

UIT-T

G.8272/Y.1367

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

(01/2015)

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

Aspectos relativos a los protocolos en modo paquete
sobre la capa de transporte – Sincronización, objetivos de
calidad y disponibilidad

**SERIE Y: INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA
INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO
INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN**

Aspectos del protocolo Internet – Transporte

**Características de temporización de los relojes
de referencia de tiempo primarios**

Recomendación UIT-T G.8272/Y.1367

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
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS	G.600–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN MULTIMEDIOS – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS A LOS PROTOCOLOS EN MODO PAQUETE SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
Aspectos relativos al protocolo Ethernet sobre la capa de transporte	G.8000–G.8099
Aspectos relativos al protocolo MPLS sobre la capa de transporte	G.8100–G.8199
Sincronización, objetivos de calidad y disponibilidad	G.8200–G.8299
Gestión de servicios	G.8600–G.8699
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

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

Recomendación UIT-T G.8272/Y.1367

Características de temporización de los relojes de referencia de tiempo primarios

Resumen

La Recomendación UIT-T G.8272/Y.1367 especifica los requisitos relativos a los relojes primarios de referencia de tiempo (PRTC) para la sincronización de tiempo, de fase y de frecuencia en redes de paquetes. Define el error permitido en la salida de tiempo del PRTC.

Estos requisitos se aplican en las condiciones ambientales normales especificadas para los equipos.

Historia

Edición	Recomendación	Aprobación	Comisión de Estudio	ID único*
1.0	ITU-T G.8272/Y.1367	2012-10-29	15	11.1002/1000/11817
1.1	ITU-T G.8272/Y.1367 (2012) Amd. 1	2013-08-29	15	11.1002/1000/12013
2.0	ITU-T G.8272/Y.1367	2015-01-13	15	11.1002/1000/12393

* Para acceder a la Recomendación, sírvase digitar el URL <http://handle.itu.int/> en el campo de dirección del navegador, seguido por el identificador único de la Recomendación. Por ejemplo, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

PREFACIO

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones y de las tecnologías de la información y la comunicación. El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) 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 en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2016

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 Referencias	1
3 Definiciones	2
3.1 Términos definidos en otros documentos	2
3.2 Términos definidos en esta Recomendación	2
4 Abreviaturas y acrónimos	2
5 Convenios	2
6 Error de tiempo, de fluctuación lenta de fase y de fluctuación de fase en modo enganchado	2
6.1 Error de tiempo en el modo enganchado	3
6.2 Fluctuación lenta de fase en modo enganchado	3
6.3 Fluctuación de fase	5
7 Régimen libre sostenido (<i>holdover</i>).....	5
8 Discontinuidad de fase.....	6
9 Interfaces.....	6
9.1 Interfaces de fase y de tiempo	6
9.2 Interfaces de frecuencia	6
Apéndice I – Medición de la calidad de funcionamiento de un PRTC o de un PTC combinado con T-GM.....	7
I.1 Factores que afectan a la calidad de funcionamiento de un PRTC basad en un GNSS	7
I.2 Medición de la fluctuación lenta de fase	8
I.3 Medición del error de tiempo	9
Apéndice II – Modelo funcional del PRTC	14
Apéndice III – Información intercambiada a través de la interfaz de tiempo.....	16
Apéndice IV – Ubicaciones de los PRTC	17

Recomendación UIT-T G.8272/Y.1367

Características de tiempo de los relojes de referencia de tiempo primarios

1 Alcance

Esta Recomendación especifica los requisitos que deben cumplir los relojes de referencia de tiempo primarios (PRTC) para la sincronización de tiempo, de fase y de frecuencia en redes en modo paquete. Estos requisitos son aplicables en las condiciones ambientales normales especificadas para los equipos.

Un PRTC típico proporciona la señal de referencia para la sincronización de tiempo, de fase y de frecuencia de otros relojes de una red o de parte de una red. En particular, el PRTC también puede proporcionar la señal de referencia al maestro principal para telecomunicaciones (T-GM, *telecom grand master*) en los nodos de la red donde se ubica el PRTC.

El PRTC proporciona una señal de referencia de tiempo asociada a una referencia de tiempo reconocida (por ejemplo, tiempo universal coordinado, UTC). El UTC puede obtenerse de un laboratorio de tiempo UTC registrado en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) (por ejemplo, de un laboratorio nacional de tiempo UTC) o, más frecuentemente, de un sistema mundial de navegación por satélite (GNSS).

En esta Recomendación se definen los requisitos de salida del PRTC. La precisión del PRTC debe mantenerse tal como se especifica en la Recomendación.

Esta Recomendación también incluye el caso en el que el PRTC está integrado con un reloj T-GM. En ese caso, se define la calidad de funcionamiento a la salida de la función combinada del PRTC y el T-GM, es decir, los mensajes del protocolo de tiempo de precisión (PTP, *precision time protocol*).

2 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.

- [UIT-T G.703] Recomendación UIT-T G.703 (2001), *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas*.
- [UIT-T G.810] Recomendación UIT-T G.810 (1996), *Definiciones y terminología para redes de sincronización*.
- [UIT-T G.811] Recomendación UIT-T G.811 (1997), *Características de tiempo de los relojes de referencia primarios*.
- [UIT-T G.8260] Recomendación UIT-T G.8260 (2012), *Definiciones y terminología para la sincronización en redes de paquetes*.
- [UIT-T G.8271] Recomendación UIT-T G.8271/Y.1366 (2012), *Aspectos de la sincronización del tiempo y la fase en las redes por paquetes*.
- [UIT-T G.8273] Recomendación UIT-T G.8273/Y.1368 (2013), *Marco de los relojes de fase y de tiempo*.

3 Definiciones

3.1 Términos definidos en otros documentos

Esta recomendación utiliza los términos y definiciones siguientes definidos en otros documentos: Definiciones conexas sobre sincronización recogidas en [UIT-T G.810] y [UIT-T G.8260].

3.2 Términos definidos en esta Recomendación

Ninguno.

4 Abreviaturas y acrónimos

En la presente Recomendación se utilizan las siguientes siglas y acrónimos:

1PPS	1 impulso por segundo (<i>1 pulse-per-second</i>)
GNSS	Sistema mundial de navegación por satélite (<i>global navigation satellite system</i>)
GPS	Sistema mundial de posicionamiento (<i>global positioning system</i>)
MTIE	Máximo error en el intervalo de tiempo (<i>maximum time interval error</i>)
PRC	Reloj de referencia primario (<i>primary reference clock</i>)
PRTC	Reloj de referencia de tiempo primario (<i>primary reference time clock</i>)
PTP	Protocolo de tiempo de precisión (<i>precision time protocol</i>)
RF	Radiofrecuencia
SSU	Unidad de suministro de señalización (<i>synchronization supply unit</i>)
T-GM	Maestro principal para telecomunicaciones (<i>Telecom grand master</i>)
TDEV	Desviación de tiempo (<i>time deviation</i>)
ToD	Hora del día (<i>time of day</i>)
UTC	Tiempo Universal Coordinado (<i>coordinated universal time</i>)

5 Convenios

Ninguno.

