



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.812

(06/2004)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Redes digitales – Objetivos de diseño para las redes
digitales

**Requisitos de temporización de relojes
subordinados adecuados para utilización como
relojes de nodo en redes de sincronización**

Recomendación UIT-T G.812

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
Generalidades	G.800–G.809
Objetivos de diseño para las redes digitales	G.810–G.819
Objetivos de calidad y disponibilidad	G.820–G.829
Funciones y capacidades de la red	G.830–G.839
Características de las redes con jerarquía digital síncrona	G.840–G.849
Gestión de red de transporte	G.850–G.859
Integración de los sistemas de satélite y radioeléctricos con jerarquía digital síncrona	G.860–G.869
Redes ópticas de transporte	G.870–G.879
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN - ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.812

Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización

Resumen

La presente Recomendación describe los requisitos mínimos para dispositivos de temporización utilizados como relojes de nodo en redes de sincronización. Los requisitos están relacionados con la desviación de frecuencia; gamas de enganche, de retención y de desenganche; generación, tolerancia y transferencia de ruido; respuesta de componentes transitorios y funcionamiento en régimen libre. Los relojes de nodo son apropiados para aplicaciones en redes SDH y RTPC.

Esta Recomendación incluye especificaciones para tres relojes. El reloj tipo I está previsto principalmente para utilización en redes optimizadas para la jerarquía 2048 kbit/s. Los relojes tipos II y III se prevén esencialmente para utilización en redes optimizadas para la jerarquía 1544 kbit/s particular que incluye las velocidades 1544 kbit/s, 6312 kbit/s y 44 736 kbit/s.

Asimismo, esta Recomendación incluye especificaciones para tres relojes en el anexo A. El reloj tipo IV se utiliza comúnmente en redes existentes que soportan la jerarquía 1544 kbit/s. Los relojes de tipos V y VI se definieron para aplicaciones en nodos de tránsito y locales en la versión de 1988 de esta Recomendación.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.812 fue aprobada el 13 de junio de 2004 por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

Palabras clave

Característica de fluctuación de fase; objetivos de calidad de funcionamiento de reloj; parámetros de calidad de funcionamiento de reloj; reloj de nodo característica de fluctuación lenta de fase.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2005

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Tipos y aplicaciones de relojes de nodo	1
2.1 Consideraciones de redes de sincronización	1
2.2 Tipos de aplicaciones de relojes de nodo	2
3 Referencias	3
4 Definiciones.....	4
5 Abreviaturas, siglas o acrónimos	4
6 Exactitud de frecuencia.....	4
7 Gamas de enganche, de retención y de desenganche	5
8 Generación de ruido.....	5
8.1 Fluctuación lenta de fase en modo enganchado	5
8.2 Fluctuación lenta de fase no enganchada	7
8.3 Fluctuación de fase	8
9 Tolerancia de ruido	9
9.1 Tolerancia de fluctuación lenta de fase	9
9.2 Tolerancia de fluctuación de fase	13
10 Transferencia de ruido	14
11 Respuesta de componentes transitorios y funcionamiento en régimen libre.....	16
11.1 Respuesta de componentes transitorios de fase a corto plazo	16
11.2 Respuesta de componentes transitorios de fase a largo plazo (régimen libre)	18
11.3 Respuesta de fase a interrupciones de la señal de entrada.....	20
11.4 Discontinuidad de fase	20
12 Interfaces.....	21
Anexo A – Especificaciones para relojes tipos IV, V y VI.....	22
A.1 Exactitud de frecuencia	22
A.2 Gamas de enganche, de retención y de desenganche	22
A.3 Generación de ruido	22
A.4 Tolerancia de ruido.....	26
A.5 Transferencia de ruido	30
A.6 Respuesta de componentes transitorios y funcionamiento en régimen libre..	31
A.7 Interfaces	35
Apéndice I – Relación entre la desviación de tiempo (TDEV) y la densidad espectral de potencia.....	36
Apéndice II – Método de medición de la transferencia de ruido	38
II.1 Sistema de medición.....	38
II.2 Modelo funcional del generador de ruido de la TDEV	39

Recomendación UIT-T G.812

Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización

1 Alcance

La presente Recomendación describe los requisitos mínimos para dispositivos de temporización utilizados como relojes de nodo en redes de sincronización. La función de un reloj de nodo es seleccionar uno de los enlaces de sincronización externa que se reciben en una estación de telecomunicaciones como referencia de sincronización activa, atenuar su fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase y distribuir posteriormente la diferencia al equipo de telecomunicación de la estación. Los requisitos de esta Recomendación se aplican en condiciones ambientales normales especificadas para equipos de telecomunicaciones.

Esta Recomendación especifica relojes de nodo apropiados para aplicaciones en redes SDH y RTPC. Pueden proporcionar calidad de funcionamiento aceptable para otras aplicaciones, pero este asunto se debe investigar para cada caso en particular.

En operación normal un reloj de nodo funciona como un reloj subordinado asociado a un reloj de referencia primario. Por razones de redundancia un reloj de nodo tendrá en general múltiples entradas de referencia. En el caso que todos los enlaces entre el reloj o relojes maestros y el reloj de nodo tuvieran fallos, éste debe poder mantener el funcionamiento dentro de los límites de calidad prescritos (modo de funcionamiento en régimen libre).

Un reloj de nodo puede ser un elemento del equipo separado denominado equipo de sincronización autónomo (SASE, *stand alone synchronization equipment*) o puede ser parte de otro equipo tal como una central telefónica o una transconexión SDH.

Esta Recomendación define 6 tipos de relojes. Las aplicaciones de cada tipo de reloj se describen en la cláusula 2.

2 Tipos y aplicaciones de relojes de nodo

2.1 Consideraciones de redes de sincronización

El diseño de redes de sincronización no está, en general, normalizado. Los principios de sincronización de redes SDH se describen en la Rec. UIT-T G.803. Algunos de esos principios se pueden tomar como reglas de diseño general para redes de sincronización.

Los requisitos de sincronización para relojes de nodo en un entorno RTPC pueden, en principio, estar derivados de los objetivos de tasas de deslizamientos controlados conforme a la Rec. UIT-T G.822. Hay tres elementos que determinan si pueden llevarse a cabo los objetivos de la Rec. UIT-T G.822:

- la estabilidad de los relojes en régimen libre;
- la topología de la red (por ejemplo longitud, encaminamiento y redundancia de las referencias); y
- las prácticas operacionales del operador (es decir tiempo medio de reparación).

En esta Recomendación sólo se trata el primer elemento. Los proveedores de red pueden escoger la utilización de tipos de relojes en particular en su proyecto de sincronización con el objeto de armonizar su topología de red y prácticas operativas.

Los requisitos de sincronización para relojes de nodo en un entorno SDH están determinados principalmente por las especificaciones de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase que figuran en las Recs. UIT-T G.823, G.824 y G.825. En razón que los relojes de equipos SDH (según se especifica en la Rec. UIT-T G.813) tienen sólo capacidades de filtro limitadas y, al mismo tiempo, necesidad de mantener sus salidas STM-N y PDH de conformidad con las Recs. UIT-T G.823, G.824 y G.825, los componentes transitorios de fase a la salida de los relojes de nodo deben satisfacer las especificaciones que son más rigurosas que lo estrictamente necesario para el equipo de transporte PDH simple.

NOTA – Como las anchuras de banda de los relojes de equipo SDH son más amplias en redes basadas en la jerarquía 2048 kbit/s en comparación con las basadas en la jerarquía 1544 kbit/s (como se describe en la Rec. UIT-T G.813 opción 1 y opción 2, respectivamente), los requisitos de componentes transitorios de fase a la salida son correspondientemente menos rigurosos para relojes de nodo instalados en entornos de jerarquía 2048 kbit/s.

2.2 Tipos de aplicaciones de relojes de nodo

Esta Recomendación incluye especificaciones para tres relojes. El reloj tipo I está previsto principalmente para utilización en redes optimizadas para la jerarquía 2048 kbit/s. Los relojes tipos II y III se prevén esencialmente para utilización en redes optimizadas para la jerarquía 1544 kbit/s particular que incluye las velocidades 1544 kbit/s, 6312 kbit/s y 44 736 kbit/s.

El reloj tipo I se puede utilizar en todos los niveles de la jerarquía de sincronización en redes basadas en 2048 kbit/s. La generación de fluctuación lenta de fase y anchura de banda de los relojes tipo I se limitan a valores que permiten la instalación del número máximo de relojes de nodo conforme a la cadena de referencia de red de sincronización como se define en la Rec. UIT-T G.803. Si bien el reloj tipo I se prevé principalmente para su utilización en redes que soportan la jerarquía 2048 kbit/s, este tipo de reloj también se puede instalar en redes basadas en 1544 kbit/s siempre que su gama de enganche, generación de ruido y tolerancia al ruido (véanse las cláusulas 7, 8 y 9) satisfagan como mínimo los requisitos más rigurosos que se aplican a relojes tipos II y III con el objeto de ser compatibles con relojes de equipos SDH construidos conforme a la Rec. UIT-T G.813, opción 2.

El reloj tipo II tiene una especificación de estabilidad de régimen libre más exigente que el reloj tipo I. Se utiliza comúnmente en centros de distribución en redes que soportan la jerarquía 1544 kbit/s mencionada anteriormente. Los relojes tipo II tienen una especificación de estabilidad de régimen libre suficiente para funcionar con una sola referencia a los niveles más elevados de la jerarquía de sincronización. Si bien un reloj tipo II está diseñado principalmente para utilización en redes que soportan la jerarquía 1544 kbit/s, un reloj con especificaciones de régimen libre del tipo II también puede ser utilizado en redes basadas en 2048 kbit/s en la medida en que su generación de ruido, tolerancia de ruido y comportamiento con componentes transitorios (véanse las cláusulas 8, 9, 11.1 y 11.4) satisfagan los requisitos más rigurosos que se aplican a relojes de tipo I con el objeto de que sean compatibles con relojes de equipos SDH construidos conforme a la Rec. UIT-T G.813, opción 1.

El reloj tipo III tiene requisitos de estabilidad de régimen libre menos rigurosos que los relojes tipo I y tipo II. Se utiliza generalmente en oficinas de extremo en redes que soportan la jerarquía 1544 kbit/s mencionada anteriormente. Como el reloj tipo II, un reloj con estabilidad de régimen libre del tipo III también se puede utilizar en redes basadas en 2048 kbit/s en la medida en que su generación de ruido, tolerancia de ruido y comportamiento de componentes transitorios (véanse las cláusulas 8, 9, 11.1 y 11.4) satisfagan los requisitos más rigurosos que se aplican al reloj tipo I cuando se utiliza para sincronizar equipos SDH.

Asimismo, esta Recomendación incluye especificaciones para tres relojes en el anexo A.

El reloj tipo IV se utiliza comúnmente en redes existentes que soportan la jerarquía 1544 kbit/s mencionada anteriormente. Cuando los relojes con características de régimen libre del tipo IV se

incorporan en equipos SDH en esta jerarquía, se deben satisfacer también los requisitos que figuran en la Rec. UIT-T G.813, opción 2.

El reloj tipo V se utiliza generalmente en nodos de tránsito existentes de redes basadas en las jerarquías 1544 kbit/s y 2048 kbit/s conformes a las especificaciones de la versión 1988 de esta Recomendación. Se debe observar que estos relojes son perfectamente adecuados para la sincronización de redes SDH basadas en 2048 kbit/s siempre que satisfagan como mínimo los requisitos sobre generación de ruido y estabilidad a corto plazo (véanse las cláusulas 8, 11.1 y 11.4) de los relojes tipo I.

El reloj tipo VI se utiliza generalmente en nodos locales existentes de redes basadas en la jerarquía 2048 kbit/s conforme a las especificaciones de la versión 1988 de esta Recomendación. Igual que para relojes de tipo V, los relojes con características de estabilidad de régimen libre del tipo VI se pueden utilizar para la sincronización de redes SDH en la medida en que satisfagan como mínimo los requisitos de generación de ruido y estabilidad a corto plazo (véanse las cláusulas 8, 11.1 y 11.4) del reloj tipo I.

3 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [1] Recomendación UIT-T G.703 (2001), *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas*.
- [2] Recomendación UIT-T G.783 (2004), *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona*.
- [3] Recomendación UIT-T G.801 (1988), *Modelos de transmisión digital*.
- [4] Recomendación UIT-T G.803 (2000), *Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona*.
- [5] Recomendación UIT-T G.810 (1996), *Definiciones y terminología para redes de sincronización*.
- [6] Recomendación UIT-T G.811 (1997), *Características de temporización de los relojes de referencia primarios*.
- [7] Recomendación UIT-T G.813 (2003), *Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona*.
- [8] Recomendación UIT-T G.822 (1988), *Objetivos de tasa de deslizamientos controlados en una conexión digital internacional*.
- [9] Recomendación UIT-T G.823 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s*.
- [10] Recomendación UIT-T G.824 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 1544 kbit/s*.
- [11] Recomendación UIT-T G.825 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona*.

[12] Recomendación UIT-T Q.551 (2002), *Características de transmisión de las centrales digitales*.

4 Definiciones

Los términos y definiciones utilizados en esta Recomendación están contenidos en la Rec. UIT-T G.810.

5 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

CMI	Inversión de marcas codificadas (<i>coded mark inversion</i>)
MTIE	Máximo error en el intervalo de tiempo (<i>maximum time interval error</i>)
NE	Elemento de red (<i>network element</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
ppm	Partes por millón (<i>parts per million</i>)
PRBS	Secuencia binaria pseudoaleatoria (<i>pseudo random binary sequence</i>)
PRC	Reloj de referencia primario (<i>primary reference clock</i>)
PSD	Densidad espectral de potencia (<i>power spectral density</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SASE	Equipo de sincronización autónomo (<i>stand alone synchronization equipment</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SEC	Reloj de equipo de SDH (<i>SDH equipment clock</i>)
SSU	Unidad de suministro de sincronización (<i>synchronization supply unit</i>)
STM	Módulo de transporte síncrono (<i>synchronous transport module</i>)
TDEV	Desviación de tiempo (<i>time deviation</i>)
UI	Intervalo unitario (<i>unit interval</i>)

6 Exactitud de frecuencia

En condiciones de régimen libre prolongadas, la exactitud de la frecuencia de salida de los diversos tipos de relojes de nodo no deben exceder los valores indicados en el cuadro 1 con respecto a una referencia asociada a un reloj de referencia primario durante un periodo de tiempo T como se indica en el mismo cuadro.

Cuadro 1/G.812 – Requisitos de exactitud de frecuencia de salida

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

7 Gamas de enganche, de retención y de desenganche

Las gamas mínimas de enganche, de retención y de desenganche para los diversos tipos de relojes de nodo deben ser conformes al cuadro 2, cualquiera que sea el desplazamiento de frecuencia del oscilador interno.

