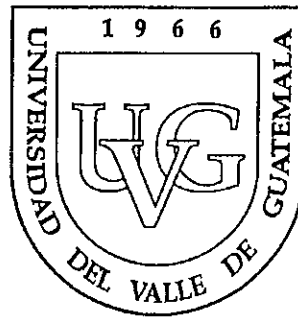




UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



**CRITERIOS DE SINCRONIZACIÓN
PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
DE GUATEMALA**

JULIO ROBERTO ARGUETA GARCIA

**Trabajo de investigación presentado para optar
al grado académico de**

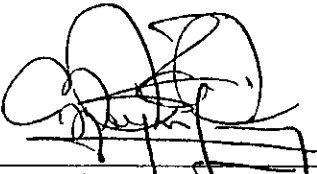
Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala

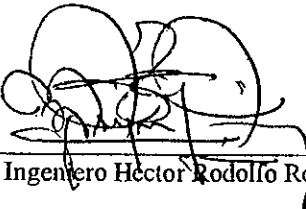
1995

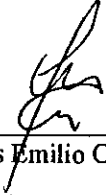
CRITERIOS DE SINCRONIZACIÓN
PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
DE GUATEMALA

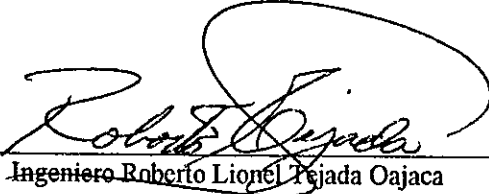
Vo. Bo. :

(f) 
Ingeniero Héctor Rodolfo Reyes Gómez

Tribunal :

(f) 
Ingeniero Héctor Rodolfo Reyes Gómez

(f) 
Ingeniero Carlos Emilio Chinchilla Villalobos

(f) 
Ingeniero Roberto Lionel Tejada Oajaca

Fecha de aprobación:

10 de febrero de 1995

TRABAJO DE GRADUACION QUE DEDICO

A DIOS TODOPODEROSO

A LA SANTISIMA VIRGEN MARIA

A mis abuelitos: Jorge Estanislao (†), Elvira (†), Adrián Raymundo (†) y
Mama Vira, especialmente.

A mis padres: Ernesto Argueta Pineda.
Carmen García de Argueta.

A mi esposa: Ruth Evelyn Luna de Argueta.

A mis hijos: Liza María y Julio Roberto, con mucho amor.

A mis hermanos: Jorge Ernesto, Carmen Lucía y Carlos Alberto.

A mi familia.

A mis amigos.

A GUATEMALA.

AGRADECIMIENTO

Al Grupo de Planeamiento,
División de Planeamiento y Diseño.
Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones, GUATEL.

Al asesor de este Trabajo de Graduación:

Ingeniero Héctor Rodolfo Reyes Gómez.

CONTENIDO

	Páginas
LISTA DE ILUSTRACIONES	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A. Situación actual de la sincronización en la red de telecomunicaciones de Guatemala	3
B. Definición del problema de la sincronización en la red actual de telecomunicaciones de Guatemala	4
III. SINCRONIZACIÓN	7
A. Necesidad de sincronización	7
B. Causas de los deslizamientos	9
C. Variaciones de fase	10
D. Relojes	12
E. Métodos de sincronización	15
IV. ESTRATIFICACIÓN DE LA RED	21
A. Introducción	21
B. Red jerárquica de sincronización	22
C. Reglas fundamentales para sincronización jerárquica	24
D. Estratos	25
V. FUENTE DE TEMPORIZACIÓN INTEGRADA PARA EDIFICIO (BITS, BUILDING INTEGRATED TIMING SUPPLY).	29
A. Introducción	29
B. Red INTRA-NODOS	30
C. Red INTER-NODOS	31
D. Ventajas de BITS	33

	Páginas
E. Generador de Señales de Temporización (TSG-Timing Signal Generator)	34
F. Jerarquía Digital Síncrona (SDH). Sincronización de los nodos de red SDH.	38
VI. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO Y CALIDAD	39
A. Objetivos de calidad en cuanto a tasa de deslizamientos en una conexión digital internacional	39
1. Consideraciones generales	39
2. Objetivo de tasa de deslizamientos	40
3. Reparto de las degradaciones	41
B. Requisitos de temporización para los diferentes equipos de sincronización	42
1. Requisitos de temporización en las salidas de relojes de referencia primarios.	43
a. Desviación de frecuencia a largo plazo y estabilidad de fase de los relojes de referencia primarios.	44
i. Desviación de frecuencia a largo plazo	44
ii. Estabilidad de fase	44
b. Degradación del comportamiento de un reloj de referencia primario.	47
c. Interfaz	47
i. Interfaz de sincronización a 2,048 Khz	47
2. Requisitos a cumplir por las unidades de sincronización.. . . .	50
a. Requisitos generales.	50

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

	Páginas
b. Requisitos de temporización en las salidas	
de relojes subordinados	51
i. Discontinuidades de fase.	52
ii. Variaciones de fase a largo plazo	52
iii. Variaciones de fase a corto plazo	55
iv. Interfaz	56
C. Elección de nodos de referencia y enlaces de sincronización	56
1. Introducción	56
2. Criterios para la elección de los nodos de referencia	57
3. Criterios para la asignación y elección de los enlaces	
de sincronización	58
a. Asignación de los enlaces de sincronización	
de un nodo	58
b. Criterios para la selección de la ruta, cable,	
sistema de transmisión y enlace a 2 Mbps	58
c. Criterios para la asignación del orden de prioridad	
a los diferentes enlaces de sincronización de un nodo	59
VII. CONCLUSIONES	61
VIII. RECOMENDACIONES	63
IX. BIBLIOGRAFÍA	65
GLOSARIO	71

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura		Páginas
1	El problema de la sincronización	8
2	Precisión y estabilidad de un reloj . . . . .	.12
3	Bucle de enganche de fase. PLL (Phase Locked Loop) . . . . .	.17
4	Métodos de sincronización . . . . .	.20
5	Red jerárquica de sincronización . . . . .	.24
6	Red INTRA-nodos . . . . .	.30
7	RED INTER-nodos . . . . .	.32
8	Sincronización INTER-nodos . . . . .	.33
9	Generador de señales de temporización. Timing Signal Generator (TSG) . . . . .	.35
10	Generadores de señales de temporización en cascada . . . . .	.36
11	Sincronización en SDH. Temporización a partir de la señal óptica . . . . .	.38
12	Conexión Ficticia de Referencia (XFR) . . . . .	.39

Figura	Páginas
13 Definición del Máximo Error de Intervalo de Tiempo (MEIT)	.43
14 Máximo Error en el Intervalo de Tiempo (MEIT) admisible debido a las variaciones de fase a largo plazo en función del período de observación S para un reloj de referencia primario	.46
15 Forma de onda en un puerto de salida. Interfaz a 2,048 KHz	.48
16 Definición de la unidad de medición de Jitter. IU (Intervalo Unitario)	.49
17 Máximo Error Relativo en el Intervalo de Tiempo (MERIT) admisible debido a las variaciones de fase a largo plazo en función del período de observación S para un reloj subordinado en funcionamiento ideal	.53
18 Máximo Error Relativo en el Intervalo de Tiempo (MERIT) admisible debido a las variaciones de fase a largo plazo en función del período de observación S para un reloj subordinado en funcionamiento en régimen libre	.55

I. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento de la red nacional de telecomunicaciones de Guatemala, en cuanto al uso de centrales de conmutación y medios de transmisión digitales, se hace necesario planificar y desarrollar un sistema de sincronización en función de los recursos disponibles, que cumpla, de acuerdo con las recomendaciones del CCITT, unos objetivos de calidad satisfactorios en cuanto a tasa de deslizamientos se refiere, para cualquier comunicación digital.

Así, el propósito del presente trabajo de graduación consiste en dar los principales lineamientos que deben aplicarse en la red de sincronización de Guatemala, de acuerdo a las tendencias tecnológicas y a la evolución digital de dicha red nacional, de manera que sea posible satisfacer aquellos objetivos.

Se inicia el desarrollo del tema con un análisis de la situación actual de la sincronización en la red de telecomunicaciones de Guatemala, haciendo énfasis en la problemática existente y en la necesidad de una sincronización más eficiente.

Seguidamente, se procede a realizar una clasificación de los diferentes métodos de sincronización aplicables a nuestra Red Nacional y se introduce el concepto de Fuente de Temporización Integrada para Edificio, BITS (*Building Integrated Timing Supply*), desarrollado por Bellcore Corporation según Recomendación TA-NPL-000436, incluyendo sus características y beneficios.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

Finalmente, tras hacer un análisis de los distintos factores que pueden causar deslizamientos en la red, se establecen los objetivos de funcionamiento y de calidad que deben reunir los equipos de sincronización involucrados, pasando a continuación a definir tanto el método de sincronización a aplicar, como el sistema de distribución de señal de sincronismo a implementar.

II. ANTECEDENTES

A. SITUACIÓN ACTUAL DE LA SINCRONIZACIÓN EN LA RED DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

Actualmente, en el plano internacional la red trabaja en **modo plesiócromo**. Es decir, el reloj que constituye nuestra referencia externa primaria es independiente del funcionamiento de las referencias primarias de otros países. Este se caracteriza por poseer la máxima exactitud y estabilidad dentro de los diferentes relojes que componen la Red Nacional de Sincronización.

Por otro lado, en lo que respecta al plano nacional, la red de distribución de la señal de sincronismo está basada en un **modelo jerárquico**, el cual establece una relación de tipo **maestro-esclavo** entre las diferentes centrales que componen la red. Lo anterior supone la existencia de un único *reloj de referencia primario* al cual están enganchados en fase todos los demás relojes, denominados *relojes subordinados*. En este método, las referencias de reloj son distribuidas de centrales pertenecientes a un cierto nivel jerárquico a otras centrales de igual o menor nivel dentro de la jerarquía.

Así, a cada central se le asignan varios enlaces digitales a 2 Mbps (enlaces de sincronización), provenientes de otras centrales de nivel jerárquico superior, de los que extrae la señal de referencia con la que sincroniza sus relojes internos. En cada momento, la central en cuestión obtiene la referencia de un único enlace de sincronización de los que se le ha asignado. Cuando estime que éste ha fallado, conmuta automáticamente y toma la referencia de otro de los enlaces de sincronización, siguiendo un orden de prioridad pre-establecido.

De esta forma, puede distinguirse dentro de la Red Nacional de Sincronización Actual, tanto el reloj de referencia primario como una serie de relojes subordinados, con la relación maestro-esclavo descrita.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

El reloj de referencia primario es por definición (según el CCITT), un reloj de estrato 1. Como ya se ha dicho, éste posee la mayor exactitud y estabilidad dentro de todos los relojes de la red. Por su parte, los relojes subordinados los constituyen relojes con características de estrato 3.

B. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE LA SINCRONIZACIÓN EN LA RED ACTUAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

Para el caso particular de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Guatemala, existen diferentes factores que pueden causar problemas de temporización. Estos factores pueden agruparse bajo 3 categorías, principalmente:

- La confiabilidad de los relojes.
- Los elementos de red diseñados para otros propósitos son utilizados para distribuir las señales de temporización
- Las nuevas tecnologías crean problemas adicionales

En lo que respecta a la primera categoría, los principales factores son los siguientes:

- El reloj de referencia primario de la red consta de dos relojes patrón de Cesio, cuya vida útil está estimada en cinco años (5) desde su fecha de fabricación. Esta fecha está registrada el 28 de Noviembre de 1989.

De los dos relojes de cesio utilizados, uno de ellos, según las mediciones efectuadas, se encuentra en los límites inferiores de los valores de sus parámetros característicos. El otro, por el momento, se encuentra dentro de los límites normales.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

Sin embargo, a pesar del tiempo de vida útil estimado por el proveedor de los mismos, de las condiciones del local que debían cumplirse, del cuidado en el manejo de los relojes, y en la necesidad de “energizarlos” al menos una vez cada tres meses en caso de no ser utilizados, ambos relojes permanecieron almacenados por el término de aproximadamente dos años sin ser “energizados”.

Posteriormente sufrieron una primera conexión en forma **simultánea**.

Finalmente, tras experimentar un traslado físico, fueron nuevamente “energizados”.

Es preciso mencionar, que pasados los cinco años (5) de vida útil garantizados por el proveedor, se espera que los valores de exactitud y estabilidad en frecuencia se vean afectados.

Esto constituye un verdadero problema, si se considera que dichos relojes son la referencia primaria para nuestra Red Nacional y, además, nuestro enlace con las redes de otros países.

- Las características del reloj de referencia secundario, un reloj triplicado de cuarzo, no corresponden propiamente a las de un reloj de Estrato 2, tal como lo recomienda el CCITT. Lo mismo sucede con el reloj de referencia terciario.

Todo esto contribuye a que la red de sincronización experimente inexactitud e inestabilidad, traduciéndose en un incremento del número de deslizamientos.

Los principales factores que pueden considerarse dentro de la segunda categoría lo constituyen:

- La red actual de distribución de sincronismo carece de unidades especiales de recuperación y distribución de la señal de reloj de referencia. Para esto, actualmente se utilizan los recuperadores de reloj de las diferentes

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

centrales, lo que provoca tener señales de referencia con ciertas distorsiones.

- El sistema de sincronización, está directamente ligado a las centrales de conmutación. Actualmente, las centrales realizan una serie de funciones, incluyendo el suministro de la señal de reloj que sincroniza el sistema. El objetivo principal de una central es, básicamente, procesar miles de llamadas, no proveer la señal de reloj. Se ha observado que al aumentar la demanda de llamadas y servicios, dicha señal de reloj sufre variaciones en frecuencia, lo que a largo plazo provoca también deslizamientos.

Finalmente, dentro de la tercera categoría, es preciso mencionar que la Red de Sincronización Actual, no posee la plataforma necesaria para soportar los futuros sistemas de comunicación, a corto plazo. Tal es el caso de la Señalización por Canal Común No.7, de la información transmitida a través de la red digital integrada y de los sistemas basados en la jerarquía digital sincrónica, donde se exigirá un mejor desempeño de los sistemas de sincronización para funcionar adecuadamente.

III. SINCRONIZACIÓN

A. NECESIDAD DE SINCRONIZACIÓN

Sincronización es el proceso en el que se ajustan los instantes significativos correspondientes de dos señales con el objeto que tengan la misma frecuencia y un desfase dentro de ciertos límites. La sincronización de la red digital se logra sincronizando los diferentes relojes asociados a los nodos que componen dicha red, haciendo que las transmisiones a partir de estos nodos tengan la misma frecuencia de línea.

En toda red digital, la información es codificada utilizando pulsos discretos e idénticos. Estos se diferencian entre sí por su posición y relación con otros pulsos en el tiempo, permitiendo entonces que puedan llevar información. Es por esto que todos los elementos de transmisión y recepción en la red deben estar bien sincronizados para que los bits se codifiquen y recuperen correctamente y representen así, con exactitud, la información que llevan.