6 Error de tiempo, de fluctuación lenta de fase y de fluctuación de fase en modo enganchado

La generación de ruido de un PRTC se caracteriza por dos aspectos principales:

- un error de tiempo constante (desplazamiento de tiempo) a su salida en comparación con la referencia de tiempo primaria aplicable (por ejemplo, UTC);
- la cantidad de error de fase (fluctuación lenta de fase y fluctuación de fase) a su salida.

Para la caracterización del segundo aspecto mencionado (error de fase) es de utilidad calcular el máximo error en el intervalo de tiempo (MTIE) y la desviación de tiempo (TDEV).

En la cláusula 6.1 se definen los requisitos del error de tiempo aplicables a la salida del PRTC, que corresponden a la combinación de los dos aspectos antes descritos (error de tiempo constante y

error de fase). No se define ningún requisito para el error de tiempo constante por sí solo, ya que se combina con el error de fase y no es medible por separado.

En las cláusulas 6.2 y 6.3 se definen los requisitos de la fluctuación lenta de fase y de la fluctuación de fase a la salida del PRTC, que corresponden al segundo aspecto antes mencionado (error de fase).

La calidad de funcionamiento especificada en las cláusulas 6.1 y 6.2 también se aplica a la salida de la función combinada del PRTC y del T-GM, cuando ambos están integrados en el mismo equipo. Por tanto, no existe margen adicional debido a la inclusión de la función T-GM.

NOTA – Es posible optimizar el ruido en el interior del equipo mediante la combinación de las dos funciones. Por tanto, el ruido total del equipo que integra el PRTC y el T-GM puede ser el mismo que el del equipo que solo incluya el PRTC.

6.1 Error de tiempo en el modo enganchado

En condiciones normales, es decir en modo enganchado, la salida de tiempo del PRTC, o de la función combinada PRTC y T-GM, debe tener una precisión de 100 ns o mejor cuando se compara con la referencia de tiempo primaria aplicable (por ejemplo, UTC). Para el PRTC este valor incluye todos los componentes de ruido, es decir, el error de tiempo constante (desplazamiento de tiempo) y el error de fase (fluctuación lenta de fase y de la fluctuación de fase) del PRTC. Para la función combinada PRTC y T-GM se aplica lo mismo, excepto en el caso de que las muestras sean procesadas utilizando el método especificado en [UIT-T G.8273] para abordar la cuantificación del sello de tiempo.

La condición de funcionamiento normal, es decir enganchada, significa lo siguiente:

- el PRTC está completamente enganchado a la señal de referencia de tiempo de entrada, y no funciona durante el periodo de calentamiento;
- no se producen averías o errores en los equipos del trayecto de referencia, entre otras, averías de la antena;
- las condiciones ambientales están dentro de los límites de funcionamiento especificados para el equipo;
- el equipo ha sido adecuadamente puesto en servicio y calibrado en relación con fuentes de variación fijas, como el retardo debido a la longitud del cable de antena y al cableado entre receptor y amplificadores;
- la señal de tiempo de referencia (por ejemplo, la señal GNSS) funciona dentro de sus límites, como establecen las autoridades operacionales pertinentes;
- si la señal de tiempo de referencia se basa en un sistema radiocomunicaciones, como el caso de un GNSS, deben minimizarse las reflexiones por trayectos múltiples o las interferencias de otras transmisiones locales, como las interferencias deliberadas, hasta un nivel aceptable
- no se producen anomalías de propagación extremas, como tormentas graves.

6.2 Fluctuación lenta de fase en modo enganchado

Cuando el PRTC está en el modo de funcionamiento normal, modo enganchado, la fluctuación lenta de fase expresada en MTIE y medida con una configuración similar a la de reloj sincronizado, definido en la figura 1a de [UIT-T G.810] (con una referencia de tiempo en lugar de una referencia de frecuencia), debe estar entre los límites siguientes:

Cuadro 1 – Generación de fluctuación lenta de fase (MTIE)

Límite de MTIE [μs]	Intervalo de observación τ [s]
$0,275 \times 10^{-3}\tau + 0,025$	$0,1 < \tau \leq 273$
0,10	$\tau > 273$

Los requisitos resultantes se muestran en la figura 1.

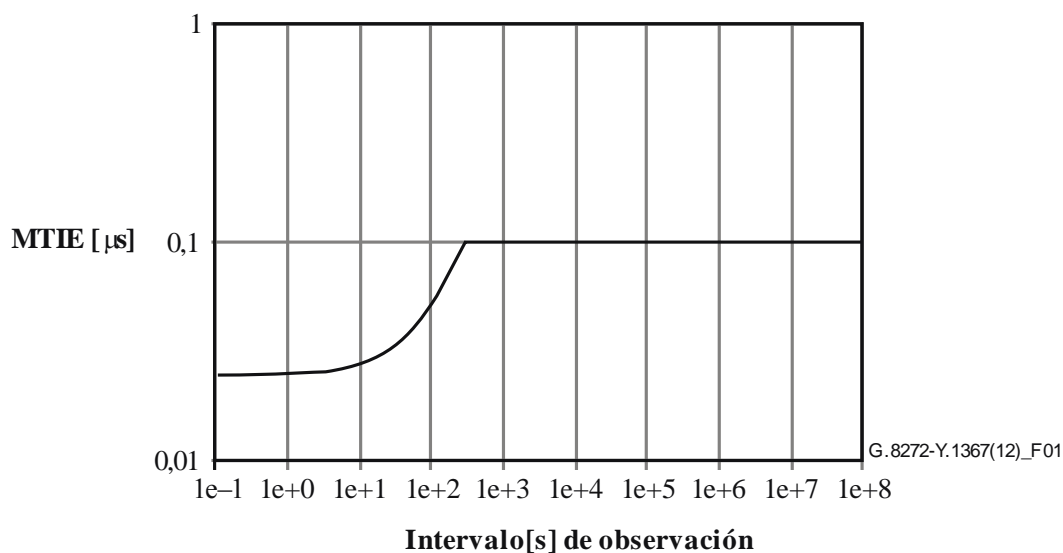


Figura 1 – MTIE en función del período de observación (integración)

NOTA 1 – Para la interfaz de salida de 1 impulso por segundo (1PPS), el MTIE se aplica durante un periodo de observación mayor de un segundo.