Cuadro 2/G.812 – Requisitos de enganche, retención y desenganche

	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Enganche	1×10^{-8}	1.6×10^{-8}	4.6×10^{-6}
Retención	NA	1.6×10^{-8}	4.6×10^{-6}
Desenganche	TBD	NA	NA
NA	No aplicable		
TBD	Por definir		

8 Generación de ruido

La generación de ruido de un reloj subordinado representa la cantidad de ruido de fase producida a la salida cuando hay una señal de referencia de entrada ideal o el reloj se encuentra en el estado de régimen libre (véase 11.2). Una referencia adecuada para fines de prueba prácticos implica un nivel de comportamiento 10 veces más estable como mínimo que los requisitos de salida. La capacidad del reloj para limitar este ruido se describe por su estabilidad de frecuencia. Las mediciones del MTIE y de la desviación de tiempo (TDEV, *time deviation*) son útiles para la caracterización de la característica de generación de ruido.

Los valores de MTIE y TDEV se miden a través de un filtro de medición de paso bajo de primer orden de 10 Hz equivalente, con un tiempo de muestreo máximo τ_0 de 1/30 segundos. El periodo de medición mínimo para TDEV es 12 veces el periodo de integración ($T = 12 \tau$).

8.1 Fluctuación lenta de fase en modo enganchado

Cuando el reloj subordinado funciona en el modo enganchado, el MTIE a temperatura constante (dentro de ± 1 K) medido de acuerdo con la configuración de reloj sincronizado definido en la figura 1-a/G.810 debe tener los límites indicados en los cuadros 3 y 4 para los diversos tipos de relojes de nodo.

Cuadro 3/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) para reloj de nodo tipo I con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
24	$0.1 < \tau \leq 9$
$8 \times \tau^{0.5}$	$9 < \tau \leq 400$
160	$400 < \tau \leq 10\,000$

Cuadro 4/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) para relojes de nodo tipos II y III con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
40	$0,1 < \tau \leq 1$
$40 \times \tau^{0.4}$	$1 < \tau \leq 10$
100	$\tau > 10$

Cuando se incluyen los efectos de la temperatura cuyos límites y rapidez de cambio se deben definir, la tolerancia para la contribución total del MTIE de un solo reloj de nodo tipo I viene dado por los valores del cuadro 5.

Cuadro 5/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase total (MTIE) para reloj de nodo tipo I con temperatura variable

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
$3,2 \tau^{0.5}$	$2500 < \tau \leq 10\ 000$

NOTA – Para periodos de observación mayores que 10 000 s, se espera que el MTIE no será superior a 1 μ s.

En la figura 1 se muestran los requisitos resultantes.

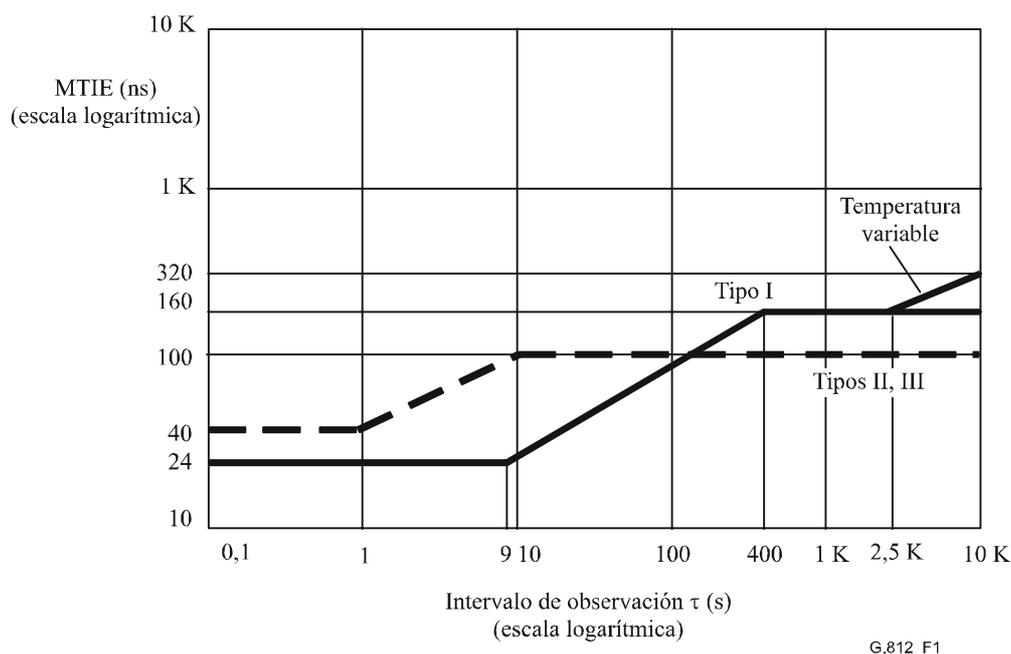


Figura 1/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE)

Cuando el reloj de nodo funciona en modo enganchado, la TDEV con temperatura constante (dentro de ± 1 K) medido utilizando la configuración de reloj sincronizado definida en la figura 1-a/G.810, debe tener los límites indicados en los cuadros 6 y 7 para los diversos tipos de reloj de nodo.

Cuadro 6/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) para reloj de nodo tipo I con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

Límite de TDEV (ns)	Intervalo de observación τ (s)
3	$0,1 < \tau \leq 25$
$0,12 \tau$	$25 < \tau \leq 100$
12	$100 < \tau \leq 10\ 000$

Cuadro 7/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) para relojes de nodo tipos II y III con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

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

Los requisitos resultantes se muestran en la figura 2.

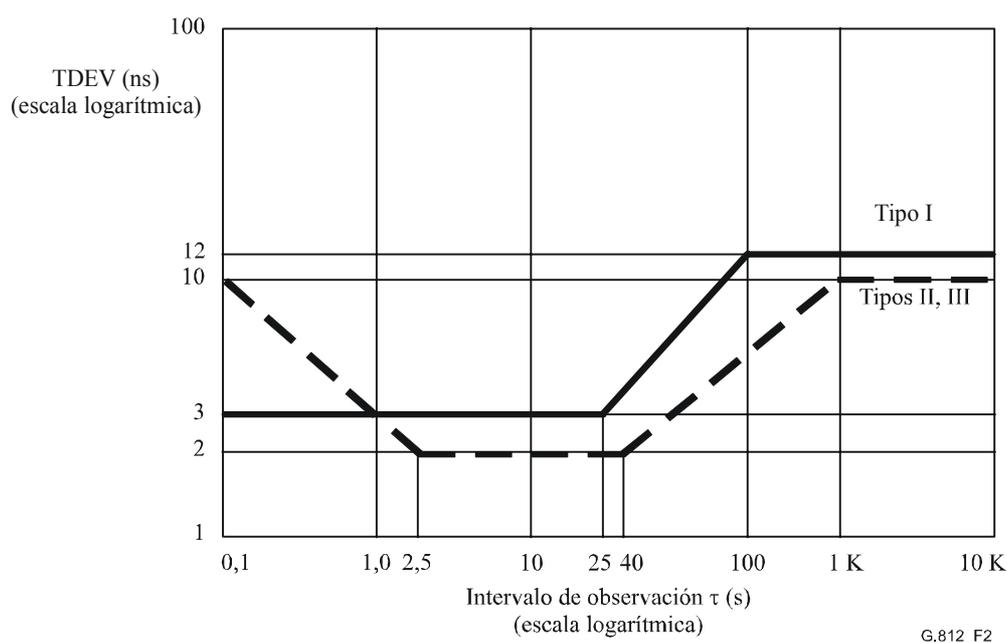


Figura 2/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) con temperatura constante

8.2 Fluctuación lenta de fase no enganchada

Cuando un reloj no está enganchado a una referencia de sincronización, los componentes de ruido aleatorio son despreciables comparados con un efecto determinístico como el desplazamiento de frecuencia inicial. En consecuencia, los efectos de fluctuación lenta de fase no enganchada se incluyen en 11.2.

8.3 Fluctuación de fase

Si bien la mayoría de los requisitos indicados en esta Recomendación son independientes de la interfaz de salida en la cual se miden, éste no es el caso para la producción de fluctuación de fase; los requisitos para la generación de fluctuación de fase utilizan Recomendaciones existentes que tienen diferentes límites para distintas velocidades de interfaz. Estos requisitos se indican separadamente para las interfaces identificadas en la cláusula 12. Por razones de coherencia con otros requisitos de fluctuación de fase, los valores se indican en intervalos unitarios cresta a cresta, donde el intervalo unitario corresponde a la recíproca de la velocidad binaria de la interfaz.

Obsérvese que todos los valores de filtro para interfaces STM-N especificados en esta cláusula han sido armonizados con los valores de filtro para el límite de red especificado en la Rec. UIT-T G.825.

NOTA – Debido a la naturaleza estocástica de la fluctuación de fase, los valores cresta a cresta indicados en esta cláusula posiblemente se rebasen. Por consiguiente, los requisitos se deben cumplir por lo menos en el 99% de todas las mediciones efectuadas.

8.3.1 Fluctuación de fase de salida en interfaces a 2048 kHz y 2048 kbit/s

Cuando no hay fluctuación de fase a la entrada, la fluctuación de fase intrínseca a 2048 kHz y las interfaces de salida a 2048 kbit/s medidas durante un intervalo de 60 segundos no deben exceder de 0,05 UI p-p (intervalo unitario cresta a cresta) cuando se miden a través de un filtro paso banda unipolar con frecuencias de esquina en 20 Hz y 100 kHz.

8.3.2 Fluctuación de fase de salida a una interfaz de 1544 kbit/s

Cuando no hay fluctuación de fase de entrada, la fluctuación de fase intrínseca en una interfaz de salida a 1544 kbit/s no debe exceder de 0,05 UI p-p cuando se mide a través de un filtro paso banda unipolar con frecuencias de esquina en 10 Hz y 40 kHz. El intervalo de medición queda en estudio.

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

Cuando no hay fluctuación de fase de entrada en la interfaz de sincronización, la fluctuación de fase intrínseca en interfaces de salida STM-N ópticas medidas durante un intervalo de 60 segundos no deberá exceder de los límites indicados en el cuadro 8. La fluctuación de fase admitida en una interfaz (CMI) eléctrica STM-1 también se indica en el cuadro 8.

El régimen de caída del filtro de medición a la frecuencia de corte inferior será de 20 dB/década y el régimen de caída a la frecuencia de corte superior será de 60 dB/década. La característica del régimen de caída del filtro de corte superior queda en estudio.

Cuadro 8/G.812 – Generación de fluctuación de fase STM-N

Interfaz	Filtro de medición (frecuencias de -3 dB)	Amplitud cresta a cresta (UI)
STM-1 eléctrico	500 Hz a 1,3 MHz	0,50
	65 kHz a 1,3 MHz	0,075
STM-1 óptico	500 Hz a 1,3 MHz	0,50
	65 kHz a 1,3 MHz	0,10
STM-4	1000 Hz a 5 MHz	0,50
	250 kHz a 5 MHz	0,10
STM-16	5000 Hz a 20 MHz	0,50
	1 MHz a 20 MHz	0,10
Para STM-1: 1 UI = 6,43 ns. Para STM-4: 1 UI = 1,61 ns. Para STM-16: 1 UI = 0,40 ns.		

9 Tolerancia de ruido

La tolerancia de ruido de un reloj G.812 indica el límite inferior del nivel de ruido de fase máximo a la entrada del reloj al que se debe ajustar mientras:

- El reloj se mantiene dentro de los límites de funcionamiento especificados. Estos límites exactos quedan en estudio.
- No origine ninguna alarma.
- No origine la conmutación de referencia del reloj.
- No origine el pase al régimen libre del reloj.

En general, la tolerancia de ruido del reloj G.812 es igual que el límite de red para la interfaz de sincronización con miras a mantener un funcionamiento aceptable. Sin embargo, el límite de red de la interfaz de sincronización puede ser diferente según la aplicación. Por consiguiente, para determinar la tolerancia de ruido del reloj subordinado, se debe utilizar el límite de red del caso más desfavorable. En el apéndice I/G.813 figura la explicación de los diferentes límites de red para una cabida útil aceptable, con fines de información.

Las tolerancias de fluctuación lenta de fase y fluctuación de fase indicadas en 9.1 y 9.2 representan los niveles más desfavorables que debe presentar una interfaz que transporta sincronización. La señal TDEV utilizada para una prueba de conformidad se debe generar añadiendo fuentes de ruido gaussiano blanco, cada una de las cuales ha sido filtrada para obtener el tipo de ruido apropiado con la amplitud adecuada. En el apéndice II se proporcionan orientaciones.

Los valores de MTIE y TDEV se miden a través de un filtro de medición de paso bajo de primer orden de 10 Hz equivalente, en un tiempo de muestreo máximo τ_0 de 1/30 segundos. El periodo de medición mínimo para TDEV es doce veces el periodo de integración ($T = 12 \tau$).

9.1 Tolerancia de fluctuación lenta de fase

9.1.1 Tolerancia de fluctuación lenta de fase MTIE

La tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada del reloj G.812 expresada en límites de MTIE se indica en el cuadro 9 para relojes de nodo tipo I y en el cuadro 10 para relojes de nodo tipos II y III.

Cuadro 9/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) para relojes de nodo tipo I

Límite de MTIE (μs)	Intervalo de observación τ (s)
0,75	$0,1 < \tau \leq 7,5$
$0,1 \tau$	$7,5 < \tau \leq 20$
2	$20 < \tau \leq 400$
$0,005 \tau$	$400 < \tau \leq 1000$
5	$1000 < \tau \leq 10\ 000$

Cuadro 10/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) para relojes de nodo tipos II y III

Límite de MTIE (μs)	Intervalo de observación τ (s)
$0,3 + 0,0025 \tau$	$0,05 < \tau \leq 280$
$0,997 + 0,00001 \tau$	$\tau > 280$

Los requisitos resultantes se muestran en la figura 3.