Dos tipos de sincronización se utilizan en las redes digitales: la **sincronización de frecuencia o de bit**, que se requiere para garantizar que los equipos transmisores y receptores operen a la misma velocidad o tasa de datos. Lo anterior se logra sincronizando los relojes de las centrales digitales interconectadas, de tal forma que tengan la misma frecuencia y una diferencia de fase limitada; y la **sincronización de fase o de byte**, que se requiere para establecer la posición de una palabra digital (byte), intervalo de tiempo o trama. A efecto de conseguir sincronización de fase, se emplean señales de alineación de trama y multitrama en los sistemas digitales plesiócronos y apuntadores en los sistemas digitales síncronos.

El reto primordial al sincronizar una red digital es poder controlar la tasa de deslizamientos, los que tienen su origen en una sincronización deficiente. Estos contribuyen a la degradación de la calidad en la red.

En una red digital integrada el canal a 64 Kbps es el bloque constructivo básico. Las estructuras de trama del primer nivel jerárquico de 2,048 Kbps se logran mediante multiplexación síncrona de los afluentes a 64 Kbps. Generalmente los flujos digitales salen de los sistemas de conmutación a 2,048 Kbps y, a través de sistemas de transmisión, llegan a otras centrales digitales en las que se produce la conmutación de canales a 64 Kbps. Con el fin que estas operaciones se realicen correctamente, es necesario que las velocidades de escritura de los flujos digitales en las memorias de entrada de los diferentes equipos síncronos sean iguales a las velocidades con las que se leen los bits de esas memorias antes de procesarlos.

Una diferencia de las velocidades de escritura (determinada por el reloj del equipo distante) y de lectura (determinada por el reloj local) producirá el desbordamiento o vaciado de la memoria, dando lugar a pérdidas o duplicaciones de fragmentos de información, es decir, deslizamientos. Este principio se ilustra en la Figura 1.

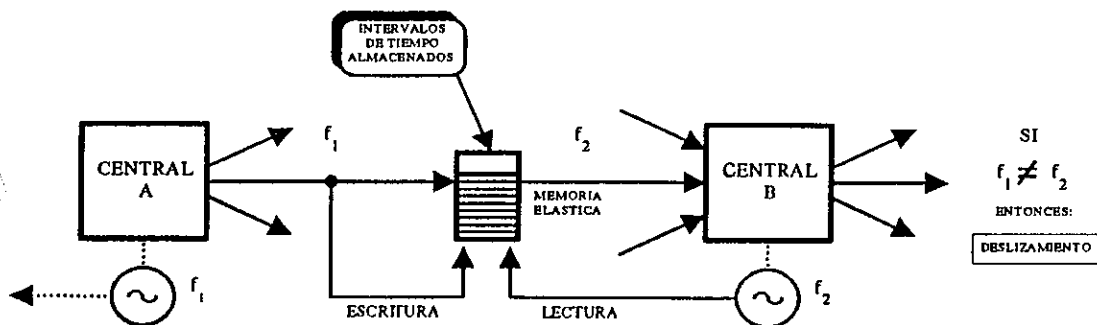


Figura 1. El problema de la sincronización.

El impacto que producen estos deslizamientos varía según el servicio proveído al cliente. Así, para servicios simples de voz, la falta de sincronización no es un problema serio. Sin embargo, en servicios como transmisión de datos, esta falta se manifiesta como pérdida de información o retardos. Lo anterior se debe a que los deslizamientos afectan en mayor medida a aquellos servicios en los que la codificación de la información se realiza con un menor nivel de redundancia.

B. CAUSAS DE LOS DESLIZAMIENTOS

Como se mencionó, el objetivo principal de la sincronización es reducir al máximo los deslizamientos bajo condiciones normales de operación. Sin embargo, existen varios fenómenos que no permiten que se cumpla ese objetivo. Los principales son:

-Relojes imperfectos: ocurre cuando las frecuencias de los relojes no son idénticas y, además, varían con el tiempo.

-Variaciones de fase: dentro de las variaciones de fase a la entrada de un nodo cabe distinguir entre la fluctuación de fase (jitter) y la fluctuación lenta de fase (wander).

-Fluctuación de fase: se produce a lo largo de todos los elementos que componen el sistema de transmisión, especialmente en aquellos equipos digitales que emplean procesos de justificación, tales como múltiplex y regeneradores.

-Fluctuación lenta de fase: es debida fundamentalmente a la variación del tiempo de propagación de la señal digital a través del medio de transmisión, producida generalmente por cambios climáticos.

-Saltos de fase: se deben principalmente a perturbaciones transitorias, tales como: interferencias, cambios automáticos de referencia de sincronización y otras.

Ahora bien, para poder controlar los deslizamientos (reducir la frecuencia de los mismos) es necesario realizar lo siguiente:

-Limitar las desviaciones de frecuencia entre todos los relojes de las centrales digitales de la red. Para esto habrá que elegir un método de sincronización y establecer una red de sincronización con una determinada configuración.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

-Los equipos de sincronización deberán aceptar una fluctuación de fase a su entrada que esté dentro de los límites máximos especificados por el CCITT, con el objeto de reducir los efectos de este tipo de fluctuación en la red.

-Por su parte, los saltos de fase son difíciles de predecir y únicamente podrán evitarse cuando sus causas estén bajo control.

C. VARIACIONES DE FASE

Las variaciones de fase de una señal constituyen uno de los parámetros más problemáticos de controlar. Dichas variaciones son llamadas "*jitter*" y "*wander*".

Jitter y wander constituyen modulaciones en fase indeseadas de la señal digital. Modulación en fase es la desviación en tiempo cuando la transición del pulso digital se espera y cuando éste realmente ocurre. Esta desviación oscila alrededor del caso ideal (i.e. cuando la transición se espera), ya sea adelantándose o atrasándose respecto del pulso, con una frecuencia característica.

Jitter oscila alrededor del pulso esperado a una frecuencia mayor de 10Hz, mientras que wander tiene una frecuencia menor a 10Hz. Como el ruido en una red analógica, jitter crece a medida que la señal se propaga por la red. Por esto, a medida que la red se vuelve más compleja y lleva más información, el problema de controlar la propagación de jitter se vuelve una tarea difícil. A menudo, a este tipo de variación de fase puede atribuírsele una fuente específica. Así, dependiendo de la fuente, se tienen los siguientes tipos:

-jitter sistemático: se debe al efecto que tiene recuperar y regenerar una señal en los repetidores. Este es acumulativo, ya que aumenta a medida que los datos pasan a través de cada repetidor.

-jitter de espera: resulta cuando una señal primaria es "multiplexada" o "demultiplexada", y es necesario agregar o borrar bits de relleno, con el

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

objeto de corregir el desfase que podría haber entre la velocidad del espacio de carga y la velocidad de la señal tributaria. Debido a estos bits de justificación o relleno, el número de bits de información de la señal tributaria varía de forma irregular. Esta irregularidad en el número de bits por unidad de tiempo hace que el reloj de la señal "demultiplexada" tenga que ser constantemente "acelerado" y "frenado", traducándose en diferentes componentes de jitter, que podrían acumularse hasta alcanzar valores críticos y ocasionar deslizamientos descontrolados.

-jitter causado por las redes SDH: específicamente es causado por el mecanismo de justificación de punteros, que se utiliza para compensar las diferencias de velocidad que podrían existir entre la velocidad del contenedor virtual y la del espacio de carga correspondiente. Para que la señal PDH transportada por un determinado contenedor virtual pueda ser recuperada, es necesario que éste sea "demultiplexado". El proceso de justificación o movimiento de punteros utilizado provoca que el "demux" altere fuertemente la velocidad instantánea de los bits en la interfaz pliesión, acelerando el reloj o haciéndolo más lento. Esto, al igual que en el caso anterior, constituye una fuente de jitter.

-otras: operación de equipo a altas temperaturas, repetidores con fallas, crosstalk, ruido del ambiente y/o eléctrico y otros.

Wander es una fuente de error del tipo aleatorio y, en oposición a jitter, éste constituye un cambio lento en la relación de fase relativa a la de referencia. Una fuente común de este tipo de modulación de fase indeseada la constituye:

-wander diario: el cual ocurre diariamente y se debe en parte a efectos de cambio de temperatura en los equipos de transmisión.

D. RELOJES

El problema de la sincronización de la red básicamente es el mantener un número de relojes interconectados sincrónicamente entre sí. Un reloj se define como una fuente de frecuencia conectada a un divisor o contador, el cual proporciona una base de tiempo para controlar la temporización de la red de conmutación.

Los dos parámetros que caracterizan el funcionamiento de un reloj son: la *precisión* y la *estabilidad*.

-Precisión: Es el grado al cual la frecuencia de un reloj corresponde a la frecuencia de un estándar primario.

-Estabilidad: Es el grado al cual un reloj producirá la misma frecuencia durante un período de tiempo una vez establecida la operación continua. Es importante distinguir entre lo que es "estabilidad a corto plazo" y "estabilidad a largo plazo". La primera es una variación al azar de la frecuencia, y la segunda es un cambio sistemático de la frecuencia.

En la Figura 2, se da una presentación de los conceptos precisión y estabilidad.

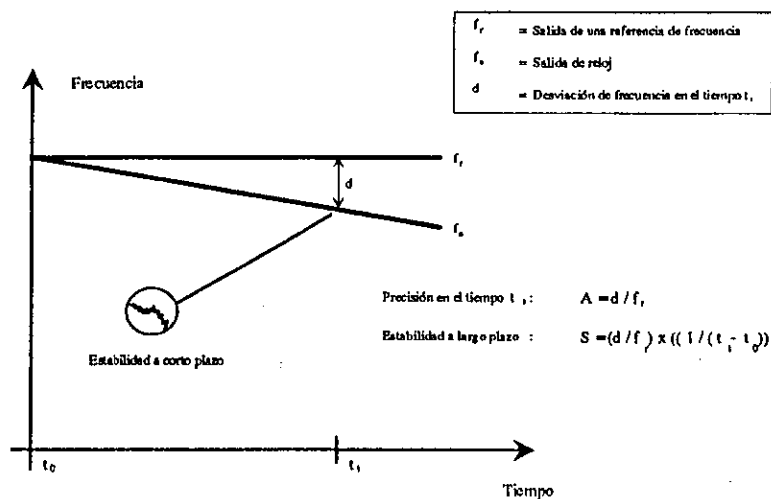


Figura 2. Precisión y Estabilidad de un Reloj.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

-Tipos de relojes:

Como generadores de frecuencia en los relojes se usan fuentes atómicas y cristales de cuarzo, las que poseen diferencias fundamentales.

Los relojes atómicos están representados por dos tipos: el patrón de haz de Cesio, reloj Cs, y la célula de vapor de rubidio, reloj Rb.

-Los relojes de Cesio: estos relojes son menos estables que los de rubidio durante intervalos de tiempo menores que unos pocos cientos de segundos. Sin embargo, el oscilador de haz de Cesio tiene una estabilidad a largo plazo muy alta. Los siguientes datos son propios de este tipo de reloj:

- Costo alto
- Gran tamaño
- Estabilidad a corto plazo: 1.5×10^{-11}
- Estabilidad a largo plazo: 5×10^{-12}

-La célula de vapor de rubidio: es más conveniente en cuanto a costo y tamaño que los relojes de Cs. No obstante, los relojes de rubidio tienen una estabilidad a largo plazo generalmente un orden de magnitud por debajo de los de Cs. Las principales características de este tipo de reloj se muestran a continuación:

- 1/2 a 1/3 del costo del reloj de Cs
- Compacto
- Estabilidad a corto plazo: 1.5×10^{-12}
- Estabilidad a largo plazo: 1×10^{-11}

-Los relojes de cristal de cuarzo: son las fuentes principales de frecuencia para muchas aplicaciones. Se caracterizan por ser las más simples, más fiables y más económicas de las fuentes disponibles. Sin embargo, su estabilidad a largo plazo es varios órdenes de magnitud menor que la de los relojes atómicos. Tienen la capacidad de poder controlar continuamente su frecuencia cuando cambia la

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

tensión en la corriente que fluye a través del cristal - oscilador a cristal controlado por tensión - VCXO.

-Comparación:

Si el comportamiento de la estabilidad a largo plazo fuera el único criterio de selección, la inclinación sería por los relojes de Cesio. No obstante, hay otra serie de factores importantes.

El costo inicial es uno de estos factores. Un aumento del comportamiento de la estabilidad a largo plazo con un orden de magnitud, lleva a un aumento de cerca del doble en el costo.

La fiabilidad es otra característica importante de los relojes. Para asegurar una operación satisfactoria de los mismos, éstos deberán estar duplicados con el objeto de contrarrestar fallas catastróficas, o bien fallas debidas a cambios pequeños en la frecuencia media. Esto indudablemente significa un aumento de costos que debe considerarse.

En la Tabla 1, se muestran los resultados correspondientes a la comparación de los tres tipos de relojes analizados, en términos de precio, estabilidad a largo plazo y fiabilidad. El reloj de Cesio se utiliza como referencia y a todos sus parámetros se le asigna el valor 1.

TABLA 1

PARAMETRO			
	CESIO	RUBIDIO	CUARZO
-Precio	1	0.5	0.10
-Estabilidad a largo plazo	1	0.1	0.01
-Fiabilidad	1	0.1	10.00

E. METODOS DE SINCRONIZACIÓN

Los relojes de las centrales pueden funcionar de modo completamente libre, o bien con control automático de frecuencia, dando lugar a las redes plesiócronas (método plesiócrono) y a las redes síncronas (métodos síncronos).

-Una **red plesiócrona** es una red en la que los relojes de control de las distintas centrales son independientes entre sí.

-Una **red síncrona** es una red en la que los relojes están controlados automáticamente en su funcionamiento, logrando mantener así su frecuencia idéntica.

-**Método plesiócrono**: este método se caracteriza por una independencia en el funcionamiento de los relojes. A largo plazo, este modo de operación podría provocar deslizamientos si se emplearan relojes de pobre exactitud y baja estabilidad. Sin embargo, en cada central podría utilizarse relojes con una exactitud en frecuencia lo suficientemente alta para el propósito de sincronización, pero se tendría el inconveniente que los costos se incrementarían de forma considerable. Otros tipos de relojes, los controlados por cristal de cuarzo, de menor costo, presentan una exactitud en frecuencia aceptable, pero que no puede mantenerse durante períodos de tiempo muy largos, debido a su inferior estabilidad a largo plazo. El uso de estos relojes en una red plesiócrona impone la necesidad de efectuar ajustes frecuentes, lo cual repercute en un costo de mantenimiento elevado.

-**Método síncrono**: el objetivo principal de la red síncrona es evitar los deslizamientos empleando algún método de control de frecuencia a través de una red digital. La razón principal para efectuar un control de la frecuencia, a nivel de red, es una posible economía en comparación con la red plesiócrona, tal como se observa en la tabla de la sección anterior, donde se contempla la diferencia de costos existentes entre los relojes de alta y baja estabilidad. Por otra parte el costo de los relojes de alta estabilidad se ve incrementado por el hecho de que los requerimientos de fiabilidad de la respuesta de dichos relojes exigen una duplicación de éstos.

Por consiguiente, la utilización de métodos síncronos supone: la implantación de relojes menos estables y de menor costo en las centrales y de una circuitería adicional de control, de bajo costo. Con esto se logran eliminar los gastos por mantenimiento, en cuanto a rutinas de ajuste de relojes se refiere.