Cuando el PRTC está en el modo de funcionamiento normal, modo enganchado, la fluctuación lenta de fase expresada en TDEV y medida con una configuración similar a la de reloj sincronizado, definido en la figura 1a de [UIT-T G.810] (con una referencia de tiempo en lugar de una referencia de frecuencia), debe estar entre los límites siguientes:

Cuadro 2 – Generación de fluctuación lenta de fase (TDEV)

Límite de TDEV [ns]	Intervalo de observación τ [s]
3	$0,1 < \tau \leq 100$
$0,03 \tau$	$100 < \tau \leq 1\ 000$
30	$1\ 000 < \tau < 10\ 000$

Los requisitos resultantes se muestran en la figura 2.

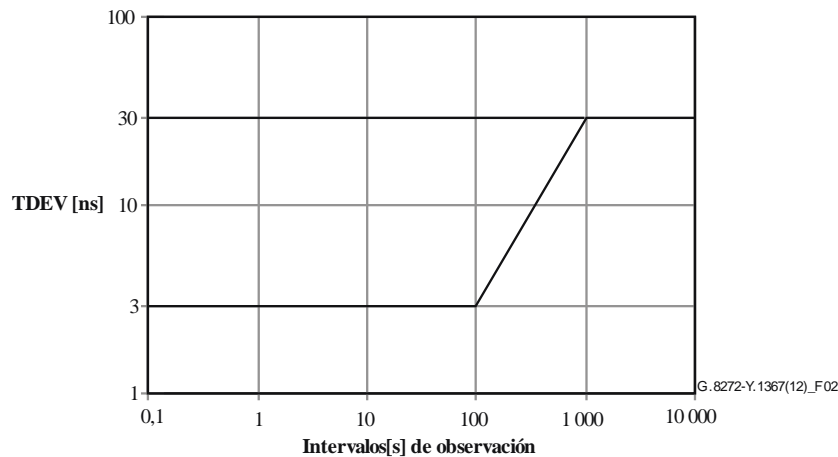


Figura 2 – TDEV en función del periodo de observación (integración)

NOTA 2 – Para la interfaz de salida de 1 impulso por segundo (1PPS), el TDEV se aplica durante un periodo de observación mayor de un segundo.

Los requisitos aplicables a MTIE y TDEV para las interfaces de salida de 1PPS se basan en el error del intervalo de tiempo de la señal 1PPS a una tasa de una muestra por segundo y sin filtrado de paso bajo.

Los requisitos aplicables a MTIE y TDEV para las interfaces de salida de 2 048 kHz, 2 048 kbit/s y 1 544 kbit/s se miden a través de un filtro de medición equivalente de paso bajo de primer orden de 10 Hz y un tiempo máximo de muestreo τ_0 de 1/30 segundos.

Los requisitos aplicables a MTIE y TDEV para una interfaz Ethernet que transporta mensajes PTP se aplican tras realizar un promedio sobre las últimas 100 muestras consecutivas a fin de evitar errores por la cuantificación del sello de tiempo, o cualquier cuantificación de la posición del paquete en el equipo de prueba.

6.3 Fluctuación de fase

Si bien la mayoría de las especificaciones de esta Recomendación son independientes de la interfaz de salida en la que se miden, ese no es el caso de la fluctuación de fase; la especificaciones sobre la generación de desplazamiento de fase deben utilizar especificaciones existentes que actualmente son distintas para diferentes velocidades en la interfaz. Estos requisitos se establecen por separado para algunas de las interfaces identificadas en la cláusula 9. Los requisitos aplicables a la fluctuación de fase para interfaces de salida de 2 048 kHz, 2 048 kbit/s y 1 544 kbit/s se definen en [UIT-T G.811].

La fluctuación de fase intrínseca para el resto de interfaces identificadas en la cláusula 9 requiere estudios adicionales.

7 Régimen libre sostenido (*holdover*)

Cuando un PTRC pierde todas sus referencias de tiempo y de fase, entra en el estado de régimen libre sostenido ("*holdover*", en el que utiliza datos de referencia internos). En esas circunstancias, el PRTC puede basarse en el régimen libre sostenido de un oscilador local, en una entrada con una frecuencia de referencia de externa asociada a un reloj de referencia primario (PRC) o en una combinación de ambos.

Este requisito limita la excursión máxima de la señal de tiempo de salida. Adicionalmente, restringe la acumulación del movimiento de la fase durante una degradación de la señal de entrada o cuando se producen perturbaciones internas.

Los requisitos de fase/tiempo en régimen libre sostenido aplicables al PTRC requieren estudios adicionales.

8 Discontinuidad de fase

La discontinuidad de fase de un PTRC requiere estudios adicionales.

9 Interfaces

Los requisitos de la presente Recomendación están referidos a puntos de referencia que pueden ser puntos internos del equipo o equipo de red en el que se integra el PTRC y, por tanto, no necesariamente accesibles a efectos de medición o análisis por el usuario. La calidad de funcionamiento del PTRC no se especifica, por tanto, en esos puntos de referencia internos sino en las interfaces externas del equipo.

Obsérvese que no todas las interfaces que se indican a continuación tienen que ser implementadas en todos los equipos.

9.1 Interfaces de fase y de tiempo

Las interfaces de tiempo y de fase de salida especificadas para el equipo donde el PTRC puede estar integrado son las siguientes:

- interfaz de distribución de tiempo/fase basada en UIT-T V.11, definida en [UIT-T G.703] y [UIT-T G.8271];
- interfaz de medición de sincronización de fase 1PPS de 50 Ω , definida en [UIT-T G.703] y [UIT-T G.8271];
- otras interfaces requieren estudios adicionales;
- interfaz Ethernet que transporta mensajes PTP.

NOTA – Las interfaces Ethernet pueden combinar Ethernet síncrono para la frecuencia y mensajes PTP.

9.2 Interfaces de frecuencia

Además de las interfaces de fase y de tiempo, pueden utilizarse interfaces de frecuencia. Debe proporcionarse al menos una interfaz de frecuencia de salida. Las interfaces de frecuencia de salida especificadas para el equipo en el que puede estar integrado el PTRC son las siguientes:

- interfaces a 2048 kHz de acuerdo con [UIT-T G.703] con los requisitos adicionales de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase que aquí se especifican;
- interfaces a 1544 kbit/s de acuerdo con [UIT-T G.703] con los requisitos adicionales de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase que aquí se especifican;
- interfaces a 2048 kbit/s de acuerdo con [UIT-T G.703] con los requisitos adicionales de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase que aquí se especifican;
- interfaces Ethernet síncronas.

NOTA – Las interfaces Ethernet pueden combinar Ethernet síncrono y mensajes PTP.

- interfaz de distribución de tiempo/fase basada en UIT-T V.11, definida en [UIT-T G.703] y [UIT-T G.8271];
- interfaz de medición de sincronización de fase 1PPS 50 Ω , definida en [UIT-T G.703] y [UIT-T G.8271];
- otras interfaces requieren estudios adicionales.

Las interfaces de frecuencia de entrada opcionales especificadas para el equipo en el que puede estar integrado el PTRC requieren estudios adicionales.