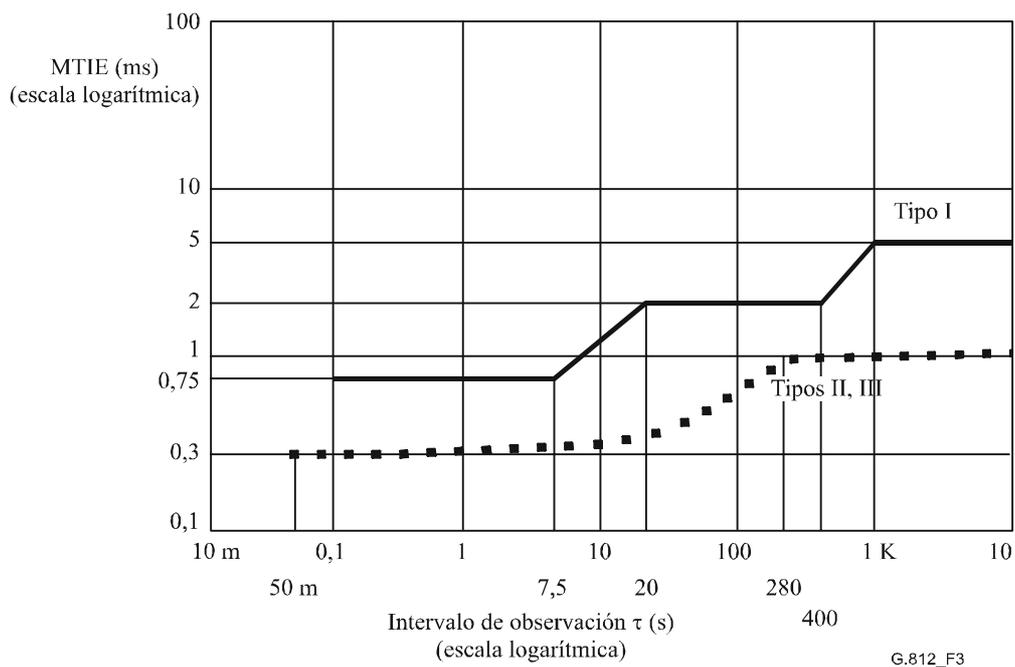


Figura 3/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE)

9.1.2 Tolerancia de fluctuación lenta de fase TDEV

La tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada del reloj G.812 expresada en límites de TDEV se indica en el cuadro 11 para relojes de nodo tipo I y en el cuadro 12 para relojes de nodo tipos II y III.

Cuadro 11/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) para relojes de nodo tipo I

Límite de TDEV (ns)	Intervalo de observación τ (s)
34	$0,1 < \tau \leq 20$
$1,7 \times \tau$	$20 < \tau \leq 100$
170	$100 < \tau \leq 1000$
$5,4 \times \tau^{0,5}$	$1000 < \tau \leq 10\ 000$

Cuadro 12/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) para relojes de nodo tipos II y III

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

Los requisitos resultantes se muestran en la figura 4.

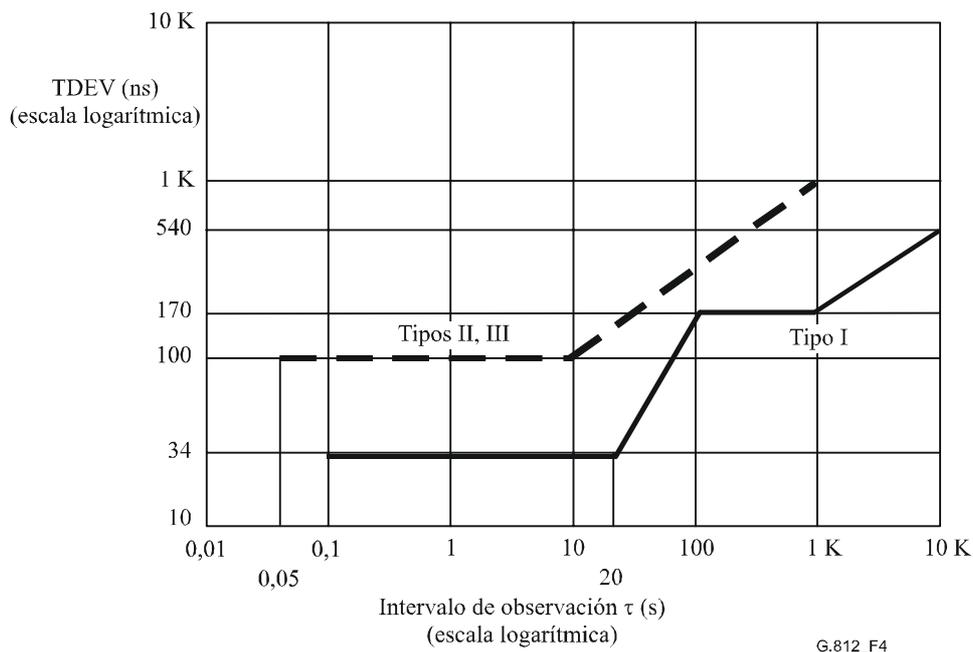


Figura 4/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV)

9.1.3 Tolerancia de fluctuación lenta de fase sinusoidal

Mientras se estudian las señales de prueba adecuadas que verifican la conformidad con la plantilla de la figura 3, se pueden utilizar señales de prueba con una variación de fase sinusoidal. Los requisitos para relojes de nodo tipo I se indican en el cuadro 13, y los que corresponden a los tipos II y III se indican en el cuadro 14.

Cuadro 13/G.812 – Límite inferior de la fluctuación lenta de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipo I

Amplitud de la fluctuación lenta de fase cresta a cresta (μs)	Frecuencia f (Hz)
5	$0,000\ 012 < f \leq 0,000\ 32$
$0,001\ 6 \times f^{-1}$	$0,000\ 32 < f \leq 0,000\ 8$
2	$0,000\ 8 < f \leq 0,016$
$0,032 \times f^{-1}$	$0,016 < f \leq 0,043$
0,75	$0,043 < f \leq 1$

Cuadro 14/G.812 – Límite inferior de la fluctuación lenta de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipos II y III

Amplitud de la fluctuación lenta de fase cresta a cresta (μs)	Frecuencia f (Hz)
$0,997 + [4 \times 10^{-6}/f]$	$0,000\ 031\ 8 < f \leq 0,001\ 43$
$0,3 + [0,001/f]$	$0,001\ 43 < f \leq 10$

Los requisitos resultantes se muestran en la figura 5.

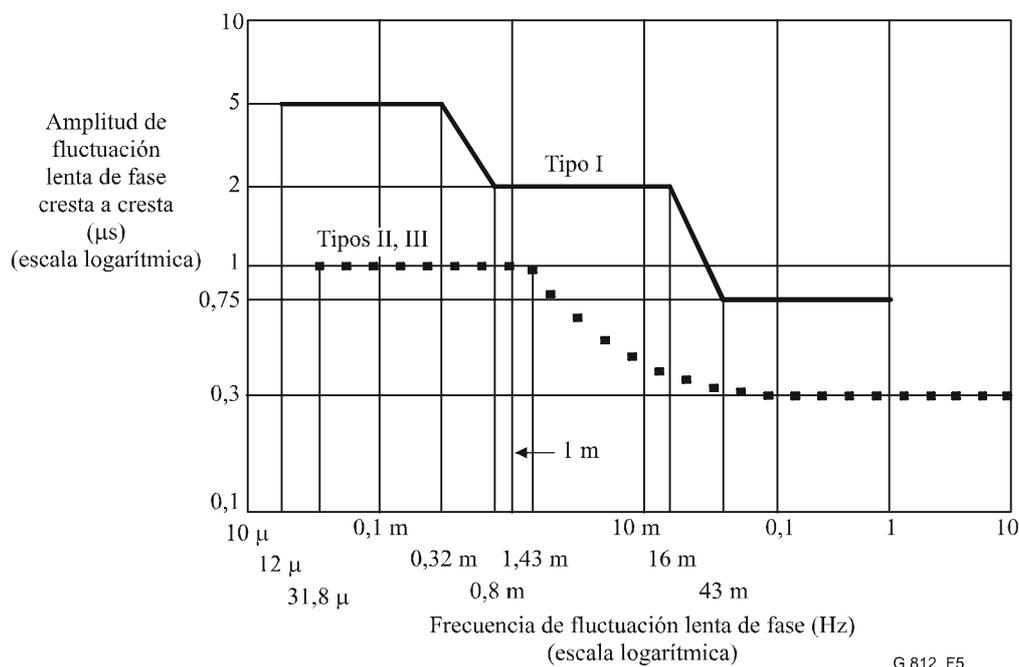


Figura 5/G.812 – Límite inferior de la fluctuación lenta de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima

9.2 Tolerancia de fluctuación de fase

9.2.1 Tolerancia de fluctuación de fase en las interfaces 2048 kHz y 2048 kbits/s

El límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para un reloj de nodo tipo I se indica en el cuadro 15 y en la figura 6 para ambos puertos de entrada a 2048 kHz y 2048 kbit/s.

Cuadro 15/G.812 – Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipo I

Amplitud de la fluctuación de fase cresta a cresta (ns)	Frecuencia f (Hz)
750	$1 < f \leq 2400$
$1,8 \times 10^6 f^{-1}$	$2400 < f \leq 18\ 000$
100	$18\ 000 < f < 100\ 000$

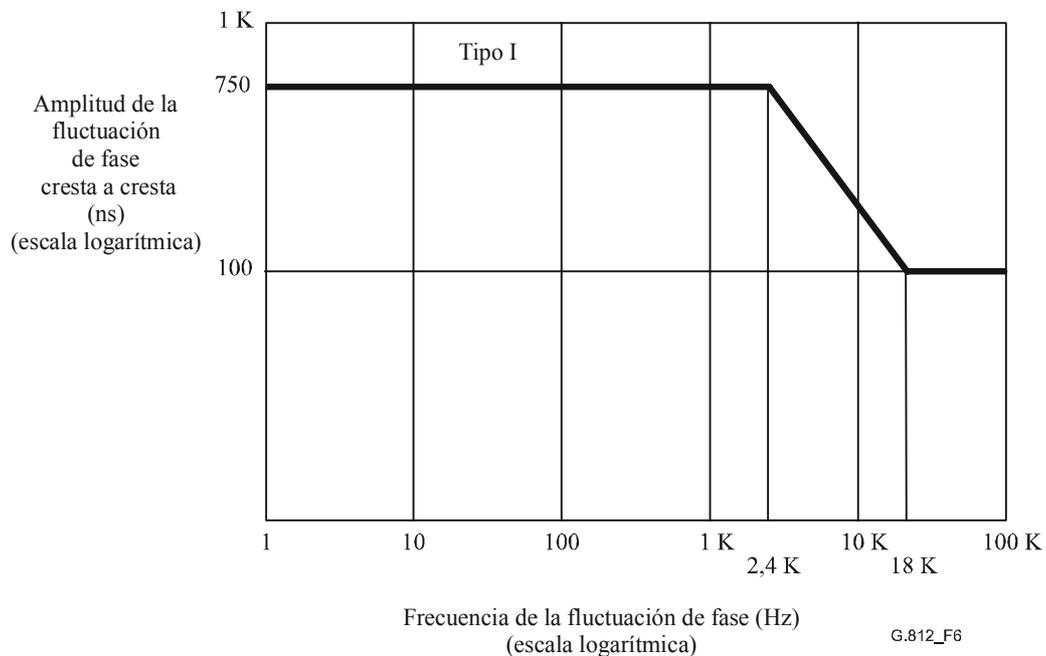


Figura 6/G.812 – Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipo I

9.2.2 Tolerancia de fluctuación de fase en la interfaz 1544 kbit/s

El límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipos II y III se indica en el cuadro 16 y en la figura 7 para puertos de entrada a 1544 kbit/s.

Cuadro 16/G.812 – Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipos II y III

Amplitud de la fluctuación de fase cresta a cresta (UI)	Frecuencia f (Hz)
5	$10 < f \leq 500$
$5 \times [500/f]^{1,411}$	$500 < f \leq 8000$
0,1	$8000 < f \leq 40\ 000$

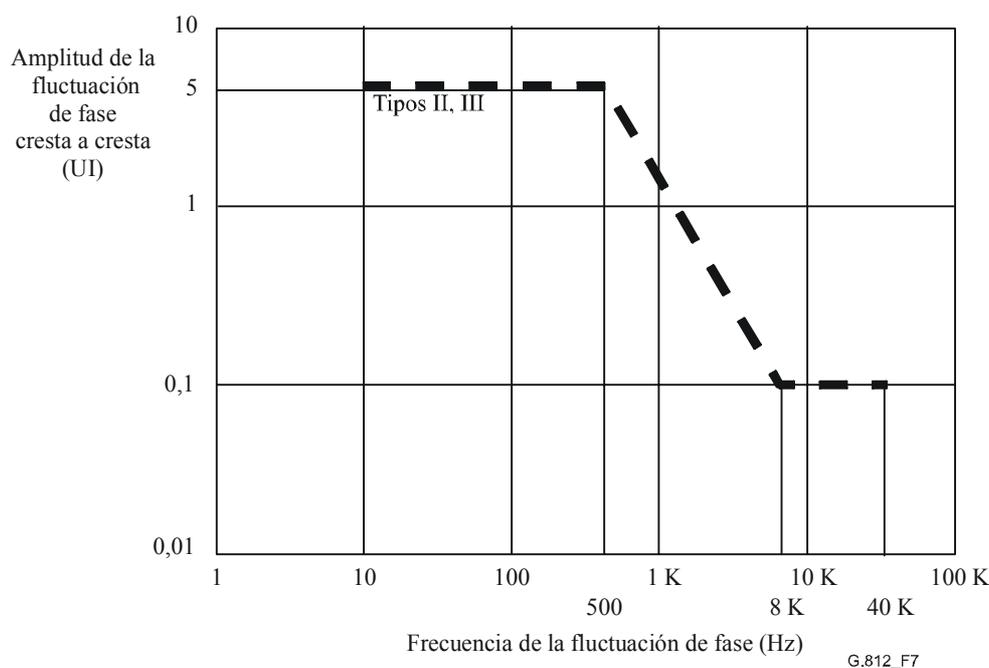


Figura 7/G.812 – Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipos II y III

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

La tolerancia de fluctuación de fase en las interfaces STM-N se describen en la Rec. UIT-T G.825.

10 Transferencia de ruido

La característica de transferencia de un reloj subordinado determina sus propiedades con respecto a la transferencia de excursiones de la fase de entrada con respecto a la modulación de fase. La transferencia de ruido se puede describir de dos maneras:

- El reloj subordinado se puede considerar como un filtro de paso bajo para las diferencias entre la fase de entrada real y la fase de entrada ideal de la referencia. La anchura de banda admisible máxima para este comportamiento del filtro de paso bajo se define en el cuadro 17, junto con la ganancia admisible máxima en la banda de paso.

Cuadro 17/G.812 – Requisitos de transferencia de ruido

	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Anchura de banda máxima (m/Hz)	3	1	1
Ganancia máxima (dB)	0,2	0,2	0,2

Los valores anteriores se aplican a un modelo de reloj G.812 lineal. Sin embargo, este modelo no debe restringir la implementación.

- b) La transferencia de ruido describe la magnitud del ruido observado a la salida, como resultado del ruido introducido a la entrada del reloj. El reloj subordinado, cuando está sujeto a una señal de ruido de banda ancha configurada como se describe en 9.1 (es decir, la especificación de tolerancia de entrada de la TDEV) producirá una señal de salida que se encuentra por debajo del límite especificado en el cuadro 18 para relojes de nodo tipo I y en el cuadro 19 para relojes de nodo tipos II y III. Los requisitos resultantes se muestran en la figura 8. Estas plantillas no se deben utilizar para verificar la cresta de la ganancia de fase.

