxima de un SEC⁴.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito MTIE (μ s)
$0,1 < \tau \leq 2,5$	0,25
$2,5 < \tau \leq 20$	$0,1 \times \tau$
$20 < \tau \leq 400$	2
$400 < \tau \leq 1000$	$0,005 \times \tau$

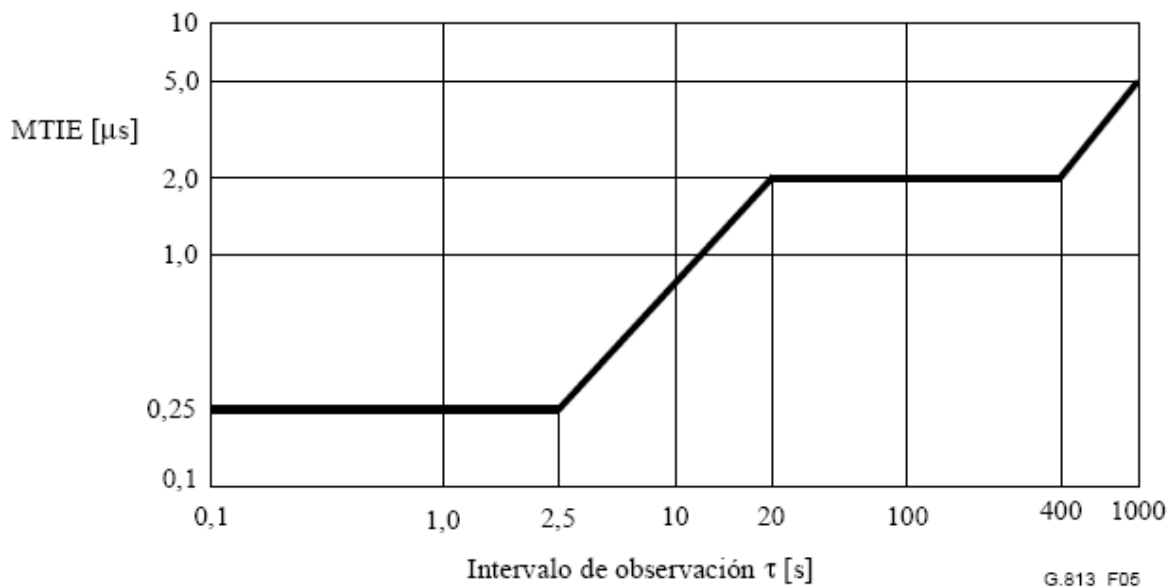
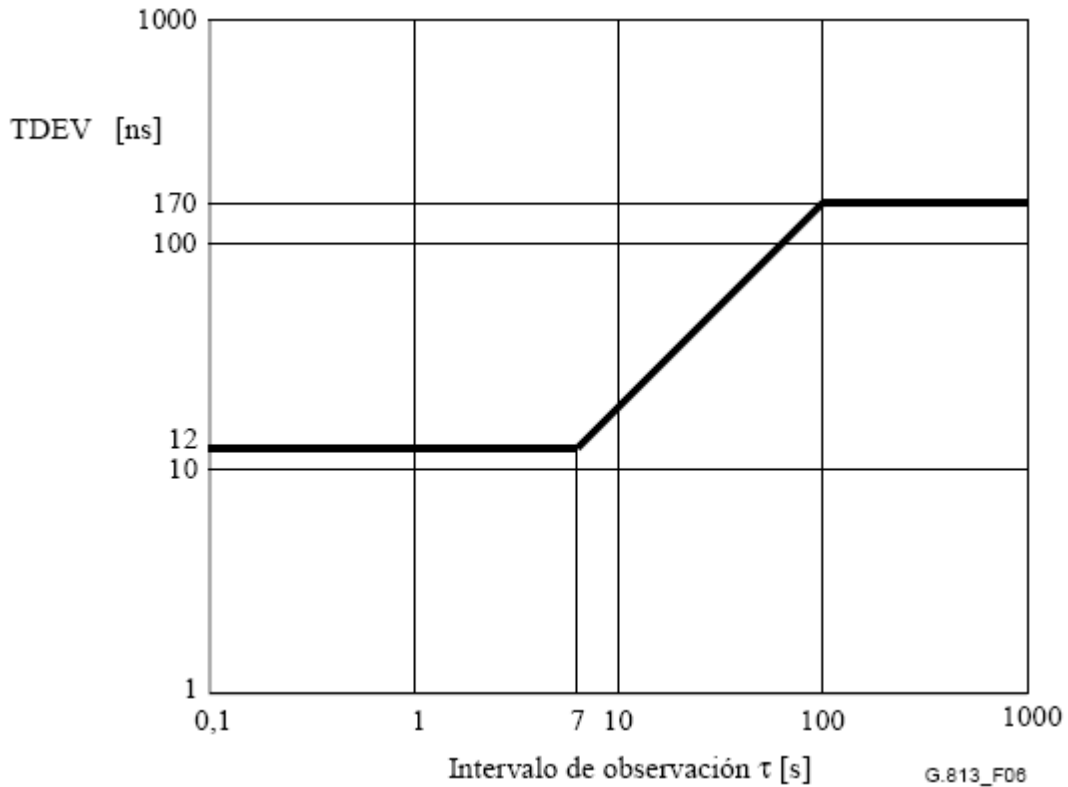


Figura. 4.11. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) máxima de un SEC⁴.

⁴ UIT-T Recomendación G.813

Tabla. 4.21. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) máxima de un SEC⁴.

Tiempo de observación τ (s)	Requisito TDEV (ns)
$0,1 < \tau \leq 7$	12
$7 < \tau \leq 100$	$1,7 \times \tau$
$100 < \tau \leq 1000$	170

Figura. 4.12. Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) límite de un SEC⁴.

Tolerancia de fluctuación de fase.

El límite inferior de la fluctuación de fase máxima admisible a la entrada para señales a 2048 kHz y 2048 kbps que transportan sincronización a un SEC se muestra en la figura 4.13.

⁴ UIT-T Recomendación G.813

Nota: La tolerancia de fluctuación de fase para las interfaces STM-N se da en la recomendación de la UIT-T G.825.

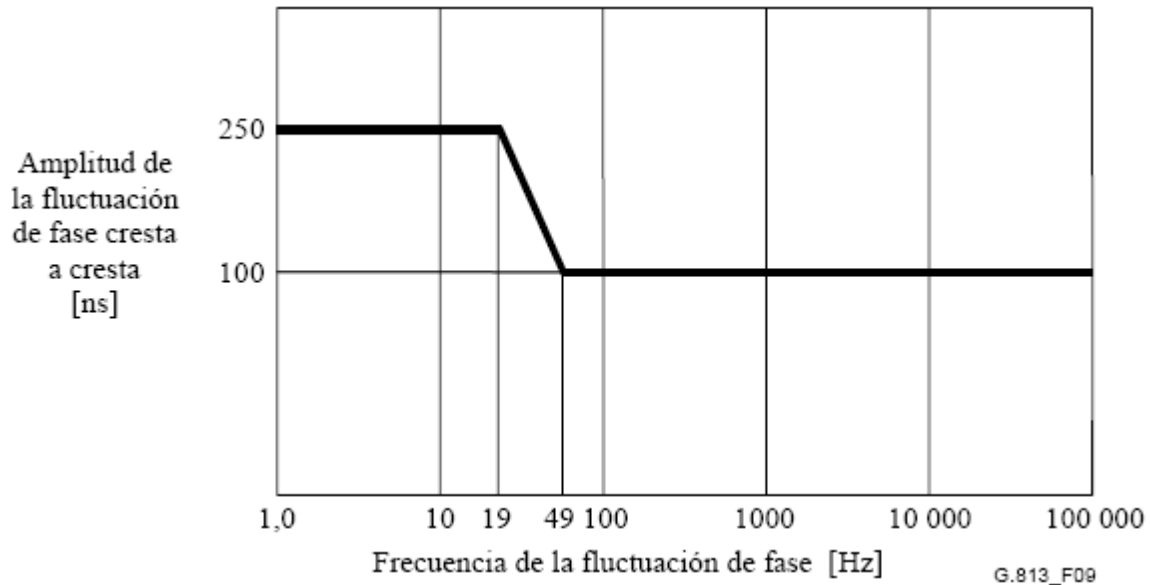


Figura. 4.13. Límite inferior de la fluctuación de fase a la entrada admisible máxima de un SEC⁴.

4.3 Modos de funcionamiento de temporización del elemento de red

Para recuperar una señal digital el equipo receptor requiere de un sistema que comprende de dos fases principalmente.

La primera fase está comprendida por dos dispositivos, un circuito recuperador de la señal de reloj de la trama que ingresa al sistema y de un buffer de datos para contener la trama de la entrada.

Una segunda fase consta de una señal de reloj de escritura, esta señal de reloj puede provenir de 3 tipos: oscilador interno, referencia externa o señal de reloj recuperada de la señal de entrada. La señal de escritura, cualquiera que fuere su procedencia se la somete a un filtrado para tratar de obtener una señal de reloj

⁴ UIT-T Recomendación G.813

aceptable para ser utilizada en un buffer de escritura de datos que entre sus funciones esta la de reducir los deslizamientos de tiempo alineando la trama y entre tramas, asegurando su contenido.

Estas dos operaciones en el equipo receptor provocan un retardo propio de las operaciones que se realizan. En la figura 4.14 se detalla el funcionamiento del sistema recuperador de un receptor digital.

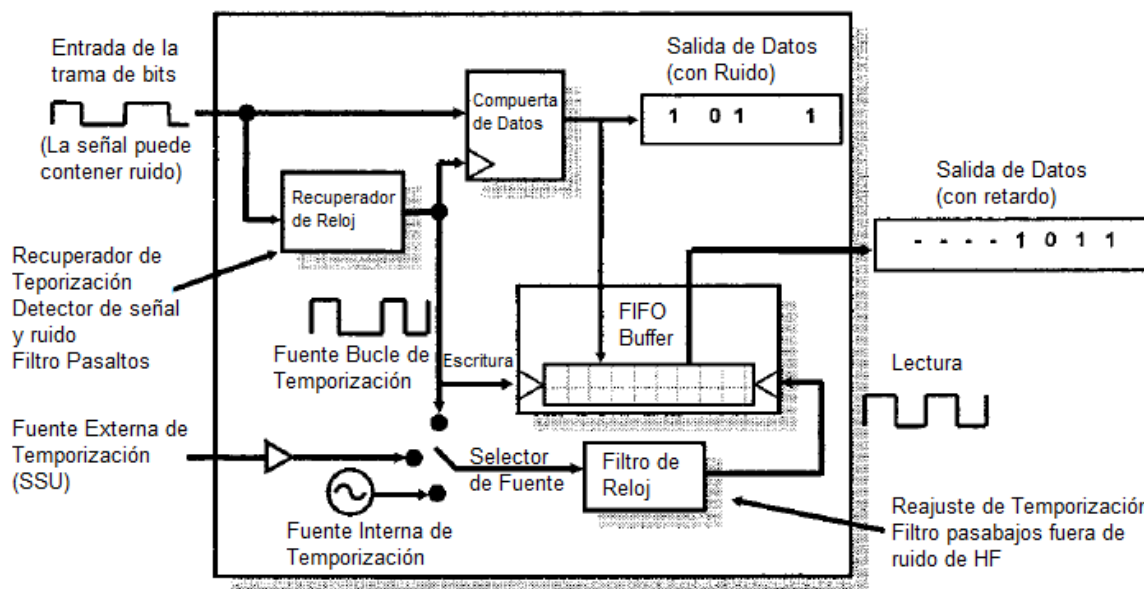


Figura. 4.14. Diagrama del circuito de recuperación de datos y temporización de un elemento de red SDH⁵.

Como se pudo apreciar en la figura 4.14 y con la descripción echa anteriormente de este dispositivo que forma parte del elemento de red SDH, existen algunos modos de funcionamiento de este sistema. Los diferentes modos de funcionamiento están influenciados directamente de la forma como adquieren su sincronización.

Se diferencian 5 modos de funcionamiento que se describen en la figura 4.15.

⁵ Khurram Kazi, Optical Networking Standards: A Comprehensive Guide

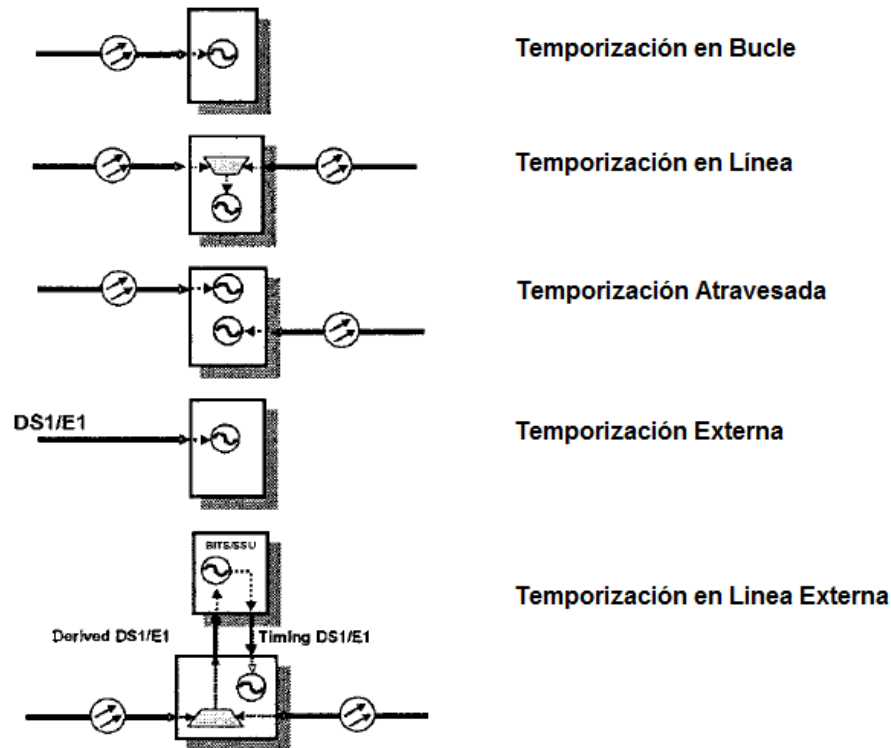


Figura. 4.15. Modos de funcionamiento de temporización del elemento de red SDH⁵.

Cada uno de los modos de funcionamiento descritos en la figura 4.15, se detallan su funcionamiento a continuación:

Modo de Temporización Bucle/Línea.- en este modo de funcionamiento la temporización se adquiere de las señales de entrada que ingresan al sistema. Si es una señal se llama bucle y si son dos se conoce como línea. Este tipo de funcionamiento obtiene su señal de sincronismo de la o las interfaces STM-N que ingresen al sistema. La señal de sincronismo obtenida de la trama STM-N pasa a través de un filtrado para reducir las variaciones de fase. En general este tipo de modo de funcionamiento es recomendable cuando el SEC se encuentra dentro de la cadena de referencia y no se debe usar cuando es el extremo de la misma.

⁵ Khurram Kazi, Optical Networking Standards: A Comprehensive Guide

Modo de Temporización Atravesado.- se conoce como atravesado, porque la temporización que opera lo realiza de forma independiente entre la entrada y salida del sistema. Este modo de funcionamiento es típico de los dispositivos regeneradores de señal.

Modo de Temporización Externa.- la temporización es provista por un equipo externo o SSU que es referenciado a su vez de un PRC. Este modo de funcionamiento es recomendado pero no es el más óptimo por las limitaciones que tiene en dentro de una red SDH.

Modo de Temporización en Línea Externa.- este es el modo de funcionamiento que permite usar una referencia de temporización transportada o inmersa en las tramas SDH. Este modo de funcionamiento es el más recomendado y óptimo para una red SDH.

El elemento de red recupera la señal de referencia que se encuentra inmersa en la trama SDH, la señal de temporización que es extraída es colocada y comparada en un SSU. El SSU determinara su calidad y regresará al elemento de red una señal de temporización óptima garantizando su calidad para su uso normal.

La señal extraída por el elemento de red y enviada al SSU está en formato de E1. El SSU retorna una señal en formato de E1 por lo que el elemento de red deberá agregar en la cabecera un campo de mensaje de estado de sincronización (SSM). Este mensaje servirá para que el equipo de red conozca el estado de la señal de sincronización que esta recibiendo.

Modo de Temporización Interno.- el elemento de red utilizará su reloj interno (SEC) para proporcionar la sincronización adecuada para su propio funcionamiento. A este modo según la recomendación de la UIT-T G.813 se lo conoce como régimen libre. Este modo de funcionamiento es reducido y poco óptimo dadas sus limitaciones

de estabilidad a largo plazo esta fuente de sincronización presentará degradaciones importantes en su señal de reloj debido a condiciones como: temperatura, variación de voltaje, entre otras.

4.4 Métodos de Sincronización

El método de sincronización determinara de qué forma se va a distribuir la sincronización dentro de la red. La estrategia de cómo se distribuirá la sincronización dentro de la red de transporte. Esta dependerá de la forma y estructura que la red posea.

En el contenido de la recomendación de la UIT-T G.803 existe un capítulo que hace referencia a la red de sincronismo, en la cual se establece dos métodos de sincronización: Maestro – Subordinado y Mutua. Pero ya en la práctica y por las garantías que presenta el utilizar los dos conceptos e introducirlos en un método de sincronización que usa las dos formas: Maestro – Subordinado y Mutua nace una tercera que se la conoce como Jerárquica Mutua.

4.4.1 Maestro – Subordinado

Emplea una jerarquía definida en 3 niveles principalmente los cuales son: PRC, SSU y SEC. Estos tres niveles están estrechamente relacionados a la calidad de la señal de reloj que generan.

Cada uno de estos niveles se referencia con su inmediato superior y la prioridad de la señal de sincronización la tiene la que viene de un nivel superior. Se puede decir que la señal del PRC será la señal maestra y esta señal deberá ser distribuida a todos los elementos de red o subordinados.

Todos los elementos subordinados de la red deberán utilizar la señal del reloj maestro, cuando se encuentre esta en su entrada sin potestad de verificar su calidad.

En la figura 4.16 se puede apreciar el esquema de este modo de sincronización maestro – esclavo.

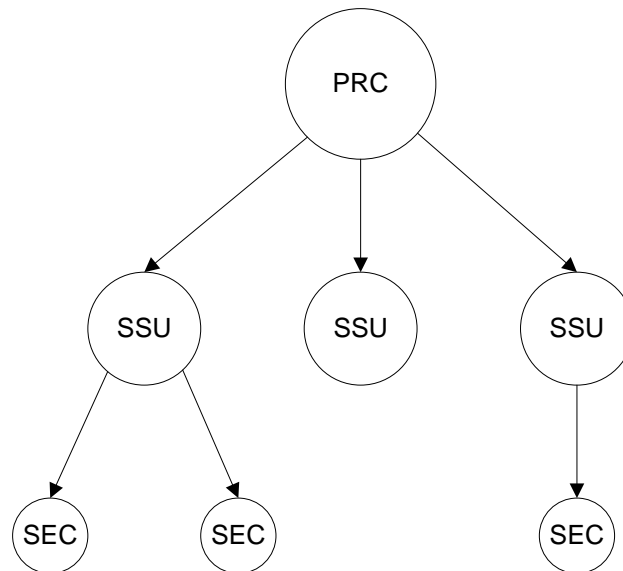


Figura. 4.16. Configuración de Sincronización Maestro – Esclavo.

4.4.2 Mutua

La sincronización mutua consiste en establecer líneas de comunicación de sincronización entre los elementos de la red donde no existen niveles o jerarquías entre los distintos elementos de la red.

Al existir varias señales de sincronización dentro de una misma red, se requiere un algoritmo común que funcione en todos los elementos de la red para determinar que señal es la mejor para cada nodo y sea utilizada para su sincronización.

Puede existir más de una señal de sincronización que ingresa a cada elemento de la red y dependerá del elemento de la red, decidir cual de las señales de entrada escogerá como adecuada para su temporización, sin importar que nivel de calidad posea.

La UIT-T en su recomendación G.803 no establece una norma específica para este tipo de sincronismo ya que se encuentra todavía en fase de estudio.

En la figura 4.17 se puede apreciar la configuración de una red por sincronismo mutuo.

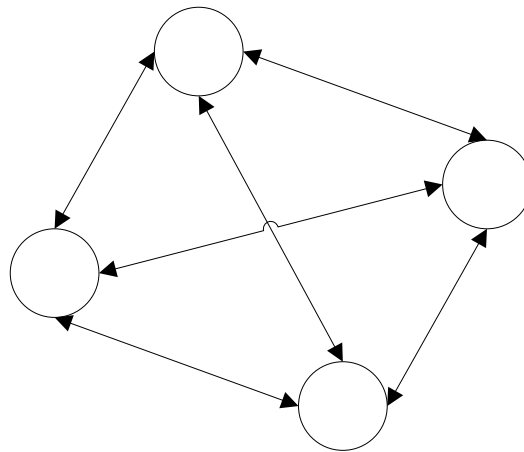


Figura. 4.17. Configuración de Sincronización Mutua.

4.4.3 Jerárquica Mutua

En la actualidad se puede plantear un esquema de sincronización jerárquica mutua, al combinar los conceptos de una sincronización maestro – esclavo más los beneficios de una sincronización mutua.

Esta mezcla se la puede hacer posible ya que en la cabecera de las tramas de SDH un campo es utilizado para los mensajes de estado de sincronización (SSM). Este campo SSM puede convertirse en una herramienta clave para conjugar un

protocolo de selección de la señal de sincronización y la prioridad o jerarquía que la señal de sincronismo tiene.

En este tipo de esquema, se diferencian 3 niveles jerárquicos: PRC, SSU y SEC. Estos tres niveles estarán conformados como si fuese una configuración maestro – subordinado, pero en el nivel 1 y 2 (PRC y SSU) se agregan conexiones entre los elementos de la red de este nivel para que sean capaces de compartir y con la potestad de escoger cual es la mejor señal de referencia para su distribución.

Puede ser el caso de existir más de un PRC, considerando la opción de compartir la referencia entre operadores internacionales.

Así pues se lograr emplear una red de sincronismo que además de llevar información sobre su estado y referencia de su nivel jerárquico dentro de la red para su uso adecuado manteniendo los límites de calidad de dicha señal dispuestos en la recomendación de la UIT-T G.825 y así mantener operativa la red con jerarquía digital SDH. Garantizando la ausencia de alarmas y manteniendo un bajo índice de pérdida de información y retardo.

En la actualidad todos los diseños de red de sincronismo deberán basarse en este modelo jerárquico mutuo a fin de establecer y garantizar calidad en su sincronismo. También con esto se podrá realizar interconexiones entre islas SDH a nivel de señales de sincronismo.

En la figura 4.18 se describe la configuración de una red de sincronización jerárquica mutua.

