



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“Análisis del Ruido de Fase (Jitter y Wander)  
en  
Redes Síncronas SDH de Comunicaciones”**

**Tesis de Licenciatura  
que para obtener el Título de  
Ingeniero Mecánico y Eléctrico  
Área Eléctrica y Electrónica**

**Presenta:  
Álvaro Alejandro Marroquín Mora**

**Director de Tesis:  
Dr. Miguel Moctezuma Flores**

**2009**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Dedicatorias

A Arturo Marroquin y Montiel y Estela Eleuteria Mora Sandoval por enseñarme con el ejemplo que nuestra mejor herencia a los hijos es la educación, y esta debe estar por encima de las metas y sueños personales.

A Maria Del Carmen González Salazar por su esfuerzo y dedicación que pone día a día para alcanzar las metas que nos hemos trazado juntos.

A Liseth Alejandra y Cynthia Daniela por ser la motivación para superarme cada día y llegar a ser mejor persona.

A Juan Carlos y Adriana por todo el apoyo que me han dado durante toda su vida.

A Victor Mora Sandoval y Teodora Sandoval Vivanco por que en todos los momentos importantes y trascendentes de mi vida, han brindado todo su apoyo incondicional, sin esperar algo a cambio.

A todos los que me han apoyado para terminar mis estudios a nivel licenciatura y en particular este trabajo de tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por que a través de su Facultad de Ingeniería posibilita a sus egresados a solucionar problemas para bien de la sociedad y el desarrollo de nuestro país.

# ÍNDICE

	PÁGINA
<b>INTRODUCCIÓN</b>	8
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b>	12
<b>1.1 REDES DIGITALES SÍNCRONAS</b>	13
1.1.1 Antecedentes	13
1.1.2 SDH: La analogía con un embarque transportado por tren	13
1.1.3 Términos y definiciones	16
1.1.4 Desde la carga hasta el módulo síncrono de transporte	18
1.1.4.1 Mapeo (Mapping)	
1.1.4.2 Encabezado POH	
1.1.4.3 Apuntadores	
1.1.4.4 Sección de encabezado SOH	
1.1.4.5 Módulos de transporte STM-N	
1.1.5 Alarmas SDH	33
1.1.6 Otras funciones realizadas por los apuntadores	34
1.1.7 Elementos y estructuras de Red	37
1.1.8 Sincronización de Redes Digitales	42

	PÁGINA
<b>1.2 RUIDO DE FASE (JITTER Y WANDER)</b>	47
1.2.1 Causas y Efectos del Jitter	47
1.2.2 ¿Por qué debe ser medido el Jitter?	48
1.2.3 ¿Cómo es medido el Jitter?	49
1.2.4 Estructura de un analizador de Jitter	51
1.2.5 Características de la medición del Jitter	52
1.2.5.1 Medición de Jitter intrínseco	
1.2.5.2 Medición del máximo Jitter tolerable.	
1.2.5.3 Midiendo la función de transferencia de Jitter	
1.2.5.4 Análisis de Wander	
<b>1.3 TECNOLOGÍA DE RELOJES PARA COMUNICACIONES</b>	59
1.3.1 Antecedentes	59
1.3.2 Osciladores de Comunicaciones	60
1.3.2.1 Osciladores de Cuarzo	
1.3.2.2 Osciladores Atómicos	
1.3.2.3 El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>METODOLOGÍA DE DETECCIÓN, ANÁLISIS Y RESOLUCIÓN DE EVENTOS ORIGINADOS POR EL RUIDO DE FASE</b>	64
<b>2.1 ELEMENTOS DE DETECCIÓN</b>	65
2.1.1 Detección del Ruido de Fase de Alta Frecuencia (Jitter)	65

	PÁGINA
2.1.2 Detección del Ruido de Fase de Muy Baja Frecuencia (Wander)	65
2.1.3 Analizadores de Comunicaciones Comerciales	66
2.1.4 Distribución de sincronía	67
<b>2.2 METODOLOGÍA</b>	69
2.2.1 Recepción del evento	69
2.2.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados	69
2.2.3 Evaluación del Ruido de Fase	70
2.2.3.1 Medición de la estabilidad de reloj	
2.2.3.2 Evaluación del Nodo	
2.2.4 Reporte de Solución del evento	72
<b>2.3 MÁSCARAS DE TOLERANCIA PARA ITU-T</b>	73
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>ANÁLISIS DE UNA RED SÍNCRONA SDH DE COMUNICACIONES</b>	77
<b>3.1 EVENTO 1: INSTALACIÓN DE UN ANILLO SDH CONFORMADO POR CUATRO CENTRALES</b>	78
3.1.1 Recepción del evento 1	78
3.1.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados	79

	PÁGINA
3.1.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 1	80
3.1.4 Reporte de Solución del evento 1	93
<b>3.2 EVENTO 2: DEGRADACIÓN DE UNA SEÑAL DE SINCRONÍA RECIBIDA EN UNA CENTRAL</b>	94
3.2.1 Recepción del evento 2	94
3.2.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados	95
3.2.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 2	96
3.2.4 Reporte de Solución del evento 2	109
<b>3.3 EVENTO 3: ANILLO SDH CON PÉRDIDA DE SEÑAL Y MOVIMIENTO DE APUNTADORES</b>	111
3.3.1 Recepción del evento 3	111
3.3.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados	112
3.3.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 3	113
3.3.4 Reporte de Solución del evento 3	124
<b>3.4 EVENTO 4: INTERCONEXION CON RED EXTERNA CON ERRORES DE COMUNICACIÓN</b>	125
3.4.1 Recepción del evento 4	125
3.4.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados	127

	PÁGINA
3.4.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 4	127
3.4.4 Reporte de Solución del evento 4	135
<b>3.5 EVENTO 5: PERDIDA DE SEÑAL INTERMITENTE EN UN ENLACE</b>	136
3.5.1 Recepción del evento 5	136
3.5.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados	138
3.5.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 5	138
3.5.4 Reporte de Solución del evento 5	144
<b>CONCLUSIONES</b>	146
<b>ESTADO ACTUAL DE LA ATENCIÓN DE EVENTOS</b>	147
<b>EVENTOS ANALIZADOS CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA</b>	149
Impacto Comercial en la Organización	149
Impacto Técnico en la Organización	150
<b>RETOS PARA LOS INGENIEROS MEXICANOS</b>	152
Transferencia Tecnológica.	152
Métodos de Operaciones.	153
Soluciones Interdisciplinarias.	153
<b>EPÍLOGO</b>	155
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	156





# INTRODUCCIÓN



## **INTRODUCCIÓN**

Con la llegada del nuevo milenio, la floreciente demanda de información en nuestra moderna sociedad industrializada mantiene a la industria de las telecomunicaciones en constante agitación. Las Redes de Comunicaciones deben encontrar soluciones para las crecientes expectativas.

Los Operadores de Redes compiten ofreciendo nuevos servicios, eficiencias mejoradas (bajas tasas de error de bit, Alta disponibilidad) entregando al mismo tiempo mejores soluciones económicas basadas en capacidades flexibles de ancho de banda. Estas tendencias tienen consecuencias técnicas, incluyendo técnicas de transmisión más caras, intervalos mayores de datos y topología de redes más complejas. Redes Sincronizadas basadas en tecnologías SDH/SONET son las más utilizadas para cubrir estos requerimientos y las más comunes en aplicaciones de transmisión.

Sin embargo, estas redes tienen una alta demanda de sincronización y, por consiguiente, la estabilidad de fase de los relojes y de las señales de datos. En la vida real, varios factores de interferencia impiden una sincronización perfecta.

Todos los sistemas son afectados por ruido de fase llamado "Jitter" y/o "Wander", éstos pueden causar errores de bit, deslizamientos de señal, pérdida de datos o interferencia en la frecuencia y de ese modo debilitamiento de la calidad de la transmisión; por esto es muy importante verificar la sincronización durante las pruebas de aceptación y de mantenimiento de los elementos de la red.

Los grandes operadores cuentan con redes SDH/SONET muy grandes y complejas, que cubren grandes extensiones de territorio cubriendo las necesidades de

comunicaciones de millones de usuarios. Esto hace muy complicada la arquitectura de la red de sincronización y junto al gran auge y demanda de más servicios de comunicación, complica aún más el crecimiento y mantenimiento de las Redes.

Cada operador cuenta con un equipo de especialistas en soporte técnico encargados en atender todos los requerimientos de sincronización de las redes de comunicación nuevas, así como, de mantener las ya instaladas. Normalmente este grupo es insuficiente por la cantidad de elementos de red instalados, por lo que siempre están respaldados por todos sus proveedores de equipo, incluso con algunos tienen firmados contratos de soporte técnico que ofrecen servicios en sitio de 7 días por 24 horas los 356 días del año.

Alrededor del mundo se encuentran muy pocos especialistas técnicos en sincronización de redes SDH/SONET, y en particular en la región de América Latina, los grupos de ingenieros de soporte técnico son entrenados en la práctica. La gran complejidad de las redes y la falta de información que existe de la tecnología de sincronización, encausa a todos estos ingenieros a atender los eventos de diferente manera, cada uno siguiendo su propia forma de localizar fallas o soluciones a eventos dependiendo de su nivel técnico o de experiencia dentro de la industria de telecomunicaciones.

En algunas ocasiones, esta forma es adecuada para ciertos casos, pero en otras se complican, a lo que la solución se vuelve muy lenta. Tomando en cuenta que entre más rápido se resuelvan los eventos, serán menos las pérdidas de dinero por cuestiones de penalización o facturación de servicios, la rapidez del ingeniero de soporte técnico en la resolución de eventos se vuelve crítica.

El propósito de este trabajo es proponer una metodología para estandarizar la forma de solucionar eventos encontrados de las redes. Esta es una herramienta para apoyar al ingeniero de soporte técnico inexperto y también para el que esté muy familiarizado con las redes de comunicaciones. Siempre será necesario que el ingeniero tenga los conocimientos básicos de Redes SDH/SONET, de sincronización de redes, de equipo de medición, así como de estándares internacionales. Sin embargo lo más importante es que tenga la información disponible, para ocupar lo que necesite sin perder de vista el objetivo que es resolver los eventos lo más pronto posible. Por supuesto aplicaremos la metodología a casos reales y finalmente revisaremos si ésta apoya al ingeniero de soporte técnico, en localización de fallas y resolución de eventos.



# MARCO TEÓRICO



# **CAPÍTULO 1.**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 REDES DIGITALES SÍNCRONAS**

#### **1.1.1 Antecedentes**

Las redes basadas en tecnología PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) no han podido cumplir con las nuevas demandas de las comunicaciones. Redes LAN y WAN requieren fusionarse en una sola red como actualmente se está dando. La gran demanda de comunicaciones requiere que los proveedores de redes deben ser más efectivos. Intervalos de tiempo con fallas de horas o varios días no son aceptados hoy en día en un mundo con un ambiente de una red multimedia globalizada.

Las redes PDH son caracterizadas por una significativa desventaja. Un cambio en la topología de la red requiere de la presencia de un técnico en sitio. Un cambio de configuración para un cliente corporativo puede tomarle al proveedor de red semanas o varios meses.

La tecnología SDH (Synchronous Digital Hierarchy) transforma lo estático, el equipamiento de la red se vuelve flexible con los sistemas de gestión. Esto permite configuraciones dinámicas de lo que previamente eran redes relativamente rígidas.

#### **1.1.2 SDH: La analogía con un embarque transportado por tren.**

Una red SDH típica incluye grandes secciones de transporte en cuyos componentes son formados por algunas variantes de multiplexores y regeneradores (fig. 1.1).

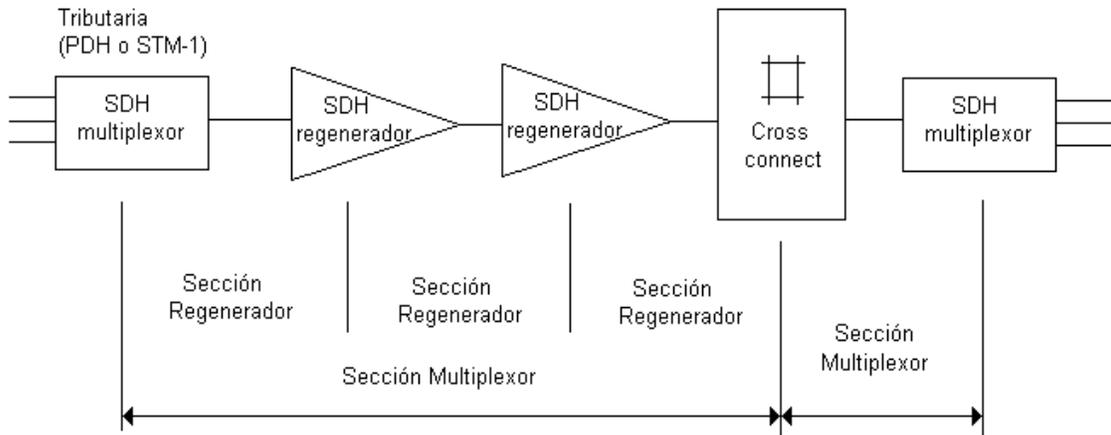


Fig. 1.1 Componentes de una red SDH

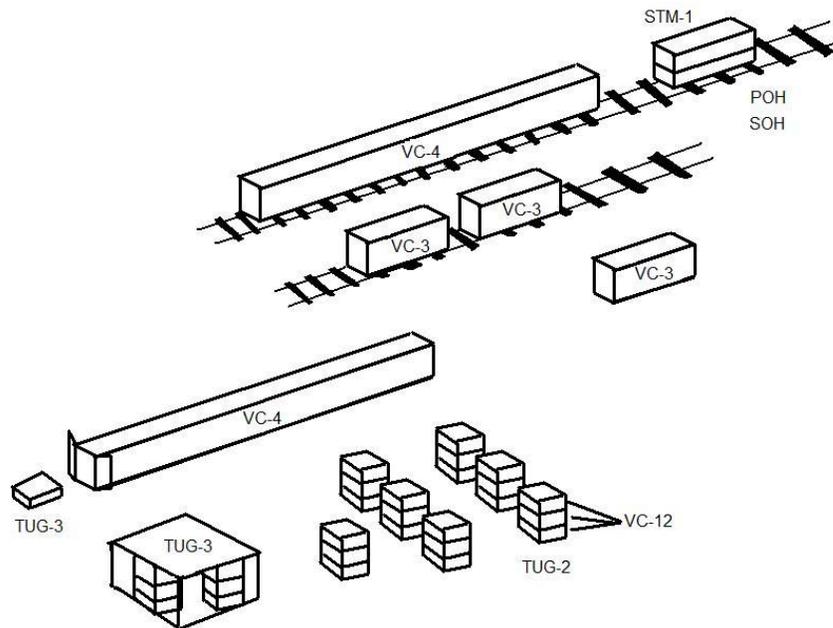
Los segmentos de comunicaciones con el regenerador o entre regeneradores son llamados "sección regenerador". La correspondiente sección entre multiplexores es llamada "sección multiplexor".

El principio detrás de SDH es simple y puede ser comparado con el procedimiento de un embarque transportado por tren.

En las estaciones de carga de SDH, la carga es introducida en un largo contenedor y es acoplado en una locomotora para el envío a la siguiente estación. Antes de comenzar el envío se le coloca una "Etiqueta Resumen" en el contenedor describiendo los detalles básicos del tipo y tamaño del contenedor para que en el caso de sufra algún daño el contenido del contenedor, éste puede ser reconocido. El "tamaño" o carga útil en el contenedor puede variar dentro de ciertos límites pero el tamaño del contenedor no debe ser cambiado. Si sólo serán transportados pequeños paquetes, existirán también paquetes con información adicional y se podrán meter hasta 63 paquetes iguales en el contenedor.

La locomotora es un diseño reciente: Se monitorea ella misma y transporta información general acerca de la composición actual del contenedor para la carga en la siguiente estación. Una especial característica es el acoplamiento

flexible. El gran contenedor no es acoplado a una distancia fija de la locomotora pero se le anexa un enlace que puede ser extendido dentro de ciertos límites. De esta manera la distancia entre el contenedor y la locomotora es variable. Para ahorrar tiempo y esfuerzo en la siguiente estación de carga, la locomotora continuamente registra la longitud actual del enlace y por lo tanto la posición del contenedor. Esta información es necesaria para colocar la carga en la zona de cambio y así localizar el contenedor automáticamente. Esta analogía es ilustrada en la figura 1.2.



*Figura 1.2 Analogía con un empaque transportado en tren*

Estas características de SDH tienen una verdadera conexión entre esta analogía y la realidad técnica. Las estaciones de carga son los cross-connects síncronos (conmutadores síncronos) o los multiplexores, la locomotora es el SOH (sección de encabezado) y la "Etiqueta Resumen" es el POH (trazo de encabezado). La flexibilidad del acoplamiento del contenedor representa el principio del apuntador. La locomotora y el contenedor juntos forman el módulo de transporte síncrono STM (Synchronous Transport Module).

La figura 1.3 muestra una forma simplificada de la trama STM y sus componentes básicos. La trama de STM-1 está compuesta de 9 filas de 270 bytes cada una. El estado de bits individuales es transmitido línea por línea en un orden cronológico,

comenzando por la izquierda. La velocidad de transmisión dada por la información de la figura 2.3 es  $(270 \times 9 \times 8 \text{ bits}) / 125 \text{ s} = 155.52 \text{ Mbit/s}$ .

La frecuencia de la trama es 8000Hz, derivados de la longitud de la trama. Cada byte (el punto donde una fila cruza con una columna) es un canal de 64kbit/s ( $8 \text{ bits} \times 8000 \times 1/\text{s}$ ).

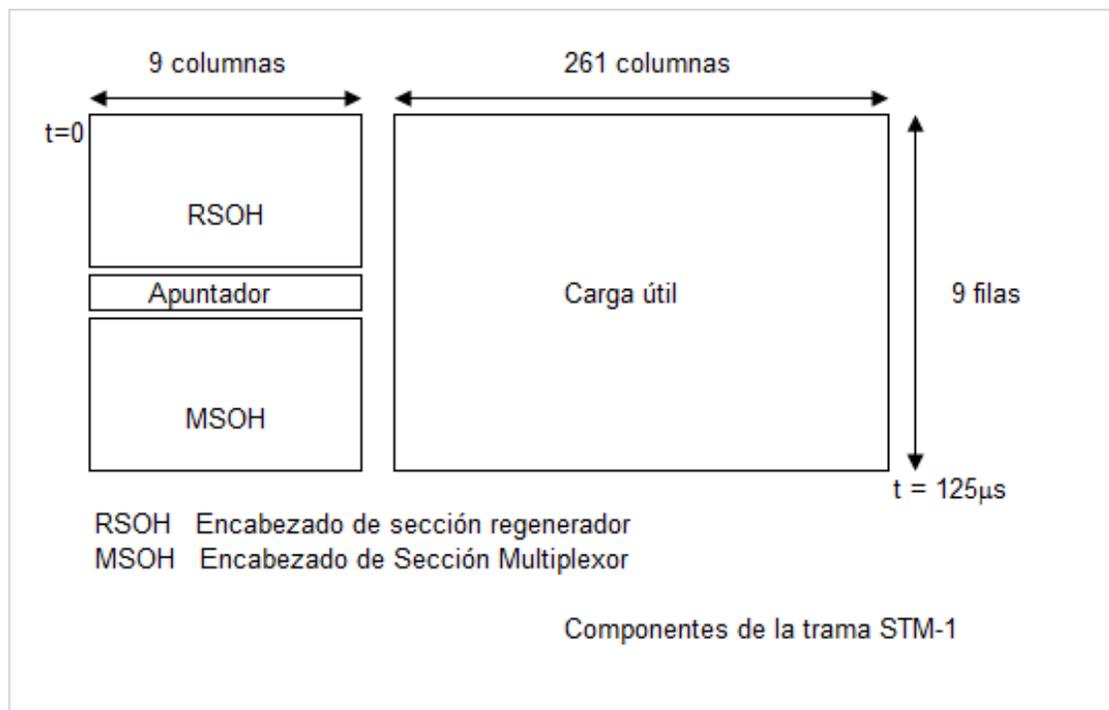


Figura 1.3 Componentes de la Trama STM-1

### 1.1.3 Términos y definiciones

El módulo de transporte síncrono STM-1 está formado por el método descrito en la figura 1.4. Las señales asíncronas (carga útil) son empaquetadas dentro de contenedores de tamaño fijo usando un procedimiento conocido como Mapeo. También es empaquetada información adicional dentro del contenedor. Esta información (trazo del encabezado, POH) acompaña al contenedor para que este pueda ser desempaquetado, es decir, demapeado.

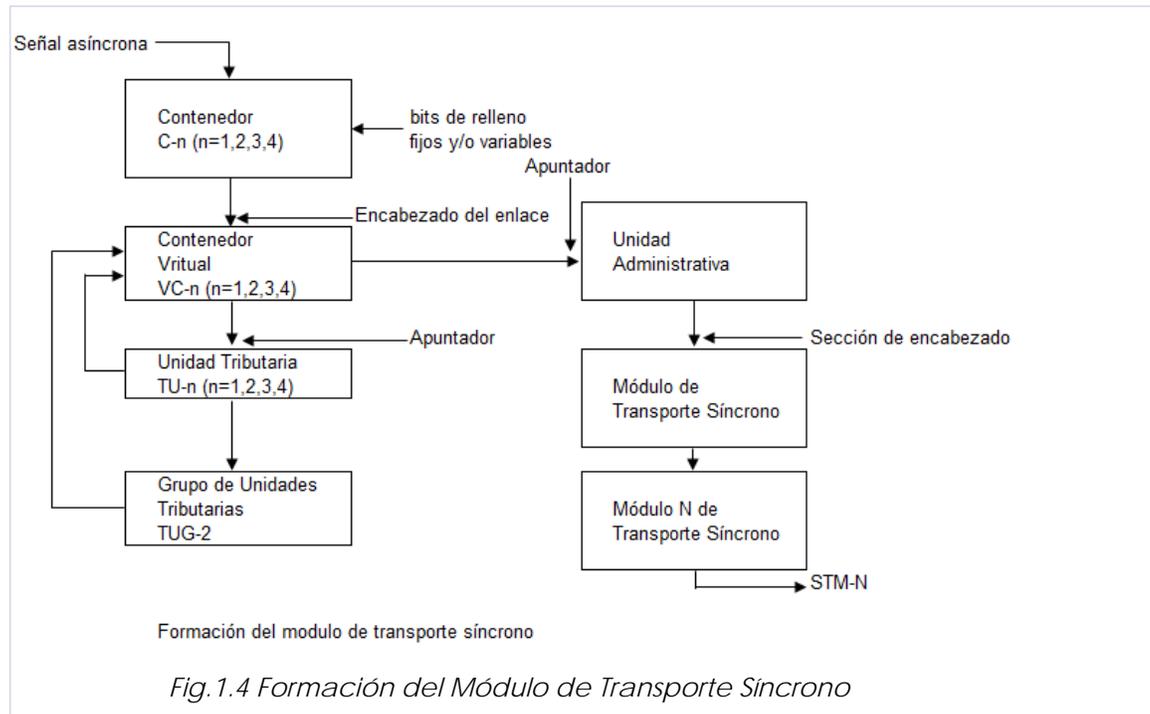


Fig.1.4 Formación del Módulo de Transporte Síncrono

La unidad formada por el contenedor y el POH es llamada también contenedor virtual (VC = Virtual Container). Muchos contenedores virtuales son recolectados dentro de otras unidades normalizadas más grandes de empaquetamiento. Este contenedor más grande es designado como C4.

Los pequeños contenedores pueden deslizarse dentro del gran contenedor. Los apuntadores definen la posición en la trama indicando el comienzo del contenedor virtual. La unidad formada por el contenedor virtual y el apuntador es llamada unidad tributaria (TU = Tributary Unit). Muchas TU juntas pueden formar un grupo de tributarias (TUG = Tributary Unit Group). La más grande TUG que inmediatamente precede al final de la trama es llamada unidad administrativa (AU = Administrative Unit). Una señal acompañante (sección de encabezado, SOH) que también incluye canales de comunicaciones para el sistema de gestión de la red, habilita la sincronización y comunicación entre dos multiplexores SDH. Es posible un acceso directo a la carga con la evaluación de un máximo de dos apuntadores. No es necesario demultiplexar la señal hasta un nivel PDH.

Los contenedores son numerados de acuerdo con su origen en la jerarquía PDH. Las funciones básicas del POH, SOH y los punteros son mostradas en la figura 1.5.

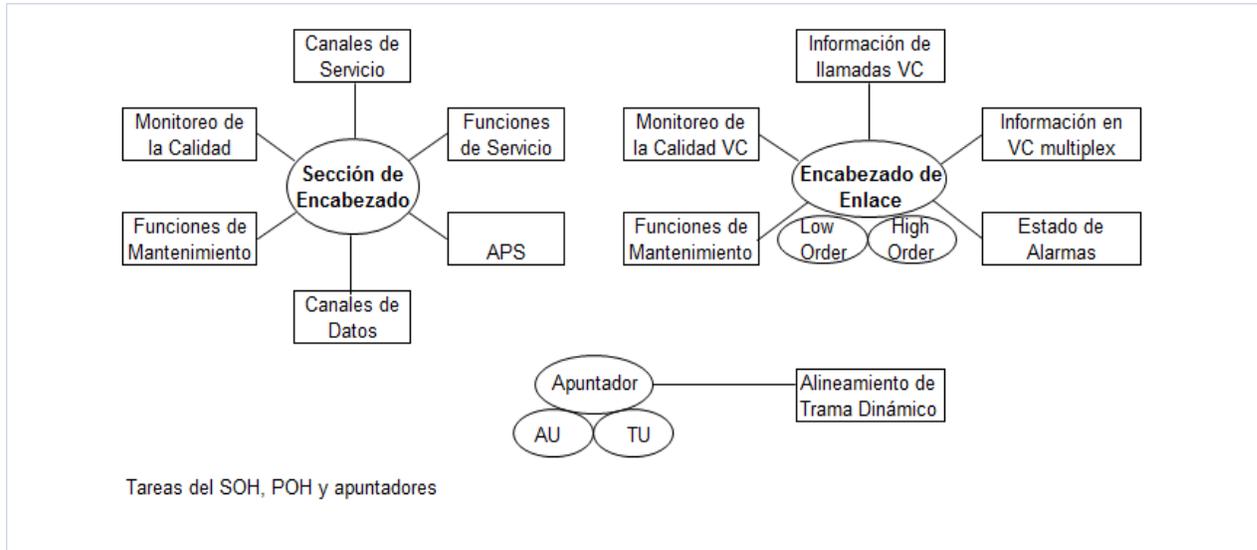


Fig. 1.5 Tareas del SOH, POH y apuntadores

### 1.1.4 Desde la carga hasta el módulo síncrono de transporte

En este tema acompañaremos la carga útil en su complejo proceso de completar una trama de STM-1.

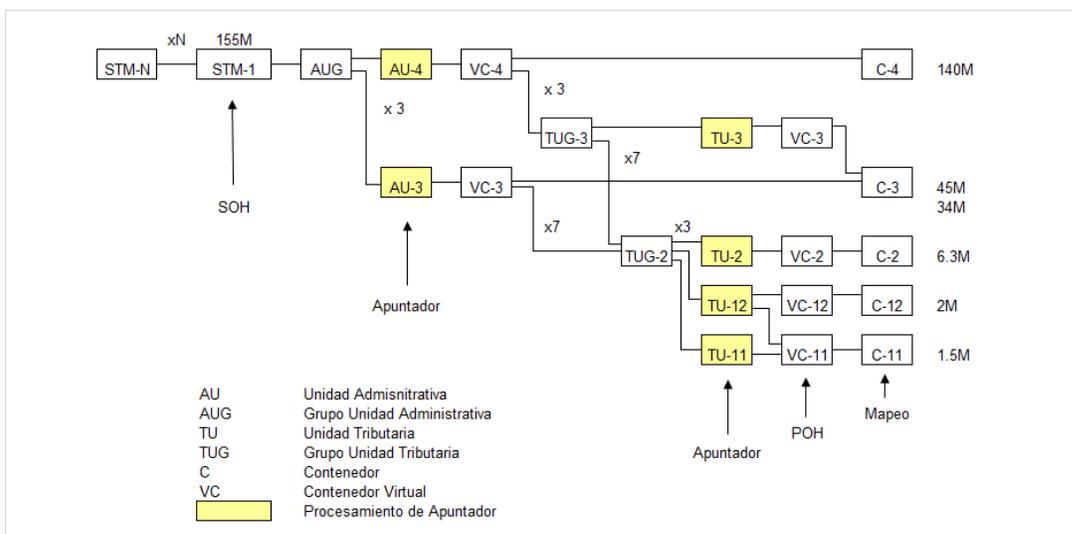


Fig. 1.6 Mapa de SDH

### 1.1.4.1 Mapeo (Mapping)

Las señales tributarias individuales son mapeadas en tipos especiales provistos por el contenedor. El tamaño del contenedor está estandarizado para permitir que existan espacios para las diferentes señales tributarias asíncronas además de permitir un acoplamiento óptimo dentro de la trama. Por esta razón, los contenedores son considerablemente grandes como sea necesario para hacer frente a la variación máxima de las señales tributarias. Cualquier espacio dentro del contenedor que no tenga información útil en cualquier tiempo es rellenado.

Son usados dos tipos de relleno:

*Relleno Variable:* La tasa de bits de la señal asíncrona puede variar dentro de ciertos límites cerca de un valor nominal. La información útil en el contenedor puede expandirse o contraerse. Estas variaciones que corresponden a desfases rápidos o flujo lento de información deben ser transmitidas. Por esta razón, ciertos puntos dentro del contenedor son definidos como posiciones variables de relleno. Un indicador de relleno variable determina si el bit en este punto en particular es una información de bit (información útil) o de relleno superfluo que puede ser insertado cuando el contenedor es desempacado.

*Relleno fijo:* Se introduce información de vacío redundante al contenedor para llenar un valor máximo estandarizado. Esta información es removida cuando el contenedor es desempacado. El relleno fijo es arreglado de tal forma que cada bit de relleno esté en un lugar conocido. Cuando una señal de 140Mbit/s es mapeada, es introducido relleno fijo de cerca de 10Mbit/s.

La figura 1.7 muestra las primeras 9 filas de la trama de un STM-1, dentro de los contenedores de una señal de 140Mbit/s ha sido mapeada.

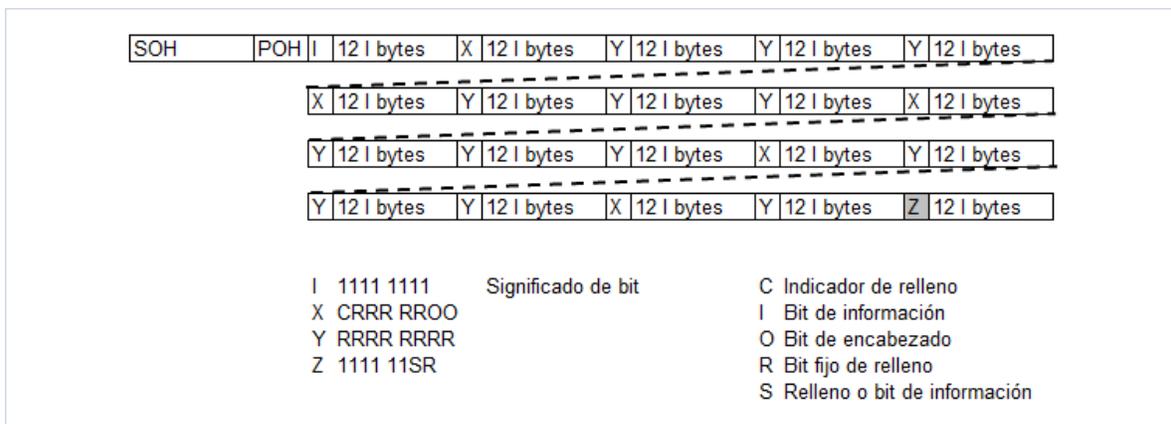


Fig. 1.7 Mapeo de 140Mbit/s

En cada fila contiene una posición de relleno S el cual tiene un bit de información o un bit de relleno. Los bits de relleno son removidos por el receptor. Los bits X contienen un indicador de relleno, repetidos cinco veces (decisión mayoritaria) La figura 1.8 resume el volumen de transporte y los nombre de los más importantes tipos de contenedores. Las recomendaciones internacionales ITU-T no soportan más los contenedores usados para señales de 8Mbit/s.

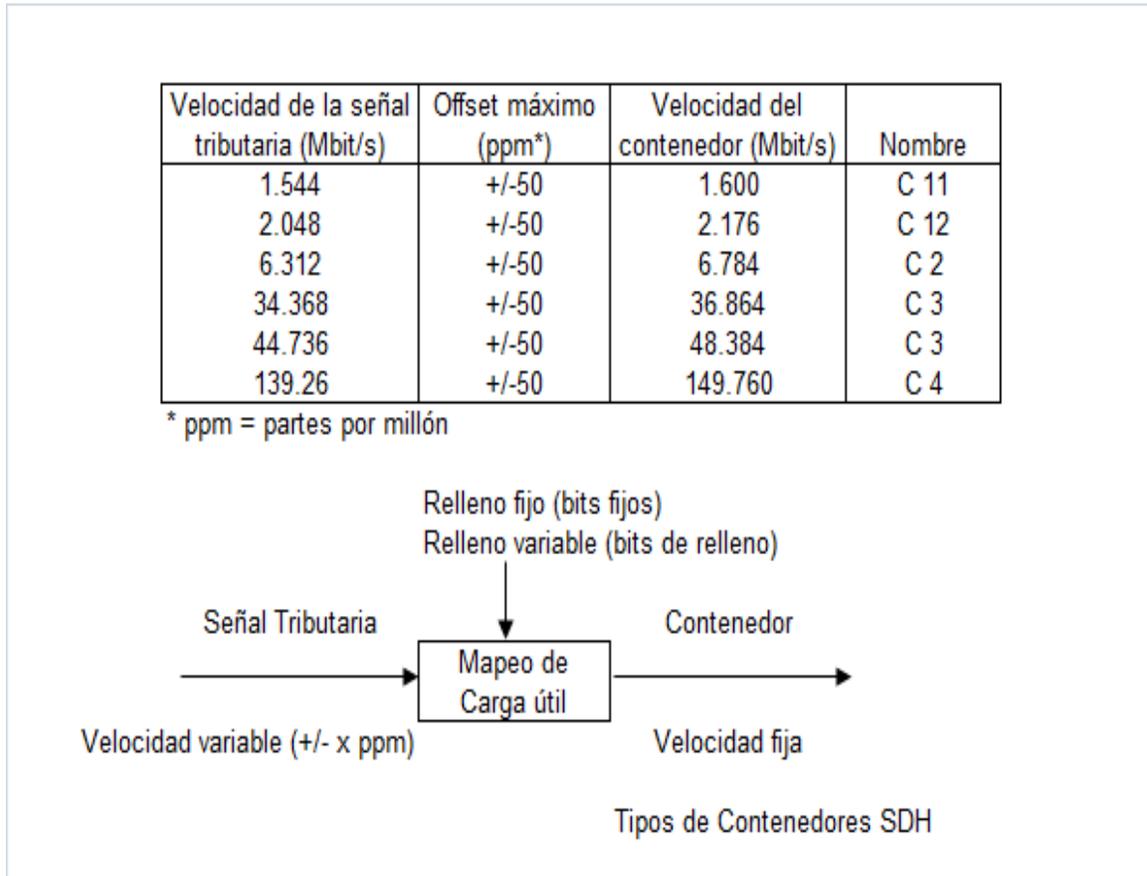


Fig. 1.8 Tipos de contenedores de SDH

### Mapeo 2Mbit/s

El contenedor C12 mostrado en la figura 1.9 está especificado para el mapeo de 2Mbit/s, el más importante en la práctica. La trama contiene 34 bytes para transmisión de información de relleno, los puntos de relleno con sus correspondientes indicadores de relleno y los 32 bytes de información útil. El relleno fijo llena los bits remanentes.

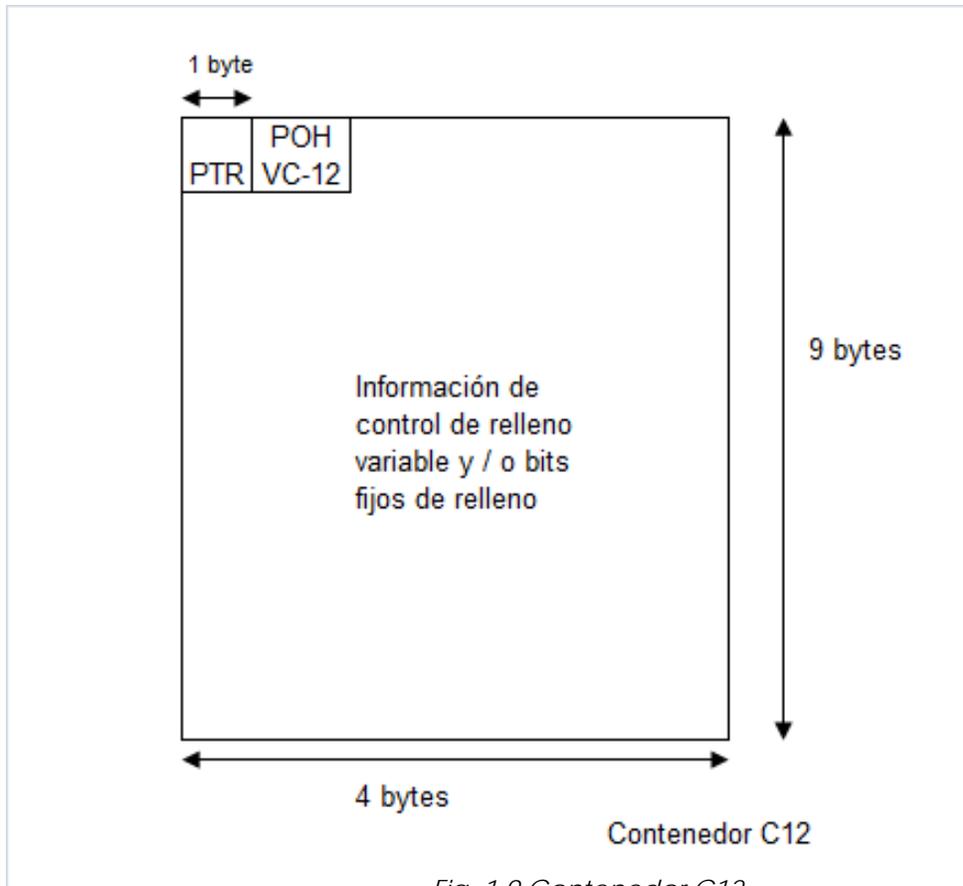


Fig. 1.9 Contenedor C12

Están definidas tres variantes para el mapeo de 2Mbit/s:

**Mapeo Asíncrono:** El proceso de mapeo comienza en un punto arbitrario, por ejemplo en cualquier byte en la trama de 2Mbit/s. Un canal individual de 64kbit/s puede ser localizado sólo después de la detección y sincronización de la señal de alineamiento de trama. Este proceso introduce un retardo adicional.

**Mapeo síncrono por byte:** La señal de alineación de trama de 2Mbit/s aparece como un punto fijo en el contenedor. Un conteo simple permite el acceso a los canales  $n * 64\text{Kbit/s}$ .

**Mapeo síncrono por bit:** Este es un caso especial de mapeo asíncrono. Este asume que una señal que es mapeada, corresponde exactamente a la velocidad de transmisión y esta no varía. En este caso, el relleno variable puede ser eliminado. La última versión de la recomendación ITU-T G.707 no incluye más el mapeo síncrono por bit.

Existe también una distinción entre dos modos de operación:

Modo flotante: Cada VC puede relativamente mover libremente al contenedor superior VC-4. Esto es logrado con la asignación de apuntadores a cada VC.

Modo amarrado: Cada contenedor es multiplexado en una posición fija en el contenedor VC-4. Los apuntadores no son necesarios para localizar los contenedores individuales. El desarrollo de microprocesadores para este proceso simplifica considerablemente este resultado.

La figura 1.10 describe el mapeo asíncrono de una señal de 2Mbit/s. Los bytes V5, J2, N2 y K4 forman el trazo del encabezado de estructura de trama de 500 s.

Para habilitar señales tributarias con capacidades mayores de 149Mbit/s (VC-4) para ser transmitidas, ITU-T ha estandarizado la concatenación de bastantes contenedores VC-4 en contenedores VC-4C (C=Concatenado). Este tipo de contenedor tiene el mismo volumen de transporte como un modulo STM-4, con más de 600Mbit/s, pero es manejado en simples unidades dentro de los elementos de red.