Cuadro 18/G.812 – Plantilla de la fluctuación lenta de fase a la salida (TDEV) para relojes de nodo I

Límite de TDEV (ns)	Intervalo de observación τ (s)
3	$0,1 < \tau \leq 13,1$
$0,0176 \tau^2$	$13,1 < \tau \leq 100$
176	$100 < \tau \leq 1000$
$5,58 \tau^{0,5}$	$1000 < \tau \leq 10\,000$

NOTA – Los valores del cuadro 18 incluyen los efectos de la cresta de la ganancia y ruido intrínseco.

Cuadro 19/G.812 – Plantilla de la fluctuación lenta de fase a la salida (TDEV) para relojes de nodo tipos II y III

Límite de TDEV (ns)	Intervalo de observación τ (s)
$3,2 \tau^{-0,5}$	$0,1 < \tau \leq 1,44$
$1,86 \tau$	$1,44 < \tau \leq 300$
$32,2 \tau^{0,5}$	$300 < \tau \leq 1000$

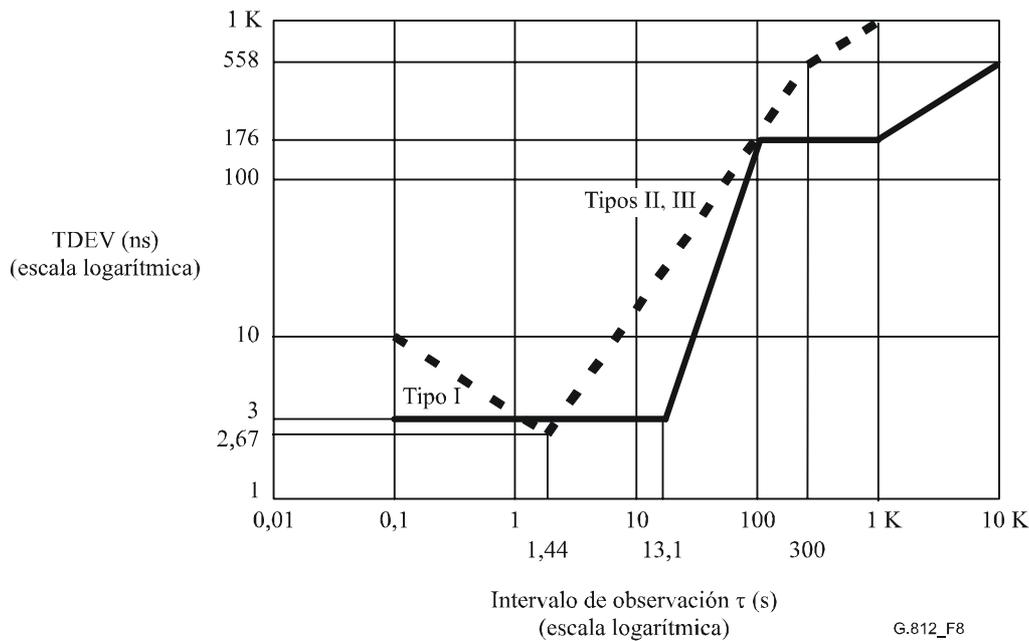


Figura 8/G.812 – Plantilla de la fluctuación lenta de fase a la salida (TDEV)

En el apéndice II se indican las técnicas de medición para esos requisitos.

Los valores de MTIE y TDEV se miden a través de un filtro de medición de paso bajo de primer orden de 10 Hz equivalente, en un tiempo de muestreo máximo de τ_0 de 1/30 segundos. El periodo de medición mínimo para TDEV es 12 veces el periodo de integración ($T = 12 \tau$).

11 Respuesta de componentes transitorios y funcionamiento en régimen libre

Los requisitos de esta cláusula se aplican en situaciones que la señal de entrada es afectada por perturbaciones o fallos de transmisión (por ejemplo, interrupciones breves, conmutación entre distintas señales de sincronización, pérdida de referencia, etc.) que producen componentes transitorios de fase a la salida del reloj G.812 (véase la cláusula 12). La capacidad de resistir a las perturbaciones es necesaria para evitar defectos o fallos de transmisión. Los fallos y perturbaciones de transmisión son condiciones comunes en el entorno de transmisión.

Para asegurar la integridad de la transmisión, se recomienda que todos los movimientos de fase a la salida del reloj G.812 estén dentro del nivel descrito en las subcláusulas siguientes.

11.1 Respuesta de componentes transitorios de fase a corto plazo

Este requisito refleja el funcionamiento del reloj cuando se pierde la referencia de entrada (seleccionada) debido a un fallo en el trayecto de referencia y se dispone simultáneamente o poco después de la detección del fallo de una segunda señal de entrada de referencia asociada al mismo reloj de referencia (por ejemplo, en casos de restablecimiento autónomo).

Se deberá satisfacer el límite de fluctuación de fase de salida especificado en 8.3.

11.1.1 Componentes transitorios para relojes de nodo tipo I (interfaces a 2048 kHz y 2048 kbit/s)

El MTIE del error de fase no debe exceder los límites indicados en el cuadro 20 e ilustrado por la curva de trazos de la figura 9.

Cuadro 20/G.812 – Componentes transitorios para relojes de nodo tipo I (interfaces a 2048 kHz y 2048 kbit/s)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
25	$0,001 < \tau \leq 0,003\ 3$
$7500\ \tau$	$0,003\ 3 < \tau \leq 0,016$
$120 + 0,5\ \tau$	$0,016 < \tau \leq 240$
240	$240 < \tau \leq 1000$

11.1.2 Componentes transitorios para relojes de nodo tipo I (interfaces STM-N)

El MTIE del error de fase no debe exceder los límites indicados en el cuadro 21 e ilustrado por la curva de línea llena de la figura 9.

Cuadro 21/G.812 – Componentes transitorios para relojes de nodo tipo I (interfaces STM-N)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
$7500\ \tau$	$0,001 < \tau \leq 0,016$
$120 + 0,5\ \tau$	$0,016 < \tau \leq 240$
240	$240 < \tau \leq 10\ 000$

11.1.3 Componentes transitorios para relojes de nodo tipos II y III (interfaces a 1544 kbit/s)

El MTIE del error de fase no debe exceder los límites indicados en el cuadro 22 e ilustrado por la curva de línea de trazos de la figura 9.

Cuadro 22/G.812 – Componentes transitorios para relojes de nodo tipos II y III (interfaces a 1544 kbit/s)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
$40 + 885\ \tau$	$0,014 < \tau \leq 0,16$
182	$0,16 < \tau \leq 280$

11.1.4 Componentes transitorios para relojes de nodo tipos II y III (interfaces STM-N)

El MTIE del error de fase no debe exceder los límites indicados en el cuadro 23 e ilustrado por la curva de línea llena de la figura 9.

Cuadro 23/G.812 – Componentes transitorios para relojes de nodo tipos II y III (interfaces STM-N)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
$7,6 + 885\ \tau$	$0,014 < \tau \leq 0,16$
150	$0,16 < \tau \leq 280$

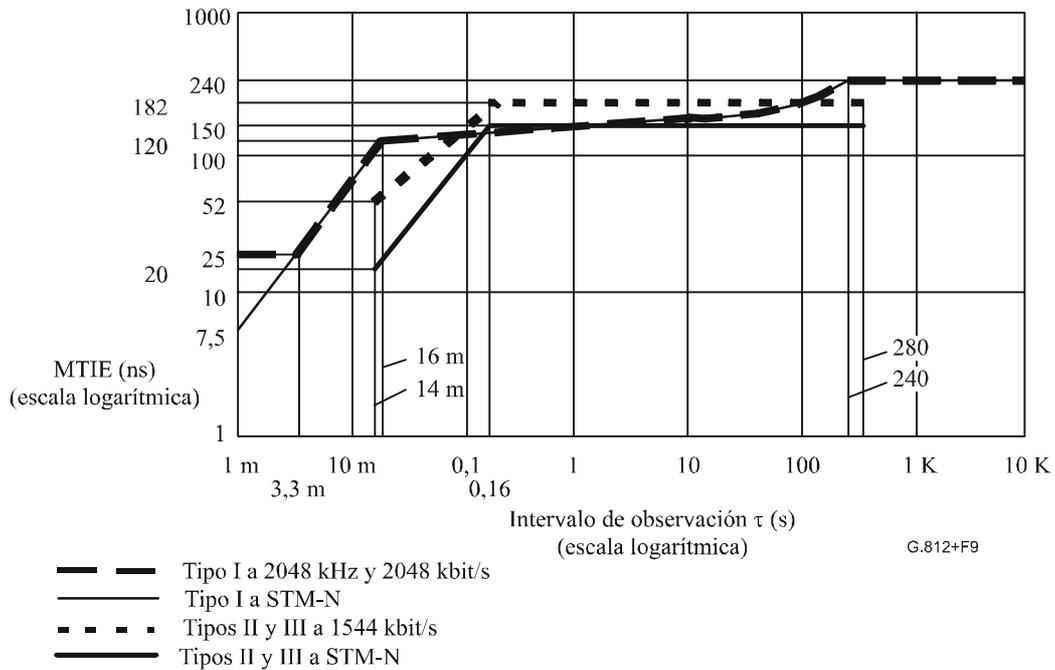


Figura 9/G.812 – Plantilla de componentes transitorios de fase a corto plazo (MTIE)

11.2 Respuesta de componentes transitorios de fase a largo plazo (régimen libre)

Cuando un reloj G.812 pierde todas sus referencias, se dice que pasa al estado de régimen libre. Este requisito limita las excursiones máximas de la señal de temporización de salida. Además, restringe la acumulación del movimiento de fase durante las degradaciones de la señal de entrada o perturbaciones internas.

11.2.1 Relojes tipos I y III

El error de fase, Δx , a la salida del reloj subordinado desde el momento de la pérdida de referencia deberá, durante cualquier periodo de S segundos, satisfacer la siguiente relación:

$$|\Delta x(S)| \leq \{a_1 + a_2\}S + 0,5 b S^2 + c \text{ [ns]}$$

La derivada de $\Delta x(S)$, es decir el desplazamiento de frecuencia fraccional, debe satisfacer, durante cualquier periodo de S segundos, la siguiente relación:

$$|d(\Delta x(S))/dS| \leq \{a_1 + a_2 + bS\} \text{ [ns/s]}$$

La segunda derivada de $\Delta x(S)$, es decir la deriva de frecuencia fraccional, debe satisfacer, durante cualquier periodo de S segundos, la siguiente relación:

$$|d^2(\Delta x(S))/dS^2| \leq d \text{ [ns/s}^2\text{]}$$

Al aplicar los requisitos anteriores para la derivada de $\Delta x(S)$ y la segunda derivada de $\Delta x(S)$, el periodo S debe comenzar después que se termine de producir cualquier componente transitorio asociado con la entrada al régimen libre. Durante este periodo de transición se aplican los requisitos de componentes transitorios de 11.1.

NOTA 1 – a_1 representa un desplazamiento de frecuencia inicial en condiciones de temperatura constante (± 1 K).

NOTA 2 – a_2 tiene en cuenta las variaciones de temperatura después que el reloj pasó al régimen libre. Si no hay variaciones de temperatura, el término $a_2 S$ no deberá contribuir al error de fase.

NOTA 3 – **b** representa la deriva de frecuencia media causada por el envejecimiento. Este valor se obtiene a partir de las características típicas de envejecimiento después de 60 días de funcionamiento continuo. No se pretende medir este valor cada día porque predominará el efecto de la temperatura.

NOTA 4 – El desplazamiento de fase **c** tiene en cuenta cualquier cambio de fase adicional que pueda surgir durante la transición al entrar en el estado de régimen libre.

NOTA 5 – **d** representa la velocidad de la deriva de frecuencia temporal máxima a temperatura constante admisible durante el estado de régimen libre. Sin embargo, no se requiere que **d** y **b** sean iguales.

Las especificaciones de error de fase admisible para distintos tipos de relojes G.812 se indican en el cuadro 24.

Cuadro 24/G.812 – Especificaciones de respuesta a transitorios durante régimen libre

	Tipo I	Tipo III
a₁ (ns/s)	0,5	1,0
a₂ (ns/s)	2	10
b (ns/s ²)	$2,3 \times 10^{-6}$	$1,16 \times 10^{-5}$
c (ns)	60	150
d (ns/s ²)	NA	$1,16 \times 10^{-5}$
NA No aplicable		

Durante la transición a la entrada del estado de régimen libre, el desplazamiento de frecuencia temporal en interfaces de salida SDH de relojes de nodo tipo I no debe exceder de 7,5 ppm.

11.2.2 Reloj tipo II

La derivada de la fase $\Delta x(S)$, es decir el desplazamiento de frecuencia fraccional, deberá satisfacer, durante cualquier periodo de S segundos, la siguiente expresión:

$$|d(\Delta x(S))/dS| \leq Y(S)$$

donde Y(S) es el desplazamiento de frecuencia fraccional máximo como se indica en el cuadro 25 y se ilustra en la figura 10. Y(S) comienza 5000 s después de la entrada en régimen libre, es decir, Y(S) no está definido para S menor que 5000 s, para asegurar que todo componente transitorio asociado con la entrada al régimen libre esté eliminado. Durante los primeros 5000 s se aplican los requisitos de componentes transitorios de 11.1 (cuadro 22 y figura 9).

Cuadro 25/G.812 – Desplazamiento de frecuencia fraccional máximo Y(S) para el tipo II en régimen libre

Desplazamiento de frecuencia fraccional máximo Y(S) (ns/s)	Tiempo S (s)
ND	$0 < S \leq 5000$
0,1	$5000 < S \leq 86\,400$
$1,16 \times 10^{-6} S$	$86\,400 < S \leq 1,38 \times 10^7$
16	$1,38 \times 10^7 < S \leq 3,2 \times 10^7$
ND No definido	

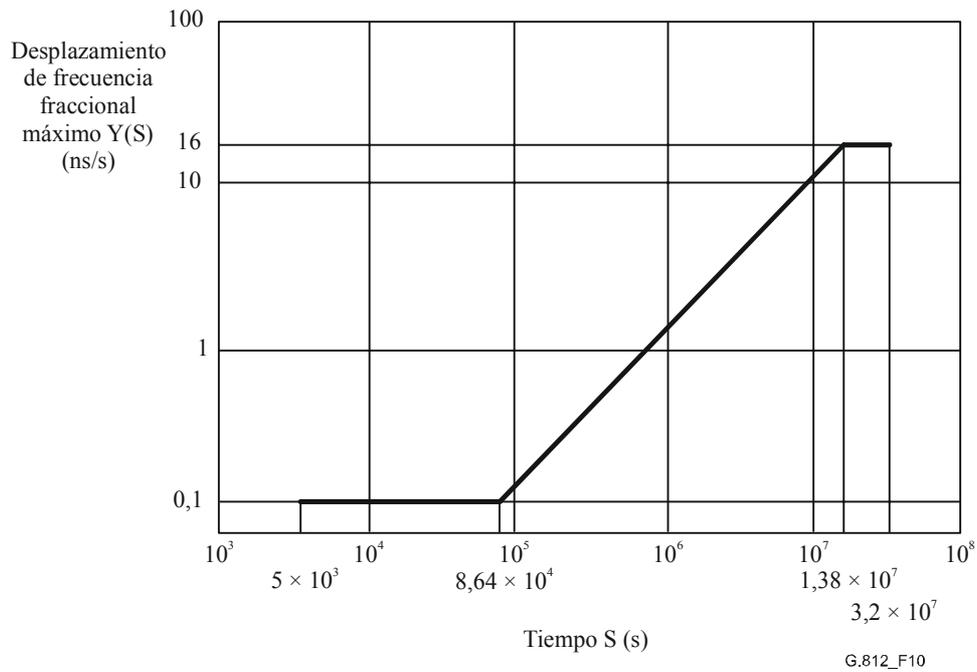


Figura 10/G.812 – Desplazamiento de frecuencia fraccional máximo Y(S) para el tipo II en régimen libre

11.3 Respuesta de fase a interrupciones de la señal de entrada

Para interrupciones breves de señales de entrada de sincronización que no originan conmutación de referencia, la variación de fase de salida queda en estudio.