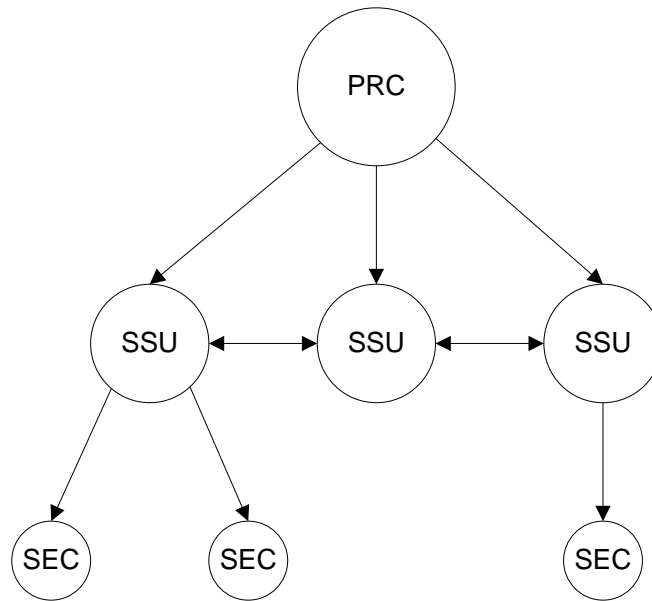


Figura. 4.18. Configuración de Sincronización Jerárquica Mutua.

Para cumplir con el funcionamiento previsto en este modo de sincronismo escogido el Jerárquico Mutuo, es necesario añadir conceptos como referencia y selección, además sobre los mensajes de estado de sincronización que se detallan a continuación.

4.5 Referencia y Selección

Estos dos conceptos de referencia y selección están íntimamente relacionados con el aspecto del funcionamiento de una red síncrona jerárquica mutua, donde todas las señales de sincronismo inmersa en la red de transporte deberán ser etiquetadas y tener un protocolo de decisión entre los elementos de red para escoger, por decirlo así, la señal de sincronización que dentro de los límites de calidad sea la más adecuada para cada elemento de red.

En teoría es posible suponer que una señal de sincronización proveniente de un nivel superior de reloj, sería la mejor señal que un dispositivo de red puede obtener. Este ideal no es aplicable en la práctica, ya que debido a perturbaciones que sufre la

señal de sincronismo en su trayecto dentro de la red. Ésta señal se ve afectada por varios problemas como deslizamientos, ruido y desfases en el régimen del tiempo.

Por general las perturbaciones que sufre la señal de referencia son de índole aleatoria, dada que depende muchas variables y su comportamiento preciso es difícil de determinar. Algunas de las causas que producen estos efectos son: condiciones ambientales, variaciones de voltaje, calidad y precisión de los dispositivos electrónicos, entre otros.

Entonces es preciso diferenciar cual de todas las señales de sincronismo dentro de la red serán óptimas para cada elemento de red, la precisión de cada señal deberá ser reconocida, dado que no se puede garantizar que una sola señal cumpla con todas las especificaciones para ser considerada como tal.

Por los motivos antes expuestos es necesario entender como referencia a un concepto que dentro de la red de sincronismo definirá a la señal de sincronismo óptima para un elemento de la red. Además se debe conocer la procedencia de cada señal para que pueda ser calificada entre sus similares de acuerdo al nivel jerárquico en el que se encuentre.

Ahora el reto se encuentra en como se obtiene el resultado de una señal óptima. Pues esto requiere de instrumentos específicos para calificar a una señal de sincronismo. Los fabricantes de los diferentes dispositivos de sincronismo utilizan algoritmos para decidir cual de las señales es la más óptima. La selección de una señal de sincronismo se basa en que todas las señales de reloj que ingresan al elemento de la red sean analizadas por separado y en conjunto, midiendo los valores de los deslizamientos como MRTIE y TDEV además de otros componentes en fase y frecuencia de las señales. Se establecen las desviaciones entre todas las señales medidas, basadas en el promedio de todas, en los diferentes parámetros y se establece la calidad que tiene cada una de las señales.

Con un algoritmo de selección, cada elemento de la red ya sea PRC, SSU o SEC deberá ser capaz de escoger la señal de sincronismo que más le convenga o crea que es precisa para su uso por decirlo de esa manera.

4.5.1 Mensajes de Estado de Sincronización (SSM)

Una herramienta muy útil en la ingeniería de redes de sincronización es utilizar los Mensajes de Estado de Sincronización (*Synchronization Status Messages*, SSM) que se encuentran contenidos en la cabecera de las tramas STM-N. Estos SSM nos ayudaran para planificar las estrategias de solución y para diseñar una adecuada red de sincronismo para nuestro sistema de transporte.

En la sección de cabecera de una trama STM-N se encuentran varios campos de información que corresponden a diferentes acciones como avisos, control de errores, alineamiento de tramas, entre otros. A continuación en la figura 4.19 se describen los campos de la cabecera de trama STM-N y su descripción en las tablas 4.22 y 4.23.

Tabla. 4.23. Descripción de los campos de la Sección de la Cabecera de Multiplexación (MSOH).

Sección de la Cabecera para Multiplexación (MSOH)		
B2	3 × N bytes	Revisión de paridad para verificar errores en la sección de multiplexación.
K1, K2 (bits 1-5)	2 bytes	Señalización para el protocolo de Selección Automática de Protección (APS) de la sección de multiplexación.
K2 (bits 6-8)		Indicador Remoto de Defecto en la Sección de Multiplexación (MS-RDI).
E2	1 byte	RSOH usada en canales E1 de voz.
D4 – D12	9 bytes	Canal de 576 kbit/s destinado para la comunicación de la sección de multiplexación (MS-DCC).
S1, bits 5-8	1 byte	Utilizado para los Mensajes de Estado de Sincronización (SSM).
M1	1 byte	Indicador de Error Remoto de la Sección Multiplexación (MS-REI).

En el campo S1 de la sección de cabecera, los bits 5-8 son utilizados para los mensajes de estado de sincronización. Estos 4 bits según su combinación representan un mensaje de estado de sincronización que será comunicado a los elementos de la red de sincronismo. En la tabla 4.24 se detallan los tipos de combinación y sus mensajes de estado de sincronismo.

Tabla. 4.24. Mensajes de Estado de Sincronización (SSM).

S1 bits 5-8	Descripción del Mensaje
0000	Calidad Desconocida (de existir red de sincronismo)
0001	Reservado
0010	Referencia Primaria de Reloj (PRC), reloj de calidad 1 – UIT-T G.811
0011	Reservado
0100	Unidad de Suplemento de sincronización de Transito (SSU-T), reloj de calidad 2 – UIT-T G.812
0101	Reservado
0110	Reservado
0111	Reservado
1000	Unidad de Suplemento de sincronización Local (SSU-L), reloj de calidad 3 – UIT-T G.812
1001	Reservado
1010	Reservado
1011	Reloj de Equipo SDH (SEC), reloj de calidad 4 – UIT-T G.813
1100	Reservado
1101	Reservado
1110	Reservado
1111	No usar para sincronización (<i>Don't use for synchronization, DUS</i>)

Con los mensajes de estado de sincronización es posible crear un conjunto de reglas que normaran de forma adecuada a la red de sincronismo, de tal forma, su estructura jerárquica sea la base para una sincronización mutua entre los elementos de la red.

Con los mensajes de estado de sincronismo que establecen las reglas puede hablarse de un protocolo de red de sincronismo. Este protocolo será útil en la parte operativa de la red para que cada nodo con la ayuda de un algoritmo de selección pueda escoger de forma correcta que señal de sincronismo que va a utilizar.

Este conjunto de normas además de mantener una adecuada señalización de las señales de reloj, también evita problemas de lazos indebidos en la sincronización, que pueden provocar problemas como pérdida de bits y/o tramas que llegaran a degradar la calidad de las conexiones.

Un ejemplo claro de cómo usar este protocolo de sincronismo, se da para evitar lazos de referencia que afectarán directamente el rendimiento de la red. A parte de los lazos, permite una selección automática y oportuna de una señal de reloj de forma automática.

En la figura 4.20 se indica un ejemplo del funcionamiento de los SSM como protocolo de sincronismo para una red de transporte SDH.

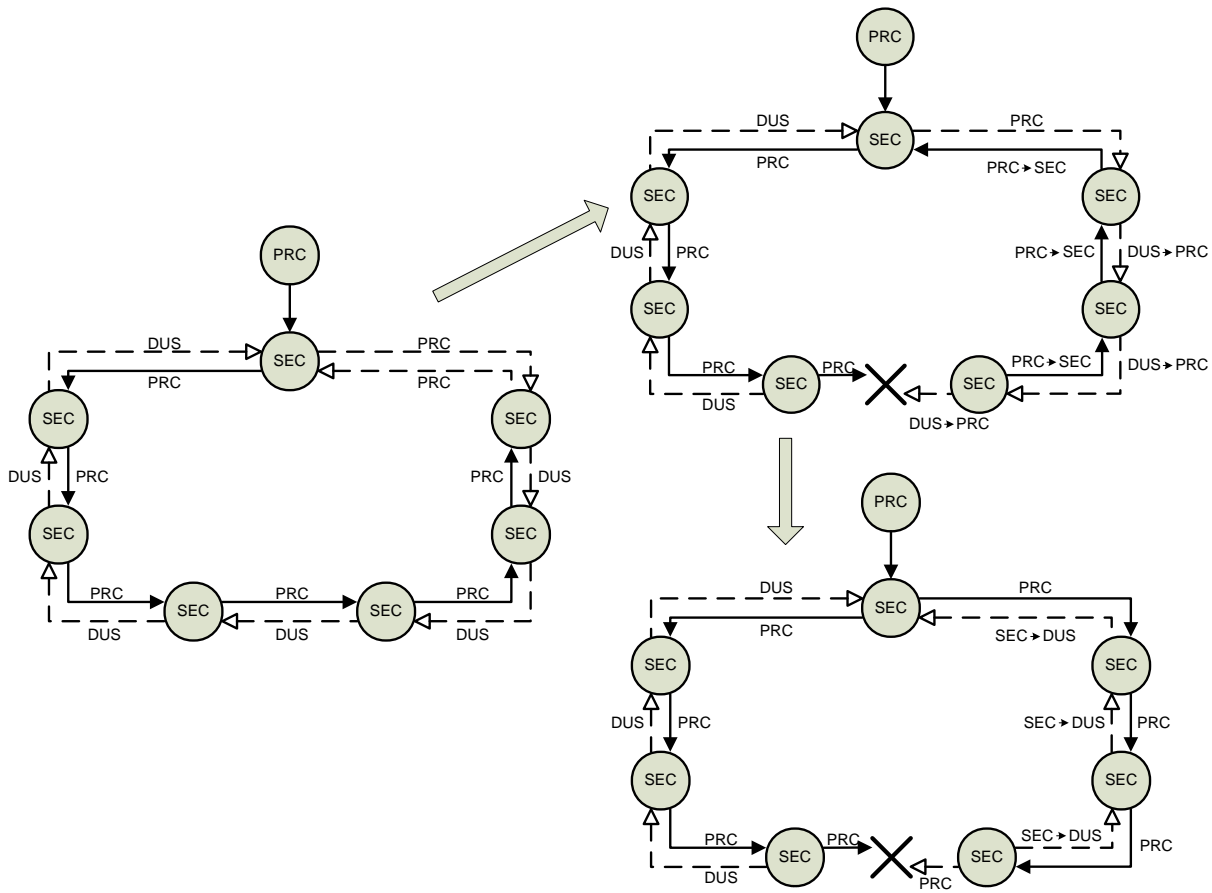


Figura. 4.20. Funcionamiento de los SSM (ejemplo).

Dado este protocolo de red de sincronismo como herramienta para el diseño de la red de sincronismo servirá para establecer rutas de protección que son requeridas en un diseño robusto y funcional.

4.6 Protección de la Sincronización

Una de las consideraciones que se debe tener en cuenta al diseñar una red de sincronismo es la tener un plan completo de protección. Como en una red de transporte normal se realiza consideraciones y mecanismo de protección de circuitos y de equipos, de la misma forma deben ser consideradas estas protecciones para la distribución de la sincronización dentro de la red.

Por una parte se puede decir que al estar inmersa la sincronización en las tramas STM-N de la red SDH recibe protección de la misma, pero adicionalmente se deben considerar algunos aspectos para la protección que se detallan a continuación:

- Se debe evitar la presencia de lazos cuando un circuito deja de funcionar. El aspecto que se debe tomar tendrá que ser el de un árbol. Existe un esquema propuesto de protección llamado Red Actual de Sincronización, más conocido como topología *Spanning Tree*, que de una forma evita los lazos dentro de la red de sincronismo. Los lazos provocaran decadencia dentro de la red de sincronismo la cual se vera afectada en su funcionamiento.
- La base de la red debe ser siempre su jerarquía por niveles. Una adecuada distribución de los niveles con sus debidas protecciones proporcionara robustez a la misma. No es propicio pensar en la existencia de un solo PRC dentro de la red como también un limitado número de SSU que dejen expuestos a nodos y rutas que se reflejaran como zonas vulnerables y pueden provocar el colapso de la red de sincronismo.
- La idea de establecer islas SDH de funcionamiento debe desaparecer de los diseños. La idea que debe priorizar es el esquema de una red *Spanning Tree* que por sus condiciones es más robusta y garantiza rutas de protección para toda la red.

La topología *Spanning Tree* no hace referencia al protocolo *Spanning Tree* de protección usado en redes Ethernet. Dentro de las matemáticas en el campo de la teoría gráfica se plantea un esquema útil conocido como *Spanning Tree*.

4.7 Plan y Diseño de las Redes de Sincronismo

La planeación y diseño de las redes de sincronismo para un sistema de transporte óptico basado en tecnología SDH desde su punto de ingeniería maneja

muchos aspectos que deben ser analizados detalladamente. La mayoría por no decir en su totalidad de estos aspectos han sido analizados en este capítulo.

La sincronización es el punto decisivo que le dará robustez a la red de transporte SDH. La UIT-T en la recomendación G.803, establece herramientas para orientar el diseño de una red de sincronismo de forma adecuada. En la que primordialmente manifiesta que el modo de sincronización debe ser jerárquico (Maestro – Subordinado) y con la ayuda del protocolo SSM realizará su selección y referencia de a señal de temporización entre los elementos de la red de sincronismo.

El uso de las tramas STM-N para transportar la temporización a todos los elementos de la red y la distribución correcta, serán los fundamentos de toda red de sincronismo.

El objetivo primordial de la red es la de distribuir de forma adecuada la temporización a todos los elementos de la red, con el fin de mantener los requerimientos de funcionamiento indicados en la recomendación de la UIT-T G.825 para mantener correctamente operativa la red de transporte SDH. El desempeño de la red de sincronismo y de toda la red de transporte dependerá íntegramente del diseño de sincronismo que será la base de su funcionamiento.

4.7.1 Requisitos para el diseño de las redes de sincronismo

Los requisitos que debe cumplir serán los siguientes indicados en la recomendación de la UIT-T G.803:

- La utilización de relojes con una excelente características referenciadas en las recomendaciones de la UIT-T G.811, G.812 y G.813 que permitan funcionar en régimen libre mientras se realiza la reparación en la red.

- La diversidad en las señales de referencia distribuidas por la red minimizará los problemas al perder referencia de un nivel a otro.
- Evitar sobre todo los lazos de sincronismo, analizar también cuando exista pérdida de referencia en todas las rutas no exista lazos ni tampoco en las rutas de protección.
- Mantener una topología de distribución de la sincronización lo más parecido a un árbol ramificado, ubicando el PRC en la punta del árbol. Ninguna rama deberá funcionar de forma autónoma.
- Las cadenas de las ramas del árbol de sincronización deberán ser lo más pequeñas posibles. Una rama esta conformada por dos SSU en sus extremos y los SEC en su interior. Se debe indicar que el número máximo de SEC en una rama será de 10.
- Un reloj nunca debe ser referenciado por un nivel inferior a él. Considerar esto para el funcionamiento normal y para las protecciones.
- Considerar todas las posibilidades de funcionamiento y protección para condiciones extremas de fallos.
- Todos los SEC deberán funcionar en modo de temporización externo lineal.
- El funcionamiento en modo de régimen libre será la peor circunstancia de trabajo de la red. Este modo debe ser utilizado en condiciones extremas y su duración debe ser mínima.

4.7.2 Análisis de las redes de sincronismo

En la recomendación de la UIT-T G.803 se establecen tres directrices sobre como se debe realizar el análisis de la red de sincronismo las cuales se detallan a continuación:

- Diseñar la red de sincronización en forma de árbol solo considerando los niveles PRC y SSU y distribuyendo en zonas de sincronización.

- Diseñar los ramales SEC considerando solo estos elementos en zonas de sincronización.
- Establecer todas las posibilidades de funcionamiento incluyendo rutas de protección nivel a nivel y todo en conjunto. Además tomar en cuenta los tiempos de autonomía sin que se exceda los límites de deslizamientos permitidos de acuerdo al nivel.

En la figura 4.21 se ilustra un ejemplo de la recomendación de la UIT-T G.803 de cómo deberá ser un diseño de una red de sincronismo.

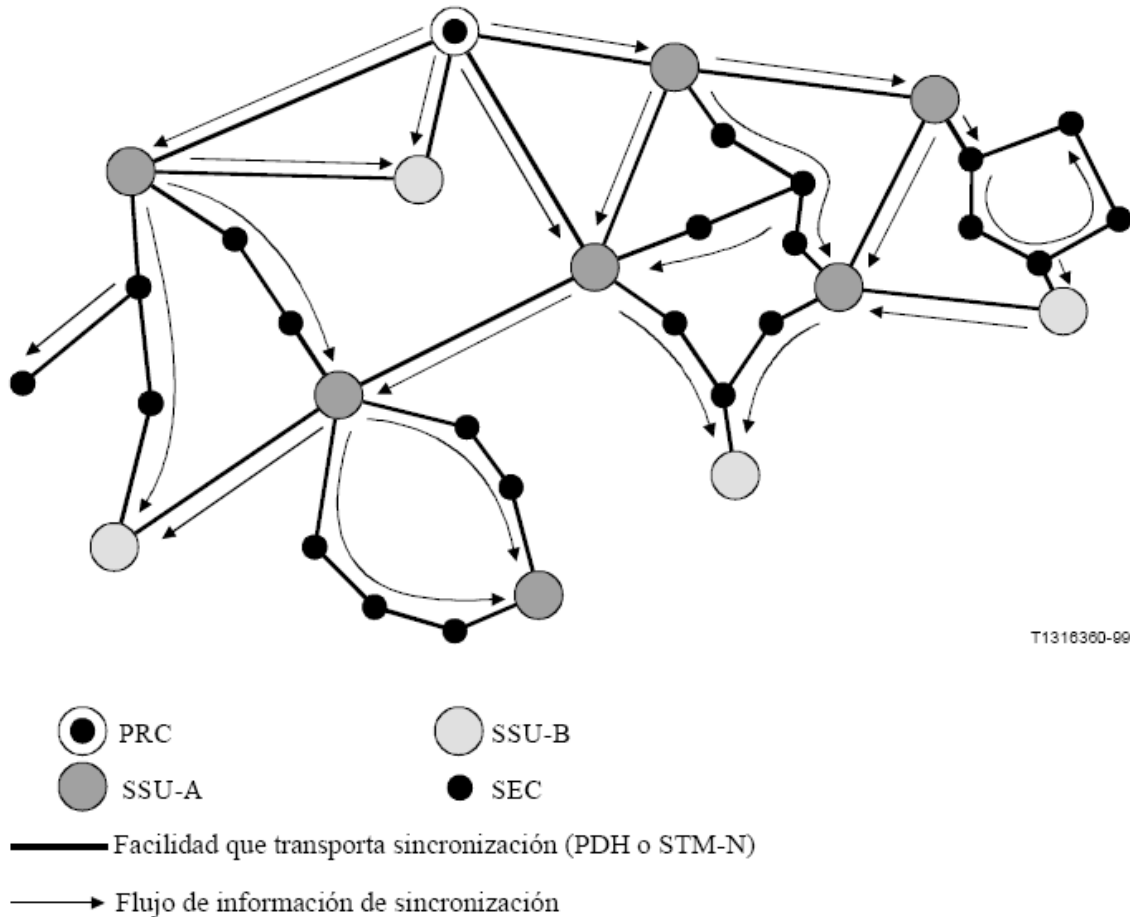


Figura. 4.21. Mapa de la red de sincronización en una zona de sincronización (ejemplo)⁶.

4.8 Ethernet Síncrona

La naturaleza bajo la cual fue diseñada una red de conmutación de paquetes es asíncrona.

Pero al generalizarse los servicios de transporte de información en tramas digitales sobre redes síncronas con dominio en el tiempo (TDM), es necesario establecer un sincronismo en la conmutación de paquetes que serán transportados en la red SDH.

⁶ UIT-T Recomendación G.803

La evolución de la nueva generación de redes y servicios nos lleva a nuevos retos al integrar dos tecnologías de las telecomunicaciones como son la conmutación de circuitos con la conmutación de paquetes. Los servicios de nueva generación IP son muy fascinantes pero a la vez exigentes.

Los operadores de telecomunicaciones deberán adaptar su red síncrona de circuitos (SDH) para que soporte una red síncrona de paquetes (PSN). Para alcanzar este cometido la UIT-T en su recomendación G.8261 define los elementos de la red síncrona de paquetes, especifica los límites de tolerancia, el funcionamiento síncrono requerido para la interconexión de los sistemas y además la distribución de la sincronización.

Para la distribución de la sincronización la IEEE establece un método para realizarlo el cual se expresa en el estándar IEEE 1588-2002. El uso de éste protocolo para la distribución de la sincronización nos permite que la señal de un PRC llegue a los elementos de red Ethernet para su funcionamiento óptimo al ser transportados sobre una red SDH.

4.8.1 Arquitectura de las Redes Ethernet Síncrona

Para describir un esquema básico sobre la arquitectura de las redes Ethernet síncrona existen tres elementos principales que son: función de interoperabilidad (WF), acceso de servicios (Equipo red SDH) y PRC. En la figura 4.22 se indica de manera general el esquema básico de la red Ethernet síncrona.

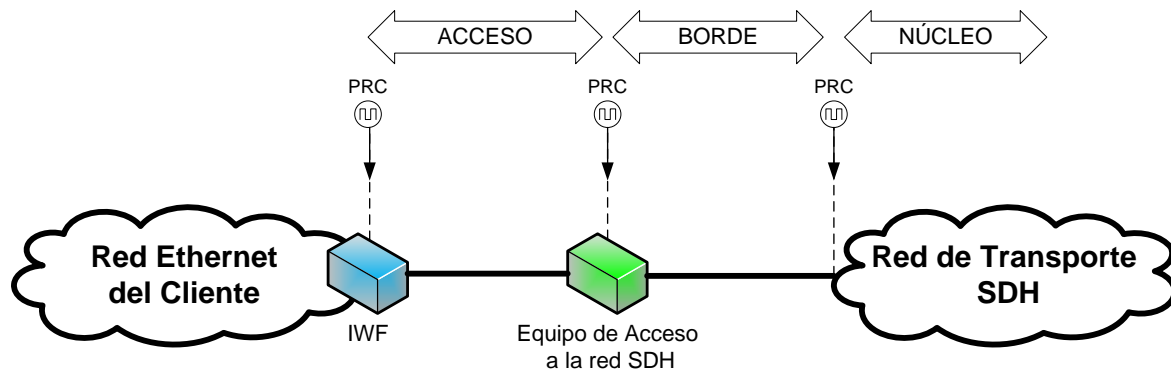


Figura. 4.22. Arquitectura de la red Ethernet síncrona.