#### **1.1.4.2 Encabezado POH**

El POH controla la calidad de transmisión del contenedor. Éste acompaña al contenedor hasta su destino. La capacidad de transmisión del POH y el contenido depende del tipo de contenedor. Una distinción es dibujada entre

Encabezado de alto orden (HO-POH, VC-4/VC-3) y

Encabezado de bajo orden (LO-POH, VC-3/VC-2/VC-1)

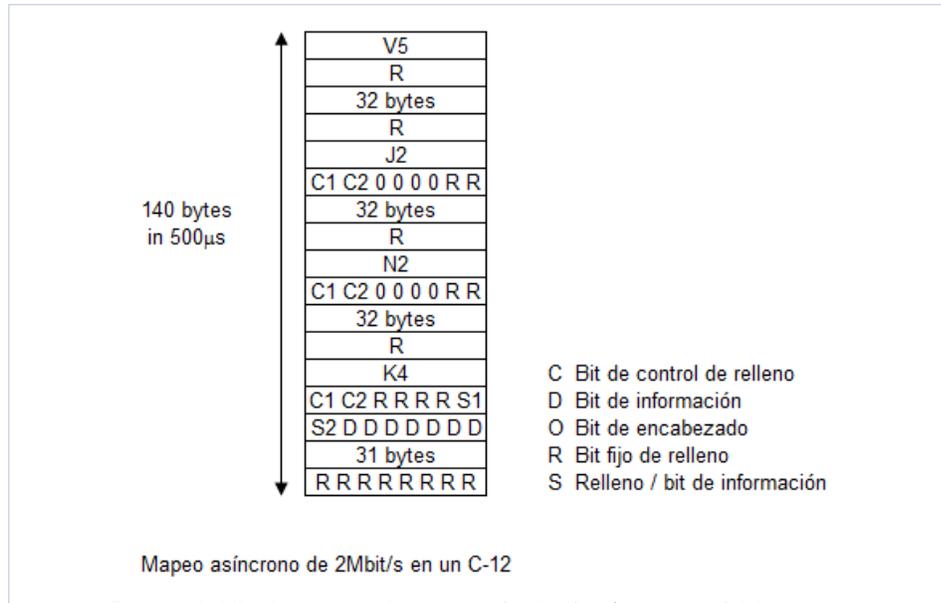


Figura 1.10 Mapeo Asíncrono de 2Mbit/s en un C12

El POH de un VC-3/4 (fig. 1.11) está formado por 9 bytes y tiene una capacidad de transmisión de  $9 \times 64 \text{Kbit/s} = 576 \text{kbit/s}$ .

El trazo (J1) es transmitido en 16 tramas consecutivas y contiene un byte de 15 bits (Long Plain Text Sequence) introducido a una revisión CRC-7 en el bit 16, que es usado para detectar posibles errores en la transmisión dentro de la secuencia J1. La etiqueta de la señal C2 indica que mapeo está siendo usado para la subsecuente información útil. La figura 1.12 muestra las posibilidades que existen estandarizadas por la recomendación ITU-T G.707. La ITU-T tiene también recomendaciones para la inclusión de células ATM o datos fuente desde redes locales (FDDI, 100Mbit/s).

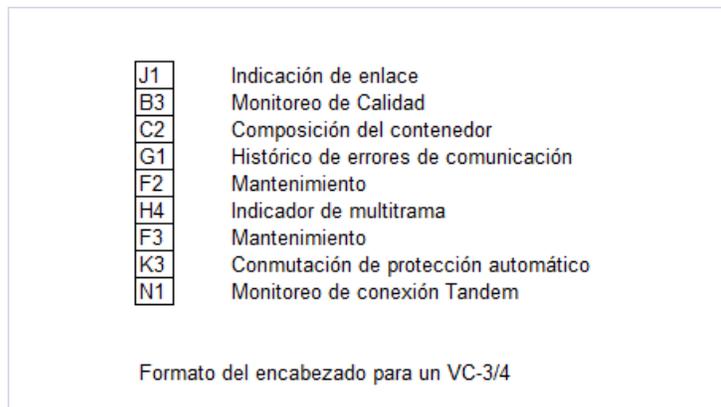


Fig. 1.11 Formato de encabezado para un VC-3/4

0000 0000	No equipado
0000 0001	Equipado - no especificado
0000 0010	Estructura TUG
0000 0011	Amarrado TU-n
0000 1000	Mapeo asíncrono de 34 o 45 Mbit/s
0001 0010	Mapeo asíncrono de 140 Mbit/s
0001 0011	Mapeo ATM
0001 0100	Mapeo MAN (DQDB)
0001 0101	Mapeo FDDI
1111 1110	Señal de prueba 0.181
1111 1111	VC-AIS (cuando es soportada una conexión tandem)

Etiqueta de Señal C2

Fig. 1.12 Etiqueta de Señal C2

El byte G1 (estado de enlace) indica el número de errores de transmisión detectados al final de la transmisión. Los canales de mantenimiento F2 y F3 pueden ser usados para propósitos internos dados por el operador de la red. En el mapeo VC-12, el byte H4 indica qué parte de la multitrama está siendo actualmente transmitida.

El byte K3 (automatic protection switching, APS) controla automáticamente el cambio de circuitos de respaldo en un evento de falla. Éste no requiere la intervención de la administración de la red.

El byte N1 fue definido en 1996 por las recomendaciones ITU-T y es usada por el tandem connection monitoring (TDM). El monitoreo del byte B3 está programada al principio y a final del enlace y permite asegurar la calidad en una conexión.

La figura 1.12 muestra el contenedor VC-11/VC-12 de bajo orden POH. Este es distribuido bajo cuatro tramas y secuencialmente retransmitido. El primer byte V5 (fig.1.13), es el más importante. Las funciones de los bytes POH de bajo orden J2N2 y K4 se derivan directamente de las funciones correspondientes de los bytes POH de alto orden J1, N1 y K3.

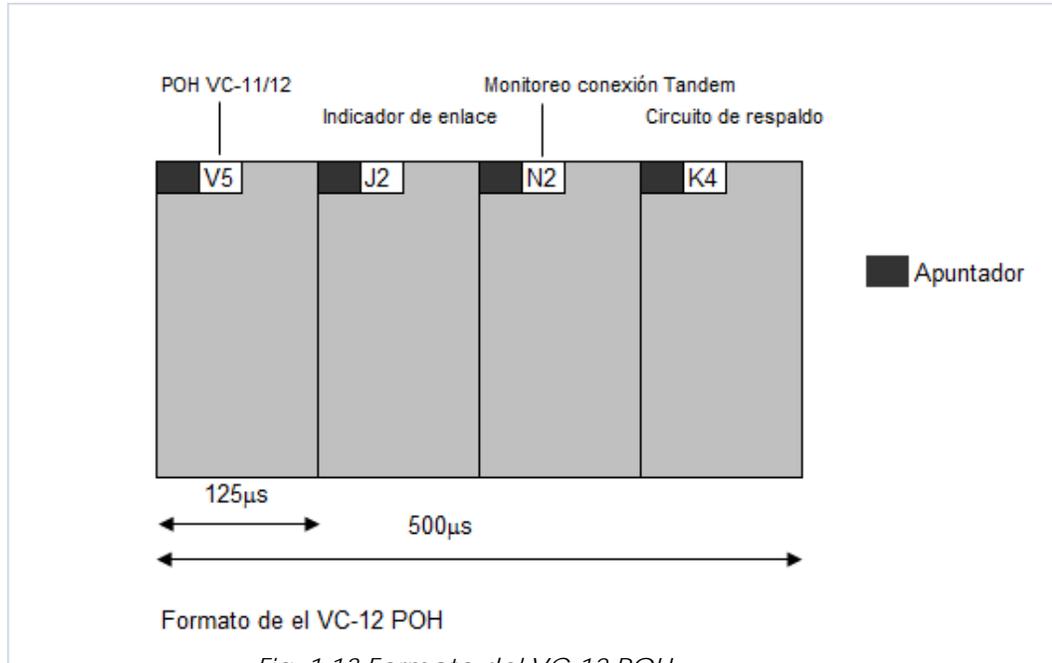


Fig. 1.13 Formato del VC-12 POH

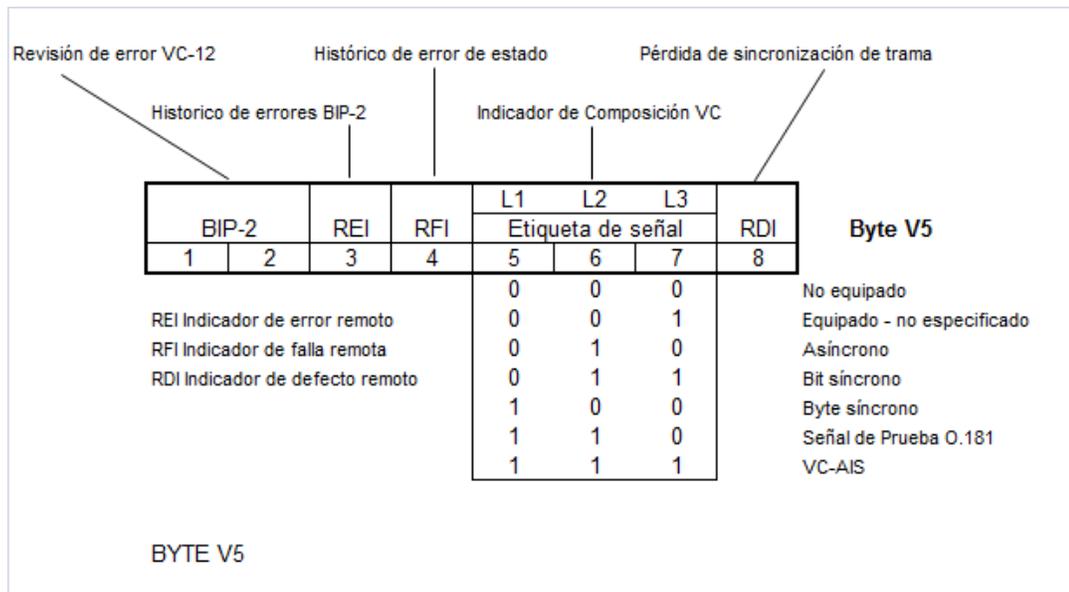


Fig. 1.14 Byte V5

Dentro de un nodo de red síncrono, los VCs son cambiados a través de los contenidos de sus señales. Los apuntadores proveen el acoplamiento entre VC y la trama actual de transporte.

### 2.1.4.3 Apuntadores

Una variación del método de apuntadores es utilizada en esta Tesis. Se puede localizar la sección que está actualmente leyendo en el índice "Apuntador" y abriendo el documento en la página indicada. El número de página es el apuntador de la posición en el documento donde la información que se requiere está localizada (fig.1.15). La información (carga útil) está conformada alfabéticamente cuando estos fueron "mapeados" para suministrar el punto preciso donde usted debe buscar.

	PAGINA
<b>Capítulo 3</b>	
<b>METODOLOGIA DE DETECCION, ANALISIS Y RESOLUCION DE EVENTOS ORIGINADOS POR EL RUIDO DE FASE</b>	54
<b>3.1 ELEMENTOS DE DETECCION</b>	55
3.1.1 Detección del Ruido de Fase de Alta Frecuencia (Jitter)	55
3.1.2 Detección del Ruido de Fase de Muy Baja Frecuencia (Wander)	55
3.1.3 Analizadores de Comunicaciones Comerciales	56
3.1.4 Distribución de sincronía	56
<b>3.2 METODOLOGIA</b>	58
3.2.1 Recepción del evento	58
3.2.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados	59
3.2.3 Evaluación del Ruido de Fase	59
3.2.3.1 Medición de la estabilidad de reloj	
3.2.3.2 Evaluación del enlace	
3.2.4 Reporte de Solución del evento	61
<b>3.3 MASCARAS DE TOLERANCIA PARA ITU-T</b>	62
<b>Capítulo 4</b>	
<b>ANALISIS DE UNA RED SINCRONA SDH DE COMUNICACIONES</b>	64
<b>4.1 EVENTO 1: INSTALACION DE UN ANILLO SDH CONFORMADO POR CUATRO CENTRALES</b>	65
4.1.1 Recepción del evento 1	66
4.1.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados	66
4.1.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 1	66
4.1.4 Reporte de Solución del evento 1	79

	PAGINA
	
<b>METODOLOGIA DE DETECCION, ANALISIS Y RESOLUCION DE EVENTOS ORIGINADOS POR EL RUIDO DE FASE</b>	
	
"Análisis del Ruido de Fase (Jitter y Wander) en Redes Síncronas SDH de Comunicaciones"	Página   54

Fig.1.15 Índice con apuntadores

Los apuntadores indican el comienzo de la información, es decir, el comienzo del VC con su respectiva información de relleno. Los apuntadores marcan el comienzo de contenedores síncronos, el conocimiento del método apropiado de mapeo significa que la posición de cada bit en la información útil es también conocida.

El sistema electrónico determina el valor actual del apuntador de la siguiente forma. El apuntador del contenedor superior VC-4 (o VC-3) está siempre en una posición fija relativa al inicio de la trama. El comienzo del VC-4 determina la evaluación del valor del este apuntador. Los paquetes de información útil pueden moverse dentro del VC-4 en sus contenedores virtuales subordinados. Las posiciones de los apuntadores en las unidades subordinadas son fijas relativas al inicio de VC-4, y ello puede encontrar simplemente contando los bits (fig.1.16).

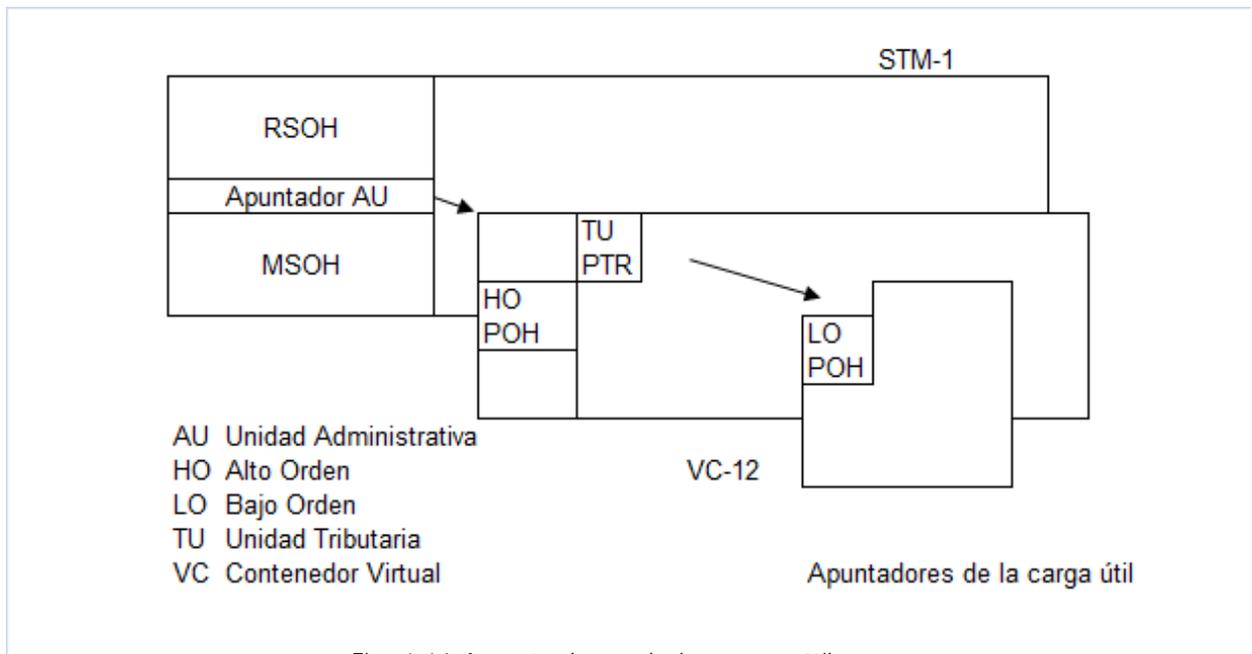


Fig. 1.16 Apuntadores de la carga útil

### 1.1.4.4 Sección de encabezado SOH

La capacidad de 5.1Mbit/s del SOH toma más del 3% del volumen de la transmisión total. El SOH en la figura 1.17 es un byte de 9\*9 bloques con una capacidad de transmisión de  $9*9*64\text{kbit/s} = 5184\text{kbit/s}$ .

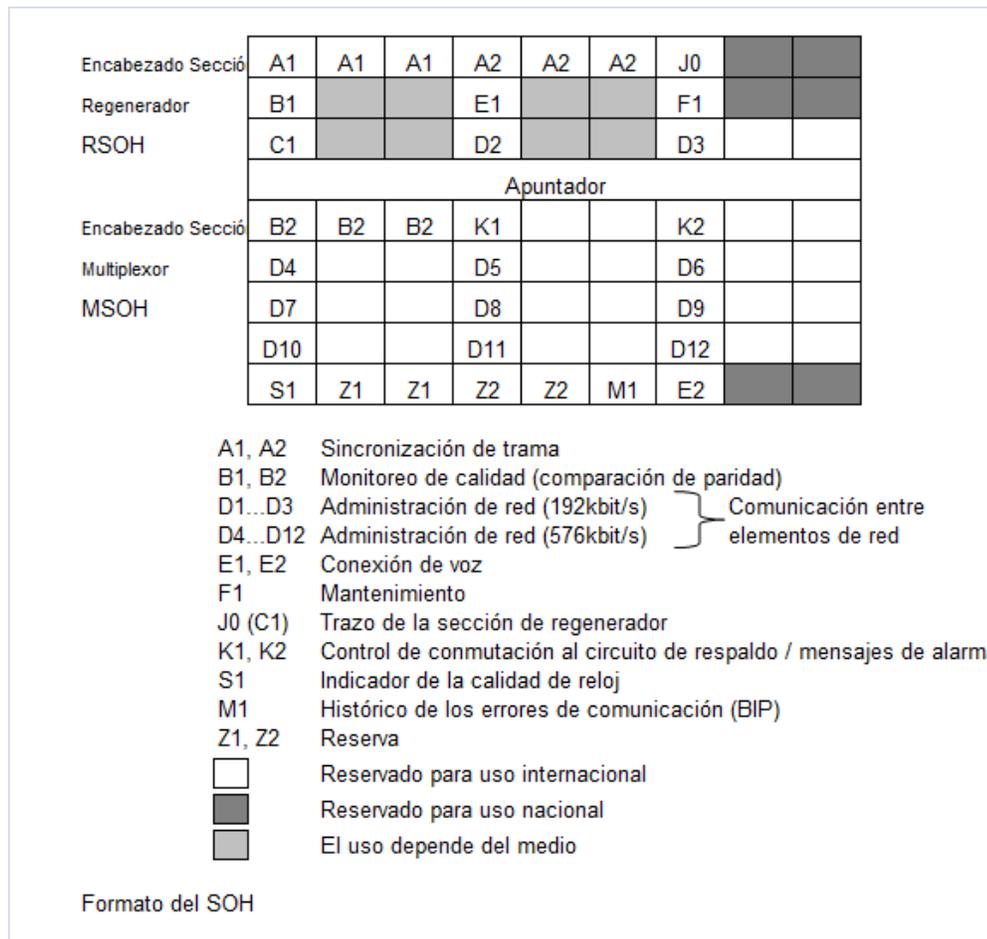


Fig. 1.17 Formato del SOH

La parte superior del SOH es llamado RSOH (regenerador SOH). La parte inferior es llamada MSOH (multiplexor SOH). El RSOH es accesible para todos los elementos de la red. Éste puede ser leído y cambiado por elementos de red que estén autorizados para hacerlo. El MSOH es transmitido sin cambio sobre la sección de línea básica. (Del inicio al final) y esto, por consecuencia, sólo puede ser alterado por cross-connects y equipos terminales.

La información de sincronización A1 y A2 es repetida tres veces. Esto es el resultado de la evolución de SDH. La estandarización de tareas adicionales es realizada por los bytes Z y éstos aun no están terminados.

Los canales de datos D1 a través de D3 y D4 y a través de D12 desde un grupo compuesto de canales de 64kbit/s y permiten la transmisión de la gestión y la información de estado da 192 o 576kbit/s. Un elemento de red o muchos elementos de red pueden ser reconfigurados usando canales D1 a través de D12.

La sección del trazo regenerador (J0) realiza las mismas funciones en el SOH como el byte J1 en el POH. Una búsqueda en el mantenimiento F1 (fig.1.18) revela que este indica tasas de errores de paridad B1 arriba o abajo del valor promedio como el identificador del regenerador.

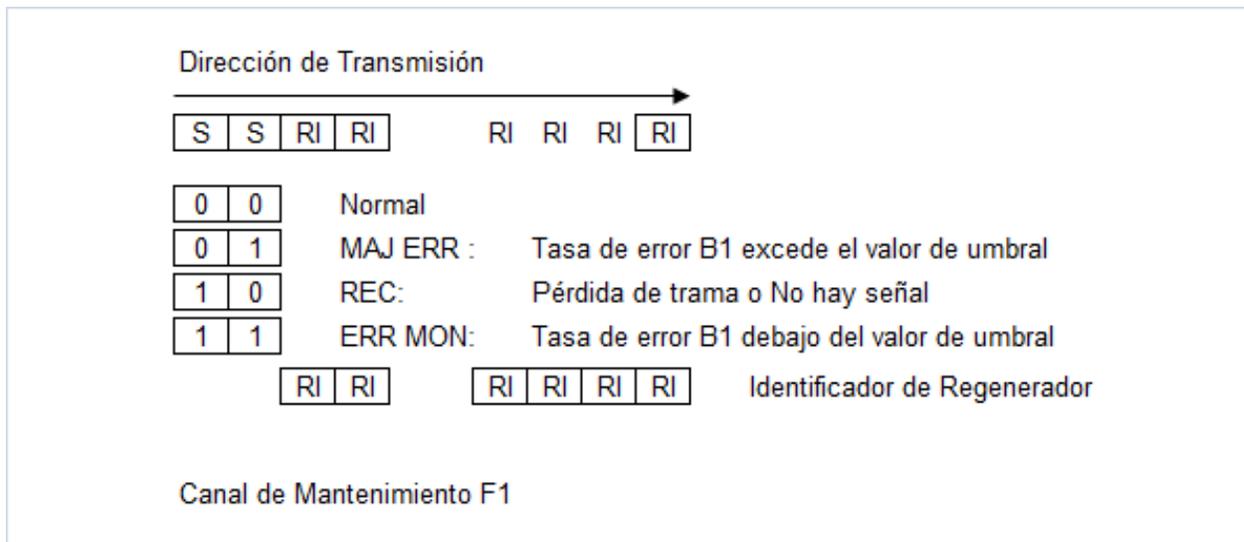


Fig. 1.18 Canal de Mantenimiento F1

Los bytes K1 y K2 son particularmente interesantes. Éstos son usados para el control automático del APS en un evento de falla en la comunicación. Un ejemplo es el enrutamiento automático completo de una conexión actual sobre un circuito de respaldo predefinido sin la intervención del gestor de la red en el evento de la ruptura de la línea. Algunas funciones son básicas para la restauración de la red. Un ejemplo es mostrado en la figura 1.19

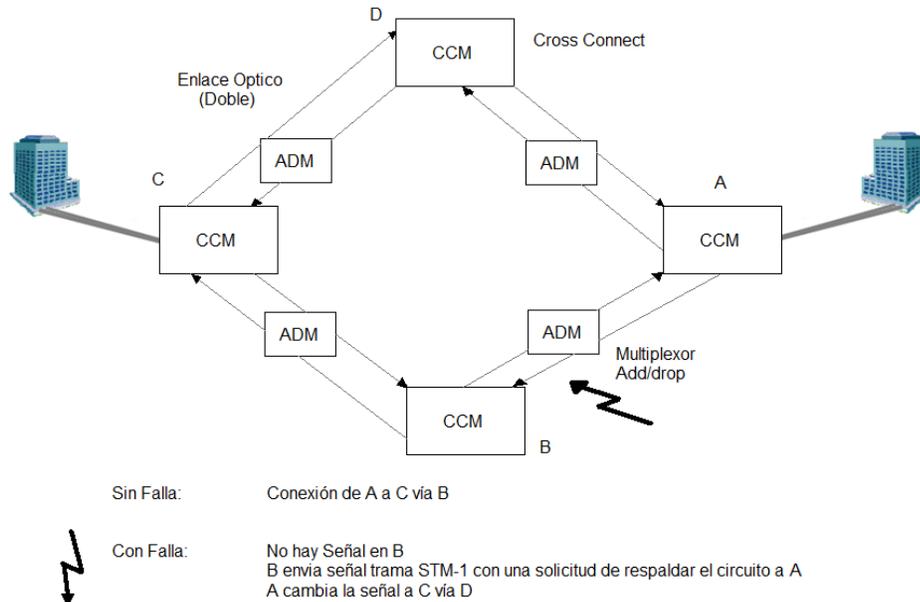


Fig. 1.19 Conmutación Automática de Protección (APS)

El byte S1 indica la calidad de la señal de la fuente de reloj que recibe del multiplexor.

El módulo de transporte síncrono STM-1 (fig. 1.20) es formado por ensamblajes juntos donde todos los elementos de las tramas son descritos.

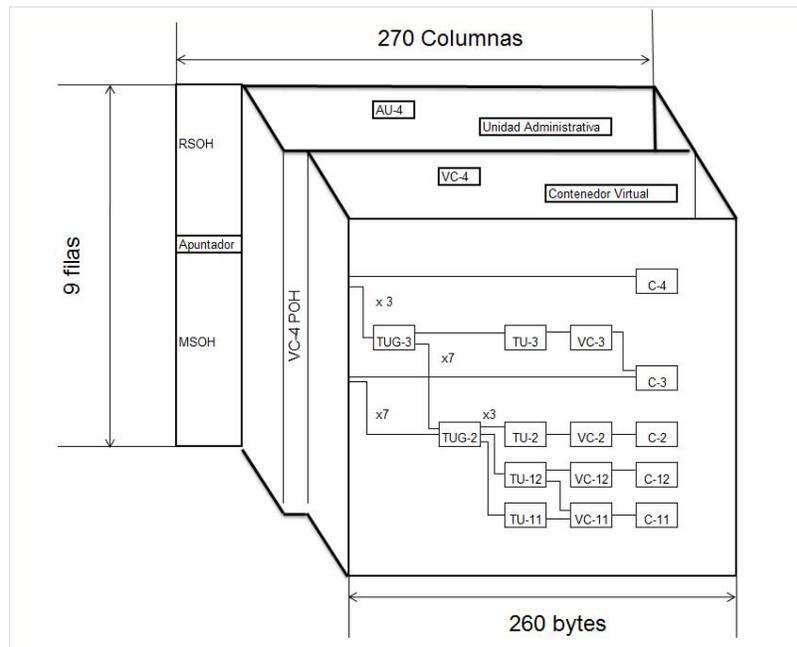


Fig. 1.20 Formato de la trama STM-1

La figura 1.21 resume como 63 contenedores individuales C-12 son empacados dentro de una trama de STM-1.

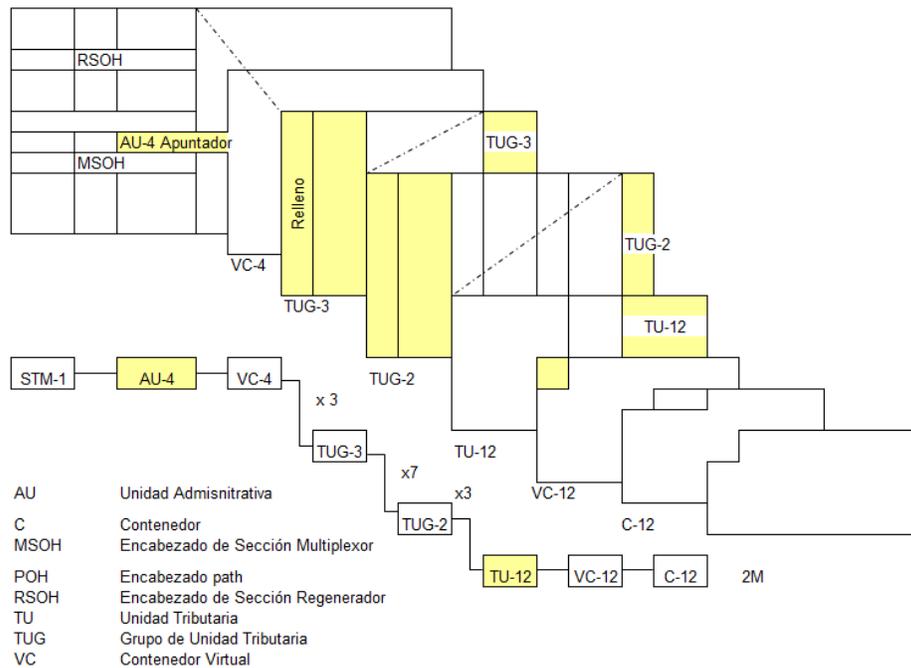


Fig. 1.21 Mapeo de una señal de 2Mbit/s en un STM-1

El módulo STM-1 es generalmente transmitido vía fibra óptica o radio direccional. Antes de la transmisión, la señal STM-1 es ensamblada con excepción de los primeros 9 bytes de la trama de STM-1 (primera fila del SDH) que contienen información de la sincronización. El ensamble de la señal incrementa la densidad del reloj de la señal STM-1 y ésta mejora la calidad de la recuperación del reloj en el receptor.

#### 1.1.4.5 Módulos de transporte STM-N

Cada nivel de jerarquía en PDH está dentro de su propia estructura de trama. El BIT RATE (BR) de la jerarquía n+1 está dado por:

$$\text{PDH: } BR_{n+1} = BR_n + m \cdot BR_{n+1} \quad (m=4)$$

D incluye una capacidad adicional para el proceso de relleno, la operación de especificación de jerarquía y la información de sincronización. No requiere un encabezado adicional cuando se forma jerarquías SDH mayores.

$$\text{SDH: } BR_{n+1} = m BR_n \quad (m=4)$$

Cuatro módulos de 16 o 64 son multiplexados juntos byte por byte. Esto resulta en las siguientes velocidades:

622.080 Mbit/s (STM-4)

2488.320 Mbit/s (STM-16)

9 953.280 Mbit/s (STM-64)

Actualmente se está en uso los sistemas STM-64. STM-64 corresponde a una capacidad de más de 120 000 canales telefónicos de 64kbit/s, todos estos pueden ser transmitidos por un cable de fibra óptica más delgado que un cabello humano. La extremadamente gran capacidad de transmisión de las fibras ópticas resulta en que no son necesarios los costos excesivos o reinstalación de cables cuando es desarrollado un conmutador de alto desempeño.

En contraste con PDH, las Recomendaciones ITU-T solo definen una estructura de trama STM-N mayor que las tramas de jerarquía definidas. Esto es mostrado en la figura 1.22.

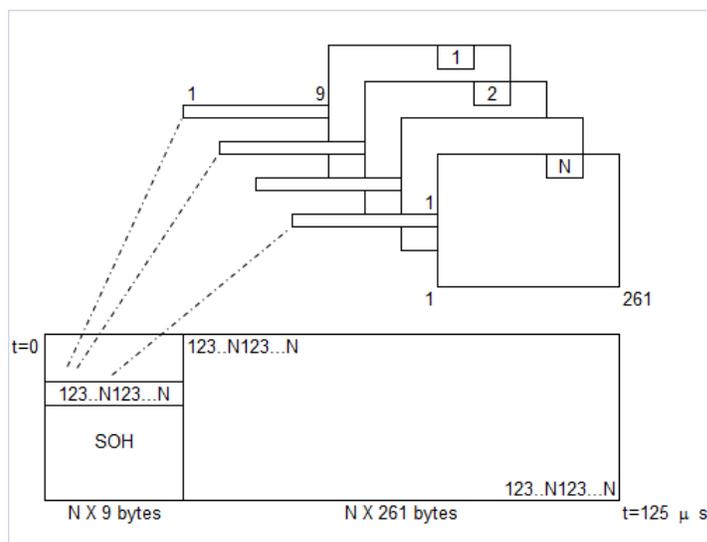


Fig. 1.22 Módulo de transporte síncrono STM-N

El módulo de transporte STM-N no toma toda la información de las N señales. Por ejemplo, no hay beneficio en definir el APS N veces o definir sincronización S1 N veces. Solo los punteros, paridad B2 y sincronización de trama A1/A2 están en STM-1 individuales y los canales no son alterados.

### 1.1.5 Alarmas SDH

Finalmente más de 50 mensajes de alarma SDH son generados por pocos mensajes de alarma PDH. Éstas se pueden clasificar en las siguientes categorías dependiendo de la sección de transmisión a la que pertenezcan:

- Mensajes de fallas mayores afectan a todas las secciones de transmisión (Entre multiplexores y regeneradores) y en muchos de los casos cargan con la ruptura de la transmisión.

- Las señales de servicio se refieren a los contenedores de alto orden (VC-4, VC-3 alto orden en el nivel del trazo).

- Señales de alarma y error son aplicadas en contenedores de bajo orden.

La figura 1.23 muestra la clasificación de los mensajes de error.

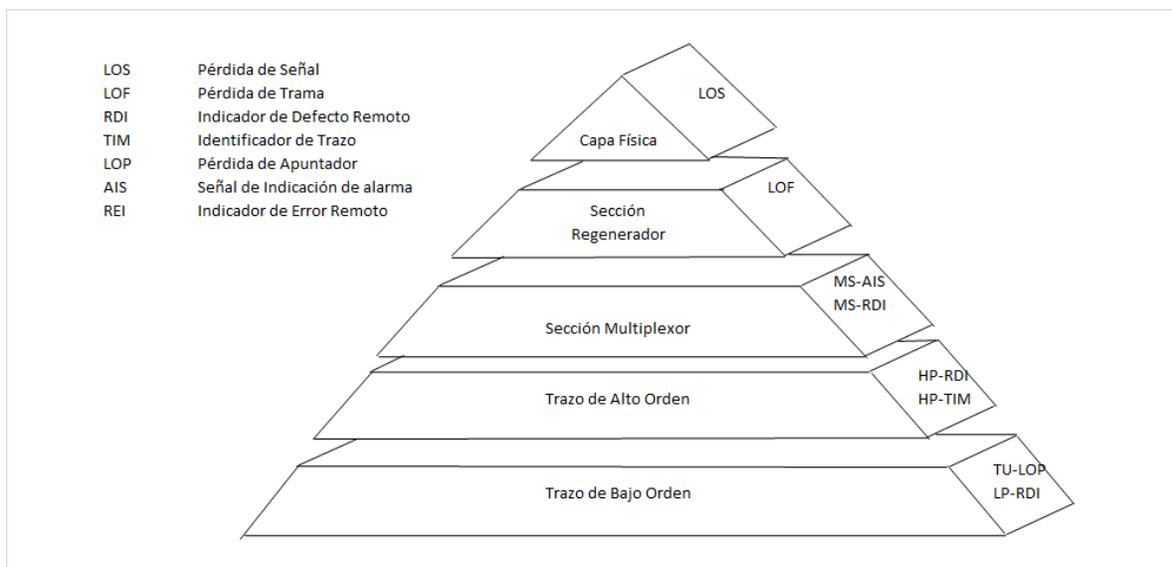


Fig. 1.23 Clasificación de alarmas en SDH

Una alarma se presenta si se da una combinación de bits o un evento definido en la entrada de un multiplexor. (fig.1.24)

Los tipos de alarma y las designaciones de alarmas han sido revisados y expandidos considerablemente en los últimos años.

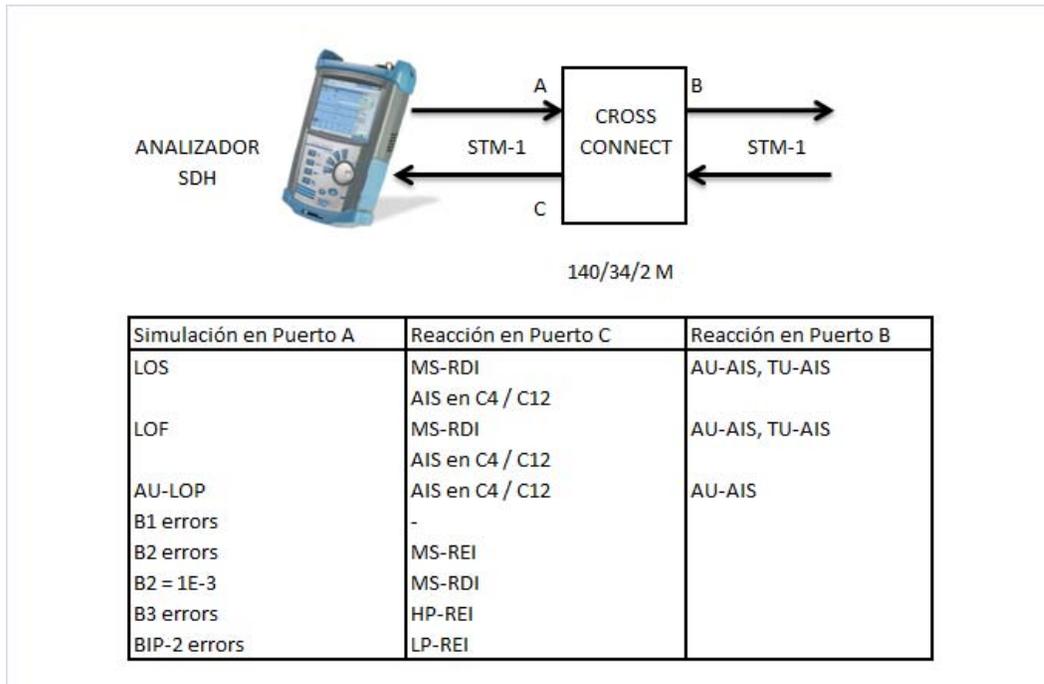


Fig. 1.24 Reacciones de los elementos de red a una alarma.

### 1.1.6 Otras funciones realizadas por los apuntadores.

Otras de las funciones realizadas por los apuntadores son asegurar la operación de la red SDH a pesar de que se presenten fallas en relojes de algunos elementos o partes de la red. Ellos también juegan un papel de enrutadores entre redes nacionales e internacionales teniendo diferentes fuentes de relojes primarios, en muchos de los casos, los apuntadores aseguran también funciones SDH en un ambiente asíncrono.

#### Cambio en los apuntadores

Los sistemas de comunicación síncronos operan con una derivación de una fuente de referencia muy estable. Fallas de comunicación o debilidades en la topología de la red pueden causar (bajo ciertas circunstancias) la existencia de

"islas" de relojes en la red que trabajan desde una muy exacta señal de reloj pero que no proviene de una referencia de reloj. Por lo tanto la velocidad de transmisión y el espacio disponible en contenedores de cierto tamaño es determinada por la señal de reloj. Durante la conmutación dentro de un nodo de red, podría pasar que un contenedor largo necesite ocupar el espacio de un contenedor que ha sido partido a una mayor velocidad de transporte. El espacio adicional para la información útil es suministrado en el segmento de apuntador en muchos de los casos. Esto permite que partes de un contenedor largo sea almacenado por un tiempo. En la situación inversa cuando más espacio del que es necesitado está disponible por el contenedor, información de relleno redundante es temporalmente almacenado en el segmento de carga útil. En la primera situación, el valor del apuntador es decrementado; en el segundo caso, este es incrementado. El comienzo del contenedor es de esta manera desplazada dentro de la trama y toma un lugar del byte H3 (fig. 1.25). El desplazamiento es colocado en pasos de 24-bit.

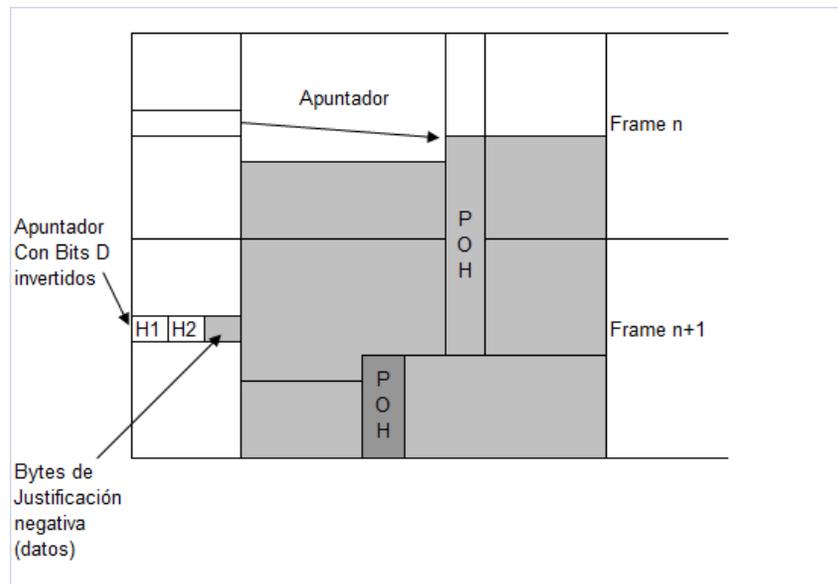


Fig. 1.25 Relleno de apuntadores (decremento)

La tendencia de frecuencia del reloj y el proceso asociado con éste son normalmente lentos por lo que el valor del apuntador no necesita ser cambiado inmediatamente. Una indicación de que el valor del apuntador necesita ser incrementado o decrementado es suficiente en muchos de los casos. Es decir, posiciones específicas de bit (N e I fig. 1.26) son invertidas para un corto periodo de tiempo definido. El mecanismo requerido de los cambios del apuntador por

segundo es en consecuencia limitado a 2000. En la práctica, el número de operaciones del apuntador requeridas es mucho menor. Mediciones y evaluaciones de los valores del apuntador contra la información transmitida en el tiempo acerca del comportamiento del reloj de la red.