11.4 Discontinuidad de fase

En los casos de prueba interna infrecuente o de operaciones de reajuste con el reloj subordinado, el componente transitorio de fase a la salida de los relojes G.812 debe satisfacer las especificaciones de MTIE del cuadro 26 para relojes de nodo de tipo I y del cuadro 27 para relojes de nodo tipos II y III.

Cuadro 26/G.812 – Componentes transitorios de fase a la salida (MTIE) para relojes de nodo tipo I

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
60	$\tau \leq 0,001$
120	$0,001 < \tau \leq 4$
240	$\tau > 4$

Cuando el reloj G.812 tipo I está incorporado en un equipo SDH, el desplazamiento de frecuencia temporal en cualquier interfaz de salida STM-N nunca será superior a 7,5 ppm.

Cuadro 27/G.812 – Componente transitorio de fase a la salida (MTIE) para relojes de nodo tipos II y III

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
61 000 τ	0,001 33 < τ \leq 0,016 4
1000	0,016 4 < τ

Los requisitos resultantes se muestran en la figura 11.

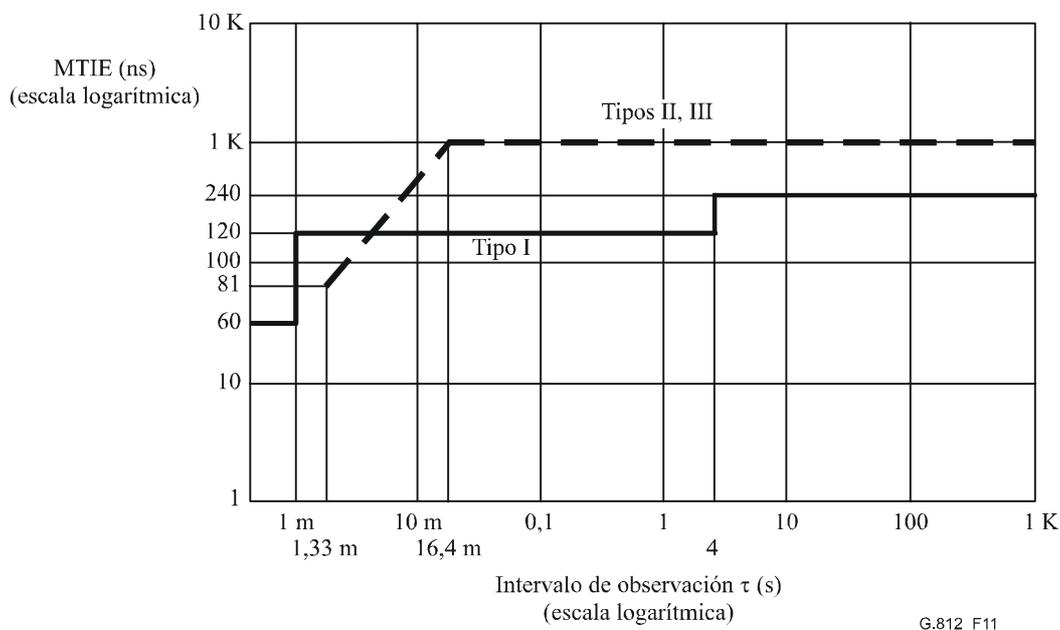


Figura 11/G.812 – Componentes transitorios de fase a la salida (MTIE)

12 Interfaces

Los requisitos de esta Recomendación se relacionan con los puntos de referencia internos de los elementos de red (NE, *network elements*) en los que está insertado el reloj y, por consiguiente, no están necesariamente disponibles para medición o análisis por el usuario. En consecuencia, el funcionamiento del reloj G.812 no se define en estos puntos de referencia internos, sino en las interfaces externas del equipo. Las entradas y salidas externas son:

- Interfaces a 1544 kbit/s de acuerdo con la Rec. UIT-T G.703.
- Interfaces externas a 2048 kHz de acuerdo con la Rec. UIT-T G.703.
- Interfaces a 2048 kbit/s de acuerdo con la Rec. UIT-T G.703.
- Interfaces de tráfico STM-N de acuerdo con las Recs. UIT-T G.703 y G.957.

Obsérvese que las interfaces indicadas pueden no existir en todos los equipos. Estas interfaces deben cumplir los requisitos adicionales de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase definidos en esta Recomendación.

Anexo A

Especificaciones para relojes tipos IV, V y VI

El reloj tipo V es el reloj de nodo de tránsito a partir de la versión de 1988 de esta Recomendación; y el reloj tipo VI es el reloj de nodo local a partir de la versión de 1988 de esta Recomendación.

A.1 Exactitud de frecuencia

En condiciones de régimen libre prolongadas la exactitud de la frecuencia de salida de los diferentes tipos de relojes de nodo no deben exceder los valores indicados en el cuadro A.1 con respecto a una referencia asociada a un reloj de referencia primario, durante un periodo de tiempo T como se indica en el mismo cuadro.

Cuadro A.1/G.812 – Requisitos de exactitud de frecuencia de salida

	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
Exactitud	$4,6 \times 10^{-6}$	NA	NA
Periodo T	1 año	NA	NA
NA No aplicable			
NOTA – El periodo de tiempo T se aplica después de 30 días de funcionamiento sincronizado continuo.			

A.2 Gammas de enganche, de retención y de desenganche

Las gammas de enganche, de retención y de desenganche mínimas para los diversos tipos de relojes de nodo deben ser conformes al cuadro A.2, cualquiera sea el desplazamiento de frecuencia del oscilador interno.

Cuadro A.2/G.812 – Requisitos de enganche de retención y de desenganche

	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
Enganche	$4,6 \times 10^{-6}$	ND	ND
Retención	$4,6 \times 10^{-6}$	ND	ND
Desenganche	NA	ND	ND
NA No aplicable			
ND No definido			

A.3 Generación de ruido

La generación de ruido de un reloj subordinado representa la magnitud de ruido de fase producida a la salida cuando hay una señal de referencia de entrada ideal o el reloj está en el estado de régimen libre (véase A.6.2). Para fines prácticos de prueba, una referencia adecuada supone un nivel de calidad de funcionamiento por lo menos 10 veces más estable que los requisitos de salida. La capacidad del reloj de limitar este ruido es descrita por su estabilidad de frecuencia. Las medidas de MTIE y desviación de tiempo (TDEV) son útiles para caracterizar la generación de ruido.

MTIE y TDEV se miden a través de un filtro de medición de paso bajo de primer orden de 10 Hz equivalente, en un tiempo de muestreo máximo τ_0 de 1/30 segundos. El periodo de medición mínimo para TDEV es doce veces el periodo de integración ($T = 12 \tau$).

A.3.1 Fluctuación lenta de fase en modo enganchado

Cuando el reloj subordinado está en el modo de funcionamiento enganchado, el MTIE con temperatura constante (dentro de ± 1 K) medido con la configuración de reloj sincronizado definido en la figura 1-a/G.810 debe tener los límites indicados en los cuadros A.3 y A.4 para los distintos tipos de relojes de nodo.

Cuadro A.3/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) para relojes de nodo tipo IV con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

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

Cuadro A.4/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) para relojes de nodo tipos V y VI con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
En estudio	$0,05 < \tau \leq 100$
1000	$\tau > 100$

Los requisitos resultantes se muestran en la figura A.1.

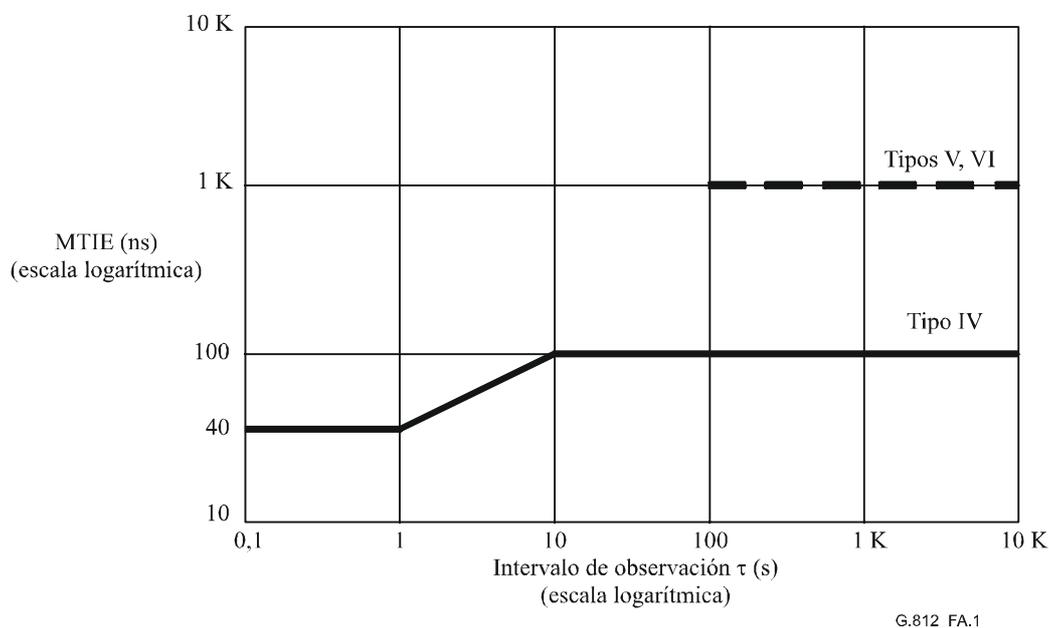


Figura A.1/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE) con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

Cuando el reloj de nodo está en el modo de funcionamiento enganchado, la TDEV a temperatura constante (dentro de ± 1 K) medido con la configuración de reloj sincronizado definido en la

figura 1-a/G.810 debe tener los límites indicados en los cuadros A.5 y A.6 para los diferentes tipos de reloj de nodo.

Cuadro A.5/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) para relojes de nodo tipo IV con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

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

Cuadro A.6/G.812 – Generación de la fluctuación lenta de fase (TDEV) para relojes de nodo tipos V y VI con temperatura constante (dentro de ± 1 K)

Límite de TDEV (ns)	Intervalo de observación τ (s)
En estudio	$0,1 < \tau < 10\ 000$

Los requisitos resultantes se muestran en la figura A.2.

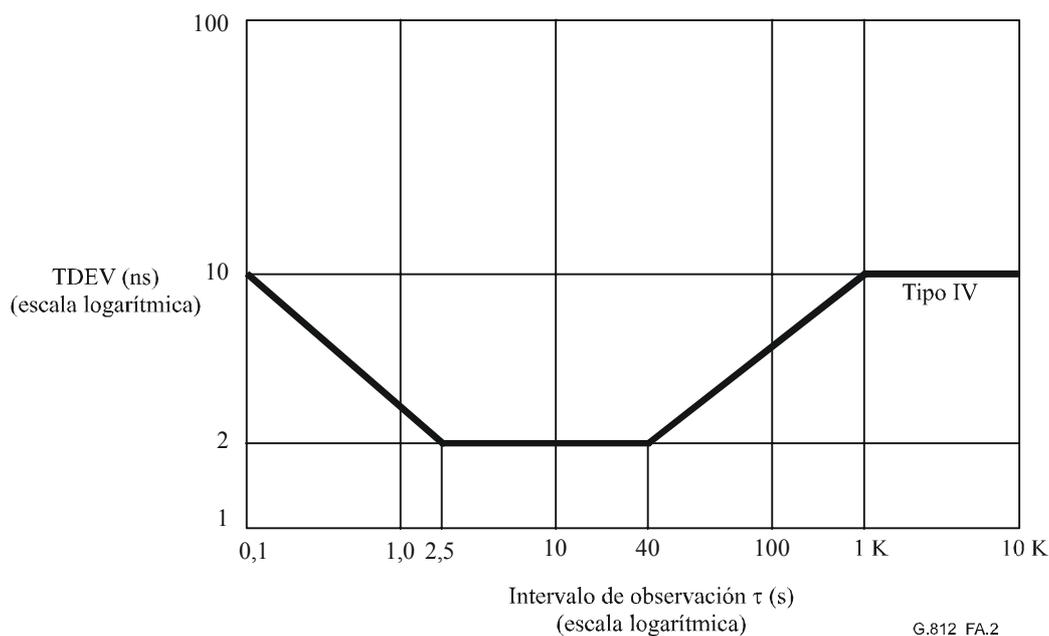


Figura A.2/G.812 – Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV) con temperatura constante

A.3.2 Fluctuación lenta de fase no enganchada

Cuando un reloj no está enganchado a una referencia de sincronización, los componentes de ruido aleatorios son despreciables comparados con los efectos determinísticos como el desplazamiento de frecuencia inicial. En consecuencia, los efectos de fluctuación lenta de fase no enganchada se incluyen en A.6.2.

A.3.3 Fluctuación de fase

Si bien la mayoría de los requisitos de esta Recomendación son independientes de la interfaz de salida en la cual se miden, éste no es el caso para la producción de fluctuación de fase; los requisitos de generación de fluctuación de fase utilizan las Recomendaciones existentes que tienen diferentes límites para distintas velocidades de interfaz. Estos requisitos se determinan separadamente para las interfaces identificadas en A.7. Para ser coherentes con otros requisitos de fluctuación de fase, los valores se expresan en UI cresta a cresta, donde la UI corresponde a la recíproca de la velocidad binaria de la interfaz.

Obsérvese que todos los valores de filtro especificados en esta cláusula de generación para interfaces STM-N han sido armonizadas con valores de filtro para el límite de red como se especifica en la Rec. UIT-T G.825.