A continuación se describen los diferentes métodos de operación síncrona que pueden ser utilizados en una red. Estos métodos pueden clasificarse en dos grandes grupos: despóticos y mútuos, cada uno subdividido a su vez en sus posibles variantes.

METODOS DE SINCRONIZACION

DESPOTICOS

- Maestro-esclavo
- Maestro-esclavo jerárquico

MUTUOS

- Sincronización mutua simple
- Sincronización mutua doble
- Referencia externa

-Métodos de sincronización despóticos: se caracterizan por tener un único reloj con poder de control sobre otros relojes de la red. Se tienen las siguientes modalidades:

-Método maestro-esclavo: este método supone la existencia de un reloj independiente (contenido en la central maestra), cuya frecuencia controla la señal de sincronización de las otras centrales. La información sobre la diferencia instantánea de frecuencia entre los relojes se obtiene del llenado de una memoria elástica localizada en la central esclava. Dicha información se utiliza en un circuito de control del tipo Seguidor de Fase, PLL (Phase Locked Loop), que permite ajustar la frecuencia de funcionamiento, con el fin de que el reloj esclavo pueda seguir al maestro. En la Figura 3, se muestra la configuración típica del circuito PLL, compuesto por cinco (5) etapas:

-Referencia: consiste en una señal externa a la cual se desea enganchar en fase la señal generada por el VCO.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

-Comparador de fase: en caso de variar la fase de la señal de línea, éste genera una señal de corrección que modifica el reloj hasta que no exista más esa diferencia.

-Filtro paso-bajo: éste debe poseer una frecuencia de corte lo más alta posible para que el reloj pueda acompañar a variaciones rápidas de la fase de la señal.

-VCO: usualmente consiste en un oscilador de cristal de cuarzo, cuya frecuencia puede ser modificada mediante la variación del voltaje aplicado a él (VCXO).

-Salida: constituye la referencia de sincronización empleada por la central digital.

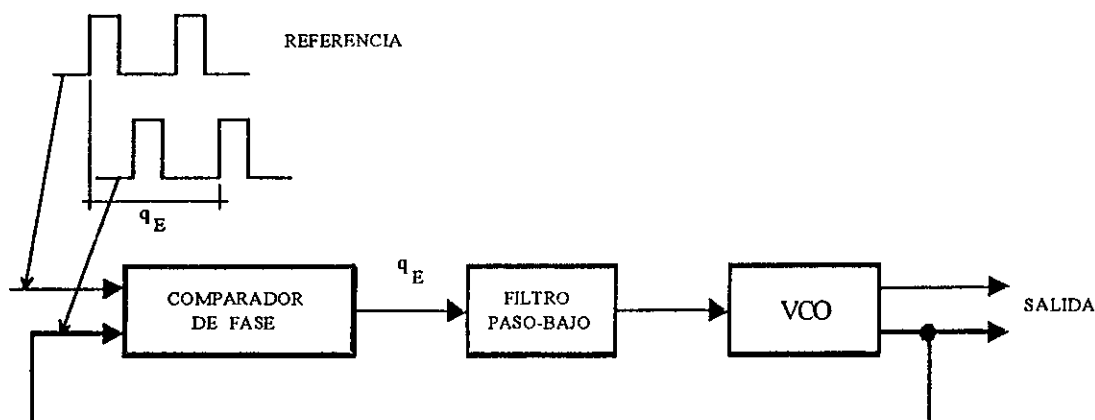


Figura 3. Bucle de Enganche de Fase, PLL (Phase Locked Loop).

Este sistema de sincronización es fácil de implementar, pero presenta la desventaja de que existe una dependencia de la señal de sincronización de toda la red, de un único reloj maestro. Es por esto que los relojes de las centrales esclavas deberán

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

poseer una estabilidad en frecuencia relativamente alta, para que en caso de falla del reloj maestro, el sistema continúe funcionando con una tasa de deslizamientos aceptable que evite que éste salga de servicio. No obstante, esto deberá ocurrir con muy poca frecuencia, ya que el reloj maestro deberá estar duplicado y, además, la señal de sincronización deberá recibirse por más de un enlace de sincronización. Finalmente, por lo anterior, esta técnica tiene una mayor aplicación en redes con una estructura en forma de estrella.

-Método maestro-esclavo jerárquico: este método constituye una variante del anterior. En éste, todos los relojes de las centrales están clasificados según un orden jerárquico y poseen un indicativo del nivel asignado de acuerdo a su situación en la jerarquía. En caso de que ocurra falla en el reloj maestro, automáticamente se tomará como nuevo reloj maestro aquel que posea un nivel más alto, entre los que quedan en funcionamiento.

Este método de sincronización es aplicable a cualquier estructura de red y presenta el único inconveniente, que es necesario transmitir a las centrales toda la información que concierne al orden jerárquico de los diferentes relojes.

-Método de referencia externa: en este método se asigna la función de reloj maestro a una frecuencia de referencia externa a la red de telecomunicaciones. Por ejemplo, el sistema satelital de posicionamiento global, GPS, por sus siglas en inglés.

-Métodos de sincronización mutua: se caracterizan por proporcionar un sistema de frecuencia única. Esto es porque la señal de control de la frecuencia del reloj de cada una de las centrales se obtiene de una frecuencia que es el promedio de todas las frecuencias correspondientes a las señales de reloj entrantes. De aquí, que todas las centrales tiendan a funcionar en la misma frecuencia. Estas técnicas de sincronización son aplicables, especialmente, en aquellas redes digitales que presentan un alto grado de interconexión. Se tienen las siguientes modalidades:

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

-Sincronización mutua simple: en este método de sincronización, la señal de control de la frecuencia del reloj de la central se compone del promedio de frecuencia entre la señal del reloj local y la correspondiente a todas las frecuencias de reloj entrantes en la central.

-Sincronización mutua doble: con este método se logra eliminar el problema de la dependencia de la frecuencia de la red con las variaciones de los retardos de transmisión causados por los cambios de temperatura. Aquí, la entrada al circuito de control está constituida por la diferencia entre la información "mutua simple" y las desviaciones permanentes de fase medidas en todos los nodos colaboradores.

Estas dos modalidades descritas presentan las siguientes desventajas:

- Aparecen enlaces de sincronización desde cada nodo.
- No existen líneas prioritarias.
- No hay seguimiento claro del reloj primario.

En la Figura 4, se muestran en forma gráfica, tanto la clasificación general de los métodos de sincronización como sus posibles variantes.

Cada uno de estos métodos de sincronización de red tienen sus ventajas particulares, pero es necesario tomar en cuenta una serie de factores a la hora de optar por alguno de ellos, siendo éstos principalmente: el tamaño de la red, la distancia entre centrales, los tipos de transmisión, fiabilidad y mantenimiento. Además, es necesario considerar lo siguiente:

-La configuración de la red y su futura expansión.

-Los servicios no telefónicos.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

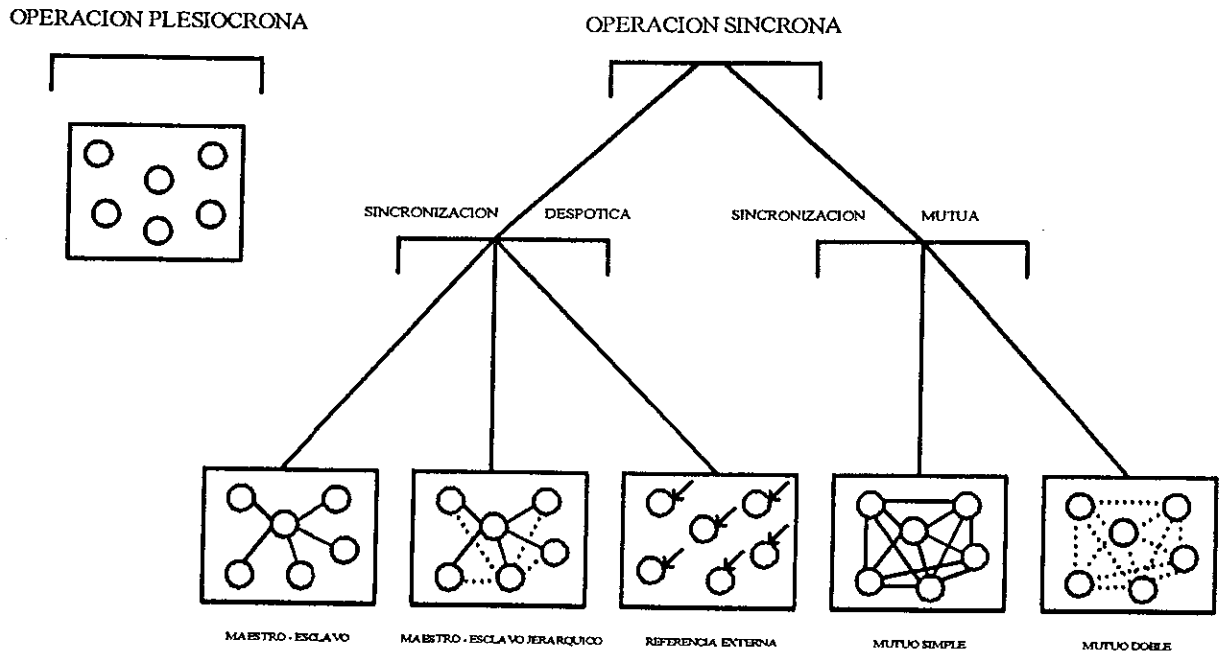


Figura 4. Métodos de sincronización.

Resumiendo, existen básicamente tres formas (3) de lograr la sincronización de los diferentes equipos:

- Recuperando la señal de reloj proveniente de una referencia nacional.
- Sincronizando cada nodo al promedio de todas las señales de temporización que le lleguen.
- Dotando a cada nodo de un oscilador de alta precisión.

Finalmente, cabe decir que con una combinación de métodos para los diferentes niveles de la red se logra optimizar los costos y el rendimiento.

IV. ESTRATIFICACIÓN DE LA RED

A. INTRODUCCIÓN

Para fines de sincronización es importante considerar la Red Nacional como un conjunto de nodos y enlaces de sincronización. Un nodo de sincronización es un punto de la red donde se origina, o bien se recibe y regenera una señal de temporización, para su posterior distribución a los sistemas digitales que se encuentran localizados en el interior del mismo edificio. La distribución de la señal de temporización se realiza también a los elementos de red situados en otros edificios, por medio de alguna central de conmutación y a través de los enlaces de sincronización. Por enlace de sincronización se entiende cualquier enlace digital a 2 Mbps entre dos nodos de sincronización, de uno de los cuales (nodo origen) se extrae una señal de temporización que sirve de referencia para sincronizar los sistemas digitales del otro (nodo destino).

La distribución de la referencia de temporización debe hacerse por medio de enlaces de sincronización. Así, cada nodo de sincronización debe recibir la señal de referencia al menos por dos vías distintas, provenientes de por lo menos dos fuentes diferentes. Esas fuentes deben ser de jerarquía superior o igual al del nodo que los está recibiendo. También, tanto como sea posible, debe evitarse la formación de cascadas en la distribución de la señal de temporización y la creación de lazos cerrados de sincronismo. De esta forma, la precisión y la estabilidad de las señales de temporización de cada elemento de la red estarán muy cercanas a las de la referencia primaria.

Ahora bien, la Red Nacional de Distribución de la Señal de Sincronismo debiera basarse en un **modelo jerárquico**, distribuyéndose una señal de temporización proveniente de la referencia primaria de la red a todos los dispositivos que requieran sincronizarse. Dicha referencia de temporización, o sea el reloj primario, debiera estar constituida por un oscilador de alta estabilidad y gran precisión, dotado de redundancia.

B. RED JERÁRQUICA DE SINCRONIZACIÓN

En una red jerárquica de sincronización pueden distinguirse cuatro (4) niveles o jerarquías denominadas Estratos, en función de la calidad de los relojes. Dicha calidad se describe a partir de tres (3) parámetros:

1. **Precisión de la oscilación en modo libre:** describe la desviación de frecuencia fraccionaria máxima admisible de un reloj que nunca haya sido sincronizado a una referencia, o que haya entrado en modo de funcionamiento mantenido (*holdover*) por un tiempo largo, de días o semanas.
2. **Estabilidad en modo de funcionamiento mantenido (*holdover*):** describe la desviación de frecuencia que el reloj presenta tras haber perdido la referencia.
3. **Seguimiento en frecuencia de un reloj (Pull-in/Hold-in):** son definidos como la capacidad que posee un reloj de sincronizarse o mantener sincronismo con una referencia que puede estar corrida en frecuencia. El reloj debe poseer una gama de pull-in/hold-in por lo menos tan grande cuanto su precisión en oscilación libre. Con esto se garantiza que un reloj de cierto nivel jerárquico pueda sincronizarse y mantener sincronismo con un reloj del mismo estrato o de un estrato superior.

En la Tabla 2, se dan los valores característicos de los parámetros para los diferentes niveles o estratos.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

TABLA 2

	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 4
PRECISION DE LA OSCILACION EN MODO LIBRE	1.0×10^{-11}	1.6×10^{-8}	4.6×10^{-6}	3.2×10^{-5}
ESTABILIDAD EN MODO DE FUNCIONAMIENTO MANTENIDO (ESTABILIDAD EN HOLDOVER)	NO SE APLICA	1.0×10^{-10} , 24HR 2.0×10^{-10} , 48HR 3.0×10^{-10} , 72HR	3.7×10^{-7}	NO SE APLICA
SEGUIMIENTO EN FRECUENCIA (PULL IN / HOLD IN)	NO SE APLICA	1.6×10^{-8}	4.6×10^{-6}	3.2×10^{-5}
PERIODO ENTRE DESLIZAMIENTOS	72 DÍAS	14.6 DIAS	5.6 MIN.	3.9 SEG.
APLICACION	CENTRAL INTERNACIONAL	CENTRAL DE TRANSITO SDH	CENTRAL LOCAL SOH	NODO TERMINAL

Los cuatro niveles o estratos que forman una red jerárquica de sincronización son:

- **Estrato 1** que contiene el reloj de mayor calidad.
- **Estrato 2**
- **Estrato 3**
- **Estrato 4** que contiene el reloj de menor calidad.

Esta partición en niveles crea una relación maestro-esclavo entre los diferentes relojes de cada uno de los nodos. Así, un reloj de estrato mayor actuará como fuente maestra de sincronización para un reloj de estrato menor. De esta forma:

SI UN RELOJ ES...	PUEDA USARSE PARA SINCRONIZAR
Reloj de ESTRATO 1	-Otro reloj de Estrato 1. -Un reloj de Estrato 2. -Un reloj de Estrato 3.
Reloj de ESTRATO 2	-Otro reloj de Estrato 2. -Un reloj de Estrato 3.
Reloj de ESTRATO 3	-Otro reloj de Estrato 3. -Un reloj de Estrato 4.
Reloj de ESTRATO 4	-Otro reloj de Estrato 4.

En la Figura 5, se muestra un modelo de una red jerárquica de sincronización.

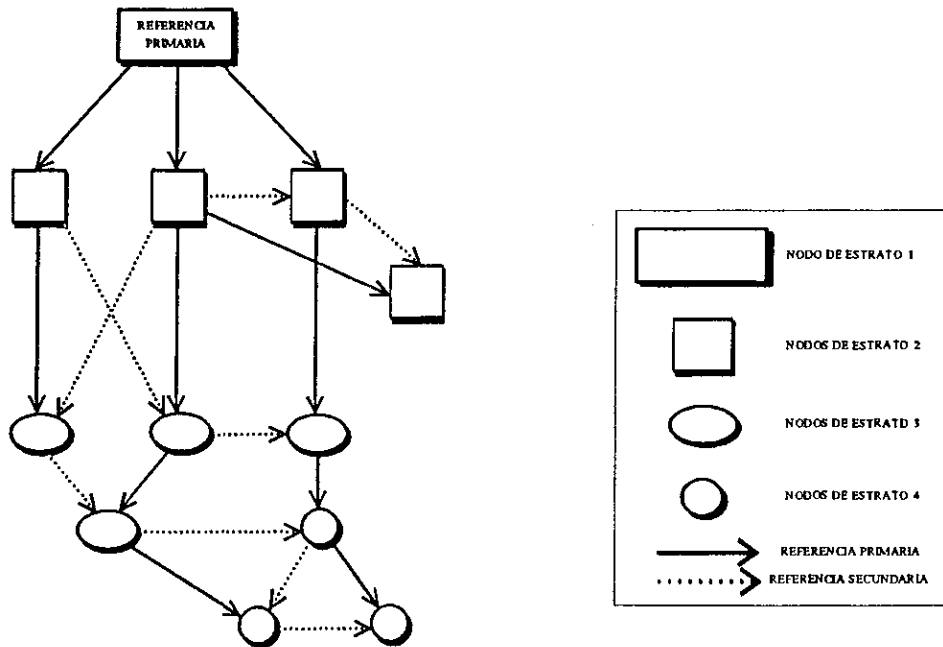


Figura 5. Red Jerárquica de Sincronización.

C. REGLAS FUNDAMENTALES PARA SINCRONIZACIÓN JERÁRQUICA

1. Todos los relojes de la red deberán recibir referencias de sincronización de fuentes rastreables a una referencia primaria.
2. Un nodo deberá obtener su referencia de sincronización de otro nodo de estrato igual o superior.
3. No deberán crearse lazos cerrados de sincronismo.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

D. ESTRATOS

Como se mencionó en la sección 2 de este capítulo, los diferentes estratos de la red están en función de la calidad de los relojes. Ahora bien, esta calidad, junto con la calidad de la referencia, determinan el tipo de protección requerida para los diferentes estratos.

En la Tabla 3, se muestra la jerarquía de sincronización aceptada por dos diferentes organismos.

TABLA 3

ANSI	CCITT
Estrato 1 1.0×10^{-11}	Reloj primario de referencia 1.0×10^{-11}
Estrato 2 1.0×10^{-10}	Reloj de nodo de transito 1.0×10^{-9}
Estrato 3 3.7×10^{-7}	Reloj de nodo local 4.6×10^{-6}
Estrato 4 3.2×10^{-5}	

De ésta pueden observarse los siguientes cuatro niveles:

Estrato 1 y Referencia Primaria de Sincronismo (PRS, Primary Reference Source):

Para que un determinado reloj pueda ser clasificado dentro de esta categoría, es necesario que cumpla con los parámetros mostrados en la Tabla 2. Este reloj debe poseer, por definición, una estabilidad a largo plazo mejor que 1×10^{-11} , de manera totalmente autónoma en relación a otras referencias. Los únicos osciladores actualmente disponibles que cumplen con este requerimiento son los de haz de Cesio. Sin embargo, también por definición, la referencia primaria de sincronismo de una red (PRS, por sus siglas en inglés) consiste en un equipo capaz de generar una señal de temporización cuya precisión

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

a largo plazo se mantiene en 1×10^{-11} o mejor respecto del UTC (Tiempo Universal Coordinado). Dentro de esta última categoría se tienen el LORAN-C y GPS (Global Positioning System), que se caracterizan por constituir referencias primarias no completamente autónomas.

El sistema LORAN-C es un sistema basado en tierra, desarrollado para navegación marítima y operado por la Guardia Costera Norteamericana. El GPS es un sistema global de navegación por satélite desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El GPS puede ser accedido libremente por cualquier usuario. En ambos casos, las señales son controladas por estándares de cesio de estrato 1. Por lo tanto, las referencias primarias derivadas de estos sistemas son rastreables a un reloj de estrato 1. Resumiendo, las principales fuentes de referencia primaria pueden ser:

- Cesio
 1×10^{-12}

- LORAN-C o GPS
 1×10^{-13}

La diferencia en cuanto a la precisión que proporciona cada una de las referencias primarias radica en que para LORAN-C o GPS, dicha referencia es rastreable no sólo a un reloj patrón de Cesio, sino que a un grupo de ellos (100).

Por ser un estándar primario, un reloj de Estrato 1 no necesita referencia ni protección alguna.

Estrato 2 y Reloj de Nodo Tránsito (TNC, Transit Node Clock):

Un reloj de esta categoría debe cumplir con los parámetros de la Tabla 2. Este está basado en la tecnología de cristal en cámara térmica doble u oscilador atómico de rubidio.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

Por lo general tiene asignadas dos referencias: primaria y secundaria. En caso de pérdida de la referencia primaria, el reloj de estrato 2 debe entrar en modo de funcionamiento mantenido (*holdover*). El tiempo permitido para este modo de operación está medido en días; es por esto que el cambio a la referencia secundaria puede ser efectuado en forma manual o con control externo. Nótese que no existe un requerimiento de cambio automático en Estrato 2, al considerar una referencia de sincronización alterna.

Estrato 3 y Reloj de Nodo Local (LNC, Local Node Clock):

Este es el nivel siguiente al estrato 2 en términos de desempeño en condición de funcionamiento mantenido (*holdover*). Es decir, la desviación en frecuencia, tras haber perdido la referencia es mayor que para un reloj de estrato 2. Los relojes de estrato 3 están basados, por lo general, en osciladores a cristal compensados en temperatura. Se utilizan asociados a centrales locales o como relojes esclavizados a centrales que cuentan con relojes de estrato 2.

Generalmente, tiene asignadas referencias primaria y secundaria. Se prefiere conmutar de forma automática a la referencia de reserva cuando falla la referencia actual. Esto es porque la estabilidad mínima del reloj, una vez falla dicha referencia, se ve afectada a los pocos minutos. Con este cambio automático se logra que los relojes de estrato 3, operen en modo libre de deslizamientos, aun cuando ocurra alguna falla en una de las referencias.

Estrato 4:

Los relojes de este estrato no son utilizados en la red de distribución de sincronismo entre centrales. Estos no suplen modo de funcionamiento mantenido (*holdover*), entrando en oscilación libre al perder la referencia. Su aplicación típica es en centrales privadas.

Estos relojes se sitúan en la parte inferior de la jerarquía de sincronización y afectan a un menor número de usuarios, por lo que generalmente no requieren protección.



V. FUENTE DE TEMPORIZACIÓN INTEGRADA PARA EDIFICIO (BITS, BUILDING INTEGRATED TIMING SUPPLY)

A. INTRODUCCIÓN

Como se mencionó al inicio del presente trabajo, uno de los problemas de la red de sincronización actual, es que utiliza los circuitos de recuperación de reloj de las centrales y se distribuye a partir de ella la señal de temporización a las unidades que lo requieren. Con esta técnica, no siempre se tiene la garantía que dichas señales se encuentren libres de distorsiones de fase.

A veces, también, no se dispone de un número suficiente de salidas de reloj lo que origina cascadas en la distribución de la temporización al pasar la señal de referencia por varios equipos en forma sucesiva. Esto contribuye a degradar la calidad de dicha señal.

Otro problema que surge al no contar con una infraestructura de red dedicada a sincronización, es la dificultad que existe al tratar de seguirle la pista a una señal de referencia, sobre todo para efectos de mantenimiento e instalación de equipo nuevo.

Estos problemas ya fueron experimentados por las empresas de telecomunicaciones que operan redes grandes.

Es recomendable dividir en 2 partes la red de sincronización:

-Red dentro de nodos:

INTRA NODOS

-Red entre nodos:

INTER NODOS

Para poder desarrollar tanto la red INTRA NODOS como la INTER NODOS, es necesario que exista una red jerárquica dividida en estratos, similar a la que se explicó en el capítulo anterior. En este tipo de red existen 4 niveles o estratos, especificando para cada uno un reloj con un mínimo grado de precisión y estabilidad. Los relojes de estrato 1 son los más precisos y los de estrato 4 los menos precisos. Además, la señal de temporización se distribuye hacia abajo desde el reloj de estrato 1 hasta el reloj de estrato 4.

B. RED INTRA NODOS

La sincronización INTRA NODOS considera que en cada nodo hay una fuente de distribución de señales de sincronización encargada de proveer todas las referencias de sincronización requeridas por los sistemas digitales ubicados en él. A este sistema se le denomina Generador de Señales de Temporización (TSG, por sus siglas en inglés). De esta forma, la RED INTRA NODOS constituye una red en forma de estrella, tal como se muestra en la Figura 6.

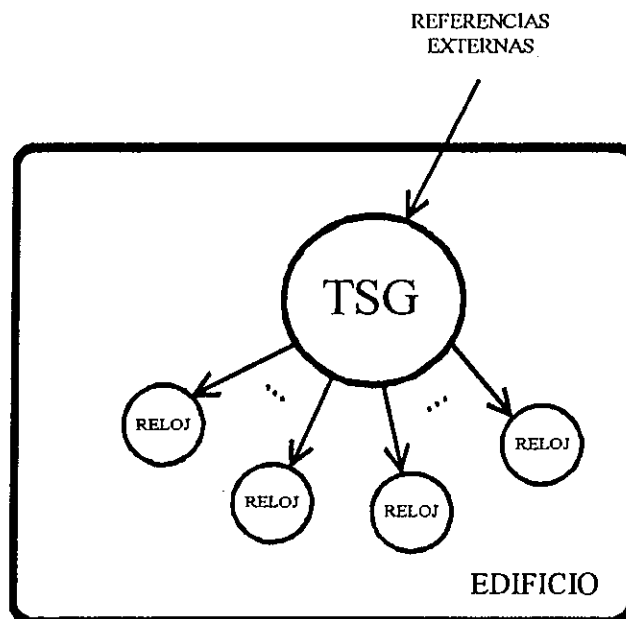


Figura 6. Red INTRA-NODOS.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

La decisión respecto del estrato del reloj de cada nodo debe ser tomada con base en dos criterios:

- La necesidad que tiene el nodo de estabilidad en caso de entrar en modo de funcionamiento mantenido (*holdover*). Una central con gran volumen de tráfico y que suministra la referencia de sincronización a muchas otras, necesita un excelente comportamiento en modo de funcionamiento mantenido (*holdover*) para lograr mantener una buena precisión de frecuencia en el caso de que pierda las referencias de temporización.
- La posición de la central en la red jerárquica de sincronización.

C. RED INTER NODOS

La Red INTER NODOS se basa en la distribución del reloj por medio de los sistemas de transmisión digital. Así, un determinado TSG de un nodo, recibirá referencias de sincronización de TSG's de otros nodos, siguiendo el método jerárquico explicado en el capítulo anterior. De esta forma, el sentido del flujo de la señal de referencia es siempre del nivel más alto al más bajo dentro de la estructura jerárquica.

De aquí que BITS obedezca a tres reglas principales:

- Una central debe obtener su referencia de otra central de estrato igual o superior.
- No deben crearse lazos cerrados de sincronismo.
- Sólo debe existir un oscilador maestro por nodo.

En general, la Red INTER NODOS constituye una red jerárquica en forma de árbol, como la mostrada en la Figura 7.

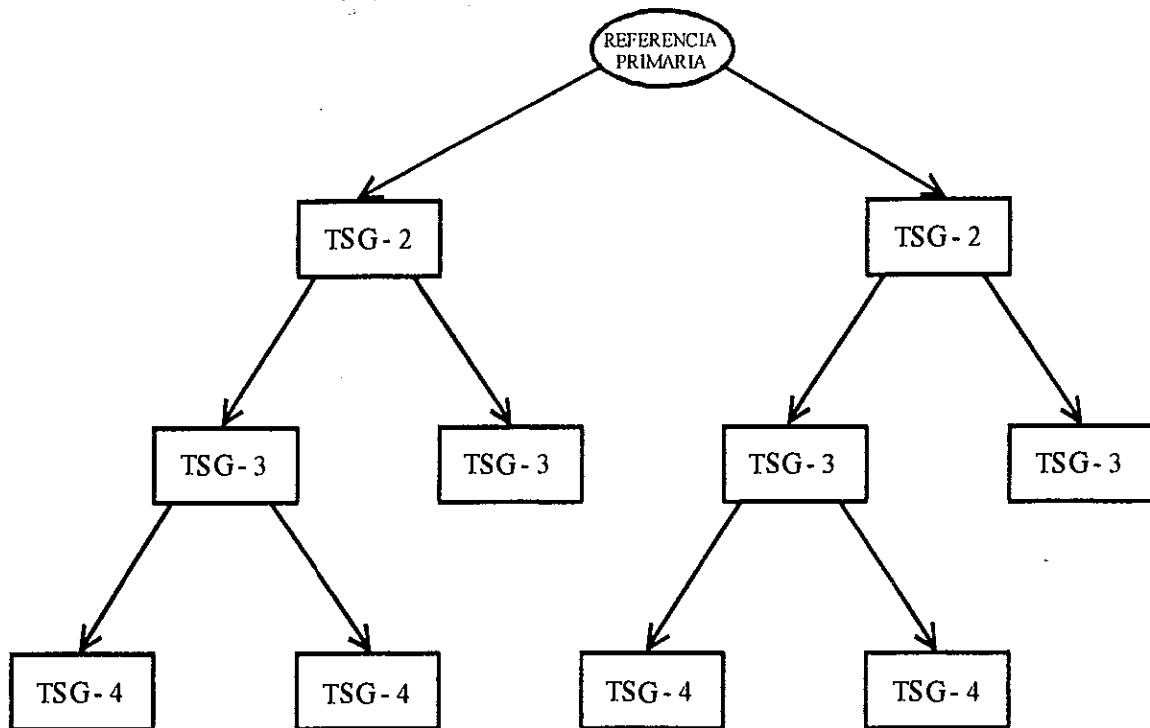


Figura 7. Red INTER-NODOS.

En la Figura 8, se muestran dos formas típicas de representar redes jerárquicas que utilizan el concepto de BITS. La segunda representación permite verificar de forma simple la existencia de lazos cerrados de sincronismo. En ésta se observa que, cada vez que un nodo recibe señal de referencia de otro nodo del mismo estrato, el nodo que recibe dicha referencia tiene asignado un código sub-estrato de un nivel menor al del nodo fuente. Con esto, se cumple que efectivamente, cada nodo recibe sincronización de un nodo de estrato o sub-estrato mayor.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

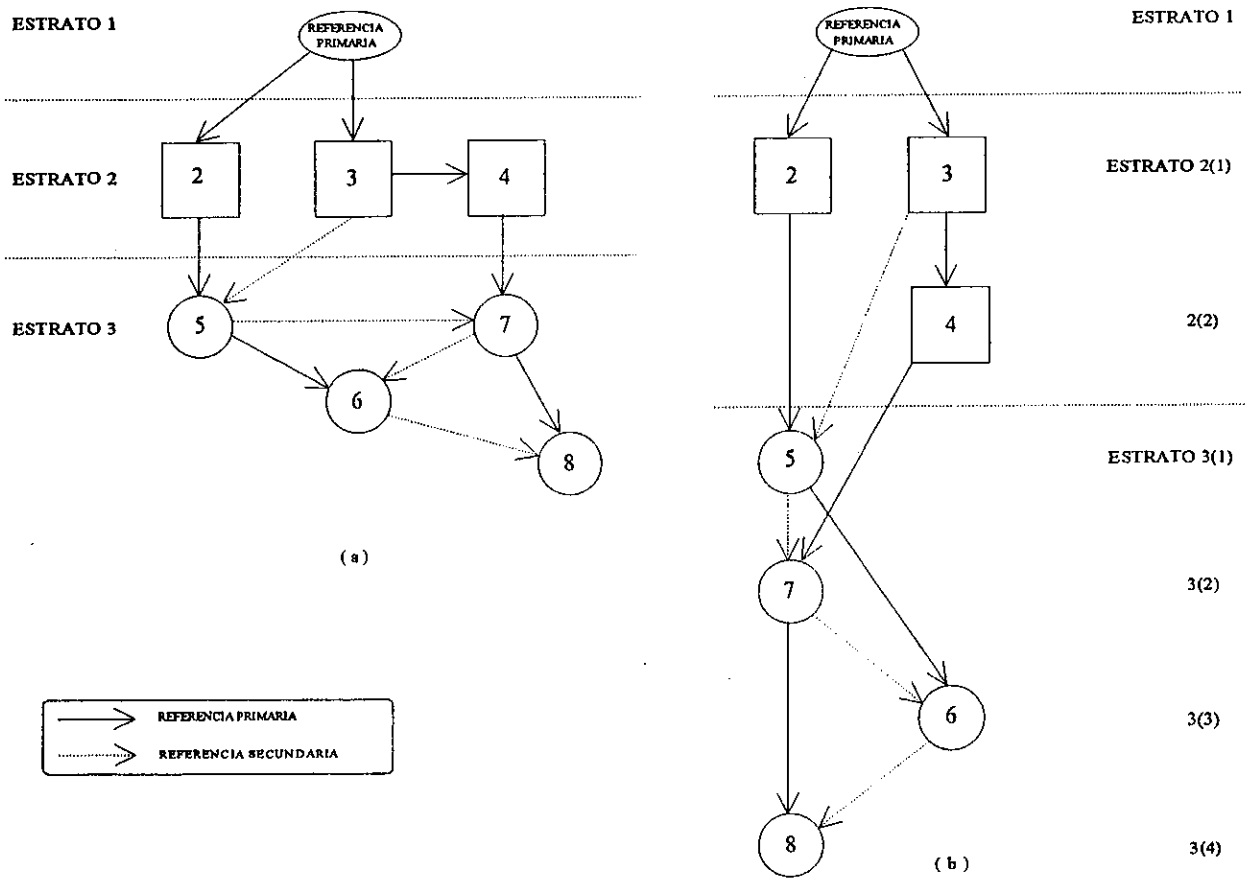


Figura 8. Sincronización INTER-NODOS.

D. VENTAJAS DE BITS

Introducir el concepto de BITS en una red de sincronización trae las siguientes ventajas:

- Simplificación en la administración de la red de sincronización.
- Simplificación de la estructura de la red de sincronización.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

- Optimización de los recursos de la red de telecomunicaciones asignados a sincronización.
- Reducción de costos al evitar compra de equipos innecesarios y duplicidad de funciones.
- Mayor confiabilidad del sistema al garantizar continuidad en el funcionamiento de los elementos de red en caso de pérdida de las referencias de sincronización de los niveles superiores.
- Eliminación de los efectos y propagación de Jitter y reducción de los efectos de Wander. Reducción significativa de deslizamientos.
- Simplificación de la supervisión y mantenimiento de la red al contar con un único sistema de sincronismo completamente normado.

E. GENERADOR DE SEÑALES DE TEMPORIZACIÓN (TSG-TIMING SIGNAL GENERATOR)

Aplicar el concepto de BITS en la Red de Sincronización, implica contar con un único equipo, por nodo de red, capaz de generar suficientes señales de temporización de alta calidad, libres de distorsiones de fase. Este equipo se conoce como Generador de Señales de Temporización (TSG, por sus siglas en inglés).

Este nuevo concepto de la Red INTRA NODOS incorpora un bastidor que realiza las funciones de recuperación y limpieza de las señales de referencia recibidas para generar un reloj principal, respaldado por un oscilador propio del bastidor, que se encarga de proveer todas las referencias de sincronización requeridas por los elementos de red localizados dentro de un determinado nodo.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

En la Figura 9, se muestra un diagrama del Generador TSG, compuesto por: una interfase para señales de referencia entrantes, etapas de generación y distribución del reloj principal, y de interfaces para alarmas y control del sistema.

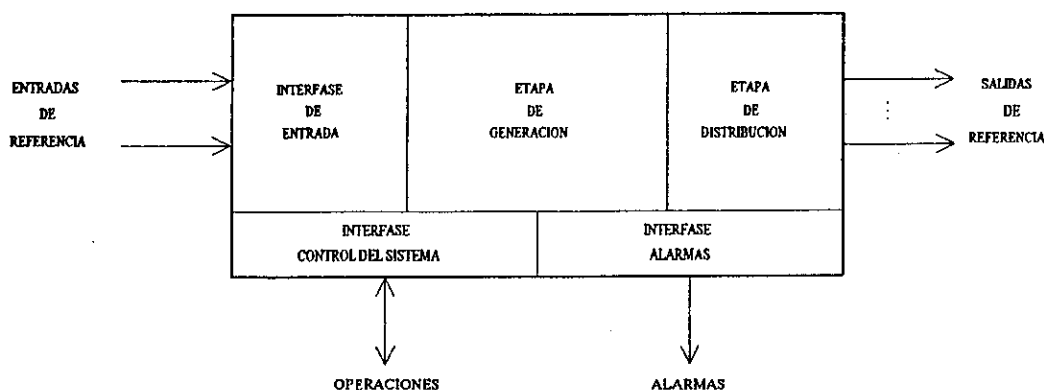


Figura 9. Generador de Señales de Temporización, TSG (Timing Signal Generator).

El TSG, a la entrada, es temporizado a partir de por lo menos dos señales MIC primarias, de 2.048 Mbps, que pueden ser, ya sea señales que llegan al nodo y pasan por el TSG de forma transparente, o bien señales provenientes de elementos de red de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH, por sus siglas en inglés) que las generan a partir de la señal óptica de línea. Además de estas señales de tipo digital, un TSG puede también aceptar señales de tipo analógico. Una de las referencias es designada como principal, y las otras sirven como alternativa para el caso de fallar la primera.

Cuando faltan las referencias, el sistema entra a funcionar en modo **mantenido** (*holdover*), permitiendo tener la frecuencia adecuada por un tiempo específico.

La etapa de generación contiene un oscilador que puede ser de varios tipos, dependiendo del estrato a que pertenece un determinado nodo de red. Por lo general es un reloj con características de estrato 2 o 3.

Los relojes con características de estrato 4 son eliminados, por carecer éstos de operación en modo **mantenido** (*holdover*). En caso se usaran, los elementos de red

temporizados a partir de esta fuente de estrato 4 experimentarían deslizamientos a los pocos minutos de ocurrir una falla en las referencias. Por otro lado, tampoco se consideran relojes con características de estrato 1, por el alto costo de los mismos.

Es en esta etapa donde el generador TSG debe absorber el jitter y wander presente en la señal de entrada.

Como se mencionó, un TSG debe ser capaz de distribuir todas las señales de salida (digitales y analógicas) requeridas por los diferentes elementos de red contenidos en un nodo.

Dependiendo del número de salidas, un TSG puede ser de:

- Tamaño 1: que posee de 10 a 100 puertos de salida, o
- Tamaño 2: que posee de 100 a 400 puertos de salida.

Si por algún motivo, el número de salidas no es el suficiente, puede agregarse un módulo adicional de 10 o 100 puertos, según sea el caso. Otra manera de solucionar este problema, es colocar dos o más TSGs en una configuración de cascada. Esta última configuración se muestra en la Figura 10.

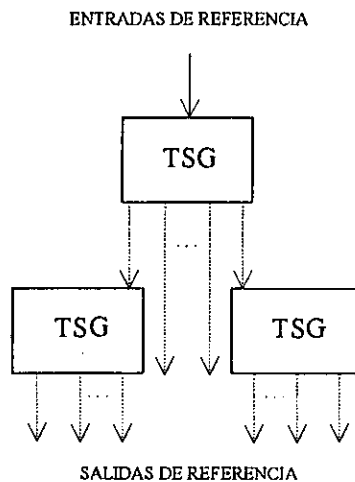


Figura 10. Generadores de Señales de Temporización en Cascada.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

El interfaz de alarmas permite que un TSG genere alarmas en caso de falla en las referencias, y el interfaz de control del sistema permite reconocer fallas en el equipo TSG.

Un generador TSG debe ser capaz de reportar, principalmente, mediante una indicación binaria (un solo bit de información que representa uno de dos posibles estados: activado/desactivado), lo siguiente:

- la condición de las referencias
- la pérdida de la señal de referencia (LOS, por sus siglas en inglés): el apareamiento de 175 +/- 75 ceros consecutivos en una de las referencias será considerada como pérdida de señal.
- La referencia utilizada en cada momento.
- Si ocurre cambio automático de referencia.
- Si se habilita/deshabilita modo de cambio automático.
- Falla en el procesador de control del TSG.
- Falla en cualquiera de los componentes de un TSG mostrados en la Figura 9.

Resumiendo, un TSG es un equipo de generación de reloj **dedicado**, cuya función primordial es el suministro de señales de temporización estables basadas en una referencia confiable.

F. JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA (SDH). SINCRONIZACIÓN DE LOS NODOS DE RED SDH

Los diferentes estudios demuestran que una señal de 2 Mbps, transportada por la SDH, no debe ser utilizada como fuente de referencia de sincronización. Es necesario utilizar un método alternativo.

Este método alternativo contempla la adopción de fuentes de referencia primaria (PRS, por sus siglas en inglés), o bien relojes de estrato 2 en los nodos de la red SDH. Por lo general, se escogen dos nodos del tipo PRS, y los demás nodos recuperan su temporización a partir de la señal óptica de línea, pasando esta señal de temporización a velocidad primaria.

Posteriormente, esta última se introduce al generador TSG, que debe poseer un oscilador de estrato 2, de donde se distribuye dentro del nodo y también, a la red subsiguiente. Este método se ilustra en la Figura 11.

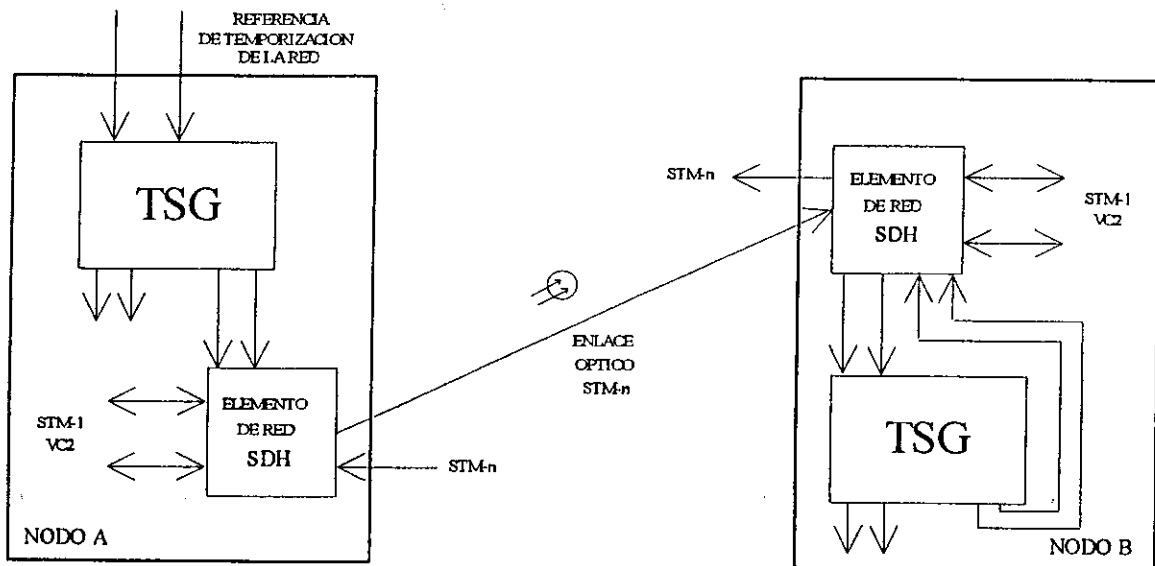


Figura 11. Sincronización en SDH. Temporización a partir de la señal óptica.

VI. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO Y DE CALIDAD

A. OBJETIVOS DE CALIDAD EN CUANTO A TASA DE DESLIZAMIENTOS EN UNA CONEXIÓN DIGITAL INTERNACIONAL

1. Consideraciones generales.

Los objetivos de tasa de deslizamientos para una comunicación internacional de extremo a extremo, se estipulan en relación con una conexión ficticia de referencia (XRF) digital normalizada de 27,500 Km de longitud, como la que se muestra en la Figura 12. Con base en esta conexión ficticia de referencia de 13 nodos, suponiendo que todos trabajaran juntos de forma plesiócrona, se establece que la característica nominal de deslizamientos para una conexión en particular podría ser de un deslizamiento por cada 5.8 días, reconociendo que, si sólo se toma en cuenta la inexactitud de los relojes, cada uno de ellos contribuiría con un deslizamiento cada 70 días.

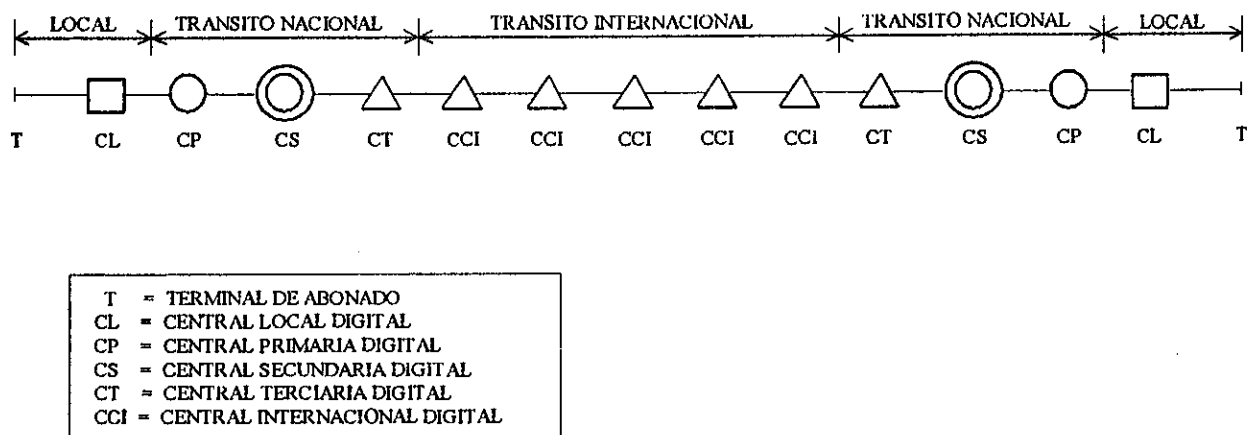


Figura 12. Conexión Ficticia de Referencia (XRF).

Ahora bien, dado que la red nacional estaría sincronizada y se espera lo mismo del país distante como parte de la conexión, la característica nominal de deslizamiento sería mayor, 1 en 17.5 días.

Sin embargo, en una conexión digital **práctica** de extremo a extremo, constituida por la sección internacional y las secciones nacionales, la tasa de deslizamientos puede rebasar apreciablemente el valor estimado, debido a diversas condiciones de diseño, ambientales y operacionales.

Es necesario entonces, definir un umbral de tasa de deslizamientos adecuado, que garantice cierta calidad de funcionamiento y que no permita la degradación de los diferentes servicios.

Por ello se establecen a continuación los objetivos de tasa de deslizamientos tanto de los servicios telefónicos como de los servicios no telefónicos, en una conexión digital internacional de extremo a extremo a 64 Kbps.

2. Objetivo de tasa de deslizamientos.

Los deslizamientos constituyen uno de los diversos factores que contribuyen a la degradación de una conexión digital.

En la Tabla 4, se establece el objetivo de calidad en cuanto a tasa de deslizamientos de octetos de una conexión digital internacional a 64Kbps. Esta divide en tres categorías la calidad de funcionamiento: a, b y c, dependiendo de la tasa media de deslizamientos permitida durante el tiempo de observación, el cual debe ser superior a un (1) año, con el objeto de poder analizar correctamente la tendencia de la calidad de funcionamiento de dicho enlace.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

TABLA 4

CATEGORIA DE CALIDAD	TASA MEDIA DE DESLIZAMIENTOS	PROPORCION DE TIEMPO
"a"	≤ 5 deslizamientos en 24 horas	> 98.9%
"b"	> 5 deslizamientos en 24 horas, y ≤ 30 deslizamientos en 1 hora	< 1.0%
"c"	> 30 deslizamientos en 1 hora	< 0.1%

Según esta tabla, la tasa media de deslizamientos nominal en cualquier comunicación digital deberá ser menor que cinco (5) deslizamientos en 24 horas (Categoría "a") y sólo se permitirá que sobrepase este valor durante un 1% del tiempo total cuando la degradación esté dentro de la Categoría "b", y un 0.1% cuando la degradación esté dentro de la Categoría "c".

3. Reparto de las degradaciones.

En la Tabla 5 se establecen los límites de la tasa de deslizamientos para las distintas secciones de red (Figura 12), de manera que la tasa total para la conexión completa no sobrepase los objetivos establecidos por la Tabla 4 de la sección anterior.

TABLA 5

SECCION DE LA XFR SEGUN FIGURA 12	PROPORCION ATRIBUIDA DE CADA OBJETIVO DE LA TABLA 4	OBJETIVO COMO PROPORCION DEL TIEMPO TOTAL	
		"b"	"c"
PARTE DE TRANSITO INTERNACIONAL	8.0%	0.08%	0.008%
CADA PARTE DE TRANSITO NACIONAL	6.0%	0.06%	0.006%
CADA PARTE LOCAL	40.0%	0.4%	0.04%

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

El procedimiento se basa en la subdivisión de los porcentajes de tiempo correspondientes a las Categorías de calidad "b" y "c" de la Tabla 4, con el objeto de repartirlos entre las diferentes secciones de la conexión (parte de tránsito internacional, parte de tránsito nacional y parte local).

Para esto se considera lo siguiente:

- La probabilidad de que, en una red, varias secciones experimenten tasas excesivas de deslizamientos que afecten simultáneamente a una conexión determinada es pequeña.

- Puesto que la importancia de los deslizamientos que se producen en las diferentes partes de una conexión dependerá del tipo de servicio y del nivel de tráfico afectado, el procedimiento de repartición incluye la asignación de límites más estrictos a los deslizamientos detectados en las centrales de tránsito internacionales y nacionales, y límites menos estrictos en las centrales locales pequeñas.

B. REQUISITOS DE TEMPORIZACIÓN PARA LOS DIFERENTES EQUIPOS DE SINCRONIZACIÓN

Con el objeto de cumplir con los objetivos de calidad establecidos en la sección anterior, es necesario que las señales de temporización, que gobiernan los diferentes nodos de sincronización de la red, cumplan una serie de requisitos.

En esta sección se establecen los requisitos que deben cumplir los diferentes tipos de relojes.

1. Requisitos de temporización en las salidas de relojes de referencia primarios.

Antes de establecer los requisitos de temporización, es necesario definir previamente el concepto de Máximo Error en el Intervalo de Tiempo (MEIT) de una señal de temporización.

Este se define como la máxima variación entre crestas del retardo temporal de una señal de temporización dada, respecto de una referencia ideal (UTC, Tiempo Universal Coordinado) comprendida en un período de tiempo ideal. Este concepto se muestra en la Figura 13.

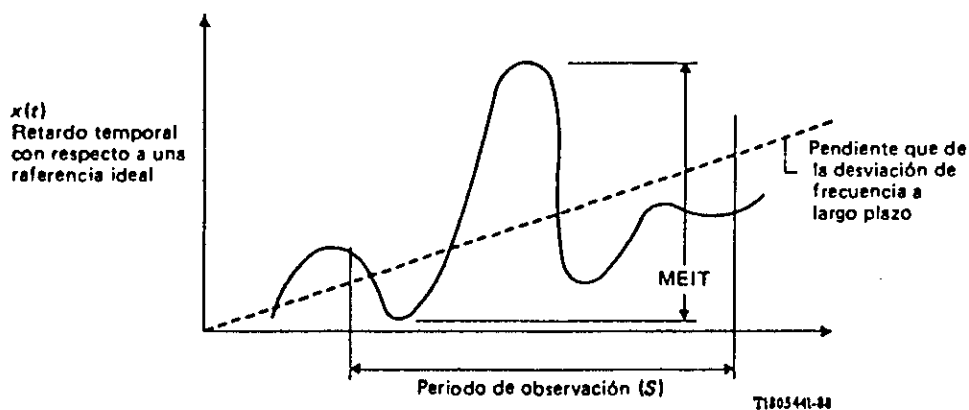


Figura 13. Definición del Máximo Error de Intervalo de Tiempo (MEIT).

Esta curva describe cómo varía el retardo temporal a lo largo del tiempo. Se tiene entonces que:

$$\text{MEIT (S)} = \max X(t) - \min X(t),$$

para todos los valores de t dentro del período de observación S . Es así como la función $X(t)$ representa el retardo temporal instantáneo respecto del Tiempo Universal Coordinado (UTC).

Cabe decir, que la desviación en frecuencia a largo plazo viene determinada por el cociente entre el MEIT y la duración S del período de observación, a medida que S va aumentando.

a. Desviación de frecuencia a largo plazo y estabilidad de fase de los relojes de referencia primarios.

i. Desviación de frecuencia a largo plazo.

Todos los relojes de referencia primarios deberán tener una desviación de frecuencia a largo plazo inferior a 1×10^{-11} . La tasa media teórica a largo plazo de aparición de deslizamientos de trama o de octetos, basada en condiciones ideales, sin perturbaciones, en cualquier canal a 64 Kbps no será, en consecuencia, superior a uno cada 70 días por cada enlace internacional digital.

La referencia con respecto a la que se medirá dicha desviación de frecuencia será el Tiempo Universal Coordinado (UTC). Cabe decir, que algunas administraciones soportan una desviación de frecuencia de 7×10^{-12} , basándose en la tecnología actual de relojes de referencia primarios.

ii. Estabilidad de fase.

La estabilidad de fase de un reloj, puede describirse por sus variaciones de fase. Estas variaciones de fase tienen las siguientes componentes:

- discontinuidades de fase debidas a perturbaciones transitorias
- variaciones de fase a largo plazo (fluctuación lenta de fase)
- variaciones de fase a corto plazo (fluctuación de fase)

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

-Discontinuidades de fase:

Toda discontinuidad de fase, debida a operaciones internas en el reloj, no deberá producir más que un alargamiento o acortamiento de la anchura del intervalo de la señal de temporización y no causará una discontinuidad superior a 1/8 de intervalo unitario a la salida del reloj. Esto se refiere a señales de salida de 2.048 Mbps, para las cuales el intervalo unitario es de 488ns.

-Variaciones de fase a largo plazo:

Se entiende por variaciones de fase a largo plazo aquellas cuya frecuencia es inferior a 10 Hz.

La máxima variación de fase a largo plazo de un reloj de referencia primario, expresada mediante el Máximo Error en el Intervalo de Tiempo (MEIT) en un período de S segundos, no excederá los límites siguientes:

- | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|
| a) 100S ns | para un intervalo | $0.05 < S \leq 5s$ |
| b) $(5S+500)$ ns | para un intervalo | $5 < S \leq 500s$ |
| c) $(0.01S+X)$ ns | para un intervalo | $S > 500s$ |

El valor de X está en estudio. Hoy se admite provisionalmente un valor de 3000ns, pero ciertas administraciones soportan un valor de 1000ns.

La representación gráfica de los límites aquí definidos se muestra en la Figura 14.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

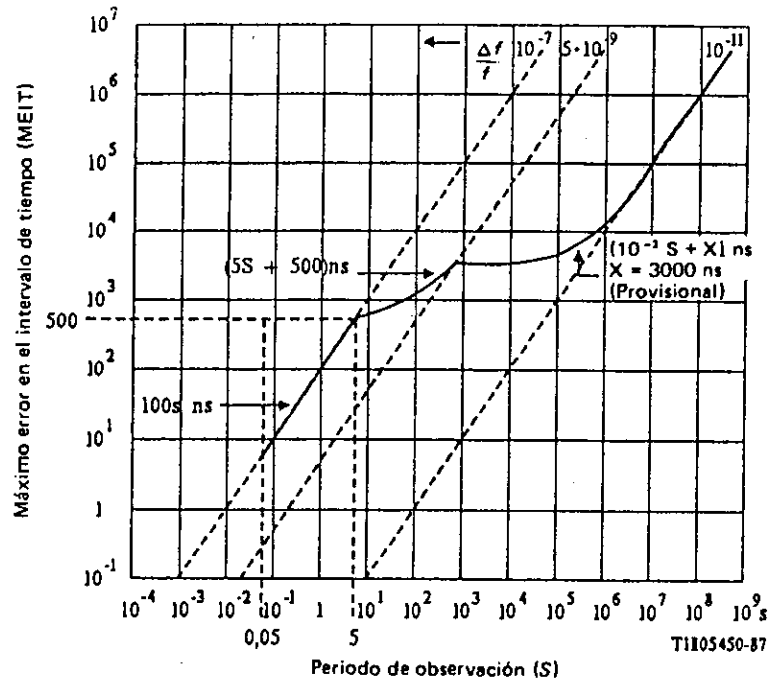


Figura 14. Máximo Error en el Intervalo de Tiempo (MEIT) admisible debido a las variaciones de fase a largo plazo en función del período de observación S para un reloj de referencia primario.

-Variaciones de fase a corto plazo:

Se entiende por variaciones de fase a corto plazo aquellas cuya frecuencia es superior o igual a 10 Hz.

La especificación de la máxima variación de fase admisible a corto plazo para un reloj de referencia primario está en estudio.

b. Degradación del comportamiento de un reloj de referencia primario.

Un reloj de referencia primario debe estar dotado de redundancia, con el objeto de asegurar la continuidad de salida y ofrecer una alta fiabilidad. Un ejemplo típico, se observa en aquellas administraciones que incorporan varios osciladores de haz de cesio, y utilizan en un momento dado la salida de uno solo de ellos. Si ocurriera una desviación considerable en la frecuencia, ésta debe detectarse y efectuar la conmutación a un oscilador no degradado lo antes posible.

Cabe decir que esta conmutación debe realizarse antes de excederse la especificación del MEIT.

c. Interfaz.

El interfaz para la señal de temporización será a 2,048 KHz.

i. Interfaz de sincronización a 2,048 KHz.

-Puerto de salida:

Frecuencia	2,048 KHz \pm 50ppm.
Forma del pulso	La señal debe estar conformada según la máscara de la Figura 15.

Nota: dentro del área sombreada, la señal tiene que ser **monotónica**.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

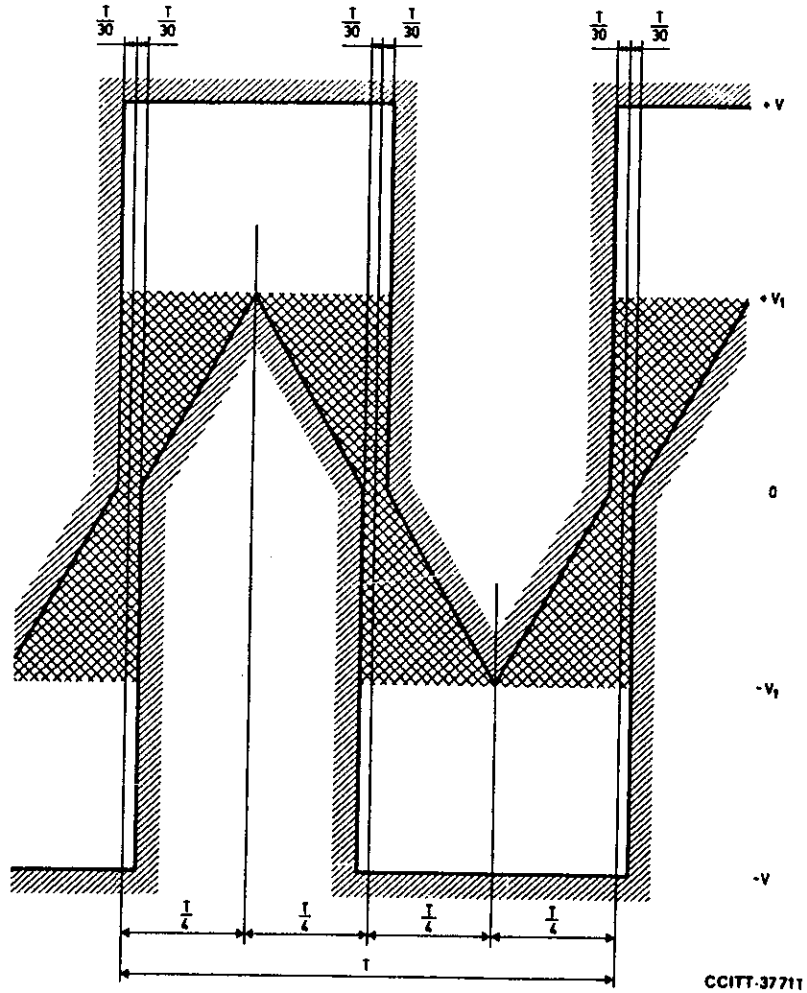


Figura 15. Forma de onda en un puerto de salida. Interfaz a 2,048 KHz.

Tipo de conductor

Par coaxial.