Como se pueda apreciar en la figura 4.22 existen tres niveles: acceso, borde y núcleo. En cualquiera de ellos estará colocada la señal de referencia (PRC).

4.8.2 Función de Interoperabilidad (IWF)

Visto en la arquitectura de la red Ethernet síncrona en la figura 4.22, el IWF es el equipo de frontera entre un operador y su cliente.

La función de este dispositivo dentro de la red será la de realizar la adaptación de las tramas de paquetes procedentes de la red Ethernet hacia las tramas STM-N de la red óptica SDH.

Dado que el protocolo IP se encuentra en su mayoría utilizado en redes Ethernet dentro de los operadores ISP, existe un protocolo de adaptación conocido como el Procedimiento de Acceso al Enlace de la Jerarquía Digital Síncrona (*Link Access Procedure SDH*, LAPS), el cual se encuentra detallado en la recomendación de UIT-T X.86/Y.1323. Entonces el IWF utilizará este LAPS para realizar la adaptación de los dos sistemas. En la figura 4.23 se describe la relación entre Ethernet, LAPS y SDH y en la figura 4.24 se puede apreciar la forma de cómo se encapsulan los diferentes niveles de la OSI.

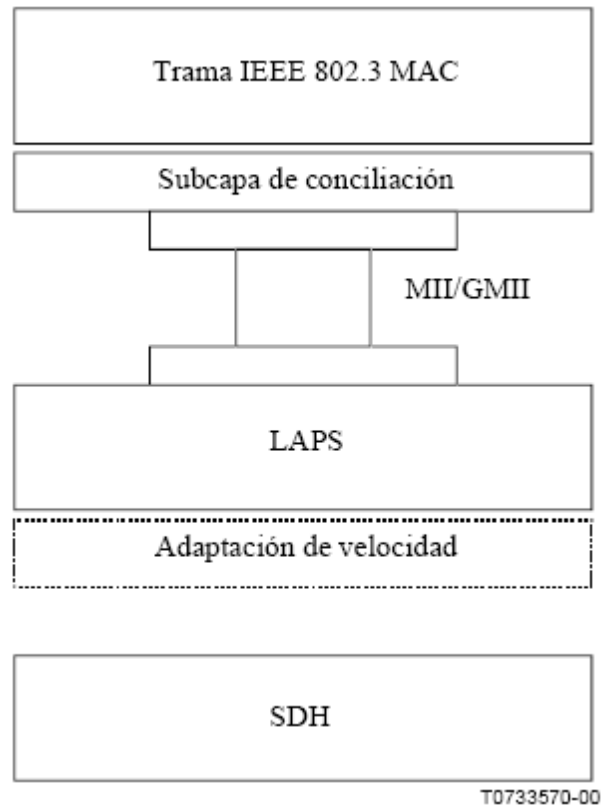


Figura. 4.23. Relación entre Ethernet, LAPS y SDH⁷.

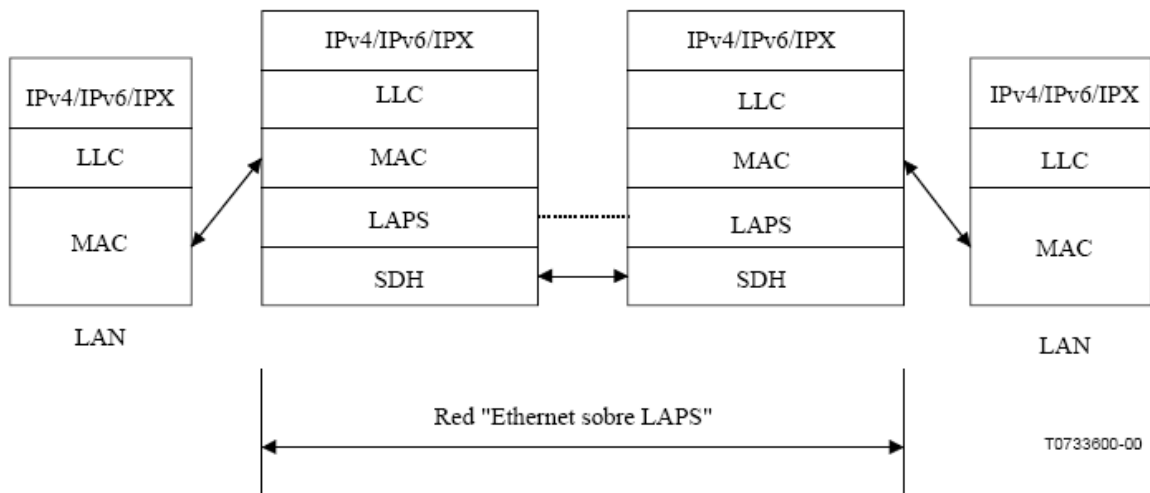


Figura. 4.24. Configuración del protocolo Ethernet sobre LAPS⁷.

⁷ UIT-T Recomendación X.86

En resumen el WF realizará dos funciones principales de adaptación entre los sistemas Ethernet y SDH:

- Tramas
- Sincronismo

4.9 Manejo y Gestión de las Redes de Sincronismo

En los sistemas de transporte una herramienta fundamental es el manejo y gestión de la red, también debe considerarse dentro de este manejo y gestión a la red de sincronismo y su distribución dentro de la red. De esto dependerá el funcionamiento y calidad de todo el sistema en conjunto que debe operar de forma continua y garantizar la calidad de la misma.

Los sistemas modernos de manejo y gestión de las redes son diseñadas acorde con el sistema de UIT-T conocido como Gestión de las Redes de Telecomunicaciones (TMN) estándar que se encuentra especificado en la recomendación de la UIT-T M.3010. De acuerdo con las especificaciones de este estándar se debe realizar un manejo y gestión de la red de sincronismo y su distribución así como se realiza el manejo y gestión de las redes de transporte óptico.

El sistema TMN contiene algunas áreas y niveles de operación y gestión que serán analizadas a continuación con su enfoque hacia la red de sincronismo.

Administración de Fallas.- provee detección, aislamiento y de ser el caso corrección automática de un error o falla dentro de la red. Los fallos pueden ser: falla de distribución de sincronismo, falla en el funcionamiento de un elemento de red, fallas en la implementación, perturbaciones externas, deterioro de la señal de sincronismo, entre otros. Dentro de las funciones de este nivel serán:

- Mantener un registro de las fallas para su revisión.
- Informar de fallos internos y remotos mediante alarmas.
- Identificar y rastrear fallas.
- Realizar diagnóstico de la red.
- Corregir fallos mínimos cuando sea posible.

Administración de Configuraciones.- posibilitar la configuración local y remota de los elementos de la red. Además deberá cumplir con las siguientes funciones:

- Registro de las configuraciones realizadas a todos los elementos de la red.
- Registro de los cambios realizados en cada configuración.
- Actualizar los datos de configuración.
- Identificar los componentes de la red que están en funcionamiento y los que están apagados.
- Posibilitar el encendido y apagado remoto de los elementos de la red.
- Asignar nombres a los elementos de la red para que sea mejor su distinción de acuerdo a la estructura que quiera dar el usuario.

Monitoreo del Rendimiento.- es necesario obtener cierta información clave que pueda proporcionar información sobre la calidad de toda la red de sincronismo. Además detectar cambios que afecten el rendimiento de la red, capacidad de recolectar información veraz y realizar análisis estadísticos con fines de supervisión. Entre las funciones que deben cumplirse están:

- Registro del rendimiento de la red de sincronismo.
- Identificar cambios en la calidad de la red.
- Registro del rendimiento debido a cambios de configuración.
- Realizar comparaciones.

Administración de Seguridad.- proveer registro de usuarios y controlar el ingreso de los mismos definiendo niveles de acceso para el uso del sistema de gestión y administración de la red de sincronismo. Asegurar el contenido de administración y gestión de toda la red de sincronismo. El usuario dependiendo de sus privilegios dentro de la gestión de la red será capaz de operar de forma directa como remota.

Todos los niveles antes indicados propiciarán a un sistema de gestión y administración funcional que será una herramienta fundamental para el correcto desempeño de la red y distribución de sincronismo. También es clave indicar que todas estas áreas funcionaran en conjunto.

Existen estratos de administración en donde todas áreas de funcionamiento para la gestión de la red de sincronismo deben operar. Los niveles serán más de índole jerárquica administrativo, que entregará un tipo de información dependiendo de la categoría. A continuación se describen las jerarquías de administración y gestión de la red de sincronismo:

Administración del elemento de red.- será la configuración de cada elemento de la red por separado.

Administración de la red.- establecer todo el control y gestión de todos los elementos de la red en conjunto y su funcionamiento global dentro de la red.

Administración por servicios.- esta será la información disponible para el cliente, con el fin de que conozca la situación de su servicio contratado. Este nivel no tendrá privilegios para realizar ningún tipo de cambio en la configuración de la red solo será de monitoreo.

Gestión Empresarial.- es el nivel más alto de esta jerarquía el cual será solo de monitoreo y proporcionara datos relevantes de servicio, calidad y disponibilidad.

En la figura 4.25 se describe la interfuncionalidad de la gestión y administración de la red de sincronismo propuesta en áreas y niveles jerárquicos.

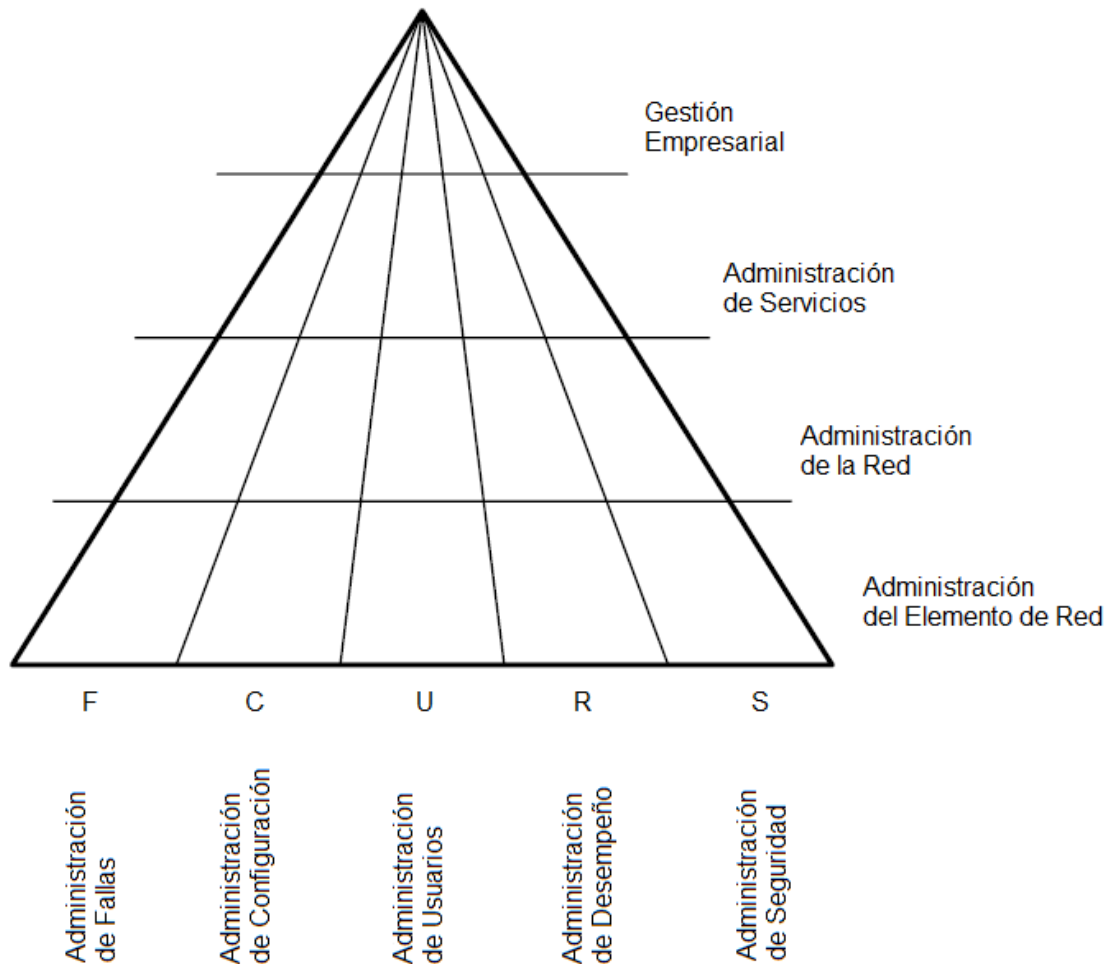


Figura. 4.25. Gestión y control de la red de sincronismo propuesta en áreas y niveles jerárquicos⁸.

Además del modelo planteado para un adecuado Control y Gestión de la red de sincronismo se debe proponer la ubicación de los equipos que realizaran estas operaciones dentro de la red, porque también son considerados como elementos de

⁸ Bregni Stefano, Synchronization of Digital Telecommunications Networks

la red los equipos que realizan la gestión y control de la red de sincronismo. La recomendación de UIT-T G.803 propone lo siguiente:

- El sistema de control y gestión de la red deberá ser centralizado con un servidor y su respectivo respaldo.
- Se permitirá administración de la red de forma indirecta con el servidor de control y gestión.
- Deberá Proporcionar acceso remoto para monitoreo y gestión (IP, PPP).

En la figura 4.26 se describe un ejemplo general de las capacidad de gestión que le software TNM para una red de sincronismo.

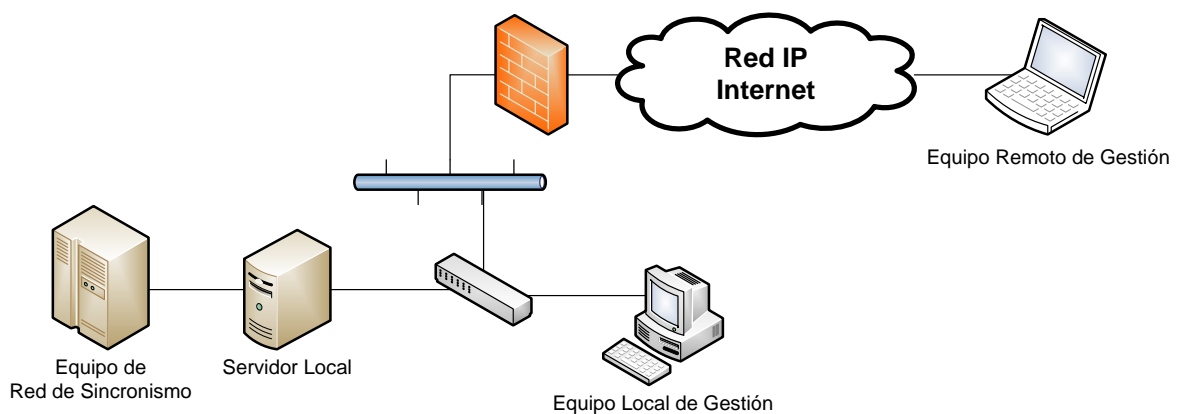


Figura. 4.26. Modelo de la configuración de red de Administración y Gestión de la Red de Sincronismo.

Se puede utilizar además de las recomendaciones planteadas otras estrategias para la administración y gestión de la red de sincronismo. Por lo general cada fabricante de los equipos de red SDH y sincronismo tiene su propio software TNM.

CAPITULO 5

DISEÑO Y PLAN DE SINCRONISMO

Una vez revisados los aspectos teóricos sobre la ingeniería de una red de sincronismo inmersa en la red de transporte SDH, se procederá al diseño de la solución particular de la red de sincronismo para la red de transporte óptico de TRANSELECTRIC.

Como primer paso se deberá tener el diagrama de la red SDH, que se describe en la figura 5.1 y el diagrama de la red DWDM que se ilustra en la figura 5.2, sobre los cuales se realizarán el diseño de la red de sincronismo. Dichas gráficas representan la presente y futura red de transporte.

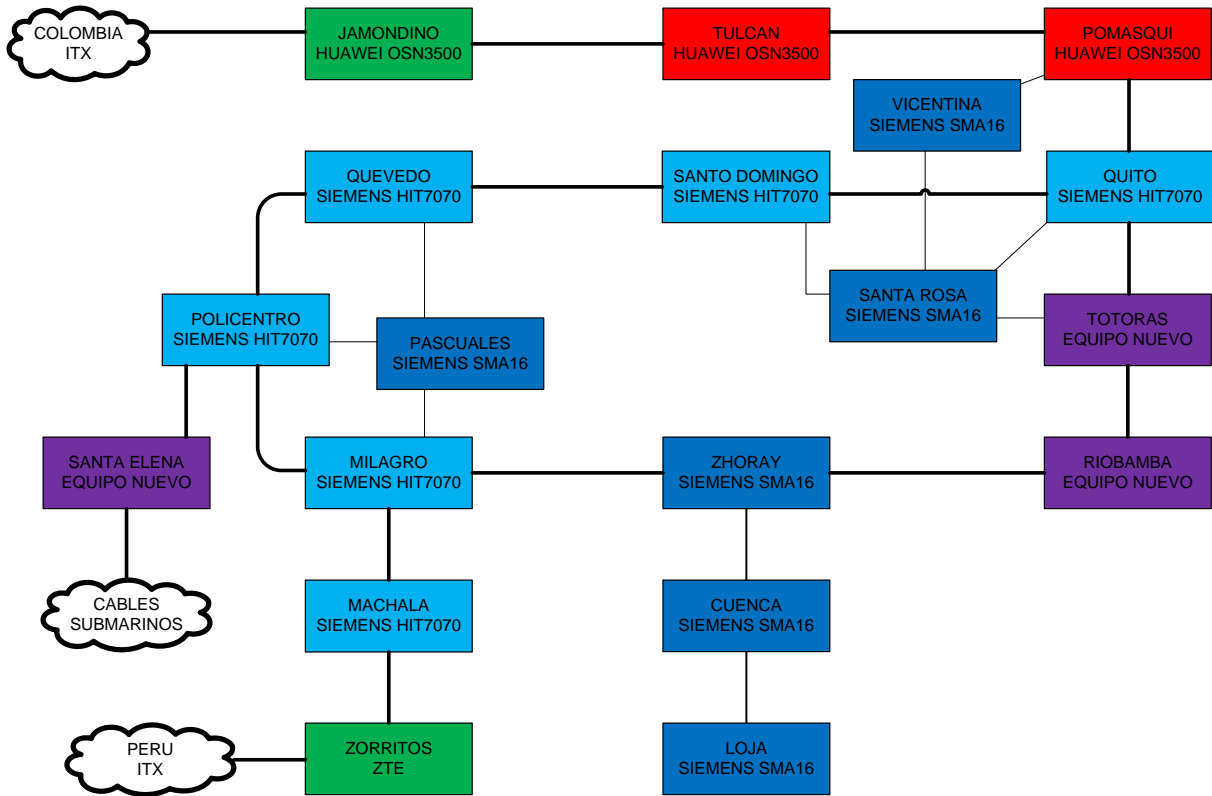


Figura. 5.1. Diagrama de la Red de Transporte SDH de TRANSELECTRIC.

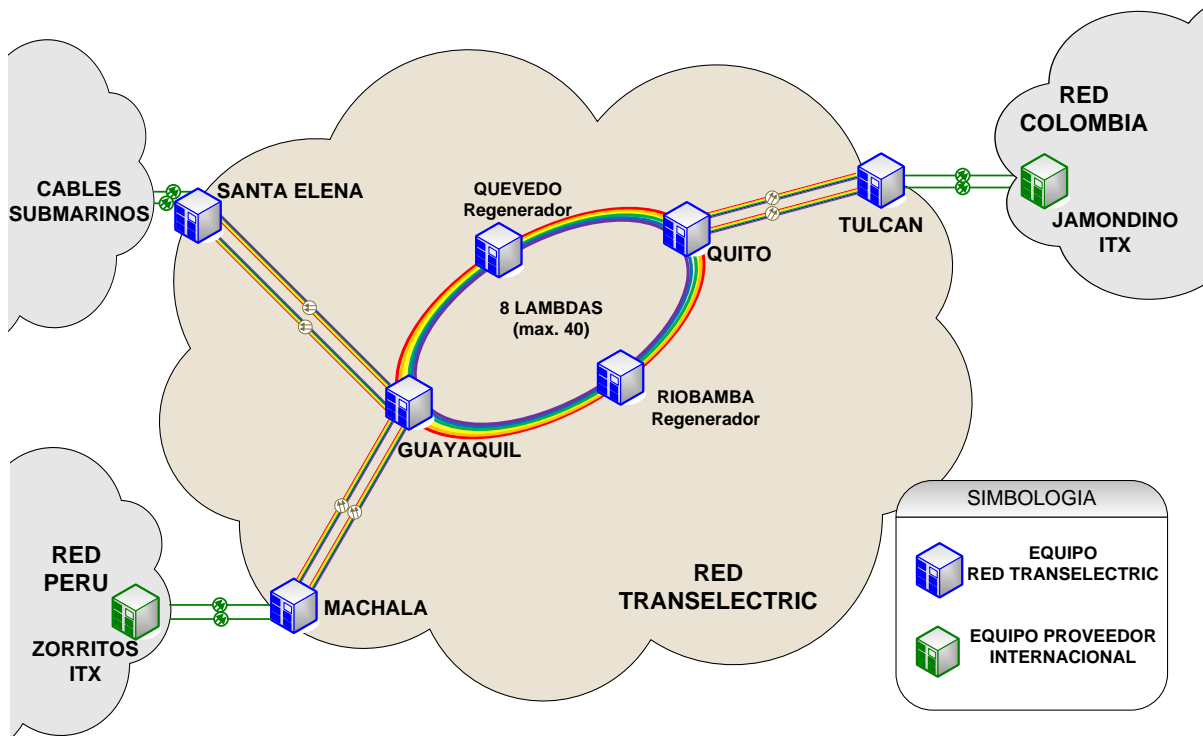


Figura. 5.2. Diagrama de la Red de Transporte DWDM de TRANSELECTRIC.