El valor del apuntador es inmediatamente colocado a lo requerido después de una pérdida de sincronización de trama o cuando la sincronización es establecida al comienzo de la transmisión. Apropiados estados binarios en la "Bandera de Datos Nuevos" (N bits) causa que los elementos de red directamente acepten el valor binario subsecuente como un valor nuevo de apuntador.

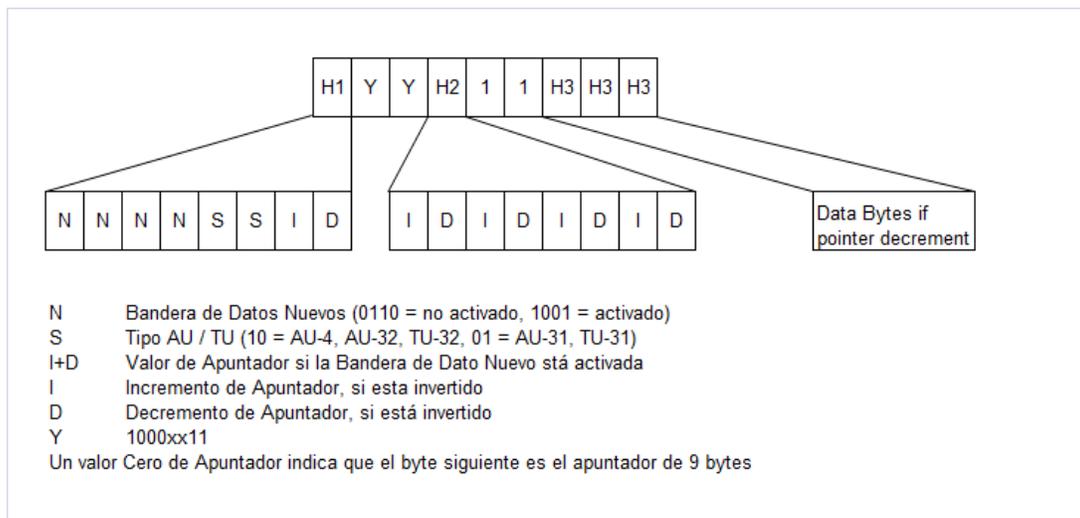


Figura 1.26 Codificando en el valor del apuntador AU-3/4

El apuntador debe poder direccionar cada tercer byte dentro de las tramas de STM-1 debajo de 9\*9bytes del SOH. Un total de  $(261 \cdot 9) / 3 = 783$  bytes de esta manera necesitan ser direccionados. Un valor de apuntador de 10 bits es suficiente, suministrando  $2^{10} = 1024$  valores binarios. El valor de apuntador "0" direcciona al byte que sigue inmediatamente del total de 9 bytes de apuntador. El valor de apuntador "522" indica el primer byte POH de la nueva trama.

El valor absoluto del apuntador no tiene significado. Sistemas de diferentes fabricantes indican diferentes valores de apuntadores en estados en reposo.

El principio del apuntador tiene una mayor desventaja: operaciones del apuntador AU-4 causan repetidos desplazamientos de 24 bits en la posición de carga útil, introduciendo algunas fallas en los parámetros, llamadas Jitter de apuntador.

Podemos ver cómo los apuntadores son usados para localizar un VC-12. La Fig.1.27 muestra una secuencia de cuatro consecutivos TU-12 (=VC-12 apuntadores más), Los apuntadores incluyen cuatro bytes (V1 a V4), dos bytes (V1, V2) que cargan el valor actual del apuntador. V3 corresponde al byte H3 del apuntador AU-3/4, suministrando adicional capacidad de carga útil. El bloque sombreado de cuatro VC-12 puede moverse libremente (modo flotante). V1/V2 siempre indican el comienzo del POH (byte V5).

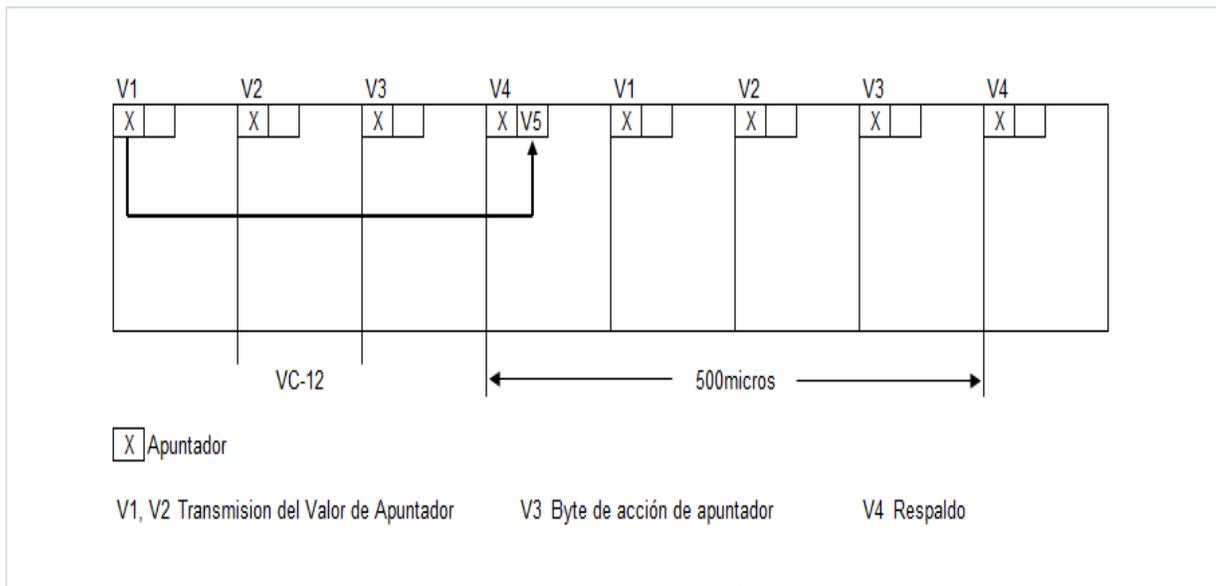


Figura 1.27 Apuntadores TU-11/12

### 1.1.7 Elementos y Estructuras de Red

La figura 1.28 describe una red SDH típica. Las redes SDH simples incluyen conmutación, transmisión y funciones de control de red. Esto hace que la red SDH sea ideal para tres aplicaciones: Redes locales, enlaces entre centros de conmutación y redes de áreas anchas.

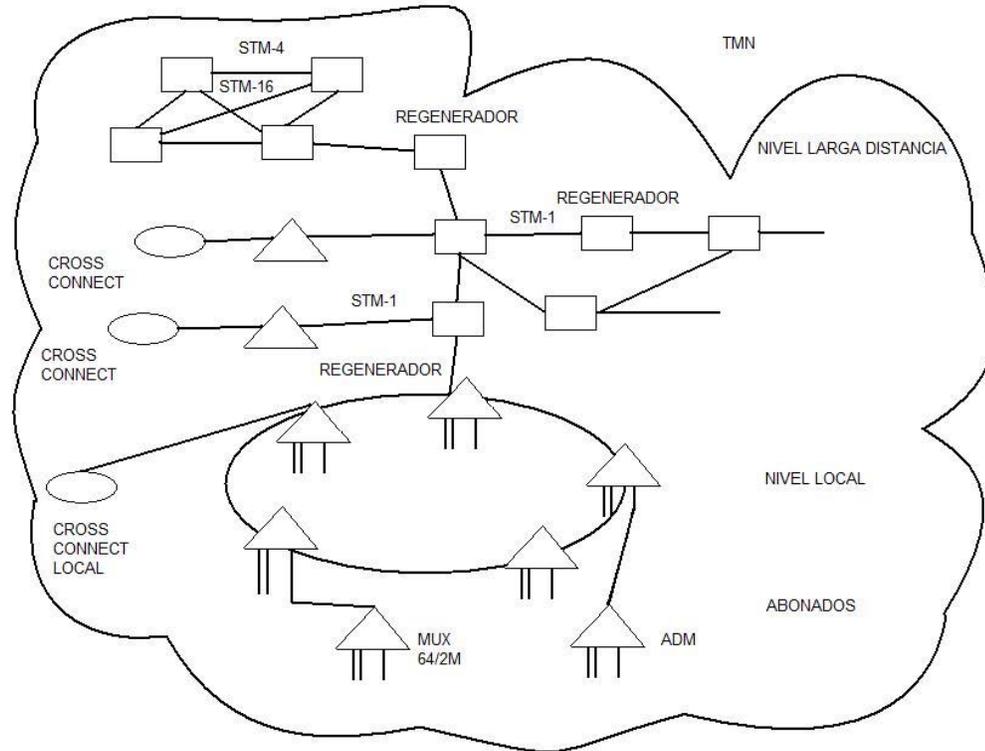


Figura 1.28 Topología de Redes SDH

Topologías de Malla, Estrella, bus y anillo son usadas para redes síncronas.

En una red ideal de Malla, cada nodo de red es conectado con los demás nodos de la red. La ventaja de esta red es su alta confiabilidad con el enrutamiento de tráfico alternativo. La desventaja es obvia: El número de enlaces de red se incrementa desproporcionalmente como el número de nodos sea incrementado. Las estructuras de malla son principalmente usadas para redes de baja escala o en redes especiales donde la alta confiabilidad es una prioridad.

En una red de estrella, todos los nodos son conectados a un punto central. El alto grado de concentración resulta en altas ventajas económicas. Por otra parte, las redes en estrella son mucho más susceptibles a los efectos en condiciones de falla.

Generalmente hablando, las redes en estrella con jerarquías multi-estado forman la base de las redes de áreas anchas. La ventaja es que si el punto central falla, la otra red estrella conectada mantiene disponibles sus respectivos segmentos.

Las estructuras de bus se pueden encontrar en redes LAN que juegan el papel de redes sincronicas. Elementos de red en cadena no son particularmente libres de falla.

Si el nodo final en una red de bus está conectado al principio, el resultado es una red de anillo con una muy buena seguridad en un evento de falla. Redes SDH de anillo son muy importantes, particularmente en los segmentos locales. Su mayor ventaja radica en un simple respaldo que conmuta cuando ocurre una falla. La desventaja es que la expansión se dificulta al realizarla.

Redes SDH comenzaron su implementación a principios de los 90's con proyectos piloto que formaron sistemas SDH en una red superpuestas para un segmento de área ancha. La tendencia en la segunda mitad de los 90's hizo que las redes SDH estuvieran dentro de la red local y los abonados. La Fig. 1.29 resume los componentes de una red SDH.

Cross-connects, multiplexores add/drop, multiplexores terminales y regeneradores son bloques construidos usados para formar varias estructuras de red. En principio, todos los elementos de red son derivados del "big brother", el cross-connect síncrono.

Enlaces de radio digital forman la columna vertebral de las comunicaciones digitales, particularmente en redes de operación privadas. La señal SDH de 155Mbit/s estándar es sobre-dimensionada si el tráfico de carga es bajo. Fabricantes de sistemas de radio-enlaces en consecuencia ofrecen sistemas que operan a 51Mbit/s basados en el estándar SONET (STS-1) como una alternativa económica.

Multiplexores terminales son usados en los extremos de los enlaces y en ramas de las redes síncronas. Su principal característica es adaptar y recolectar señales tributarias dentro de una señal STM-N.

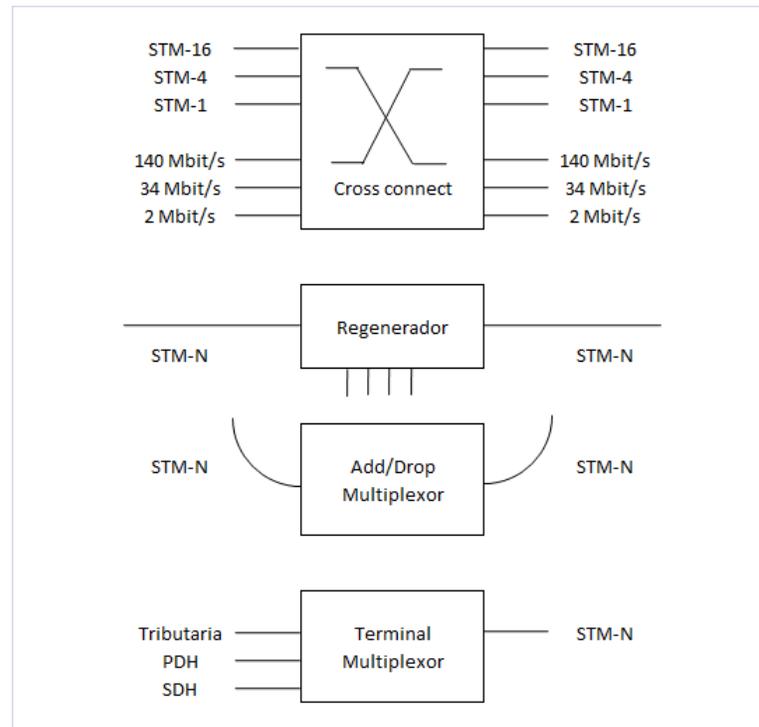


Figura 1.29 Elementos de una Red SDH

Multiplexores Add/drop permiten estructuras de red nuevas en forma de anillos síncronos en redes locales. Apropiadamente colocados algunos anillos son auto protectores, por ejemplo pueden ser mantenidos sin intervención de la red de gestión cuando ocurre una ruptura de comunicación en una dirección (conmutación automática al circuito de respaldo usando los bytes K).

En contraste con regeneradores PDH, los regeneradores son usados en la jerarquía digital síncrona requerida en la señal de trama de entrada. Si la señal falla, ellos generan una correspondiente trama STM-1 conteniendo mensajes de error. Desde que las señales pueden ser transmitidas por un medio óptico a una mayor distancia, los regeneradores puramente síncronos son más necesarios en países densamente poblados.

Todas las variantes de sistemas síncronos pueden ser controlados vía interface de gestión de red (Q interface) o a través de canales de datos dentro del SOH (D1 a D3, D4 a D12). Nuevas configuraciones y reconfiguraciones (por ejemplo cuando usuarios requieren diferentes velocidades de transmisión) pueden realizarse en centros de control remotos en pocos minutos. Las comunicaciones son generalmente dadas por fibras ópticas de modo simple, aunque transmisiones eléctricas STM-1 también están estandarizadas.

La integración de interfaces de línea STM-N dentro de los multiplexores síncronos evita la necesidad de separar líneas de equipos terminales.

La figura 1.30 describe el trabajo interno de un nodo de red o cross-connect. Una estructura de señal de 140Mbit/s es resuelta en una señal tributaria individual reconstruida en el cross-connect. La más larga capacidad disponible del nodo de red, que es necesario en la práctica, puede llevar, resolver y conmutar cientos de señales STM-1 y sus correspondientes señales tributarias.

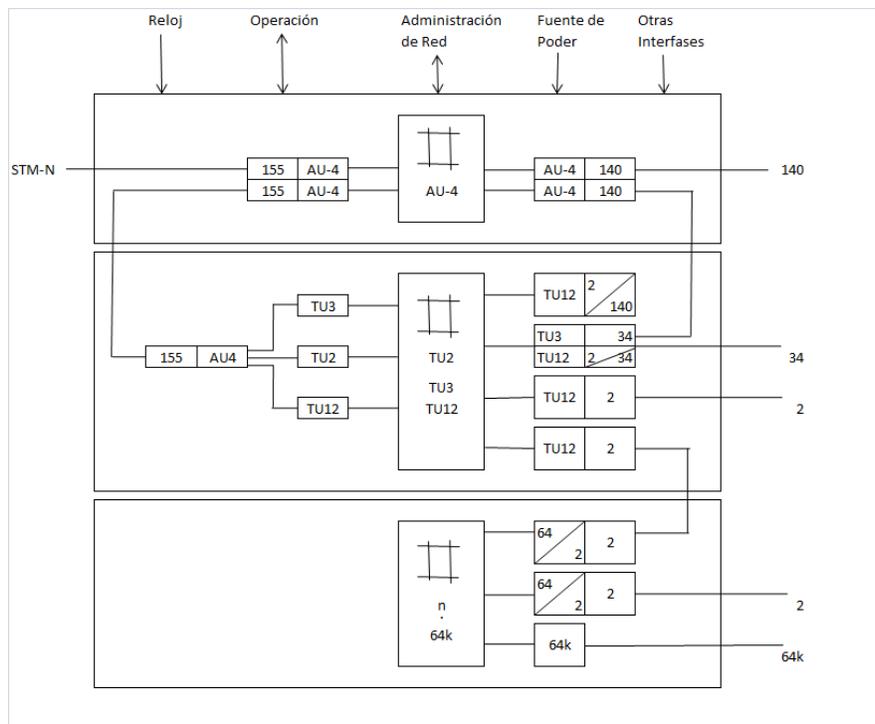


Figura 1.30 Funciones Básicas de un cross-connect SDH

### **1.1.8 Sincronización de Redes digitales**

La Sincronización de relojes es un tópico muy sensible en las discusiones de evolución y estrategias de red. ¿Debe cada operador de la red usar su propio reloj como fuente de referencia, o pueden usar un reloj primario con la posibilidad de sincronizar sus redes? ¿Cuál es el mejor camino para distribuir un reloj primario? ¿Cuáles deben ser los requerimientos de exactitud que el reloj central debe tener?

Antes de buscar todas las respuestas, primero veamos una explicación de los términos asíncronos y síncronos:

Cada elemento de red envuelto en un sistema asíncrono tiene su propia fuente de reloj. Para intercambiar información, las señales deben ser transmitidas en estructuras de trama que puedan tomar en cuenta las diferencias entre las señales de reloj. Tramas asíncronas en consecuencia generalmente incluyen cierta capacidad para relleno. Información o bits de relleno son transmitidos a los puntos apropiados, permitiendo que todos los elementos de red operen con sus propios relojes dentro ciertos límites.

Todos los elementos de una red síncrona son acoplados al mismo reloj, sólo una fuente de reloj debe estar presente en la red. Todos los demás elementos de red se sincronizan a esta fuente de reloj.

Si se presenta más de una fuente de sincronización, la red es conocida como una red pseudo-síncrona. Ejemplos de estas redes son las grandes redes SDH con enlaces internacionales. La transferencia de datos correctos es asegurada a través de mecanismos de apuntadores.

En el pasado, la sincronización de redes solo tomaba lugar en los centros de conmutación. La mejor solución técnica sería tener un suministro a cada elemento con una señal de reloj distribuida sobre una red separada exclusivamente reservada para este propósito. Esta no es una propuesta económica factible. Las señales de reloj deben ser distribuidas usando circuitos existentes y la señal de reloj de la red debe ser derivada desde una conexión

estable. La sincronización Maestro / esclavo (ver fig. 2.31) con doble frecuencia de reloj tiene probado ser un compromiso práctico.

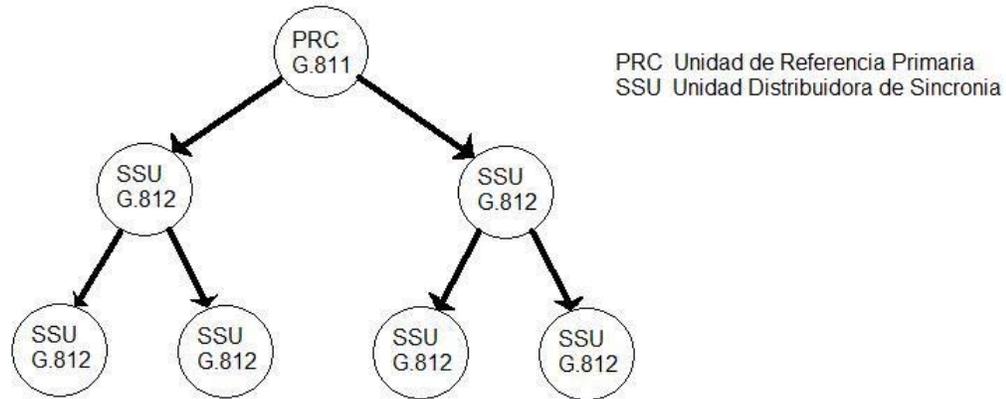


Figura 2.31 Sincronización Maestro / esclavo

El suministro de reloj de cada elemento debe ser trazable a la unidad de referencia primaria de reloj (PRC) especificada por la recomendación G.811 de la ITU-T. Esta recomendación permite a largo plazo desviaciones de frecuencia de  $1 \times 10^{-11}$ . La distribución jerárquica de reloj con referencias de reloj de redes exclusivas y principalmente usando circuitos existentes, asegura una sincronización de alta calidad para cada elemento de red. El cableado adicional requerido es mínimo. Se debe tener cuidado en asegurarse que no ocurran lazos de reloj. La calidad de transmisión del enlace afectará directamente la calidad de la señal de reloj presente en cada elemento. Es recomendada la distribución de señal de reloj vía enlaces STM-N, desde que estas no son utilizadas para procesos de relleno. La distribución de señales de reloj de 2Mbit/s usando enlaces existentes PDH afectan desfavorablemente las señales de 2Mbit/s en los estados multiplexados de alto orden.

La ITU-T también define a las unidades de suministro de sincronización (SSU). Esto es usualmente un punto independiente del equipamiento de la red. Si la PRC falla las SSU suministran una señal de sincronía de alta calidad por un periodo menor de 24 horas. La desviación del reloj permitida depende si el SSU está en un nodo de tránsito o en un nodo local.

El tercer nivel de sincronización es un reloj de equipo síncrono (SEC) que son normalmente parte de los elementos de la red SDH. Las señales de referencia actuales están lo más posible libres de Jitter. Si las referencias de reloj (PRC y SSC) fallan, los elementos de red pueden mantenerse sincronizados sólo alrededor de 15 segundos.

La figura 1.32 muestra como muchos SSUs y SECs están permitiendo una cadena de sincronización.

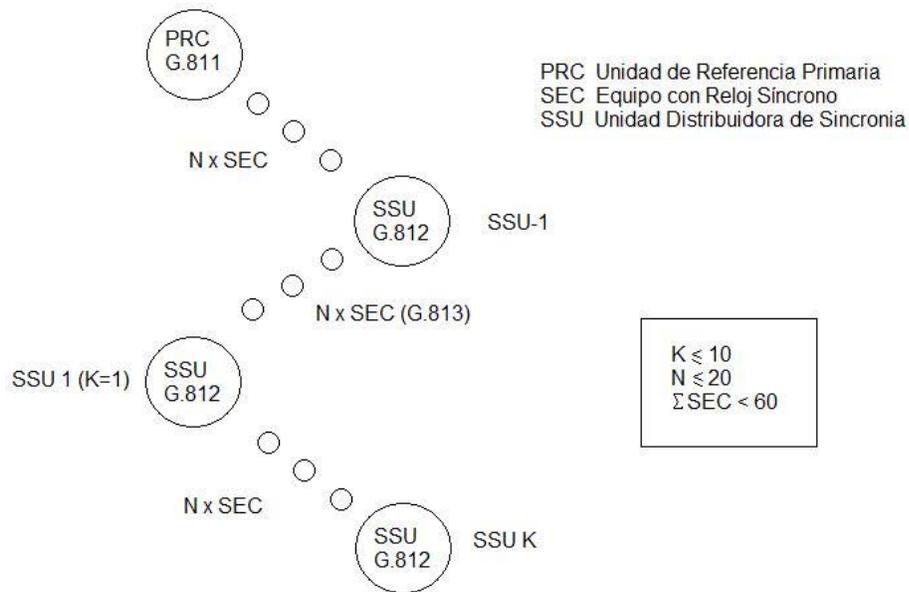


Figura 1.32 Sincronía de red: SSU y SEC

La regeneración de reloj en el SSU y SEC están asegurados usando lazos de fase amarrados. Si el suministro de reloj falla o está con fallas, los elementos de red afectados conmutan a un modo de "Holdover". Para asegurar que el reloj mantenga la exactitud lo más posible, es aplicada una corrección de acuerdo a la temperatura del oscilador y los valores de corrección obtenidos por los elementos de red en las últimas horas. Estos resultados son considerablemente mejores que la estabilidad de un oscilador en carrera libre. Las especificaciones del modo Holdover están dadas para un máximo tiempo en cada caso.

Varios métodos de recuperación de reloj son implementados en los elementos de la red SDH de acuerdo a la siguiente jerarquía:

- Relojes estándares externos (situación normal)
- Sincronización desde un STM-N. Los elementos de red derivan una señal de reloj de sincronización de 2MHz desde la señal de entrada STM-N y suministra este reloj a los subsecuentes elementos (por ejemplo el equipo PBX).
- Sincronización desde una tributaria de datos de 2Mbit/s vía SDH.
- Elementos SDH con cristal de cuarzo controlado con un reloj interno (reloj de un elemento SDH, SEC).

Puede verse que las señales de 2Mbit/s vía enlaces de SDH, no deben ser usadas para la distribución de reloj a causa del relativamente alto Jitter de relleno. Sin embargo, si la señal de 2Mbit/s es previamente multiplexada asincrónicamente dentro de una señal de 34Mbit/s, esta puede ser usada como una referencia de sincronización, esto es posible debido a que la amplitud de Jitter es mucho menor para un VC3/4. Esto hace grandemente restrictivas las posibilidades de disponibilidad de enrutamiento. Si existen diferencias entre las señales STM-N contra el cross-connect, resultará en movimientos de apuntadores. Los apuntadores pueden asegurar una correcta funcionalidad si existen grandes diferencias de relojes. Las redes SDH pueden continuar operando con mucho mayores diferencias de frecuencia que las redes PDH, esto es una ventaja que tiene SDH sobre PDH en este aspecto.

Si una falla ocurre en el nodo de red y el nodo se va a un modo de Holdover, este indica su estado por ejemplo en el byte S1 transmitido (Synchronization Status Message SSM).

El multiplexor receptor espera una calidad de reloj que es comunicada en el byte S1. Si la calidad del reloj no corresponde al valor esperado, la salida del reloj central del elemento de red será deshabilitado. La ventaja de esto es que una señal de calidad baja de reloj no será distribuida hacia otros. Lazos críticos de reloj pueden ser prevenidos con un diseño apropiado de la red de sincronización con la ayuda del mecanismo SSM.

Los siguientes mensajes pueden ser transmitidos usando combinaciones de 5 a 8 bits o por el byte S1:

Calidad	Prioridad	Significado
0010	Más alta	G.811 referencia primaria de reloj (PRC)
0100		G.812 unidad de suministro secundario (SSU) nodo tránsito
1000		G.812 unidad de suministro secundario (SSU) nodo local
1011		Equipo fuente de sincronía (SETS)
1111	Más baja	No se usa para sincronización
0000		Calidad desconocida

Las combinaciones de bits no mencionadas en la table están reservadas para futuras aplicaciones.

Los relojes de referencia primarios son, por ejemplo basados en un estándar de Cesio (que desafortunadamente es muy caro) o por acoplamiento a los satélites pertenecientes al sistema de posicionamiento global (GPS). El uso de un estándar de rubidio enlazado al GPS es una buena y económica solución. La constante intrínseca del estándar de rubidio es alta en modo Holdover y cumple con los requerimientos para ser un PRC en el improbable caso de una falla en el sistema GPS.

Los operadores de las redes privadas algunas veces enlazan sus sistemas a relojes primarios de otros operadores, esto significa que alquilan enlaces multiplexados primarios y solo con la condición de que sea una señal de reloj primaria antes de distribuirla en sus redes. Ante el gran progreso del sector de telecomunicaciones en el mundo, cada vez más operadores están instalando sus propias fuentes de referencia para eliminar la no buscada situación de depender de sus competidores.

## **1.2 RUIDO DE FASE (JITTER Y WANDER)**

### **1.2.1 Causas y efectos del Jitter**

El Jitter es definido como la desviación en el tiempo de los pulsos de una señal digital con respecto a su posición ideal. De acuerdo con la ITU-T

“Jitter is short term deviations in the significant instants of digital signals referred to their equidistant nominal instants”

El Jitter está definido en términos de amplitud y frecuencia. A muy bajas frecuencias el Jitter es llamado Wander. El Wander es generalmente referido para el Jitter con frecuencia menores a 10Hz, pero en particular a variaciones de frecuencias de fracciones de 1Hz.

El Jitter causa en señales digitales que estas sean muestreadas en tiempos que no son los ideales. Esto puede generar errores simples o tasas de errores. La calidad de las señales regeneradas es también altamente determinadas por la tolerancia al Jitter de los componentes del sistema. El Jitter también puede causar desplazamientos (slips) suficientes para sobrellenar o vaciar las memorias dinámicas (buffers). En teoría la variación puede llevar la mitad del ancho de bit actual para ser muestreada sin errores. En la práctica los valores críticos son muchos menores, suficiente para distorsionar la señal sumarle ruido.

¿Cómo es causado el Jitter? Una distinción es mostrada entre el Jitter sistemático y el Jitter no sistemático, dependiendo de la causa actual. El Jitter sistemático depende de la secuencia de bit transmitida. Los retardos en ensambladores y codificadores son dependientes al patrón. La distorsión en la línea también puede resultar en impulsos de diafonía que también son dependientes del patrón que conduce a Jitter si la señal de ecualización es insignificamente incorrecta o si la señal recuperada del lazo de control no está correctamente sintonizada. El Jitter no sistemático es causado por acoplamientos electromagnéticos o señales de interferencia internas o externas, tales como diafonía, ruido, reflexiones u otros voltajes de interferencia. La interferencia en el suministro de reloj que se transmite a otros componentes del sistema es un problema particular. El espectro de la señal de interferencia proporciona valiosa información acerca de la fuente del

problema. Interferencia de 60Hz es fácilmente identificable. Interferencia de computadoras puede mostrar frecuencias arriba de los 60MHz.

El SDH agrega problemas de Jitter. Operaciones de apuntadores causan eventos de fase simples o repetidos de un ancho de 24bits. Los componentes de entrada del sistema deben removerlos lo más posible. Este proceso da como resultado Jitter de apuntador. Otro tipo de Jitter ocurre como resultado de relleno en procesos de introducir señales asíncronas a elementos de red síncronos. El rompimiento de bits en el relleno de la señal tributaria durante el mapeo y el demapeo de la señal conducen a la generación de Jitter, conocido como Jitter de mapeo. Existe otra manifestación de jitter llamado Jitter de justificación. Este es causado por la necesaria justificación en las estructuras de trama asíncronas y solo ocurre en tiempos específicos. Estos resultados en la modulación de fase de la señal son transmitidos.

Desgraciadamente, el Jitter acumulado en cada paso de la señal es regenerado durante el curso de la transmisión. Es verdad que el Jitter no buscado puede ser reducido dentro de los componentes del sistema a través de un diseño apropiado del circuito, pero el Jitter de muy bajas frecuencias pasa a través del sistema sin ser reconocido porque el sistema regenerador de reloj sigue las variaciones de la señal de entrada.

Ocurren errores de bit cuando la referencia de tiempo entre los datos y el muestreo es derivada de los datos incorrectos. El Jitter de datos dentro del ancho de banda del lazo de fase cerrado (PLL) de la entrada de los componentes del sistema es siempre totalmente superpuesto en el muestreo del reloj, mientras las relaciones entre el reloj y los datos son preservadas. El Jitter llega a ser crítico cuando las frecuencias de Jitter están cerca de las frecuencias de corte o están fuera del filtro paso banda del PLL. En este caso solo una parte del Jitter es transferido a los datos resultando en distorsión de la referencia de tiempo. Los datos no son muestreados en el centro de cada bit. En este punto, la amplitud de Jitter relativamente baja puede causar errores de bit.

### **1.2.2 ¿Por qué debe ser medido el Jitter?**

El equipo de comunicaciones digitales es enlazado en cada vez más complejas redes, los requerimientos para una completa interacción de los sistemas

envuelven un incremento de las comunicaciones. Las complejas estructuras de redes demandan una mejor estabilidad y sincronización entre las señales de datos y reloj. Todos los sistemas deben tener el mínimo Jitter intrínseco al mismo tiempo.

La reconstrucción de la señal digital sin errores depende de la tolerancia al Jitter de los componentes del sistema tal como la señal a la tasa de ruido. Mientras la medición de errores de bit permite un criterio de aceptación o rechazo de los límites nominales especificados, la medición de Jitter permite indicar desplazamientos lentos y otros problemas escondidos que están ocurriendo. Esto permite una evaluación general de la tolerancia de error del sistema o de una red completa. Esto es un aspecto particularmente importante de mantenimiento preventivo para el aseguramiento de la calidad de la red, así como un eficiente camino de prevención para futuras fallas en el sistema.

El Jitter también es frecuentemente responsable de errores de bit en la transmisión. Mientras la medición de errores de bit indica el estado actual del sistema o red, la medición del Jitter determina las causas del problema.

Los operadores de redes están particularmente conscientes con la situación de que la acumulación de Jitter en la red puede tener efectos no discernibles en un largo periodo de tiempo. Un pequeño incremento en el Jitter u otro tipo de degradación puede causar de repente problemas severos. Este efecto de umbral es típico de señales digitales en general y especialmente por el Jitter.

Brincos de fase periódicos son otras variantes de Jitter. Estos generan también errores de bit simples. Algunos medidores de Jitter pueden ser pre-configurados con valores de umbral para la detección de brincos de fase. La directa afectación de las fuentes de falla puede ser representada por mediciones simultáneas de errores de transmisión y brincos de fase. Esto puede reducir considerablemente el tiempo necesario para limpiar una falla en la red.

### **1.2.3 ¿Cómo es medido el Jitter?**

El Jitter de una señal digital está definido en términos de amplitud y frecuencia. El Jitter es generalmente expresado en unidades de intervalo (UI), como es definido



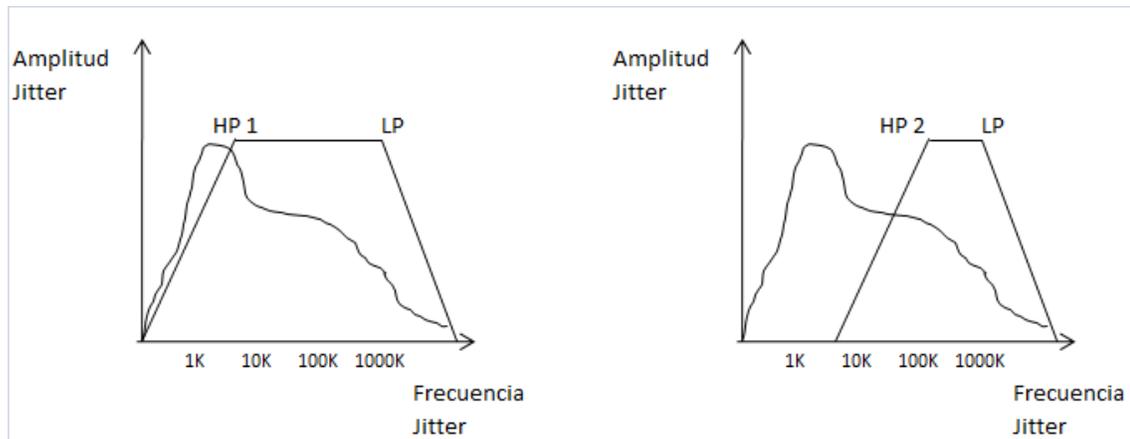


Figura 1.34 Filtros paso-banda utilizados para medir Jitter

### 1.2.4 Estructura de un analizador de Jitter

La figura 1.35 muestra la estructura de un analizador de Jitter. La señal con Jitter a ser medida puede contener una larga secuencia de ceros. Para el método normal de mediciones de Jitter requiere una señal continua, un convertidor patrón/reloj es usado para transferir lo más posible el Jitter de la señal de entrada con cambios regulares de estado. El convertidor patrón/reloj es en consecuencia basado en un lazo cerrado rápido (PLL) que también transfiere cambios rápidos en la señal digital. Esta conversión mejora las características del Jitter de la señal pero también suma el Jitter intrínseco del convertidor patrón/reloj. Un PLL lento es usado para proveer el medidor de Jitter con una señal de reloj libre de Jitter o con Jitter reducido. El Jitter contra la función del tiempo es obtenido por una simple comparación de fase. Esto es entonces filtrado y los valores de Jitter de pulsos positivos y negativos son determinados separadamente. El procesamiento digital de la función del tiempo filtrada hace posible detectar los cambios rápidos en el valor pico de Jitter (por ejemplo Jitter de apuntador). Algunos fabricantes usan filtros análogos que dan como resultado un incremento en la respuesta al tiempo. Esto significa que el promedio de la señal toma lugar y el valor real pico no puede ser exactamente determinado.

El Jitter contra la función del tiempo está disponible desde la salida del demodulador para cualquier otro procesamiento. Si este es suministrado por un voltímetro selectivo o un analizador de espectro, el espectro de Jitter puede ser determinado con una alta exactitud.

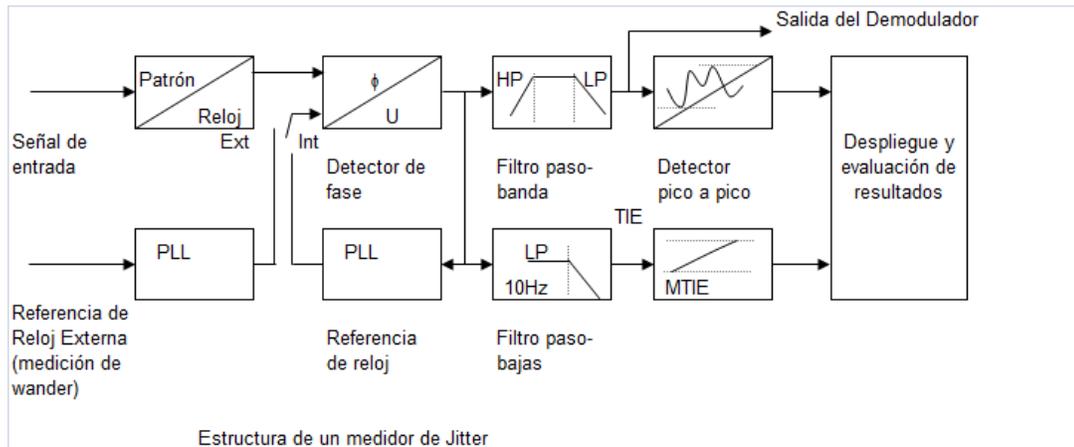


Figura 1.35 Estructura de un medidor de Jitter

## 1.2.5 Características de la medición del Jitter

### 1.2.5.1 Medición de Jitter intrínseco

El Jitter a la salida de un dispositivo bajo prueba cuando no tiene señal o la señal presente está libre de Jitter es llamado Jitter intrínseco. Un extracto e las recomendaciones ITU-T describen el máximo permitido de Jitter en las salidas de los elementos de red, esto es mostrado en la figura 1.36. El sistema debe permanecer dentro de los valores límite bajo cualquier condición. Los valores de Jitter permitido a muy altas frecuencias son muy bajos.

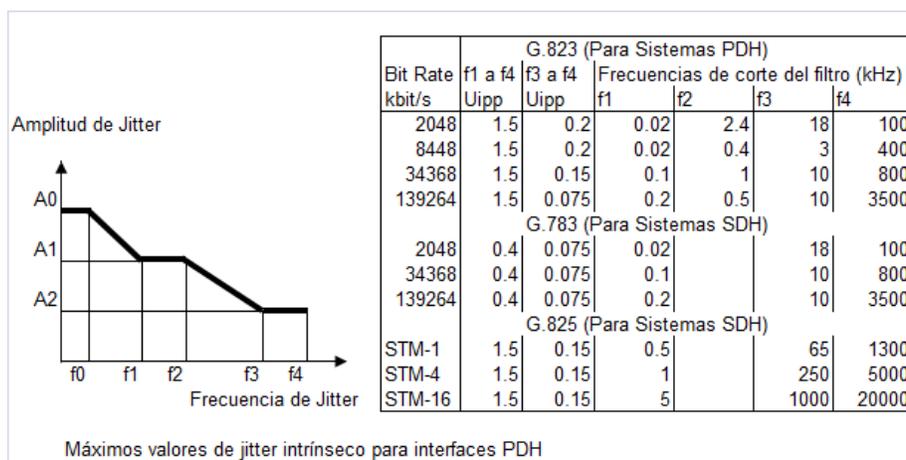


Figura 1.36 Valores Máximos de Jitter intrínseco para interfaces PDH.

Para medir los valores permitidos de la salida de Jitter, algunos de ellos son muy bajos, el equipo de medición y prueba debe tener un mínimo de Jitter intrínseco. Cuidadosos diseños de sus circuitos permiten asegurar valores en el orden de menos de mUI. Algunos fabricantes de medidores de Jitter ofrecen equipo que tiene Jitter intrínseco de 50 mUI o más, con lo que es imposible realizar mediciones útiles. La figura 1.37 muestra un típico resultado de una medición.

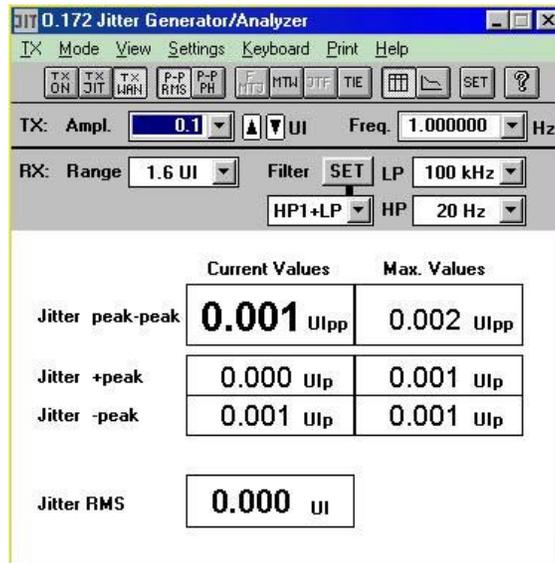


Figura 1.37 Resultado Típico de Análisis de Jitter

La pantalla adicional del valor de Jitter máximo ocurrido durante el intervalo de medición es útil. Este permite un rápido reconocimiento de la inestabilidad en enlaces de transmisión. Alguna otra información en causas de fallas puede ser obtenida por la detección de brincos de fase.

¿Cómo es afectado el resultado por el Jitter intrínseco en esta prueba? El Jitter intrínseco de la configuración de la medición no puede ser simplemente sustraído desde el resultado medido, El Jitter total de la prueba de medición y los resultados del dispositivo bajo prueba son superpuestos la magnitud y la fase de dos espectros de frecuencia. No es físicamente posible producir un medidor de Jitter de 0UI sobre una medición de banda ancha. Algunos fabricantes usan rutinas de software para sustraer el Jitter intrínseco de la prueba desde el valor medido y da la impresión de una alta exactitud. Como el Jitter intrínseco depende de la calidad técnica del circuito medidor de Jitter como mejor sea la estructura de trama actual y el contenido de la señal, este procedimiento conduce a grandes errores de medición, fabricación confiable y resultados imposibles de reproducir.

### 1.2.5.2 Medición del máximo Jitter tolerable.

Muchos usuarios de los componentes del sistema el máximo tolerable al Jitter (MTJ) es en esencia una medición estándar a realizarse después de la instalación del sistema, MTJ es fundamentalmente importante para caracterizar los elementos componentes del sistema de transmisión. La medición del MTJ indica si el valor permitido de Jitter en las recomendaciones ITU-T produce eventos de error como son errores de bit, desplazamientos de bit o alarmas. La ITU-T tiene definidas máscaras de tolerancia que describen el mínimo tolerable al Jitter como una función de la frecuencia del Jitter.

El MTJ es medido usando una modulación sinusoidal de Jitter. Un ejemplo de configuración de prueba usando un multiplexor ADM Add/drop STM-1 es mostrado en la figura 1.38.

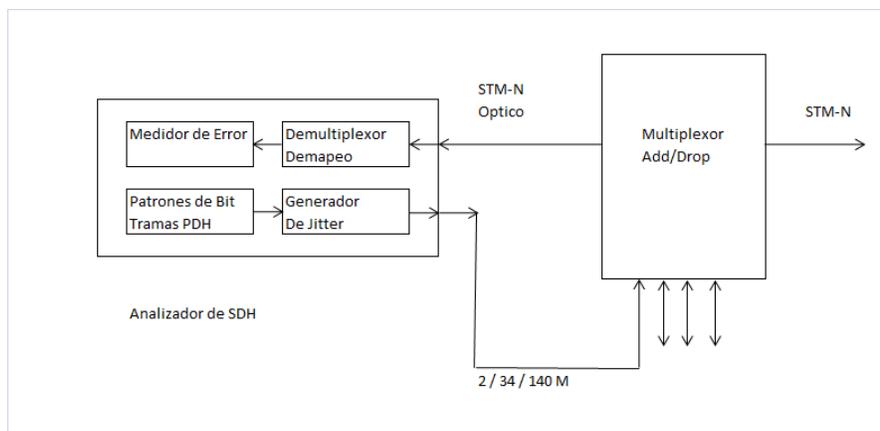


Figura 1.38 Determinación del Máximo Jitter tolerable

El procedimiento de medición es el siguiente:

Un patrón de prueba es transmitido por un generador de Jitter que puede superponer Jitter definido con amplitud y frecuencia seleccionable en el patrón de prueba. La salida del dispositivo bajo prueba es monitoreada por errores de bit en el patrón de prueba.

La amplitud del generador de Jitter es incrementada en frecuencias fijas de Jitter hasta que errores de bit son detectados en la salida de señal del dispositivo bajo prueba.

Este procedimiento es repetido usando el siguiente valor definido de frecuencia de Jitter en las regulaciones de medición.

La figura 1.39 muestra una medición típica de la máxima tolerancia al Jitter. La señal de reloj recuperada por los elementos del sistema no puede seguir rápidos cambios de fase a altas frecuencias de Jitter, fallas de muestreo o errores de bit. El MTJ de esta manera se minimiza con el incremento de la frecuencia.

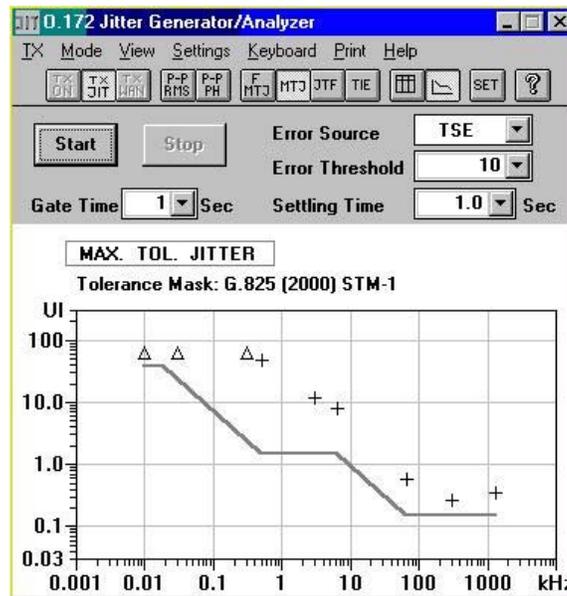


Figura 1.39 Determinación automática del Jitter tolerable

Muchos fabricantes de equipo de prueba de Jitter tienen desarrollados algoritmos para determinar automáticamente el MTJ que ofrece significativos ahorros de tiempo comparados con el método manual. La medición del MTJ también es recomendada en la parte de mantenimiento de rutina de la red, como esto permite cambiar gradualmente en el desempeño de los elementos de red a ser detectados.

Las mediciones de Jitter de modo transparente pueden ser usadas para determinar el MTJ de las interfaces del sistema usando señales del sistema reales. La secuencia de bit provee a la prueba de medición que esta enlace a través de intercambiarse con un Jitter definido superpuesto. Si la prueba de medición puede transferir las características de una señal generada externamente a las transiciones de los patrones de bit (Jitter externo), esto hace posible simular espectros de Jitter (por ejemplo ruido).

### 1.2.5.3 Midiendo la función de transferencia de Jitter

La función de transferencia de Jitter (JTF) indica el grado de que el Jitter está presente en la señal de entrada que es transferida a la señal de salida. Como la señal pasa a través de módulos del sistema, los componentes de Jitter de alta frecuencia son generalmente suprimidos y los de bajas frecuencias pasan a través relativamente sin cambios. Esto hace posible que el Jitter en la señal de entrada puede llegar a ser significativamente amplificado. Esto conduce a valores muy altos inaceptables de Jitter cuando muchos regeneradores son conectados en serie.

La función de transferencia  $H(f_j)$  para la frecuencia  $f_j$  está definida como:

$$H(f_j) = 20 \log_{10} \frac{\text{Output Jitter}(f_j) - \text{Intrinseco Jitter}(f_j)}{\text{Jitter de entrada}(f_j)} \text{ [dB]}$$

La configuración de la prueba es mostrada en la figura 1.40

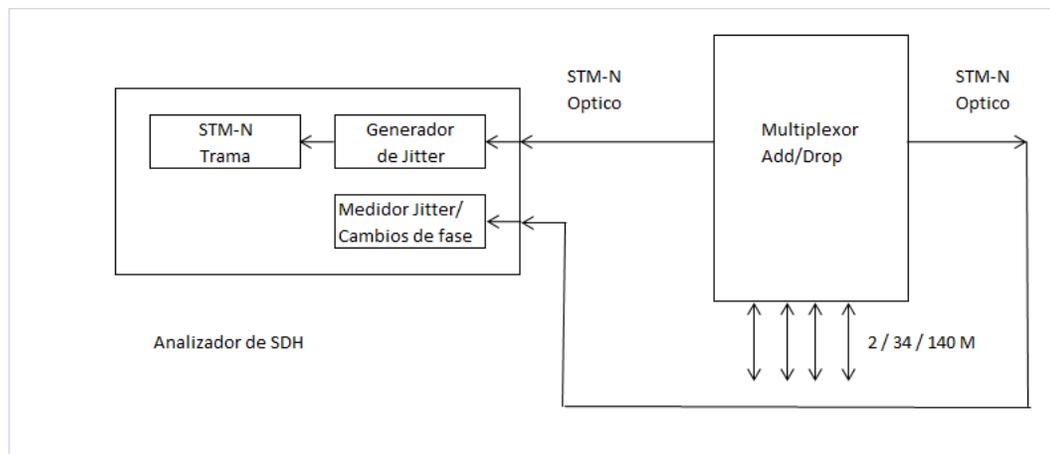


Figura 1.40 Determinación de la función de transferencia de Jitter

El Jitter a la salida es determinado por una amplitud de Jitter constante a frecuencias variables de Jitter. El valor de amplitud seleccionado está determinado por el valor que es tolerado por los componentes del sistema a alta frecuencia. El Analizador de Jitter mide la amplitud de Jitter a la salida del dispositivo bajo prueba para varias frecuencias de Jitter a la entrada. El Jitter intrínseco de la prueba de medición y la respuesta a la frecuencia del demodulador de Jitter son críticos para esta medición. La figura 1.41 muestra una función de transferencia de Jitter típica.

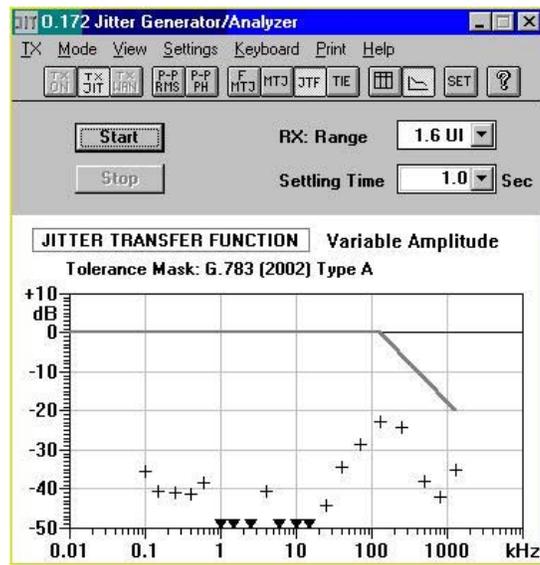


Figura 1.41 Función de Transferencia de Jitter típica

#### 1.2.5.4 Análisis de Wander

Como se había mencionado anteriormente, los componentes del sistema permiten que el Jitter de baja frecuencia o wander pase a través de ellos relativamente sin cambios. El wander es causado por la acción de apuntadores en sistemas síncronos así como de las variaciones causadas por la justificación. Los cambios de temperatura en las fibras ópticas también producen lentos cambios de baja frecuencia en tiempo de propagación que conduce a los correspondientes cambios de fase. La característica de los filtros paso-bajas de los elementos de red puede causar muy altos valores de wander acumulado dentro de la red. Los efectos de estos pueden ser medidos como alarmas y errores de

transmisión, pero la identificación confiable de la causa es requerida si el problema debe ser esclarecido.

Una señal de sincronización externa siempre es requerida para medir el wander. En muchos de los casos, puede ser usado el sistema de reloj central. Si esto no es posible, una no costosa fuente de referencia puede ser usada (GPS). Una señal de reloj derivada desde la señal de entrada puede también ser usada pero esto resulta en un incremento de la incertidumbre de la medición.

La medición de fase compara la fase de la señal bajo prueba con la señal de referencia. Los resultados de la medición de wander pueden ser medidos y evaluados usando la definición suministrada por las recomendaciones ITU-T.

Entre otras cosas, la recomendación ITU-T G.810 define el TIE (Time Interval Error) y el MTIE (Maximum Time Interval Error). Estos importantes parámetros prácticos son explicados en la figura 1.42.

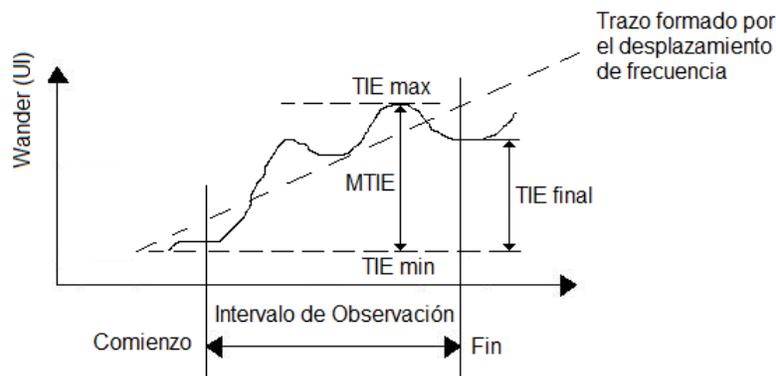


Figura 1.42 Definiciones de MTIE y TIE

El TIE describe la desviación con respecto al tiempo de la señal de reloj bajo prueba con la señal de referencia dentro de un intervalo de observación. El MTIE se deriva del máximo valor de esta desviación. El equipo de medición del Jitter debe permitir la determinación de wander y generar las apropiadas gráficas de MTI y TIE.

La figura 1.42 también muestra a la desviación de tiempo (TDEV) como otro parámetro para la evaluación de wander. Este expresa el tiempo de desviación de la señal digital sobre el tiempo de integración y de esta manera una medición del contenido espectral de la señal de wander.

Los valores de límite mostrados como una máscara de tolerancia dependen del tipo de la fuente de sincronización (por ejemplo una señal de reloj o una conexión PDH). Estas evaluaciones ayudan al operador de la red a investigar la calidad de su sincronización de red.

Información de sincronización es transmitida a través de componentes del sistema STM-1/4/16. Al evaluar el comportamiento de la sincronía con las mediciones, el analizador usado debe también permitir mediciones de desempeño de wander en las interfaces de comunicación, no solo a 2Mbit/s. La nueva recomendación O.172 le da una importante importancia a las mediciones de Jitter y wander en las redes síncronas dentro de su contenido.

## **1.3 TECNOLOGÍA DE RELOJES PARA COMUNICACIONES**

### **1.3.1 Antecedentes**

Los ejemplos históricos de relojes se remontan a 3500 años antes de nuestra era: obeliscos y relojes solares egipcios. A través de muchas mejoras tecnológicas estos relojes han sido utilizados por muchos años. Después en el siglo XIII aparecieron los relojes mecánicos y en el siglo XV el primer reloj mecánico de bolsillo, basado en un mecanismo de cuerda. Sin embargo el verdadero impacto fue la invención de los relojes de Péndulo por Galileo y Huygens (siglo XVI y XVII) y la introducción del componente oscilante. Después de esto, la introducción de relojes eléctricos y relojes basados en cuarzo y osciladores atómicos, no tuvieron cambios sustanciales.

Desde un punto de vista teórico, el principio de operación de los diferentes tipos de relojes consiste de un generador de oscilaciones y un contador automático de esas oscilaciones. Los osciladores pueden ser basados en un fenómeno físico periódico de cualquier tipo: el balanceo de un péndulo, una rueda mecánica, la

vibración de átomos en un cristal, la radiación asociada con una específica transición atómica.

### **1.3.2 Osciladores de Comunicaciones**

En la Industria de Comunicaciones se hace diferencia entre dos tipos de fuentes de reloj estándares.

Estándar Primario de frecuencia, este es generador de señal que se utiliza de referencia para sincronizaciones de frecuencias y otros propósitos de metrología, que no requieren que sincronizarse a una referencia externa. Ejemplos de estas referencias primarias estándar son los relojes atómicos basados en Cesio o hidrógeno-MASER.

Estándar Secundario de frecuencia, este es usualmente referenciado a estándares primarios de frecuencia. Ejemplo de éstos son osciladores de cuarzo de alta estabilidad y relojes atómicos basados en celdas con gas de Rubidio.

#### **1.3.2.1 Osciladores de Cuarzo**

Los Osciladores de Cuarzo están basados en el efecto piezoeléctrico: un esfuerzo mecánico en el cristal genera un campo eléctrico y viceversa. Un oscilador de Cristal (XO) es altamente dependiente de las condiciones ambientales como pueden ser la temperatura, humedad, etc. La calidad del oscilador permite utilizarlo en circuitos retroalimentados positivamente, lo que permite generar excelentes seguidores de frecuencia en cortos tiempos.

Desde un punto de vista funcional, un Oscilador controlado por Voltaje (VCO) es un oscilador que su frecuencia de salida es controlada, dentro de unos límites, por un voltaje externo. Estos dispositivos son comúnmente utilizados para Construir Osciladores de Cristal Controlados por Voltaje (VCXO), y es la parte clave de los circuitos PLL.

El principal problema de los relojes XO es su dependencia a su propia frecuencia y a la temperatura. Para compensar estos problemas se implementaron controles automáticos de temperatura de los cristales dando pie a los Osciladores de Cristal compensados en temperatura (TCXO).

Para tener mejores relojes se desarrollaron relojes con ambientes cerrados térmicamente controlados a temperatura constante, estos tipos de relojes se les llamo Osciladores de Cristal Oven-controlled (OCXO). En estos relojes los elementos resonadores y sensores de temperatura son colocados lo más cerca posible para minimizar los efectos de variaciones de temperatura.

Algunos de los datos característicos de los relojes que pueden ser encontrados en el mercado de osciladores son resumidos en las siguientes tablas.

	XO	TCXO
Estabilidad a corto plazo (t = 1s)		1 x 10E-9
Desplazamiento de frecuencia lineal D	> 1 x 10E-6 /año	5 x 10E-7/año
Exactitud de Frecuencia (1 año)	2 x 10E-6 a 1 x 10E-5	2 x 10E-6
Sensibilidad a la Temperatura	> 1 x 10E-7 /oC	5 x 10E-8 a 5 x 10-7 (-55oC a 85oC)
Tiempo de Calentamiento		10s (a 1 x 10E-6)
Tiempo de Vida (eficiencia garantizada)	10 a 20 años	> 5 años

Figura 1.43 Características de osciladores de cuarzo disponibles en el mercado (XO y TCXO).

	Horno Simple Miniatura OCXO	Horno Doble OCXO	Horno Doble BVA OCXO
Estabilidad a corto plazo (t = 1s)		1 x 10E-11 a 5 x 10E-11	1 x 10E-13 a 5 x 10E-13
Desplazamiento de frecuencia lineal D	2 x 10E-8 / año a 4 x 10E-7 / año	1 x 10E-8 / año a 1 x 10E-7 / año	1 x 10E-9 / año a 4 x 10E-9 / año
Exactitud de Frecuencia (1 año)	2.5 x 10E-8 a 9 x 10E-7	1.1 x 10E-8 a 1.1 x 10E-7	1.7 x 10E-9 a 4.8 x 10E-9
Sensibilidad a la Temperatura	5 x 10E-9 a 4 x 10E-7 (-30oC a 60oC)	2 x 10E-10 a 8 x 10E-9 (-30oC a 60oC)	1 x 10E-10 a 2 x 10E-10 (-30oC a 60oC)
Tiempo de Calentamiento		30min (a 1 x 10E-9)	2 horas (a 1 x 10E-10)
Tiempo de Vida (eficiencia garantizada)	10 a 20 años	10 a 20 años	10 a 20 años

Figura 1.44 Características de osciladores de cuarzo disponibles en el mercado (OCXO).

### 1.3.2.2 Osciladores Atómicos

En contraste con los osciladores de cuarzo, los estándares atómicos de frecuencia están basados en las propiedades intrínsecas de átomos. La frecuencia de referencia es determinada por constantes fundamentales como la energía entre dos niveles atómicos específicos. Un reloj atómico utiliza la referencia de frecuencia de oscilación de una señal electromagnética asociada con la transición cuántica entre dos niveles de energía en ciertos átomos. La cantidad cuántica de energía electromagnética es llamada fotón (photon) y es igual a la diferencia en energía entre dos niveles en un átomo.

Los estándares de frecuencia más utilizados son basados básicamente en tres elementos: Hidrógeno (en estándares de Hidrógeno-MASER), rubidio (estándares con celda de gas de rubidio) y Cesio (estándares de frecuencia de Cesio). Algunos de los datos característicos de estos tipos de relojes se encuentran resumidos en la tabla siguiente.

	Estandar Rubidio	Estandar Cesio	Estandar Hidrógeno MASER
Estabilidad a corto plazo (t)	para t = 1s: 5 x 10E-12 a 5 x 10E-11	para t = 100s: < 10E-13 (estandar primario) a 3 x 10E-12	para t = 1s: 2 x 10E-13 (activo) 2 x 10E-12 (pasivo)
Desplazamiento de frecuencia lineal D	5 x 10E-11 / año a 5 x 10E-10 / año	0	< 10E-13 / año a 5 x 10E-12 / año
Exactitud de Frecuencia (1 año)	1 x 10E-10 a 1 x 10E-9	1 x 10E-14 (estandar primario) a 7 x 10E-12	1 x 10E-12
Sensibilidad a la Temperatura	1 x 10E-12 / oC a 1 x 10E-11 / oC	1 x 10E-14 / oC a 1 x 10E-13 / oC	1 x 10E-14 / oC
Sensibilidad a Campos Magnéticos (por 10E-4 T)	5 x 10E-12 a 2 x 10E-11	<1 x 10E-14 a 1 x 10E-12	3 x 10E-14 (activo) 1 x 10E-14 (pasivo)
Frecuencia de Resonancia	6.3846826128 GHz	9.192631770 GHz	1.42040575177 GHz
Tiempo de Calentamiento	2 a 30min (a 5 x 10E-10)	30min (a 3 x 10E-12)	24 horas (a 1 x 10E-12)
Tiempo de Vida (eficiencia garantizada)	Más de 10 años	3 a 10 años	3 años
Peso Típico	0.5 a 2 kg	10 a 30 kg	> 50kg
Potencia Consumida	10 a 50 W	25 a 50 W	70 a 100 W

Figura 1.45 Características de osciladores atómicos disponibles como referencias atómicas de frecuencia.

### **1.3.2.3 El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

El sistema de Posicionamiento Global (GPS) no es un reloj, sino un sistema complejo de relojes y satélites. GPS es un sistema de radio satelital que provee continuamente y en tiempo real al menos tres posiciones dimensionales, velocidad e información de tiempo a estaciones equipadas en la superficie de la tierra. Esencialmente fue diseñado como una herramienta de posicionamiento y navegación, pero también es utilizado como referencia de tiempo para diseminar la exactitud del tiempo, intervalos de tiempo y frecuencia.

El sistema NAVSTAR, operado por Estados Unidos de América, es el primer sistema disponible para usuarios civiles. EL sistema ruso GLONASS es muy similar al NAVSTAR. Este sistema GPS está basado en 24 satélites en órbitas, cada uno tiene dos relojes atómicos a bordo y continuamente monitorea las estaciones de control en tierra que capturan los datos de la órbita y los parámetros de corrección para cada satélite. El principio de triangulación es utilizado para determinar la posición de los receptores, basados en medición de intervalos de al menos cuatro satélites.

El sistema GPS puede ser utilizado también como una referencia de tiempo para determinar el tiempo, intervalos de tiempo y de frecuencia con una excelente exactitud. Está disponible alrededor del mundo sin cargo alguno por su uso y puede ser utilizado con equipo relativamente no costoso. Con las señales GPS se puede obtener exactitudes de 100ns y estabilidad de frecuencia de  $10E-12$ .



# METODOLOGÍA DE DETECCIÓN, ANÁLISIS Y RESOLUCIÓN DE EVENTOS ORIGINADOS POR EL RUIDO DE FASE



## **CAPÍTULO 2**

# **METODOLOGÍA DE DETECCIÓN, ANÁLISIS Y RESOLUCIÓN DE EVENTOS ORIGINADOS POR EL RUIDO DE FASE**

## **2.1 ELEMENTOS DE DETECCIÓN**

### **2.1.1 Detección del Ruido de Fase de Alta Frecuencia (Jitter)**

El Jitter se puede también entender como una señal de interferencia, que provoca una modificación en la forma de los pulsos que son enviados a través de los enlaces de comunicaciones, al ser de alta frecuencia esto genera errores de interpretación en los equipos receptores.

Los resultados de un alto porcentaje de interferencia en el enlace se muestran como se mencionó, en errores de bit, deslizamientos de señal, etc. Estos son detectados con equipos analizadores de comunicaciones digitales.

Estos equipos analizadores deben contar con las interfaces utilizadas en los enlaces de comunicaciones donde se tienen los errores o anomalías. El monitoreo y mediciones son absolutas con resultados de magnitud de Jitter en unidades de intervalo pico a pico (U<sub>lpp</sub>) y varios intervalos de frecuencia conforme a la recomendación internacional de la ITU-T correspondiente dependiendo del tipo de enlace que se esté evaluando.

### **2.1.2 Detección del Ruido de Fase de Muy Baja Frecuencia (Wander)**

El Wander a pesar de ser el mismo efecto físico que el Jitter, se trata de diferente manera debido a su muy baja frecuencia, ya que un analizador de comunicaciones no logra detectar los problemas por sus efectos muy lentos.

En este caso se realizan mediciones relativas comparando la señal evaluada con una de alta estabilidad (PRC) obtenida por relojes definidos por la recomendación ITU-T G.811. El Analizador de Comunicaciones entonces debe contar con un medidor de diferencia de fase con las interfaces que se están

evaluando y el tipo de señal que entregue el reloj de alta estabilidad que se utilizara de referencia.

### **2.1.3 Analizadores de Comunicaciones Comerciales**

En el mercado existen varios fabricantes de equipos de medición y prueba para Telecomunicaciones que cuentan con diferentes modelos:

<b>FABRICANTE</b>	<b>MODELO</b>
EXFO	FTB-400/FTB-8080
Agilent	OmniBER OTN
Acterna	ANT-20
Anritsu	MP1590E
JDSU	MTS-8000

La elección del analizador de comunicaciones que se debe adquirir es un compromiso entre las capacidades en cuanto a interfaces, facilidad de manejo, etc., para evaluar los enlaces que se tienen instalados por el operador de Comunicaciones y el precio más bajo con la mejor relación de eficiencia posible.

Algunos de los criterios más importantes que ayudan a tomar esta decisión son los siguientes:

1. Soporte Técnico Local Post-venta
2. Precio de Venta
3. Capacidad de crecimiento para nuevas actualizaciones de tecnologías
4. Portabilidad (Tamaño del equipo para poder transportarlo)
5. Facilidad de Manejo
6. Diversas Aplicaciones
7. Conceptos de Operación
8. Reputación del Fabricante

### 2.1.4 Distribución de sincronía

En las redes síncronas la estrategia de sincronización se vuelve crítica para el mejor desempeño de las mismas. Existen diferentes formas de distribuir la estabilidad de los relojes a todos los nodos y estos deben ser elegidos dependiendo de los requerimientos específicos de las aplicaciones y estructuras de la red de cada operador.

La estrategia más utilizada es la de maestro-esclavo, está basada en la distribución de la referencia de tiempo desde un reloj maestro a otros relojes esclavos directa o indirectamente. Estos relojes esclavos se encuentran en diferentes niveles de estabilidad con la topología mostrada en la figura 2.1 Sincronización Maestro-esclavo.

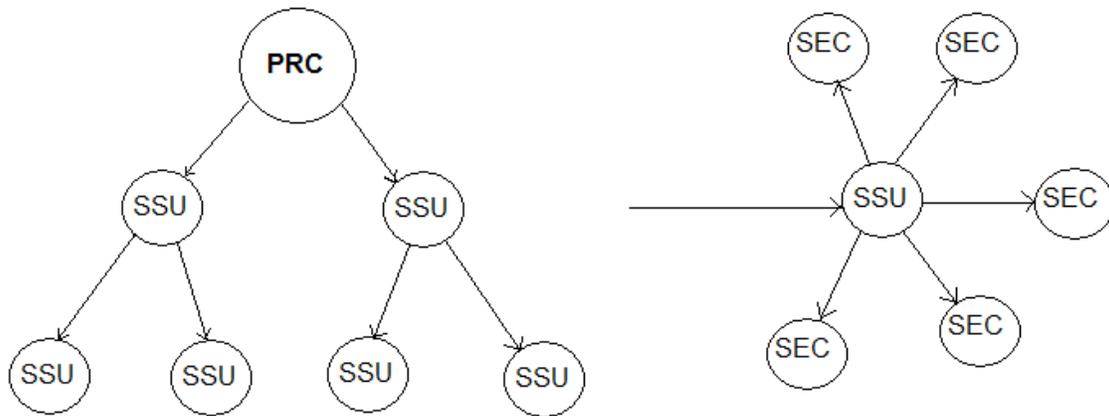


Figura 2.1 Sincronización Maestro-esclavo.

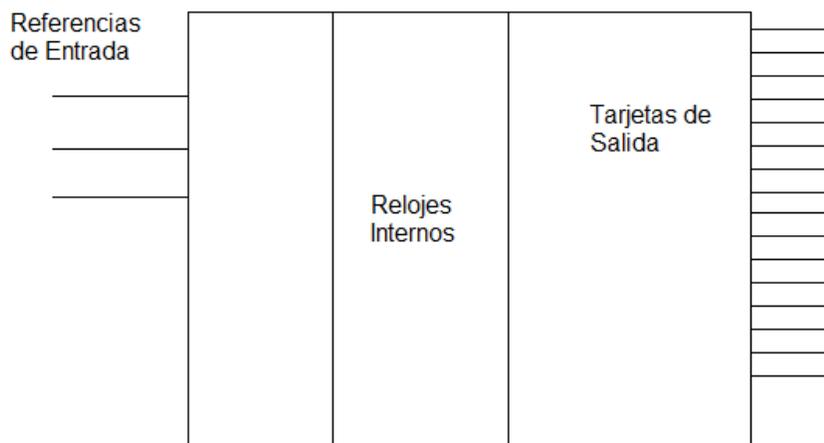
Esta sincronización se realiza a través de equipos denominados EDS (Equipos distribuidores de sincronía). Estos equipos reciben la señal de referencia maestra y es reproducida en varios puertos para ser enviadas a través de la red de comunicaciones a los nodos secundarios y finalmente a nodos locales remotos.

Los elementos de la red SDH pueden ser sincronizados por EDS de las siguientes formas:

1. Sincronía con un reloj de referencia primario externo PRC.  
Utilizando un equipo distribuidor de señal de sincronía se amarra el reloj del equipo de transporte SDH a la señal de referencia primaria.
2. Sincronía con una señal proveniente de la red de sincronismo externo.  
Utilizando la señal proveniente de la red de sincronismo y un equipo distribuidor de sincronía, se amarra el reloj interno del equipo de transporte SDH a la señal externa.
3. Sincronía por línea.  
Utilizando la configuración interna del equipo de transporte se genera la señal siguiendo el reloj de la misma señal transportada.

Debido a que la sincronía es transportada en canales de comunicaciones diseñadas para datos, se requiere instalar equipos EDS en todos los nodos principales e incluso en nodos remotos.

El esquema general de un equipo EDS está mostrado en la figura 2.2 Esquema de Equipo Distribuidor de Sincronía.



*Figura 2.2 Esquema de Equipo Distribuidor de Sincronía*

## **2.2 METODOLOGÍA**

### **2.2.1 Recepción del evento**

Este proceso comienza con el reporte del evento, este puede ser una falla o una intervención específica, es crítico contar con la mayor cantidad de información acerca de los efectos que se están presentando relacionados con el enlace que tiene el evento a atender.

Para ello se debe llenar un formato de apertura de folio para atención del evento. Este formato debe contar al menos con la siguiente información:

1. Datos de la Persona que reporta el evento
2. Nodos o Centrales donde se presentan el evento
3. Persona responsable del Nodo o Central
4. Descripción del evento
5. Hora, Fecha, etc., de inicio del evento
6. Estado del enlace
7. Alarmas o anomalías presentadas en el equipo de transporte SDH
8. Alarmas o anomalías presentadas en el equipo distribuidor de sincronía (EDS)
9. Equipo Analizador de Comunicaciones disponible en el sitio donde ocurre el evento o en el sitio del responsable de recepción del reporte del evento

### **2.2.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados**

Con la información obtenida de los nodos o centrales afectadas, se genera un esquema de la red de comunicaciones afectada. Cuando el nodo o central afectados están cerca de los nodos principales, el esquema con esta información es suficiente, pero esto no lo podemos determinar de manera anticipada, por tal motivo siempre debemos obtener los esquemas de la red de comunicaciones lo más completa posible, esta información normalmente se encuentra en los departamentos de ingeniería o soporte técnico.

Cuando tenemos completos los diagramas se dibuja en ellos el camino de sincronización de los nodos o centrales afectados. Esto es desde el reloj maestro hasta los relojes esclavos de los equipos involucrados en el evento.

En este esquema es necesario poner la información de los enlaces, tipos de equipos distribuidores de sincronía identificando el tipo de relojes que tienen internamente, así como los nombres de las centrales que están en camino de sincronización.

### **2.2.3 Evaluación del Ruido de Fase**

#### **2.2.3.1 Medición de la estabilidad de reloj**

Como ya sabemos la estabilidad de relojes es base fundamental de la operación en redes síncronas SDH, por lo tanto es necesario evaluar el Wander primero y conocer si la estabilidad de relojes en las centrales es correcta o es esta la que está generando el evento.

Cuando el evento es un servicio programado, evaluar el Wander también es lo primero para una correcta operación del enlace o red de comunicaciones, por ejemplo, la prueba de un enlace recién instalado.

Tomado como base el esquema elaborado se realiza una medición del Wander en la señal de referencia del equipo de distribuidor de sincronía instalado en el nodo o central donde se tiene el evento.

Al evaluar esta señal de referencia podemos obtener dos resultados, tomando los criterios especificados en las recomendaciones internacionales ITU-T correspondientes:

##### *1. La estabilidad del reloj de referencia es correcta*

En este caso se deduce que la causa del evento se encuentra dentro de la central donde se reportó el evento y se procede a evaluar el equipo distribuidor de sincronía.

Esta evaluación finalmente nos generará información si la causa del evento es debida a Wander o es generada por otras causas ajenas a la estabilidad de relojes.

Si la estabilidad del reloj a la salida del equipo distribuidor de sincronía es correcta se procede conforme al punto siguiente 3.2.3.2 Evaluación del Nodo.

*2. La estabilidad del reloj de referencia es incorrecta*

En este caso se deduce que la causa del evento no se encuentra en el nodo o central donde se reporta el evento.

Esta información nos permite entender que entonces podrían estar afectadas mas centrales que estén sincronizadas del la señal de referencia afectada pudiendo generar mayores problemas de los reportados. Entonces en lugar de buscar la causa del evento desde la central afectada hacia el reloj maestro, se busca al revés para poder atender la mayor cantidad posible de centrales que pudieran ser afectadas.

Por tal razón se mide la señal de referencia maestra en la central correspondiente conforme al esquema de la red que elaboramos.

Si esta señal es la causa del evento se interviene para atender el evento y así se previenen o resuelven varias centrales que tienen afectación y no solo se resuelve la reportada.

Si la señal de referencia maestra es adecuada, es necesario evaluar el siguiente eslabón de la cadena de centrales enlazadas con nuestra central afectada, conforme a nuestro esquema de sincronización que elaboramos previamente, y seguir evaluando todas las centrales en la cadena sucesivamente hasta encontrar la causa.

Cabe mencionar que es muy importante que nuestro esquema este correcto porque de él depende que la búsqueda de la causa sea exitosa en un tiempo muy corto para evitar que la afectación implique drásticas pérdidas de comunicaciones.

### **2.2.3.2 Evaluación del Nodo**

Al determinar que el evento no es generado por la estabilidad de relojes, es decir, el ruido de fase Wander, se necesita evaluar directamente las señales de comunicaciones para medir el Jitter o encontrar errores o anomalías de las señales que nos permitan identificar las causas del evento.

Los analizadores de comunicaciones son muy avanzados y pueden decodificar toda la estructura de la señal SDH, al reportarnos la información completa de la señal podemos identificar el nivel, la sección, etc, donde se puede encontrar la causa del evento.

### **3.2.4 Reporte de Solución del evento**

Es indispensable elaborar un reporte de la solución del evento que incluya toda la documentación generada durante la atención del mismo.

Esta información no solo ayuda para establecer responsabilidades, sino además, se puede utilizar como base para detectar nuevos eventos con mayor rapidez o aun mas importante prevenir eventos futuros.

También se pueden utilizar para elaborar planes de mantenimiento o estrategias de atención a eventos típicos de la red de comunicaciones, si es que llegan a existir.

## 2.3 MASCARAS DE TOLERANCIA PARA ITU-T

Name of tolerance	Reference	Application
mask in selection menu		
ITU-T/PDH Sync. IF (G.823)	G.823	<b>ITU-T PDH Synchronization Interface</b>  Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at a PDH synchronization interface (e.g. 2048 kbit/s or 2048 kHz at a SSU). An independent reference source of higher quality is required for the measurement.
ITU-T/PRC (G.811)	G.811	<b>ITU-T Primary Reference Clock (PRC)</b>  Maximum permitted wander (MTIE) at the output of a PRC (Primary Reference Clock). An independent reference source of higher quality is required for the measurement.
ITU-T/PRC Netw. IF (G.823 and G.825)	G.823 G.825	<b>ITU-T PRC Network Interface</b>  Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at the network interface of a PRC (Primary Reference Clock).  An independent reference source of higher quality is required for the measurement.
ITU-T/SEC Netw. IF (G.823 and G.825)	G.823 G.825	<b>ITU-T SEC Network Interface</b>  Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at the network interface (T4 or STM-N) of a synchronized SEC (SDH Equipment Clock, locked mode operation). An independent reference source of higher quality is required for the measurement.

ITU-T/SEC Opt.1 (G.813)	G.813  (constant temperature)	<b>ITU-T SDH Equipment Clock (SEC) Option 1</b>  Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at the output of a synchronized SEC (locked mode operation).  The output interfaces are T4 or the STM-N communications interfaces. The reference source for the measurement is the synchronization source of the SEC (relative measurement) at T1, T2 or T3.  <b>Note:</b> Option 1 refers to SDH systems that are tailored to the 2048 kbit/s hierarchy.
ITU-T/SEC Opt.2 (G.813)	G.813  (constant temperature)	<b>ITU-T SDH Equipment Clock (SEC) Option 2</b>  Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at the output of a synchronized SEC (locked mode operation).  The output interfaces are e.g. the STM-N communications interfaces. The reference source for the measurement is the synchronization source of the SEC (relative measurement).  <b>Note:</b> Option 2 refers to SDH/SONET systems that re tailored to the 1554 kbit/s hierarch
ITU-T/SEC Hold. Opt.2 (G.813)	G.813  Sec. 10.2, Fig. 15	<b>ITU-T SDH Equipment Clock (SEC) Option 2</b>  Maximum permitted wander (MTIE) with SMC during the transition to “holdover” operation (loss of synchronization to a reference clock).  Test configuration: See Sec. 4.1.2, page O-20 but with synchronization to the SDH network element interrupted.