El conductor externo debe conectarse a tierra en el puerto de salida. Debe proveerse una conexión a tierra para el puerto de entrada, de ser necesaria.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

Impedancia de carga de prueba	75 Ω resistiva.
Voltaje de pico máximo	1.50 V.
Voltaje de pico mínimo	0.75 V.
Jitter máximo en el puerto de salida	0.05 IU (Intervalo Unitario) pico a pico, medido dentro del rango de frecuencias comprendido entre $f_1 = 20$ Hz y $f_2 = 100$ KHz. En la Figura 16, se ilustra la definición de la unidad de medición de jitter (Intervalo Unitario, IU).

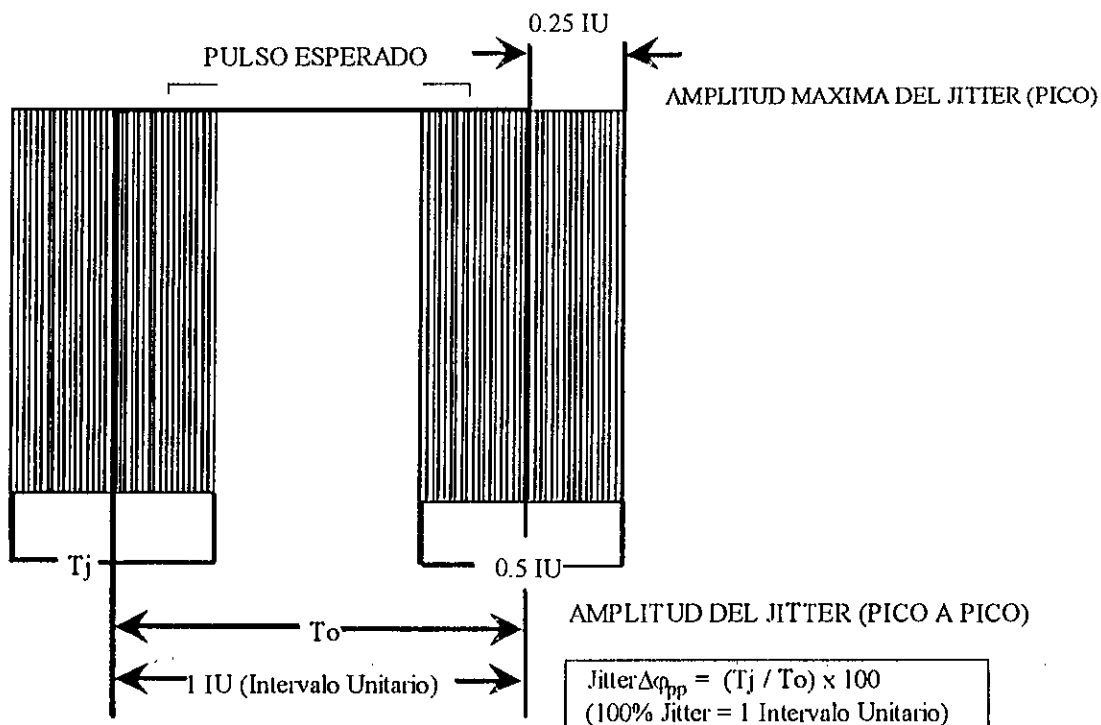


Figura 16. Definición de la Unidad de Medición de Jitter, IU (Intervalo Unitario).

-Puerto de entrada:

La señal se debe presentar a los puertos de entrada tal como se especificó para el puerto de salida, pero modificada por las características del par de interconexión.

Se debe asumir que la atenuación del par de interconexión sigue una ley \sqrt{f} , y que la pérdida a una frecuencia de 2,048 KHz debe estar en el rango de 0 a 6 dB. Esta atenuación debe tomar en cuenta todas las pérdidas que se dan entre los equipos por la presencia de una señal digital.

El puerto de entrada debe tolerar una señal digital con estas características pero modulada por jitter.

La pérdida de retorno a 2,048 KHz debe ser ≥ 15 dB.

2. Requisitos a cumplir por las unidades de sincronización.

Se denomina unidad de sincronización al equipo que proporciona la señal de temporización en un nodo particular que está enganchado en fase a la señal de temporización originada en un reloj de mejor calidad.

a. Requisitos generales.

En general, una unidad de sincronización deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Toda unidad tiene asignada un determinado número de enlaces de sincronización. Por lo tanto, en cualquier momento, una unidad en particular deberá obtener la referencia de temporización del enlace de mayor prioridad de entre todos los enlaces, libres de falla, asignados a ella.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

- En caso de que todos los enlaces de sincronización se encuentren en situación de fallo, la unidad de sincronización deberá obtener las referencias de temporización a partir de su reloj propio.
- Una unidad de sincronización situada en un determinado nodo, deberá proporcionar, a la salida, un interfaz de sincronización a 2,048 KHz, en la modalidad de par coaxial, para sincronizar los equipos contenidos en el nodo.
- Los enlaces de sincronización de los que la unidad de sincronización extraerá la señal de temporización para sincronizar los diferentes equipos, no serán enlaces digitales con fines exclusivos de sincronización, pudiendo ser éstos enlaces a 2 Mbps de la propia red digital. De esta forma, a la entrada de cada unidad de sincronización deberán llegar señales moduladas por una fluctuación lenta de fase y por una fluctuación de fase, cuyas características eléctricas satisfagan los requisitos de un Interfaz a 2,048 Kbps, para estas condiciones de modulación.

b. Requisitos de temporización en las salidas de relojes subordinados.

Para especificar los requisitos de temporización en la salida de un reloj subordinado, resulta útil el concepto de Máximo Error Relativo de Intervalo de Tiempo (MERIT). Este concepto es análogo al MEIT definido en el numeral 2.1, pero está referido a un oscilador práctico de alta calidad en vez de al Tiempo Universal Coordinado (UTC).

A continuación se considerarán separadamente los diferentes tipos de variaciones de fase a la salida de un reloj subordinado:

- discontinuidades de fase debidas a perturbaciones transitorias
- variaciones de fase a largo plazo (fluctuación lenta de fase)
- variaciones de fase a corto plazo (fluctuación de fase)

i. Discontinuidades de fase.

En los casos , infrecuentes, de comprobación o reconfiguración internas en el reloj subordinado, deben satisfacerse las siguientes condiciones:

- La variación de fase durante un período de hasta 2^{11} IU, no debe exceder $1/8$ de IU.
- Durante los períodos superiores a 2^{11} IU, la variación de fase para cada intervalo de 2^{11} IU no debe exceder $1/8$ de IU, hasta un total de $1 \mu\text{s}$.

ii. Variaciones de fase a largo plazo.

Para especificar los requisitos de temporización de los relojes subordinados, en lo que respecta a las variaciones de fase a largo plazo, se consideran tres (3) categorías diferentes de funcionamiento del reloj:

- funcionamiento ideal;
- en régimen forzado;
- en régimen libre.

- Funcionamiento ideal:

Esta categoría de funcionamiento corresponde al comportamiento de un reloj en condiciones donde no existen degradaciones de la referencia o referencias de temporización de entrada.

En estas condiciones, el MERIT a la salida del reloj subordinado no debe exceder los límites siguientes:

- | | | |
|-----------------|-------------------|----------------------------|
| a) (En estudio) | para un intervalo | $0.05 < S < 100 \text{ s}$ |
| b) 1000 ns | para un intervalo | $S \geq 100 \text{ s}$ |

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

La representación gráfica de los límites aquí definidos, se muestra en la Figura 17.

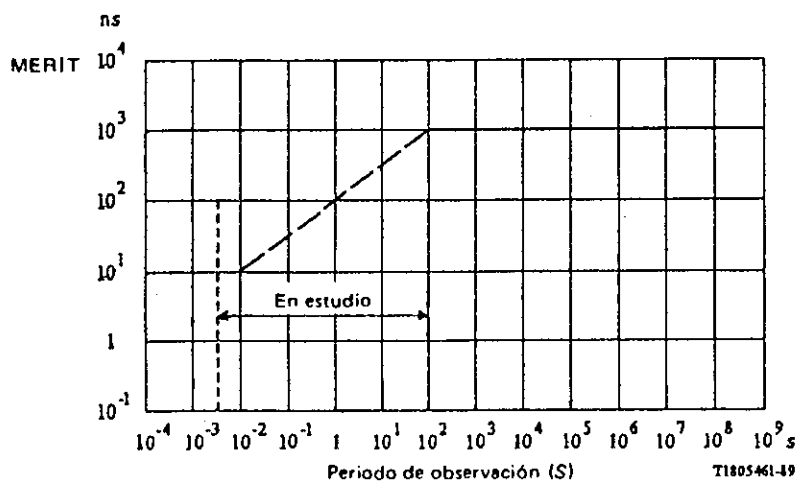


Figura 17. Máximo Error Relativo en el Intervalo de Tiempo (MERIT) admisible debido a las variaciones de fase a largo plazo en función del período de observación S para un reloj subordinado en funcionamiento ideal.

- Funcionamiento en régimen forzado:

Esta categoría de funcionamiento refleja el comportamiento real de un reloj al considerar la influencia de las condiciones reales de funcionamiento como son, los efectos de la fluctuación de fase, las actividades de conmutación de protección y las ráfagas de errores. Dichas condiciones dan como resultado degradaciones de la temporización.

Los requisitos relativos a esta categoría de funcionamiento están en estudio.

- Funcionamiento en régimen libre:

Esta categoría de funcionamiento corresponde al comportamiento del reloj subordinado en las ocasiones en que éste pierde la referencia durante un período de tiempo significativo.

En estas condiciones, el MERIT a la salida del reloj subordinado no debe exceder los siguientes límites:

$$a) \text{ MERIT (S)} = (aS + \frac{1}{2}bS^2 + c)ns \quad \text{para un intervalo} \quad S \geq 100 \text{ s.}$$

donde a, b y c, son parámetros cuyos valores son diferentes, según se trate de un reloj de tránsito o de un reloj local. Estos valores se muestran en la Tabla 6.

TABLA 6

	RELOJ DE NODO DE TRANSITO (RELOJ DE ESTRATO 2)	RELOJ DE NODO LOCAL (RELOJ DE ESTRATO 3)
a	0.5 (1)	10.0 (3)
b	1.16×10^{-5} (2)	2.3×10^{-4} (4)
c	1000 (5)	1000 (5)

(1): Corresponde a un desplazamiento de frecuencia inicial de 5×10^{-10} .

(2): Corresponde a una deriva de frecuencia de 1×10^{-9} /día.

(3): Corresponde a un desplazamiento de frecuencia inicial de 1×10^{-8} .

(4): Corresponde a una deriva de frecuencia de 2×10^{-8} /día.

(5): Tiene en cuenta cualquier MERIT que pueda haber existido al comienzo del funcionamiento mantenido y los efectos de la reconfiguración interna del reloj.

En la Figura 18, se muestra la representación gráfica de los límites aquí definidos. En ésta, se representan dos (2) curvas, una de ellas aplicable a relojes locales y la otra

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

aplicable a relojes de tránsito. Un reloj local constituye un reloj subordinado situado en un nodo local (nodo de red al que se conectan directamente equipos de abonado). Por otro lado, un reloj de tránsito constituye un reloj subordinado situado en un nodo de tránsito (nodo de red conectado a otros nodos, pero no directamente a equipos de abonado).

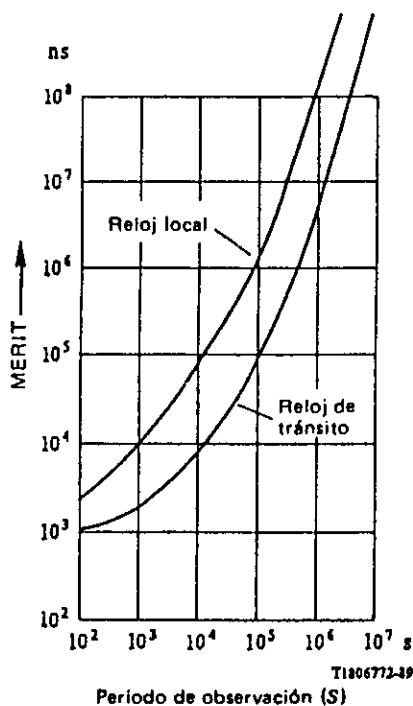


Figura 18. Máximo Error Relativo en el Intervalo de Tiempo (MERIT) admisible debido a las variaciones de fase a largo plazo en función del período de observación S para un reloj subordinado en funcionamiento en régimen libre.

iii. Variaciones de fase a corto plazo.

La máxima variación de fase a corto plazo admisible en un reloj subordinado está en estudio.

iv. Interfaz.

El interfaz para la señal de temporización será a 2,048 KHz conforme el numeral 2.1.3.1.

C. ELECCIÓN DE NODOS DE REFERENCIA Y ENLACES DE SINCRONIZACIÓN

1. Introducción.

Tal como se ha dicho, todos los elementos de una red digital debieran sincronizarse a partir de un único reloj de referencia. Para ello, cada uno de los nodos de la red debiera obtener sus referencias de temporización de por lo menos dos nodos de nivel jerárquico superior o igual, por medio de enlaces de sincronización.

A los nodos que proveen referencias de temporización a otros nodos de nivel jerárquico igual o inferior se les denomina **nodos de referencia**.

Cada nodo necesita recibir referencias de temporización de dos o más nodos de referencia. A los enlaces de sincronización establecidos con ellos se les asigna cierto orden de prioridad: si se considera que por medio del enlace de primera elección no se está recibiendo una referencia de temporización adecuada, se conmuta al de segunda elección y así sucesivamente hasta el de última elección.

La elección de los nodos de referencia y de los enlaces de sincronización obedece a los criterios expuestos a continuación.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

2. Criterios para la elección de los nodos de referencia.

Los criterios que deben ser tomados en cuenta para la elección de los nodos de referencia de un nodo en particular, se presentan a continuación:

- El nodo de referencia de toda la red de sincronización será aquel que contenga el reloj de referencia primario. Este tendrá que cumplir con los requisitos establecidos por el CCITT y estará ubicado en el mismo nodo donde se encuentran las centrales internacionales, dado que ellas requieren una señal de temporización de gran exactitud y estabilidad. Además, podrá existir un segundo nodo de referencia de sincronización como reserva, en el que también existirá un reloj que cumpla con los requisitos de temporización de los relojes de referencia primarios. Para la mayoría de los nodos, éstos constituirán los nodos de referencia de 1ra. y 2da. elección, respectivamente.
- Los criterios para la elección de los restantes nodos de referencia de cualquier nodo se definen a continuación:
 - Los nodos de referencia de cualquier nodo se elegirán únicamente entre los nodos de nivel jerárquico superior o igual al suyo propio, con los que esté enlazado digitalmente.
 - Los nodos de referencia de cualquier nodo particular de la red, deberán estar enlazados con éste por medio de rutas independientes.
 - Un determinado nodo conectado digitalmente a otro, ambos del mismo nivel jerárquico, puede ser elegido como nodo de referencia del segundo, siempre y cuando no se permita la formación de un lazo cerrado de sincronismo.

3. Criterios para la asignación y elección de los enlaces de sincronización.

a. Asignación de los enlaces de sincronización de un nodo.

La selección de un enlace de sincronización implica la elección de una ruta, de un cable o radioenlace en esta ruta, de un sistema de transmisión de este cable o radioenlace, y de un enlace digital a 2 Mbps de este sistema.

A la hora de asignar los enlaces de sincronización de un nodo con cada uno de sus nodos de referencia deberá seguirse un criterio de diversidad, con el fin de que el sistema de sincronización sea lo más seguro posible.

b. Criterios para la selección de la ruta, cable, sistema de transmisión y enlace a 2 Mbps.

Selección de la ruta: cuando el nodo en cuestión disponga de varias rutas con el nodo de referencia, para la selección de una entre ellas, tendrán preferencia las rutas de cable a las de radio. Dentro de las rutas de cable se tiene el siguiente orden de selección, listados de mayor a menor preferencia:

- Fibra óptica canalizada
- Fibra óptica enterrada
- Fibra óptica aérea
- Cable PCM canalizado
- Cable PCM enterrado
- Cable PCM aéreo
- Cable multipar canalizado
- Cable multipar enterrado
- Cable multipar aéreo

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

Selección del cable o radioenlace: en el caso que la ruta seleccionada tuviera varios cables o radioenlaces, se escogerá de entre éstos, el que presente mejores características de transmisión y una mayor fiabilidad (mayor tiempo medio entre fallas).

Selección del sistema de transmisión: dentro del conjunto de sistemas de transmisión soportados por el cable o radioenlace (radiocanal), se elegirá el que presente una mayor fiabilidad (mayor tiempo medio entre fallas) y en el que el número de segregaciones intermedias entre los dos nodos sea mínimo..

Selección del enlace a 2 Mbps: elegido el sistema de transmisión, se tomará un único enlace a 2 Mbps de ese sistema , con o sin tráfico de la red de telecomunicaciones, para realizar la función de enlace de sincronización del nodo en cuestión. Únicamente se tomará más de un enlace de sincronización dentro de un mismo sistema cuando correspondan a distintos nodos de referencia y no haya posibilidad de establecer cada uno de estos enlaces de sincronización por sistemas de transmisión diferentes.

c. Criterios para la asignación del orden de prioridad a los diferentes enlaces de sincronización de un nodo.

La asignación del orden de prioridad a los diferentes enlaces de sincronización que un nodo tiene con sus nodos de referencia, se realizará según los siguientes criterios:

- Los enlaces de sincronización de mayor prioridad serán los que se haya establecido con el nodo de primera elección. A continuación seguirán los que se hayan establecido con el nodo de referencia de segunda elección o nodo de reserva.
- Para asignar el orden de prioridad a los distintos enlaces que un determinado nodo tiene con un mismo nodo de referencia, se procederá de la siguiente manera:

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

- Los sucesivos enlaces de sincronización en orden de prioridad deberán pertenecer a una ruta diferente o a un cable o radioenlace diferente que el anterior enlace de sincronización en orden de prioridad. Deberá considerarse el orden de preferencia mencionado para la selección de una ruta (cable/radioenlace, según sea el caso).

- Cuando sea necesario establecer varios enlaces de sincronización por un mismo cable, deberán pertenecer a sistemas de transmisión diferentes. En este caso, la asignación del orden de prioridad de estos enlaces de sincronización se hará considerando la fiabilidad de los sistemas seleccionados.

VII. CONCLUSIONES

- A. La Red Nacional de Distribución de la Señal de Sincronismo deberá trabajar en modo plesiócrono en el plano internacional y utilizar el método de sincronización maestro-esclavo jerárquico en el plano nacional.
- B. La Red Nacional de Distribución de la Señal de Sincronismo deberá basarse en un modelo jerárquico verdadero. Dentro de este modelo, podrán distinguirse una serie de relojes pertenecientes a diferentes niveles o estratos, en función de la calidad de los mismos.
- C. La Referencia Primaria de la Red deberá estar constituida por un reloj con características de estrato 1. Deberán emplearse, cuando menos, dos (2) relojes atómicos de haz de cesio. La Referencia Secundaria de la Red, también con características de estrato 1, deberá formarse a partir de una señal de temporización proveniente de la Referencia Primaria de la Red y otra de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés).
- D. Las Referencias Primaria y Secundaria de la Red deberán ubicarse en los mismos nodos donde se encuentran los centros de conmutación internacionales.
- E. El sistema de relojes subordinados deberá estar formado por relojes de estrato 2 y 3. Los relojes correspondientes al estrato 4 definido por ANSI, no deberán emplearse para fines de distribución de la señal de temporización, por lo que su aplicación será únicamente en centrales privadas.
- F. Para poder transportar la referencia de sincronización a partir de la Referencia Primaria, deberán asignarse, siguiendo un criterio de diversidad, diferentes enlaces de 2,048 Kbps.

- G. La introducción del concepto de Fuente de Temporización Integrada para Edificio (BITS, por su siglas en inglés) en la Red Nacional de Sincronización, permitirá simplificar la estructura de la red, optimizar los recursos asignados a sincronización, reducir costos, obtener mayor confiabilidad y simplificar la administración, supervisión y mantenimiento de la red.

- H. Al aplicar el concepto de BITS, cada nodo subordinado deberá equiparse con un generador de señales de temporización (TSG por sus siglas en inglés) con capacidad de detectar, recuperar y reproducir la señal de referencia de temporización entrante.

VIII. RECOMENDACIONES

- A. Se recomienda aplicar el concepto de Fuente de Temporización Integrada para Edificio (BITS, por sus siglas en inglés), en función de las ventajas que presenta. Además, se considera necesario atender los requerimientos establecidos para relojes primarios y subordinados, y aplicar los diferentes criterios de elección para los nodos y enlaces de sincronización.
- B. Es necesario que se realice un programa de supervisiones periódicas de la calidad del sincronismo, tanto en el nodo de la Referencia Nacional como en los diferentes nodos subordinados, con el fin de asegurar que la red digital opere de acuerdo a los objetivos de calidad esperados. Además, es necesario considerar el comportamiento de los medios de transmisión que transportan la señal de sincronismo.

Las supervisiones incluyen el monitoreo de los siguientes parámetros, principalmente:

- Desviación de frecuencia
- Fluctuación lenta de fase
- Fluctuación de fase
- Tasa de deslizamientos
- Tasa de errores (BER)

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Libros de texto:

- a. Guatemala. Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones. Comunicación Nacional. Capítulo 13: Sincronización de Señales Digitales. 25 pp.
- b. Lemus, R. Conmutación digital. Guatemala, Standard Eléctrica S.A. 21 pp.
- c. Northern Telecom. Synchronous transmission systems. 1992 England, Northern Telecom Europe Limited. 112pp.

2. Publicaciones de Empresas de Telecomunicaciones:

- a. A.H.C.I.E.T.. Digital synchronization plan: 1991 Puerto Rico Telephone Company (PRTC). Puerto Rico, A.H.C.I.E.T., Commission B.
- b. ERICSSON. Synchronization. Training 1984 Document. Sweden, ERICSSON. 30pp.
- c. España. Telefónica, tecnología y normativa 1988 técnica. Norma fundamental de sincronización. 95 pp.
- d. Guatemala. Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones. 1994 Plan de desarrollo de la red de sincronización. Grupo de Planeamiento, GUATEL.

- e. Longwill, J. Telecom solutions building
1992 integrated timing supply. U.S.A., Telecom
Solutions. 42pp.
- f. Murillo, G. Plan de sincronización.
1987 Costa Rica, Instituto Costarricense de
Electricidad (ICE). 33 pp.
- g. Thorner, K. Network synchronization planning
instruction. Sweden, ERICSSON
- h. Wandel & Goltermann. Constelación de satélites GPS.
1994 Guatemala, Wandel & Goltermann Co. 2pp.
- i. Wandel & Goltermann. Sincronización en
1994 telecomunicaciones. Guatemala, Waldel &
Goltermann Co. 24pp.
- j. American Telephone and Telegraph Company. Digital
1983 synchronization network plan. Technical
Reference PUB 60110. U.S.A., American Telephone
and Telegraph Company.
- k. BELL Communications Research, Inc. Timing Signal
1986 Generator (TSG). Requirements and
Objectives. Technical Advisory - TA-TSY-000378.
U.S.A., Bell Communications Research, Inc.
- l. Comité Consultivo Internacional Telegráfico y
Telefónico (CCITT). Unión Internacional de
Telecomunicaciones (UIT). Recomendaciones:
1989 G.703, G.810, G.811, G.812, G.822 y G.823.
Suiza, CCITT-UIT. Tomo III.
- m. Mossor, J. Contribution by telecom solutions
1991 to A.H.C.I.E.T. on network synchronization.
U.S.A., Telecom Solutions.

CRITERIOS DE SINCRONIZACION PARA LA RED NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA

- n. Telecom Solutions. Introduction to BITS (Building Integrated Timing System), TSG (Timing Signal Generator). U.S.A., Telecom Solutions.

3. Manuales:

- a. Oscilloquartz S.A. Cesium beam frequency 1987 oscillator. Model 3000, operating & instruction manual. Switzerland, Oscilloquartz S.A.

4. Revistas:

- a. ALCATEL. Comunicaciones eléctricas. SDH/SONET 1993 y comunicaciones de empresa. Francia, ALCATEL.

5. Artículos:

- a. Avery, R. Why deploy BITS? (and use a 1988 TSG as the office clock). U.S.A., Telecom Solutions.
- b. Avery, R. Strategies for synchronization in 1992 an evolving telecommunication network. England, Telecom Solutions Europe Ltd. 5pp.
- c. Ballart, R. y Y. Chau. SONET: now it's 1989 the Standard Optical Network. IEEE Communications Magazine.
- d. Bell-Northern Research. Synchronization of a 1980 digital network. Canadá, IEEE Transaction on Communications.

- e. GTE Telephone Operations. Digital network
1992 synchronization. GTE Telephone Operations.
20pp.
- f. Telecom Solutions. Network synchronization.
1989 U.S.A., Telecom Solutions.
- g. Telecom Solutions. Loran-C vs GPS. Which
1990 primary reference source for the
telecommunication industry?. U.S.A., Telecom
Solutions. 5pp.
- h. Telecom Solutions. New directions in network
1991 synchronization. U.S.A., Telecom Solutions.
- i. Telecom Solutions. Guidelines for network
1992 characterization. U.S.A., Telecom Solutions.
- j. Telecom Solutions. Network synchronization
1992 characterization. U.S.A, Telecom Solutions.
- k. Telecom Solutions. Timing stability types and
1992 measurements. U.S.A., Telecom Solutions.

6. Seminarios:

- a. SIEMENS. Seminario SDH. SIEMENS, Guatemala.
1993
- b. ALCATEL. Seminario SDH. ALCATEL, Guatemala.
1993
- c. Wandel & Goltermann. Seminario taller de
1994 tecnología digital síncrona.
Wandel & Goltermann, Panamá.

7. Conferencias:

- a. Sincronización. Wandel & Goltermann,
1994 Guatemala.

GLOSARIO

Atenuación: disminución de energía que sufre una señal en el curso de su transmisión o paso a través del equipo, la línea o el espacio.

Cable: conjunto de portadores físicos convenientemente aislados entre sí y protegidos del exterior por un revestimiento aislante común a todos ellos.

Central: conjunto de dispositivos de transporte de tráfico, de etapas de conmutación, de medios de control y señalización y de otras unidades funcionales en un nodo de la red, que permite la interconexión de líneas de abonado, circuitos de telecomunicaciones y/u otras unidades funcionales, según lo requieren los usuarios individuales.

Deslizamientos: pérdidas o duplicaciones de grupos de bits de una señal digital, debidas a que las velocidades de escritura de los flujos digitales en las memorias de entrada de los diferentes equipos, no son idénticas a las velocidades con las que se leen los bits de esas memorias antes de procesarlos.

Desviación de frecuencia: desplazamiento en la frecuencia a largo plazo de una señal de temporización respecto de su frecuencia ideal.

Enlace de sincronización: constituye cualquier enlace digital a 2 Mbps entre dos nodos de sincronización del que, en uno de los dos nodos, se extrae una señal de temporización que sirve de referencia para sincronizar los equipos contenidos en él.

Estabilidad: es el grado al cual un reloj producirá la misma frecuencia durante un período de tiempo una vez establecida la operación continua. (Dimensión: 1/tiempo).

Exactitud: (o precisión) es el grado al cual la frecuencia de un reloj corresponde a la frecuencia de un estándar primario. (adimensional).

Fluctuación de fase: se entiende por fluctuación de fase de una señal digital, las variaciones de los instantes significativos de esa señal con relación a las posiciones que teóricamente debieran ocupar en el tiempo.

Interfaz: frontera común entre dos sistemas asociados.

Memoria elástica: es una memoria de almacenamiento que se utiliza para compensar la diferencia de fase entre el reloj de escritura y lectura.

Métodos de sincronización: se llaman así a cada una de las distintas técnicas que se pueden aplicar en una red, para conseguir que todos los relojes, que proporcionan la temporización de los distintos nodos, tengan una misma frecuencia media y unos desplazamientos relativos de fase dentro de ciertos márgenes.

Modulación: proceso por el cual la amplitud, la frecuencia o la fase de una señal es variada.

Modulación por Impulsos Codificados (MIC): proceso en el cual se muestrea una señal, y la amplitud de cada muestra se cuantifica independientemente de otras muestras y se convierte por codificación en una señal digital.

Multiplexor: dispositivo capaz de transmitir simultáneamente varias comunicaciones por el mismo enlace.

Nodo local: nodo de red que enlaza el interfaz directamente con el equipo de usuario.

Nodo de sincronización: se refiere a cualquier central o grupo de centrales digitales de la red.

Nodo de tránsito: nodo de red que enlaza con otros nodos y no directamente con el equipo de usuario.

Radiocanal: gama de frecuencias determinada que se emplea en la transmisión de radio.

Radioenlace: cada tramo de transmisión desde un transmisor al receptor siguiente en un sistema de radio.

Red Digital: red compuesta por equipos de conmutación y de transmisión capaces de interconectar circuitos digitales.

Red de sincronización: se denomina así al conjunto y configuración de nodos de sincronización y enlaces de sincronización de una red digital.

Reloj: equipo que proporciona una señal de temporización.

Reloj de Referencia Primaria: reloj de referencia que proporciona una señal de temporización con una desviación de frecuencia a largo plazo mantenida en un valor de 1×10^{-11} o mejor con verificación con respecto al Tiempo Universal Coordinado (UTC).

Reloj Subordinado: reloj cuya salida de temporización está enganchada en fase a la señal de temporización recibida de un reloj de calidad superior.

Ruta digital: se entiende por ruta digital entre dos nodos, un radioenlace digital o un conjunto de cables que soporten sistemas de transmisión digital.

Señal de temporización: señal cíclica que se emplea para controlar la temporización de las operaciones de un equipo digital.

Sincronización: proceso de ajustar los instantes significativos correspondientes de dos señales con el objeto de que tengan la misma frecuencia y un desfase dentro de ciertos límites.

Sistema de transmisión: conjunto de elementos utilizados para el transporte de un grupo digital, de un cierto nivel jerárquico, de un punto a otro de la red.

Tasa de deslizamientos: concepto utilizado para valorar y cuantificar los deslizamientos que se producen en una conexión digital. Representa el número de deslizamientos que se producen por unidad de tiempo.