NOTA – Debido a la naturaleza estocástica de la fluctuación de fase, los valores cresta a cresta dados en esta cláusula posiblemente se rebasarán. Por consiguiente, los requisitos se deben cumplir al menos en el 99% de todas las mediciones efectuadas.

A.3.3.1 Fluctuación de fase a la salida en interfaces a 2048 kHz y 2048 kbit/s

Cuando no hay fluctuación de fase a la entrada, la fluctuación de fase intrínseca en interfaces de salida a 2048 kHz y 2048 kbit/s medida durante un intervalo de 60 segundos no debe rebasar de 0,05 UI cresta a cresta cuando se mide a través de un filtro paso banda unipolar con frecuencias de esquina en 20 Hz y 100 kHz.

A.3.3.2 Fluctuación de fase a la salida en una interfaz a 1544 kbit/s

Cuando no hay fluctuación de fase de entrada, la fluctuación de fase intrínseca en una interfaz de salida a 1544 kbit/s no rebasará 0,05 UI cresta a cresta cuando se mide a través de un filtro paso banda unipolar con frecuencias de esquina en 10 Hz y 40 kHz (el intervalo de medición queda en estudio).

A.3.3.3 Fluctuación de fase a la salida en una interfaz STM-N

Cuando no hay fluctuación de fase de entrada en la interfaz de sincronización, la fluctuación de fase intrínseca en interfaces de salida STM-N ópticas medidas durante un intervalo de 60 segundos no debe exceder los límites indicados en el cuadro A.7. La fluctuación de fase admisible en una interfaz eléctrica STM-1 (CMI) se indica también en el cuadro A.7.

El régimen de caída del filtro de medición en la frecuencia de corte menor será de 20 dB/década y el régimen de caída a la frecuencia de corte superior será de 60 dB/década. La característica del régimen de caída del filtro de corte superior queda en estudio.

Cuadro A.7/G.812 – Generación de fluctuación de fase STM-N

Interfaz	Filtro de medición (frecuencias de -3 dB)	Amplitud cresta a cresta (UI)
STM-1 eléctrico	500 Hz a 1,3 MHz	0,50
	65 kHz a 1,3 MHz	0,075
STM-1 óptico	500 Hz a 1,3 MHz	0,50
	65 kHz a 1,3 MHz	0,10
STM-4	1000 Hz a 5 MHz	0,50
	250 kHz a 5 MHz	0,10
STM-16	5000 Hz a 20 MHz	0,50
	1 MHz a 20 MHz	0,10
Para STM-1: 1 UI = 6,43 ns. Para STM-4: 1 UI = 1,61 ns. Para STM-16: 1 UI = 0,40 ns.		

A.4 Tolerancia de ruido

La tolerancia de ruido de un reloj G.812 indica el límite inferior del nivel de ruido de fase máximo a la entrada del reloj al que se debe ajustar mientras:

- el reloj se mantiene dentro de los límites de funcionamiento especificados. Estos límites exactos quedan en estudio;
- no origine ninguna alarma;
- no origine la conmutación de referencia del reloj;
- no origine el pase al régimen libre del reloj.

En general, la tolerancia de ruido del reloj G.812 es igual que el límite de red para la interfaz de sincronización con miras a mantener un funcionamiento aceptable. Sin embargo, el límite de red de la interfaz de sincronización puede ser diferente según la aplicación. Por consiguiente, para determinar la tolerancia de ruido del reloj subordinado, se debe utilizar el límite de red del caso más desfavorable. En el apéndice I/G.813 figura la explicación de los diferentes límites de red para una cabida útil aceptable, con fines de información.

Las tolerancias de fluctuación lenta de fase y fluctuación de fase indicadas en A.4.1 y A.4.2 representan los niveles más desfavorables que debe presentar una interfaz que transporta sincronización. La señal TDEV utilizada para una prueba de conformidad se debe generar añadiendo fuentes de ruido gaussiano blanco, cada una de las cuales ha sido filtrada para obtener el tipo de ruido apropiado con la amplitud adecuada. En el apéndice II se proporcionan orientaciones.

Los valores de MTIE y TDEV se miden a través de un filtro de medición de paso bajo de primer orden de 10 Hz equivalente, en un tiempo de muestreo máximo τ_0 de 1/30 segundos. El periodo de medición mínimo para TDEV es doce veces el periodo de integración ($T = 12 \tau$).

A.4.1 Tolerancia de fluctuación lenta de fase

La tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada del reloj G.812 expresada en límites de MTIE se indica en el cuadro A.8 para relojes de nodo tipo IV.

Cuadro A.8/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (MTIE) para relojes de nodo tipo IV

Límite de MTIE (μs)	Intervalo de observación τ (s)
$0,3 + 0,0025 \tau$	$0,05 < \tau \leq 280$
$0,997 + 0,00001 \tau$	$\tau > 280$

Los requisitos resultantes se muestran en la figura A.3.

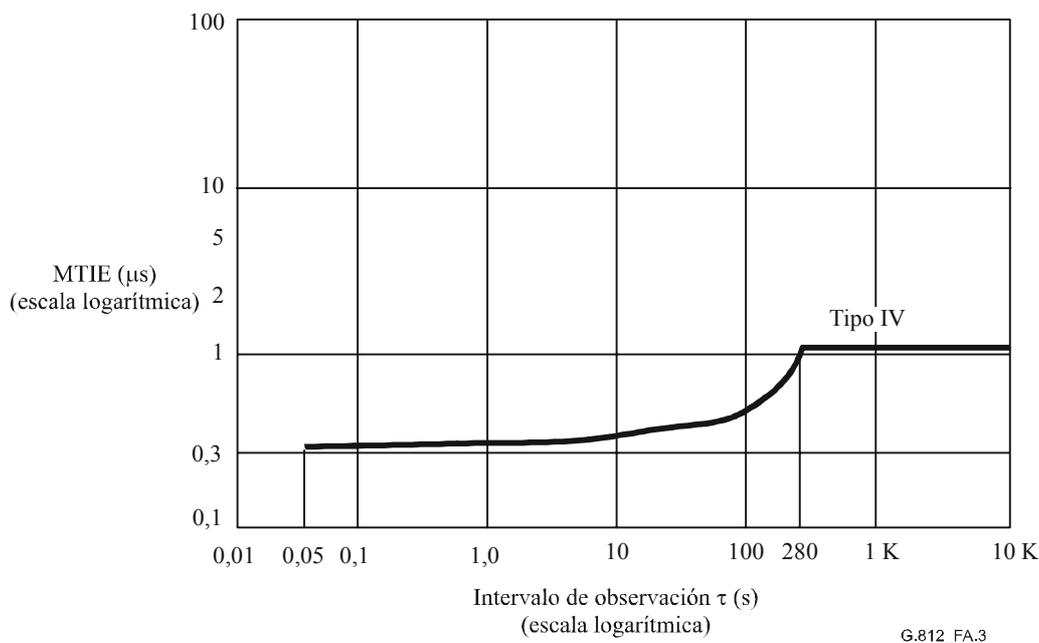


Figura A.3/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada para relojes de nodo tipo IV (MTIE)

La tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada en términos de MTIE para los tipos V y VI no está definida.

La tolerancia de fluctuación de fase a la entrada del reloj G.812 expresada en límites de TDEV se indica en el cuadro A.9 para relojes de nodo tipo IV.

Cuadro A.9/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) para relojes de nodo tipo IV

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

Los requisitos resultantes también se muestran en la figura A.4.

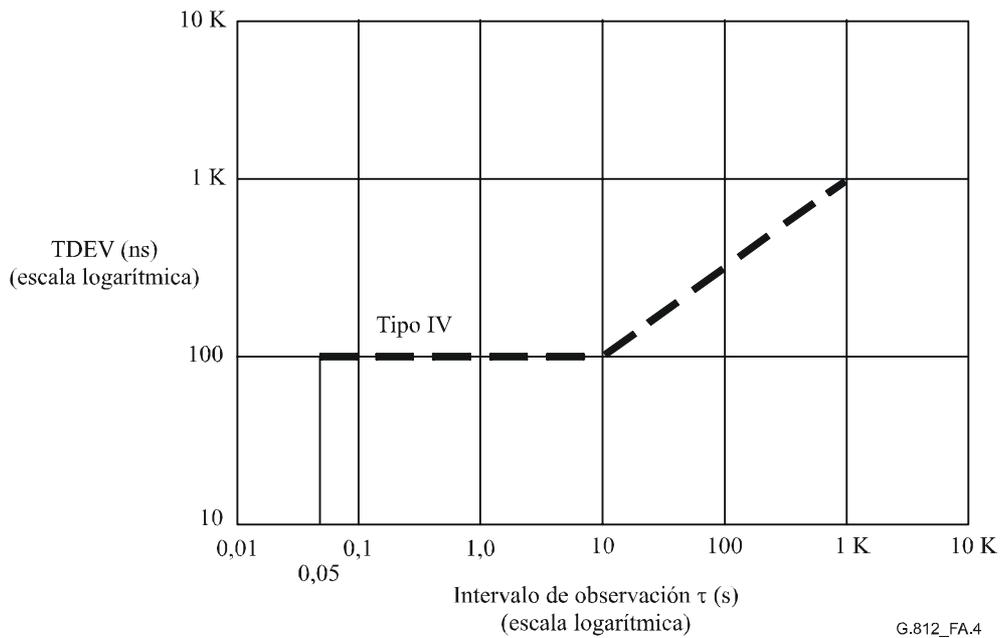


Figura A.4/G.812 – Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada para relojes de nodo tipo IV (TDEV)

La tolerancia de la fluctuación lenta de fase a la entrada en términos de TDEV para relojes de nodo tipos V y VI no está definida.

Mientras se estudian las señales de prueba adecuadas que verifican la conformidad con la plantilla de la figura A.3, se pueden utilizar señales de prueba con una variación de fase sinusoidal. Los requisitos para relojes de nodo tipo IV se indican en el cuadro A.10.

Cuadro A.10/G.812 – Límite inferior de la fluctuación lenta de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipo IV

Amplitud de la fluctuación lenta de fase cresta a cresta (μs)	Frecuencia f (Hz)
$0,997 + [4 \times 10^{-6}/f]$	$0,000\ 031\ 8 < f \leq 0,001\ 43$
$0,3 + [0,001/f]$	$0,001\ 43 < f \leq 10$

Los requisitos resultantes también se muestran en la figura A.5.

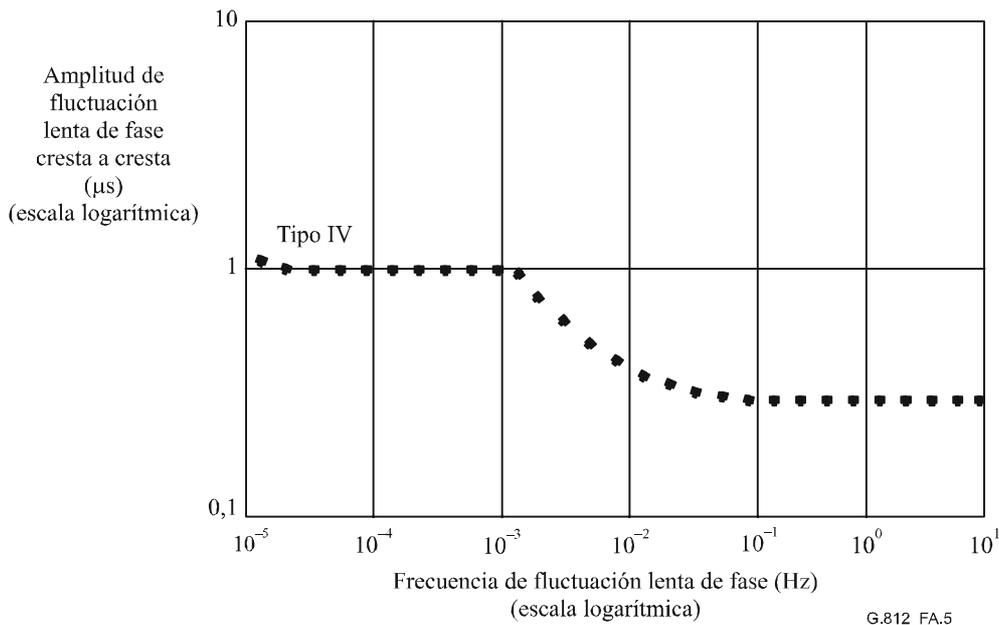


Figura A.5/G.812 – Límite inferior de la fluctuación lenta de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipo IV

Los límites inferiores de la fluctuación lenta de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipos V y VI no están definidos.

A.4.2 Tolerancia de fluctuación de fase

El límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para un reloj de nodo tipo IV se indica en el cuadro A.11 y en la figura A.6 para puertos de entrada a 1544 kbit/s.

Cuadro A.11/G.812 – Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipo IV

Amplitud de la fluctuación de fase cresta a cresta (UI)	Frecuencia f (Hz)
5	$10 < f \leq 500$
$5 \times [500/f]^{1,411}$	$500 < f \leq 8000$
0,1	$8000 < f \leq 40\ 000$

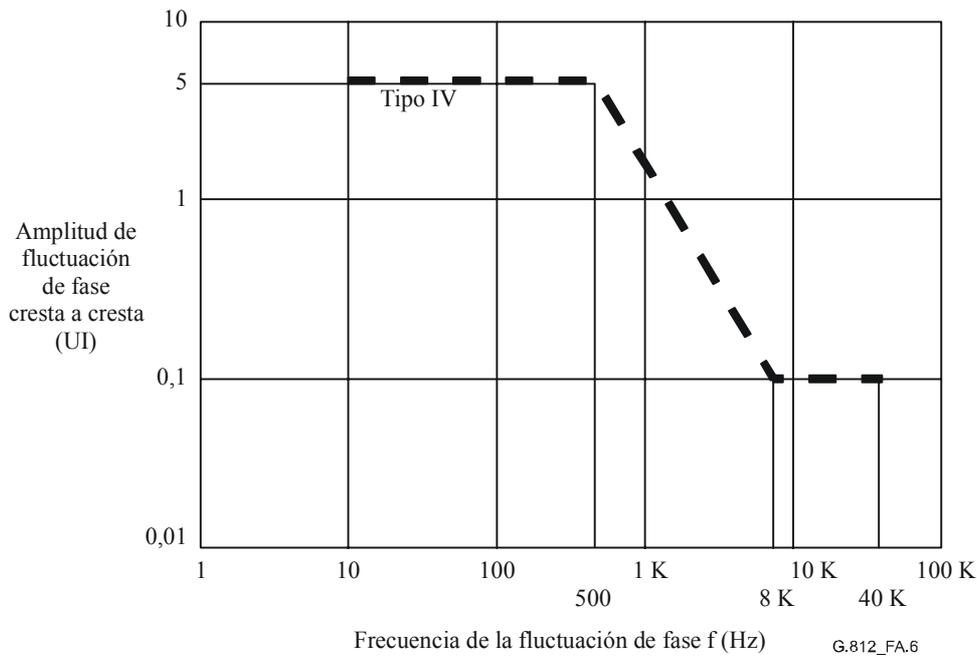


Figura A.6/G.812 – Límite inferior de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipo IV

Los límites inferiores de la fluctuación de fase sinusoidal a la entrada admisible máxima para relojes de nodo tipo V y VI no están definidos.