Name of tolerance	Reference	Application
<b>mask in selection menu</b>		
ITU-T/SEC Trans. Opt.2 (G.813)	G.813	<p data-bbox="763 304 1391 346"><b>ITU-T SDH Equipment Clock (SEC) Option 2</b></p> <p data-bbox="763 367 1391 451">Maximum permitted wander in MTIE (short term phase</p> <p data-bbox="763 462 1391 535">transient response) at the output of an SDH network element <b>during a clock transition.</b></p> <p data-bbox="763 556 1391 598">Test configuration: See Sec. 4.1.2, page O-20.</p>
ITU-T/SSU Netw. IF (G.823 and G.825)	G.823 G.825	<p data-bbox="763 682 1391 724"><b>ITU-T SSU Network Interface</b></p> <p data-bbox="763 745 1391 850">Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at the network interface of a synchronized SSU</p> <p data-bbox="763 861 1391 934">(Synchronization Supply Unit, locked mode operation).</p> <p data-bbox="763 955 1391 1039">An independent reference source of higher quality is required for the measurement.</p>
ITU-T/SSU Type I (G.812)	G.812	<p data-bbox="763 1123 1391 1165"><b>ITU-T Synchronization Supply Unit (SSU), Type I</b></p> <p data-bbox="763 1186 1391 1291">Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at the output of a synchronized SSU (locked mode operation).</p> <p data-bbox="763 1312 1391 1417">The reference source for the measurement is the synchronization source of the SSU (relative measurement).</p> <p data-bbox="763 1438 1391 1501"><b>Note:</b> Type 1 SSUs are mainly used in SDH systems that are tailored to the 2048 kbit/s hierarchy.</p>
ITU-T/SSU Type II, III (G.812)	G.812	<p data-bbox="763 1585 1391 1627"><b>ITU-T Synchronization Supply Unit (SSU), Type II, III</b></p> <p data-bbox="763 1648 1391 1753">Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at the output of a synchronized SSU (locked mode operation).</p> <p data-bbox="763 1774 1391 1879">The reference source for the measurement is the synchronization source of the SSU (relative measurement).</p>

**Note:** Type II and III SSUs are mainly used in SDH/

SONET systems that are tailored to the 1544 kbit/s hierarchy.

ITU-T/SSU Type IV

G.812

**ITU-T Synchronization Supply Unit (SSU), Type IV**

(G.812)

Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at the output of a synchronized SSU (locked mode operation).

The reference source for the measurement is the synchronization source of the SSU (relative measurement)

**Note:** Type IV SSUs are used in SONET systems and correspond to stratum



# ANÁLISIS DE UNA RED SÍNCRONA SDH DE COMUNICACIONES



## CAPÍTULO 3

# ANÁLISIS DE UNA RED SÍNCRONA SDH DE COMUNICACIONES

## 3.1 EVENTO 1: INSTALACIÓN DE UN ANILLO SDH CONFORMADO POR CUATRO CENTRALES

### 3.1.1 Recepción del evento 1

Acta de Evento			
		0001	
Nombre:	Alejandro Mora		
Cargo:	División Transporte		
Teléfono:		Tel. Cel.:	
Hora del reporte:		Fecha del reporte:	
Descripción del evento: Verificar la sincronización de un anillo SDH conformado por cuatro centrales interconectadas con señales STM-1, antes de enviar tráfico.			
Alarmas o Anomalías en Equipo SDH:			

Alarmas o Anomalías en Equipo distribuidor de sincronía (EDS): Sin señal de referencia			
Estado Actual: Sin sincronía			
Central Origen: Central A		Centrales Afectadas: Centrales B, C y D.	
Hora:		Fecha:	
Responsable de recepción de evento: Álvaro Marroquín – Ing. Soporte Técnico			
Responsable de Central Origen			
Nombre:			
Cargo:			
Teléfono:		Tel. Cel.:	
Analizador de Comunicaciones Disponible: FTB-8080 EXFO			

*Figura 3.1 Formato de Evento 1.*

### **3.1.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados**

El anillo está conformado por cuatro centrales que se encuentran conectadas a la red de comunicaciones. En cada central se tiene instalado un equipo distribuidor de sincronía con referencias de la red solamente, éstos se encuentran equipados con relojes de cuarzo. La interface del equipo EDS es una señal de 2Mbit/s (E1) las cuales son transportadas en una tributaria del STM-4 de la red de transporte.

La figura 3.1 muestra el esquema general del enlace.

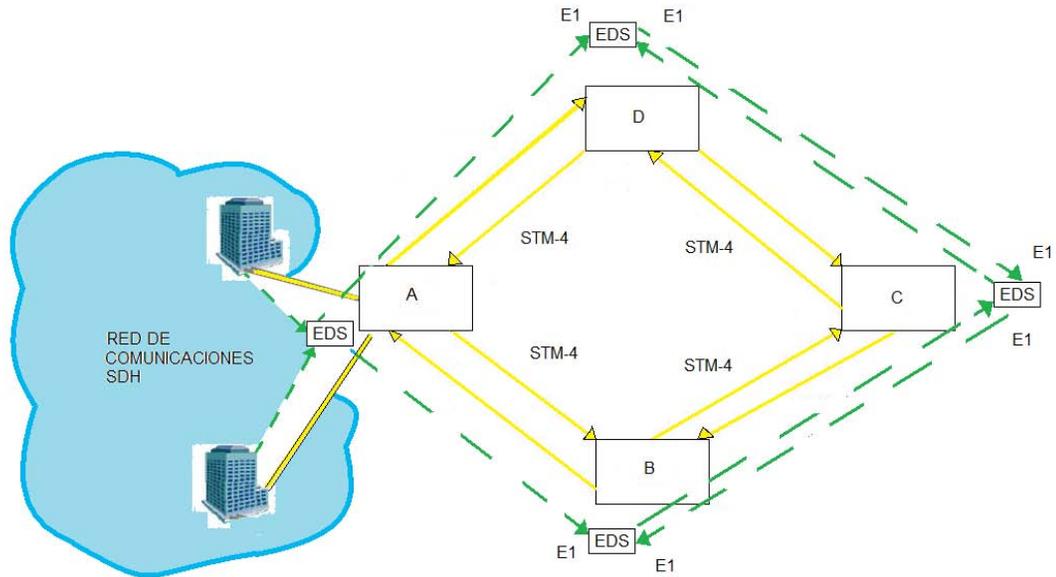


Figura 3.2 Anillo SDH conformado por 4 centrales

### 3.1.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 1

En la figura 3.2 encontramos con línea punteada la distribución de la sincronización de relojes, conforme con una sincronización maestro - esclavo

En consecuencia mediremos el Wander desde la red de comunicaciones hacia la nueva red recién instalada. El plan de mediciones queda entonces de la siguiente manera:

- Evaluación de Wander en las dos señales de referencia que recibe el EDS A.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS B desde el EDS A.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS D desde el EDS A.
- Evaluación de Wander de las dos señales de referencia que recibe el EDS C.
- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS B desde el EDS C.

- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS D desde el EDS C.
- Verificación de operación del anillo STM-4.

Diagrama de Conexión para evaluar las señales de referencia y Máscara ITU-T correspondiente para la evaluación.

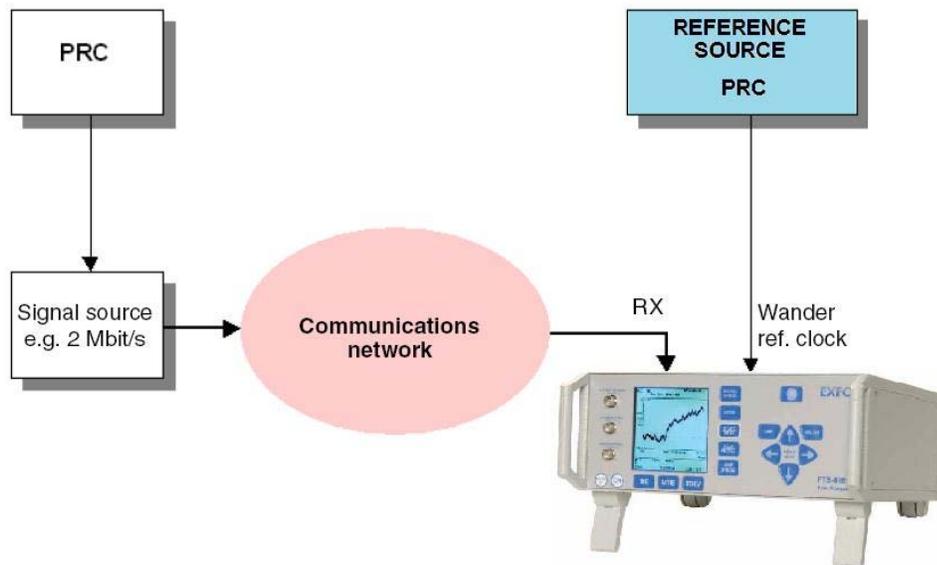


Fig. O-17 Wander test setup for synchronous signals

Name of tolerance mask in selection menu	Reference	Application
ITU-T/PDH Sync. IF (G.823)	G.823 Sec. 6.2.4, Fig. 10/11	<b>ITU-T PDH Synchronization Interface</b> Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at a PDH synchronization interface (e.g. 2048 kbit/s or 2048 kHz at a SSU). An independent reference source of higher quality is required for the measurement. Test configuration: See Sec. 4.1.3, page O-21.

Figura 3.3 Diagrama de Conexión para evaluación del Ruido de fase.

Configuración del equipo analizador de comunicaciones.

1. Configuración de Estructura de la señal a evaluar.

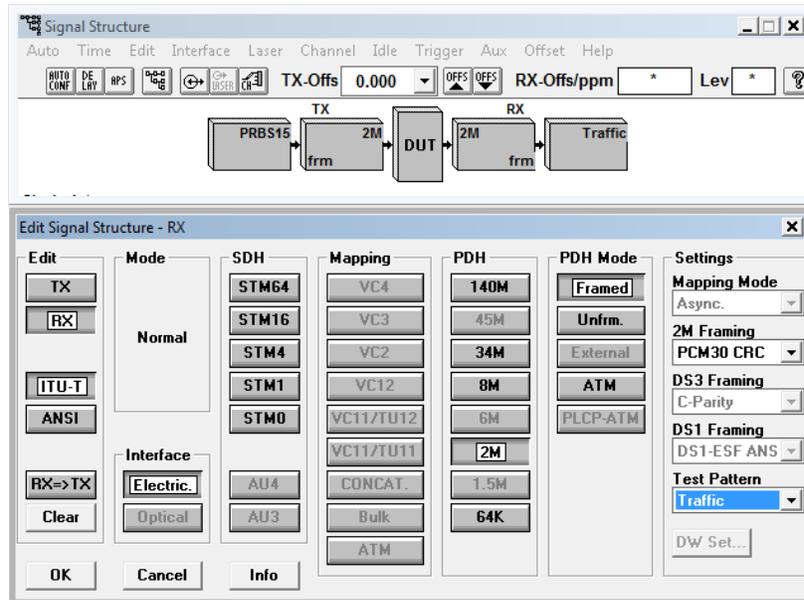


Figura 3.4 Configuración de la Señal a evaluar.

2. Configuración de la interface de la señal a evaluar

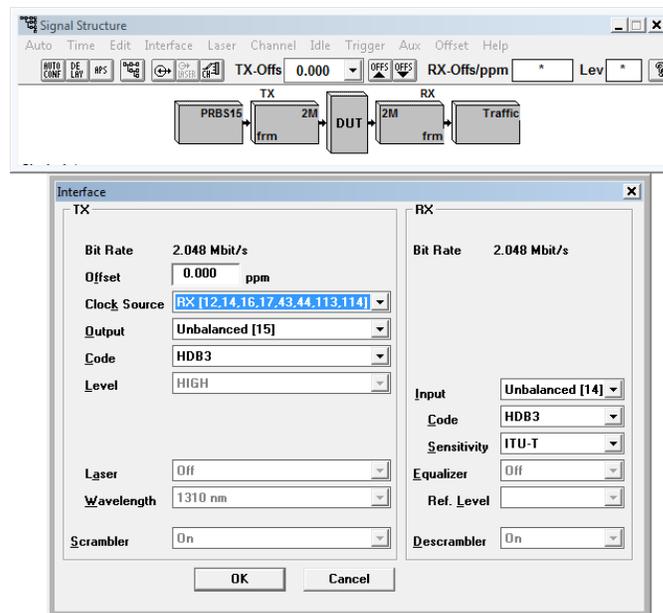


Figura 3.5 Configuración de la Interface a evaluar.

3. Configuración de la interface de la señal de referencia.

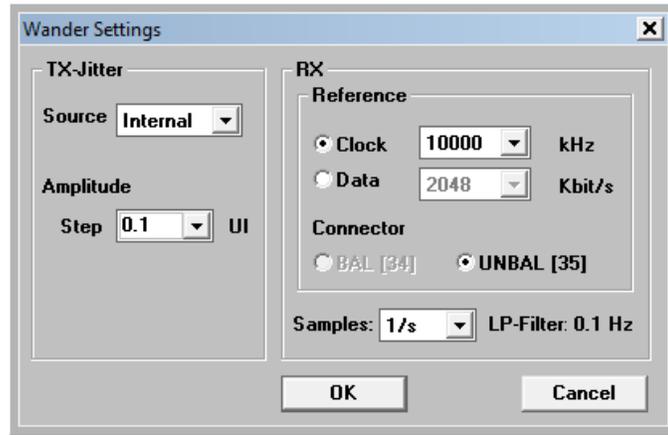


Figura 3.6 Configuración de la Interface de la Señal de Referencia.

4. Configuración de tiempo medición de Wander.

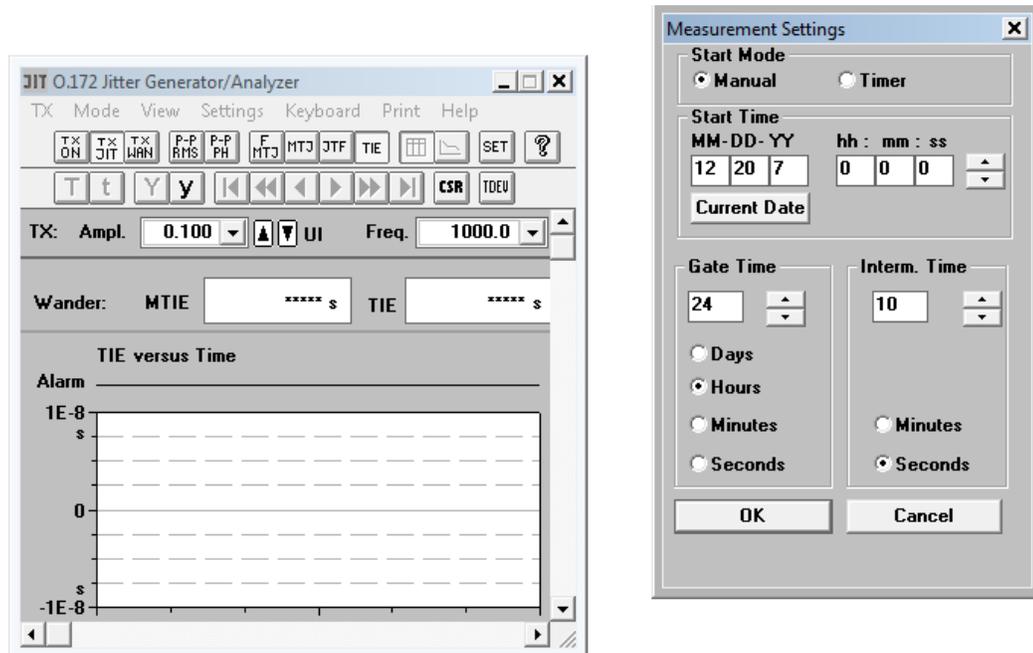


Figura 3.7 Configuración del tiempo de evaluación.

### 3.1.3.1 Evaluación de Wander en las dos señales de referencia que recibe el EDS A.

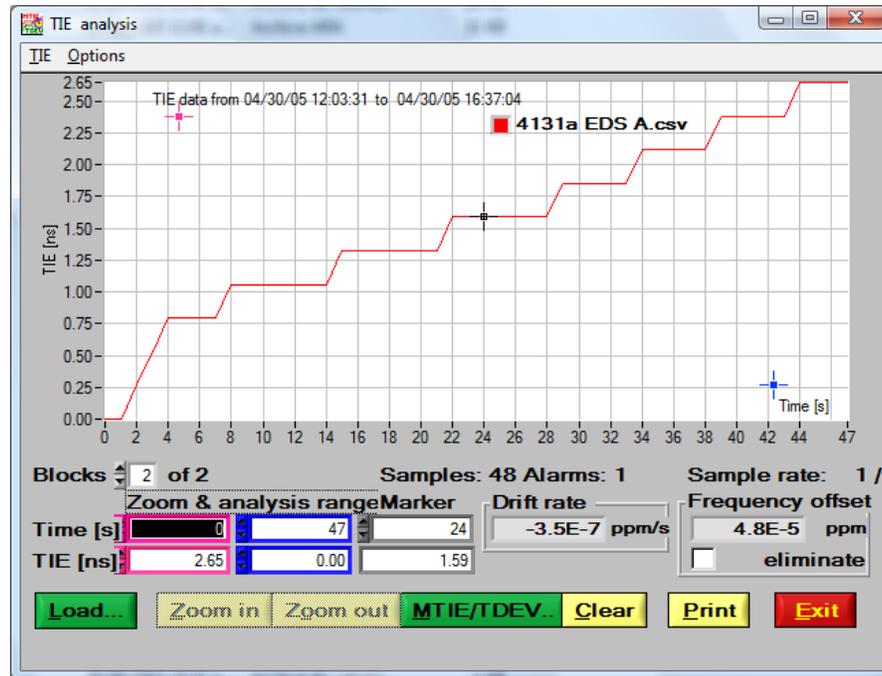


Figura 3.8 Evaluación de TIE recibido en el EDS-A.



Figura 3.9 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-A.

El Análisis de la primera señal en el EDS-A resultado bastante satisfactorio para sincronizar el anillo.

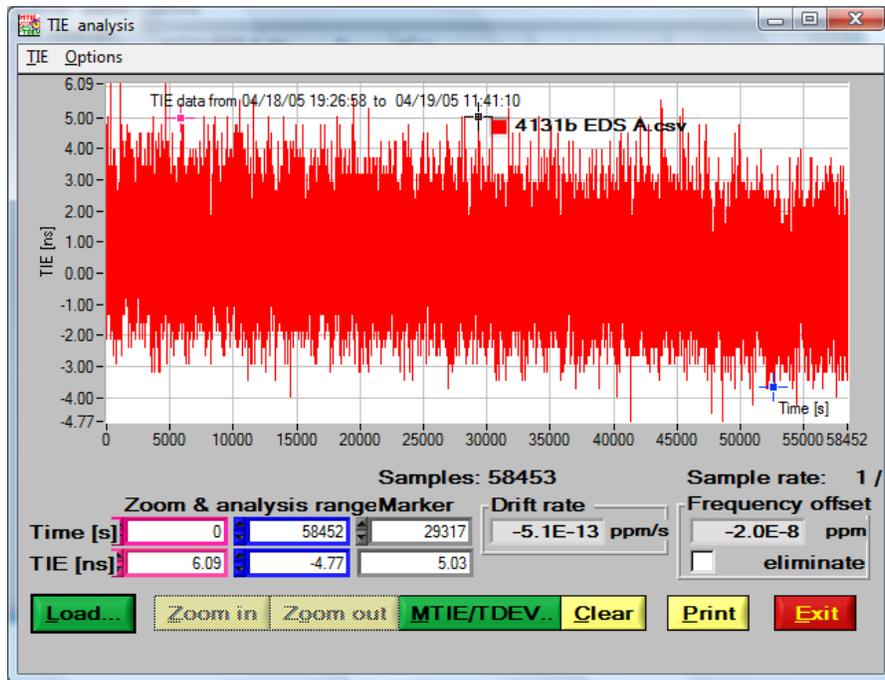


Figura 3.10 Evaluación de TIE recibido en el EDS-A.

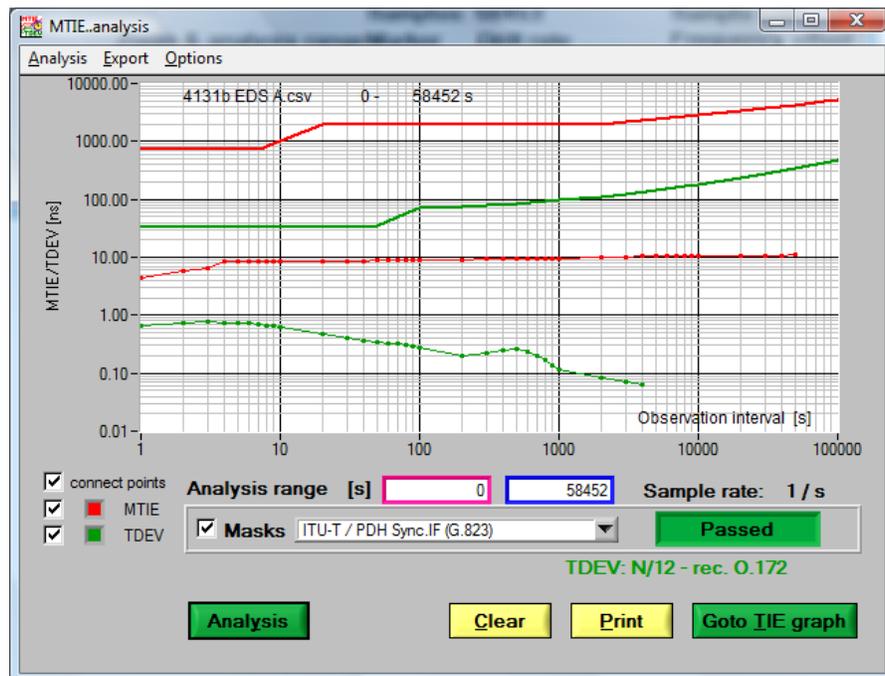


Figura 3.11 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-A.

La segunda referencia tenía más ruido de corto plazo, por lo que se dejó más tiempo la evaluación, el resultado a largo plazo ofreció una excelente referencia para sincronizar el anillo.

### 3.1.3.2 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS B desde el EDS A.

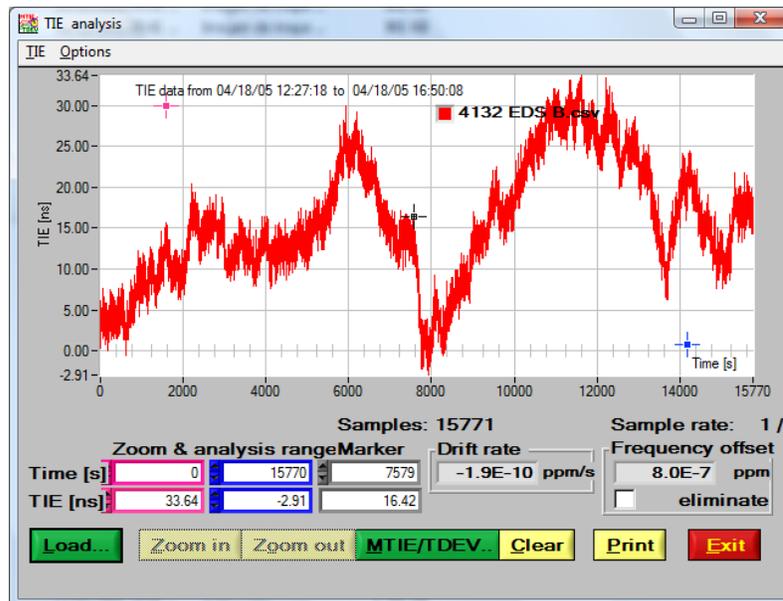


Figura 3.12 Evaluación de TIE recibido en el EDS-B.

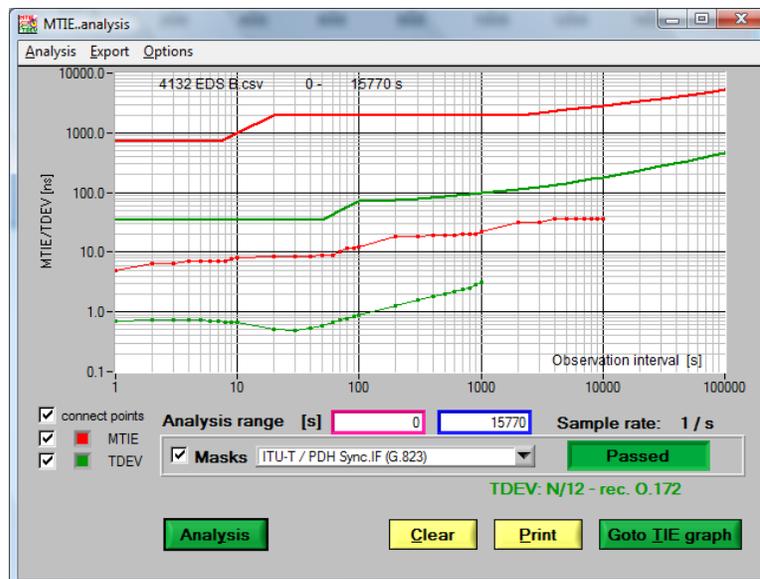


Figura 3.13 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-B.

La referencia de la señal recibida en el EDS-B desde el EDS-A es aceptable para la sincronía del anillo.

### 3.1.3.3 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS D desde el EDS A.

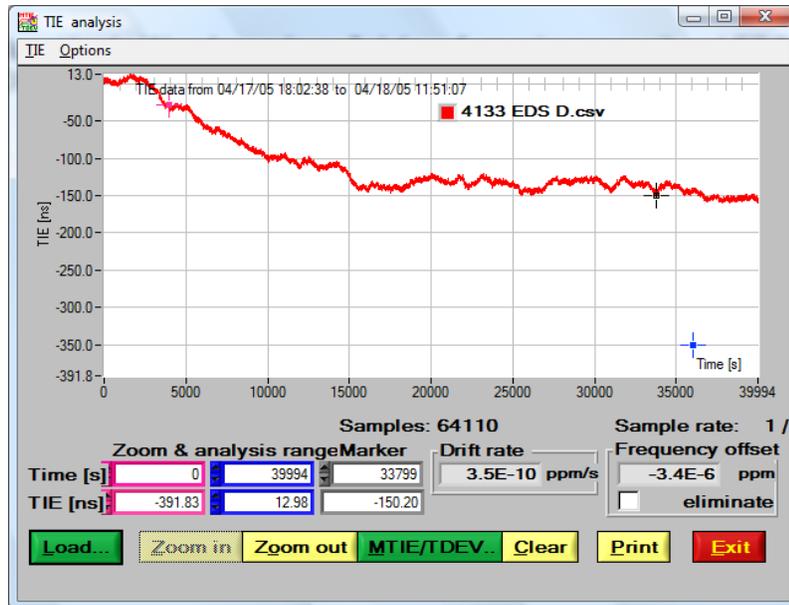


Figura 3.14 Evaluación de TIE recibido en el EDS-D.



Figura 3.15 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-D.

La referencia de la señal recibida en el EDS-D desde el EDS-A es aceptable para la sincronía del anillo.

### 3.1.3.4 Evaluación de Wander de las dos señales de referencia que recibe el EDS C.

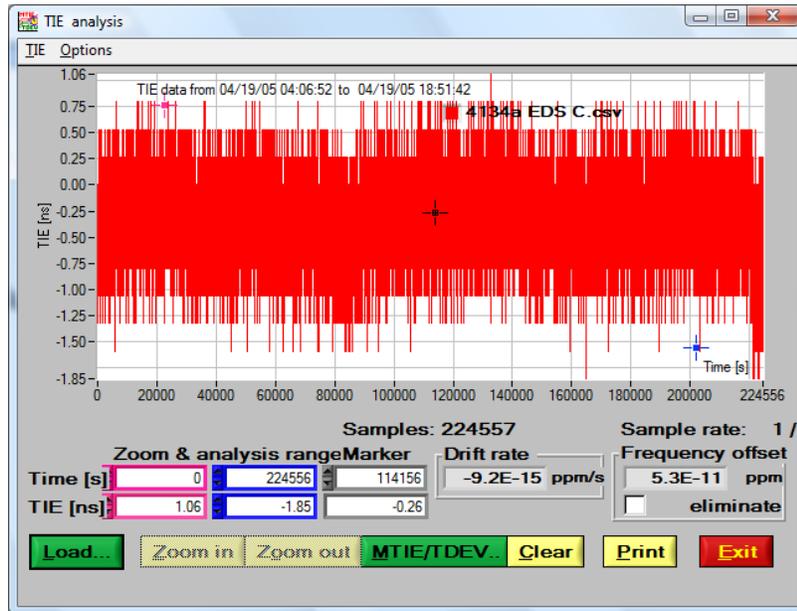


Figura 3.16 Evaluación de TIE recibido en el EDS-C.



Figura 3.17 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-C.

La referencia de la señal recibida en el EDS-C desde el EDS-D es aceptable para la sincronía del anillo.

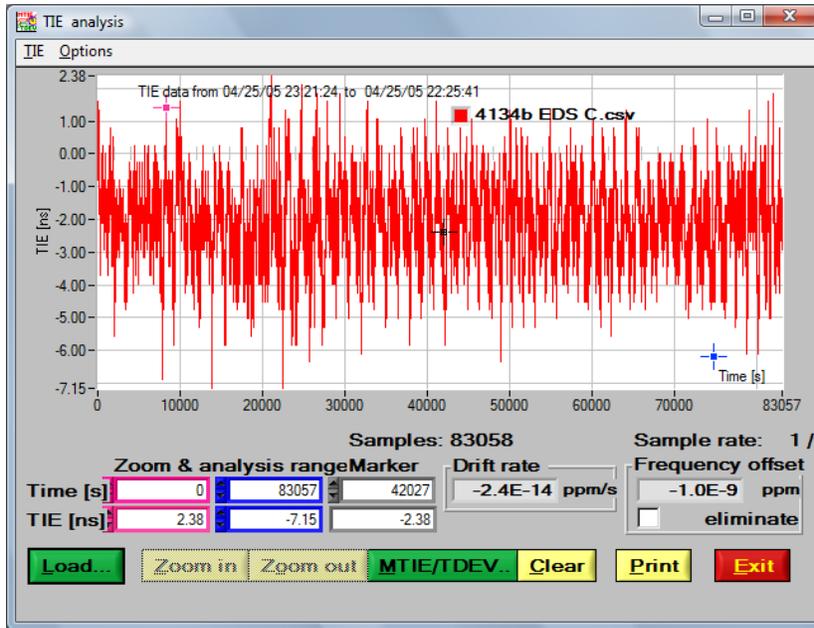


Figura 3.18 Evaluación de TIE recibido en el EDS-C.

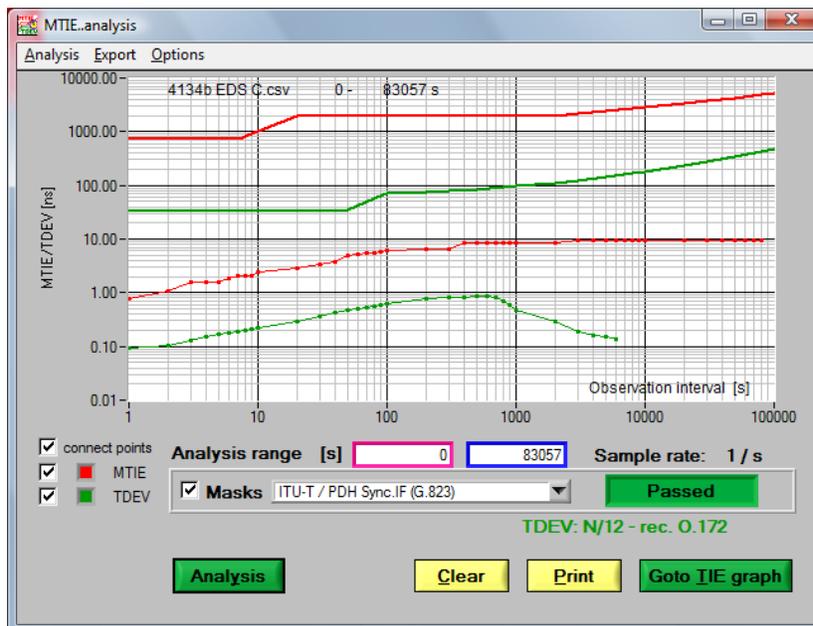


Figura 3.19 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-C.

La referencia de la señal recibida en el EDS-C desde el EDS-B es aceptable para la sincronía del anillo.

### 3.1.3.5 Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS B desde el EDS C.

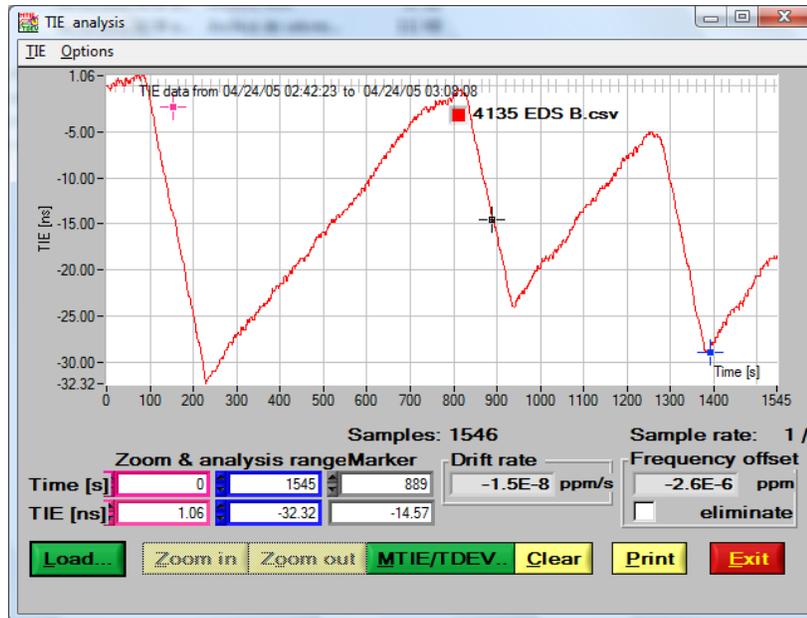


Figura 3.20 Evaluación de TIE recibido en el EDS-B.



Figura 3.21 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-B.

La referencia de la señal recibida en el EDS-B desde el EDS-C es aceptable para la sincronía del anillo.

### 3.1.3.6 Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS D desde el EDS C.

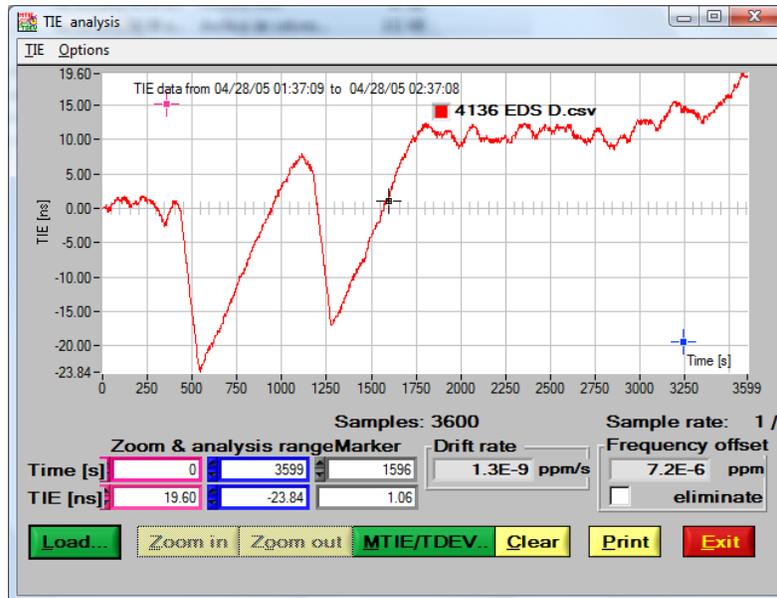


Figura 3.22 Evaluación de TIE recibido en el EDS-D.



Figura 3.23 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-D.

La referencia de la señal recibida en el EDS-D desde el EDS-C es aceptable para la sincronía del anillo.

### 3.1.3.7 Verificación de operación del anillo STM-4.

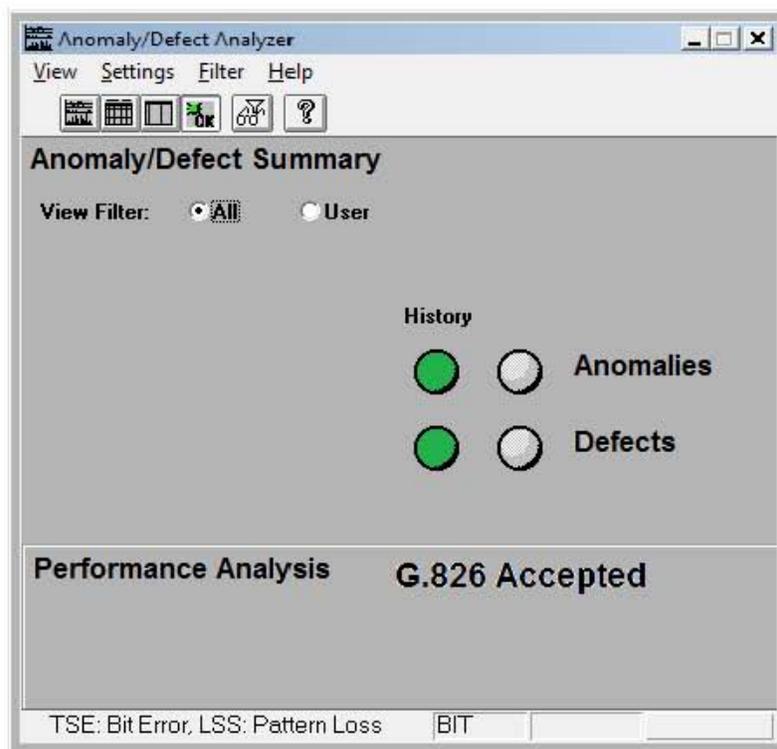
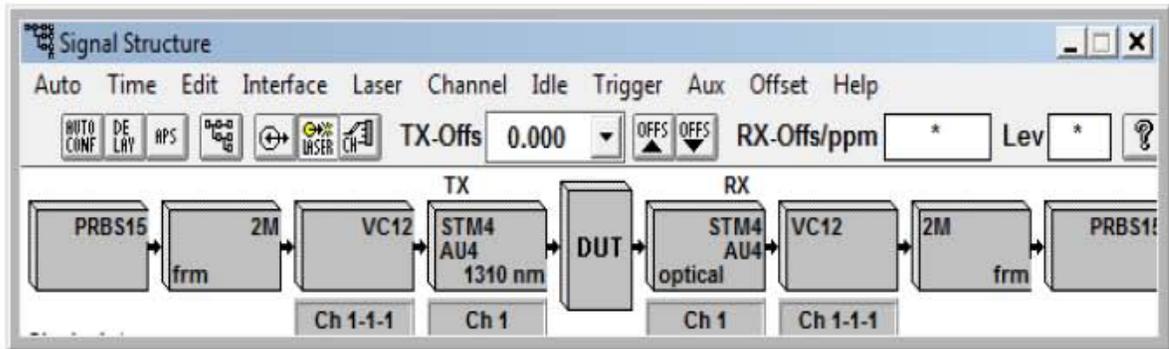


Figura 3.24 Resultado de Análisis G.826 al enlace STM-4.



## 3.2 EVENTO 2: DEGRADACIÓN DE UNA SEÑAL DE SINCRONÍA RECIBIDA EN UNA CENTRAL

### 3.2.1 Recepción del evento 2

<h1>Acta de Evento</h1>			
		0002	
Nombre:	Alejandro Mora		
Cargo:	División Transporte		
Teléfono:		Tel. Cel.:	
Hora del reporte:		Fecha del reporte:	
<p>Descripción del evento: Central con problemas y cortes en comunicaciones. Verificar señal de sincronía.</p> <p>Alarmas o Anomalías en Equipo SDH: Movimiento de apuntadores. Errores de Bit en SDH (TSE) aleatorios.</p> <p>Alarmas o Anomalías en Equipo distribuidor de sincronía (EDS): Equipo de Sincronía pierde señal de sincronía de referencia por lapsos de tiempo aleatorios.</p> <p>Estado Actual: Errores aleatorios cada 2 horas</p>			

Central Origen: Central H		Centrales Afectadas:	
Hora:		Fecha:	
Responsable de recepción de evento: Álvaro Marroquín – Ing. Soporte Técnico			
Responsable de Central Origen			
Nombre:			
Cargo:			
Teléfono:		Tel. Cel.:	
Analizador de Comunicaciones Disponible: FTB-8080 EXFO			

Figura 3.26 Formato de Evento 2.

### 3.2.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados

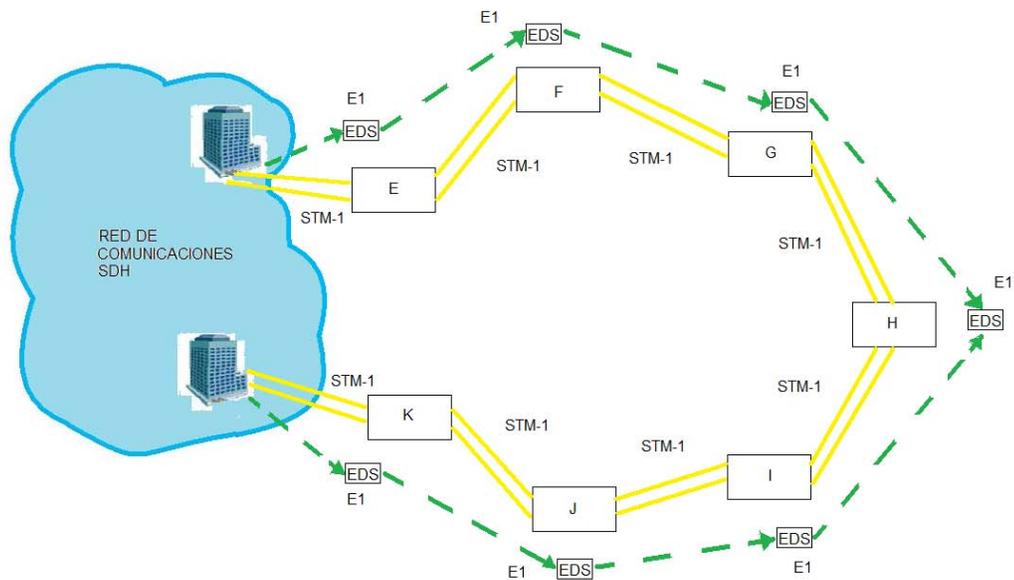


Figura 3.27 Lazo de anillo conformado por 7 centrales

### **3.2.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 2**

En la figura 3.27 encontramos con línea punteada la distribución de la sincronización de relojes, conforme con una sincronización maestro – esclavo desde la red de comunicaciones hasta la central H que es la que presenta eventos no ordinarios.

En consecuencia mediremos el Wander en la central H y luego la señal de sincronía en las centrales de interconexión con las centrales E y K, finalmente buscaremos en cada central para encontrar la falla si es que aun no la encontramos. El plan de mediciones queda entonces de la siguiente manera:

- Evaluación de Wander en las dos señales de referencia que recibe el EDS H.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS E.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS K.
- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS F.
- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS G.
- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS J.
- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS I.
- Verificación de operación del anillo STM-1 desde Central E hasta H haciendo un lazo cerrado en H.
- Verificación de operación del anillo STM-1 desde Central K hasta H haciendo un lazo cerrado en H.

Diagrama de Conexión para evaluar las señales de referencia y Máscara ITU-T correspondiente para la evaluación.

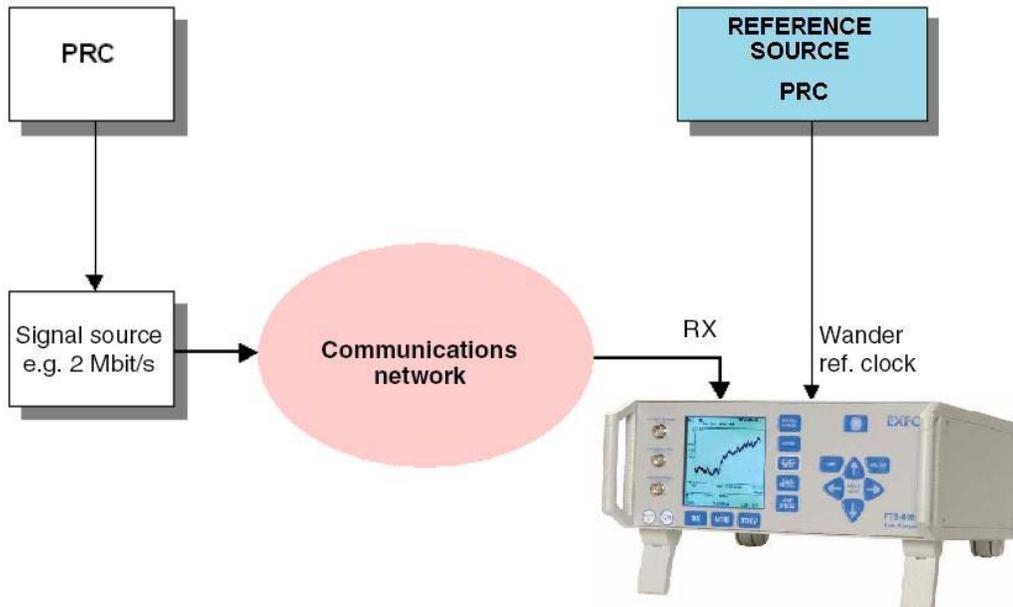


Fig. O-17 Wander test setup for synchronous signals

Name of tolerance mask in selection menu	Reference	Application
ITU-T/PDH Sync. IF (G.823)	G.823 Sec. 6.2.4, Fig. 10/11	<b>ITU-T PDH Synchronization Interface</b> Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at a PDH synchronization interface (e.g. 2048 kbit/s or 2048 kHz at a SSU). An independent reference source of higher quality is required for the measurement. Test configuration: See Sec. 4.1.3, page O-21.

Figura 3.28 Diagrama de Conexión para evaluación del Ruido de fase.

## Configuración del equipo analizador de comunicaciones

### 1. Configuración de Estructura de la señal a evaluar

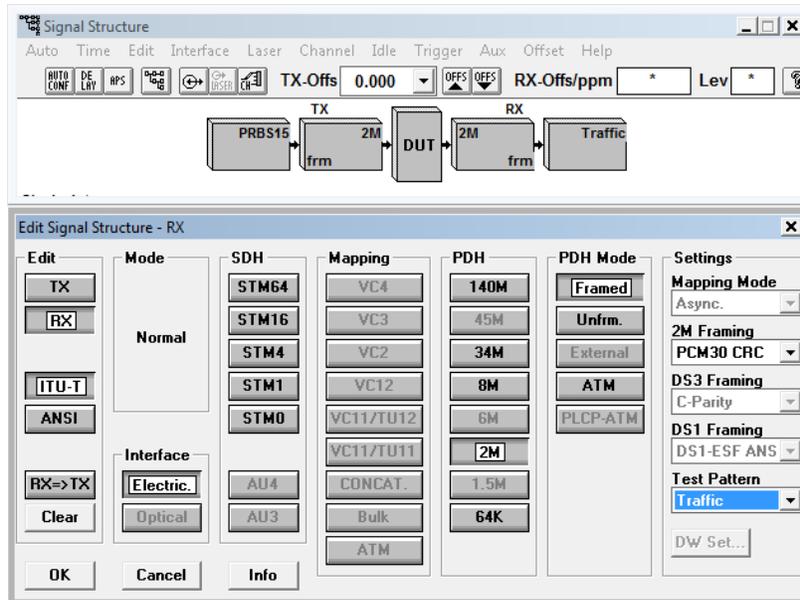


Figura 3.29 Configuración de la Señal a evaluar.

### 2. Configuración de la interface de la señal a evaluar

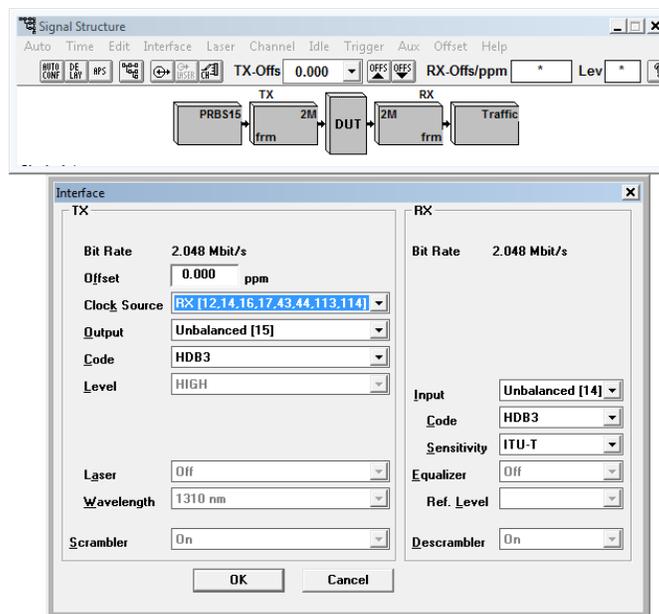


Figura 3.30 Configuración de la Interface a evaluar.

3. Configuración de la interface de la señal de referencia

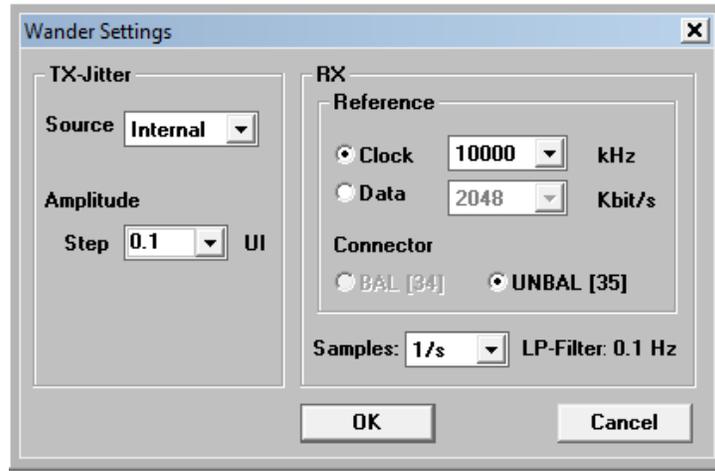


Figura 3.31 Configuración de la Interface de la Señal de Referencia.

4. Configuración de tiempo medición de Wander

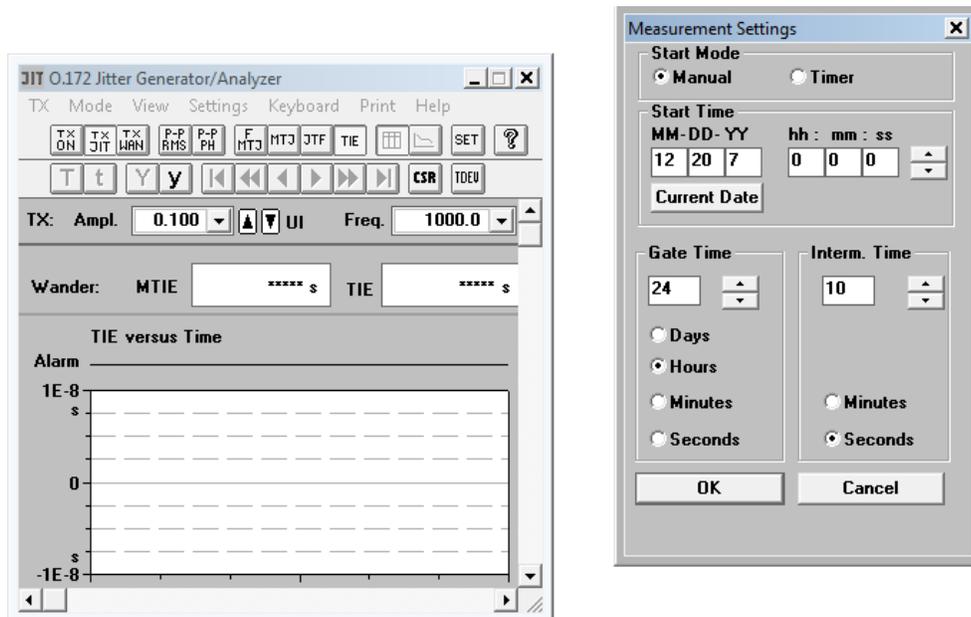


Figura 3.32 Configuración del tiempo de evaluación.

### 3.2.3.1 Evaluación de Wander en las dos señales de referencia que recibe el EDS H.

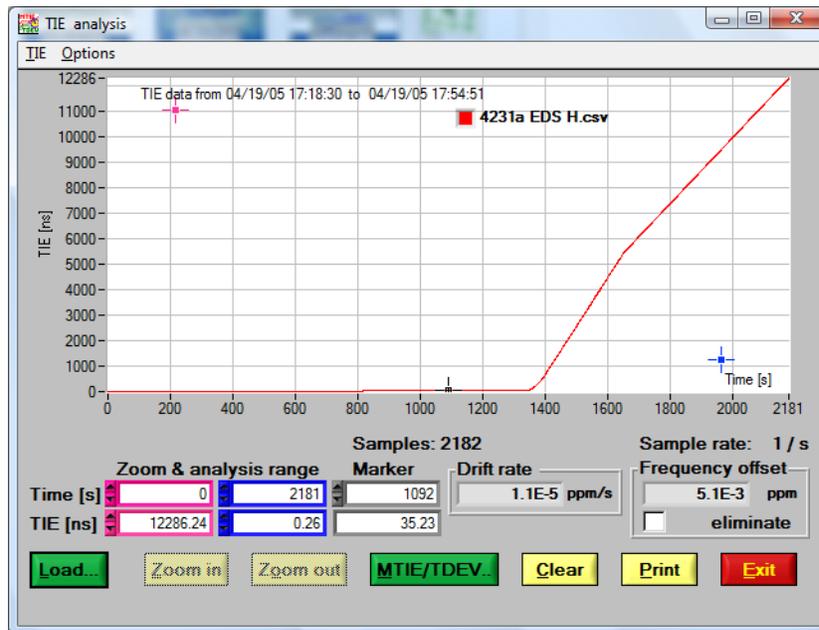


Figura 3.33 Evaluación de TIE recibido en el EDS-H.



Figura 3.34 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-H.

Se procedió a medir la señal entregada por la Central I y se confirmó que no cumple con la estabilidad requerida para sincronizar la Central H.

Se continuó ahora con la señal que viene de la Central I para verificar el otro brazo del anillo.

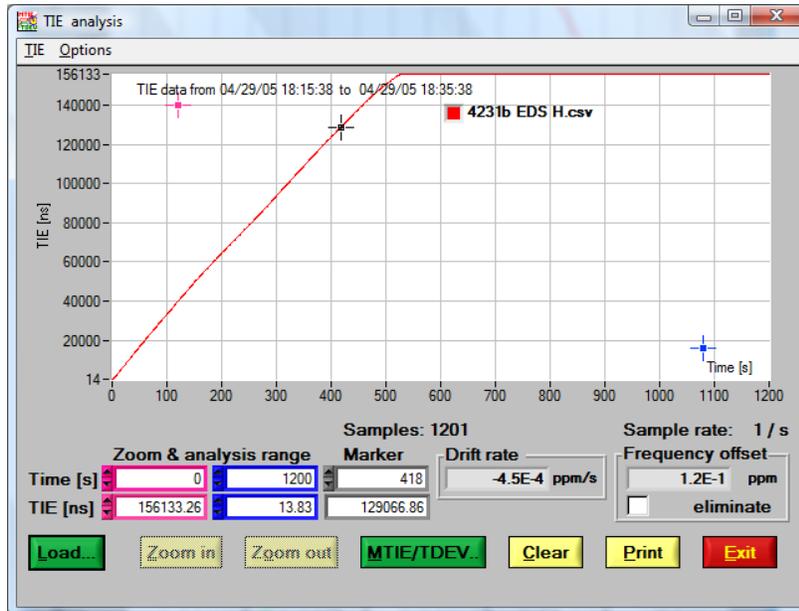


Figura 3.35 Evaluación de TIE recibido en el EDS-H.

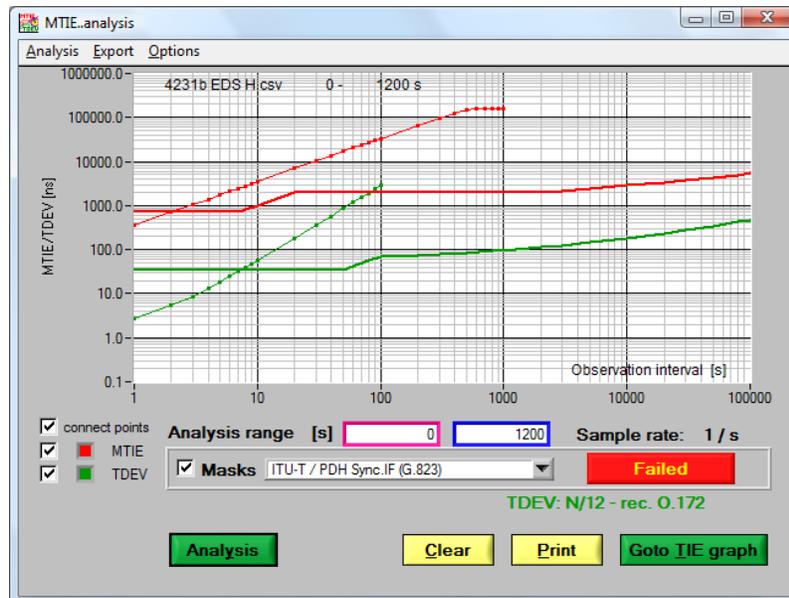


Figura 3.36 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-H.

Se procedió a medir la señal entregada por la Central G y también se confirmó que no cumple con la estabilidad requerida para sincronizar la Central H.

### 3.2.3.2 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS E.

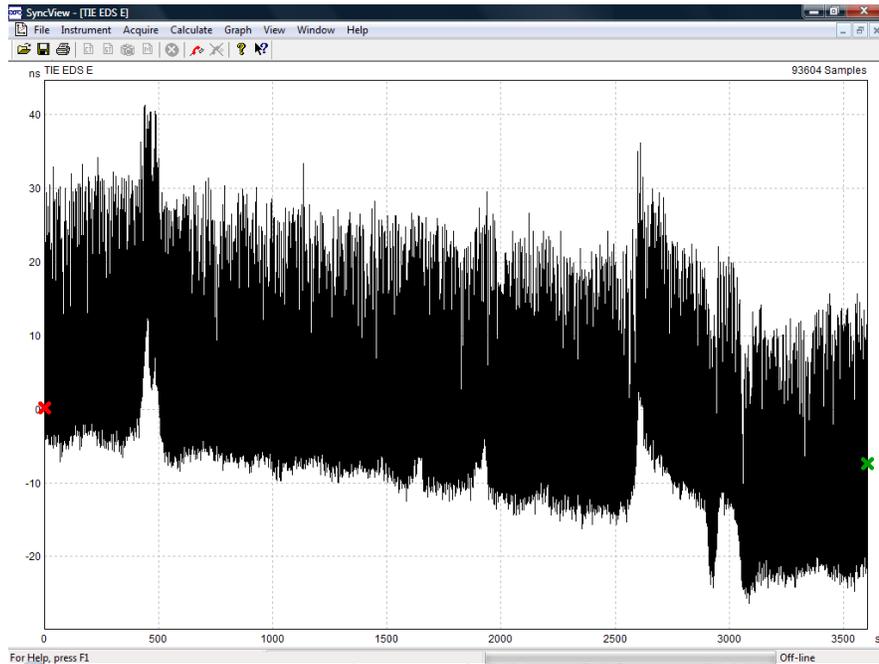


Figura 3.37 Evaluación de TIE recibido en el EDS-E.

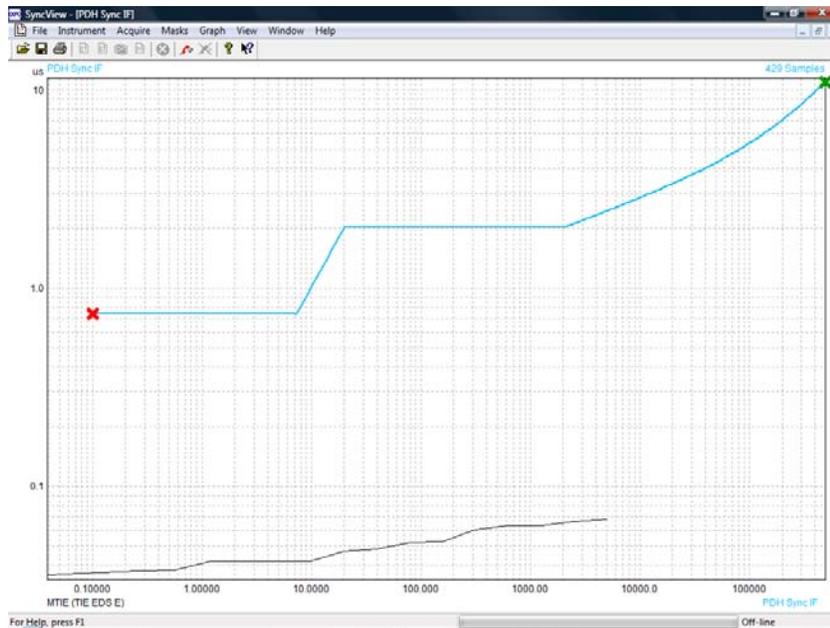


Figura 3.38 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-E.

Se realizó una medición para garantizar la estabilidad en la señal que se entrega a la central E. Ésta fue satisfactoria por lo que se procedió a evaluar la señal que es entregada en la Central K.

### 3.2.3.3 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS K.



Figura 3.39 Evaluación de TIE recibido en el EDS-K.



Figura 3.40 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-K.

Se realizó una medición para garantizar la estabilidad en la señal que se entrega a la central K. Ésta fue satisfactoria por lo que se procedió a evaluar la señal que es entregada en la Central F.

### 3.2.3.4 Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS F.

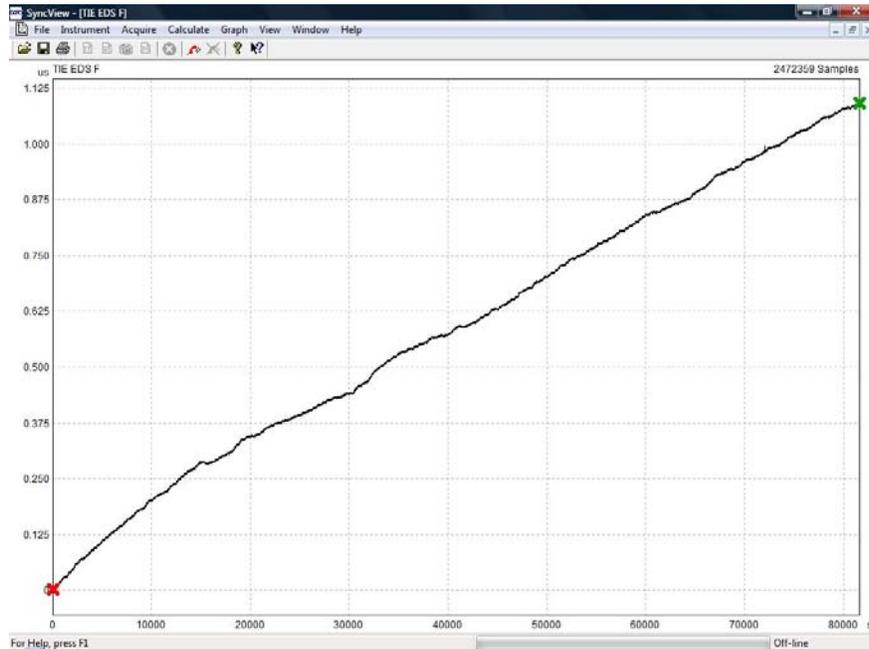


Figura 3.41 Evaluación de TIE recibido en el EDS-F.

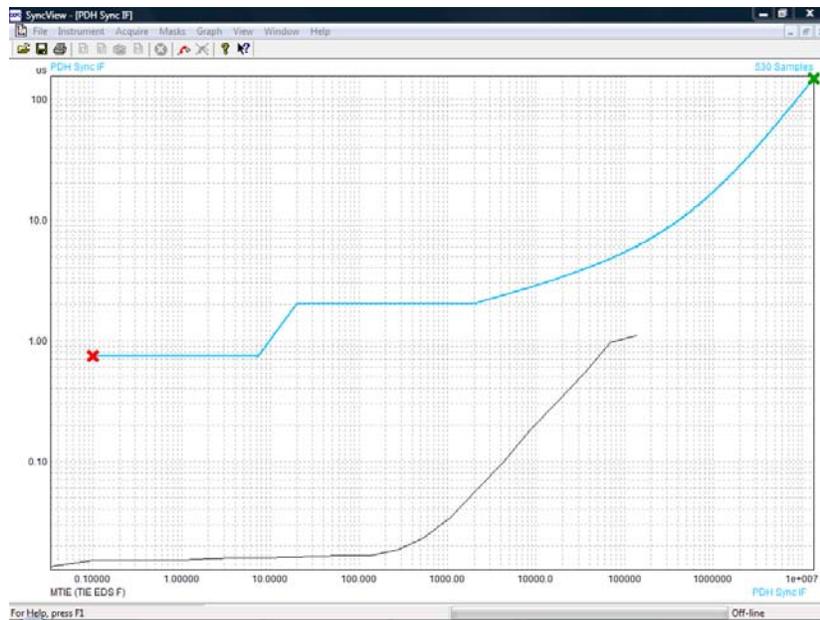


Figura 3.42 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-F.

Se realizó una medición para garantizar la estabilidad en la señal que se entrega a la central F. Ésta fue satisfactoria por lo que se procedió a evaluar la señal que entrega la Central F hacia la Central G.

### 3.2.3.5 Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS G.

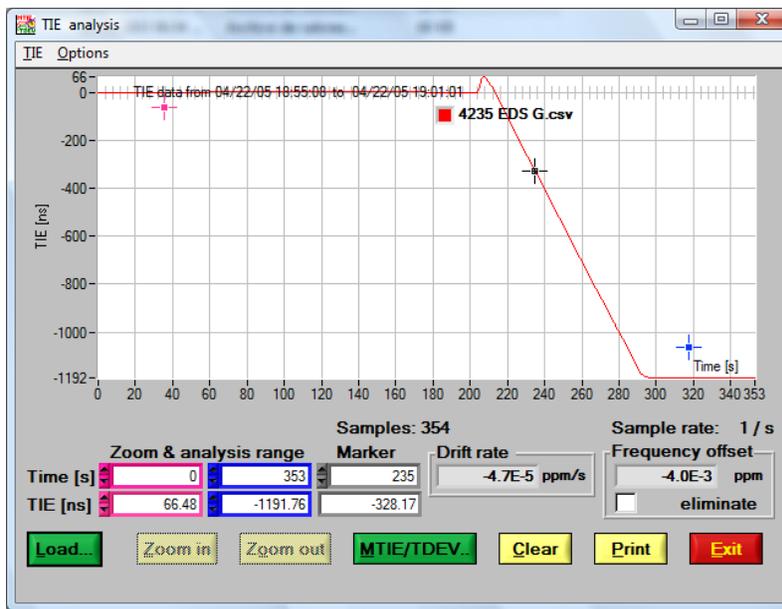


Figura 3.43 Evaluación de TIE recibido en el EDS-G.



Figura 3.44 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-G.

Se realizó una medición para garantizar la estabilidad en la señal que se entrega a la central G. Ésta fue insatisfactoria, se notó que el MTIE estaba muy cerca de los límites establecidos por la recomendación, pero el TDEV toca la máscara y hace que falle la prueba.

### 3.2.3.6 Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS J.

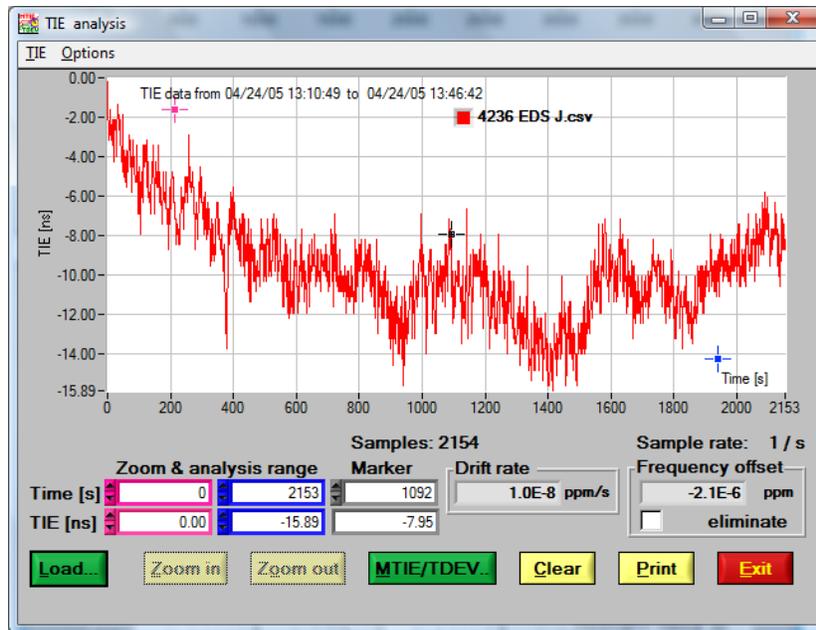


Figura 3.45 Evaluación de TIE recibido en el EDS-J.



Figura 3.46 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-J.

Se realizó una medición para garantizar la estabilidad en la señal que se entrega a la Central J y ésta fue satisfactoria.

### 3.2.3.7 Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS I.

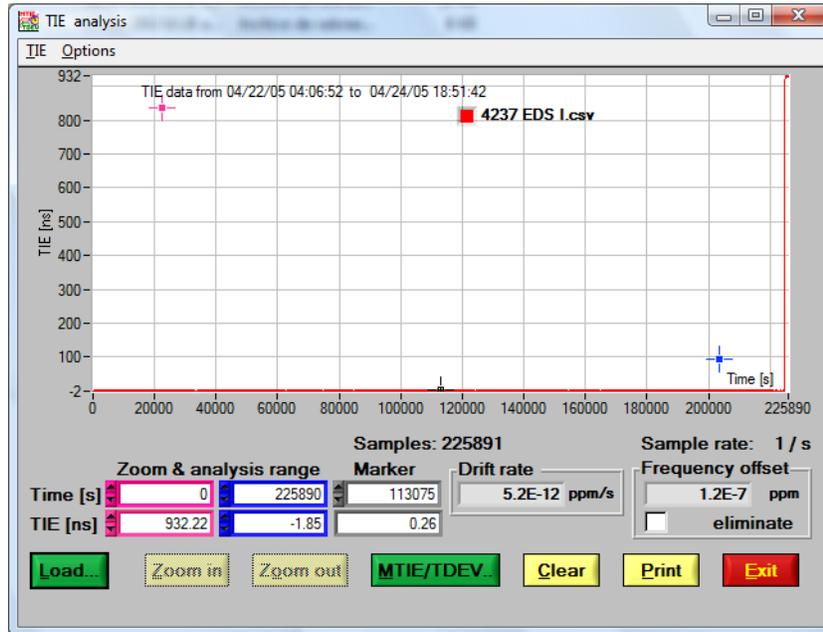


Figura 3.47 Evaluación de TIE recibido en el EDS-I.



Figura 3.48 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-I.

Se realizó una medición para garantizar la estabilidad en la señal que se entrega a la central I. Ésta fue satisfactoria, se notó que tanto el MTIE, como el TDEV estaban muy cerca de los límites establecidos por la recomendación.

Con estas mediciones podemos concluir que se ha ido degradando la señal de sincronía y que es necesario contar con una referencia primaria en la central H para su correcto funcionamiento. Es necesaria la revisión de las nuevas instalaciones de regeneradores o cualquier otro elemento nuevo dentro de la red, pero esto no cambia la solución de colocar una fuente primaria.

El Departamento de Soporte cuenta con una fuente primaria portátil que se instaló en la Central H para solventar temporalmente el problema.

### 3.2.3.8 Verificación de operación del anillo STM-1 desde Central E hasta H haciendo un lazo cerrado en H.

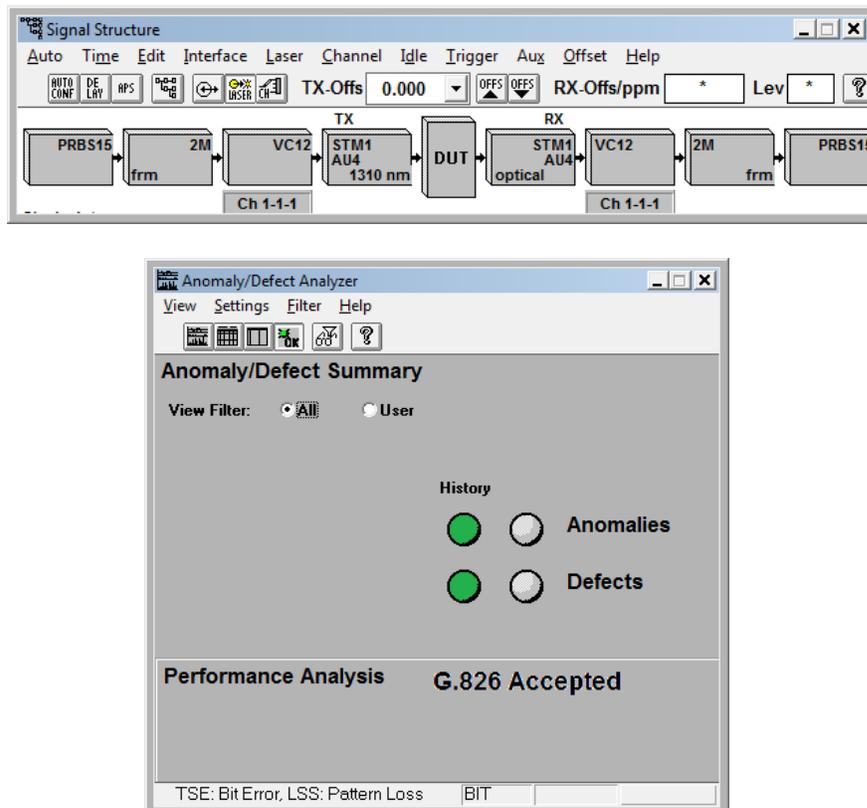


Figura 3.49 Resultado de Análisis G.826 al enlace STM-1 desde Central E.

### 3.2.3.9 Verificación de operación del anillo STM-1 desde Central K hasta H haciendo un lazo cerrado en H.

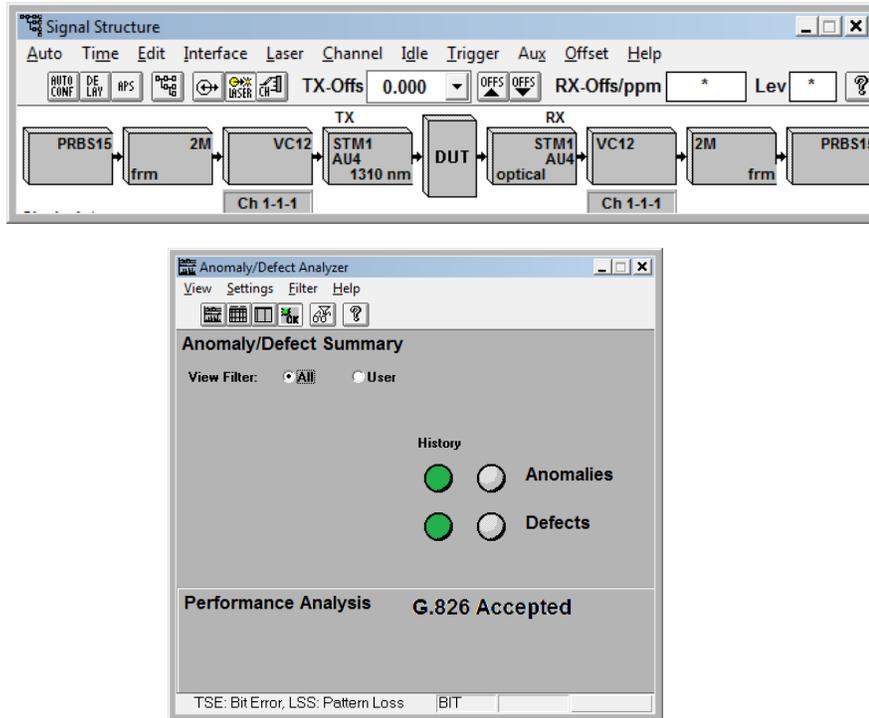


Figura 3.50 Resultado de Análisis G.826 al enlace STM-1 desde Central K.

### 3.2.4 Reporte de Solución del evento 2

	FOLIO
	0002
Reporte de Evento	
Ing. Alejandro Mora	
División Transporte	

La central H recibe referencias de sincronía con mucha degradación debido a los múltiples elementos conectados entre el reloj maestro y la central H. Esto sucede tanto en el lazo que viene de la central E, como del lazo que viene de la central K.

Esta degradación está en los límites de sincronía permitidos y fluctúa entre valores adecuados y valores no adecuados, por eso los errores son de manera aleatoria.

El anillo SDH ha quedado funcionando con el reloj portátil con antena GPS de soporte técnico instalado en la central H para garantizar que todos los equipos EDS queden con dos referencias en cada central para tener un respaldo y garantizar su funcionamiento a pesar de un corte de comunicaciones, por ejemplo por falla en la fibra óptica.

Es necesario instalar un Reloj primario en la central H de manera definitiva. Si el enlace es de alta importancia se requiere instalar un reloj de cesio. En caso contrario un reloj con antena GPS es suficiente.

Las mediciones de Wander han sido satisfactorias conforme a recomendaciones ITU-T con el reloj con antena GPS instalado temporalmente.

Las mediciones las puede encontrar en los anexos (Punto 4.2.3).

Atentamente

Álvaro Marroquín

Ing. De Soporte Técnico

*Figura 3.51 Formato de Evento 3.*

### 3.3 EVENTO 3: ANILLO SDH CON PÉRDIDA DE SEÑAL Y MOVIMIENTO DE APUNTADORES

#### 3.3.1 Recepción del evento 3

<h1>Acta de Evento</h1>			
		0003	
Nombre:	Alejandro Mora		
Cargo:	División Transporte		
Teléfono:		Tel. Cel.:	
Hora del reporte:		Fecha del reporte:	
<p>Descripción del evento: Lazo de anillo SDH con pérdida de señal de transporte STM-1. Cuando se logra establecer la comunicación SDH, la señal presenta movimiento de apuntadores.</p> <p>Alarmas o Anomalías en Equipo SDH: Pérdida de Señal (LOS) Movimiento de apuntadores.</p> <p>Alarmas o Anomalías en Equipo distribuidor de sincronía (EDS): Equipo de Sincronía sin señal de referencia.</p> <p>Estado Actual: Enlace sin comunicaciones</p>			

Central Origen: Central P		Centrales Afectadas: L, M, N y O	
Hora:		Fecha: 09-SEP-2000	
Responsable de recepción de evento: Álvaro Marroquín – Ing. Soporte Técnico			
Responsable de Central Origen			
Nombre:			
Cargo:			
Teléfono:		Tel. Cel.:	
Analizador de Comunicaciones Disponible: ANT-20			

Figura 3.52 Formato de Reporte de Evento 3.

### 3.3.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados

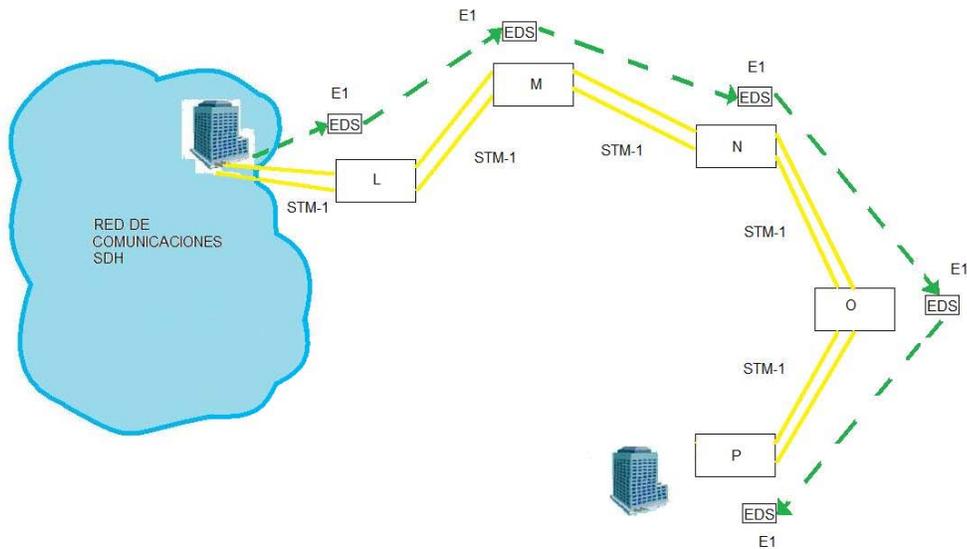


Figura 3.53 Lazo de anillo conformado por 5 centrales

### **3.3.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 3**

En la figura 3.53 encontramos con línea punteada la distribución de la sincronización de relojes, conforme con una sincronización maestro – esclavo desde la red de comunicaciones hasta la central P que presenta la pérdida de señal de transporte y movimiento de apuntadores. Este es un lazo no cerrado por lo que no cuenta con señales de respaldo que vienen de la red.

Se requiere evaluar la señal que recibe la central P. En caso de falla externa se evaluará la señal que entrega la red de comunicaciones en la central L y se buscara una a una en las centrales siguientes si así se requiere. El plan de mediciones queda entonces de la siguiente manera:

- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS P.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS L.
- Evaluación de Wander que entrega la Central L.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS M.
- Evaluación de Wander que entrega la Central M.
- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS N.
- Evaluación de Wander que entrega la Central N.
- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS O.
- Evaluación de Wander que entrega La Central O.
- Verificación de operación del anillo STM-1 desde Central L haciendo un lazo cerrado en P y de la señal de referencia recibida en el EDS P.

Diagrama de Conexión para evaluar las señales de referencia y Máscara ITU-T correspondiente para la evaluación.

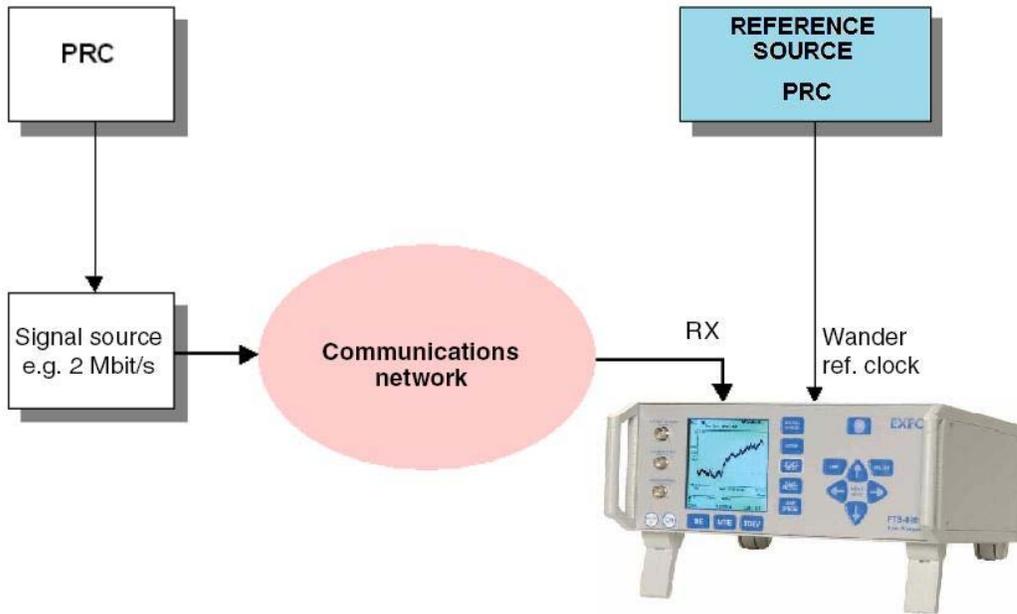


Fig. O-17 Wander test setup for synchronous signals

Name of tolerance mask in selection menu	Reference	Application
ITU-T/PDH Sync. IF (G.823)	G.823 Sec. 6.2.4, Fig. 10/11	<b>ITU-T PDH Synchronization Interface</b> Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at a PDH synchronization interface (e.g. 2048 kbit/s or 2048 kHz at a SSU). An independent reference source of higher quality is required for the measurement. Test configuration: See Sec. 4.1.3, page O-21.

Figura 3.54 Diagrama de Conexión para evaluación del Ruido de fase.

## Configuración del equipo analizador de comunicaciones

### 1. Configuración de Estructura de la señal a evaluar

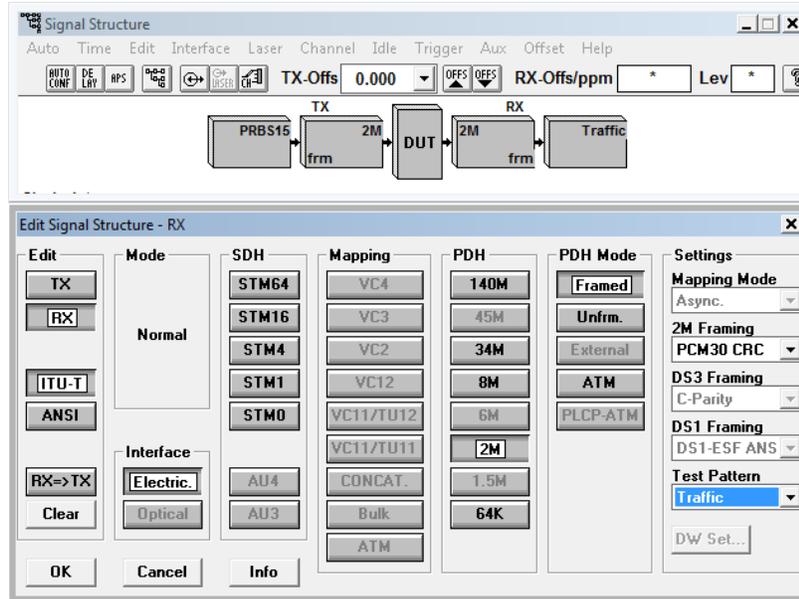


Figura 3.55 Configuración de la Señal a evaluar.

### 2. Configuración de la interface de la señal a evaluar

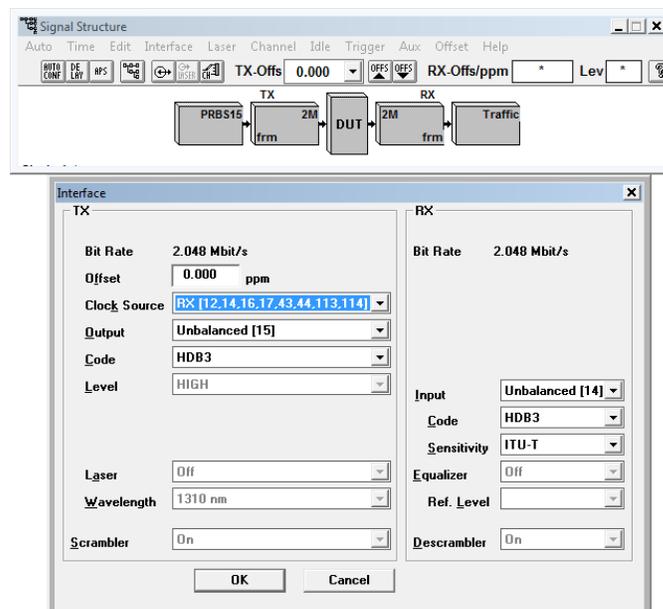


Figura 3.56 Configuración de la Interface a evaluar.

3. Configuración de la interface de la señal de referencia

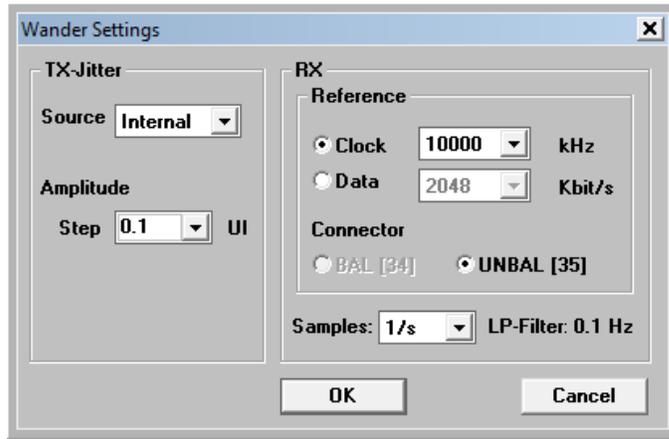


Figura 3.57 Configuración de la Interface de la Señal de Referencia.

4. Configuración de tiempo medición de Wander

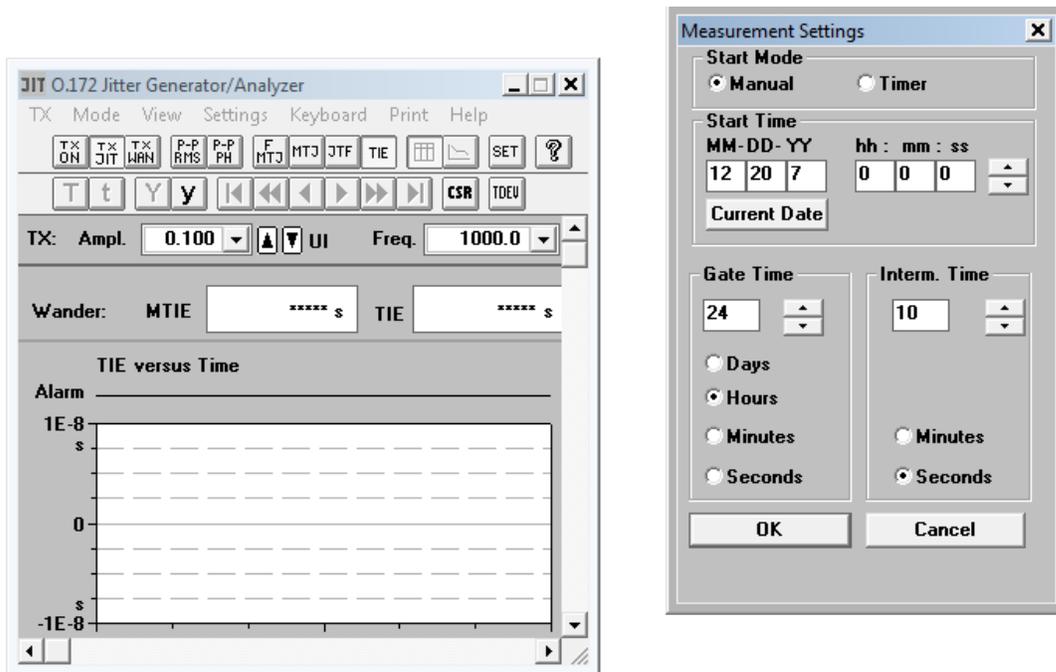


Figura 3.58 Configuración del tiempo de evaluación.

### 3.3.3.1 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS P.



Figura 3.59 Evaluación de TIE recibido en el EDS-P.

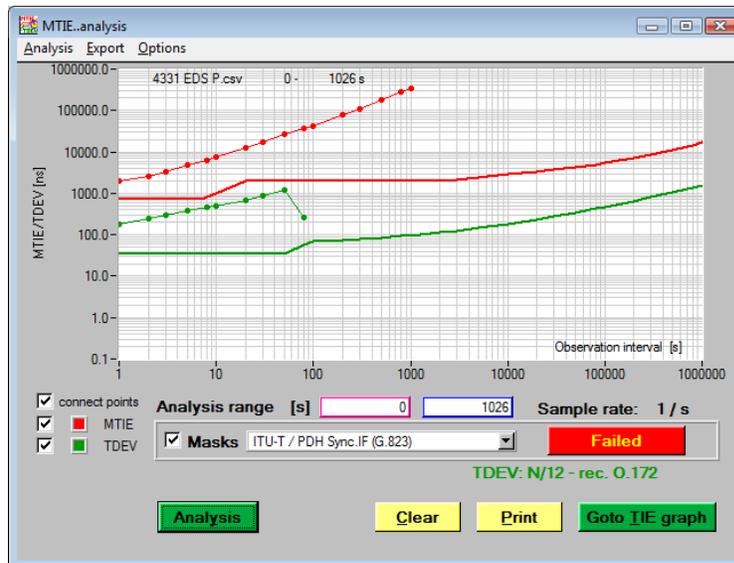


Figura 3.60 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-P.

Se realizó una medición de 17 minutos para verificar la tendencia de la estabilidad de la señal y se comprobó que la señal que recibe la central P no es la adecuada.

En tal caso se sigue con el plan de mediciones y se procede a evaluar el primer eslabón de nuestra red en la central L.

### 3.3.3.2 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS L.

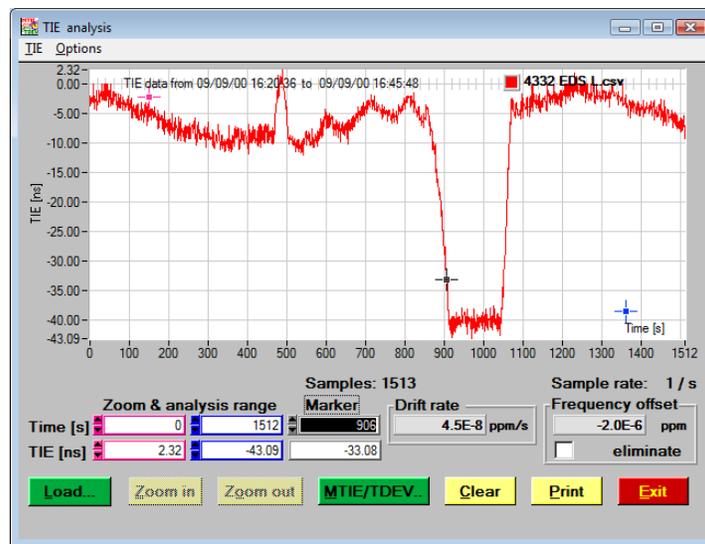


Figura 3.61 Evaluación de TIE recibido en el EDS-L.

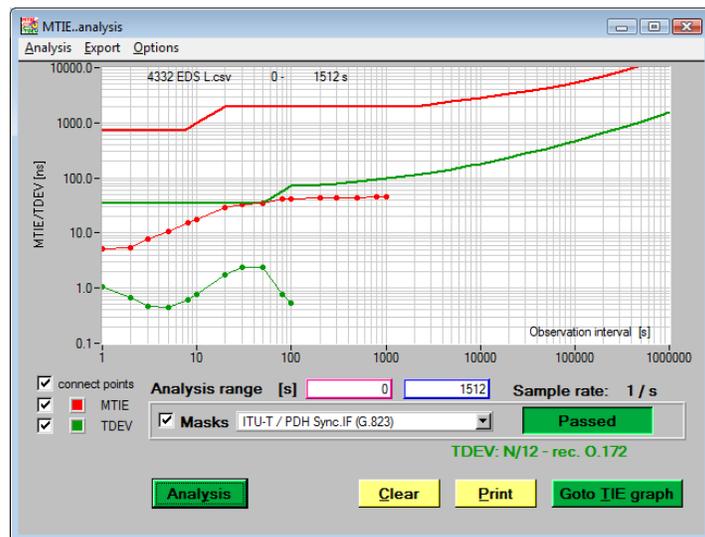


Figura 3.62 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-L.

Se realizó una medición de 25 minutos para verificar la tendencia de la estabilidad en la señal que se entrega al anillo. Ésta fue satisfactoria por lo que se procedió a evaluar la señal que entrega la Central L hacia la Central M.

### 3.3.3.3 Evaluación de Wander que entrega la Central L.

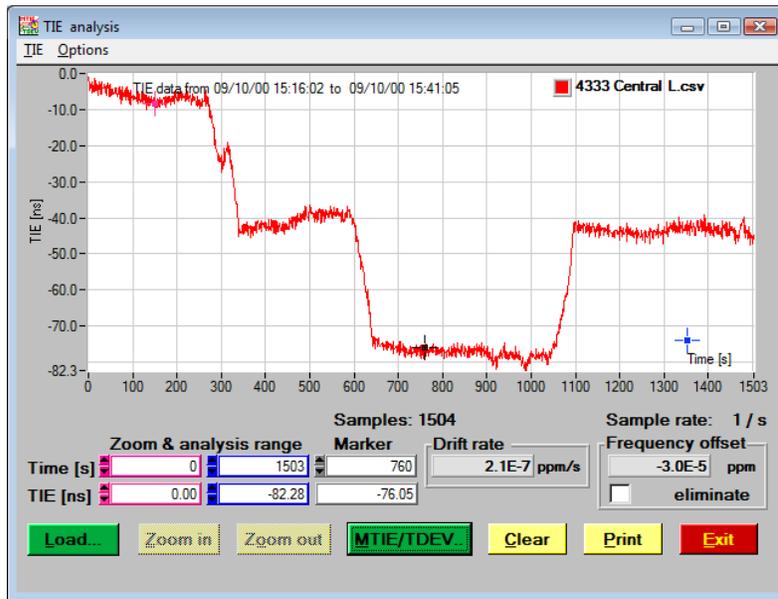


Figura 3.63 Evaluación de TIE recibido en el EDS-L.



Figura 3.64 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-L.

La medición fue de 25 minutos y se obtuvo que la señal fuera adecuada. Procedimos a ir a la Central M y evaluar la señal de referencia que llega. Con esto evaluaremos el enlace entre centrales para verificar si el problema está ahí.

### 3.3.3.4 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS M.

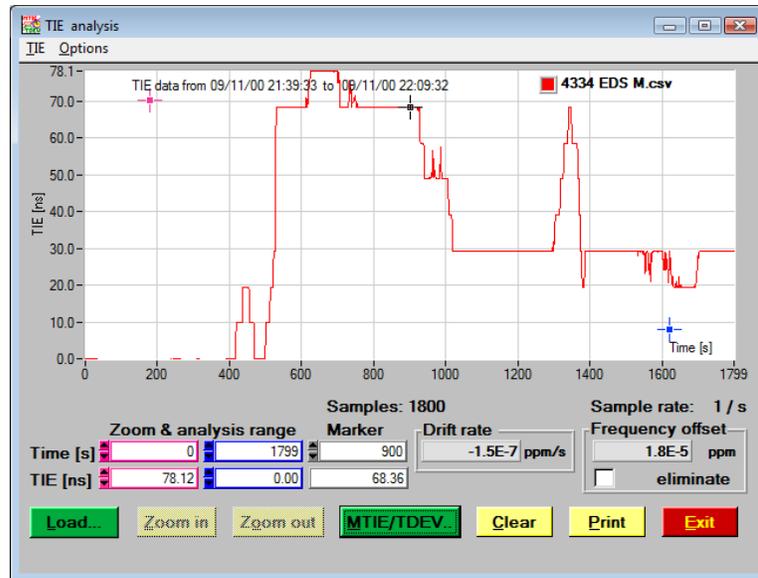


Figura 3.65 Evaluación de TIE recibido en el EDS-M.

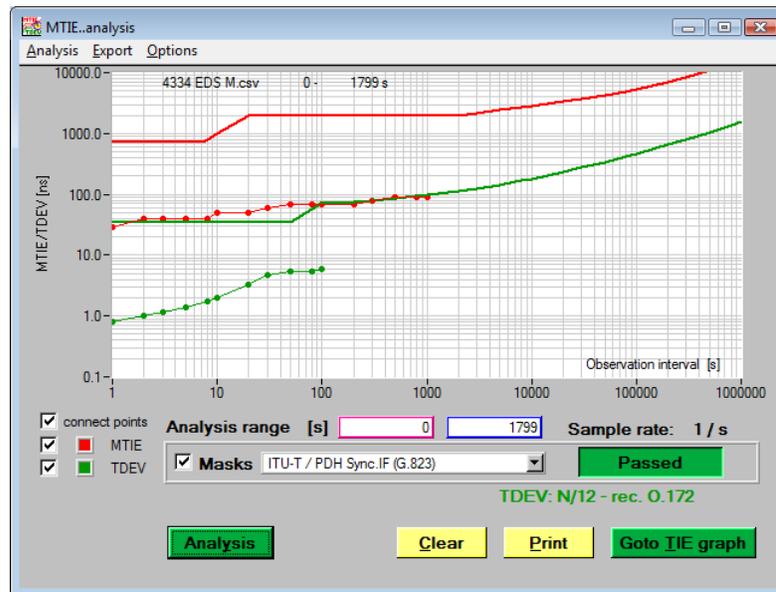


Figura 3.66 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-M.

La medición fue de 30 minutos y se comprobó que el enlace estaba trabajando correctamente entre la central L y la Central M.

Se pasó a la siguiente prueba de verificar la señal de salida de la Central M que va hacia la Central N.

### 3.3.3.5 Evaluación de Wander que entrega la Central M.

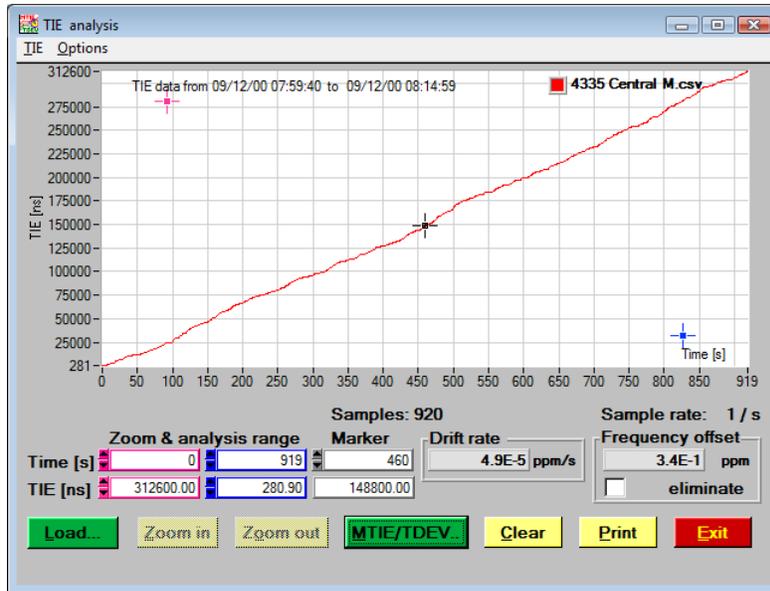


Figura 3.67 Evaluación de TIE recibido en el EDS-M.

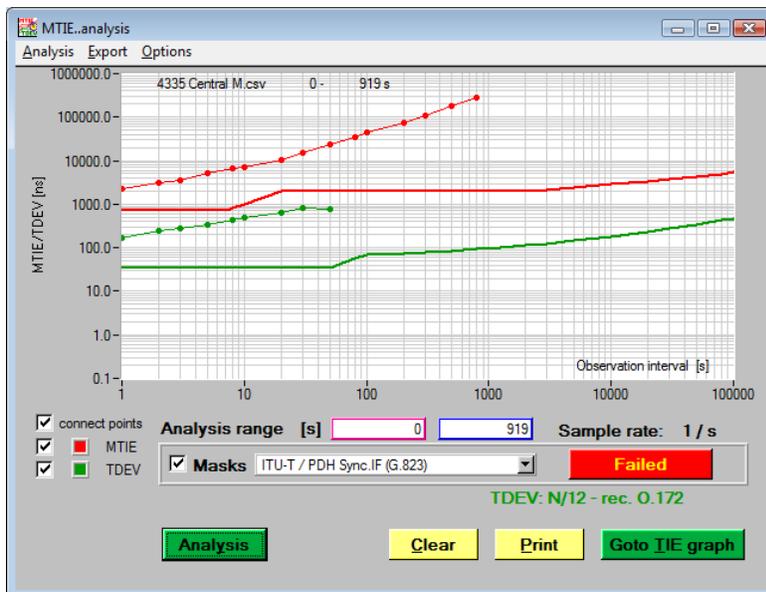


Figura 3.68 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-M.

Se realizó una medición de más de 15 minutos en la señal que entrega la central M y se localizó que la Central M es donde se tiene el problema.

Las mediciones muestran un comportamiento de estabilidad muy similar al de la central P donde se detectó el problema, por tal razón se revisó la configuración del reloj del equipo de Transporte SDH y se localizó que estaba configurado como Interno, tomando la referencia para la transmisión de su reloj de cuarzo en lugar de tomarlo de la línea que se recibe de la Central L.

### 3.3.3.6 Verificación de operación del anillo STM-1 desde Central L haciendo un lazo cerrado en P y de la señal recibida en el EDS P.

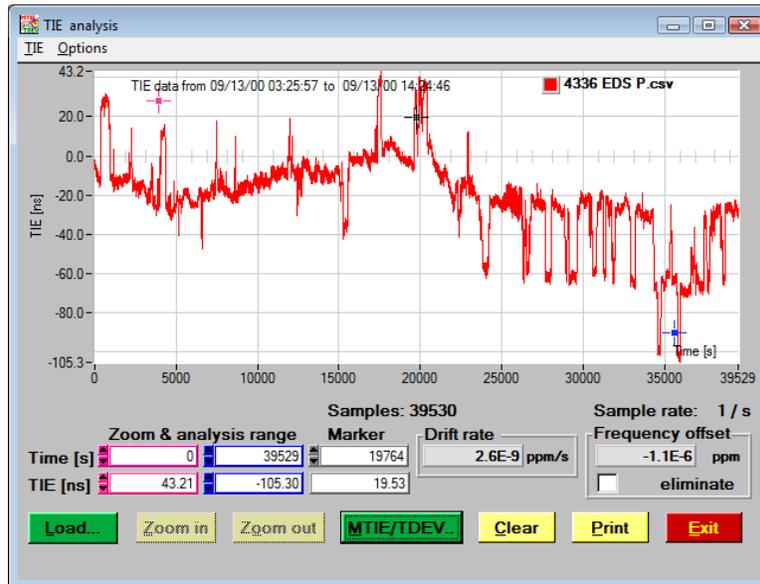


Figura 3.69 Evaluación de TIE recibido en el EDS-P.



Figura 3.70 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-P.

Después de realizar la nueva configuración del reloj en la Central M, se realizó una medición de 10 horas en la central P donde se reportó el problema, sólo para verificar que la configuración del reloj en la Central M era el único problema que tenía el enlace.

Después se realizó una verificación del enlace completo desde la Central L.

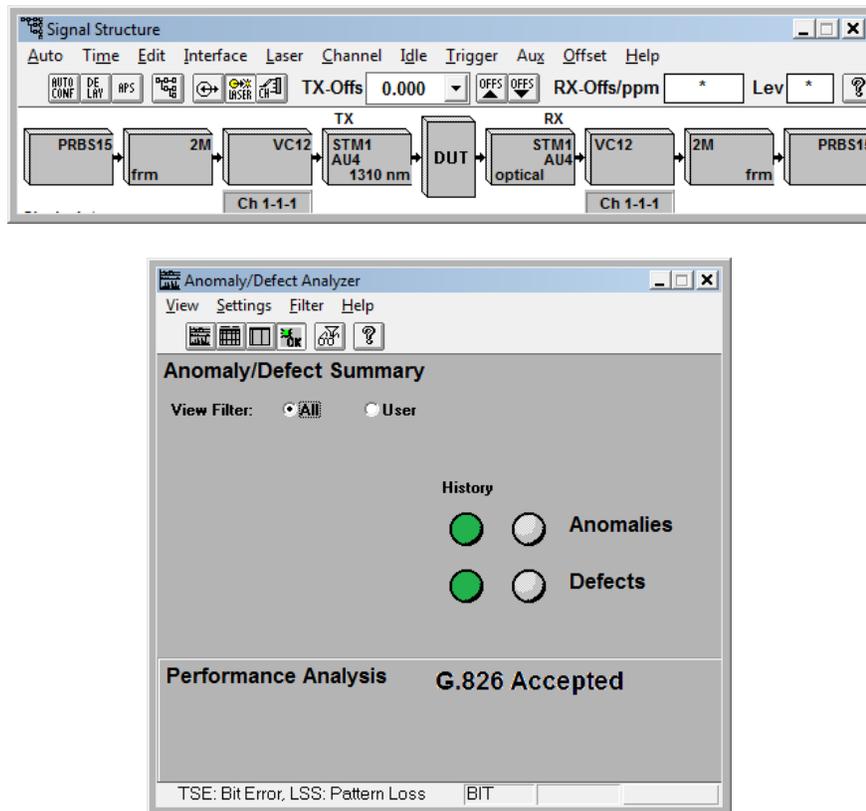


Figura 3.71 Resultado de Análisis G.826 al enlace STM-1.

### 3.3.4 Reporte de Solución del evento 3



## Reporte de Evento

FOLIO
0003

Ing. Alejandro Mora

División Transporte

La central P recibe una señal de referencia que no cumple con las recomendaciones ITU-T drásticamente. La señal casi no tiene ruido pero se desvía su fase constantemente. El comportamiento es muy similar al de un reloj de cuarzo.

La referencia entregada por la red de comunicaciones es adecuada, por lo que se procedió a detectar en cual central se pierde esta señal.

En la central M se detectó que el equipo SDH tenía mal configurado el reloj, tomando el reloj interno para transmisión en lugar de tomar el reloj que viene de la central M como debe ser.

La medición que se tenía en la central P efectivamente era de un reloj de cuarzo, que es el que tiene internamente la central M, esto no permitía una comunicación adecuada perdiendo incluso el enlace.

El equipo SDH de la central M fue configurado a que tome el reloj adecuadamente con lo que se verificó que la señal en la central P sea el adecuado. El lazo SDH ha quedado funcionando.

Las mediciones las puede encontrar en los anexos (Punto 3.3.3).

Atentamente

Álvaro Marroquín

Ing. De Soporte Técnico

*Figura 3.72 Formato de Reporte de Evento 3.*

## **3.4 EVENTO 4: INTERCONEXIÓN CON RED EXTERNA CON ERRORES DE COMUNICACIÓN**

### **3.4.1 Recepción del evento 4**

Acta de Evento	
	FOLIO
	0004



### 3.4.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados

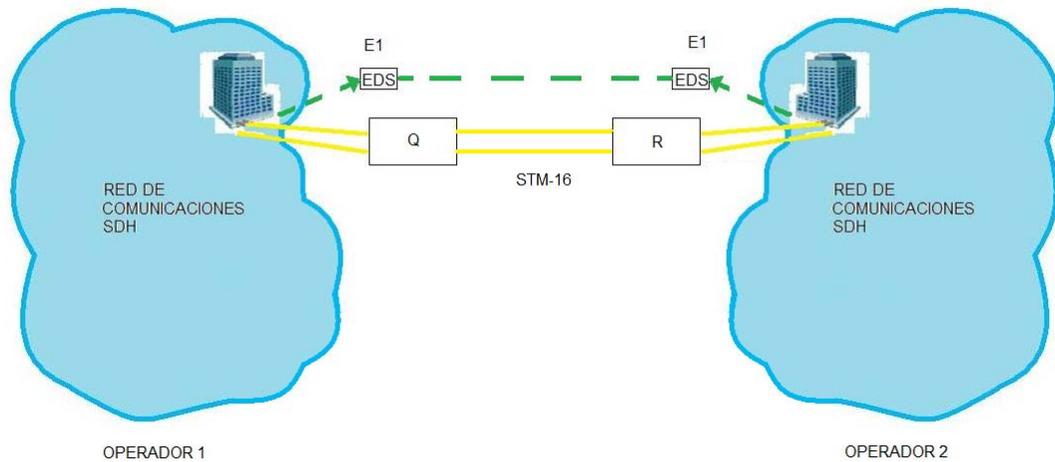


Figura 3.74 Esquema de interconexión entre dos operadores

### 3.4.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 4

En la figura 4.74 está un esquema de la interconexión entre dos operadores, el enlace no se puede establecer y cada operador defiende su enlace. Este tipo de eventos son muy delicados debido a que puede existir un conflicto de intereses para el que va a medir. En este tipo de mediciones es crítico que los equipos de medición y prueba estén calibrados y se tengan a la mano los certificados de calibración para cualquier aclaración o ajuste que se tenga que hacer en las mediciones.

Se requiere evaluar las dos señales entregadas por cada operador y verificar contra un reloj primario las señales de sincronía. El plan de mediciones queda entonces de la siguiente manera:

- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS Q.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS R.
- Verificación de operación de la conexión STM-16 desde la Central Q haciendo un lazo cerrado en R o viceversa.

Diagrama de Conexión para evaluar las señales de referencia y Máscara ITU-T correspondiente para la evaluación.

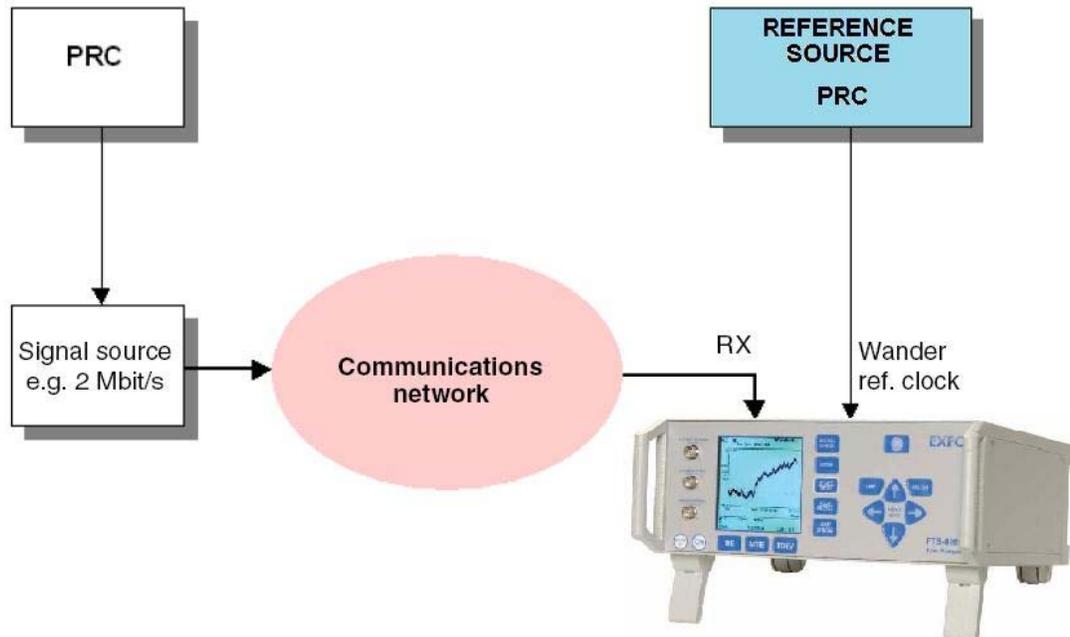


Fig. O-17 Wander test setup for synchronous signals

Name of tolerance mask in selection menu	Reference	Application
ITU-T/PDH Sync. IF (G.823)	G.823 Sec. 6.2.4, Fig. 10/11	<b>ITU-T PDH Synchronization Interface</b> Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at a PDH synchronization interface (e.g. 2048 kbit/s or 2048 kHz at a SSU). An independent reference source of higher quality is required for the measurement. Test configuration: See Sec. 4.1.3, page O-21.

Figura 3.75 Diagrama de Conexión para evaluación del Ruido de fase.

Configuración del equipo analizador de comunicaciones:

1. Configuración de Estructura de la señal a evaluar

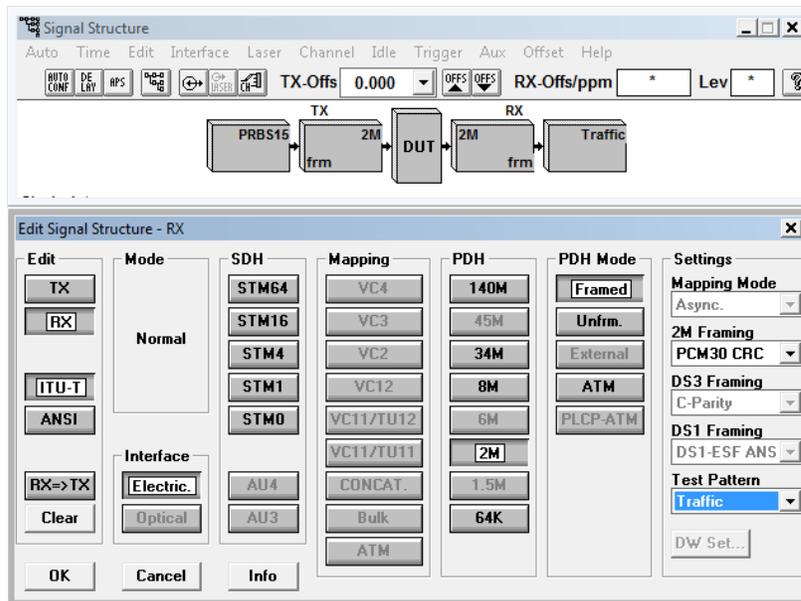


Figura 3.76 Configuración de la Señal a evaluar.

2. Configuración de la interface de la señal a evaluar

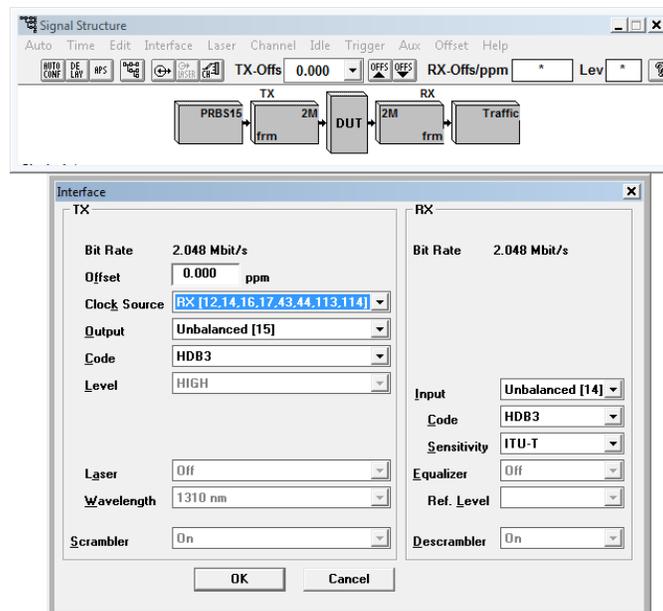


Figura 3.77 Configuración de la Interface a evaluar.

3. Configuración de la interface de la señal de referencia

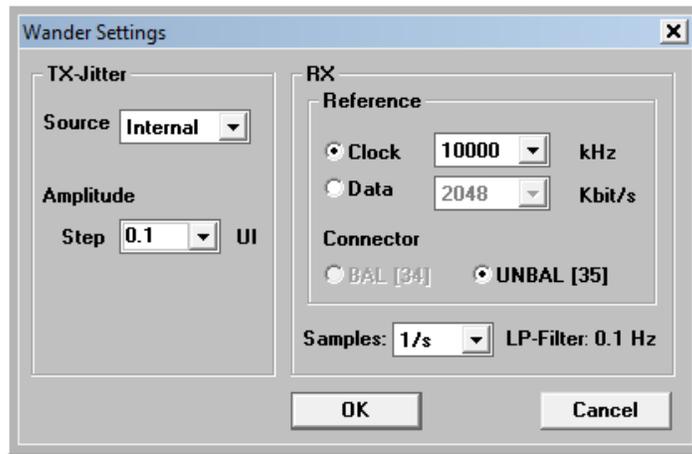


Figura 3.78 Configuración de la Interface de la Señal de Referencia.

4. Configuración de tiempo medición de Wander

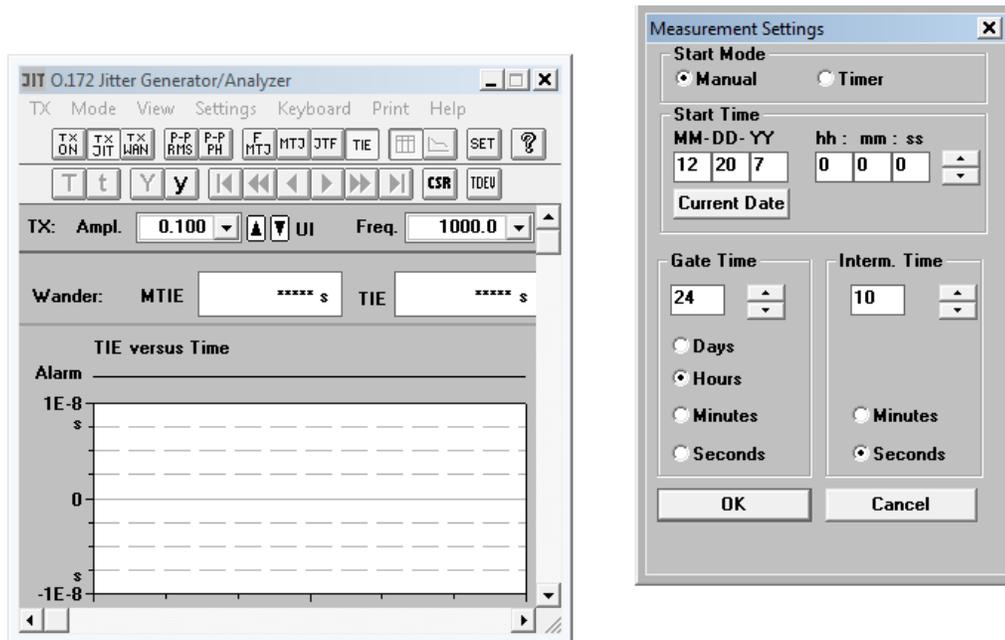


Figura 3.79 Configuración del tiempo de evaluación.

### 3.4.3.1 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS Q.

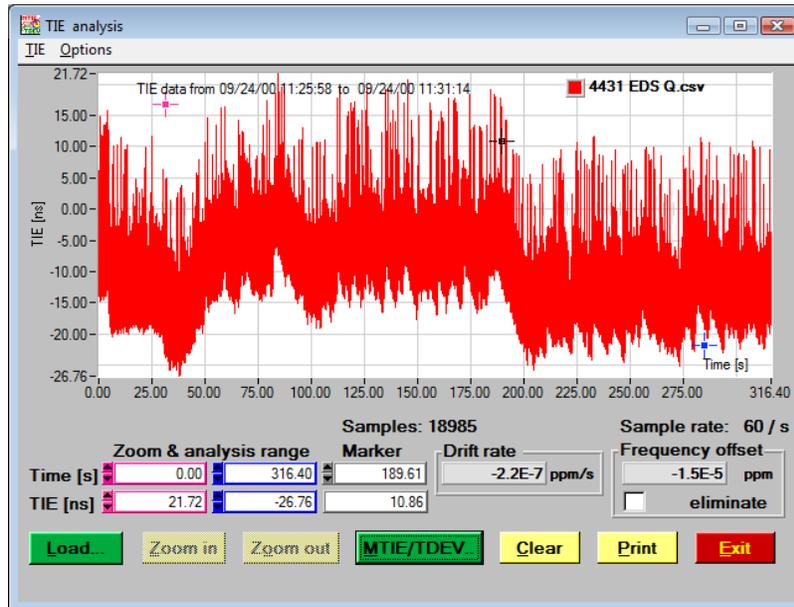


Figura 3.80 Evaluación de TIE recibido en el EDS-Q.



Figura 3.81 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-Q.

Se realizó una medición de de 5 minutos para verificar la tendencia de la estabilidad presentando una excelente calidad de señal recibida en la Central Q.

### 3.4.3.2 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS R.

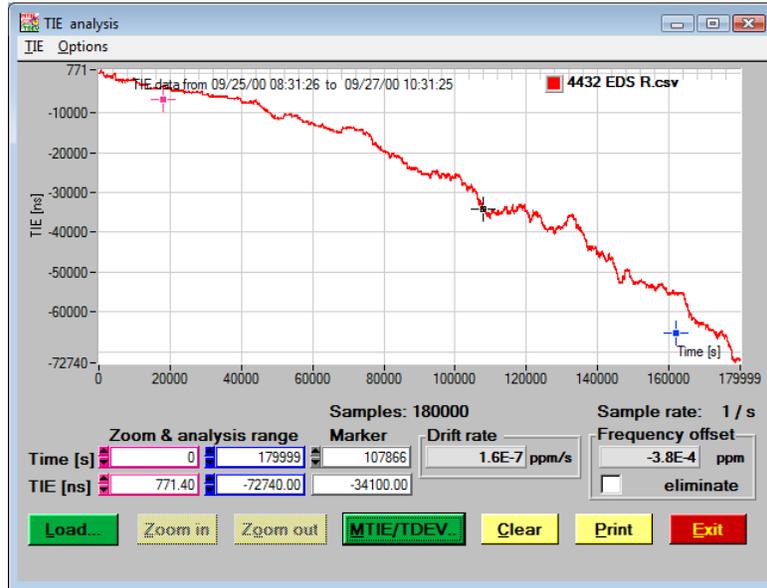


Figura 3.82 Evaluación de TIE recibido en el EDS-R.



Figura 3.83 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-R.

Al realizar una medición corta para verificar la tendencia de la estabilidad, ésta fue mala, por lo que se procedió a evaluar esta señal por un periodo de 2 días y así establecer adecuadamente la situación de la estabilidad.

Se determinó que la mala estabilidad procedía de esta señal, por lo que el operador 1 procedió a identificar la causa del evento. Cuando el operador 1 resolvió el evento se procedió a probar el enlace para verificar que estuviera la estabilidad y funcionamiento adecuado.

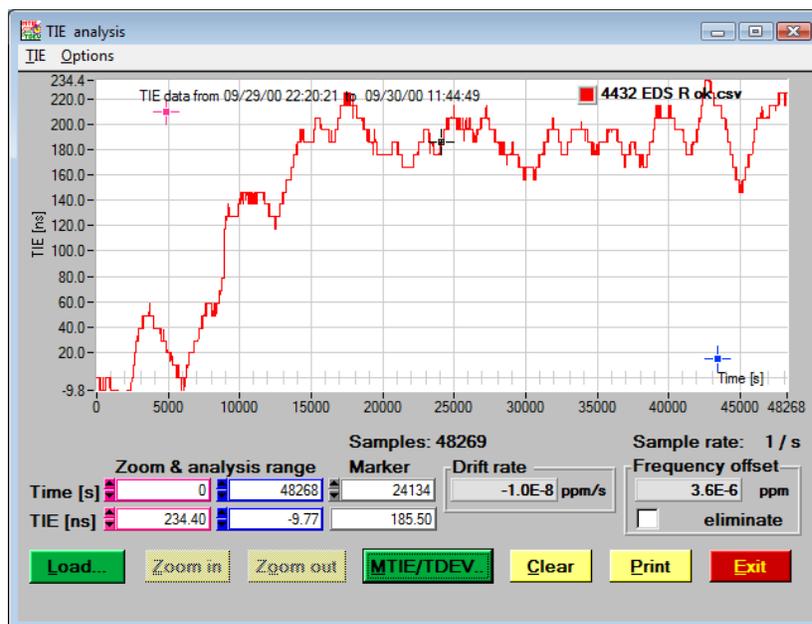


Figura 3.84 Evaluación de TIE recibido en el EDS-A.



Figura 3.85 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-A.

### 3.4.3.3 Verificación de operación de la conexión STM-16 desde la Central Q haciendo un lazo cerrado en R o viceversa.

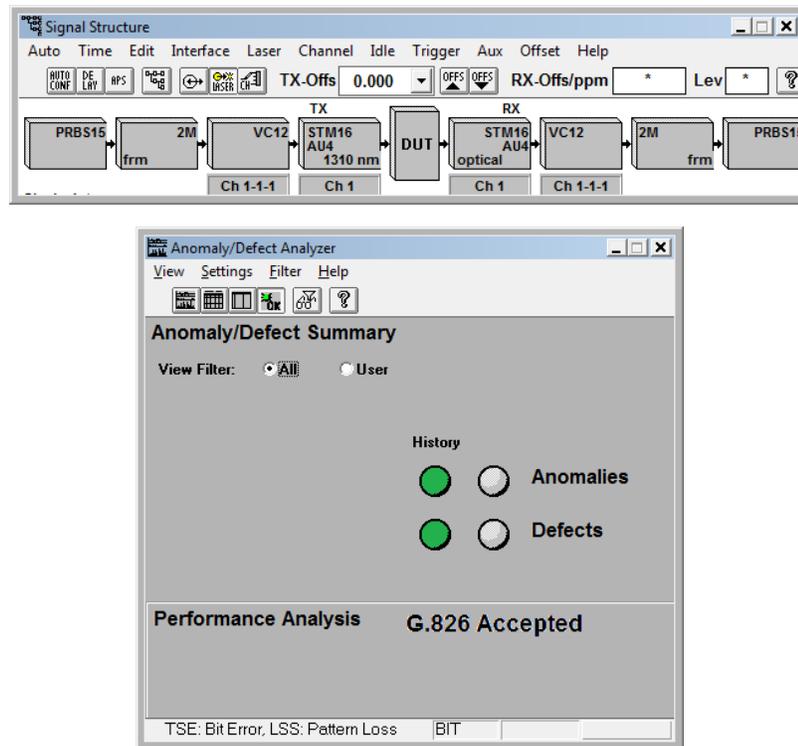


Figura 3.86 Resultado de Análisis G.826 al enlace STM-16.

### 3.4.4 Reporte de Solución del evento 4



## Reporte de Evento

FOLIO
0004

Ing. Alejandro Mora

División Transporte

Señal de operador 2 recibida en la central Q es correcta. Señal con mucha degradación recibida en la central R del operador 1.

Operador 1 revisó su esquema y descubrió que estaba mal configurado los equipos SDH y tenía muchos elementos entre su reloj maestro y la central Q.

También se encontró que el Operador 1 no contaba con un equipo calibrado, situación que agravó el conflicto con el otro operador.

Actualmente el enlace está funcionando adecuadamente.

Las mediciones las puede encontrar en los anexos (Punto 4.4.3).



Descripción del evento: Central con pérdida intermitente de señal. Verificar señal de sincronía.			
Alarmas o Anomalías en Equipo SDH: Pérdida de Señal SDH intermitente.			
Alarmas o Anomalías en Equipo distribuidor de sincronía (EDS): Pérdida de señal de referencia intermitente.			
Estado Actual: Pérdida de señal intermitente			
Central Origen:      Central S		Centrales Afectadas: Centrales T, U y V	
Hora:		Fecha:	
Responsable de recepción de evento: Álvaro Marroquín – Ing. Soporte Técnico			
Responsable de Central Origen			
Nombre:			
Cargo:			
Teléfono:		Tel. Cel.:	
Analizador de Comunicaciones Disponible: ANT-20			

*Figura 3.88 Formato de Evento 5.*

### 3.5.2 Obtención de un esquema o dibujo de nodos o enlaces afectados

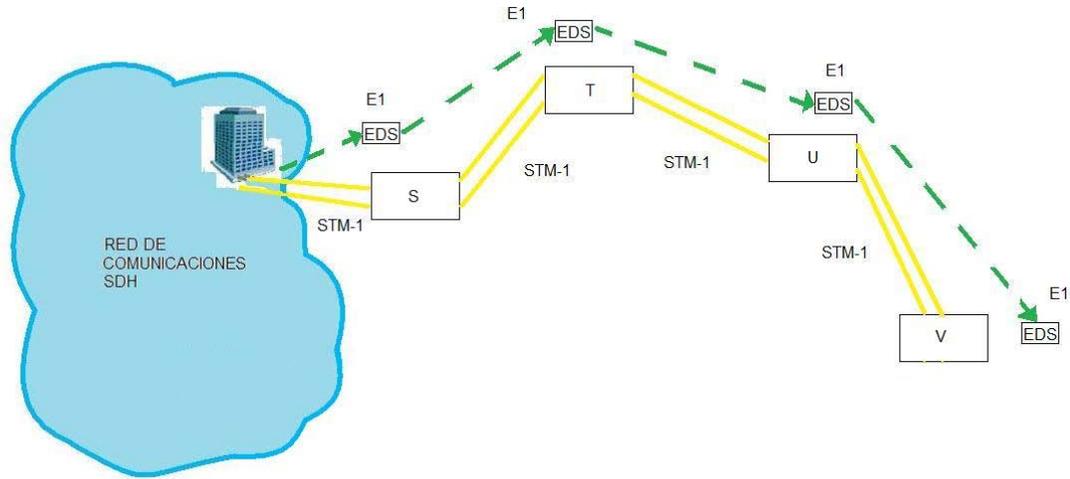


Figura 3.89 Lazo formado por 4 centrales

### 3.5.3 Evaluación del Ruido de Fase del evento 5

En la figura 3.89 podemos ver que el problema está en el inicio del lazo. Se requiere, por lo tanto, verificar la señal de referencia entregada por la red de comunicaciones. También verificar la sincronización e todo el lazo.

El plan de mediciones queda entonces de la siguiente manera:

- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS S.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS T.
- Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS U.
- Evaluación de Wander de la señal de referencia que recibe el EDS V.
- Verificación de operación del lazo STM-1 desde Central S haciendo un lazo cerrado en V.

Diagrama de Conexión para evaluar las señales de referencia y Máscara ITU-T correspondiente para la evaluación.

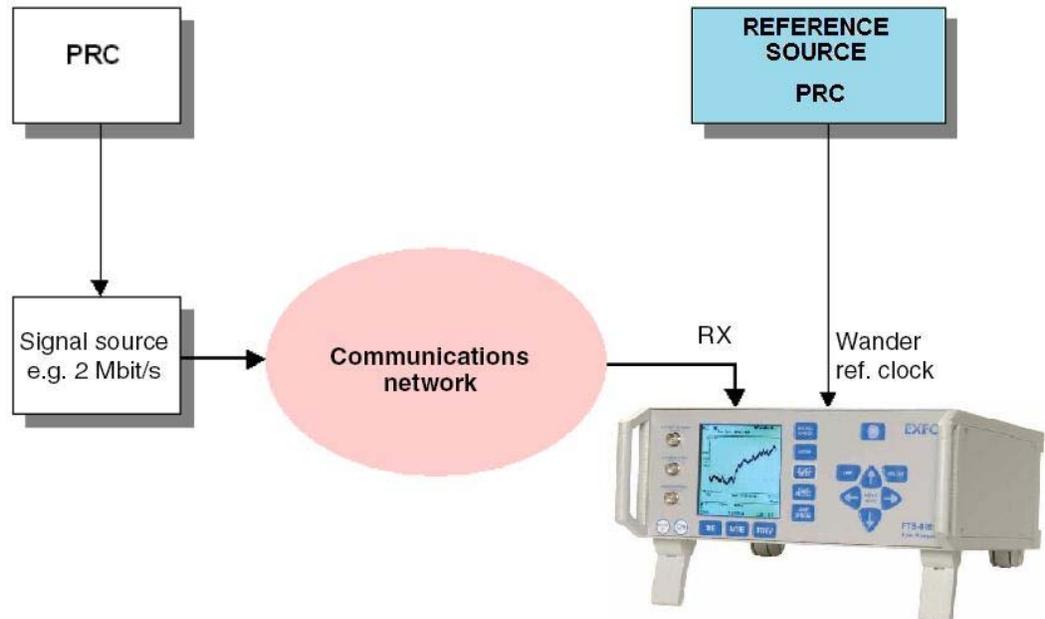


Fig. O-17 Wander test setup for synchronous signals

Name of tolerance mask in selection menu	Reference	Application
ITU-T/PDH Sync. IF (G.823)	G.823 Sec. 6.2.4, Fig. 10/11	<b>ITU-T PDH Synchronization Interface</b> Maximum permitted wander (MTIE and TDEV) at a PDH synchronization interface (e.g. 2048 kbit/s or 2048 kHz at a SSU). An independent reference source of higher quality is required for the measurement. Test configuration: See Sec. 4.1.3, page O-21.

Figura 3.90 Diagrama de Conexión para evaluación del Ruido de fase.

## Configuración del equipo analizador de comunicaciones

### 1. Configuración de Estructura de la señal a evaluar

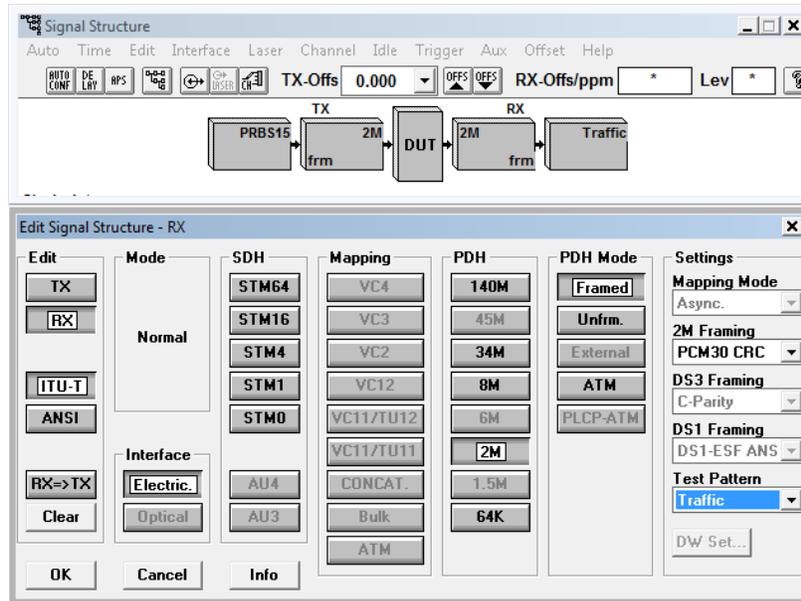


Figura 3.91 Configuración de la Señal a evaluar.

### 2. Configuración de la interface de la señal a evaluar

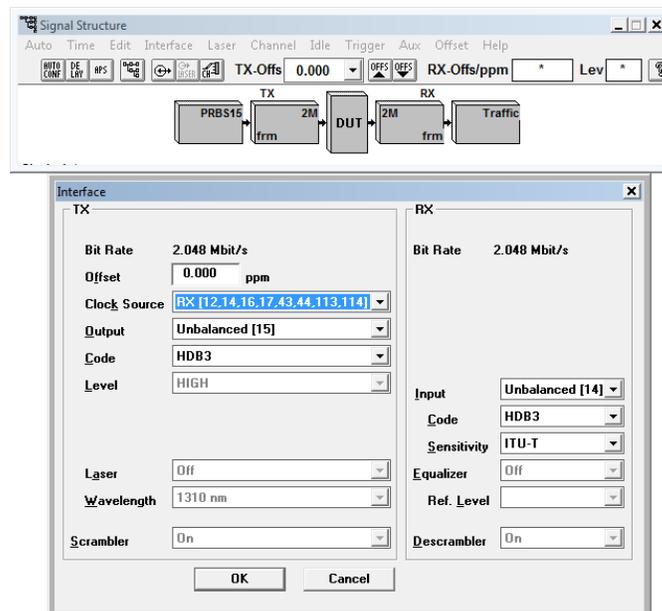


Figura 3.92 Configuración de la Interface a evaluar.

3. Configuración de la interface de la señal de referencia

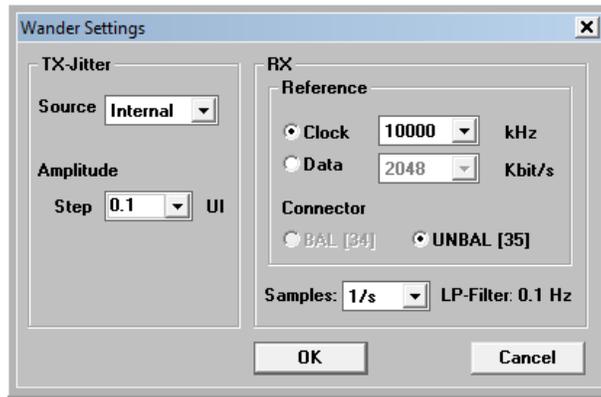


Figura 3.93 Configuración de la Interface de la Señal de Referencia.

4. Configuración de tiempo medición de Wander

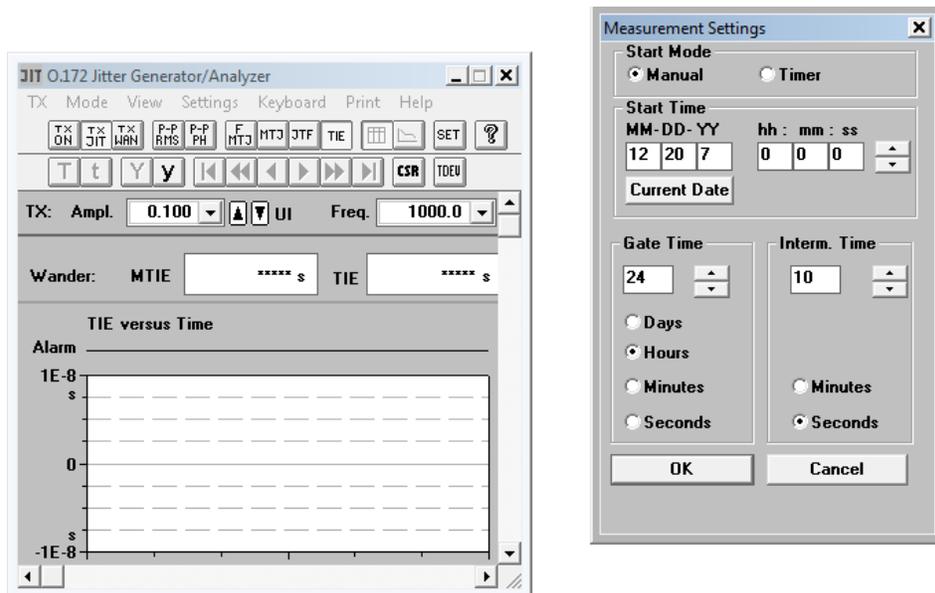


Figura 3.94 Configuración del tiempo de evaluación.

### 3.5.3.1 Evaluación de Wander en la señal de referencia que recibe el EDS S.



Figura 3.95 Evaluación de TIE recibido en el EDS-S.



Figura 3.96 Análisis de Conformidad con G.823 del MTIE recibido en el EDS-S.

Se realizó una medición exhaustiva de 11 horas para verificar la estabilidad de la señal que recibe la central S, encontrando que esta tiene la estabilidad adecuada.

Por tal motivo se procede a evaluar la señal SDH para verificar si ésta es generada por Jitter o alguna otra causa.

### 3.5.3.3 Evaluación del equipo SDH de la central S.

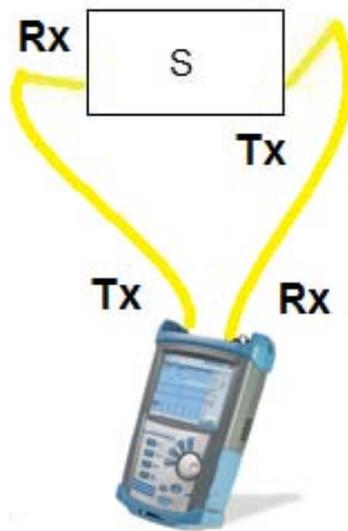


Figura 3.97 Análisis Diagrama de Conexión.

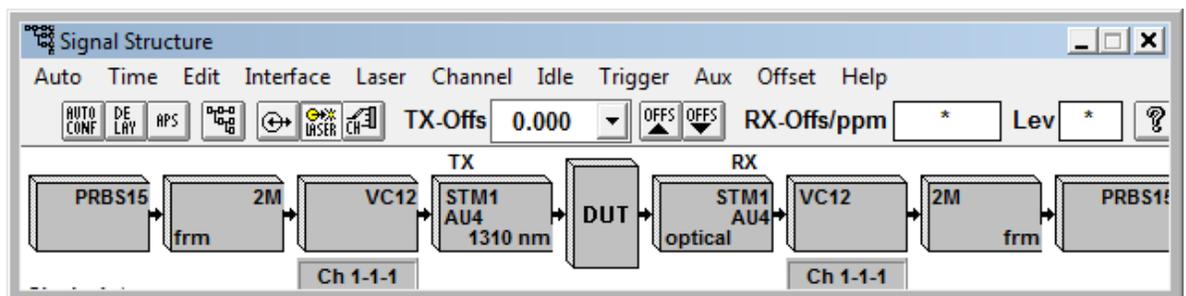


Figura3.98 Configuración de la Señal STM-1.

Se dejó monitoreando el equipo encontrando varios eventos intermitentes, después de revisar varias veces las conexiones se encontraron daños en los conectores de fibra óptica del panel de conexiones. Se repararon y se volvió a evaluar durante 24 horas sin presentar ningún evento.

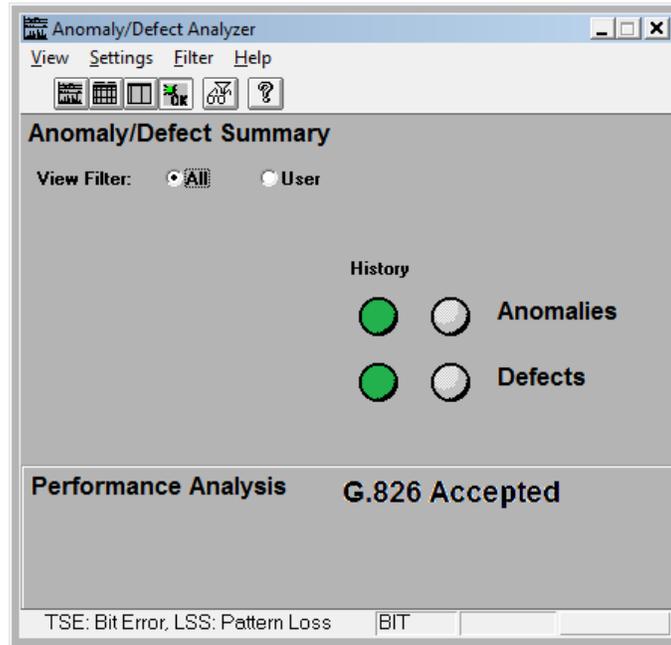


Figura 3.99 Resultado de Análisis G.826 al enlace STM-1.

### 3.5.4 Reporte de Solución del evento 5

Reporte de Evento	
	FOLIO
	0005

Ing. Alejandro Mora

División Transporte

La central S recibe una señal de referencia adecuada tanto en señal de sincronía (Wander) como en Jitter. Al encontrar esto se deduce que el problema es en la central S y se procedió a evaluar el equipo SDH instalado en la central S.

Dejamos evaluando el equipo SDH y este mostró errores intermitentes. Después de una evaluación física exhaustiva se encontró un problema en los conectores de la fibra óptica del panel de conexiones, lo que generaba los problemas intermitentes.

Se reparó el conector de fibra óptica y se volvió a evaluar con lo que se garantizó que el enlace estaba correcto.

Finalmente se evaluó el lazo haciendo un lazo cerrado en la central V y el lazo SDH ha quedado funcionando adecuadamente.

Las mediciones las puede encontrar en los anexos (Punto 4.5.3).

Se recomienda solicitar al departamento de ingeniería, busque meter el enlace en una arquitectura de anillo tanto como sea posible.

Atentamente

Álvaro Marroquín

Ing. De Soporte Técnico

*Figura 3.100 Formato de Reporte de Evento 5.*



## CONCLUSIONES



## **CONCLUSIONES**

### **ESTADO ACTUAL DE LA ATENCIÓN DE EVENTOS**

En la Industria de las Telecomunicaciones se tiene un estricto control de calidad con los servicios ofrecidos a todos los clientes finales. En particular los clientes corporativos firman contratos con los Operadores proveedores de servicios con Garantías de disponibilidad de los enlaces contratados, llamados SLA (Service Level Agreement), éstos garantizan niveles de disponibilidad con fuertes cantidades de dinero por penalización en caso de falla o indisponibilidad de los servicios de comunicación. En consecuencia, el reto de los operadores es mantener al 100% la disponibilidad las redes de Comunicaciones.

En general las redes sincronas SDH de comunicaciones se encuentran siempre monitoreadas y con equipos de personas especializadas siempre listas para la resolución de eventos, incluso los proveedores de los operadores son subcontratados para atender eventos con disponibilidades de 7 días por 24 horas los 365 días del año con tiempos límite de respuesta y tiempos límite de resolución de fallas muy cortos.

Grandes cantidades de recursos son dedicadas a prevenir que los tiempos de indisponibilidad se reduzcan; por ejemplo, los operadores realizan pruebas exhaustivas a los equipos SDH y equipos de distribución de sincronía antes de introducirlos a las redes en servicio (procesos de homologación), adquieren grandes cantidades de refacciones para mantenerlas en almacenes locales en cada central para intercambio en caso de falla de algún elemento de la red, firman varios contratos de soporte técnico 7 X 24 X 365 con algunos proveedores especializados y se adquieren cantidades importantes de equipo de medición especializado.

Aun con todos estos esfuerzos la tecnología avanza muy rápidamente y la transferencia de conocimiento desde los centros de investigación de los fabricantes hacia el usuario final es muy lento y se tienen graves problemas para lograr que las interfaces trabajen adecuadamente.

Dentro de las mismas oficinas locales de los fabricantes extranjeros se hacen esfuerzos para llevar a su personal a las fábricas para que entren en contacto con los investigadores y desarrolladores de productos, pero en el ámbito internacional actual es muy difícil que esto tenga éxito de manera contundente. La crisis actual ha llevado a que la mayoría de todas las compañías tengan como prioridad vender para sobrevivir y muy pocas se preocupan por los servicios post venta y la transferencia de conocimiento; es decir, se planea para resultados a corto plazo, quitando prioridad al mediano y largo plazo.

Todos estos elementos hacen más complicado la atención de eventos, porque aunque se tienen todos los recursos disponibles, el personal tarda un tiempo mayor en encontrar la solución de los eventos.

Los ingenieros de soporte técnico se encuentran con el compromiso de resolver los eventos en el menor tiempo posible. La mayoría de ellos desarrollan sus propios procedimientos para encontrar la solución de los eventos y debido a la demanda tan grande por mantener el 100% de disponibilidad, es difícil que documenten sus procedimientos.

## **EVENTOS ANALIZADOS CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA**

### **Impacto Comercial en la Organización**

En Las Redes de Comunicaciones se encuentran una gran cantidad de parámetros que pueden afectar a su desempeño. Es muy baja la probabilidad que un evento se repita.

En los Operadores de Comunicaciones los Departamentos de Soporte Técnico están divididos no solo por regiones geográficas, sino por especialidades técnicas. Esto permite contar con varios grupos para cada necesidad.

La metodología para atención de eventos propuesta apoyó a determinar si el evento era generado por problemas de Ruido de Fase. Esto permitió determinar responsabilidades de las causas de error, no solo de manera técnica, sino también responsabilidades de atención asignando al grupo especializado adecuado, eliminando tiempos muertos en los grupos de soporte de otras áreas.

Dentro de la red de Comunicaciones se encuentran varios proveedores de equipo interactuando, cuando un evento afecta la comunicación algunas veces repercute directamente con el proveedor que suministró la causa de la falla. Esta metodología permite evaluar los eventos de manera objetiva, buscando las causas del evento en lugar de buscar culpables que asuman las penalizaciones.

En el caso 3.2 “Degradación de una señal de sincronía recibida en una central” el evento fue generado por un crecimiento de la red al enlazar nuevas centrales intermedias entre las centrales que distribuían la sincronía y la que tenía problemas de sincronía. La metodología mostró este crecimiento y ayudó a resolverlo con un equipo a corto plazo, para después recomendar la solución a

largo plazo. Al final se tienen los elementos para deslindar responsabilidades de manera adecuada en lugar de buscar culpables, generando conflictos entre empresas proveedores, operadores y clientes finales.

## **Impacto Técnico en la Organización**

En todos los eventos pudimos aplicar la metodología sin importar el objetivo técnico. Se aplica tanto en eventos preventivos como en eventos correctivos. Los equipos de medición y prueba utilizados por el Ingeniero de Soporte Técnico operan bien en la metodología sin importar la marca o modelo, utilizando equipo de diferentes fabricantes son utilizados adecuadamente al no perder de vista el objetivo técnico.

Es importante que las herramientas para resolver problemas, no se conviertan en un problema más. Cabe mencionar que los fabricantes de equipo para medir Ruido de Fase cuentan con interfaces de usuario muy amigables, es importante para el ingeniero contar con el entrenamiento en tecnología para no perderse en el equipo de medición y prueba.

Hay muchos elementos técnicos que se presentaron en los eventos y que no se describen en este trabajo, estos detalles técnicos no tienen ninguna relevancia con relación a la solución de los eventos, pero es muy importante mencionarlos ya que el ingeniero de soporte técnico debe considerar que encontrará todo tipo de dificultad técnica.

La metodología permitió a no perderse en estos detalles técnicos, tomándolos como eventos solucionables por técnicos operadores o instaladores. El ingeniero de soporte técnico siguió en la solución del evento en lugar de perderse en hacer

conectores o programar un equipo. Cabe mencionar que el Ingeniero de Soporte Técnico debe saber hacer este tipo de elementos técnicos porque los técnicos deben ser evaluados en su trabajo por el mismo. El no hacerlo bien, el elemento técnico se convertiría en una causa de falla.

Cuando uno elabora planes de capacitación para soportar técnicamente las redes de comunicaciones, se encuentra con una gama muy amplia de oferta, por la misma complejidad de las redes. Al aplicar la metodología el ingeniero de soporte técnico ve más claramente la información y capacitación que se requiere en caso de carecer de ella y se define la capacitación técnica crítica que debe contar.

El equipo de medición para medir Wander es imprescindible para eventos relacionados con la sincronía en las redes SDH de Comunicaciones. La organización entonces debe contemplar tener disponibles una cantidad mayor analizadores de Wander, en relación a los analizadores de Jitter; esto mejorará la capacidad de respuesta del soporte técnico.

## **RETOS PARA LOS INGENIEROS MEXICANOS**

Con base en la presente tesis podemos observar algunos retos de los ingenieros mexicanos en la Industria de las Telecomunicaciones, entre los más importantes están los siguientes:

### **Transferencia Tecnológica**

**“Buscar los enlaces para la transferencia de Conocimiento y Tecnología entre los Centros de Ingeniería y Desarrollo y el campo de aplicación en la Industria”.**

Una vez que estamos en condiciones de desarrollarnos en alguna actividad como ingenieros en alguna empresa, tenemos que identificar la fuente de desarrollo de tecnología y acercarnos lo más posible a ella.

Estas fuentes pueden ser los Centros de Ingeniería y Desarrollo de las compañías transnacionales fuera de nuestro país o Centros de Desarrollo públicos o privados en nuestro país. No debemos menospreciar ningún Centro de desarrollo, ya que uno se encuentra en México con desarrollos de vanguardia que por nuestro carácter histórico denominado popularmente “malinchista” nos impide ver la importancia de estos proyectos.

Encontraremos muchos límites no sólo de la parte técnica, al no contar con todos los elementos técnicos, sino en la parte social, existe mucho límite de parte de los directivos de nuestras empresas, normalmente extranjeros, a acceder a esta tecnología. Ese es realmente el reto, romper estos límites y acceder a la información. Una vez que se tiene debemos compartirla, de nada nos sirve que un solo ingeniero tenga la información, debemos tener ejércitos de ingenieros mexicanos capaces para cambiar no sólo el ámbito regional sino a nivel nacional

en beneficio de toda la sociedad. Siempre es mejor trabajar en equipo para garantizar resultados.

## **Métodos de Operaciones**

**“Desarrollar métodos o procedimientos que se basen en el raciocinio en lugar de instructivos de operación que sean utilizados como una lista de actividades sin ninguna toma de decisión u oportunidad de mejora”.**

Cuando hemos trabajado profesionalmente como ingenieros, el documentar nuestras actividades enriquece la profesión. Siempre se trabaja con objetivos personales sin aprovechar la experiencia de los demás. El contar con la experiencia documentada es muy útil para todas las nuevas generaciones, esto nos llevará a comenzar donde otra generación se quedó, en lugar de comenzar de cero como normalmente la mayoría de las generaciones comienza.

Los sistemas de calidad han beneficiado esta actividad de documentar, sin embargo los procedimientos solo apoyan a tener operadores de sistemas de calidad, sin impulsar al ingeniero a razonar los procesos. Cuando el ingeniero razona los procesos se puede medir para controlar y por lo tanto para mejorar. Cuando los procedimientos impulsan al ingeniero a sistematizar actividades ocupando conocimientos y experiencia aporta un elemento de toma de decisiones importante en la búsqueda de soluciones. Esto aplica no solo en el ámbito técnico sino ya vimos que tiene un impacto en lo comercial y social.

## **Soluciones Interdisciplinarias**

**“Integrar e implantar las soluciones tecnológicas en un ambiente industrial que está ligado a diferentes ambientes profesionales, por ejemplo el comercial, legal, social, fiscal, humano, internacional, etc.”.**

Los ingenieros siempre trabajamos para solventar los problemas técnicos de nuestra especialidad, desde nuestro punto de vista y con nuestras armas técnicas para la resolución de problemas. Cuando desarrollamos soluciones el implantarlas implica más que una inversión técnica, siempre hay impacto comercial con otras compañías, ya sean socios comerciales o clientes finales. Tiene impactos personales, algún sistema de monitoreo puede dejar fuera de la línea de trabajo a muchas personas. Algunas soluciones pueden impactar en información confidencial o actividades que no son permitidas, ya sea en contratos comerciales o en las mismas leyes. Si las soluciones impactan más allá de nuestro país nos encontraremos con preguntas de personas que no hablan nuestro idioma e incluso que no entienden nuestra cultura, por lo que nuestra solución no puede ser la misma que ellos estaban buscando o esperando.

Todos estos argumentos demandan al ingeniero mexicano un extra de trabajo y compromiso, para involucrarse con todas estas necesidades de la sociedad mundial. No debemos convertirnos en especialistas, pero sí conocer de Comercio, Administración, Leyes Nacionales e Internacionales y manejo básico de otros lenguajes para acceder a la comunicación con nuestros socios o clientes finales.

El ingeniero que se especializa en su tema y no toma en cuenta todo esto, se convierte en generador de proyectos que jamás se volverán realidad. De nada nos sirve desarrollos de vanguardia que no tienen aplicación en la sociedad.

## EPÍLOGO

*En resumen los ingenieros mexicanos debemos aprender a trabajar en equipo para desarrollar o acceder a la tecnología de vanguardia, los equipos de trabajo serán interdisciplinarios y siempre enfocados en objetivos que beneficien al grupo.*

*Cuando los ingenieros mexicanos desarrollemos esta idea, se crearán u orientarán compañías que generen desarrollo sustentable en beneficio de toda la población en general, esto se verá reflejado principalmente en una gran elevación de nivel de vida en el país, donde por supuesto los ingenieros mexicanos estaremos recibiendo una gran parte de estos beneficios, directamente proporcional a nuestra aportación de trabajo y compromiso para la resolución de problemas.*



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### GUÍA DE RECOMENDACIONES INTERNACIONALES ITU-T

1. G.810 Definiciones y terminología para redes de sincronización.
2. G.811 Características de temporización de los relojes de referencia primarios.
3. G.812 Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización.
4. G.813 Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona.
5. G.820 Relaciones entre las Recomendaciones sobre la calidad de funcionamiento de la red digital de servicios integrados (RDSI), las redes basadas en IP y la capa física. Anteriormente Rec. ITU-T I.351/Y.801/Y.1501.
6. G.821 Característica de error de una conexión digital internacional que funciona a una velocidad binaria inferior a la velocidad primaria y forma parte de una red digital de servicios integrados.
7. G.822 Objetivos de tasa de deslizamientos controlados de una conexión digital internacional
8. G.823 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s.
9. G.824 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 1544 kbit/s.
10. 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.
11. G. 826 Parámetros y objetivos de las características de error de extremo a extremo para conexiones y trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante.
12. G.827 Parámetros y objetivos de disponibilidad para trayectos digitales internacionales de extremo a extremo de velocidad binaria constante.
13. G.828 Parámetros de la característica de error y objetivos para trayectos digitales internacionales síncronos de velocidad binaria constante.

14. G.829 Eventos de característica de error para secciones múltiplex y de regeneración de la jerarquía digital síncrona.
15. G.831 Capacidades de gestión de las redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona.
16. G.832 Transporte de elementos de la jerarquía digital síncrona por redes de la jerarquía digital plesiócrona – Estructuras de trama y de multiplexión.
17. G.841 Tipos y características de las arquitecturas de protección para redes de la jerarquía digital síncrona.
18. G.842 Interfuncionamiento de las arquitecturas de protección para redes de la jerarquía digital síncrona.

## **TEXTOS**

1. Roland Kiefer  
  
Test solutions for digital networks: Basic principles and measurement techniques for PDH, SDH, ISDN and ATM  
  
Hüthing Verlag Heidelberg  
  
1998
2. Stefano Bregni  
  
Synchronization of digital Telecommunications Networks  
  
John Wiley & Sons, LTD  
  
2002
3. Mike Sexton, Andy Reid  
  
Transmission Networking: SONET and the Synchronous Digital Hierarchy  
  
Artech House  
  
1992

4. Patrick R. Trischitta  
Eve L. Varma  
Jitter in digital Transmission Systems  
Artech House  
1989
  
5. Andre Girard, Ph.D.  
FTTxPON Technology and Testing  
EXFO Electro-Optical Engineering Inc.  
2005
  
6. Umberto Mengali and Aldo N. D'Andrea  
Synchronization Techniques for Digital Receivers  
Plenum Press  
1997
  
7. Masami Hihara  
Digital Clocks for Synchronization and Communications  
Artech House  
2003

#### **SITIOS DE LA RED MUNDIAL (INTERNET)**

1. [www.almalaboratorios.com](http://www.almalaboratorios.com)

2. [www.exfo.com](http://www.exfo.com)
3. [www.oscilloquartz.com](http://www.oscilloquartz.com)
4. [www.itu.int](http://www.itu.int)
5. [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
6. [www.cenam.mx](http://www.cenam.mx)