Apéndice I

Medición de la calidad de funcionamiento de un PRTC o de un PTC combinado con T-GM

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

El error de tiempo de una salida PRTC resulta difícil de medir porque se trata de una cantidad relativa. A diferencia de la frecuencia, no existe algo parecido a un "generador de tiempo"; siempre debe compararse con una referencia normalizada, como UTC. Incluso UTC se conoce sólo en retrospectiva, mediante la comparación con las salidas de varias referencias de tiempo nacionales durante un periodo de tiempo.

NOTA 1 – En relación con la exactitud de la prueba de calidad de funcionamiento de PRTC son necesarios estudios adicionales.

NOTA 2 – Los detalles de la prueba de un PRTC combinado con un T-GM figuran en [UIT-T G.8273]

I.1 Factores que afectan a la calidad de funcionamiento de un PRTC basado en un GNSS

El tipo más común de PRTC es el que distribuye el tiempo mediante señales de radiocomunicaciones de un sistema GNSS. Sin embargo, la calidad de funcionamiento de un sistema GNSS es función de una serie de aspectos que están fuera del control del fabricante del equipo. Por tanto, la especificación del fabricante sólo puede indicar lo que puede hacer el equipo, y no qué calidad de funcionamiento presentará el equipo en una instalación real dada.

Para la medición de la calidad de funcionamiento de un PRTC basado en GNSS, deben verificarse lo siguiente en la medida de lo posible:

- el equipo ha sido adecuadamente puesto en servicio y calibrado en relación con fuentes de variación fijas, como el retardo debido a la longitud del cable de antena y los amplificadores. Por ejemplo, un cable de antena producirá un retardo de aproximadamente 4 ns/m, en función del tipo de cable;
- cualquier compensación por la asimetría de la señal de salida 1PPS en el PRTC (como la descrita en la cláusula A.1.2 de [UIT-T G.8271]) es estable;
- la antena tiene una visión despejada del cielo con una distorsión mínima por trayectos múltiples. Esto puede verificarse identificando el número de satélites visibles mediante mediciones;
- el sistema GNSS o de distribución radioeléctrica es debidamente mantenido y operado por las autoridades pertinentes. Esto puede verificarse comprobando los boletines operacionales elaborados por las autoridades.

Además de dichos factores primarios, existen condiciones secundarias que pueden provocar errores en la medición del tiempo por un sistema GNSS. Estos factores pueden ser más difíciles de cuantificar o mitigar. Los factores secundarios incluyen los siguientes:

- interferencia de transmisiones a nivel del suelo. Aunque pueden utilizarse filtros para eliminar parte de la interferencia a nivel del suelo, puede no ser suficiente para la protección contra interferencia intencionada local. La existencia de interferencia intencionada puede comprobarse mediante equipos de detección de interferencias;
- condiciones atmosféricas, como tormentas, lluvia intensa o niebla;
- interferencias solares, como manchas y erupciones solares, que afectan al retardo producido por la ionosfera.

I.2 Medición de la fluctuación lenta de fase

Es posible medir la fluctuación lenta de fase de un PRTC en relación con una frecuencia de referencia de calidad PRC, como un reloj de cesio. Se utiliza un contador de intervalo de tiempo para comparar la fase de una señal de salida 1PPS de un PRTC con la de un PRC. La configuración experimental se representa en la figura I.1

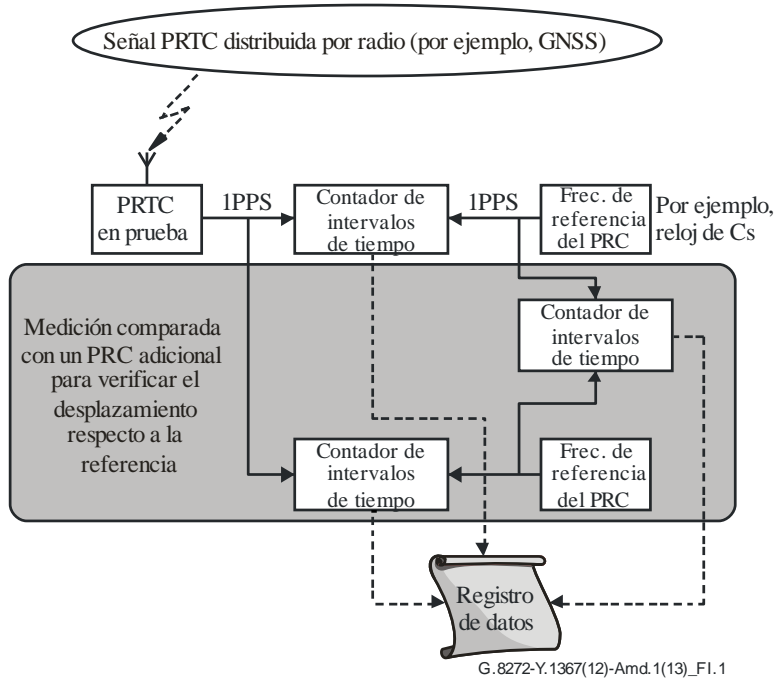


Figura I.1 – Medición de la fluctuación lenta de fase de un PRTC

En caso de prueba de una función combinada de PRTC y T-GM, el contador de intervalos de tiempo puede reemplazarse por un dispositivo supervisor de tiempo de paquetes, tal como se muestra en la figura I.2

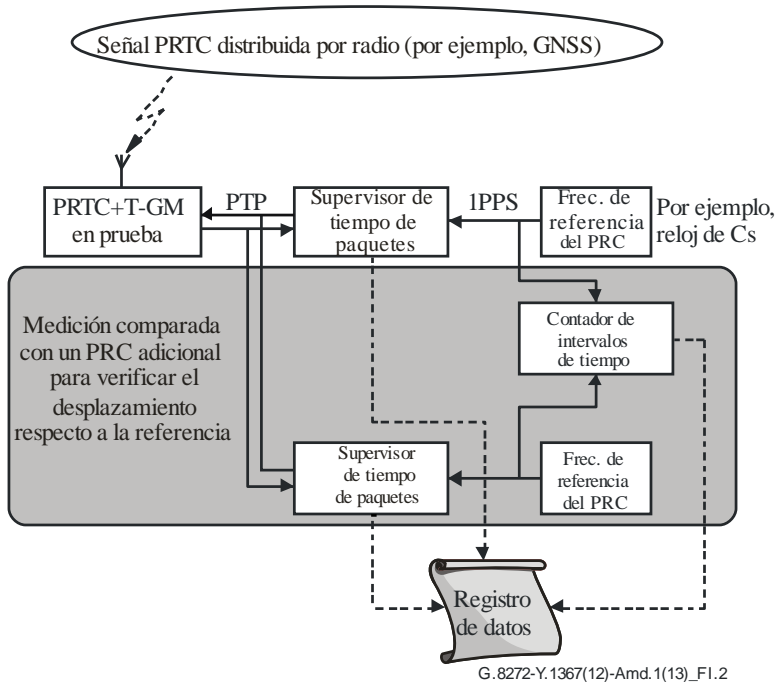


Figura I.2 – Medición de la fluctuación lenta de fase en caso de PRTC y T-GM combinados

El desplazamiento lento de fase de un reloj de referencia de cesio es extremadamente lento, aunque puede tener un ligero desplazamiento con respecto a la frecuencia UTC. Para un PRC, se garantiza que ésta es menor de 1 por cada 10^{11} , aunque las referencias típicas de cesio tienen una calidad muy superior. Este desplazamiento de frecuencia causa una inclinación en la representación gráfica de la fase, que debe eliminarse para mostrar la calidad de funcionamiento de la fluctuación lenta de fase del PRTC.

Para distinguir entre la fluctuación lenta de fase del PRTC y la del PRC, puede utilizarse un segundo PRC para hacer una comparación a tres partes. Ello se muestra en las figuras I.1 y I.2 mediante las componentes en las cajas sombreadas. Si no se requiere, esta verificación adicional puede omitirse.

Debido a que la referencia de cesio sólo es una fuente de frecuencia y no de tiempo, el experimento informa exclusivamente de la fluctuación lenta de fase y no puede medir el error de tiempo debido al sistema GNSS. No obstante, indica que si es posible medir y calibrar el error estático, el PRTC puede mantener el tiempo dentro de ciertos límites.

I.3 Medición del error de tiempo

Para determinar el error máximo de tiempo de un PRTC, es necesario compararlo con otra fuente de tiempo precisa.

I.3.1 Comparación con un receptor de referencia

En el contexto del laboratorio, una fuente precisa de tiempo puede ser otro receptor de GNSS con una incertidumbre conocida o "receptor de referencia". La configuración experimental es muy parecida a la de medición de la fluctuación lenta de fase, pero sustituyendo el receptor de referencia por el PRC de cesio. Se utiliza un contador de intervalos de tiempo para comparar la diferencia de tiempo entre una señal de salida 1PPS del PRTC y el receptor de referencia. La configuración experimental se muestra en la figura I.3

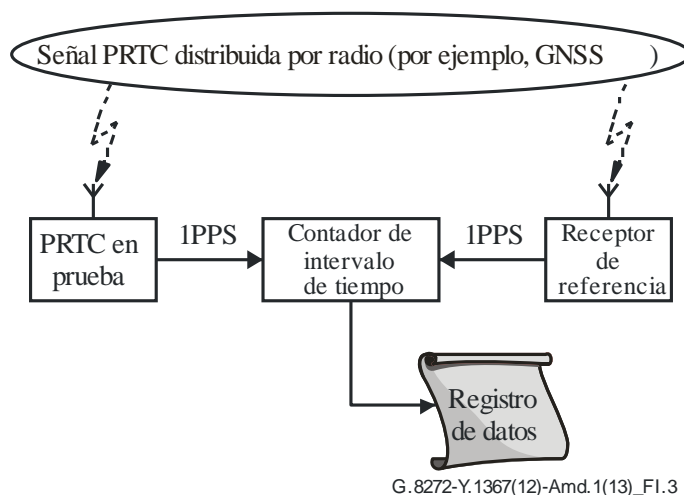


Figura I.3 – Comparación de la precisión de tiempo con un receptor de referencia

En caso de una función combinada de PRTC y T-GM, el contador de intervalos de tiempo puede sustituirse por un supervisor de tiempo de paquetes, como se muestra en la figura I.4.

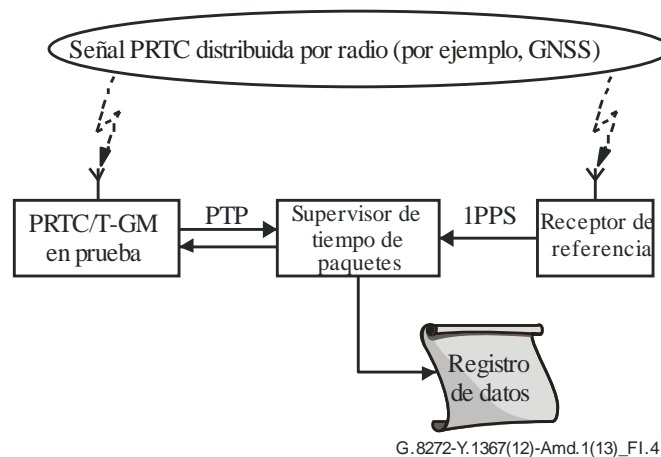
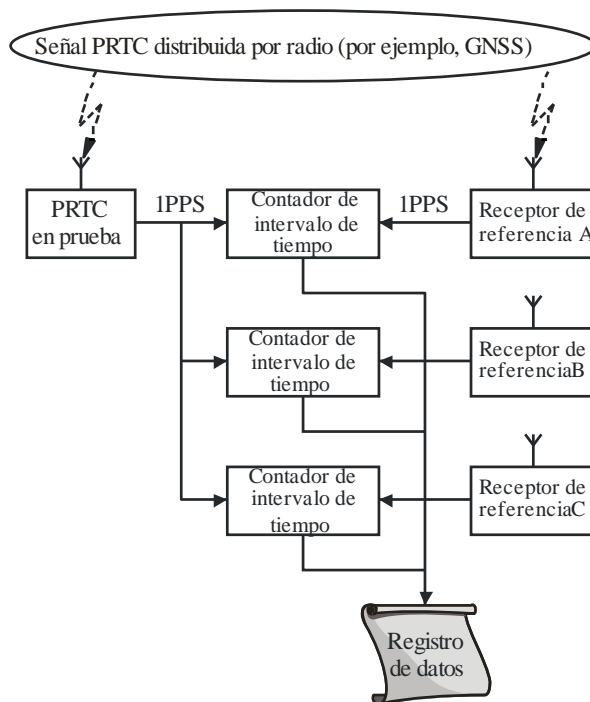


Figura I.4 – Comparación de la precisión de tiempo de PRTC y T-GM combinados con un receptor de referencia

Para que los resultados de esta configuración sean válidos, el receptor de referencia debe tener idealmente una calidad de funcionamiento significativamente mejor que el PRTC. Dado que la especificación del error de tiempo de un PRTC está próxima a los límites técnicamente posibles con un sistema GNSS, este tipo de medición puede indicar que la precisión temporal está en los límites normales, más que probar si se cumple el nivel de precisión especificado.

Obsérvese que si la calidad de funcionamiento del receptor de referencia no es significativamente mejor que la del PRTC en prueba, es imposible verificar si el equipo en prueba cumple la especificación. Sólo puede utilizarse como prueba básica que evalúa si el PRTC puede tener otros problemas de entidad. El motivo es que si el receptor de referencia tiene la misma calidad de funcionamiento que el PRTC, los valores de MTIE, TDEV y $\max|TE|$ medidos pueden ser hasta dos veces los valores de los requisitos de MTIE, TDEV y $\max|TE|$ del PRTC, o bien muy pequeños y próximos a cero.

El método del receptor de referencia puede mejorarse utilizando varios receptores de referencia. Por ejemplo, si se utilizan tres o más receptores, es posible usar un sistema de "votación por mayoría" para determinar la calidad de funcionamiento del PRTC en prueba. También es posible estimar la varianza de los receptores individuales. En la figura I.5 se muestra la configuración experimental.



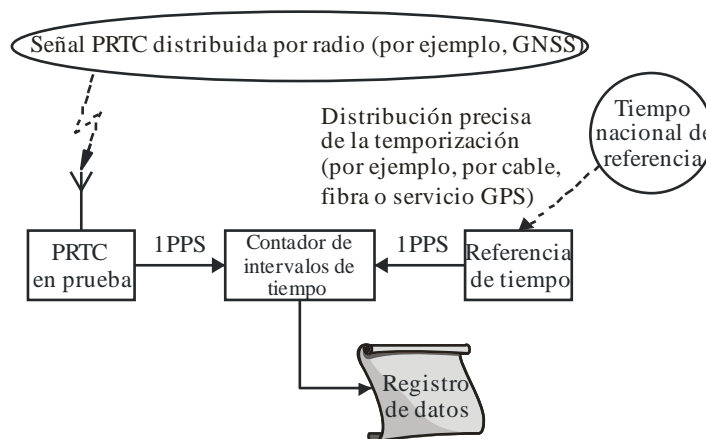
G.8272-Y.1367(12)-Amd.1(13)_FI.5

Figura I.5 – Comparación de la precisión de tiempo con varios receptores de referencia

En el caso de una función combinada PRTC y T-GM, los contadores de intervalos de tiempo pueden sustituirse por supervisores de tiempo de paquetes

I.3.2 Calibración con respecto a una referencia de tiempo nacional

Con el fin de verificar que el error de tiempo respecto a una referencia de tiempo está dentro de los límites aceptables, es necesario comparar el PRTC con una fuente de tiempo mucho más precisa. Por ejemplo, ésta puede obtenerse de un laboratorio nacional de tiempos de referencia. Es necesario realizar una medición en el propio laboratorio o bien utilizar un sistema preciso de distribución de tiempo, como un sistema por cable o fibra dedicada o un servicio de tiempo común vía GNSS. Este tipo de medición puede utilizarse para caracterizar la calidad de funcionamiento de un receptor de referencia. En la figura I.6 se muestra la configuración experimental.



G.8272-Y.1367(12)-Amd.1(13)_FI.6

Figura I.6 – Medición de la precisión de tiempo en comparación con una referencia nacional de tiempo

Para una función combinada de PRTC y T-GM, los contadores de intervalos de tiempo pueden sustituirse por un supervisor de tiempo de paquetes.

I.3.3 Comparación con un simulador de GNSS

Los simuladores de GNSS generan una señal de radiofrecuencia que imita la señal que se obtendría de una constelación de satélites, incluido el "movimiento" aparente de los mismos, su aparición y ocultación al alzarse sobre el horizonte y desaparecen tras el mismo. El simulador puede programarse con la posición y la hora del dispositivo en prueba a una hora y fecha dada, generando las señales de satélite correctas que serían observadas desde un receptor situado en dicha ubicación y a esa hora.

Algunos simuladores también pueden generar degradaciones comunes de las señales, como las causadas por una visibilidad limitada del cielo, perturbaciones atmosféricas y reflexiones por trayectos múltiples. Una prueba completa de un PRTC debería incluir la capacidad del PRTC de soportar dichas degradaciones.

El simulador también produce una salida 1PPS y una salida con el valor hora del día (ToD) sincronizadas con las señales de radiofrecuencia generadas. Esta señal 1PPS/ToD puede compararse con la salida del PRTC/T-GM en prueba para verificar la precisión de dicho dispositivo.

El supervisor compara el tiempo y la fase indicados por las salidas PTP y 1PPS del dispositivo en prueba con la 1PPS/ToD generada por el simulador. La diferencia entre ambas es el error de tiempo o de fase del dispositivo en prueba. Se utiliza un contador de intervalos de tiempo para comparar la diferencia de tiempo de una señal de salida 1PPS con respecto al PRTC. En la figura I-7 se muestra la configuración experimental.

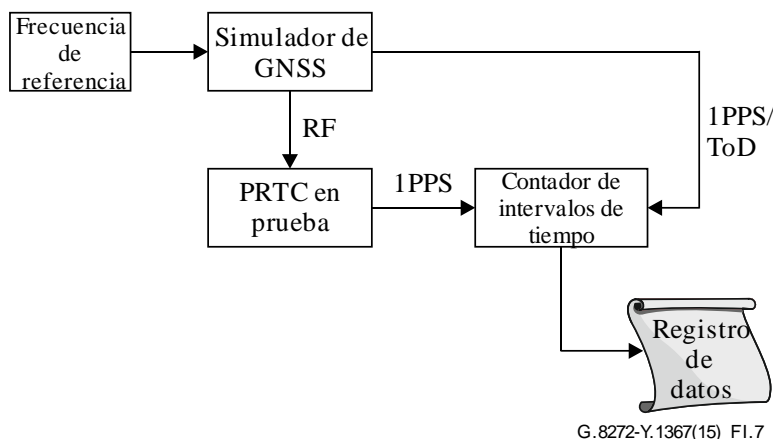


Figura I.7 – Comparación de la precisión de tiempo de un PRTC con un simulador de GNSS

En el caso de función combinada de PRTC y T-GM, el contador del intervalo de tiempo puede sustituirse por un supervisor de tiempo de paquetes, tal como se muestra en la figura I.8.

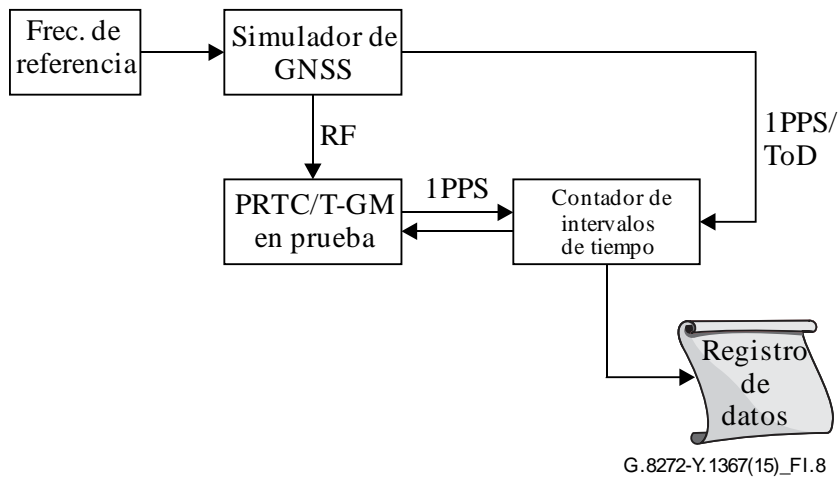


Figura I.8 – Comparación de la precisión de tiempo de PRTC y T-GM con un simulador de GNSS

En esta configuración, la alineación entre la señal de salida de radiofrecuencia y la señal 1PPS del simulador de GNSS debe ser, idealmente, mejor de 5 ns para verificar que se cumple el valor inferior a 100 ns de la especificación sobre la precisión de UIT-T G.8272, la especificación del MTIE y la especificación de TDEV.

Puesto que las mediciones deben hacerse durante un largo periodo de tiempo, el simulador de GNSS debe estar gobernado por una señal de referencia de entrada estable, como la del PRC u otro reloj atómico estable. La estabilidad de este reloj debe ser suficiente para garantizar que la fluctuación lenta de fase es inferior a la anchura de banda del PRTC en prueba.

Apéndice II

Modelo funcional del PRTC

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

En este Apéndice se presenta un modelo simplificado del PRTC para describir su funcionalidad y las diversas interfaces y funciones que en su conjunto definen a un PRTC.

En la figura II.1 se representa un modelo funcional que no pretende reflejar una implementación en particular.

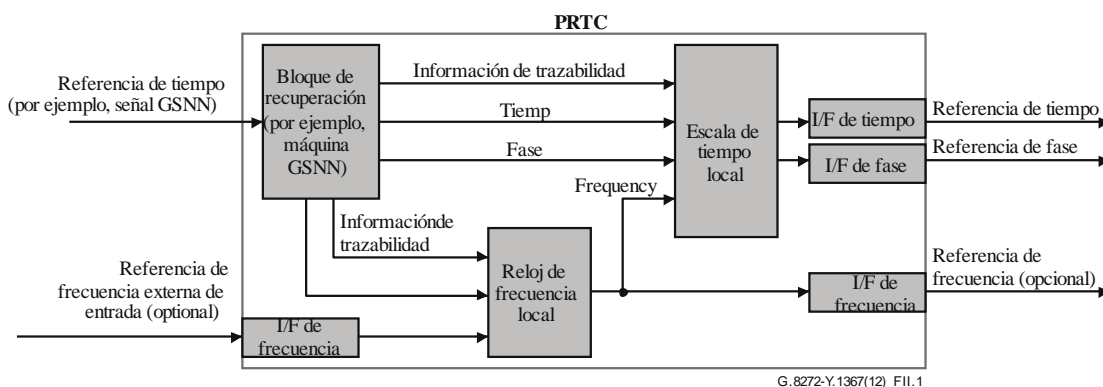


Figura II.1 – Modelo funcional de un PRTC

NOTA – Las interfaces (I/F) de salida que se muestran en la figura II.1 corresponden a interfaces lógicas; en algunas implementaciones de PRTC la interfaz lógica de tiempo y la interfaz lógica de fase pueden coincidir en la interfaz física de fase/tiempo. Además de la referencia de tiempo, la interfaz lógica de tiempo puede transportar información de trazabilidad o asociación con la referencia.

La principal función de un PRTC es ofrecer una referencia de tiempo primaria que se utilice en la sincronización de tiempo y/o de fase de otros relojes de la red.

Un PRTC recibe una referencia de tiempo de un sistema que tiene acceso a una referencia de tiempo primaria reconocida (por ejemplo, de un sistema de satélite de navegación mundial o de un laboratorio nacional que participe en la generación de referencias de tiempo) y ofrece esa señal de referencia a otros relojes de una red o de la sección de una red.

Además, un PRTC puede incluir interfaces de frecuencias de entrada, pero debe implementar al menos una interfaz de frecuencia de salida. Cuando está conectado a una referencia de frecuencia asociada a un PRC, la interfaz de frecuencia de entrada opcional puede utilizarse para mantener la representación local de la escala de tiempo durante las interrupciones de la referencia de tiempo de entrada (es decir, ampliar el periodo de régimen libre sostenido (*holdover*) de fase/tiempo del reloj). Una posible utilización de la interfaz de frecuencia de entrada opcional puede ser medir el ruido de fase del PRTC con señales tradicionales de telecomunicaciones.

Finalmente, el PRTC también puede proporcionar información sobre la trazabilidad, al reflejar la situación del reloj (es decir, enganchado a su señal de referencia de entrada, en funcionamiento libre sostenido, etc.). Los detalles de dicha información de trazabilidad o asociación requieren estudios adicionales.

La funcionalidad del PRTC se define en base a los bloques individuales de la figura II.1. En el Cuadro II.1 se describen dichas funciones. Obsérvese que la agrupación de las funciones sólo tiene un propósito descriptivo y no pretende especificar como deben implementarse el PRTC.

Cuadro II.1 – Funciones de un PRTC

Recuperación del tiempo	<p>Recibe y procesa la interfaz externa de tiempo (por ejemplo, de la antena del GNSS).</p> <p>Proporciona las señales de salida para generar la frecuencia, la fase y el tiempo.</p> <p>Proporciona información de trazabilidad.</p>
Reloj de frecuencia local	<p>El reloj de frecuencia genera las señales de temporización de frecuencias utilizadas internamente.</p> <p>En caso de que la máquina de recuperación de tiempo pierda la señal, el reloj puede pasar a régimen libre sostenido o conmutar a la frecuencia de referencia entrante opcional (si existe).</p> <p>Los detalles sobre este reloj requieren estudios adicionales, aunque a la vista de la especificación de salida del PRTC es previsible que la anchura de banda sea significativamente menor.</p>
Escala de tiempo local	<p>Mantiene la representación local de la escala de tiempo primaria, en base a la frecuencia generada por el reloj de frecuencia local.</p> <p>Este bloque también genera las señales de salida de referencia de tiempo y de fase.</p>
I/F	<p>Función de interfaz necesaria para generar una señal física.</p>

Apéndice III

Información intercambiada a través de la interfaz de tiempo

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

El PRTC incluye tres interfaces de salida para transportar la frecuencia, la fase y el tiempo.

NOTA – Estas interfaces corresponden a interfaces lógicas; en algunas implementaciones de PRTC, la interfaz lógica de tiempo y la interfaz lógica de fase pueden fusionarse en la misma interfaz física de fase/tiempo.

La interfaz de tiempo apoya la salida de tiempo y la información de estado del PRTC. La información de tiempo y de estado se transporta en mensajes. El formato de los mensajes requiere estudios adicionales. En el Cuadro III.1 se presenta un ejemplo de información que puede transferirse sobre la interfaz de tiempo.

Cuadro III.1 – Ejemplo de información de tiempo y de estado

Nombre	Descripción
Tiempo	Tiempo Atómico Internacional (TAI), segundos.
Segundos intercalares	Segundos intercalares (diferencia entre TAI y UTC).
Banderas de adición/sustracción de segundos intercalares	Proporciona una notificación previa de la ocurrencia de un segundo intercalar.
Estado	Proporciona una indicación de si la señal está enganchada, en régimen libre sostenido o no debe utilizarse.

Apéndice IV

Ubicaciones de los PRTC

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

Al considerar la distribución de fase/tiempo, las funciones del PRTC pueden tener distintas ubicaciones, en función de la arquitectura global que decida el operador de red. En general, se identifican cuatro ubicaciones genéricas, A, B, C y D, descritas en esta cláusula y que se ilustran en la figura IV.1.

NOTA – En general, junto al PRTC se coubica un T-GM maestro de paquetes (que no se muestra en la figura) si, por ejemplo, el PRTC proporciona la sincronización de tiempo a ubicaciones distantes.

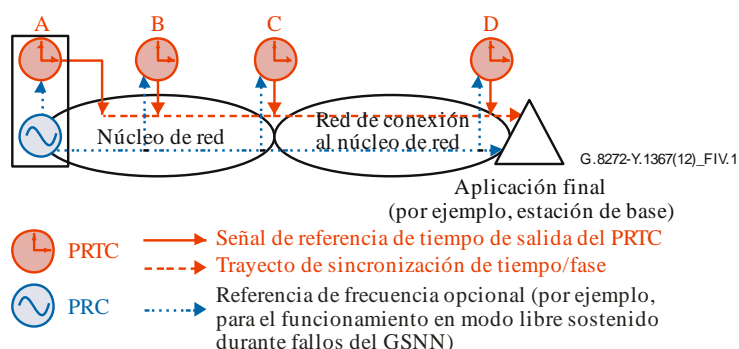


Figura IV.1 – Posiciones genéricas de la función de PRTC

Debe observarse que disponer de las funciones de PRTC próximas a la aplicación final implica el despliegue de un mayor número de funciones PRTC que si se opta por emplazamientos centralizados, pero también tiene ventajas. Por ejemplo, simplifica el correcto calibrado de la asimetría de los enlaces desde el PRTC hasta la aplicación final. En ese caso, sería necesario calibrar menos enlaces a fin de evitar la acumulación de un error temporal excesivo.

- **Caso A: PRTC centralizado coubicado con el PRC**

En el caso A, el PRTC está coubicado con el PRC en el núcleo de red y puede recibir una referencia de frecuencia del PRC (ambas funciones pueden estar integradas en un mismo equipo). La referencia de sincronización de tiempo se distribuye desde el PRTC a través del elemento maestro de paquetes por todo el núcleo de red y la red de conexión al núcleo hasta las aplicaciones finales (por ejemplo, una estación base), utilizando un protocolo como por ejemplo el PTP.

- **Caso B: PRTC centralizado no coubicado con el PRC**

En el caso B, el PRTC está situado con el núcleo de red, pero no está coubicado con el PRC; en general, en este caso el PRTC está coubicado con una unidad de suministro de sincronización (SSU) (ambas funciones pueden estar integradas en un mismo equipo, típicamente se añade un receptor de GNSS a la SSU), y puede recibir una referencia de sincronización de tiempo de la SSU. La referencia de sincronización de tiempo se distribuye desde el PRTC a través del elemento maestro de paquetes (T-GM) por todo el núcleo de red y la red de conexión al núcleo hasta las aplicaciones finales (por ejemplo, una estación base), por ejemplo utilizando un protocolo como el PTP.

- **Caso C: PRTC en emplazamientos de agregación**

En el caso C, el PRTC está situado en un emplazamiento de agregación; típicamente se agrega un receptor GNSS a una de las últimas SSU de la cadena de frecuencia de la capa física. La referencia de sincronización temporal se distribuye desde el PRTC a través del elemento maestro de paquetes (T-GM) por toda la red de conexión al núcleo hasta las aplicaciones finales (por ejemplo, una estación base), utilizando un protocolo como por ejemplo el PTP.

- **Caso D: PRTC en el borde de la red**

En el caso D, la función PRTC está situada directamente en el borde de la red (por ejemplo, en el emplazamiento de una célula); típicamente existe un receptor GNSS directamente conectado a la aplicación final (por ejemplo, estaciones base). En este caso, la referencia de sincronización de tiempo se distribuye directamente desde el PRTC a la aplicación final (por ejemplo, una estación base).

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE Y
**INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET Y
 REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN**

INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN	
Generalidades	Y.100–Y.199
Servicios, aplicaciones y programas intermedios	Y.200–Y.299
Aspectos de red	Y.300–Y.399
Interfaces y protocolos	Y.400–Y.499
Numeración, direccionamiento y denominación	Y.500–Y.599
Operaciones, administración y mantenimiento	Y.600–Y.699
Seguridad	Y.700–Y.799
Características	Y.800–Y.899
ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET	
Generalidades	Y.1000–Y.1099
Servicios y aplicaciones	Y.1100–Y.1199
Arquitectura, acceso, capacidades de red y gestión de recursos	Y.1200–Y.1299
Transporte	Y.1300–Y.1399
Interfuncionamiento	Y.1400–Y.1499
Calidad de servicio y características de red	Y.1500–Y.1599
Señalización	Y.1600–Y.1699
Operaciones, administración y mantenimiento	Y.1700–Y.1799
Tasación	Y.1800–Y.1899
Televisión IP sobre redes de próxima generación	Y.1900–Y.1999
REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN	
Marcos y modelos arquitecturales funcionales	Y.2000–Y.2099
Calidad de servicio y calidad de funcionamiento	Y.2100–Y.2199
Aspectos relativos a los servicios: capacidades y arquitectura de servicios	Y.2200–Y.2249
Aspectos relativos a los servicios: interoperabilidad de servicios y redes en las redes de la próxima generación	Y.2250–Y.2299
Mejoras de las NGN	Y.2300–Y.2399
Gestión de red	Y.2400–Y.2499
Arquitecturas y protocolos de control de red	Y.2500–Y.2599
Redes basadas en paquetes	Y.2600–Y.2699
Seguridad	Y.2700–Y.2799
Movilidad generalizada	Y.2800–Y.2899
Entorno abierto con calidad de operador	Y.2900–Y.2999
REDES FUTURAS	Y.3000–Y.3499
COMPUTACIÓN EN LA NUBE	Y.3500–Y.3999

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

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 multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Medio ambiente y TIC, cambio climático, ciberdesechos, eficiencia energética, construcción, instalación y protección de los cables y demás elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Terminales y métodos de evaluación subjetivos y objetivos
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, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
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