A.5 Transferencia de ruido

La característica de transferencia de un reloj subordinado determina sus propiedades con respecto a la transferencia de excursiones de la fase de entrada con respecto a la modulación de fase. La transferencia de ruido se puede describir de dos maneras:

- a) El reloj subordinado se puede considerar como un filtro de paso bajo para las diferencias entre la fase de entrada real y la fase de entrada ideal de la referencia. La anchura de banda admisible máxima para este comportamiento del filtro de paso bajo se define en el cuadro A.12, junto con la ganancia admisible máxima en la banda de paso.

Cuadro A.12/G.812 – Requisitos de transferencia de ruido

	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
Anchura de banda máxima (Hz)	3	0,1 (nota)	0,1 (nota)
Ganancia máxima (dB)	0,2	0,2 (nota)	0,2 (nota)
NOTA – Estos valores fueron tomados de la Rec. UIT-T Q.551.			

Los valores anteriores se aplican a un modelo de reloj G.812 lineal. Sin embargo, este modelo no debe restringir la implementación.

- b) La transferencia de ruido describe la magnitud del ruido observado a la salida, como resultado del ruido introducido a la entrada del reloj. El reloj subordinado, cuando está sujeto a una señal de ruido de banda ancha configurada como se describe en A.4 (es decir, la especificación de tolerancia de entrada de la TDEV) producirá una señal de salida que se encuentra por debajo del límite especificado en el cuadro A.13 para relojes de nodo tipo IV. La transferencia de la fluctuación lenta de fase en términos de TDEV para relojes de nodo

tipos V y VI no está definida. Los requisitos resultantes se muestran en la figura A.7. Estas plantillas no se deben utilizar para verificar la cresta de la ganancia de fase.

Cuadro A.13/G.812 – Plantilla de la fluctuación lenta de fase a la salida (TDEV) para relojes de nodo tipo IV

Límite de TDEV (ns)	Intervalo de observación τ (s)
1020τ	$0,05 < \tau \leq 0,1$
102	$0,1 < \tau \leq 10$
$32,2 \tau^{0,5}$	$10 < \tau \leq 1000$

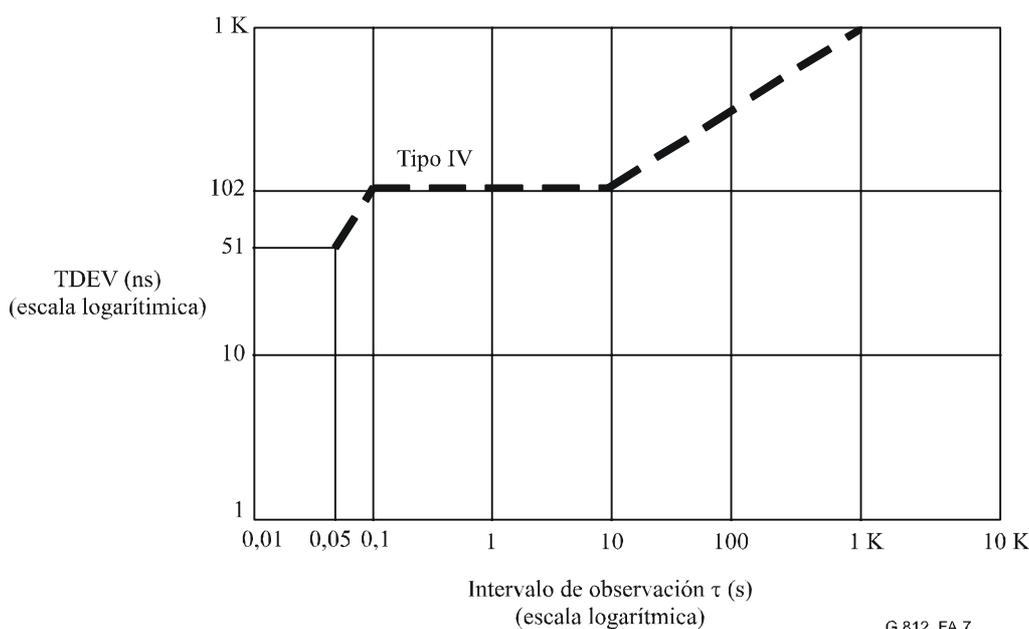


Figura A.7/G.812 – Plantilla de la fluctuación lenta de fase a la salida (TDEV)

En el apéndice II se indican las técnicas de medición para estos requisitos.

Los valores de MTIE y TDEV se miden a través de un filtro de medición de paso bajo de primer orden de 10 Hz equivalente, en un tiempo de muestreo máximo τ_0 de 1/30 segundos. El periodo de medición mínimo para TDEV es 12 veces el periodo de integración ($T = 12 \tau$).

A.6 Respuesta de componentes transitorios y funcionamiento en régimen libre

Los requisitos de esta cláusula se aplican en situaciones en que la señal de entrada es afectada por perturbaciones o fallos de transmisión (por ejemplo, interrupciones breves, conmutación entre distintas señales de sincronización, pérdida de referencia, etc.) que producen componentes transitorios de fase a la salida del reloj G.812 (véase A.7). La capacidad de resistir a las perturbaciones es necesaria para evitar defectos o fallos de transmisión. Los fallos y perturbaciones de transmisión son condiciones comunes en el entorno de transmisión.

Para asegurar la integridad de la transmisión, se recomienda que todos los movimientos de fase a la salida del reloj G.812 estén dentro del nivel descrito en las subcláusulas siguientes.

A.6.1 Respuesta de componentes transitorios de fase a corto plazo

Este requisito refleja el funcionamiento del reloj cuando se pierde la referencia de entrada (seleccionada) debido a un fallo en el trayecto de referencia y se dispone simultáneamente o poco después de la detección del fallo de una segunda señal de entrada de referencia asociada al mismo reloj de referencia (por ejemplo, en casos de restablecimiento autónomo).

Se deberá satisfacer el límite de fluctuación de fase de salida especificado en A.3.3.

A.6.1.1 Componentes transitorios para relojes de nodo tipo IV (interfaces a 1544 kbit/s)

El MTIE del error de fase no debe exceder los límites indicados en el cuadro A.14 e ilustrado por la curva de trazos de la figura A.8.

Cuadro A.14/G.812 – Componentes transitorios para relojes de nodo tipo IV (interfaces a 1544 kbit/s)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
$61\,000\ \tau$	$0,001\,33 \leq \tau \leq 0,016\,4$
1000	$\tau > 0,016\,4$

A.6.1.2 Componentes transitorios para relojes de nodo tipo IV (interfaces STM-N)

El MTIE del error de fase no debe exceder los límites indicados en el cuadro A.15 e ilustrado por la curva de línea llena de la figura A.8.

Cuadro A.15/G.812 – Componentes transitorios para relojes de nodo tipo IV (interfaces STM-N)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
$7,6 + 885\ \tau$	$0,014 < \tau \leq 0,5$
$300 + 300\ \tau$	$0,5 < \tau \leq 2,33$
1000	$2,33 < \tau \leq 280$

A.6.1.3 Componentes transitorios para relojes de nodo tipos V y VI (interfaces a 2048 kHz y 2048 kbit/s)

El MTIE del error de fase no debe exceder los límites indicados en el cuadro A.16 e ilustrado por la curva de trazos de la figura A.8.

Cuadro A.16/G.812 – Componentes transitorios para relojes de nodo tipos V y VI (interfaces a 2048 kHz y 2048 kbit/s)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
25	$0,001 < \tau \leq 0,003\,3$
$7500\ \tau$	$0,003\,3 < \tau \leq 0,016$
$120 + 0,5\ \tau$	$0,016 < \tau \leq 240$
240	$240 < \tau \leq 10\,000$

A.6.1.4 Componentes transitorios para relojes de nodo tipos V y VI (interfaces STM-N)

El MTIE del error de fase no debe exceder los límites indicados en el cuadro A.17 e ilustrado por la curva de línea llena de la figura A.8.

Cuadro A.17/G.812 – Componentes transitorios para relojes de nodo tipos V y VI (interfaces STM-N)

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
7500τ	$0,001 < \tau \leq 0,016$
$120 + 0,5 \tau$	$0,016 < \tau \leq 240$
240	$240 < \tau \leq 10\ 000$

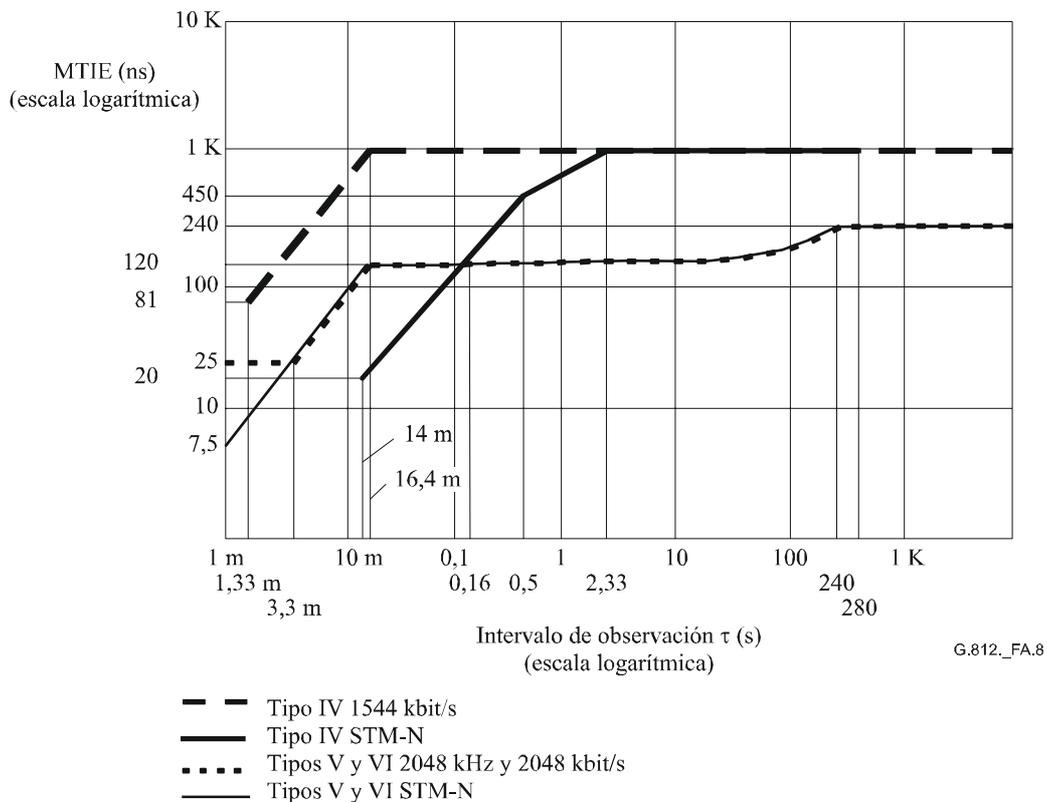


Figura A.8/G.812 – Plantilla de componentes transitorios de fase a corto plazo (MTIE)

A.6.2 Respuesta de componentes transitorios de fase a largo plazo (régimen libre)

Este requisito limita las excursiones máximas de la señal de temporización de salida. Además, restringe la acumulación del movimiento de fase durante las degradaciones de la señal de entrada o perturbaciones internas.

Cuando un reloj G.812 pierde todas sus referencias, se dice que pasa al estado de régimen libre. El error de fase, Δx , a la salida del reloj subordinado desde el momento de la pérdida de referencia deberá, durante cualquier periodo de S segundos, satisfacer la siguiente relación:

$$|\Delta x(S)| \leq \{ (a_1 + a_2)S + 0,5 b S^2 + c \} [\text{ns}]$$

La derivada de $\Delta x(S)$, es decir el desplazamiento de frecuencia fraccional, debe satisfacer, durante cualquier periodo de S segundos, la siguiente relación:

$$|d(\Delta x(S))/dS| \leq \{a_1 + a_2 + bS\}[\text{ns/s}]$$

La segunda derivada de $\Delta x(S)$, es decir la deriva de frecuencia fraccional, debe satisfacer, durante cualquier periodo de S segundos la siguiente relación:

$$|d^2(\Delta x(S))/dS^2| \leq d [\text{ns/s}^2]$$

Al aplicar los requisitos anteriores para la derivada de $\Delta x(S)$ y la segunda derivada de $\Delta x(S)$, el periodo S debe comenzar después que cualquier componente transitorio asociado con la entrada al régimen libre se termine de producir. Durante este periodo de transición se aplican los requisitos de componentes transitorios de A.6.1.

NOTA 1 – a_1 representa un desplazamiento de frecuencia inicial en condiciones de temperatura constante (± 1 K).

NOTA 2 – a_2 tiene en cuenta las variaciones de temperatura después que el reloj pasó al régimen libre. Si no hay variaciones de temperatura, el término $a_2 S$ no deberá contribuir al error de fase.

NOTA 3 – b representa la deriva de frecuencia media causada por el envejecimiento. Este valor se obtiene a partir de las características típicas de envejecimiento después de 60 días de funcionamiento continuo. No se pretende medir este valor cada día porque predominará el efecto de la temperatura.

NOTA 4 – El desplazamiento de fase c tiene en cuenta cualquier cambio de fase adicional que pueda surgir durante la transición al entrar en el estado de régimen libre.

NOTA 5 – d representa la velocidad de la deriva de frecuencia temporal máxima a temperatura constante admisible durante el estado de régimen libre. Sin embargo, no se requiere que d y b sean iguales.

Las especificaciones de error de fase admisible para distintos tipos de relojes G.812 se indican en el cuadro A.18.

Cuadro A.18/G.812 – Especificaciones de respuesta a transitorios en régimen libre

	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
Aplicación	TBD	S > 100 s	S > 100 s
a_1 (ns/s)	50	0,5	10
a_2 (ns/s)	300	NA	NA
b (ns/s ²)	$4,63 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-4}$
c (ns)	1000	1000	1000
d (ns/s ²)	$4,63 \times 10^{-4}$	NA	NA
NA	No aplicable		
TBD	Por determinar		

A.6.3 Respuesta de fase a interrupciones de la señal de entrada

Para interrupciones breves de señales de entrada de sincronización que no originan conmutación de referencia, la variación de fase de salida queda en estudio.