Para el diseño de nuestra red de sincronismo se deberá utilizar los siguientes aspectos que regirán su composición y funcionamiento:

- Modo de funcionamiento de los SEC: Temporización en Línea y Temporización en Línea Externa.
- Método de sincronización: Jerárquica Mutua.
- Uso de los mensajes de estado de sincronismo (SSM) para la elaboración del plan de sincronismo.
- Rutas de protección de la señal de sincronismo con redundancia (1+1).
- Sistema de Gestión y Administración de la red de sincronismo (TNM).

5.1 Diseño de la red de sincronismo

Realizadas las consideraciones antes mencionadas para el diseño de la red de sincronismo que servirá tanto para la red SDH como la red DWDM del sistema de transporte óptico de TRANSELECETRIC S.A. el diseño de manera general será el expresado en las figuras 5.3 y 5.4 para cada uno de los diferentes sistemas de transporte respectivamente.

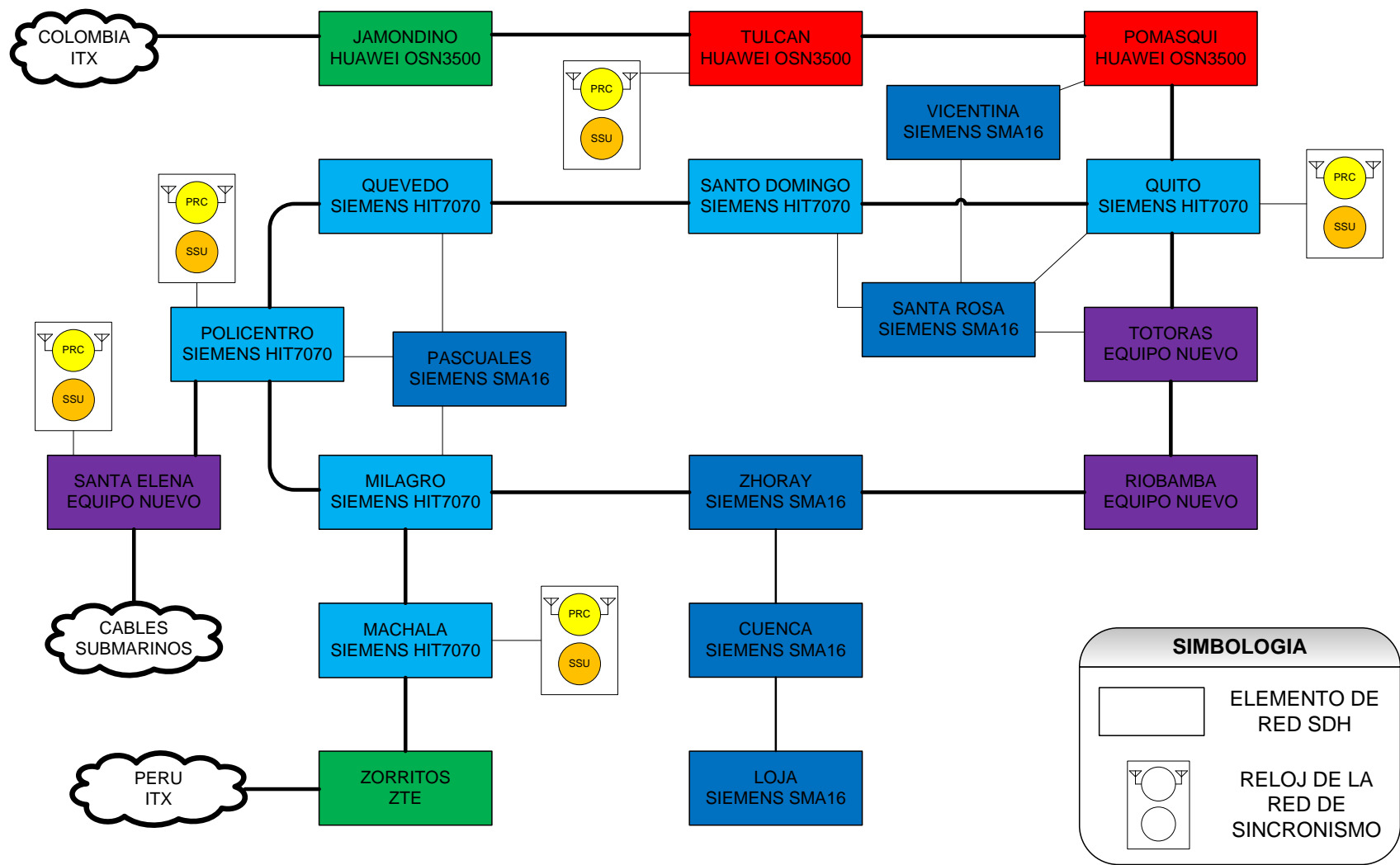


Figura. 5.3. Red de Sincronismo para la red SDH de TRANSELECTRIC.

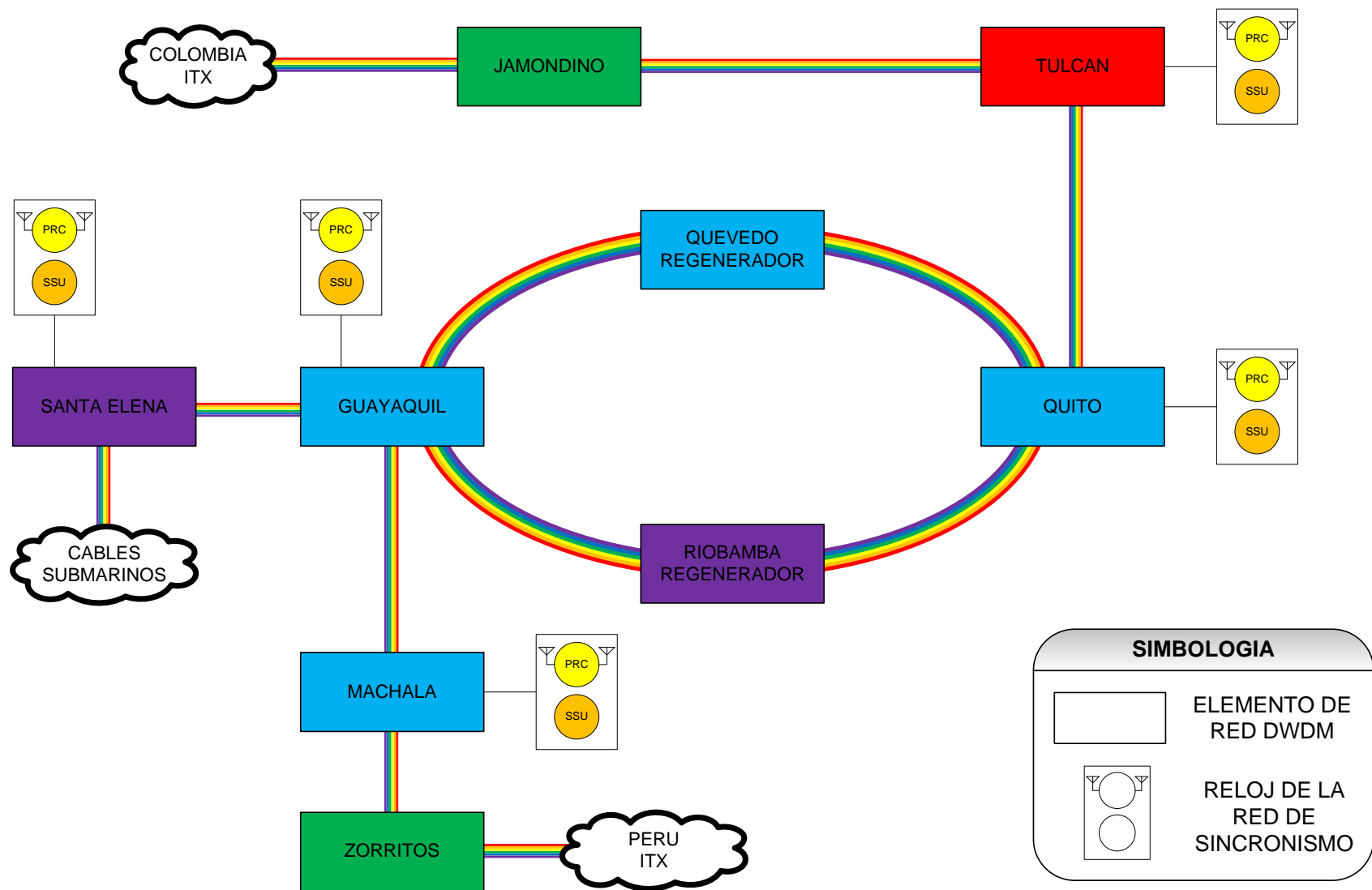


Figura. 5.4. Red de Sincronismo para la red DWDM de TRANSELECTRIC.

En la figura 5.3 podemos apreciar el diseño de la red de sincronismo para la red de transporte SDH, en la cual la disposición de los elementos de la red de sincronismo se encuentra en los nodos más importantes por usuarios y por ruta como son los nodos de Quito, Guayaquil, Santa Elena, Machala y Tulcán.

Para la figura 5.4 las características de la red de sincronismo que funcionará para la red DWDM tiene como nodos principales: Quito, Guayaquil, Machala, Santa Elena y Tulcán.

La distribución de los equipos para los nodos antes señalados será:

- Quito, PRC + SSU. Nodo de alta prioridad al ser considerado como central de la red de transporte y sincronismo.
- Guayaquil, PRC + SSU. Nodo de segunda prioridad y protección de la red.
- Santa Elena, PRC + SSU. Al ser nodo de acceso o cabecera a cables submarinos es recomendable la disposición de elementos de sincronismo.
- Machala, PRC + SSU. Al ser el nodo de acceso o cabecera a la red regional (Colombia, Ecuador, Perú) se recomienda la disposición de elementos de sincronismo.
- Tulcán, PRC + SSU. Al ser el nodo de acceso o cabecera a la red regional y además su acceso como salida internacional de interconexión a redes regionales (Internexa, Sprint) es recomendable la disposición de elementos de sincronismo.

Cabe señalar que será el mismo diseño compatible para las dos redes de transporte (SDH y DWDM). La diferencia radica en la distribución del sincronismo en las dos redes. Los equipos PRC y SSU se utilizarán para los dos sistemas SDH y DWDM.

5.2 Distribución de la red de sincronismo

Una vez determinados los nodos de la red de sincronismo, es necesario establecer la distribución de la señal de sincronismo dentro de la red con el fin de establecer la colocación de la señal de sincronismo en todos los elementos de la red.

Esta distribución de sincronismo nos ayudará también a establecer rutas en funcionamiento normal y en modo de protección con el fin de evitar alguna falla en la distribución de la sincronización en toda la red.

Los criterios empleados para el diseño de la distribución de la señal de sincronismo dentro de la red son los referenciados en la norma de la UIT-T G.803 que hace a la ingeniería de la red de sincronismo a más de todos los aspectos teóricos revisados en los capítulos anteriores relacionados con la red de sincronismo.

La protección utilizada es a través de un sistema 1+1, con redundancia física y lógica para circuitos de conexión y equipos.

En las figuras 5.5 y 5.6 podemos apreciar la distribución de la señal de sincronismo tanto para la red SDH como la red DWDM para las cuales se realizó el diseño de la red de sincronismo. En la grafica 5.6 que hace referencia al proyecto de la red DWDM, se considera que los regeneradores de señal son óptico-óptico. En el caso de utilizar regeneradores óptico-eléctrico se deberá realizar un estudio para considerar este tipo de equipos en la red.

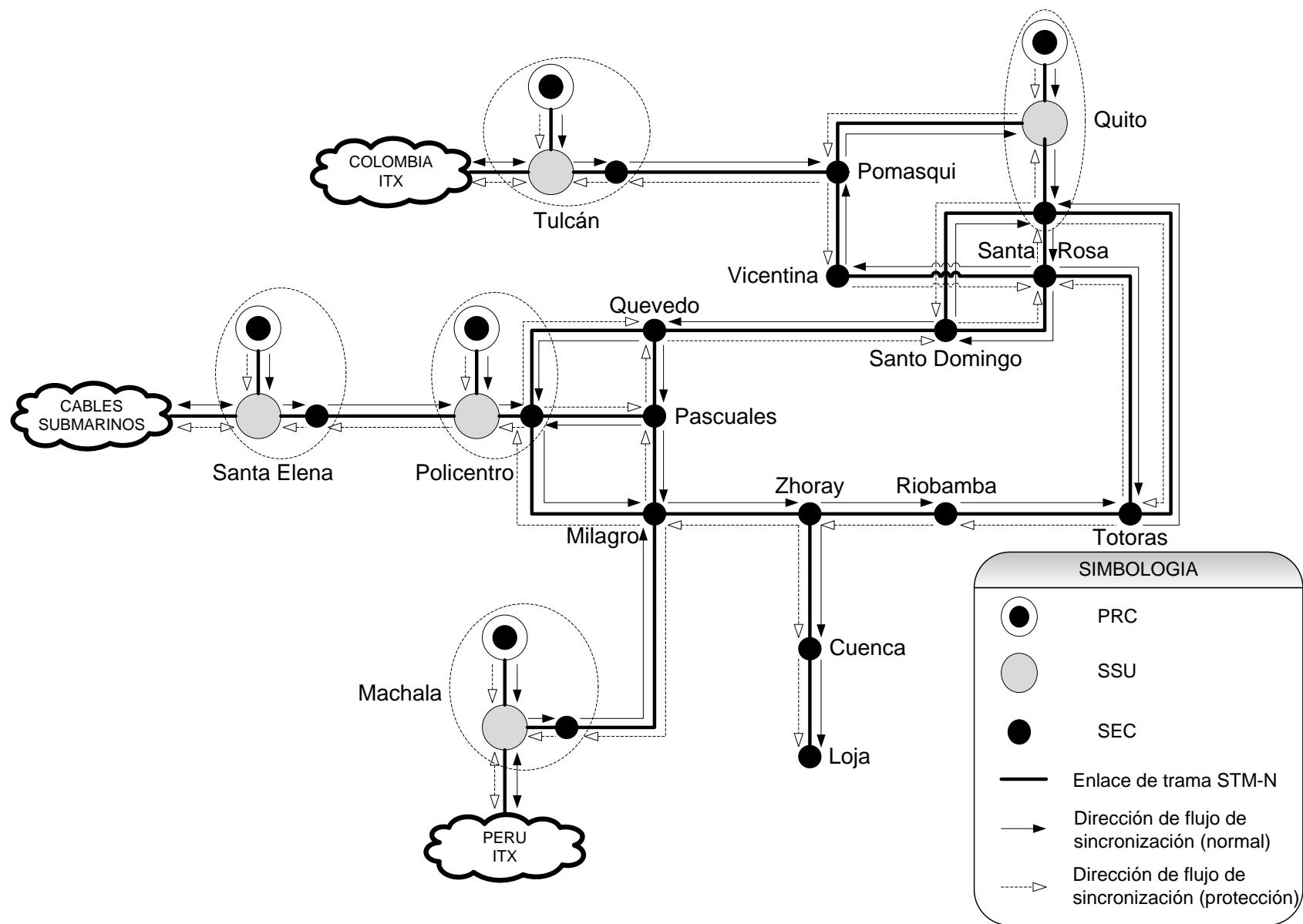


Figura. 5.5. Distribución de la señal de sincronismo para la red de transporte SDH.

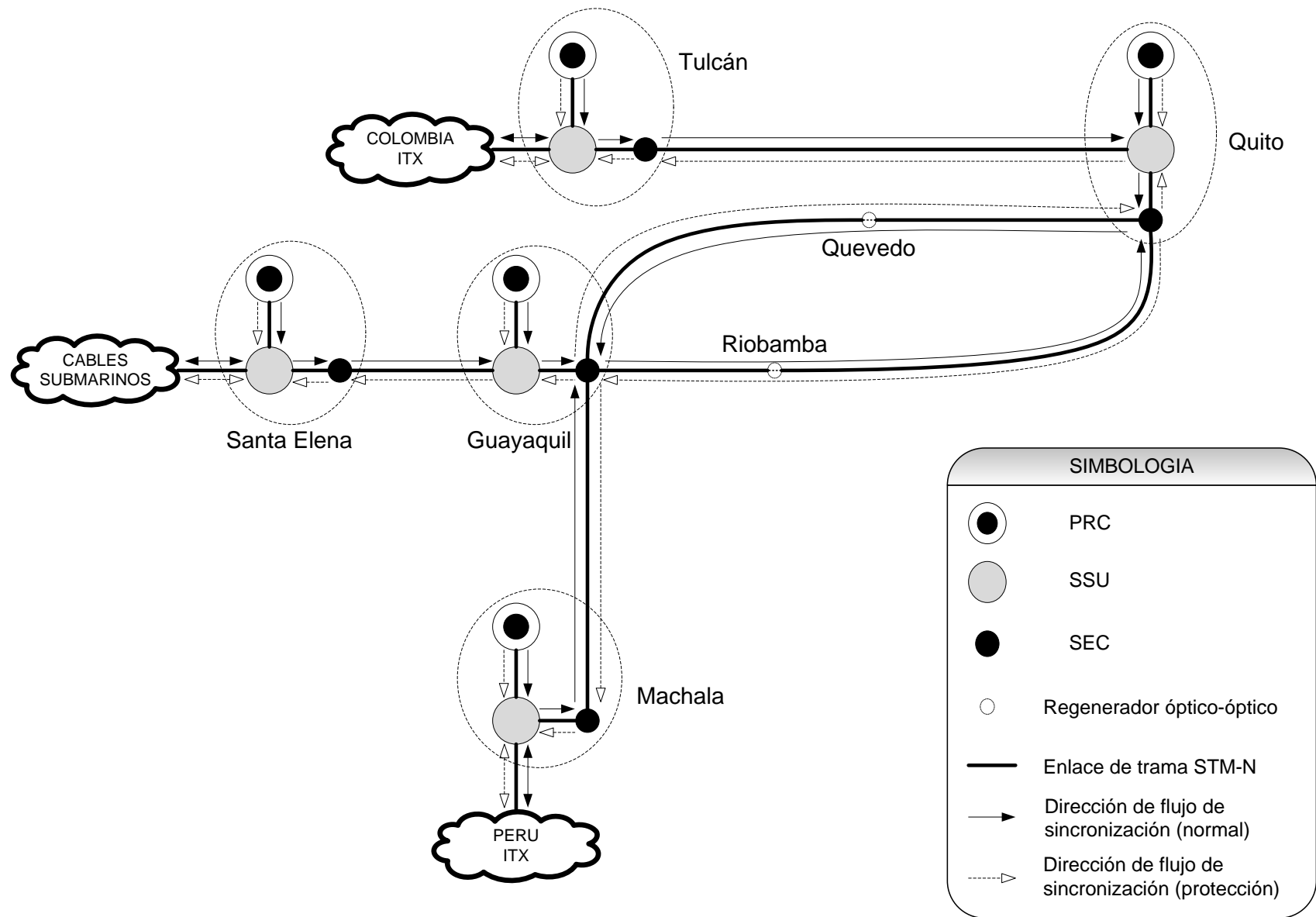


Figura. 5.6. Distribución de la señal de sincronismo para la red de transporte DWDM.

Los esquemas antes presentados en las figuras 5.5 y 5.6 tienen sus justificaciones y respectivas definiciones de su diseño que serán indicadas a continuación.

5.3 Estudio y definición de las soluciones de la red de sincronismo

Una vez esquematizado en las figuras 5.3 a 5.6 el diseño de la red de sincronismo y su distribución para los sistemas SDH y DWDM de la red de transporte óptico de TRANSELECTRIC es necesario justificar sus definiciones mediante un estudio que establecerá con fundamentos los criterios de diseño empleados para el diseño de la red de sincronismo.

Las definiciones de la solución utilizada en el diseño de la red de sincronismo al realizar su estudio son:

Primero, se establece dos nodos de prioridad los cuales son Quito y Guayaquil.

Quito tendrá la prioridad más alta por ser el núcleo de la red de transporte. Quito por su ubicación logística dentro de la red además de ser el nodo de control y gestión de toda la red. Se debe recalcar que la mayoría de tráfico en la actualidad pasa por Quito por dos razones importantes, la cantidad de clientes que tienen acceso a la red de transporte y por encontrarse el enrutador principal de la red IP de TRANSELECTRIC y TRANSNEXA. Se debe adicionar la importancia de la ruta hacia Tulcán para realizar su interconexión internacional con Colombia.

Entonces se justifica la definición de establecer como nodo principal a Quito y se establece que es preciso colocar un PRC con respaldo y su respectivo SSU para la distribución de la señal de sincronismo.

Guayaquil es considerada como de segunda prioridad por la cantidad de usuarios que ingresan por este nodo al sistema de transporte y adicionalmente

por su importancia en rutas hacia los nodos cabecera de Santa Elena y Machala que no son más que nodos de acceso a otras redes internacionales.

Se establece el uso de un PRC con respaldo y su respectivo SSU para este nodo de Guayaquil que además será considerada como respaldo del núcleo de la red.

Tanto Quito como Guayaquil serán de vital importancia para el anillo de la red de transporte óptico, al ser los nodos de acceso con sumidero al anillo principal de la red.

Guayaquil servirá como respaldo de la señal de referencia de sincronización al anillo principal, dejando a Quito como principal.

La distribución del sincronismo dentro del anillo principal será por dos rutas: Quito – Quevedo – Guayaquil y Guayaquil – Riobamba – Quito. Estas dos rutas de distribución se utilizarán como principal y de respaldo dentro del anillo de la red de transporte. La señal proveniente de Quito se establecerá como primaria y la de Guayaquil como secundaria.

Segundo, se incluyen dentro del estudio y análisis los nodos considerados como cabeceras para la red de sincronismo, y estos nodos son: Santa Elena, Machala y Tulcán.

Santa Elena, Machala y Tulcán se los considera como cabeceras de cable ya que dichos nodo serán limítrofes a las interconexiones internacionales, que servirán de acceso a redes internacionales regionales e intercontinentales. Por tal motivo se establece un nivel de prioridad a este nodo y se establece como principal elemento un SSU para la red de sincronismo. Ahora desde el punto de vista de que las tramas SDH recorrerán largas distancias desde este nodo hacia los enlaces internacionales se establece como prioridad el uso de PRC con respaldo servirá para mantener los enlaces en óptima calidad especificado en la

recomendación de la UIT-T G.822 y en el plan técnico fundamental de sincronismo del CONTEL, para conexiones internacionales.

Tercero, los nodos equipados con SSU deberán ser capaces de usar la señal de referencia primaria y de protección con el fin de evitar pérdida o colapso de la red de sincronismo. Los SEC funcionaran de dos formas. Primero los nodos de Quito, Guayaquil, Santa Elena, Machala y Tulcán estarán configurados en modo de temporización en línea externa, es decir, derivarán la señal de sincronismo proveniente de la trama STM-N y la entregaran al SSU, este decidirá que señal es mejor y la entregará de regreso al SEC para su uso. Segundo, los nodos de Pomasqui, Santo Domingo, Santa Rosa, Quevedo, Pascuales, Milagro, Zhoray, Cuenca, Loja, Riobamba y Ambato su configuración será en modo de temporización en línea, es decir, la señal de sincronismo la obtendrán de la trama STM-N que ingrese a su sistema para su uso. La protección de acuerdo al plan de distribución de sincronismo será fijado en rutas normales y rutas de protección entre todos los nodos de la red, para una protección 1+1.

Además de la red de sincronismo para la red de transporte se recomienda adicionalmente el uso de servidores NTP (Protocolo de temporización de la red) para suministrar temporización a todos los elementos de la red Ethernet que estén soportados en la red de transporte óptico y así mismo suministrar temporización a los elementos de la red de TRANSELECTRIC. Esto se justifica por la importancia que tiene este servicio que nos suministrará el tiempo y hora real sin necesidad de estar ajustando manualmente además de los beneficios que tiene el temporizar una red Ethernet.

Los servidores NTP a instalarse serán dos, uno en Quito y otro de respaldo en Guayaquil. Los servidores NTP recibirán la temporización de los GPS a instalarse tanto en Quito como Guayaquil.

5.4 Descripción de los equipos a utilizar

5.4.1 PRC

Los PRC de los nodos de Quito, Guayaquil, Santa Elena, Machala y Tulcán estarán conformados por un GPS y su respectivo respaldo físico, es decir doble GPS para cada uno de los nodos antes señalados.

Porque un GPS y no un reloj de calidad 1 (atómico, cesio), la respuesta es sencilla, un GPS nos permitirá estar sincronizado con redes internacionales sin problemas por su capacidad de referencia universal de tiempo coordinado (UTC), además de su precio.

Los GPS de los nodos de Quito y Guayaquil obtendrán una referencia de tiempo universal coordinado (UTC) con lo cual proveerán de temporización a los servidores NTP a instalarse.

El uso de doble GPS proporcionara una estabilidad confiable superior a 1×10^{-11} deslizamientos medidos en un intervalo de 70 días de observación. Con esta confiabilidad en el sistema se podrá catalogar según la recomendación de la UIT-T G.811 como PRC y se garantizará el correcto funcionamiento de todos los elementos de la red cumpliendo con la recomendación de la UIT-T G.825 y además dado que también debe existir este tipo de equipos en las cabeceras de cables o nodos limítrofes de interconexión con redes internaciones se cumplirá también con lo descrito en la recomendación de la UIT-T G.822 para conexiones internacionales y el plan técnico fundamental de sincronismo del CONATEL.

Los equipos deberán ser energizados a -48 Vdc, constar con su respectiva protección eléctrica (brakers) y sistema de protección a tierra.

En cuanto al software, los PRC conformado por doble GPS deberán soportar un sistema de administración y gestión (TNM).

5.4.2 SSU

Las SSU a instalarse en los nodos indicados en el diseño de la red de sincronismo, deberán tener las siguientes características. Reloj de respaldo para modo régimen libre de calidad 2 con protección. Dicho reloj en modo de régimen libre deberá asegurar un valor superior a 1×10^{-10} deslizamientos medidos en un intervalo de tiempo de un mes y en modo enganchado garantizar un valor superior a $1,6 \times 10^{-8}$ deslizamientos máximos medidos en un intervalo de observación de un día, con esto aseguramos que se cumpla con las especificaciones de la UIT-T G.812 para ser considerado como SSU el elemento de red. A su vez esto garantizará el correcto funcionamiento de todos los elementos de la red especificado en la recomendación de la UIT-T G.825.

Los equipos deberán ser energizados a -48 Vdc, constar con su respectiva protección eléctrica (brakers) distribuidos en un tablero y sistema de resguardo a tierra.

Además es clave especificar el número de salidas de señal de sincronismo análogas (2048 kHz) o digitales (2048 kbps) que deberá disponer. Serán nueve salidas (9) de señal de sincronización en un principio, esto considerando que: una (1) salida será empleada para la actual red SDH que opera en la red de transporte, ocho (8) salidas adicionales una para cada longitud de onda a utilizarse en la futura red DWDM de transporte en su etapa inicial.

Ahora considerando la proyección en largo plazo y su capacidad máxima de operación, se deberá considerar un equipo con cuarenta (40) salidas de señal de sincronización, considerando que la red DWDM operará con un máximo de cuarenta (40) longitudes de onda. Se debe considerar que para cada longitud de onda es necesaria una señal de sincronismo.

Por lo tanto el equipo SSU deberá tener características modulares de fácil instalación y despliegue futuro. Los puertos de salida y entrada para las señales

de reloj deberán cumplir con la recomendación de la UIT-T G.703 en sus características eléctricas.

Las especificaciones de hardware antes mencionadas deberán cumplir los equipos que conformaran las SSU para los nodos de Quito, Guayaquil, Santa Elena, Machala y Tulcán.

Respecto a las características de software que los equipos deberán soportar, la principal es la administración y gestión de los equipos (TNM).

5.4.3 Servidores NTP

Los servidores NTP primeramente requerirán una señal de referencia proveniente de los GPS colocados en los nodos de Quito y Guayaquil. Los servidores tendrán como sistema operativo: Windows Server, Linux o Unix en cualquiera de sus versiones que soporten NTP Server v4.0.

La comunicación se realizará vía red Ethernet para este servicio, y como principal objetivo tendrá el de sincronizar el tiempo a todos los elementos de la red de TRANSELECTRIC, incluyendo servidores y equipos terminales (computadores, telefonía, sistemas de registro, sistemas de control, entre otros).

Este servicio proveerá temporización a todos los elementos de red de TRANSELECTRIC y además se podrá ofrecer a los clientes.

En la figura 5.7 se esquematiza la configuración de los servidores NTP dentro de la red Ethernet que se soporta en la red de transporte óptico.

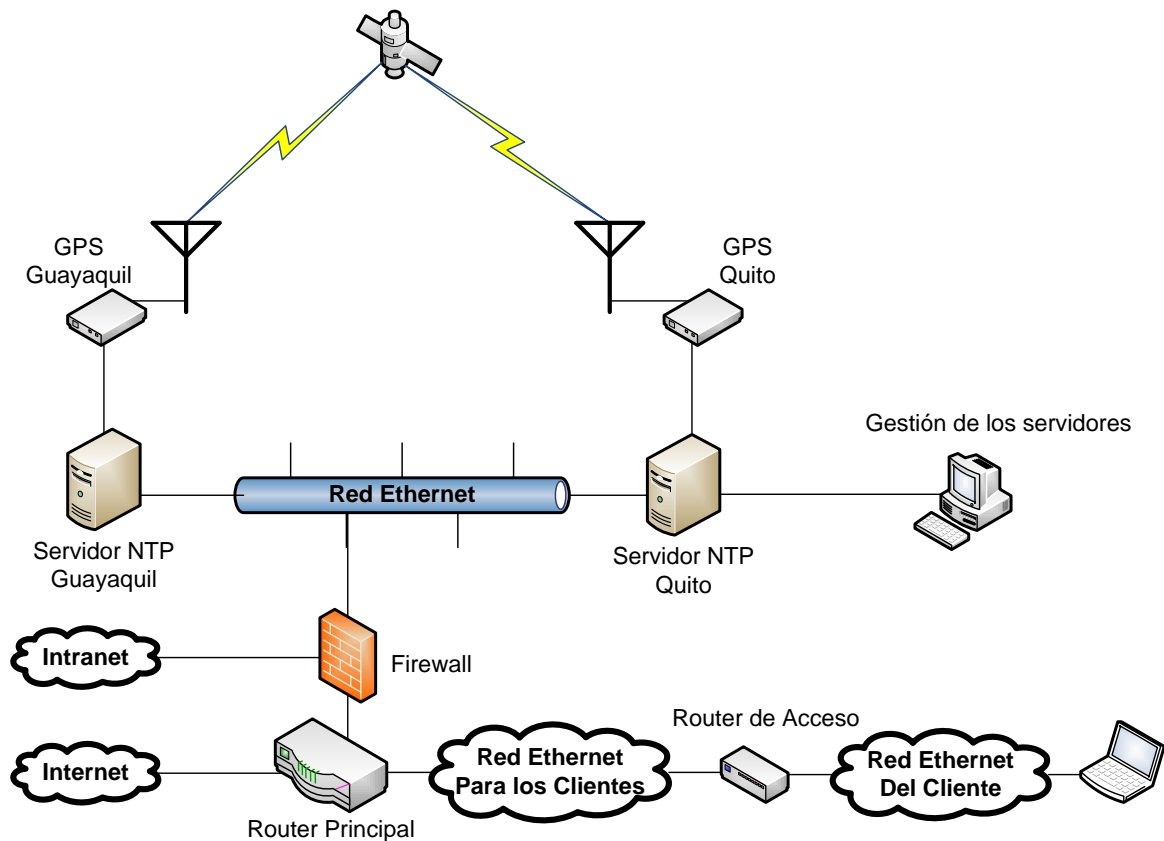


Figura. 5.7. Esquema de configuración de los servidores NTP para la red Ethernet.

Para cuestiones de administración y gestión los servidores deberán tener acceso remoto desde el Centro de Gestión localizado en Quito por medio de la red Ethernet que se encuentra inmersa en la red de transporte óptico.

5.5 Detalles sobre la instalación de los equipos y distribución del sincronismo dentro de la red

5.5.1 Instalación y configuración del sincronismo en los equipos Siemens Surpass hiT 7070

Conexión Física.

De acuerdo con las especificaciones del fabricante, existen dos interfaces para la señal de sincronismo de la red a 2048 kHz o 2048 kbps. Estas interfaces se las conoce como T3 y T4.

La interfaz T3 es para el ingreso de la señal de reloj de sincronismo al sistema y la interfaz T4 se utiliza como salida de una señal de reloj de sincronismo procedente del sistema. Las señales de reloj de sincronismo que se pueden utilizar en el sistema serán análogas o digitales. Los puertos de conexión cumplen con lo establecido en la recomendación de la UIT-T G.703 que norman las características eléctricas y físicas. Para realizar la conexión física es mediante un conector DB-15, en la figura 5.8 y tabla 5.1 se expresa la descripción del conector DB-15 y sus pines para este tipo de conexión. Para configurar en entradas y salidas de señales de reloj de sincronismo análogas (2048 kHz) y/o digitales (2048 kbps) se detalla en la figura 5.9.

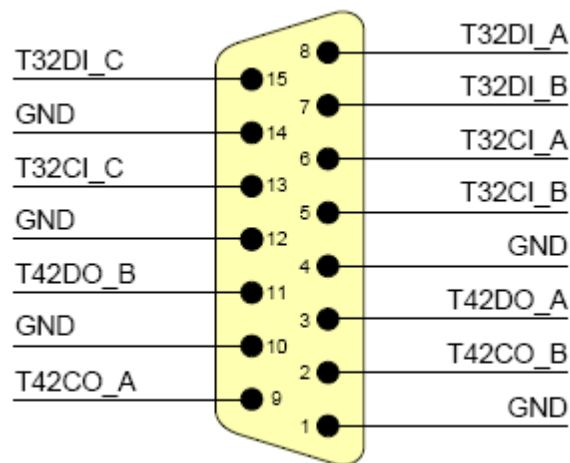


Figura. 5.8. Descripción de los pines del conector DB-15 para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo¹.

¹ Siemens, Surpass hiT 7070 3.2 Customer Documentation

Tabla. 5.1. Descripción de los pines del conector DB-15 para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo¹.

Pin	Señal	Descripción
1	GND	Tierra
2	T41CO_B	T4 señal de reloj de la salida B
3	T41DO_A	T4 señal de datos de la salida A
4	GND	Tierra
5	T31CI_B	T3 señal de reloj de la entrada B
6	T31CI_A	T3 señal de reloj de la entrada A
7	T31DI_B	T3 señal de datos de la entrada B
8	T31DI_A	T3 señal de datos de la entrada A
9	T41CO_A	T4 señal de reloj de la salida A
10	GND	Tierra
11	T41DO_B	T4 señal de datos de la salida B
12	GND	Tierra
13	T31CI_C	T3 señal de reloj de la entrada C
14	GND	Tierra
15	T31DI_C	T3 señal de datos de la entrada C

¹ Siemens, Surpass hiT 7070 3.2 Customer Documentation

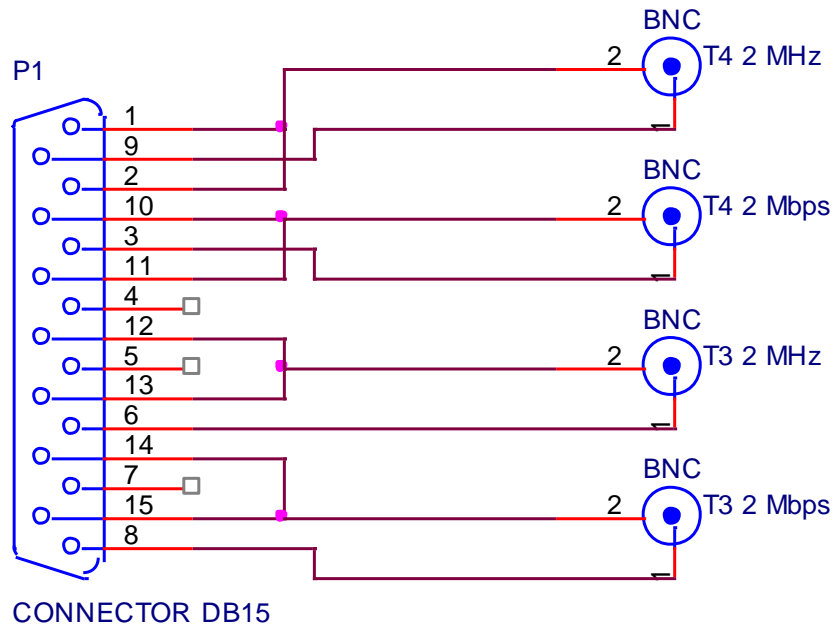


Figura. 5.9. Configuración de los pines del conector DB-15 hembra para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.

La configuración presentada en la figura 5.9 será únicamente válida siempre y cuando la conexión se la realice con una impedancia de 75Ω (Desbalanceada). Si se requiere realizar una o más operaciones de ingreso y salida de la señales de sincronismo, es factible si se realiza las dos o más configuraciones en un mismo conector DB-15. El panel de conexión se lo conoce como COPA como se muestra en la figura 5.10, en el cual existen dos puertos DB-15 macho. Los dos pueden utilizarse tanto como para interfaces T3 como T4. El uso de estos puertos será, uno para funcionamiento normal y otro como protección.

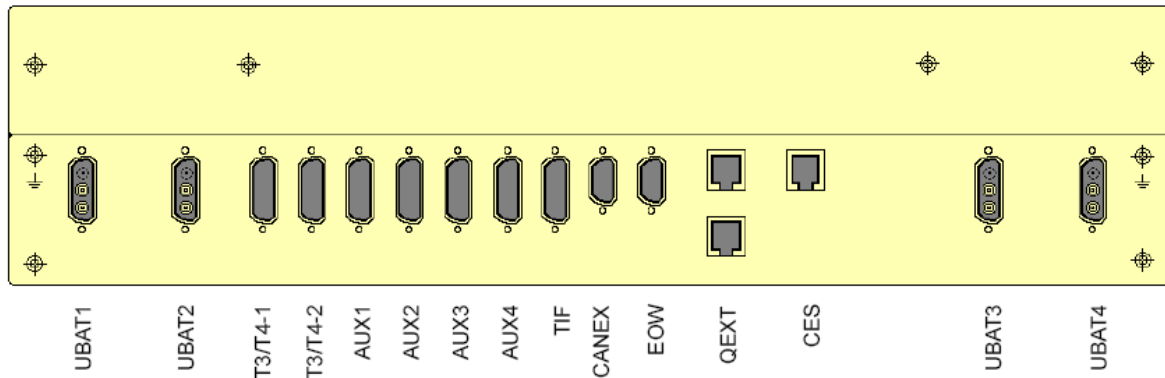


Figura. 5.10. Panel de conexión COPA del sistema Surpass hiT 7070¹.

Configuración de la señal de reloj de sincronismo del sistema Surpass hiT 7070.

Una vez realizada la conexión física debemos continuar con la configuración en el software de administración del sistema. Para esto accedemos a la configuración de la sincronización del reloj del equipo, en la opción NE seleccionamos el ítem SEC, donde tendremos acceso a la ventana principal de configuración como se muestra en la figura 5.11.

¹ Siemens, Surpass hiT 7070 3.2 Customer Documentation

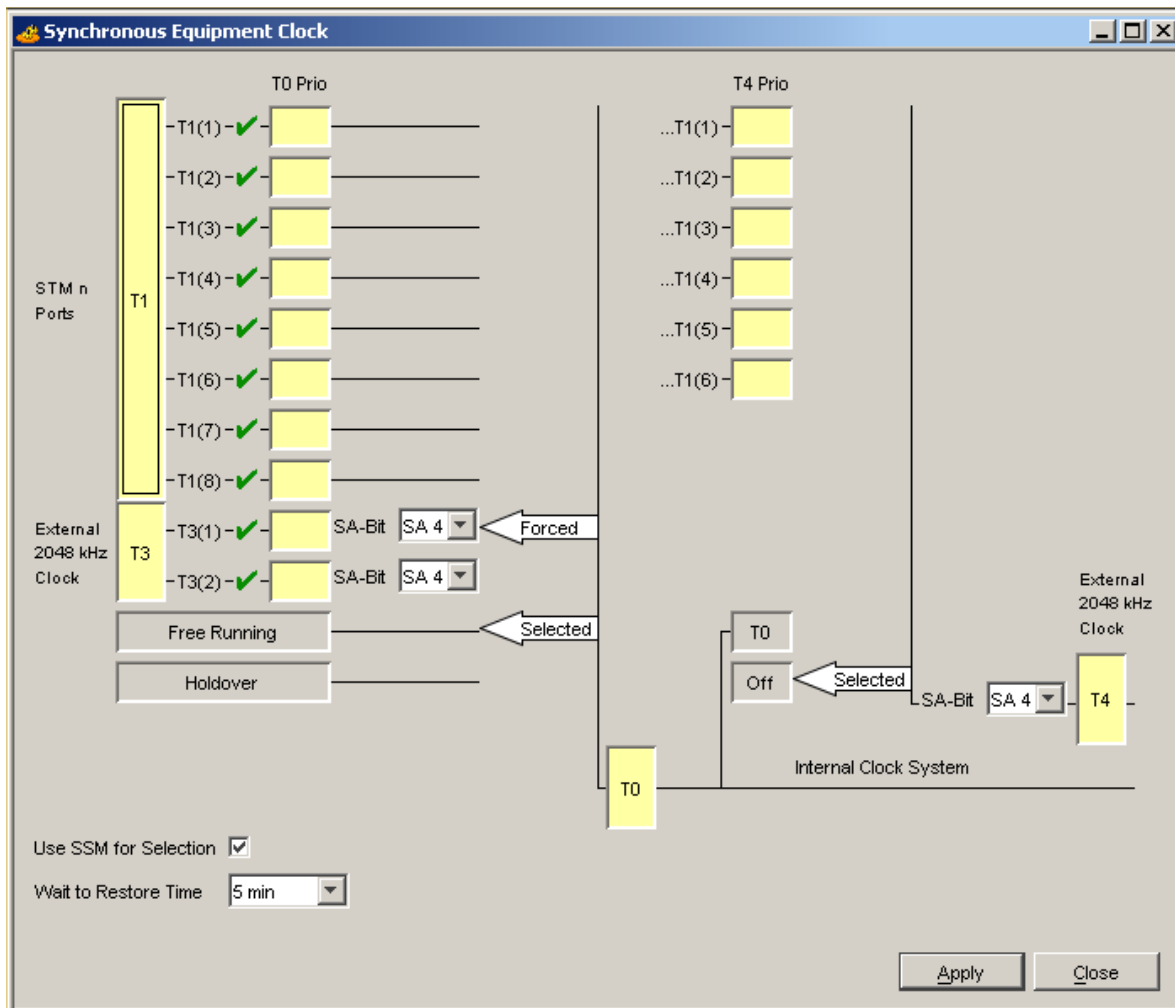


Figura. 5.11. Configuración de la señal de reloj de sincronismo del sistema Surpass hiT7070¹.

La ventana de configuración de la señal de reloj de sincronismo del sistema Surpass hiT 7070 consta de los siguientes elementos o interfaces:

- T0, Señal de sincronismo que se usará en el sistema.
- T1, Señal de sincronismo proveniente las tramas STM-N que ingresan al sistema.
- T3, Señal de sincronismo proveniente de una fuente de reloj externa.
- T4, Señal de sincronismo de salida del sistema.

En la figura 5.11 se expresa la ventana de configuración de la señal de sincronismo del sistema donde se puede apreciar su configuración actual.

¹ Siemens, Surpass hiT 7070 3.2 Customer Documentation

Se recomienda activar el uso de los SSM para el funcionamiento correcto del sistema.

Configuración de la interfaz T0.

Ahora bien para seleccionar la señal de sincronismo del sistema debemos acceder a la ventana de configuración de T0. Para esto seleccionamos el símbolo NE, luego SEC y al final T0. La figura 5.12 nos indica la ventana de configuración de la señal T0 que servirá para sincronizar el sistema.

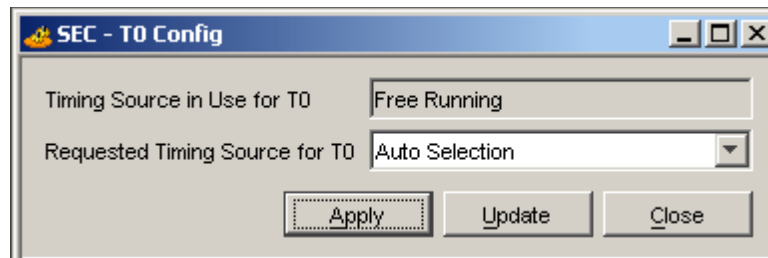


Figura. 5.12. Configuración de la señal de sincronismo T0 del sistema Surpass hiT7070¹.

Dentro de las opciones para configurar el modo de funcionamiento del sistema tenemos:

- Selección automática, selecciona de entre todas las opciones la mejor señal de sincronismo de acuerdo con los SSM.
- T1, la señal de sincronismo se obtendrá de la trama STM-N.
- T3, la señal externa de sincronismo se utilizará para el sistema.
- Modo Libre, en el caso de no tener una señal de sincronismo de ninguna referencia, el sistema funcionará con la señal de su reloj interno.
- Modo forzado, se escoge manualmente cual será la señal de sincronismo de prioridad y el sistema decidirá cual será el remplazo en caso de existir alguna falla.
- Modo manual, de forma manual se selecciona las señales de sincronismo y se establece su prioridad.

¹ Siemens, Surpass hiT 7070 3.2 Customer Documentation

Configuración de la interfaz T1.

Para configurar la señal de sincronismo proveniente de la trama STM-N de la interfaz T1 debemos acceder a la venta de configuración que se muestra en la figura 5.13 de la siguiente manera: en el menú seleccionamos el símbolo NE, luego SEC, después T1 y finalmente escogemos configuraciones.

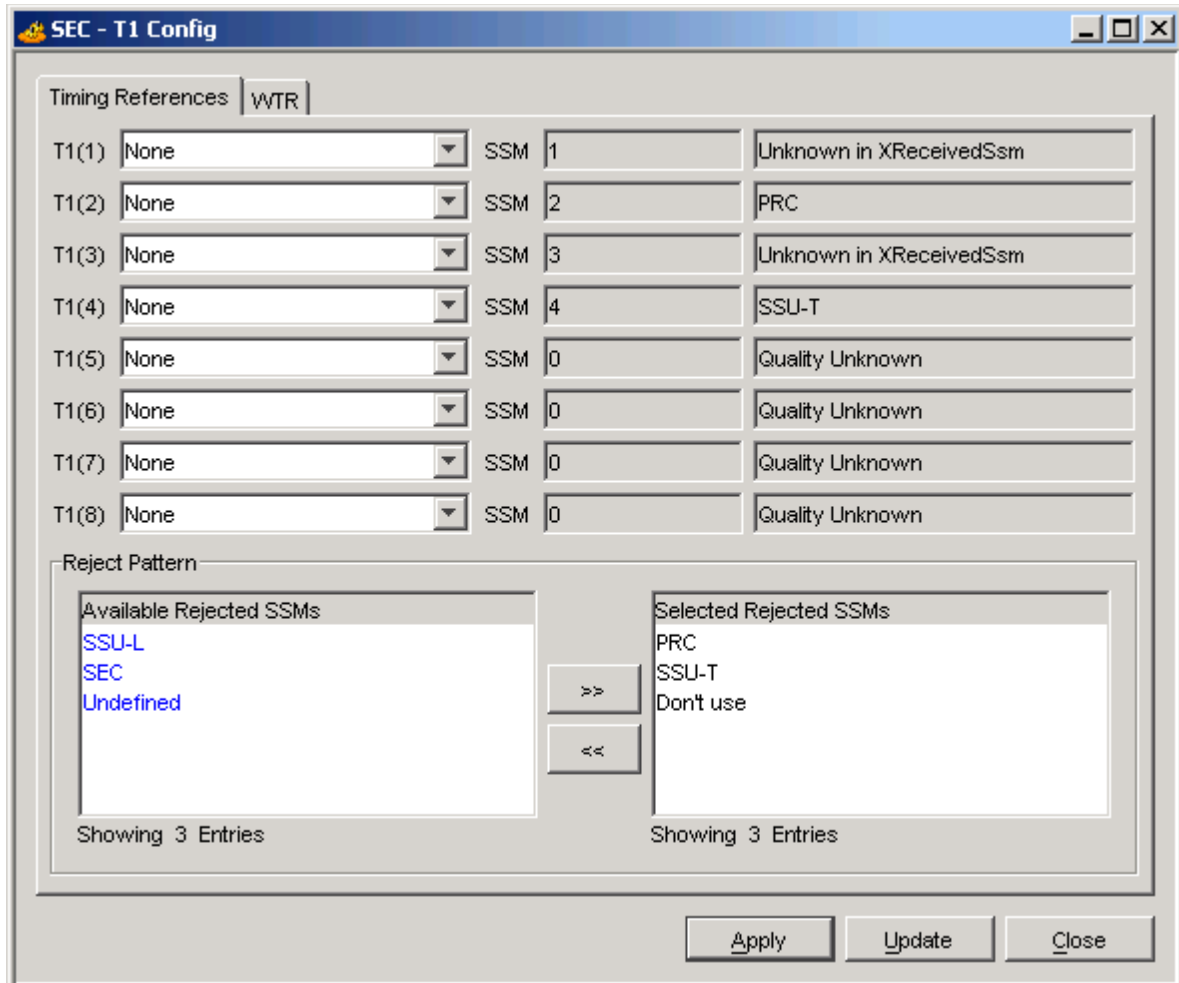


Figura. 5.13. Configuración de la señal de sincronismo proveniente de la interfaz T1 del sistema Surpass hiT7070¹.

Para escoger la trama STM-N de donde se obtendrá la señal de sincronismo, seleccionaremos la tarjeta y puerto que se desee. En la parte derecha podemos visualizar que tipo de origen tiene la señal de sincronismo mediante los SSM.

¹ Siemens, Surpass hiT 7070 3.2 Customer Documentation

Configuración de las interfaces T3 y T4.

Y como paso final en la configuración de la señal de sincronismo del sistema debemos escoger las opciones para las interfaces T3 y T4, que son la señal de sincronismo de ingreso y salida del sistema respectivamente. En la figura 5.14 podemos apreciar la configuración para las interfaces T3 y T4.

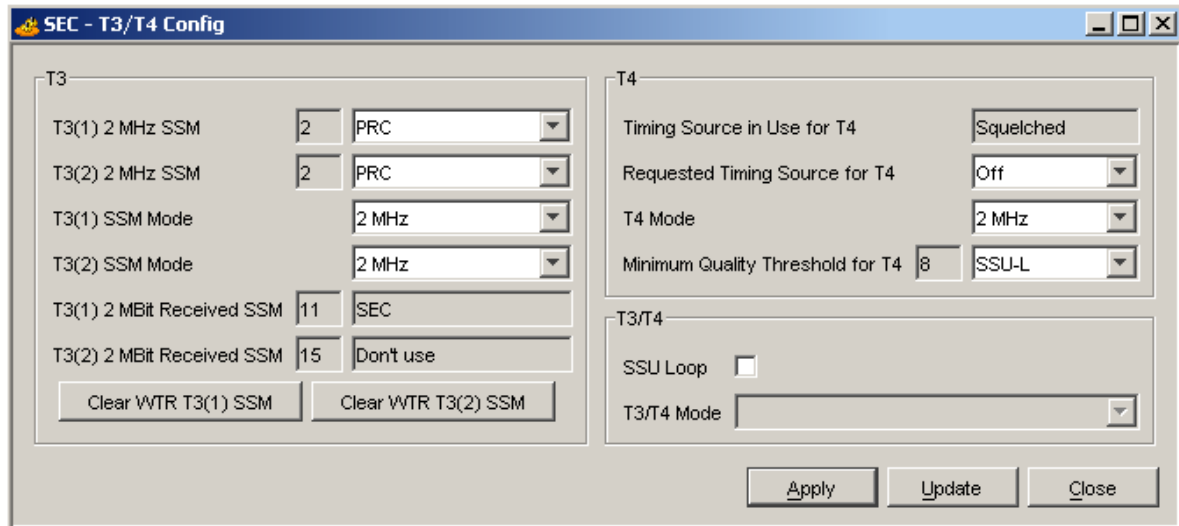


Figura. 5.14. Configuración de la señal de sincronismo de las interfaces T3 y T4 del sistema Surpass hiT7070¹.

En la parte izquierda de la ventana de la figura 5.14, se encuentra las opciones de configuración para la interfaz T3, donde se permite establecer cual es el nivel de referencia de la señal, de entre los establecidos en los SSM (PRC, SSU-T, SSU-L, SEC). Las señales de sincronismo provenientes de un sistema de referencia (PRC, SSU) y no contienen la información de SSM, ya que no se encuentran dentro de una trama STM-N. Además se debe establecer la frecuencia de la señal de sincronismo (2 MHz, 5 MHz).

Para la configuración de la interfaz T4 en la parte derecha de la ventana de la ventana 5.14, den entre las opciones describiremos las más importantes.

¹ Siemens, Surpass hiT 7070 3.2 Customer Documentation

Solicitud de la fuente de temporización, donde seleccionaremos la fuente de la señal de sincronismo que va estar en la interfaz T4 como salida del sistema. Dentro de las opciones tenemos: selección automática (seleccionara de forma automática la mejor señal de acuerdo con los SSM), selección forzada (se seleccionará la principal referencia de forma manual y si ocurre un fallo el sistema escogerá automáticamente el reemplazo), selección manual (el usuario de forma manual establece cual y en que prioridad estará las señales de referencia de sincronización) y apagado (la interfaz T4 de salida estará apagada).

Se debe también establecer cual es la frecuencia de la señal de salida de sincronización de la interfaz T4 (2 MHz, 5 MHz).

Y como última opción tenemos el seleccionar cual será la calidad mínima que la interfaz T4 utilizara como salida (PRC, SSU-T, SSU-L, SEC).

Para la configuración que vamos a utilizar en el diseño de la red, lo recomendable es establecer la selección automática de la señal T0, priorizar las señales de sincronismo obtenidas de las tramas STM-N de la interfaz T1 en dos, una de funcionamiento normal y otra la de protección. Además establecer como calidad mínima a SSU-T para la señal de sincronismo de salida por la interfaz T4.

5.5.2 Instalación y configuración del sincronismo en los equipos Siemens SMA 16

Conexión Física.

La instalación y configuración del sincronismo para los equipos Siemens SMA 16 es casi similar a la configuración e instalación del sincronismo de los equipos Siemens Surpass hiT 7070.

Como primer paso será la configuración física, para esto el sistema SMA 16 posee dos puertos DB-9 que utilizan las interfaces T3 y T4 que tienen el mismo funcionamiento que las interfaces del sistema HiT 7070. Por lo tanto T3 servirá

para ingreso de una señal de reloj de sincronismo y T4 será para obtener la salida de una señal de reloj de sincronismo procedente del sistema. Las señales de reloj de sincronismo que acepta este sistema son análogas a 2048 kHz o digitales a 2048 kbps. Estas interfaces cumplen con lo estipulado en la recomendación de la UIT-T G.703 en sus características eléctricas.

En la figura 5.15 y tabla 5.2 se detalla la descripción de los pines del conector DB-9 y en la figura 5.16 la configuración para obtener entradas y salidas de la señal de sincronismo.

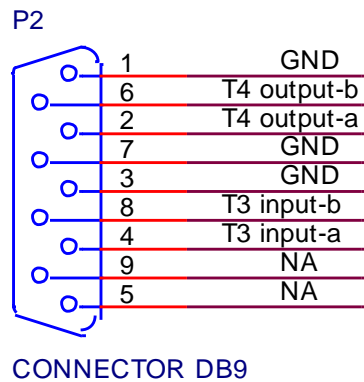


Figura. 5.15. Descripción de los pines del conector DB-9 para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.

Tabla. 5.2. Descripción de los pines del conector DB-9 para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo².

Pin	Señal	Descripción
1	GND	Tierra
2	T4 output-a	T4 señal de reloj de la salida A
3	GND	Tierra
4	T3 input-a	T3 señal de reloj de la entrada A
5	NA	Sin uso
6	T4 output-b	T4 señal de reloj de la salida B
7	GND	Tierra
8	T3 input-b	T3 señal de reloj de la entrada B
9	NA	Sin uso

² Siemens, Optical Networks SMA Series 4 Commissioning

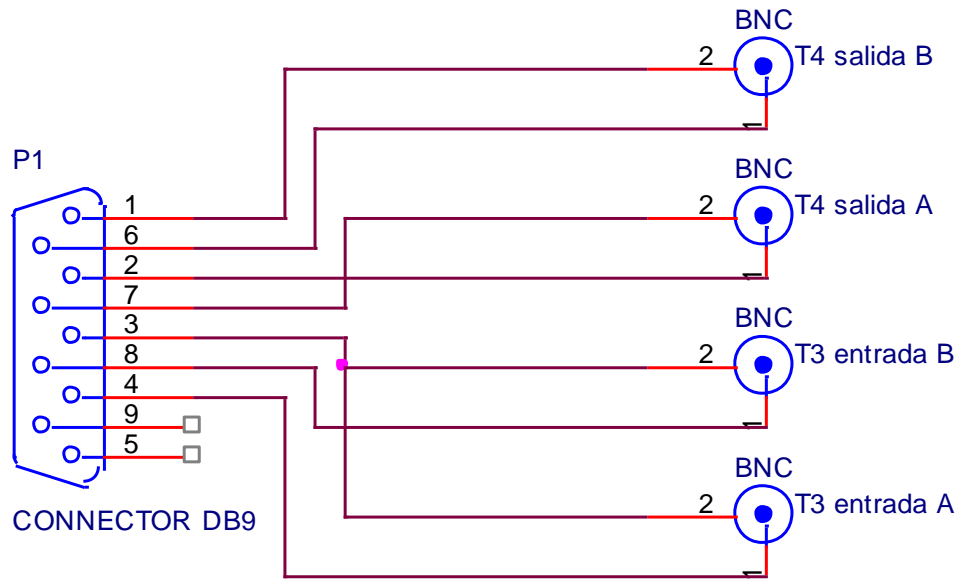


Figura. 5.16. Configuración de los pines del conector DB-9 hembra para la conexión de las interfaces T3 y T4 para entradas y salidas de señales de sincronismo.

Si se requiere realizar una operación de ingreso y salida de la señal de sincronismo, es factible si se realiza las dos o más configuraciones en un mismo conector DB-9. En el panel de conexión existen los puertos 301 y 302 con conector DB-9 macho, los dos puertos pueden utilizarse tanto como para interfaces T3 como T4. El uso de estos puertos será, uno para funcionamiento normal y otro como protección.

Configuración de la señal de sincronismo del sistema SMA 16.

Para la configuración de la señal de sincronismo del sistema, se debe acceder a la ventana principal de configuración, a continuación seleccionar la tarjeta central SN64 y haciendo clic derecho seleccionamos configuración, y después escogemos SEC. En la figura 5.17 se aprecia como acceder a la ventana de configuración de la señal de reloj de sincronismo para el sistema SMA 16.

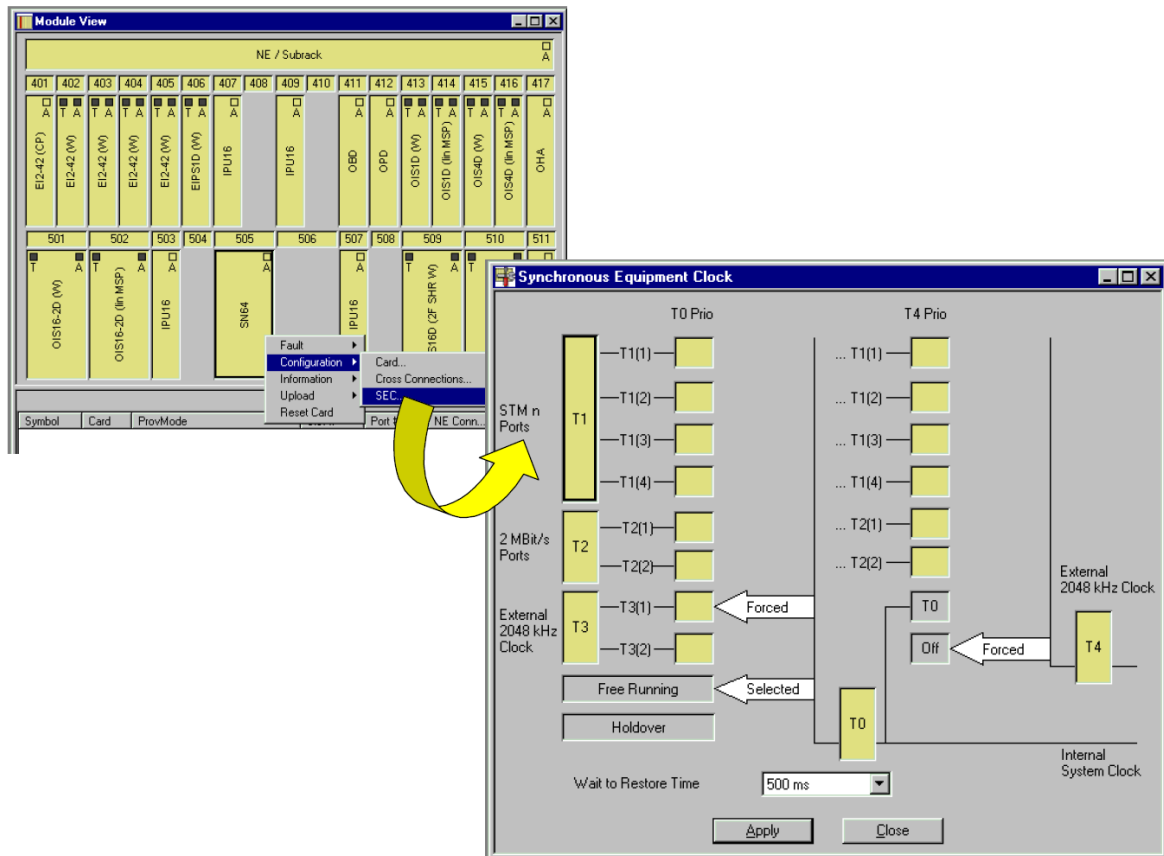


Figura. 5.17. Acceder a la ventana de configuración de la señal de reloj de sincronismo para el sistema SMA 16².

La ventana de configuración de la señal de reloj de sincronismo del sistema SMA 16 consta de los siguientes elementos o interfaces:

- T0, Señal de sincronismo que se usará en el sistema.
- T1, Señal de sincronismo proveniente las tramas STM-N que ingresan al sistema.
- T2, Señal de sincronismo proveniente de tramas E1 que ingresan al sistema.
- T3, Señal de sincronismo proveniente de una fuente de reloj externa.
- T4, Señal de sincronismo de salida del sistema.

En la figura 5.18 se expresa la ventana de configuración de la señal de sincronismo del sistema.

² Siemens, Optical Networks SMA Series 4 Commissioning

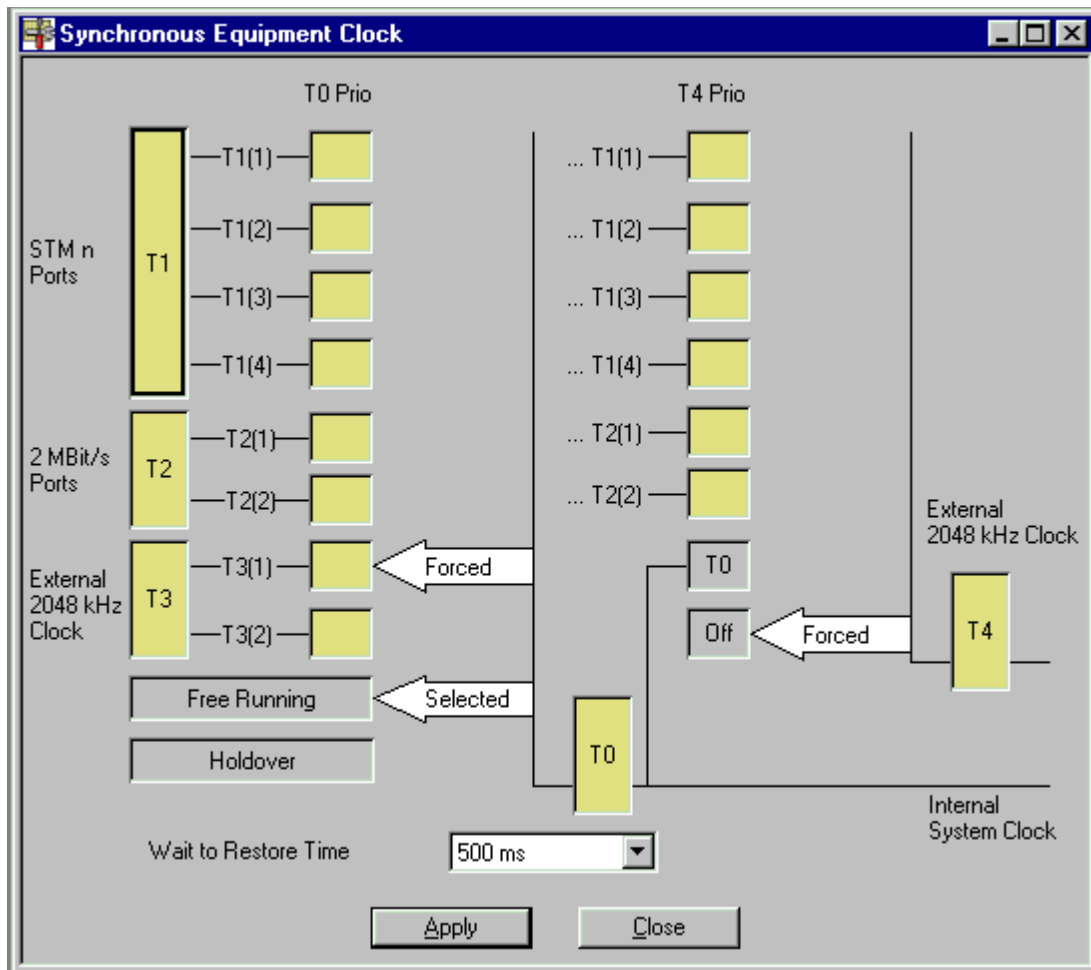


Figura. 5.18. Ventana de configuración de la señal de reloj de sincronismo del sistema SMA 16².

En la ventana de configuración indicada en la figura 5.18, se expresa un resumen de la configuración actual del sistema con respecto a su señal de sincronismo. Aquí cabe destacar dos aspectos, toda configuración y sus variantes serán expresadas en esta ventana, y existen dos modos generales de configuración: modo de autoselección (el sistema escoge cual señal utilizar dependiendo de los SSM) y modo forzado (se asigna manualmente ciertas prioridades de funcionamiento).

Configuración de la interfaz T0.

Para configurar las opciones para la interfaz T0 primero debemos acceder a la ventana de configuración como se indica en la figura 5.19.

² Siemens, Optical Networks SMA Series 4 Commissioning

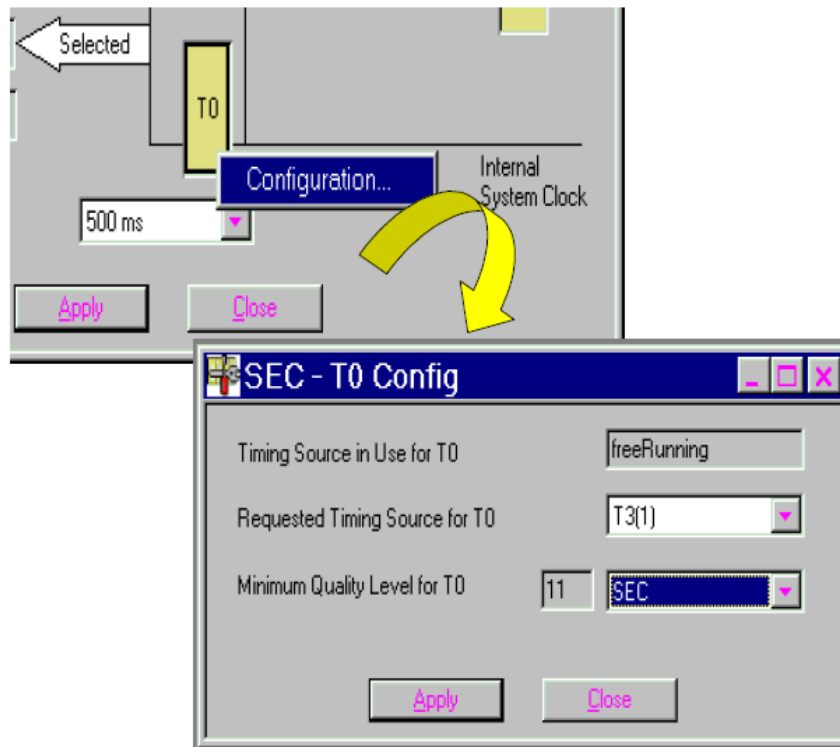


Figura. 5.19. Acceso y configuración de la interfaz T0 del sistema SMA 16².

Dentro de las opciones que se pueden apreciar en la ventana de configuración de la interfaz T0 indicada en la figura 5.19 tenemos dos opciones por configurar. La primera se refiere a cual interfaz escogeremos como referencia para la señal de reloj de sincronismo del sistema (T0), de entre las opciones a escoger tenemos: T1 (señal obtenida la trama STM-N), T2 (señal de reloj proveniente de una interfaz E1), T3 (señal de reloj externa), *auto revertive* (dependiendo de los SSM el sistema escogerá la señal mas adecuada para su uso) y *free running* (señal de reloj proveniente del reloj interno del sistema). Como segunda opciones tenemos el de seleccionar cual será la mínima calidad de señal de sincronismo dependiendo de su origen que el sistema usara para su sincronismo, de entre las opciones tenemos: PRC, SSU-T, SSU-L y SEC. Cabe indicar que la señal del reloj interno del sistema (SEC) es la de menor calidad y esta será usada cuando el sistema no posea ninguna otra referencia.

² Siemens, Optical Networks SMA Series 4 Commissioning

Configuración de la interfaz T4.

Para acceder a la ventana de configuración de la interfaz T4 seguiremos lo indicado en la figura 5.20.

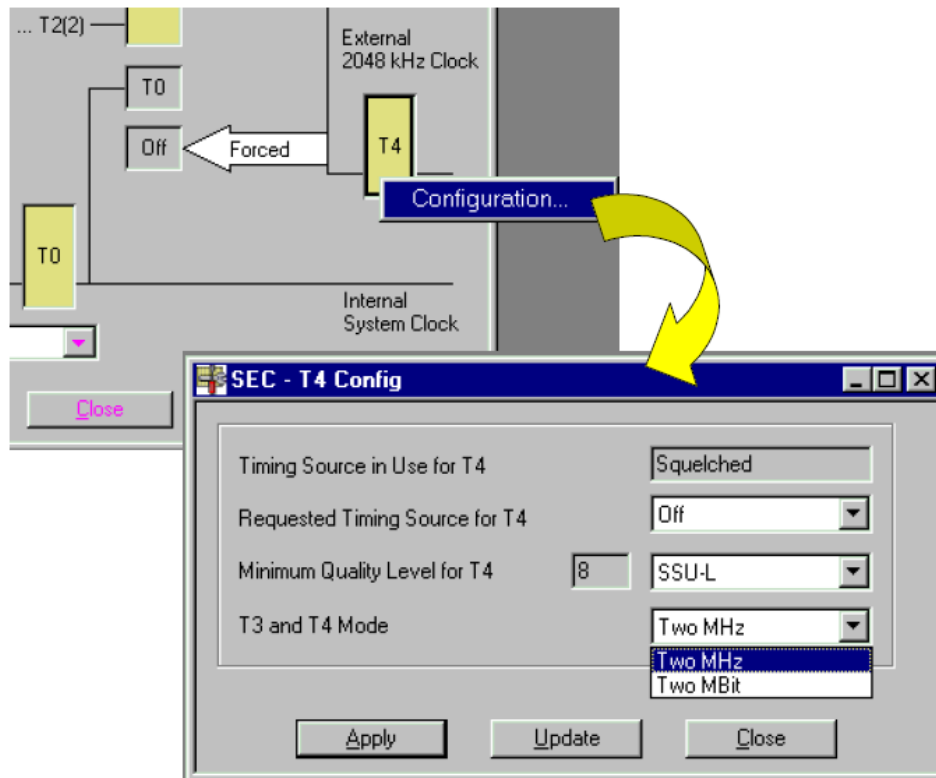


Figura. 5.20. Acceso y configuración de la interfaz T4 del sistema SMA 16².

Una vez en la ventana de configuración de la interfaz T4 como se expresa en la figura 5.20, tenemos tres ítems por configurar los cuales son: fuente de la señal de sincronismo de la interfaz T4, calidad mínima para la interfaz T4 y modo de la interfaz T3 y T4.

Dentro de opciones de la fuente de la señal de sincronismo para la interfaz T4 tenemos: T0, T1, T2, auto selección y apagado. La opción recomendable para nuestro diseño será el de T1, es decir, la señal de salida de sincronismo del sistema será el obtenido de la trama STM-N y esta señal será entregada al SSU

² Siemens, Optical Networks SMA Series 4 Commissioning

para que analice su calidad y devuelva al sistema la señal de sincronismo más adecuada.

En la sección de calidad mínima para la interfaz T4 se establecerá de su procedencia cual será la mínima para ser considerada (PRC, SSU-T, SSU-L, PRC). Para nuestra configuración, seleccionaremos como mínimo nivel el SSU-T, ya que una señal derivada de una trama STM-N con calidad inferior deberá ser descartada.

Y como último ítem tenemos la selección del tipo de señal de sincronismo que vamos a utilizar en las interfaces T3 y T4 del sistema, sea esta señal análoga (2,048 MHz) o digital (2,048 Mbps). Esta opción dependerá directamente del tipo de señal que maneje la SSU.

Configuración de la interfaz T1 y T2.

Primero se deberá acceder a la ventana de configuración de estas interfaces como se indica en la figura 5.21.

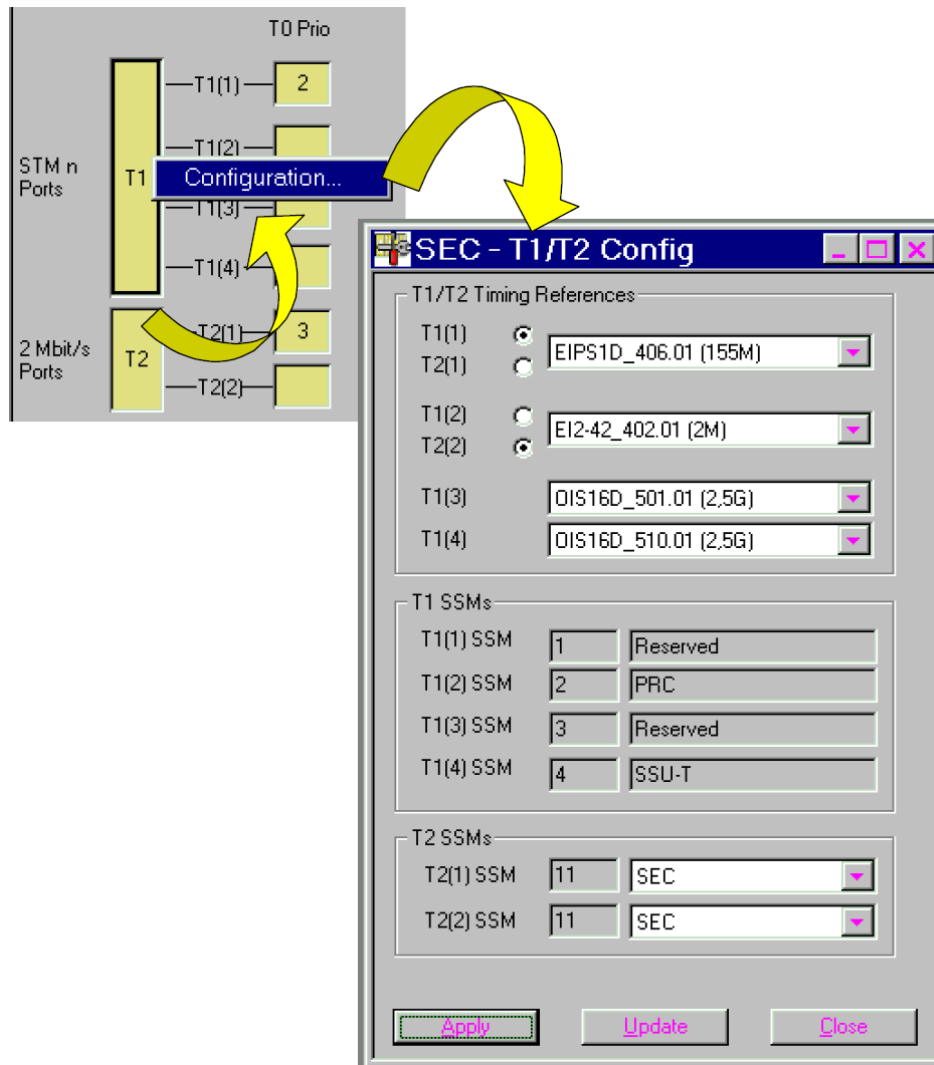


Figura. 5.21. Acceso y configuración de las interfaces T1 y T2 del sistema SMA 16².

Una vez en la venta de configuración de las interfaces T1 y T2, procedemos a configurar los ítems que son: referencia de temporización de las interfaces T1 y T2 y SSM para la interfaz T2.

Para la selección de la referencia de temporización de la interfaz T1 seleccionaremos de entre las tarjetas de tramas STM-N que estén funcionando. Es recomendable escoger dos, una para funcionamiento normal y otra como protección. Estas dos tarjetas deberán ser físicamente distintas para prevalecer el concepto de protección 1+1. Es preferible también que las tarjetas seleccionadas sean de entrada ópticas y no cross-conectoras.

² Siemens, Optical Networks SMA Series 4 Commissioning

En la sección de T1 SSM, se puede apreciar la procedencia de cada una de las señales obtenidas de las tramas STM-N de las tarjetas seleccionadas.

La configuración de la interfaz T2 será descartada al tratarse de tramas PDH (E1) y como se expresa en la recomendación de la UIT-T G.803, una señal de temporización transportada en un sistema PDH no es útil para ser usada como señal de sincronismo.

Configuración de la interfaz T3.

Para configurar la interfaz T3 que hace referencia a la entrada de una señal de reloj externa se deberá primero acceder a la ventana de configuración como se indica en la figura 5.22.

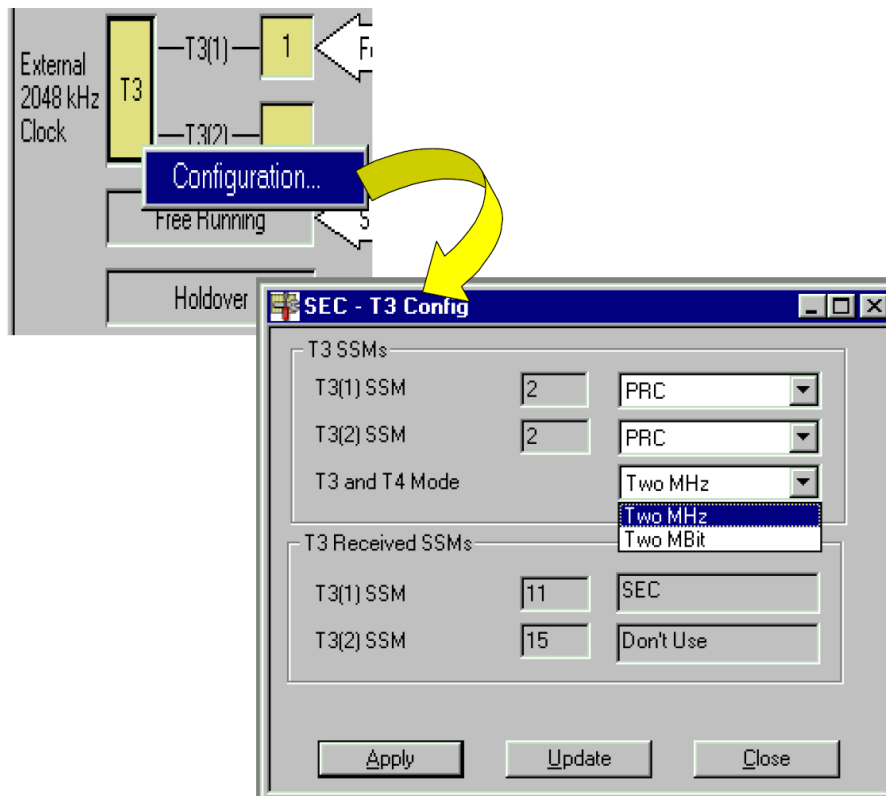


Figura. 5.22. Acceso y configuración de la interfaz T3 del sistema SMA 16².

Esta ventana de configuración expresada en la figura 5.22 nos permitirá seleccionar de entre sus opciones dos ítems que son: editar el SSM para la señal de reloj de entrada y el modo de funcionamiento de la interfaz T3.

Las señales de reloj que ingresan al sistema por la interfaz T3 pueden ser análogas (2 MHz) o digitales (2 Mbps). Esta selección dependerá enteramente del equipo SSU.

Se deberá también establecer la procedencia de la señal de reloj (PRC, SSU-T, SSU-L), dado que, como no ingresan en forma de trama STM-N no poseen su SSM.

² Siemens, Optical Networks SMA Series 4 Commissioning

Configuración de prioridades.

En la figura 5.23 se indica la configuración de prioridades que se debe realizar una vez configuradas todas las interfaces de entrada T1, T2 y T3 al sistema. Esta lista de prioridades servirá además para definir señales de funcionamiento normal y protección.

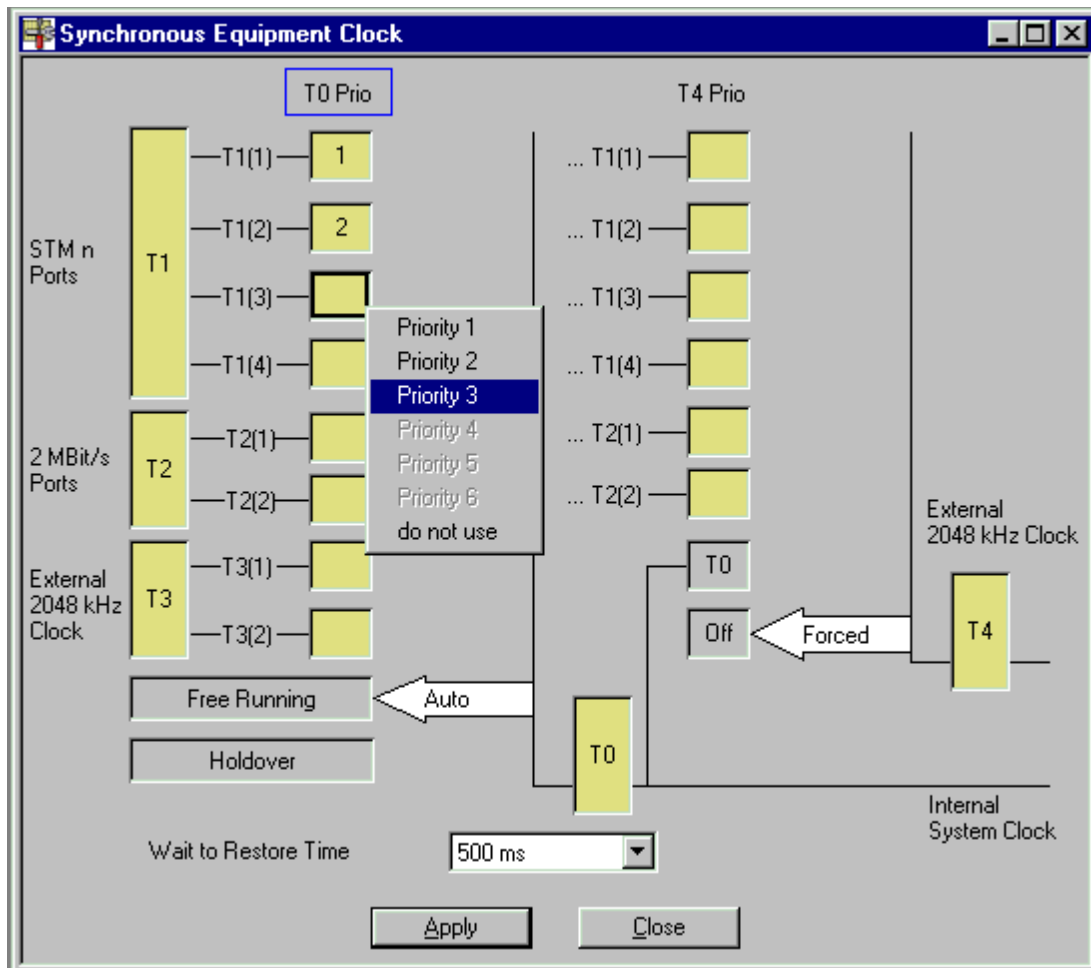


Figura. 5.23. Acceso y configuración de prioridades de sincronismo del sistema SMA 16².

Aquí la prioridad estará definida desde el número 1 hasta el 6, siendo el número 1 de mayor prioridad.

² Siemens, Optical Networks SMA Series 4 Commissioning

5.5.3 Instalación y configuración del sincronismo en los equipos Huawei OSN 3500

Para realizar la instalación física, el equipo OSN 3500 tiene un panel llamado AUX, en el cual se encuentran cuatro puertos SMB hembra los cuales corresponden a entradas y salidas de señal de señales de reloj desbalanceada (75 Ω) que serán usadas para el sincronismo del sistema. Además consta de dos puertos RJ-45 para señales de reloj balanceada (120 Ω). En la figura 5.24 ilustra el panel AUX y sus puertos para las señales de reloj.

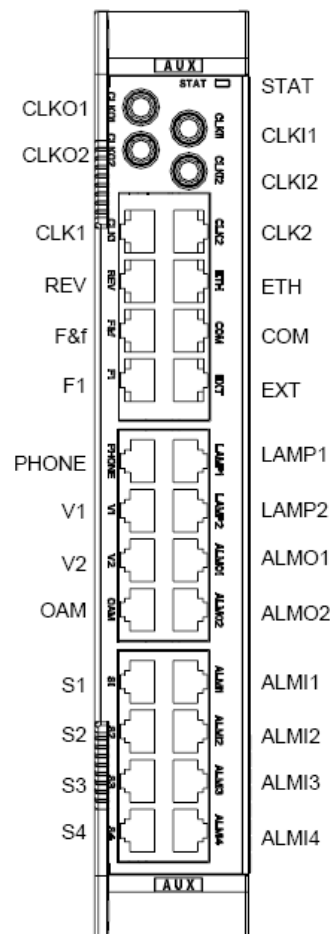


Figura. 5.24. Panel AUX del equipo OSN 3500³.

Del panel AUX expresado en la figura 5.24 los puertos que nos van a interesar serán los siguientes detallados en la tabla 5.3.

³ Huawei, OptiX OSN 3500 Intelligent Optical Transmission System Installation Manual

Tabla. 5.3. Descripción de los puertos para las señales de reloj del panel AUX del sistema OSN 3500³.

Interface	Descripción
CLKO1	Señal de salida de reloj 1 (75 Ω).
CLKO2	Señal de salida de reloj 2 (75 Ω).
CLKI1	Señal de entrada de reloj 1 (75 Ω).
CLKI2	Señal de entrada de reloj 2 (75 Ω).
CLK1	Señal de reloj 1 (120 Ω).
CLK2	Señal de reloj 2 (120 Ω).

Si es el caso de usar los puertos RJ-45 (120 Ω), la configuración de sus pines será la que indica la figura 5.25.

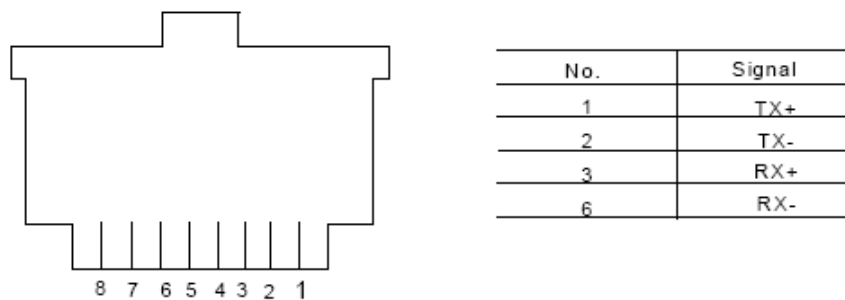


Figura. 5.25. Configuración de pines para el puerto RJ-45 (120 Ω) para señales de reloj del sistema OSN 3500³.

Las interfaces de las señales de reloj cumplen con lo estipulado en la recomendación de UIT-T G.703.

Para la instalación es recomendable utilizar los puertos SMB hembra, los conectores SMB machos a un cable coaxial de 75 Ω y conectores BNC al otro extremo para conectarse con el SSU (Dependerá principalmente de los conectores que el equipo SSU disponga, por lo general son BNC a 75 Ω).

³ Huawei, OptiX OSN 3500 Intelligent Optical Transmission System Installation Manual

Se debe indicar que se utilizaran los dos puertos de entrada y los dos puertos de salida de la señal de reloj, uno para funcionamiento normal y el otro como respaldo.

Configuración de las interfaces de sincronismo.

Dentro de la configuración de las interfaces de reloj, existen las siguientes configuraciones que se deben realizar: establecer la lista de prioridades de la señal de reloj (fuente y salida), parámetros de conmutación y comprobación de estado de sincronismo del sistema.

Como primer paso tendremos el establecer una lista de las fuentes de la señal de reloj que el sistema podrá utilizar para su funcionamiento. Para acceder a esta lista y configurarla debemos seguir los siguientes pasos: seleccionar configuración, ver reloj, a continuación sobre el icono del elemento de red escoger lista de prioridades de la fuente de reloj y crear una nueva lista. Una vez accedido a esta ventana como se indica en la figura 5.26 podremos escoger en orden ascendente cual es la señal de reloj que tendrá mayor prioridad.

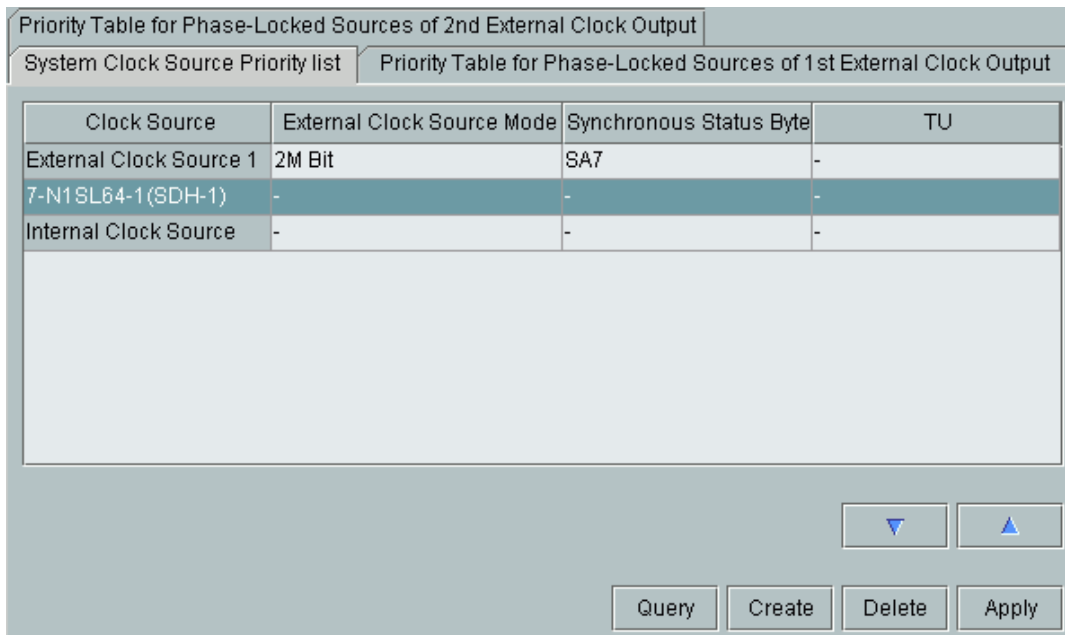


Figura. 5.26. Configuración de la lista de prioridades de la fuente de la señal de reloj para el sistema OSN 3500⁴.

Con las flechas de la parte izquierda y seleccionando la fuente de la señal de reloj podremos establecer su prioridad. Además, si la señal proviene de una fuente externa se deberá establecer el modo de funcionamiento ya sea análogo (2 MHz) o digital (2 Mbps) y también establecer su SSM (*Synchronous Status Byte*).

Ahora en la pestaña siguiente (*Priority Table for Phase-Locked Sources of 1st Clock Output*), para establecer la lista de prioridades para la primera señal de salida de reloj del sistema. En la figura 5.27 se expresa la ventana donde se encuentra la lista de prioridades para la primera señal de salida de reloj.

⁴ Huawei, OptiX OSN 3500 Intelligent Optical Transmission System Service Configuration Guide

Clock Source	Effective Status	Lock Status
7-N1SL64-1(SDH-1)		
8-N1SL64-1(SDH-1)		

Trace Mode: Inte... Current Trace Source: NA Switching Source: NA
Switching Status: Normal S1 Byte Received: NA

Query Create Delete Apply

Figura. 5.27. Configuración de la lista de prioridades para la primera señal de salida de reloj para el sistema OSN 3500⁴.

De la misma forma creamos una lista nueva y establecemos el orden con las flechas ubicadas en la parte izquierda.

Para configurar la segunda señal de salida de reloj, repetimos los pasos, seleccionamos la pestaña (*Priority Table for Phase-Locked Sources of 2nd Clock Output*) para establecer la lista de prioridades para la segunda señal de salida de reloj del sistema. En la figura 5.28 se expresa la ventana donde se encuentra la lista de prioridades para la segunda señal de salida de reloj.

⁴ Huawei, OptiX OSN 3500 Intelligent Optical Transmission System Service Configuration Guide

Priority Table for Phase-Locked Sources of 2nd External Clock Output		
System Clock Source Priority list	Priority Table for Phase-Locked Sources of 1st External Clock Output	
Clock Source	Effective Status	Lock Status
7-N1SL64-1(SDH-1)		
8-N1SL64-1(SDH-1)		
<input type="button" value="▼"/> <input type="button" value="▲"/>		
Trace Mode	<input type="text" value="Inte..."/>	Current Trace Source <input type="text" value="NA"/>
Switching Status	<input type="text" value="Normal"/>	Switching Source <input type="text" value="NA"/>
		S1 Byte Received <input type="text" value="NA"/>
<input type="button" value="Query"/> <input type="button" value="Create"/> <input type="button" value="Delete"/> <input type="button" value="Apply"/>		

Figura. 5.28. Configuración de la lista de prioridades para la segunda señal de salida de reloj para el sistema OSN 3500⁴.

De la misma forma creamos una lista nueva y establecemos el orden con las flechas ubicadas en la parte izquierda.

Para acceder a la venta de configuración de los parámetros de conmutación de la señal de reloj, se debe realizar los siguientes pasos: en el explorador de los elementos de red (NE), seleccionamos el elemento de red y a continuación configuración, reloj y conmutación de la fuente de reloj. Al realizar estos pasos accederemos a una venta como la ilustrada en la figura 5.29.

⁴ Huawei, OptiX OSN 3500 Intelligent Optical Transmission System Service Configuration Guide

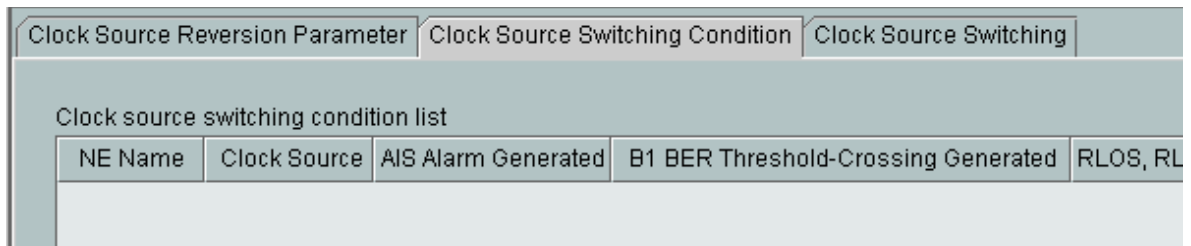


Figura. 5.29. Configuración de la conmutación de la fuente de la señal de reloj para el sistema OSN 3500⁴.

Aquí estableceremos de acuerdo a ciertas alarmas o acontecimientos la conmutación a una diferente fuente de señal de reloj. Es recomendable no crear ninguna condición de conmutación ya que establecimos anteriormente ya una lista de prioridades.

En las pestañas subsecuentes tenemos dos opciones que pueden ser útiles, la primera es la pestaña de parámetros de retorno de la fuente de reloj (*clock source reversion parameter*) en la cual como indica la figura 5.30 determinaremos si al ocurrir un fallo y dentro de la lista de prioridades se escogió otra fuente de señal de reloj, al solucionarse la falla el sistema regresa o no a su fuente original.

Clock source reversion parameter list		
NE Name	Higher Priority Clock Source Reversion Mode	Clock Source WTR Time(Min.)
NE71	Auto-Revertive	5
	Auto-Revertive	
	Non-Revertive	

Figura. 5.30. Ventana de parámetros de retorno de la fuente de reloj del sistema OSN 3500⁴.

La segunda pestaña trata sobre la conmutación a una fuente de señal de reloj (*clock source switching*), donde como se ilustra en la figura 5.31 se forzará o cambiar de forma manual a otra fuente de señal de sincronismo que esté dentro de la lista. Esta opción será muy útil en el caso de mantenimiento o pruebas del sistema.

⁴ Huawei, OptiX OSN 3500 Intelligent Optical Transmission System Service Configuration Guide

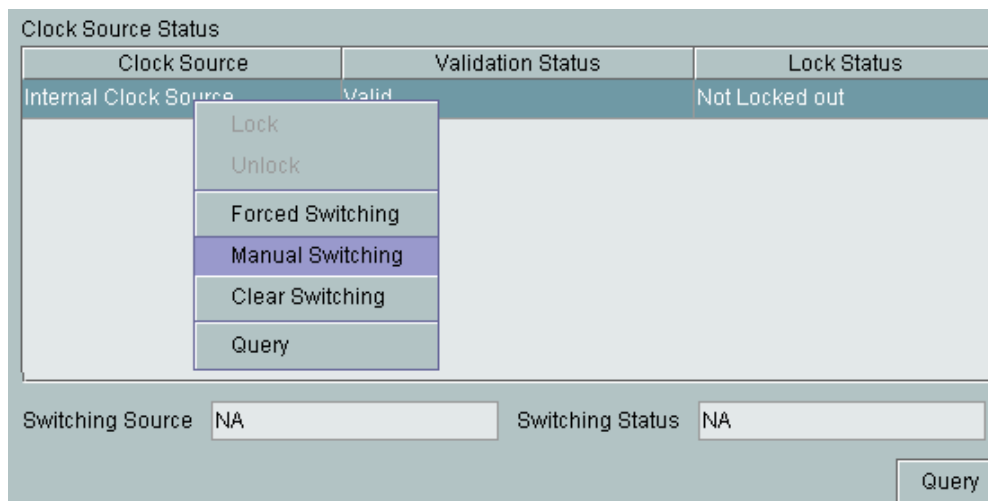


Figura. 5.31. Ventana de conmutación a una fuente de reloj del sistema OSN 3500⁴.

Para la configuración a realizar para nuestro diseño estará enfocada a tres puntos: lista de prioridades de la fuente de la señal de reloj, lista de prioridades de la señal de salida de reloj y los parámetros de retorno de la fuente de reloj.

5.6 Manejo y Gestión de la red de sincronismo

Dentro del diseño de la red de sincronismo, se contempla también el diseño de una red que administre y gestione la red de sincronismo. Como se vio en el capítulo 4 dentro de las normativas y recomendaciones provistas para este tipo de sistema se contemplan los siguientes objetivos que el sistema deberá cumplir:

- Administración de fallas.
- Administración de configuraciones.
- Administración de usuarios.
- Administración de desempeño.
- Administración de seguridad.

Todos los objetivos deberán ser cumplidos en los diferentes niveles de gestión por el sistema de administración y gestión (software) que será instalado

⁴ Huawei, OptiX OSN 3500 Intelligent Optical Transmission System Service Configuration Guide

en la red y dicho software deberá ser suministrado por la empresa que realice la venta e instalación de los equipos de la red de sincronismo.

Se debe recalcar que los objetivos antes mencionados están estipulados en la recomendación de UIT-T M.3010 que trata sobre Administración y Gestión de Redes de Telecomunicaciones.

Ahora también se debe indicar los requerimientos y el diseño en si de la red de sincronismo que se ilustran en la figura 5.32.

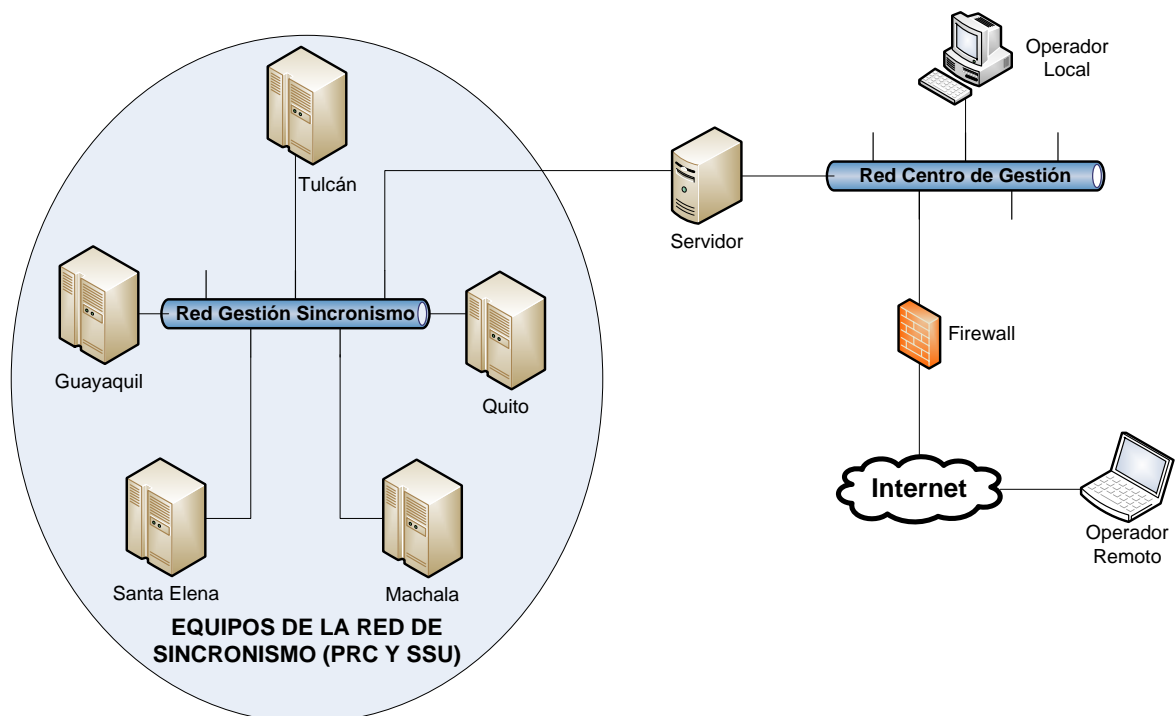


Figura. 5.32. Diagrama de la red de administración y gestión de la red de sincronismo.

Como se pudo apreciar en la figura 5.32, todos los elementos de la red de sincronismo (PRC y SSU) se conectarán a una red Ethernet, la cual permitirá su comunicación con el Centro de Gestión localizado en Quito.

En el centro de gestión se encontrará un servidor el cual contará con un registro de todas las actividades, información, usuarios de la red de sincronismo. El software para este servidor de igual forma tiene que ser suministrado por el vendedor de los equipos de la red de sincronismo. El servidor deberá operar bajo

un sistema operativo, cualquiera sea este (Windows, Linux, Unix, entre otros) y que soporte principalmente los requerimientos del software de administración y gestión que el proveedor presente.

El operador local, llamado así, será el operador quien administre y gestione la red de sincronismo. El operador local deberá tener todos los niveles de acceso a su alcance con el fin de realizar cualquier modificación que sea necesaria. Este operador local también será el encargado de monitorear el funcionamiento de la red de sincronismo, que con la ayuda del software proporcionado por el vendedor, dicho software deberá cumplir con los 5 objetivos antes mencionados para TNM.

También deberá garantizar de forma remota el acceso, que por lo general servirá para monitorear a la red de sincronismo. El operador remoto accederá al servidor para visualizar la información requerida. El software a emplearse en los equipos de la red deberán ser capaces de soportar acceso remoto y comunicación por el protocolo SNMP para comunicarse entre la red y el servidor de administración gestión.

Para la configuración de la red, el software que proporcionara el vendedor de los equipos de la red de sincronismo, deberá manejarse a través de direccionamiento IP y constar con las respectivas seguridades con el fin de evitar el ingreso a la red de personas ajenas al sistema.

En parte con el software de administración y gestión de la red de sincronismo, así como también, todo el sistema de equipos en conjunto, todos estos deberán presentar información, permitir su administración y gestión en tiempo real, ya que esta red de sincronismo se basa en “la precisión del tiempo”.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se completó exitosamente con el diseño de la red de sincronismo para TRANSELECTRIC, cumpliendo con todos los pasos pertinentes que este tipo de diseño requiere.

Primero se comprendió teóricamente cuales son los problemas que aquejan a una red de transporte óptico basado en SDH. En la cual el sincronismo es la base en la transmisión de tramas constantes de bits. Se reconoció que el sincronismo es la fortaleza del sistema SDH, por lo que para garantizar una transmisión de datos de calidad, es fundamental contar con una adecuada red de sincronismo.

Uno de los pasos fundamentales para realizar el diseño de la red de sincronismo fue realizar el reconocimiento de la realidad actual de la red de transporte, adicionando sus perspectivas. El diseño de la red de sincronismo contempla la situación actual y las proyecciones futuras, por lo que garantizará un diseño funcional para la red de transporte óptico de TRANSELECTRIC.

La red de transporte óptico de TRANSELECTRIC desplegada en las principales ciudades del Ecuador, con sus interconexiones en sus fronteras Norte y Sur, además de su proyección hacia la interconexión con cables submarinos en

la península de Santa Elena, tiene sus puntos débiles por así decirlo, dichos puntos vulnerables fueron considerados para el diseño de la red de sincronismo, de tal forma estableciendo el diseño de una red de sincronismo robusta que certificará su correcto funcionamiento dentro de la red de transporte óptico.

El diseño y plan de sincronismo para la red de transporte óptico de TRANSELECTRIC cumple con los requisitos que este tipo de diseño requiere de acuerdo a normas internacionales de la UIT-T y el plan técnico fundamental de sincronismo propuesto por el CONARTEL. Garantizando un correcto funcionamiento, disponibilidad y calidad de primer nivel para así ajustarse a los objetivos de la empresa planteados en su plan estratégico.

Se realizó el estudio de las soluciones y justificaciones del diseño de la red, de entre las principales se encuentran las recomendaciones de la UIT-T G.803, G.811, G.812, G.812, G.825, G.822, G.8261, entre otras.

Para de instalación de los equipos de la red de sincronismo y la configuración de los equipos existentes en la red de transporte óptico, se establecieron criterios y disposiciones generales, tanto en la parte física de conexiones como configuraciones de los sistemas y requisitos del software para una correcta administración y gestión de la red de sincronismo.

Cabe mencionar que TRANSELECTRIC es una empresa líder en transporte de información en el Ecuador y por lo tanto su oficio es el de transportar información, pero para garantizar que su trabajo sea de calidad debe proyectarse un paso delante de lo que sus clientes desean y el contar con una red de sincronismo de calidad es la base hacia la nueva generación de redes y servicios.

El sincronismo es establecer la precisión del tiempo entre todos los elementos de la red y comprende dentro de la ingeniería su diseño, distribución y funcionamiento.

6.2 Recomendaciones

La red de sincronismo deberá ser monitoreada al igual que se lo realiza con la red de transporte (24/7) para garantizar su correcto funcionamiento.

Existen detalles sobre la instalación de los equipos de la red de sincronismo que no se han tomado en cuenta principalmente porque son variantes que dependerán principalmente de la oferta que el proveedor de los equipos plantee. Entre estos se encuentra: dimensiones físicas de los equipos, especificaciones del hardware de los servidores, manejo del software de administración y gestión de la red de sincronismo, software de configuración de los equipos de la red de sincronismo, cables de instalación.

Para el diseño también se contempla el uso de una red de transporte basado en DWDM para varias longitudes de onda, en un primer paso 8 lambdas con proyección hasta 40 lambdas. También se debe especificar que cada longitud de onda (lambda) usara un sistema de transmisión de datos en SDH.

El diseño de la red de sincronismo es modular y se lo puede realizar en varias fases. Se requerirá de un estudio previo para determinar dichas fases.

Para la administración remota del sistema de administración y gestión de la red de sincronismo y de los servidores NTP, se debe realizar un estudio de todas las seguridades de acceso a esta red debe tener ya que es una parte fundamental y vulnerable de la red de transporte de TRANSELECTRIC.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Khurram, Kazi, *Optical Networking Standards: A Comprehensive Guide*, Primera Edición, Springer, Estados Unidos 2006.

Bregni, Stefano, *Synchronization of Digital Telecommunications Networks*, Primera Edición, John Wiley and Sons, Inglaterra 2002.

UIT-T Recomendación G.703, *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas*, UIT-T, Ginebra noviembre 2001.

UIT-T Recomendación G.707/Y.1322, *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)*, UIT-T, Ginebra enero 2007.

UIT-T Recomendación G.803, *Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona*, UIT-T, Ginebra marzo 2000.

UIT-T Recomendación G.805, *Arquitectura funcional genérica de las redes de transporte*, UIT-T, Ginebra marzo 2000.

UIT-T Recomendación G.810, *Definiciones y terminología para redes de sincronización*, UIT-T, Ginebra agosto 1996.

UIT-T Recomendación G.811, *Características de temporización de los relojes de referencia primarios*, UIT-T, Ginebra septiembre 1997.

UIT-T Recomendación G.812, *Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización*, UIT-T, Ginebra junio 2004.

UIT-T Recomendación G.813, *Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona*, UIT-T, Ginebra junio 2004.

UIT-T Recomendación G.822, *Objetivos de tasa de deslizamientos controlados en una conexión digital Internacional*, UIT-T, Ginebra 1993.

UIT-T Recomendación G.825, *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona*, UIT-T, Ginebra marzo 2000.

UIT-T Recomendación G.827, *Parámetros y objetivos de disponibilidad para trayectos digitales internacionales de extremo a extremo de velocidad binaria constante*, UIT-T, Ginebra septiembre 2003.

UIT-T Recomendación G.8010/Y.1306, *Arquitectura de redes de capa Ethernet*, UIT-T, Ginebra febrero 2004.

UIT-T Recomendación G.8251, *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en la red óptica de transporte*, UIT-T, Ginebra noviembre 2001.

UIT-T Recomendación G.8261/Y.1361, *Aspectos de la temporización y la sincronización en las redes de paquetes*, UIT-T, Ginebra mayo 2006.

UIT-T Recomendación Serie G Suplemento 36, *Acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase en las redes digitales*, UIT-T, Ginebra noviembre 1988.

UIT-T Recomendación M.3010, *Principios para una red de gestión de las telecomunicaciones*, UIT-T, Ginebra febrero 2000.

UIT-T Recomendación X.85/Y.1321, *Protocolo Internet por la jerarquía digital síncrona que utiliza el procedimiento de acceso al enlace de la jerarquía digital síncrona*, UIT-T, Ginebra marzo 2001.

UIT-T Recomendación X.86/Y.1323, *Ethernet sobre procedimiento de acceso al enlace - Jerarquía digital síncrona*, UIT-T, Ginebra febrero 2001.

UIT-T Recomendación Y.1453, *Interfuncionamiento TDM-IP – Interfuncionamiento en el plano del usuario*, UIT-T, Ginebra marzo 2006.

CONATEL, *Plan Técnico Fundamental de Sincronismo (PTFSI)*, CONATEL, Quito junio 2007.

Temex Application Note TF13, *Network Synchronization Architecture Fundamentals*, Temex.

Eidson John, *IEEE-1588 Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*, Agilent Technologies, julio 2006.

Gilson Mike y Flavin Tony, *Synchronous Ethernet – A Carriers Perspective*, BT Exact – Next Generation Networks.

Huawei Technical White Paper, *Clock over Ethernet*, Huawei Technologies, 2007.

Nokia Siemens Networks, *Time over Packet – Technical Brief*, Nokia Siemens Networks Corporation, 2007.

Hamster Harald y Seery Mark, *Special Report: State of Network Synchronization*, RHK, junio 2005.

Ullas Kumar, *Synchronizing network elements on SONET/SDH rings*, *International IC – Taipei*.

Siemens, *Surpass hiT 7070 3.2 Customer Documentation*, Siemens AG, Alemania 2006.

Siemens, *Optical Networks SMA Series 4 Commissioning*, Siemens AG, Alemania 2002.

Huawei, *OptiX OSN 3500 Intelligent Optical Transmission System Installation Manual*, Huawei Technologies, China 2005.

Huawei, *OptiX OSN 3500/2500/1500 Intelligent Optical Transmission System Service Configuration Guide*, Huawei Technologies, China 2005.

FECHA DE ENTREGA

El proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a _____ de 2008.

Coordinador de Carrera

Secretario Académico

Ing. Gonzalo Olmedo

Ab. Jorge Carvajal

Elaborado por

Alejandro Castillo Shcherbakov