A.6.4 Discontinuidad de fase

En los casos de prueba interna infrecuente o de operaciones de reajuste con el reloj subordinado, el componente transitorio de fase a la salida de los relojes G.812 debe satisfacer las especificaciones de MTIE del cuadro A.19 para el reloj de nodo tipo IV y en el cuadro A.20 para relojes tipos V y VI e ilustrados en la figura A.9.

Cuadro A.19/G.812 – Componentes transitorios de fase a la salida (MTIE) para relojes de nodo tipo IV

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
NA	$\tau \leq 0,001\ 33$
$61\ 000\ \tau$	$0,001\ 33 < \tau \leq 0,016\ 4$
1000	$\tau > 0,016\ 4$
NA No aplicable	

Cuadro A.20/G.812 – Componentes transitorios de fase a la salida (MTIE) para relojes de nodo tipos V y VI

Límite de MTIE (ns)	Intervalo de observación τ (s)
61	$\tau \leq 0,001$
$61\ 000\ \tau$	$0,001 < \tau \leq 0,016\ 4$
1000	$\tau > 0,016\ 4$

Los requisitos resultantes se muestran en la figura A.9.

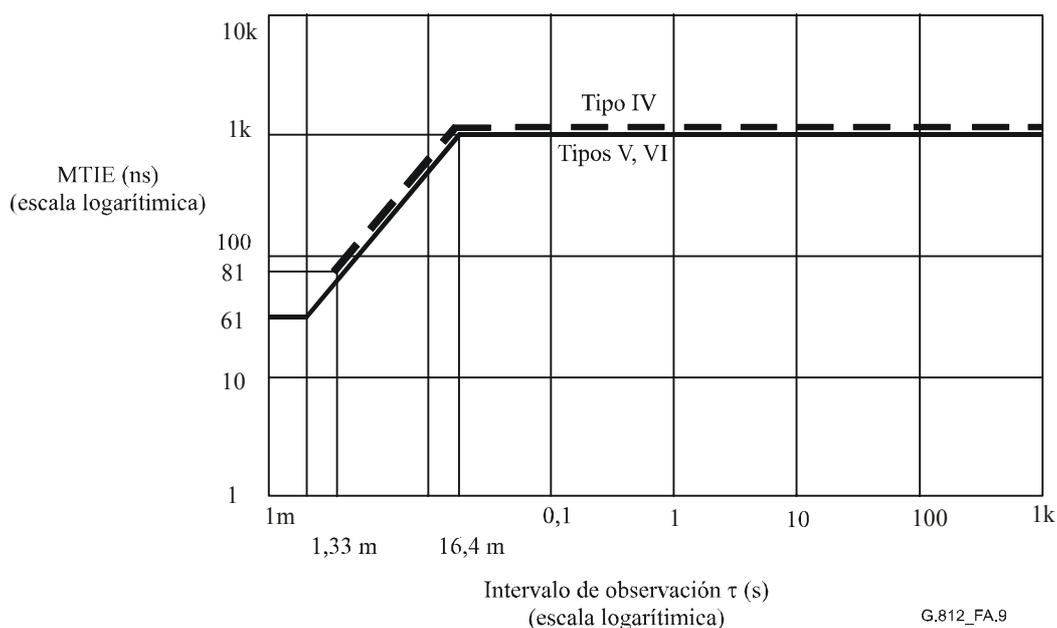


Figura A.9/G.812 – Requisitos de componentes transitorios de fase a la salida (MTIE)

A.7 Interfaces

Los requisitos de esta Recomendación se relacionan con los puntos de referencia internos de los elementos de red (NE) en los que está insertado el reloj y, por consiguiente, no están necesariamente disponibles para medición o análisis por el usuario. En consecuencia, el funcionamiento del reloj G.812 no se define en estos puntos de referencia internos, sino en las interfaces externas del equipo. Las entradas y salidas externas son:

- interfaces a 1544 kbit/s de acuerdo con la Rec. UIT-T G.703;
- interfaces externas a 2048 kHz de acuerdo con la Rec. UIT-T G.703;

- interfaces a 2048 kbit/s de acuerdo con la Rec. UIT-T G.703;
- interfaces de tráfico STM-N de acuerdo con las Recs. UIT-T G.703 y G.957.

Obsérvese que las interfaces indicadas pueden no existir en todos los equipos. Estas interfaces deben cumplir los requisitos adicionales de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase definidos en esta Recomendación.

Apéndice I

Relación entre la desviación de tiempo (TDEV) y la densidad espectral de potencia

En este apéndice se proporciona información y se demuestra que la densidad espectral de potencia de fase viene dada aproximadamente en términos de la TDEV de la fase por la expresión

$$S_x(f) \approx \frac{0,75}{f} \left(\text{TDEV} \left(\frac{0,3}{f} \right) \right)^2$$

De la cláusula II.3/G.810, se tiene:

$$\text{TDEV}(\tau) = \sqrt{\frac{2}{3(\pi v_{\text{nom}} n)^2} \int_0^{f_h} S_\varphi(f) \frac{\text{sen}^6(\pi n \tau_0 f)}{\text{sen}^2(\pi \tau_0 f)} df}$$

donde v_{nom} es la frecuencia nominal (en Hz) de la referencia con fluctuación lenta de fase, y $n\tau_0 = \tau$, y $S_\varphi(f)$ es la densidad de potencia espectral (PSD, *power spectral density*) de fase $\varphi(t)$ en radianes. Sea:

$$S_x(f) = \frac{1}{(2\pi v_{\text{nom}})^2} S_\varphi(f)$$

la densidad de potencia espectral del error de intervalo de tiempo $x(t) = \varphi(t) / (2\pi v_{\text{nom}})$ en segundos. Si el mayor valor de f es $f = 10$ Hz y el mayor valor de τ_0 es $\tau_0 = 20$ ms, luego $\pi \tau_0 f < 0,628$, y $n \cdot \text{sen}(\pi \tau_0 f) \approx n \cdot \pi \tau_0 f = \pi \tau f$, y:

$$\text{TDEV}(\tau) = \sqrt{\frac{8}{3} \int_0^{f_h} S_x(f) \frac{\text{sen}^6(\pi \tau f)}{(\pi \tau f)^2} df} = \sqrt{\int_0^{f_h} S_x(f) H^2(\tau, f) df} \quad (\text{I-1})$$

siendo:

$$H(\tau, f) = \sqrt{\frac{8}{3}} \frac{\text{sen}^3(\pi \tau f)}{\pi \tau f}$$

El término $S_x(f) H^2(\tau, f)$ es la densidad espectral de potencia de la fase $x(t)$. Por consiguiente, TDEV se puede considerar como la media cuadrática de la fase filtrada por un filtro paso banda $H(\tau, f)$. En la figura I.1 se muestran los valores de $H(\tau, f)^2$ para $\tau = 0,5$ s y $\tau = 1,0$ s. Teniendo en cuenta que $H(\tau, f)^2$ sólo tiene el 0,85% de su área más allá de $20/\tau$, en la práctica se puede utilizar $f_h = 20/\tau$ con poco efecto sobre el valor de TDEV calculado.

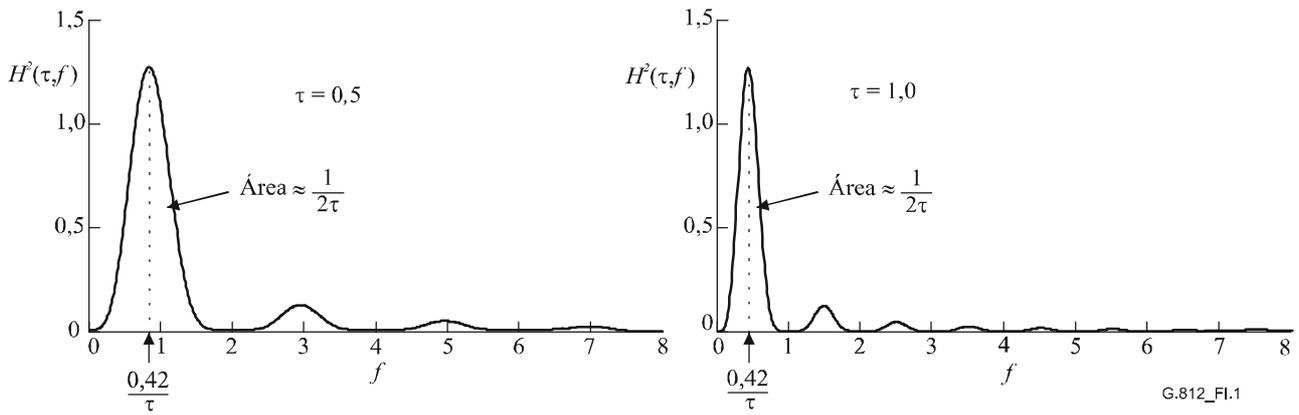


Figura I.1/G.812 – Respuesta en frecuencia del filtro $H(\tau, f)$ que es parte del cálculo de la TDEV

Obsérvese que la respuesta tiene su valor de cresta en $f = 0,42/\tau$, y que el área que encierra la curva es $1/(2\tau)$. Si la banda de paso fuera muy estrecha se puede esperar que $\int_0^\infty S_x(f)H(\tau, f)^2 df \approx (1/2\tau)S_x(0,42/\tau)$. Sin embargo, debido a que el filtro tiene una anchura de banda sustancial, y debido a que la fase tiende a presentar componentes espectrales más pronunciados en bajas frecuencias, una mejor aproximación es la siguiente:

$$\int_0^\infty S_x(f)H(\tau, f)^2 df \approx (1/2,5\tau)S_x(0,3/\tau)$$

Luego, TDEV se puede calcular aproximadamente con la siguiente expresión:

$$\text{TDEV}(\tau) \approx \sqrt{\frac{1}{2,5\tau} S_x\left(\frac{0,3}{\tau}\right)} \quad (\text{I-2})$$

Se puede obtener la relación inversa – es decir, la densidad espectral de potencia en función de la TDEV – reemplazando $0,3/f$ por τ y calculando $S_x(f)$:

$$S_x(f) \approx \frac{0,75}{f} \left(\text{TDEV}\left(\frac{0,3}{f}\right) \right)^2 \quad (\text{I-3})$$

En particular, si TDEV (τ) tiene un corte en $\tau = \tau_{\text{de corte}}$, la densidad espectral de potencia $S_x(f)$ tiene un corte en $f = f_{\text{de corte}}$, donde $f_{\text{de corte}} \approx 0,3/\tau_{\text{de corte}}$.

Apéndice II

Método de medición de la transferencia de ruido

El método de medición que aquí se recomienda comprueba directamente la conformidad con la especificación de transferencia de ruido de la cláusula 10 parte b) mediante la aplicación del límite de tolerancia de ruido a la entrada (TDEV) de la figura 4, como señal de prueba. La característica de la TDEV a la salida se compara con el límite de la especificación, figura 8.

II.1 Sistema de medición

El sistema de medición se ilustra en la figura II.1.

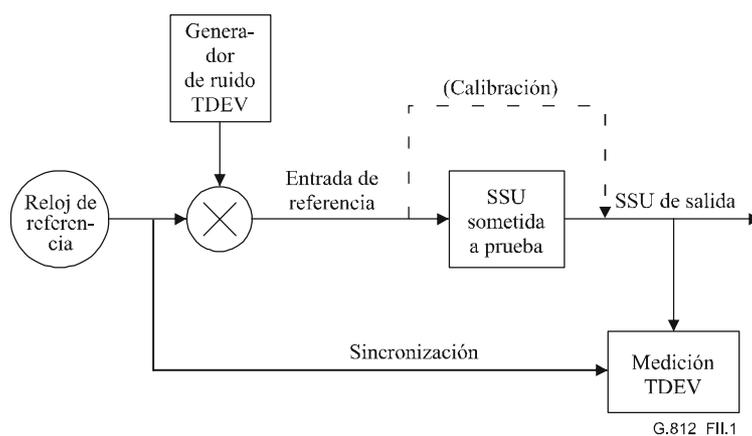


Figura II.1/G.812 – Sistema de medición para características de transferencia de ruido de la TDEV

Para asegurar mediciones suficientemente exactas, robustas y consistentes, se deben aplicar los siguientes principios:

- 1) La señal de prueba debe ser determinística, con características de ruido durante un breve intervalo de observación.
- 2) El generador de ruido debe producir una señal de prueba dentro de $\pm 20\%$ de la especificación de tolerancia de ruido de entrada – cláusula 9, figura 4.
- 3) Con grandes valores de τ , los resultados de TDEV estarán en concordancia con la plantilla de salida de TDEV dentro de $\pm 2\%$ de la especificación – cláusula 10, figura 8.

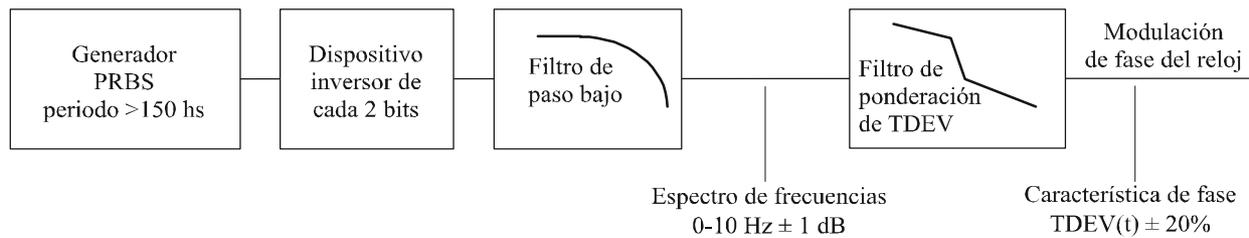
A fin de obtener los niveles de exactitud, normalización y técnicas de calibración mencionadas, se recomienda aplicar el siguiente procedimiento:

- 1) Efectuar una secuencia de mediciones de calibración, sin el reloj subordinado sometido a prueba – TDEV(cal). Con esto se obtienen las características de la señal de prueba sin procesar.
- 2) Calcular un factor de corrección con respecto a la especificación de tolerancia de la fluctuación lenta de fase de entrada requerida – TDEV(ref). Esto representa ahora la señal de prueba ideal.
- 3) Medir la TDEV(dat) del reloj subordinado sometido a prueba en las mismas condiciones que la secuencia de calibración.

- 4) Normalizar la TDEV(dat) utilizando la TDEV(ref), con lo que se obtiene la TDEV(med).
- 5) La TDEV(med) se puede comparar ahora directamente con el límite de la especificación de transferencia de ruido.

II.2 Modelo funcional del generador de ruido de la TDEV

El generador de ruido que se muestra en la figura II.1 se puede describir por el diagrama funcional ilustrado en la figura II.2. Esto no implica una implementación específica sino que define las características esenciales que se deben observar para satisfacer los objetivos de medición precedentes. Un generador de ruido adecuado puede ser construido, por ejemplo, con una secuencia PRBS de $2^{31} - 1$, generada a 6,4 kHz.



G.812_FII.2

Figura II.2/G.812 – Modelo funcional del generador de ruido de la TDEV

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación