

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

J.211

(11/2006)

SERIE J: REDES DE CABLE Y TRANSMISIÓN DE
PROGRAMAS RADIOFÓNICOS Y TELEVISIVOS,
Y DE OTRAS SEÑALES MULTIMEDIA

Sistemas interactivos para distribución de televisión digital

**Interfaz de temporización para sistemas de
terminación de módem de cable**

Recomendación UIT-T J.211

Recomendación UIT-T J.211

Interfaz de temporización para sistemas de terminación de módem de cable

Resumen

La interfaz de temporización para sistemas de terminación de módem de cable (DTI) definida en la Recomendación UIT-T J.211, soporta el transporte preciso y robusto del reloj maestro de 10,24 MHz del servidor DTI, de la indicación de tiempo de terminación de módem de cable de 32 bits y de la hora del día al cliente DTI en el sistema de terminación de módem de cable modular (M-CMTS) en la red de cable. El protocolo DTI se estructura para reducir al mínimo la complejidad y el coste de los relojes de cliente DTI y el coste por puerto de la función servidor compartida, soportando al mismo tiempo todos los requisitos de temporización S-CDMA y TDMA.

Orígenes

La Recomendación UIT-T J.211 fue aprobada el 29 de noviembre de 2006 por la Comisión de Estudio 9 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

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 en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2008

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	Ámbito 1
1.1	Requisitos del sistema 1
1.2	Consideración de los servicios TDM 2
1.3	Requisitos de implementación modular 2
1.4	Arquitectura 2
1.5	Sincronización necesaria para el despliegue de servicios TDM 4
2	Referencias 4
2.1	Obtención de referencias 5
4	Abreviaturas, siglas o acrónimos 6
5	Convenios 7
6	Requisitos de la capa física 8
6.1	Introducción 8
6.2	Descripción del conector físico 8
6.3	Requisitos del cable 9
6.4	Descripción eléctrica 9
7	Protocolo de temporización DOCSIS 10
7.1	Entidades de temporización DTI 10
7.2	Estructura de temporización DTI 11
7.3	Trazabilidad para la indicación de tiempo DOCSIS 12
7.4	Requisitos de la estructura de trama DTI 14
7.5	Interacción del protocolo servidor-cliente DTI 23
8	Funcionamiento del cliente y del servidor DTI 25
8.1	Modos del servidor DTI 25
8.2	Funcionamiento de cliente DTI 31
8.3	Estrategias de redundancia en la distribución DTI 38
Anexo A	– Filtro de calificación de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia 41
A.1	Fluctuación de fase de temporización del microcircuito para funcionamiento síncrono 41
Apéndice I	– Descripción funcional del servidor DTI 44
I.1	Procesamiento de la señal DTI de servidor 45
Apéndice II	– Descripción funcional del cliente DTI 46
II.1	Diagrama de bloques del cliente DTI 46
II.2	PHY de cliente DTI 46
II.3	Procesador de tramas de cliente DTI 47
II.4	Procesador de reloj de cliente DTI 49
Apéndice III	– Balance de fluctuación de fase DTI 53
III.1	Descripción del modelo 53
III.2	Análisis 54

	Página
Apéndice IV – Sincronización del reloj de símbolos.....	56
Apéndice V – Consideraciones sobre el reloj de alta velocidad DTI	58

Recomendación UIT-T J.211

Interfaz de temporización para sistemas de terminación de módem de cable

1 **Ámbito**

Los requisitos para la temporización y la sincronización del sistema DOCSIS provienen de los ámbitos siguientes:

- Especificación y requisitos de pruebas DOCSIS existentes
- Requisitos del sistema PHY distante
- Requisitos de implementación
- Servicios tales como T1 o E1 e inalámbricos

Estos requisitos establecen definiciones y limitaciones al uso del reloj maestro DOCSIS y a la indicación de tiempo DOCSIS que se entrega en el mensaje SYNC. La especificación DOCSIS consideraba originalmente el M-CMTS-CORE, los EQAM y las funciones de recepción en sentido ascendente en un único conjunto alimentado con un único reloj común. El contador de la indicación de tiempo residía en la función M-CMTS-CORE.

La arquitectura PHY distante de M-CMTSTM puede comportar tres componentes. El M-CMTS-CORE, el receptor en sentido ascendente y el EQAM ubicados en una bandeja diferente y posiblemente en ubicaciones físicas diferentes. Como sistema, los tres componentes cumplen la especificación DOSIS en cualquier equipo CMTS existente.

El protocolo de temporización DOCSIS (DTI) definido en esta Recomendación soporta el transporte preciso y robusto del reloj maestro de 10,24 MHz del servidor DTI, de la indicación de tiempo DOCSIS de 32 bits y de la hora del día para el cliente DTI en la red de cable M-CMTS DOCSIS. El protocolo DTI se estructura para reducir al mínimo la complejidad y el coste de los relojes de cliente DTI y el coste por puerto de la función servidor compartida, soportando al mismo tiempo todos los requisitos de temporización TDMA y S-CDMA.

Para soportar diferencias regionales de la frecuencia del reloj maestro, se definen dos posibilidades de cliente DTI, la primera genera una señal de salida del reloj maestro de 10,24 MHz y la segunda una del reloj maestro de 9,216 MHz. Un único reloj maestro de servidor DTI con una frecuencia de 10,24 MHz soporta clientes DTI de ambos tipos.

1.1 **Requisitos del sistema**

Los requisitos del sistema DTI hacen referencia a los requisitos de temporización DOCSIS indicados en la especificación DOCSIS. Estos requisitos se presentan de forma independiente de la arquitectura del CMTS.

Las cláusulas de la especificación DOCSIS [UIT-T J.122] que se consideran de interés son:

- 6.2.11.2 Numeración de mini-intervalo
- 6.2.21.8.2 Fluctuación de fase de temporización del circuito para el funcionamiento síncrono
- 6.3.7 Fluctuación de fase de la indicación de tiempo CMTS
- 6.3.8 Generación de la señal del reloj CMTS
- 6.3.9 Fluctuación de fase del reloj de símbolos en sentido descendente del CMTS para el funcionamiento síncrono

- 6.3.10 Deriva del reloj de símbolos en sentido descendente del CMTS para el funcionamiento síncrono
- 9.3 Temporización y sincronización

1.2 Consideración de los servicios TDM

Para mantener la compatibilidad con la jerarquía de sincronización del servicio TDM el reloj de servidor DTI funciona según las especificaciones detalladas en la cláusula 8.1 que incluye los requisitos del sistema de temporización DOCSIS como el reloj histórico de la red de sincronización que cumple [UIT-T G.812] y [T1.101]. Esto se hace para garantizar que los servicios TDM que soportan los CM puedan obtener su señal de reloj y cumplir los requisitos de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase de [UIT-T G.823] o [UIT-T G.824] para las fuentes de reloj de transporte de portadores de tráfico y de portadores de sincronización.

El soporte de servicios TDM requerirá que el reloj maestro y el reloj de símbolos en sentido descendente estén enganchados y que los relojes en sentido descendente y en sentido ascendente sean coherentes.

1.3 Requisitos de implementación modular

El elemento M-CMTS-CORE:

- Utiliza el reloj maestro de servidor DTI para generar una indicación de tiempo
- Utiliza la indicación de tiempo para generar el MAP

El elemento QAM de borde:

- Utiliza el reloj maestro de servidor DTI para generar la tasa de símbolos
- Utiliza la indicación de tiempo para insertar y/o corregir los mensajes SYNC

El elemento de recepción en sentido ascendente:

- Utiliza la indicación de tiempo y/o la trama S-CDMA y el MAP para determinar cuándo buscar el inicio de una ráfaga en recepción
- Utiliza un reloj enganchado en el reloj maestro para la recepción de símbolos en el modo S-CDMA

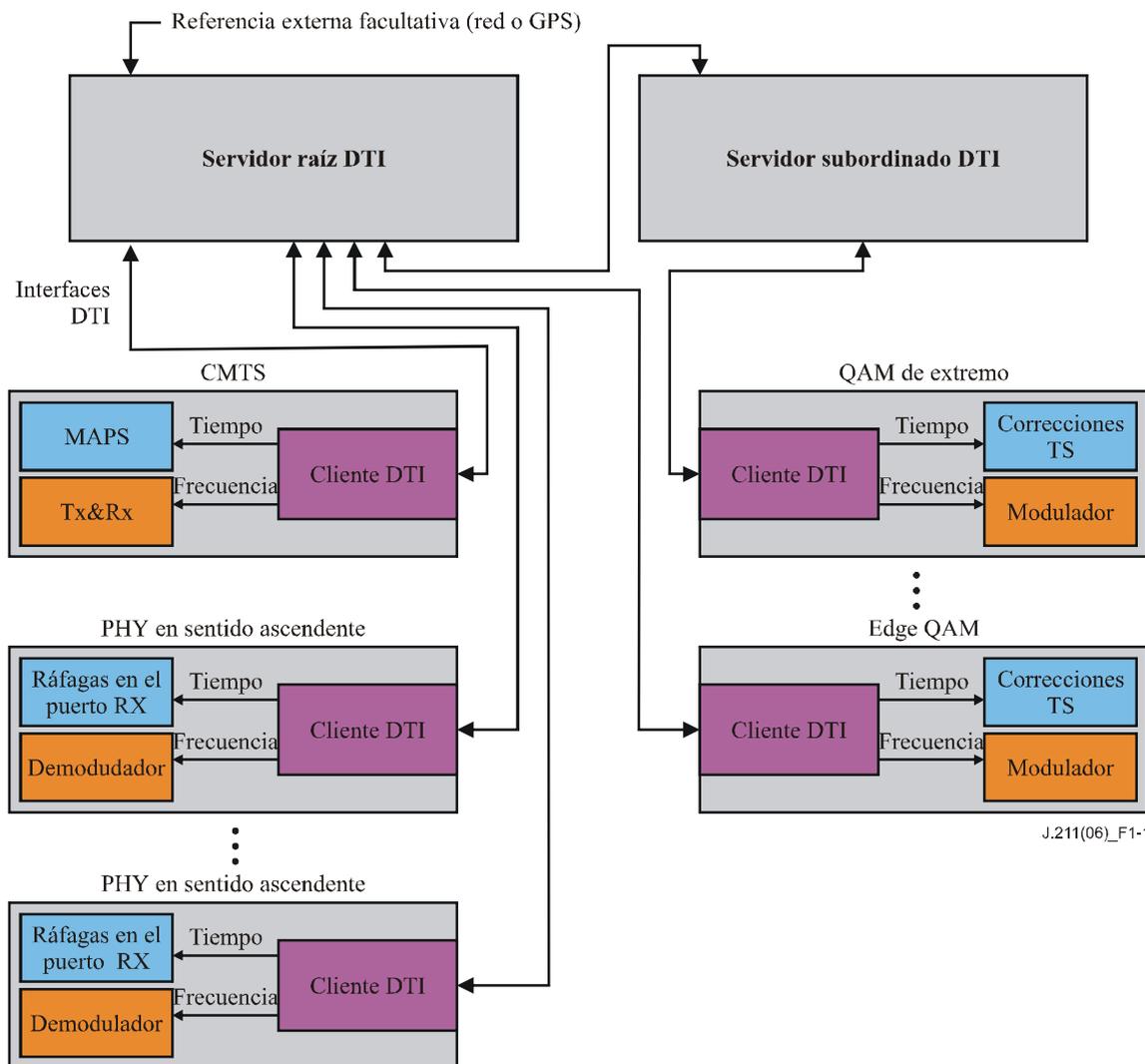
1.4 Arquitectura

La figura 1-1 muestra ejemplos de distribución de frecuencia y de tiempo para los centros de distribución y las estaciones centrales. El servidor DTI establece la referencia para la red de distribución temporal y sincroniza todos los clientes DTI detectados mediante conexiones punto a punto entre el servidor y cada cliente. Un único protocolo iniciado por el servidor DTI permite al cliente realizar la sincronización de frecuencia y de tiempo. Como se ha mostrado, el receptor en sentido ascendente, las QAM de borde y M-CMTS-CORE pueden tener usos diferentes para las frecuencias y tiempos sincronizados aunque utilicen una función de cliente común.

El protocolo DTI y las interacciones servidor-cliente se definen en detalle en las cláusulas 7 y 8. Las características esenciales son:

- El servidor DTI inicia el protocolo que utiliza el cliente DTI para establecer su sincronización de tiempo y de frecuencia.
- Mediante un esquema de ida y vuelta, el cliente responde siempre inmediatamente al servidor DTI cuando recibe una transmisión del servidor DTI. El servidor utiliza esta respuesta para compensar automáticamente cualquier retardo de forma que el cliente se sincroniza con precisión al servidor.
- El intercambio servidor-cliente-servidor se repite continuamente garantizando que se puede mantener una sincronización adecuada.

Centro de distribución o estación central



NOTA – El núcleo CMTS, las PHY en sentido ascendente y las QAM de extremo se pueden configurar para tener redundancia. Los servidores DTI se pueden configurar de forma redundante y se puede conectar un servidor subordinado al servidor maestro hasta una distancia de 1 desde el maestro. Todos los enlaces DTI desde un servidor raíz DTI y los servicios subordinados DTI conectados estarán sincronizados como si provinieran del mismo servidor.

Figura 1-1 – Arquitectura de temporización

El protocolo y los componentes DTI soportan el transporte preciso y robusto del reloj maestro de 10,24 MHz del servidor y de la indicación de tiempo DOCSIS de 32 bits al cliente en un nodo o edificio. El protocolo está estructurado para reducir al mínimo la complejidad y el coste de los relojes de cliente y el coste por puerto de la función servidor compartida, soportando además todos los requisitos de temporización de los servicios S-CDMA, TDMA y los TDM futuros de DOCSIS en un sistema modular.

La gran precisión (<5 ns) y la alta estabilidad (<1 ns de balance de fluctuación de fase de temporización) se logra utilizando un sencillo protocolo de temporización de capa 2 de ida y vuelta en una única conexión de par trenzado que utiliza componentes PHY pasivos en ambos sentidos. Esta estructura proporciona reciprocidad de retardos de forma que todo el tratamiento de los retardos en el cable se puede realizar en el servidor. El cometido del cliente en la corrección de retardos consiste en proporcionar una respuesta de retardo fija a la trama de servidor y utilizar el cable suministrado por el servidor para adelantar el reloj local de trama DTI de 10 kHz y corregir el retardo del cable.

Para asegurar un transporte y un funcionamiento del reloj de cliente fiables, el reloj de cliente debe indicar el error de fase presente de su reloj local (reloj de trama) con respecto al reloj de trama del servidor en el que se ha corregido el retardo. Esta medición se indica al servidor a la velocidad de trama de 10 kHz. El cometido del servidor consiste en procesar estos datos de medición y verificar el funcionamiento de la temporización del cliente. Este protocolo soporta la detección y la resolución en tiempo real de los fallos del reloj de cliente.

El cliente DTI se puede realizar mediante un único componente digital, una PHY sencilla y un oscilador local de bajo coste, puesto que el régimen libre y el filtrado están soportados en el servidor compartido. Se precisa una definición común del reloj de alta velocidad DTI para garantizar la compatibilidad entre todos los componentes de cliente DTI de DOCSIS.

1.5 Sincronización necesaria para el despliegue de servicios TDM

El despliegue de servicios TDM que cumplan las normas TDM de telecomunicaciones existentes (por ejemplo, T1 o E1) requerirán tanto la sincronización como la trazabilidad con una señal de reloj externa común. En este caso, si se conecta un módem de cable que soporte servicios TDM a un EQAM M-CMTS, el módem de cable necesitará estar sincronizado con el servidor DTI que funciona con una referencia de servicio TDM externa.

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.812] Recomendación UIT-T G.812 (2004), *Requisitos de temporización para relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización.*
- [UIT-T G.823] Recomendación UIT-T G.823 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s.*
- [UIT-T G.824] Recomendación UIT-T G.824 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en redes digitales basadas en la jerarquía de 1544 kbit/s.*
- [UIT-T J.122] Recomendación UIT-T J.122 (2002), *Sistemas de transmisión de segunda generación para los servicios interactivos de televisión por cable – Módems de cable para protocolo Internet.*
- [ISO/CEI 8802-3] ISO/CEI 8802-3:2000, *Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications.*
- [T1.101]* ANSI T1.101 (1999), *Synchronization Interface Standard.*

* ATIS mantiene las normas T1 desde noviembre de 2003.

2.1 Obtención de referencias

- American Institute of Electrical Engineers, Internet: <http://www.ieee.org/portal/site>
- American National Standards Institute, Internet: <http://webstore.ansi.org>

3 Términos y definiciones

Esta Recomendación define los términos siguientes.

3.1 modo puente: Condición de funcionamiento a corto plazo del reloj DTI en la que el cliente DTI ha perdido recientemente sus datos de entrada de control y está utilizando datos almacenados, adquiridos cuando estaba funcionando en el modo normal o rápido para controlar sus datos de salida. Mientras se encuentre en el modo puente se obliga a que el grado de desviación de la salida sea tal que el reloj del cliente DTI siga funcionando dentro de los límites normales o aceptables. Si se prolonga el periodo de interrupción, el reloj de cliente DTI pasará al modo de régimen libre, indicando que la salida de reloj del cliente DTI puede degradarse.

3.2 oscilador de reloj mínimo DTI: Oscilador que soporta todos los requisitos de funcionamiento del reloj de cliente con un régimen libre limitado al periodo de tiempo puente mínimo. Para soportar esta categoría de oscilador se puede utilizar un oscilador a temperatura ambiente.

3.3 modo rápido: Condición de funcionamiento de un reloj en el que está enganchado a una referencia externa y está utilizando constantes de tiempo que se reducen para llevar rápidamente la frecuencia del oscilador local aproximadamente hacia la frecuencia de referencia de sincronización.

3.4 modo de funcionamiento libre: Condición de funcionamiento de un reloj DTI cuyas señales de salida están controladas internamente por el servidor DTI. El reloj nunca ha tenido, o ha perdido, la entrada de referencia externa y no tiene acceso a datos almacenados que se hayan obtenido de una referencia externa conectada con anterioridad durante el periodo posterior al último ciclo de actividad. El modo de funcionamiento libre finaliza cuando la salida del reloj pasa a depender de una referencia externa o se logra el enganche a una referencia externa. El modo de funcionamiento libre puede proporcionar la necesaria estabilidad cuando se haya perdido la referencia externa o cuando no se disponga de ella.

3.5 gpssec: El gpssec es una indicación de tiempo de 32 bits que se incrementa cada segundo. El sistema horario GPS se inició el 6 de enero de 1980. El valor gpssec se fijó a cero en el momento del inicio, el 6 de enero de 1980.

3.6 modo de régimen libre: Condición de funcionamiento de un reloj DTI que ha perdido sus datos de entrada de control y está utilizando datos almacenados, adquiridos cuando se encontraba funcionando en el modo normal o rápido, para controlar sus datos de salida. Los datos almacenados se filtran para reducir los efectos de las variaciones a corto plazo y para establecer una predicción del comportamiento del oscilador durante interrupciones de la referencia. Esto permite reducir al mínimo la desviación de la salida respecto del funcionamiento normal.

3.7 error de intervalo de tiempo máximo (MTIE): Para una secuencia de muestras de retardo de tiempo x_i , el MTIE durante el tiempo de observación (S) es:

$$\text{Medición del MTIE: } MTIE(S) = \max_{j=1}^{N-n+1} \left[\max_{i=j}^{n+j-1} (x_i) - \min_{i=j}^{n+j-1} (x_i) \right]$$

donde:

τ_o = periodo de muestra

N = número de muestras en una secuencia

n = $\lceil S/\tau_o \rceil + 1$

S = tiempo de observación

x_i = muestra de retardo de tiempo

3.8 modo normal: Condición de funcionamiento de un reloj en el que las señales de salida se controlan mediante una referencia de entrada externa. El modo y estado esperados permiten que cada reloj en una distribución tenga unos valores medios de la frecuencia y del tiempo a largo plazo constantes. Los relojes en este modo se consideran enganchados, lo que significa que están en estrecha relación con el reloj raíz DTI. En el modo normal se considerará un reloj de servidor DTI en un modo de funcionamiento libre sin fallos.

3.9 servidor DTI raíz: Servidor DTI origen del tiempo y de la frecuencia para todos los servidores DTI y los clientes en un edificio.

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

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

CM	Módem de cable (<i>cable modem</i>)
CMTS	Sistema de terminación de módem de cable (<i>cable modem termination system</i>)
CRC	Verificación por redundancia cíclica (<i>cyclic redundancy check</i>)
DEPI	Interfaz PHY externa en sentido descendente (<i>downstream external PHY interface</i>)
DOCSIS	Especificación de interfaz del servicio de datos por cable (<i>data-over-cable service interface specifications</i>)
DS	Sentido descendente (<i>downstream</i>)
DTI	Interfaz de temporización DOCSIS (<i>DOCSIS timing interface</i>)
DTS	Indicación de tiempo DOCSIS de 32 bits (<i>32-bit DOCSIS time stamp</i>)
EQAM	Elemento de red que recibe tramas MPEG-TS por una interfaz de red tal como Ethernet y las modula en portadoras QAM para su uso en una planta HFC (<i>edge QAM</i>)
ERMI	Interfaz de gestor de recursos de borde (<i>edge resource manager interface</i>)
GE	Ethernet de 1 gigabit (1 Gbit/s) (<i>gigabit Ethernet (1 Gbit/s)</i>)
GPS	Sistema mundial de determinación de posicionamiento global (<i>global positioning system</i>)
IE	Elemento de información. Elemento de un mensaje MAP (<i>information element</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>Internet protocol</i>)
MAC	Control de acceso a los medios. Se utiliza para hacer referencia a un elemento de capa 2 del sistema, que incluiría el entramado y la señalización DOCSIS (<i>media access control</i>)
M-CMTS	CMTS modular (<i>modular CMTS</i>)
MPEG	Grupo de expertos en imágenes en movimiento (<i>motion picture experts group</i>)
MPEG-TS	Tren de transporte del Grupo de expertos en imágenes en movimiento (<i>motion picture experts group transport stream</i>)
MTIE	Máximo error en el intervalo de tiempo (<i>maximum time interval error</i>)
NCO	Oscilador controlado por la red (<i>network controlled oscillator</i>)

PCR	Referencia de reloj de programa (<i>program clock reference</i>)
PHY	Capa física (Utilizada al referirse a transmisores QAM en sentido descendente y a demoduladores (receptores) de ráfagas en sentido ascendente (<i>physical layer</i>))
PID	Identificador de paquetes utilizado en MPEG-TS (<i>packet identifier</i>)
PLL	Bucle de enganche de fase (<i>phase-locked loop</i>)
PUSI	Indicador de inicio de unidad de cabida útil (<i>payload unit start indicator</i>)
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura (<i>quadrature amplitude modulation</i>)
S-CDMA	Acceso múltiple por división en el código síncrono (<i>synchronous code division multiple access</i>)
Servicios TDM	Transporte de voz y/o datos históricos T1/E1 o T3/E3
TDM	Multiplexación por división en el tiempo (<i>time division multiplexing</i>)
TDMA	Acceso múltiple por división en el tiempo (<i>time division multiple access</i>)
UDP	Protocolo de datagrama de usuario (<i>user datagram protocol</i>)
US	Sentido ascendente (<i>upstream</i>)
UTC	Tiempo universal coordinado; también conocido como tiempo medio de Greenwich (GTM) u hora Zulu (<i>coordinated universal time</i>)

5 Convenios

En la aplicación de esta Recomendación, las palabras utilizadas para definir la importancia de determinados requisitos se escriben con mayúsculas. Estas palabras son:

"DEBE(N)"	Esta palabra o el adjetivo o participio pasado "REQUERIDO" significan que se trata de un aspecto, elemento o comportamiento absolutamente obligatorio en esta Recomendación.
"NO DEBE(N)"	Estas palabras significan que se trata de un aspecto, elemento o comportamiento que está absolutamente prohibido en esta Recomendación.
"DEBERÍA(N)"	Esta palabra o el adjetivo o participio pasado "RECOMENDADO" significan que, en determinadas circunstancias, pueden existir razones válidas para no tener en cuenta un determinado aspecto, elemento o comportamiento, pero que, antes de tomar tal decisión, se deben comprender y analizar a fondo todas las implicaciones.
"NO DEBERÍA(N)"	Estas palabras significan que, en determinadas circunstancias, pueden existir razones válidas para tener en cuenta o aplicar un determinado aspecto, elemento o comportamiento por considerarlo aceptable, o incluso útil, pero que, antes de tomar tal decisión, se deben comprender y analizar a fondo todas las implicaciones.
"PUEDE(N)"	Esta palabra o el adjetivo "FACULTATIVO" significan que un determinado aspecto, elemento o comportamiento es verdaderamente facultativo. Por ejemplo, un suministrador puede optar por incluir un elemento porque se requiere en un mercado dado, o porque realza el producto, mientras que otro suministrador PUEDE no incluirlo.

6 Requisitos de la capa física

Esta cláusula es normativa y especifica los requisitos de la capa física del protocolo DTI.

6.1 Introducción

El enlace DTI incluye la conexión entre un servidor DTI y diversos otros elementos, tales como M-CMTS-CORE, EQAM y receptores US ubicados en el mismo nodo y que obtienen su señal de reloj (tiempo y frecuencia) del servidor DTI. Puesto que el enlace es parecido a un enlace 10BaseT (802.3) de Ethernet, conviene evaluar la disponibilidad y el coste de esta norma. Esta Recomendación define las diferencias entre la interfaz de temporización DOCSIS y una interfaz convencional 802.3-10BaseT. El cuadro 6-1 indica la similitud entre los dos enlaces.

Cuadro 6-1 – Comparaciones de la capa física

Características	Ethernet 802.3-10BaseT	Interfaz de temporización DOCSIS
Velocidad de datos (Mbit/s)	10	5,12
Precisión	Funcionamiento libre; 100 ppm	Trazabilidad mediante el reloj maestro
Modo(s) de transmisión	Dúplex o semidúplex (nota 1)	Ida y vuelta (nota 1)
Topología	Estrella (nota 2)	Estrella (nota 2)
Longitud máxima del segmento	100 m	200 m
Medios	UTP	UTP
Método de señalización	Banda base	Banda base
Modulación	Manchester	Manchester

NOTA 1 – Los transceptores convencionales Ethernet 802.3 utilizan diferentes pares de cable para la transmisión en cada sentido. El DTI utiliza un esquema de ida y vuelta en el que se utiliza el mismo par para la transmisión en ambos sentidos. Esto garantiza una reciprocidad máxima, reduciendo al mínimo las asimetrías en el retardo de transmisión entre los dos sentidos, además reduce la diafonía.

NOTA 2 – Las instalaciones convencionales Ethernet utilizan una configuración en estrella en la que el punto "común" es una central o una cabecera. En el caso DTI el punto común es el servidor DTI.

La norma que rige Ethernet (capa física) es [ISO/CEI 8802-3]. En este caso aplican las especificaciones de la capa física (fundamentalmente la sección 14 de la norma).

6.2 Descripción del conector físico

El servidor DTI, como el cliente DTI, DEBE disponer de un conector RJ45 (hembra) para cada enlace DTI. Esto permite aplicar técnicas de cableado Ethernet convencionales. Véase [ISO/CEI 8802-3], sección 14.5.1. La particularidad de la DTI es que utiliza un único par para la transmisión en ambos sentidos. Por lo tanto no se requiere la función de cruce. Los contactos 1 y 2 etiquetados como "SIG+" y "SIG-" se utilizarán para la transmisión de ida y vuelta.

La interconexión del cable DEBE ser como se define en el cuadro 6-2.

Cuadro 6-2 – Interconexión de RJ45 DTI

Número de conector RJ45	Señal	Comentario
1	SIG+	Cumple 10BaseT
2	SIG-	Cumple 10BaseT
3	NC	
4	NC	
5	NC	
6	NC	
7	NC	
8	NC	

6.3 Requisitos del cable

La DTI DEBE funcionar normalmente con una longitud superior a 200 metros de cable UTP con categoría 5E o superior.

6.4 Descripción eléctrica

6.4.1 Impedancia

La impedancia de terminación DEBE ser de 100 ohmios. La impedancia de salida diferencial medida en el circuito TD DEBE cumplir la sección 14.3.1.2.2 [ISO/CEI 8802-3]. El balance de impedancia del transmisor, o la tasa diferencial de la impedancia entre el modo común y el modo diferencial del circuito TD, DEBE exceder $29 - 17 \log_{10}(f/10)$ dB, donde f es la frecuencia en MHz, en la gama de frecuencias de 1,0 MHz a 20 MHz (véase la sección 14.3.1.2.4 de [ISO/CEI 8802-3]).

6.4.2 Aislamiento

Los circuitos de la capa física, incluida la toma de tierra, y todos los conductores, incluidos los que no utilizan el enlace DTI, DEBEN estar aislados. El requisito de aislamiento es conforme a [ISO/CEI 8802-3], sección 14.3.1.

6.4.3 Consideraciones de EMI

El enlace DTI cumplirá los códigos locales y nacionales aplicables para reducir las interferencias electromagnéticas.

6.4.4 Intensidad de la señal (tensión)

La tensión diferencial entre máximos de los símbolos en las señales SIG± en el servidor DTI, terminados en una carga resistiva de 100 ohmios, DEBE estar entre 2,2 V y 2,8 V para todas las secuencias de datos. Para un esquema de todo unos, codificados con Manchester, cualquier armónico impar medido en el circuito TD DEBE estar por lo menos 27 dB por debajo del fundamental. La magnitud de la tensión de salida total en modo común DEBE ser inferior a 50 mV de pico.

6.4.5 Rechazo en modo común

Cuando se aplique una tensión en modo común de 15 V de pico en una onda de 10 MHz (véase la sección 14.3.1.2.6 de [ISO/CEI 8802-3]), la tensión en modo diferencial NO DEBE variar más de 100 mV entre secuencias de datos. La fluctuación de fase de borde introducida DEBE ser inferior a 3 ns.

6.4.6 Descripción de la señal

La transmisión entre el servidor DTI y el cliente DTI DEBE ser de ida y vuelta, utilizando el mismo par de cables para la transmisión en ambos sentidos. El esquema de los datos DEBE estar codificado con Manchester con una velocidad binaria subyacente de 5,12 Mbit/s, enganchada al reloj maestro DTI.

7 Protocolo de temporización DOCSIS

Véase la cláusula 1.1 para una descripción informativa del protocolo DTI.

7.1 Entidades de temporización DTI

El protocolo DTI está soportado por dos entidades de terminación:

- 1) El servidor DTI.
- 2) El cliente DTI.

Las entidades funcionales servidor y cliente DTI forman parte de la arquitectura M-CMTS. La función cliente DOCSIS está estructurada para permitir una función de reloj de cliente de bajo coste en todos los EQAM, receptores en sentido ascendente y entidades M-CMTS-CORE.

El servidor DTI DEBERÍA soportar múltiples funciones de cliente para soportar un crecimiento adecuado de la capacidad de los puertos DTI en un nodo o edificio.

El servidor DTI DEBE soportar una interfaz de gestión SNMP, direccionamiento IP y utilizar conectores RJ45.

El servidor DTI en un único edificio PUEDE estar constituido por componentes de servidores activos y de reserva en una misma bandeja y/o servidores DTI en bandejas diferentes.

Un servidor DTI PUEDE soportar por lo menos una de las dos capacidades siguientes:

- 1) Funcionar como servidor subordinado.
- 2) Proporcionar salidas DTI capaces de soportar servidores subordinados DTI.

Los requisitos de precisión siguientes se pueden confirmar con un cliente con retardo calibrado. Un cliente con retardo calibrado proporciona suficientes puntos de medición para determinar la diferencia real con respecto al retardo calibrado.

Todas las salidas de servidor raíz DTI DEBEN cumplir un requisito de precisión de 1,25 ns, cuando se prueban con un cliente con retardo calibrado, respecto del puerto de prueba del reloj maestro del servidor raíz DTI con corrección para el retardo de grupo del puerto de prueba.

Todas las salidas de servidor subordinado DTI DEBEN cumplir un requisito de precisión de 2,5 ns, cuando se comprueban con un cliente con retardo calibrado, con respecto al puerto de prueba del reloj maestro del servidor raíz DTI con corrección para el retardo de grupo del puerto de prueba.

Una salida DTI que puede soportar a un servidor DTI subordinado DEBE cumplir un requisito de precisión de 1,25 ns, cuando se prueba con un cliente con retardo calibrado, en condiciones de funcionamiento normales. Un M-CMTS E-QAM, M-CMTS-CORE o un receptor en sentido ascendente separado DEBE soportar por lo menos una interfaz de cliente DTI.

Un servidor DTI en el modo subordinado está diseñado para aceptar solo una entrada DTI del servidor DTI.

Un dispositivo M-CMTS PUEDE soportar múltiples clientes DTI, si se desea protección contra las pérdidas del cable de interconexión DTI.

Si un dispositivo M-CMTS tiene más de un cliente DTI, no DEBE conmutarse a un cliente con protección cuando se produzca una pérdida de la entrada DTI hasta que pase un periodo de interrupción mínimo de 500 ms.

7.2 Estructura de temporización DTI

La figura 7-1 define la estructura del protocolo de temporización DOCSIS:

- enviado por el servidor;
- recibido por el cliente después del retardo del cable; y
- extraído en el puerto de prueba del cliente tras la corrección de avance de cable.

La estructura de mayor nivel es el intervalo de tiempo DTI. Un intervalo de tiempo DTI ocupa 1024 periodos de reloj maestro (10,24 MHz) que ocupan $1/10 \text{ kHz} = 100 \mu\text{s}$. Un periodo binario está constituido por dos cuentas de reloj maestro que se inician con una cuenta par, dando lugar a 512 periodos binarios en un intervalo de tiempo DTI. El intervalo de tiempo se sincroniza con la indicación de tiempo de 32-bit DOCSIS (DTS), de forma que el periodo binario vigente de un intervalo de tiempo es un número entero de la forma siguiente:

$$\text{current_bit_count} = \text{floor}[(\text{DTS mod } 1024)/2]$$

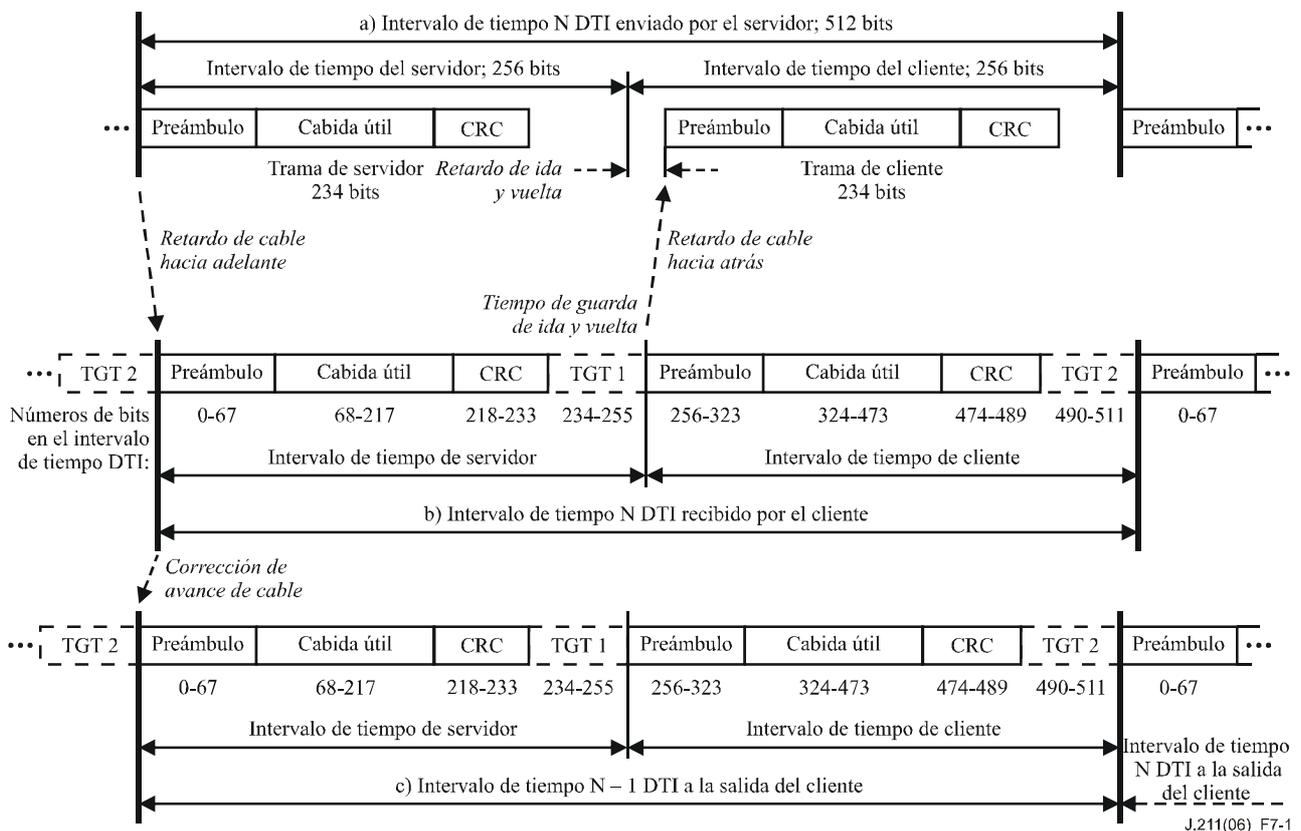


Figura 7-1 – Estructura de temporización del protocolo DTI

La temporización del intervalo de tiempo DTI recibida por el cliente se desfasa de la temporización del intervalo de tiempo DTI del servidor mediante el retardo de propagación del cable (además de cualesquiera retardos de grupo y lógicos). Puesto que el cliente sigue al servidor cuando se encuentra en el estado estable, el cliente descuenta una sucesión ininterrumpida de intervalos binarios fijados por su propio reloj de 5,12 MHz, repitiendo continuamente los intervalos de tiempo DTI módulo 512 bits. El cliente siempre recibe el primer bit del preámbulo del servidor en

el intervalo binario 0. Cuando transmite, el cliente DEBE transmitir el primer bit de su preámbulo en el intervalo binario 256.

El protocolo DTI es de naturaleza de ida y vuelta. El servidor y el cliente comparten la línea utilizando duplexación por división en el tiempo (TDD, *time division duplexing*), uno transmite mientras el otro recibe. El intervalo de tiempo DTI se divide en dos intervalos iguales, el intervalo de tiempo del servidor y el intervalo de tiempo del cliente. Las unidades de datos de protocolo (PDU, *protocol data units*) de comunicación de capa 2 se denominan tramas. Tanto las tramas de servidor como las de cliente tienen una longitud de 243 bits, y cada una está seguida de un tiempo de guarda de ida y vuelta (TGT, *turnaround guard time*) de 22 bits. El objeto del TGT1, situado después de la trama de servidor, es dar tiempo al cliente para que complete su tratamiento CRC y realice la conmutación entre recepción y transmisión en la línea tras recibir la trama de servidor. El objeto del TGT2, situado después de la trama de cliente, es facilitar un retardo de ida y vuelta del cable, para garantizar que el servidor recibe la trama de cliente antes de que comience a transmitir la siguiente trama de servidor, que incluye el tiempo necesario para que el servidor realice la conmutación entre recepción y transmisión en la línea, tras la recepción de la trama de cliente. Cada TGT aporta aproximadamente 4,3 μ s de tiempo de guarda, superando con mucho el retardo máximo de ida y vuelta para un cable de 200 m que es de aproximadamente 2 μ s.

En la salida del cliente, la temporización de trama DTI se ajusta previamente mediante la corrección de avance del cable enviada por el servidor para alinear la temporización de trama de salida del cliente con la temporización de trama de servidor. Para evitar coincidencias, los datos recibidos durante la trama anterior son almacenados y enviados por el cliente después de haber completado la comprobación CRC.

7.3 Trazabilidad para la indicación de tiempo DOCSIS

El tiempo de coincidencia (TOC, *time of coincidence*) es un concepto importante para comprender la relación entre cualquier contador de 32 bits de indicación de tiempo DTI (DTS) con el tiempo del sistema GPS. El tiempo del sistema GPS se inició el 6 de enero de 1980. Los receptores GPS proporcionarán una indicación de tiempo gpssec de 32 bits que fue cero al inicio del 6 de enero. El gpssec es un contador de indicación de tiempo de 32 bits que se incrementa cada segundo. La DTS también es un contador de indicación de tiempo de 32 bits que se incrementa cada reloj maestro de 10,24 MHz. El objetivo es hacer corresponder el tiempo actual del sistema GPS con la indicación de tiempo DOCSIS de forma coherente.

Por definición, a la DTS se le puede asignar el valor cero con el mismo instante de inicio del 6 de enero de 1980. En el segundo siguiente, la indicación de tiempo DOCSIS avanzará 10 000 intervalos de tiempo con 1 024 relojes maestros por intervalo de tiempo, de forma que la DTS debería ser 10 240 000.

El TOC es el siguiente gpssec entero cuando la DTS sea exactamente cero. Esto ocurrirá cada 262 144 segundos (aproximadamente cada 3 días)¹. Si se ha utilizado un procedimiento de reiniciación a cero para sincronizar cada contador DTS en un servidor, entonces se necesitarán hasta 3 días para alinear un servidor con el inicio. El planteamiento consiste en generar un valor inicial para DTS mediante una función de correspondencia de forma que el alineamiento se pueda producir en cualquier límite de un segundo.

La función de correspondencia entre gpssec y DTS en el servidor DTI DEBE ser:

$$DTS = 2^{10} * [(10\ 000 * (\text{gpssec} \bmod 262144)) \bmod 2^{22}]$$

¹ La escala de tiempo gpssec se repetirá cada 136 años. Puesto que hay exactamente 16 384 eventos TOC entre repeticiones, no hay interrupción de la DTS.

Un cliente que implementa la opción de reloj maestro de 10,24 MHz utilizará directamente la DTS de servidor. Un cliente que implementa la opción de reloj maestro de 9,216 MHz hará corresponder gpssec con una DTS de cliente DTI de 9,216 MHz de conformidad con la fórmula indicada en la cláusula 8.2.

Los cuatro modos de fijación de la hora del día son:

- 1) GPS.
- 2) Fijación de la hora de usuario.
- 3) Fijación de la hora por defecto.
- 4) Protocolo de temporización de red (NTP) versión 4 o superior.

El modo de trazabilidad GPS proporciona la capacidad de fijación temporal más precisa. Independientemente del modo de hora del día, el servidor DTI DEBE transformar la información temporal en valores gpssec equivalentes.

La fijación de la hora de usuario permite a un usuario introducir una hora del día aproximada mediante una interfaz de usuario local o distante. El funcionamiento con fijación horaria por defecto, si se selecciona, establecerá una hora del día aproximada tras una reinicialización o un ciclo de alimentación. La hora del día se basa en el valor vigente del reloj en tiempo real del servidor.

El modo de fijación horaria NTP, si está soportado, permitirá al servidor DTI establecer una fijación horaria mediante el protocolo NTP según la configuración vigente en el servidor DTI. Si se soporta el modo NTP, el servidor DTI DEBE soportar la versión 3 o superior del NTP.

El servidor DTI DEBE soportar medios para configurar los modos para la fijación de la hora del día, la fijación de tiempo de usuario, la fijación de tiempo por defecto NTP o GPS.

7.3.1 Modo de frecuencia GPS

Para proporcionar continuidad en la base de tiempos DTI cuando se pasa del modo de funcionamiento libre o modo de red al modo GPS, se define un estado intermedio, "modo de frecuencia GPS". Cuando el servidor DTI pasa del modo de funcionamiento libre o del modo de red al modo de frecuencia GPS, la frecuencia de salida de 10,24 MHz del servidor DTI se ajusta suavemente de forma que siga a la frecuencia del sistema GPS, manteniendo la continuidad de los contadores de tiempo DTI. El sistema se puede mantener en el modo de frecuencia GPS durante un periodo de tiempo amplio. Cuando el servidor DTI pasa del modo de frecuencia GPS al modo GPS, los contadores de tiempo DTI se vuelven a alinear con la hora GPS; esto se puede realizar durante un periodo previsto de mantenimiento.

Cuando se pasa del modo de funcionamiento libre o de red al modo GPS, el servidor DTI DEBE primero introducir el modo de frecuencia GPS.

En el modo de frecuencia GPS el servidor DTI DEBE mantener el modo de fijación de tiempo existente y el estado de validez a menos que cambie como resultado de la entrada de fijación temporal de la hora de usuario.

El servidor DTI DEBE soportar una entrada de usuario para planificar un periodo de tiempo de transición del modo de frecuencia GPS al modo GPS.

El servidor DTI, que funciona con enganche normal en el modo de frecuencia GPS, DEBE cumplir los mismos requisitos MTIE que en el modo GPS.

Durante la transición del modo de funcionamiento libre al enganche normal del modo de frecuencia GPS, se DEBEN cumplir todos los requisitos de funcionamiento libre del servidor DTI.

Durante la transición de la red de enganche normal al enganche normal del modo de frecuencia GPS, se DEBEN cumplir todos los requisitos MTIE de red de enganche normal del servidor DTI.

Cuando se prolonga el régimen libre GPS es posible llegar a degradar las características MTIE. El servidor DTI precisa poder recuperarse adecuadamente de este estado si se produce. Aplican los requisitos siguientes:

En la recuperación de la condición de degradación GPS, el servidor DTI DEBE ser capaz de reducir la frecuencia para acomodar por lo menos un desfase de 1 ms durante el periodo de recuperación de menos de 24 horas, sin exceder los límites de las características de funcionamiento del modo de funcionamiento libre.

En el modo de usuario y en el modo por defecto no hay requisitos para ajustar la escala de tiempo DTI y la salida ToD después de la fijación de tiempo inicial. Los servicios de tiempo DTI solo son para uso local y no están relacionados con el tiempo del sistema GPS.

Si el servidor DTI soporta el ajuste de frecuencia de la escala de tiempo en el modo NTP, el suministrador DEBERÍA especificar las características de precisión temporal en las configuraciones NTP definidas por el suministrador.

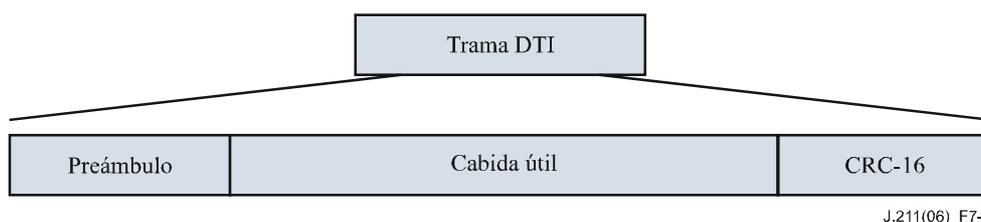
Si el servidor DTI soporta el ajuste de frecuencia de la escala de tiempo en el modo NTP, los requisitos de las características de salida del servidor DTI DEBEN cumplir los requisitos de calidad de funcionamiento del modo de operación del sistema (funcionamiento libre o de red).

Si se tiene que interrumpir el ajuste de frecuencia de la escala de tiempo en el modo NTP para evitar degradaciones a la salida, el servidor DTI DEBE indicar esta condición.

Si el usuario requiere una transición de la fijación de usuario a la fijación de tiempo por defecto al NTP después del calentamiento, el servidor DTI PUEDE rechazar la petición cuando la transición pueda degradar la calidad de funcionamiento a la salida.

7.4 Requisitos de la estructura de trama DTI

La estructura de trama DTI DEBE estar constituida por un preámbulo seguido por una cabida útil y finalmente por una CRC de 16 bits como se muestra en la figura 7-2. La longitud de la trama DTI, incluidos el preámbulo y la CRC, DEBE ser de 234 bits. La CRC DEBE realizarse únicamente en los bits de cabida útil. El flanco de subida del reloj de trama DTI de 10 kHz DEBE alinearse con el flanco inicial del primer bit del preámbulo del servidor DTI. El circuito de recuperación de reloj digital de cliente DEBE tolerar los relojes que falten, puesto que cualquier error binario en la trama impediría garantizar la bandera OK de la CRC en el comprobador CRC del cliente.



J.211(06)_F7-2

Figura 7-2 – Estructura de trama DTI

7.4.1 Convenios para esta especificación

En esta Recomendación se aplican los convenios siguientes cada vez que se muestre en una figura un campo de bits. El campo de bits debería interpretarse mirando la figura de izquierda a derecha y luego de arriba abajo, siendo el MSB el primer bit leído y el LSB el último bit leído. Las tramas DTI se transmiten con el elemento más significativo en primer lugar. En los campos de bits, el bit más significativo DEBE siempre transmitirse en primer lugar por el cable. Nueve campos de bits constituyen una trama en cada sentido. Los campos DEBEN transmitirse en orden numérico de valor menor a valor mayor (véanse los cuadros 7-1 y 7-2 para el orden de los campos).

7.4.2 Servidor a cliente

La estructura de trama en el sentido servidor a cliente DEBE ser como se muestra en el cuadro 7-1.

Cuadro 7-1 – Estructura de trama de servidor DTI

Campo	Nombre	Tamaño (bits)	Descripción
1	Preámbulo	68	Preámbulo de 0xAAAA AAAA AAAA AAAA 9 antes de la codificación Manchester
2	Tipo de dispositivo	8	Byte que describe el tipo de servidor
3	Banderas de estado del servidor	8	Bandera de 8 bits que identifican el estado del servidor
4	Indicación de tiempo superior DOCSIS	22	22 bits más significativos de la DTS
5	Hora del día	10	El campo soporta mensajes ToD en serie en múltiples tramas
6	Avance de cable	24	Avance de cable entero o fraccionario
7	Campo de trazabilidad de trayecto	10	El campo soporta mensajes de trazabilidad de trayecto en serie en múltiples tramas
8	Reservado	68	Todos los bits fijados a uno
9	CRC16	16	CRC de 16 bits que cubre todos los bits salvo el preámbulo
	Total de bits de cabida útil	234	

En el sentido servidor a cliente, la estructura de trama DTI es como sigue.

7.4.2.1 Preámbulo

El preámbulo de 68 bits se utiliza para alinear el circuito de recuperación de reloj digital en el cliente y ubicar las transiciones binarias que contienen la información en la codificación Manchester. El patrón "1001" (0x9) al final del preámbulo indica el principio de la cabida útil.

7.4.2.2 Tipo de dispositivo

El campo tipo de dispositivo de 8 bits se utiliza para identificar el tipo de servidor y su fuente de temporización. Los bits de este campo DEBEN asignarse como se indica a continuación.

Bit 7:5 *Fuente de temporización externa (para servidor raíz)*

000: El servidor no tiene fuente de temporización externa

001: El servidor está recibiendo temporización externa del GPS

010: El servidor está recibiendo temporización de la red

011-111: Reservado

Bit 4:3 *Cuenta de salto de cliente*

00: El servidor es el servidor DTI raíz para la distribución de oficina

01: El servidor está directamente conectado al servidor DTI raíz

10-11: Reservado

Bit 2:0 *Tipo de reloj de servidor raíz*

000: El reloj del servidor es del tipo I de la UIT

001: El reloj del servidor es del tipo II de la UIT

010: El reloj del servidor es del tipo III de la UIT

011: El reloj del servidor es ANSI T1.101 ST3 (sólo para operaciones de reserva)

100-111: Reservado

7.4.2.3 Banderas de estado de servidor

Este campo de 8 bits se utiliza para enviar el estado del servidor al cliente. La información en este campo está relacionada con la transmisión del protocolo DTI por el servidor DTI. Se DEBEN asignar los bits como se muestra a continuación:

Bit 7: *Reservado*

Bit 6: *Características de funcionamiento del cliente estable*

Este bit, cuando está fijado a "1", indica que el servidor verifica que la medición del error de fase del cliente se encuentra dentro de los márgenes aceptables de funcionamiento.

Bit 5: *Avance de cable*

Este bit, cuando se fija a "1", indica que se ha calculado el retardo del cable y que es válido el valor del campo avance de cable.

Bit 4: *Modo régimen libre*

Este bit, cuando se fija a "1", indica que el servidor ha perdido su referencia de temporización y se encuentra en régimen libre.

Bit 3: *Modo normal*

Este bit, cuando se fija a "1", indica que el reloj es estable, se ha enganchado a la referencia de temporización y cumple la norma de reloj correspondiente.

Bit 2: *Modo rápido*

Este bit, cuando se fija a "1", indica que el reloj está utilizando una constante de tiempo corta. Se utiliza una constante de tiempo más corta en el circuito de reloj para reducir el tiempo de enganche inicial cuando el servidor se activa por primera vez o recibe una referencia por primera vez.

Bit 1: *Modo de funcionamiento libre*

Este bit, cuando se fija a "1", indica que el servidor está funcionando con una frecuencia de salida que no está influida por señales de referencia externas locales.

Bit 0: *Calentamiento*

Este bit se fija a "1" para indicar que el oscilador de referencia todavía no se ha estabilizado.

7.4.2.4 Indicación de tiempo superior DOCSIS

Estos 22 bits DEBEN contener la parte más significativa de la indicación de tiempo de 32 bits DOCSIS, que es la parte de la indicación de tiempo que se mantiene constante durante todo el periodo de trama DTI (1/10 kHz = 100 µs). Estos bits se utilizan para cargar y/o supervisar los 22 bits superiores del contador de indicación de tiempo DOCSIS de 32 bits en el cliente. Los últimos 10 bits más significativos del contador de indicación de tiempo DOCSIS en el cliente representan el número de relojes de 10,24 MHz desde el principio de la trama DTI. Juntos, estos dos campos crean la indicación de tiempo completa DOCSIS de 32 bits.

7.4.2.5 Hora del día

El mensaje hora del día (ToD) proporciona la hora en formato binario y facultativamente en formato ASCII, ambos con una resolución de 1 segundo. La hora gpssec y el segundo intercalar se envían en formato binario. Cuando se encuentra en el modo verboso también se envía la hora del calendario en formato ASCII incluida una fecha juliana modificada e información de la fecha y hora locales. El mensaje ToD se transmite a una velocidad de 10 bits (un byte de cabida de útil y dos bits de control) por trama DTI y se conmuta para incluir múltiples tramas DTI. El primer bit de control indica que la ubicación del pulso por segundo coincidirá con el principio de la siguiente trama. El segundo bit de control es una bandera de datos válidos que aplica al byte de cabida útil. La bandera de datos válidos puede utilizarse para detener e iniciar el tren de bytes conmutados. Cuando la bandera de datos válidos es cero el byte de cabida útil DEBE estar constituido por unos. Cuando la bandera de datos válidos es uno el byte de cabida útil DEBE incluir el siguiente byte en serie en el mensaje ToD. El mensaje ToD correspondiente a una determinada cuenta PPS DEBE iniciar la transmisión de una o más tramas después de la trama en la que se haya fijado el bit de la bandera PPS, y completar la transmisión en 100 ms. Las asignaciones de bits para el campo mensaje ToD de 10 bits en cada trama DTI DEBE ser como se indica a continuación:

Bit 9: Bandera PPS

Este bit DEBE fijarse a '1' cuando el principio de la siguiente trama coincide con el pulso por segundo² del servidor DTI. El "1" aseverado indica que el bit de la bandera PPS de la trama del servidor DTI siguiente es la marca temporal para la información PPS que se acaba de transferir durante el último periodo de un segundo. Esta trama temporal DEBE incluir el byte 1 del mensaje ToD. El bit de la bandera PPS se incluye cada 10 000 tramas.

Bit 8: Bit de datos válidos

Este bit se fija a '1' para indicar que los datos en el byte de cabida útil (los siguientes 8 bits) contienen datos válidos.

Bit 7-0:

Este campo contiene el byte de cabida útil ToD subconmutado que DEBE ser conforme al cuadro 7-2.

² El pulso por segundo es de funcionamiento libre salvo en el modo GPS en el que se alinea con GPS 1 PPS.

Cuadro 7-2 – Formato del mensaje subconmutado ToD

Número de byte	Longitud	Tipo	Formato	Nombre	Descripción
1	1	Binario	Véase la descripción del campo de estado ToD en 7.4.2.6	Estado ToD	
2-5	4	Binario		gpssec	Indicación de tiempo gpssec de 32 bits
6	1	Binario		Segundos intercalares	Segundos intercalares acumulados entre gpssec y UTC
7	1	ASCII de 7 bits	ASCII "*" (0x2A) indica la hora de calendario ToD válida ASCII "!" (0x21) indica la hora de calendario ToD no válida	Hora de calendario ToD válida	
8-12	5	ASCII de 7 bits	MMMMM Donde M es [0-9] ASCII	MJD	Fecha juliana modificada (número de días desde el 17 de noviembre de 1958)
13	1	ASCII de 7 bits	Punto decimal ASCII "." (0x2E)		
14-23	10	ASCII de 7 bits	Año/Mes/Día Año: [0000-9999] Mes: [1-12] Día: [1-31]	Fecha	Fecha local
24	1	ASCII de 7 bits	Punto decimal ASCII "." (0x2E)		
25-32	8	ASCII de 7 bits	Hora: Min:Seg Hora: [00-23] Min: [00-59] Seg: [00-60] ^{a)}	Hora	Hora local
33	1	ASCII de 7 bits	Punto decimal ASCII "." (0x2E)		
34:38	5	ASCII de 7 bits	SHH.F S: signo [+,-] H: desfase en horas F: [0] o ([5] para desfases de 30 minutos)	Desfase de la zona horaria	Desfase de la zona horaria local
39	1	ASCII de 7 bits	Punto decimal ASCII "." (0x2E)		
40	1	ASCII de 7 bits	ASCII "D" (0x43)	Indicador de segundo intercalar	
41	1	ASCII de 7 bits	Principio de línea ASCII (0x0D)		

^{a)} Para indicar un segundo intercalar se puede usar un indicador de 60 segundos.

7.4.2.6 Campo de estado ToD

El bit 8 se utiliza para indicar el estado del mensaje hora del día. Los bits en el estado ToD DEBEN asignarse como se muestra a continuación:

Bit 7:4: *Modo de fijación de tiempo*

- 0000: Modo de fijación de tiempo por defecto
- 0001: Modo de fijación de tiempo de usuario
- 0010: Modo de fijación de tiempo NTP
- 0110: Modo de fijación de tiempo GPS
- 0100-1111: Reservados

Bit 3:2: *Estado ToD*

- 00: ToD actualmente no es válido
- 01: ToD válido
- 10-11: Reservados

Bit 1:0: *Modo mensaje ToD*

- 00: Modo mensaje corto. Bytes 0-15 de mensaje (sólo binarios)
- 01: Modo mensaje verboso: el mensaje incluye todos los campos del cuadro 7-2
- 10-11: Reservados

El servidor DTI DEBE soportar el modo de mensaje corto para la entrega ToD.

El modo mensaje verboso DEBERÍA ser soportado por el servidor DTI.

Si se soporta más de un modo de mensaje ToD, el valor por defecto DEBE ser el modo de mensaje corto.

Si se soporta más de un modo de mensaje ToD, el modo DEBERÍA ser configurable desde un puerto.

7.4.2.7 Avance de cable

El avance de cable se describe en 8.1.2. La información sobre el avance de cable DEBE estar incluida en este campo de 24 bits. Los 16 bits más significativos del avance de cable DEBEN incluir la parte entera del valor avance de cable en ciclos de reloj de muestras de 149,8 MHz³. Los 8 bits restantes, el byte menos significativo del avance de cable, DEBEN ser la parte fraccionaria del avance de cable y es 1/256 de un ciclo de reloj de 149,8 MHz.

7.4.2.8 Campo trazabilidad de trayecto

El campo trazabilidad de trayecto es un campo de 10 bits que DEBE ser utilizado para enviar datos de bytes al cliente. El campo trazabilidad de trayecto se DEBE rellenar como sigue:

Bit 9: *Inicio del mensaje*

El bit inicio de mensaje del campo trazabilidad de trayecto se DEBE fijar a uno para una trama para indicar el principio de un mensaje de estado.

³ El reloj de alta velocidad de 149,8 MHz es exactamente 10,24 MHz * 512/35.

Bit 8: Bit de datos válidos

El bit de datos válidos del campo trazabilidad de trayecto se DEBE fijar a '1' para indicar que los 8 siguientes bits de datos contienen datos válidos. Cuando el bit de datos válidos del campo trazabilidad de trayecto es '0', el cliente DEBE ignorar el contenido de los 8 bits de datos siguientes.

Bit 7:0: Byte de datos

Este byte de datos DEBE contener los bytes de datos de mensaje en serie.

Cuadro 7-3 – Formato del mensaje trazabilidad de trayecto

Nombre	Tipo (1 byte)	Longitud (1 byte)	Valor (longitud variable)
Dirección IPv4 del servidor DTI raíz	1	4	Dirección IP del servidor DTI raíz (nivel más alto en el árbol)
Puerto # de salida del servidor DTI raíz	2	1	Número del puerto del servidor raíz para esta interfaz DTI. El cómputo del número de puerto de salida se inicia en 0 y llega hasta 255.
Dirección IPv4 del servidor DTI (si no es el servidor raíz)	3	4	Dirección IP de la interfaz DTI de origen del servidor DTI (si no es el servidor raíz)
Puerto # de salida del servidor DTI	4	1	Número del puerto de salida del servidor para esta interfaz DTI. Los puertos inician el cómputo en 0 y siguen hasta 255.
Dirección IPv6 del servidor DTI raíz	5	16	Dirección IP del servidor DTI raíz (nivel jerárquico más alto)
Dirección IPv6 del servidor DTI (si no es el servidor raíz)	6	16	Dirección IP de la interfaz DTI de origen del servidor DTI (si no es el servidor raíz)
Versión de la DTI del servidor DTI raíz (nota)	7	1	Número de versión de la DTI en funcionamiento en el servidor raíz.
Versión de la DTI del servidor DTI	8	1	Número de versión de la DTI en funcionamiento en el servidor DTI (si no es el servidor raíz).
EOT	9	1	0x00 El EOT identifica el final del campo trazabilidad de trayecto.
NOTA – Para los servidores DTI que cumplen con la primera versión de esta Recomendación este valor será 0.			

Si existe un servidor DTI subordinado, la dirección del servidor DTI raíz DEBE pasar a través del servidor DTI subordinado hacia los clientes DTI. En otras palabras, un cliente DTI conectado a un servidor raíz a través de un servidor intermedio tendrá una dirección IP de servidor raíz y una dirección IP de servidor en el campo trazabilidad de trayecto. El servidor raíz NO DEBE transmitir información IP que no sea raíz. El campo trazabilidad de trayecto DEBE seguir la secuencia tipo, longitud y valor, como se muestra a continuación y sigue el orden de bits y bytes ya definida.

Tipo	Longitud	Valor	Tipo	Longitud	Valor
------	----------	-------	------	----------	-------

7.4.2.9 Reservado

Los restantes 68 bits DEBEN reservarse para uso futuro. Se rellenarán con '1' mientras no se indique lo contrario.

7.4.2.10 CRC-16

El campo CRC-16 DEBE contener la verificación de redundancia cíclica CRC-16 de 16 bits. El generador de CRC-16 se DEBE inicializar con '1' durante los bits del preámbulo. Tras el último bit del preámbulo, los datos de cabida útil DEBEN pasar a través del generador de código CRC-16. Después del último bit de la cabida útil, la salida en serie DEBE conmutarse del registro de desplazamiento en transmisión a la salida del generador CRC-16 y se DEBEN transmitir otros 16 '1' por el generador para sustituir a los 16 bits CRC. El polinomio del generador DEBE ser $X^{16} + x^{12} + x^5 + 1$, que es el polinomio del generador CRC-16 del UIT-T.

El flanco anterior de la ubicación del primer bit tras la CRC DEBE coincidir con el flanco ascendente del reloj de trama de 10 kHz en recepción.

7.4.3 Cliente a servidor

La estructura de trama en el sentido cliente a servidor DEBE funcionar como se muestra a continuación en el cuadro 7-4.

Cuadro 7-4 – Estructura de la trama de cliente DTI

Campo	Nombre	Tamaño	Descripción
1	Preámbulo	68	Preámbulo de 0xAAAA AAAA AAAA AAAA 6 antes de la codificación Manchester
2	Tipo de dispositivo	8	Byte que describe el tipo de cliente
3	Banderas de estado de cliente	8	8 bits de bandera que identifican el estado del cliente
4	Reservado	22	No utilizados, fijados a uno
5	Reservado	10	No utilizados, fijados a uno
6	Fase integrada del reloj del cliente	24	Valor complemento de 2 de 16 bits del reloj de trama local
7	Versión dti del cliente	10	Número de versión DTI del cliente
8	Reservado	68	Todos los bits se fijan a 1
9	CRC-16	16	CRC de 16 bits que cubre todos los bits salvo el preámbulo
	Total de bits de cabida útil	234	

En el sentido cliente a servidor la estructura de la trama DTI está constituida como se muestra a continuación.

7.4.3.1 Preámbulo

El preámbulo de 68 bits se utiliza para alinear el circuito de recuperación de reloj en el servidor y para ubicar las transiciones binarias en la codificación Manchester que incluye el esquema de información 0x6 "0110" al final del preámbulo y coincide con el principio de la cabida útil.

7.4.3.2 Tipo de dispositivo

El campo tipo de dispositivo de 8 bits se utiliza para identificar el tipo de cliente y su fuente de temporización. Los bits en el tipo de dispositivo se DEBEN definir de la forma siguiente:

Bit 7:4: Fuente de temporización

La fuente de temporización no se tiene que indicar al servidor.

Estos bits se reservan y se rellenarán con unos.

Bits 3:0: Tipo de reloj de cliente

- 0000: El oscilador del cliente es del tipo 1 de la UIT
- 0001: El oscilador del cliente es del tipo 2 de la UIT
- 0010: El oscilador del cliente es del tipo 3 de la UIT
- 0011: El oscilador del cliente es un Stratum 3 de la UIT
- 0100: El oscilador del cliente es un oscilador de reloj mínimo DTI
- 0101-1111: Reservados

7.4.3.3 Banderas de estado de cliente

Este campo de 8 bits se utiliza para enviar el estado del cliente al servidor. Los bits de estado de la bandera del cliente se DEBEN definir de la forma siguiente:

Bits 6 y 7: Reservados para uso futuro

Bit 5: Modo puente

Este bit, cuando se fija a '1', indica que el cliente ha perdido su referencia de temporización y está manteniendo unas características de calidad aceptables.

Bit 4: Modo régimen libre

Este bit, cuando se fija a '1', indica que el cliente ha perdido su referencia de temporización y se encuentra en régimen libre.

Bit 3: Modo normal

Este bit, cuando se fija a '1', indica que el reloj está estable, se ha enganchado a la referencia de temporización y cumple con la norma de reloj correspondiente.

Bit 2: Modo rápido

Este bit, cuando se fija a '1', indica que el reloj está utilizando una constante de tiempo corta. En el circuito de reloj se utiliza una constante de tiempo más corta para reducir el tiempo de enganche inicial cuando el cliente se conecta por primera vez o recibe una referencia por primera vez.

Bit 1: Modo de funcionamiento libre

Este bit, cuando se fija a '1', indica que el cliente está funcionando con una frecuencia de salida que no depende del cliente ni del servidor DTI.

Bit 0: Calentamiento

Este bit, cuando se fija a '1' indica que el oscilador del cliente todavía no se ha estabilizado.

7.4.3.4 Valor entero del error de fase del reloj de cliente

Este campo de 24 bits DEBE devolver un valor instantáneo del error de fase del cliente. El valor estará en unidades de ciclos de reloj de muestras de 149,8 MHz y se encontrará en los 16 bits más significativos. Los 8 bits inferiores del campo de 24 bits se DEBEN rellenar con ceros y NO DEBE utilizarlos el servidor DTI. Se DEBE asignar al valor un número complemento de 2. Si el cliente DTI soporta más bits de resolución, el cliente DTI DEBE redondear el valor indicado al ciclo de reloj de muestras entero más próximo.

7.4.3.5 Versión DTI de cliente

Este campo de 10 bits DEBE indicar la versión vigente del protocolo DTI soportada por el cliente, expresada como un número entero sin signo. Para la primera versión este valor DEBE ser cero.

7.4.3.6 Reservado

Los 68 bits restantes se DEBEN reservar para uso futuro. Estarán rellenos de unos mientras no se indique lo contrario.

7.4.3.7 CRC-16

Este campo de 16 bits DEBE contener la verificación de redundancia cíclica CRC-16. El generador CRC-16 se DEBE inicializar con '1' durante los bits del preámbulo. Tras el último bit del preámbulo, los datos de cabida útil se DEBEN desplazar mediante el generador de código CRC-16. Después del último bit de la cabida útil, la salida en serie se DEBE conmutar del registro de desplazamiento de transmisión a la salida del generador CRC-16, y se DEBEN desplazar otros 16 "1" por del generador para cerrar la CRC de 16 bits. El polinomio del generador DEBE ser $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$.

7.5 Interacción del protocolo servidor-cliente DTI

Para ilustrar el conjunto de reglas de protocolo se utiliza el diagrama de intercambio de protocolos (figura 7-3). En la cláusula 8 se indican los requisitos específicos relativos al funcionamiento del servidor y del cliente que soporta el protocolo.

El intercambio se inicia con el servidor y el cliente inactivos (desconectados). El primer paso es el calentamiento del servidor. El principal subsistema que requiere calentamiento en un servidor DTI es el oscilador local. Durante el calentamiento, un servidor está transmitiendo mensajes DTI con el estado de calentamiento indicado. El servidor se mantendrá en calentamiento hasta que el oscilador se estabilice y se adquiera una fijación de la hora del día estable. El servidor pasa al estado de funcionamiento libre y se mantendrá en este estado hasta que se enganche a una referencia externa. La figura 7-3 muestra que la activación del cliente se produce durante el intervalo de tiempo M. El cliente no transmitirá hasta que se haya liberado la condición de pérdida de recepción de trama (véase 8.2.3). Durante el intervalo de tiempo M, el servidor DTI pasa a la condición normal como se ha indicado. La siguiente trama de servidor indica esta condición normal en las banderas de estado de servicio. Se destaca que el cliente puede empezar el enganche utilizando las tramas de servidor válidas en cuanto el servidor haya salido del calentamiento, haya establecido una hora del día y esté transmitiendo activamente. Cuando el cliente ha establecido el entramado de recepción y recibe la trama vigente con una CRC válida, responde con una trama de cliente en el intervalo de tiempo M+1. El reloj de cliente se supone que se encuentra en calentamiento en ese momento, como se refleja en la bandera de estado de cliente fijada a no válido. Durante el intervalo de tiempo M+2, el servidor puede empezar a procesar la trama de cliente midiendo el retardo de ida y vuelta, así como a recopilar los datos de medición del error de fase del reloj de cliente devueltos en una trama de cliente.

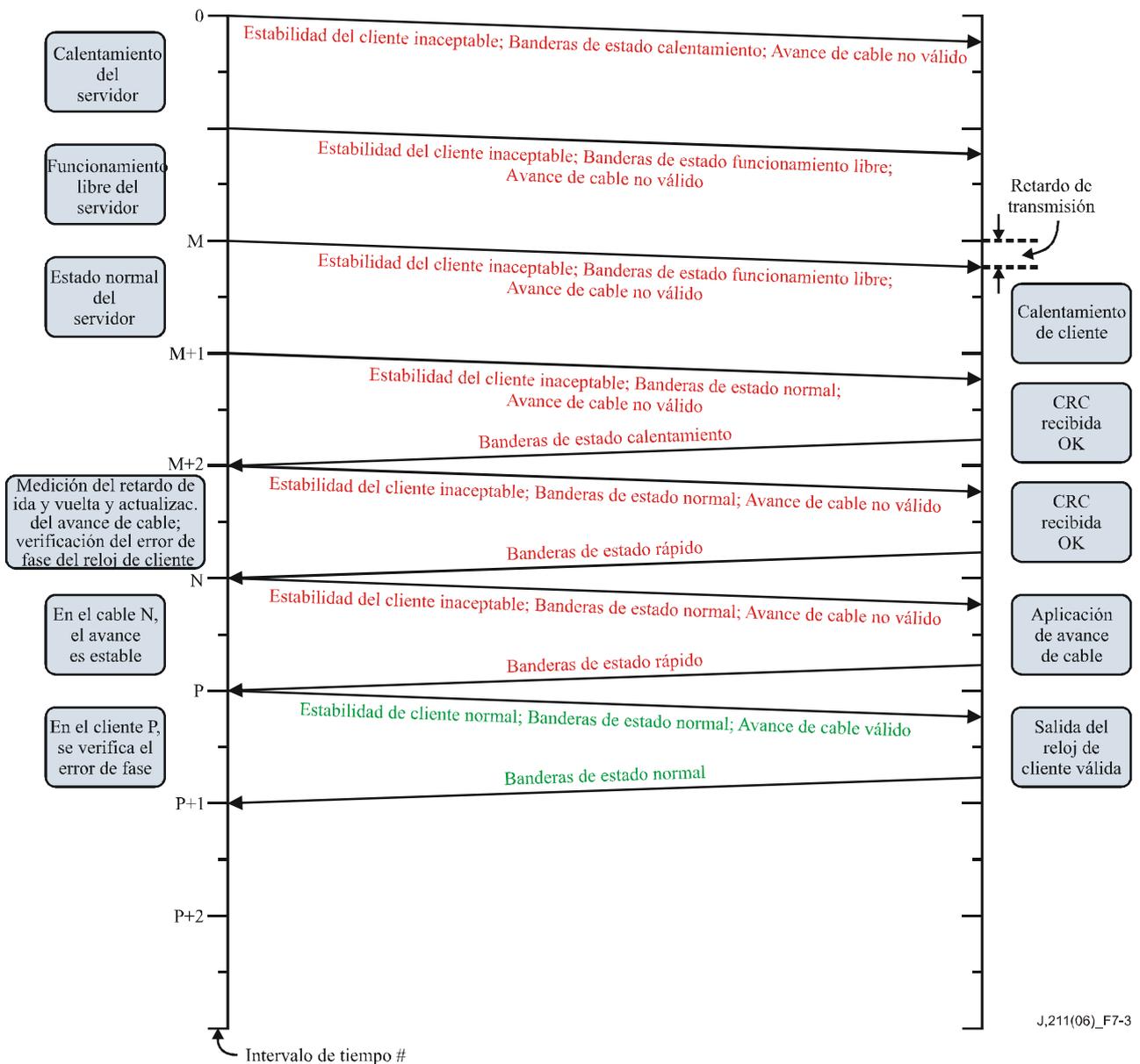


Figura 7-3 – Ejemplo de protocolo servidor-cliente DTI

El servidor filtra los datos de medición de ida y vuelta para establecer una corrección de avance de cable estable que no degrade las características de temporización del reloj de cliente. La figura 7-3 ilustra cómo el servidor logra un avance de cable estable justo antes del intervalo de tiempo p. Durante el intervalo de tiempo p la trama de transmisión del servidor lo indica fijando la bandera de avance de cable a válido. Durante el mismo intervalo de tiempo, el reloj del cliente se supone que consigue un enganche de fase local y el mensaje del cliente indica el modo rápido. Finalmente, justo antes del intervalo de tiempo P+1, el servidor ha verificado, utilizando los datos de error de fase del reloj de cliente a partir del intervalo de tiempo M+1, que el cliente se encuentra con un enganche de fase adecuado con respecto al reloj maestro y lo indica durante P+1 fijando la bandera de condición de estabilidad del cliente a "válido".

8 Funcionamiento del cliente y del servidor DTI

Para una descripción informal del protocolo DTI véase la cláusula 1.1.

8.1 Modos del servidor DTI

El servidor DTI puede soportar tres modos de funcionamiento:

- 1) Maestro con funcionamiento libre: no se proporciona ninguna fuente externa para controlar la precisión de la frecuencia o de la indicación de tiempo.
- 2) GPS con trazabilidad: la fuente para la trazabilidad de la indicación de tiempo y de la frecuencia es el GPS.
- 3) Red con trazabilidad: se utiliza una red PDH, SONET o SDH normalizada para proporcionar la trazabilidad con una referencia de frecuencia Stratum 1.

En M-CMTS no se requiere despliegue cuando todos los elementos tienen la misma ubicación con trazabilidad GPS.

El servidor DTI DEBE soportar el modo de funcionamiento libre del reloj maestro. En este modo, no se requiere ninguna fuente de trazabilidad.

El servidor DTI PUEDE soportar el modo de funcionamiento GPS con trazabilidad.

El servidor DTI PUEDE soportar el modo de funcionamiento de red con trazabilidad.

8.1.1 Modo maestro de funcionamiento libre

Los requisitos de funcionamiento libre del reloj maestro están estrechamente relacionados con los requisitos de temporización DOCSIS existentes e incluyen un margen adicional para asegurar que las características de la salida del reloj maestro del cliente DTI cumplen todos los requisitos.

Para soportar un seguimiento común de todos los elementos en sentido descendente, incluidos los clientes DTI, el modo maestro de funcionamiento libre DEBE limitar la tasa de variación de la frecuencia de salida a menos de 10^{-9} durante un periodo de 10 segundos.

La precisión de la frecuencia de salida del modo maestro de funcionamiento libre DEBE ser mejor que 1 ppm en una gama de temperaturas de 0° a 40°C durante por lo menos 10 años a partir de la fecha de fabricación.

La fluctuación de fase de alta frecuencia del servidor DTI (por encima de 10 Hz) en el modo maestro de funcionamiento libre DEBE ser inferior a 50 ps RMS.

La fluctuación lenta de fase del servidor DTI cuando se observa a través del filtro de cualificación de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia⁴ DEBE ser inferior a 250 ps RMS.

Las características de puerto a puerto del servidor DTI se aplican a los puertos en un único servidor raíz o a puertos entre un servidor raíz y un servidor subordinado. La fluctuación lenta de fase debida a la distancia de puerto a puerto del servidor DTI cuando se observa a través del filtro de cualificación de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia DEBE ser inferior a 125 ps RMS.

8.1.2 Modos de referencia externos

8.1.2.1 Requisitos de calidad de funcionamiento de sincronización común

NOTA – Los requisitos en esta cláusula no aplican al modo maestro de funcionamiento libre.

⁴ El filtro de medición de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia se describe en el apéndice IV.

8.1.2.1.1 Características de funcionamiento en régimen libre del servidor DTI

Para mantener la compatibilidad con la jerarquía de sincronización del servicio TDM el reloj del servidor DTI DEBE funcionar con características de calidad de régimen libre en una de las categorías especificadas en el cuadro 8-1. Estas categorías son conformes a las normas de control para los servicios de control TDM existentes [UIT-T G.812] y [T1.101].

Cuadro 8-1 – Requisitos de régimen libre del servidor DTI

Tipo UIT G.812	Nivel Stratum T1.101-1999 ANSI	Margen para el envejecimiento en régimen libre (ppb por día) (Nota 1)	Margen de temperatura en régimen libre ppb (Nota 2)	Margen total en régimen libre en 24 horas (envejecimiento y temperatura) ppb
Tipo I	NA	0,2	2,0	2,2
Tipo II	Stratum 2	NA	NA	0,1
Tipo III	Stratum 3E	1,0	10,0	11,0

NOTA 1 – Representa la deriva de frecuencia media producida por el envejecimiento. Este valor se obtiene de las características típicas de envejecimiento tras 60 días de funcionamiento continuo. No se pretende medir este valor cada día puesto que predomina el efecto de la temperatura.

NOTE 2 – Las condiciones de temperatura de funcionamiento están en la gama de 0° a 40°C con una variación máxima de 10°C por hora.

8.1.2.1.2 Características de la tasa de variación de fase del servidor DTI

El servidor DTI precisa limitar la tasa de variación de la fase durante los 35 segundos del intervalo máximo debido a la distancia DOCSIS. El servidor DTI DEBE mantener una tasa de variación de la fase de 5 ns durante un periodo de diez segundos en funcionamiento normal y aceptable.

8.1.2.1.3 Características de la fluctuación de fase de temporización del servidor DTI

La fluctuación lenta de fase de temporización debida a la distancia del servidor DTI durante un periodo de 35 segundos a la que se ha restado su valor medio debe estar incluida en el requisito de 1 ns RMS para la fluctuación de fase de temporización del circuito para el funcionamiento síncrono como se indica en el apéndice III. Es preciso considerar en el presupuesto global dos servidores que soporten dos clientes en la misma ubicación y los componentes PHY asociados. Los requisitos siguientes aportan 400 ps RMS al requisito de 1 ns RMS de los componentes DTI.

- La fluctuación de fase de alta frecuencia del servidor DTI (por encima de 10 Hz) en el modo maestro de funcionamiento libre DEBE ser inferior a 50 ps RMS.
- La fluctuación lenta de fase debida a la distancia del servidor DTI cuando se observa a través del filtro paso banda de fluctuación lenta de fase debida a la distancia DEBE ser inferior a 250 ps RMS.
- Las características de puerto a puerto del servidor DTI aplican a los puertos en un único servidor raíz o a los puertos entre un servidor raíz y un servidor subordinado. La fluctuación lenta de fase debida a la distancia de puerto a puerto del servidor DTI cuando se observa a través del filtro de cualificación de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia DEBE ser inferior a 125 ps RMS.

8.1.2.2 GPS con trazabilidad

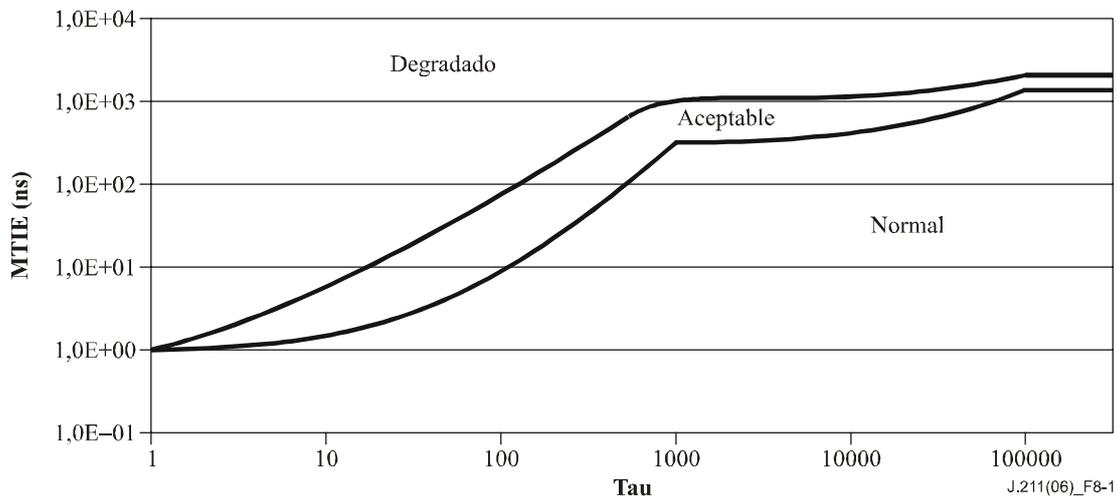
El servidor DTI precisa soportar los requisitos de temporización del sistema DOCSIS así como los requisitos de temporización de sincronización de los servicios TDM necesarios. Con la arquitectura CMTS modular, los elementos DTI tales como receptores en sentido ascendente, EQAMS y núcleos M-CMTS pueden encontrarse en diferentes nodos o edificios. Los servidores DTI situados en diferentes edificios DEBEN tener la coherencia suficiente para soportar funciones permanentes y dependientes de la frecuencia, en particular la medida de distancia, la gestión de latencia y la sincronización de servicios TDM cuando se encuentren en el modo GPS.

El servidor DTI DEBE cumplir los requisitos de intervalo de tiempo máximo especificados en la figura 8-1 en el modo de GPS con trazabilidad. La figura 8-1 define tres niveles de funcionamiento del servidor:

- 1) Normal – Nivel de calidad de funcionamiento previsto en un entorno de funcionamiento normal. Aunque el servidor debería cumplir todos los requisitos ambientales especificados por el MSO, se recomienda que el suministrador indique los límites ambientales tales como los límites de la variación de la temperatura asociados con el funcionamiento normal. El funcionamiento normal no incluye la pérdida de todas las referencias externas.
- 2) Aceptable – Nivel de calidad de funcionamiento que el servidor DEBE cumplir en las condiciones ambientales especificadas por el MSO. El servidor DEBE cumplir este nivel de MTIE durante reducidos periodos de interrupción de las referencias de entrada. Se recomienda que el suministrador indique los periodos de interrupción que se pueden soportar.
- 3) Degradado – El servidor NO DEBE entrar en el nivel degradado de funcionamiento a menos que se produzca una interrupción de larga duración, superior al límite especificado por el suministrador, o que se excedan los límites ambientales.

Además, aplican las condiciones de funcionamiento siguientes para los niveles de servicio normal y aceptable.

- La variación de la temperatura ambiente máxima será inferior a 10°C por hora.
- Si existe más de una entrada válida, se considera normal y aceptable una conmutación de referencia de una entrada válida a otra.
- El servidor DTI no está funcionando en calentamiento o en funcionamiento libre.
- El servidor DTI ha estado continuamente alimentado durante por lo menos una hora.



Límites de funcionamiento aceptables MTIE	
Tiempo de observación, τ (segundos)	MTIE (nanosegundos)
$0,1 \leq \tau < 1000$	$0,5 + 0,5 * \tau + 0,00201 * \tau^2 - 1,51e-6 * \tau^3$
$280 \leq \tau < 100\ 000$	$0,01 * \tau + 1000$
$100\ 000 \leq \tau < 500\ 000$	2000
Límites de funcionamiento normal MTIE	
Tiempo de observación, τ (segundos)	MTIE (nanosegundos)
$0,1 \leq \tau < 1000$	$0,95 + 0,05 * \tau + 0,00026 * \tau^2$
$1000 \leq \tau < 100\ 000$	$0,01 * \tau + 300$
$100\ 000 \leq \tau < 500\ 000$	1290

Figura 8-1 – Requisitos MTIE del modo GPS con trazabilidad

Cuando el servidor DTI con trazabilidad GPS tiene que funcionar con otro servidor con trazabilidad GPS, el error de tiempo del reloj maestro del servidor DTI con respecto a la referencia de frecuencia⁵ DEBE ser inferior a 300 ps RMS en condiciones de funcionamiento normal, durante una periodo de 35 segundos al que se ha restado el valor medio.

8.1.2.3 Modo de red con trazabilidad

El modo de funcionamiento de red utiliza sincronización incorporada en la capa física PDH, SONET y SDH y un entramado para proporcionar trazabilidad de frecuencia al reloj de red Stratum 1. La trazabilidad de sincronización puede en principio obtenerse mediante:

- Una señal DS1 de red digital plexiócrona (PDH) que es una señal portadora de tráfico. Una señal portadora de tráfico está vinculada a un reloj Stratum 1 en la red de transporte o a una fuente Stratum del equipo de terminación distante. Los requisitos de fluctuación lenta de fase y de fluctuación de fase son menos exigentes que para el modo de portadora de sincronización del siguiente párrafo. Además, una interfaz portadora de tráfico puede introducir transitorios asociados con eventos de ajuste de puntero SONET o SDH.
- Una señal PDH que sea una señal portadora de sincronización. Una señal portadora de sincronización se puede enganchar a un reloj Stratum 1 en la red de transporte y tiene que cumplir limitaciones más exigentes de fluctuación lenta de fase y de fluctuación de fase.
- Una señal SONET/SDH de un elemento de red con trazabilidad. Las redes SONET/SDH tienen que ser síncronas y suministrar la sincronización con trazabilidad mediante un puerto de sincronización en el equipo de terminación. El puerto de la interfaz de sincronización

⁵ En la práctica se puede utilizar un reloj de referencia de cesio o equivalente para aproximar una referencia de frecuencia UTC.

derivado puede soportar mensajes de estado de sincronización para proporcionar un nivel de verificación.

El modo de funcionamiento de red NO DEBERÍA utilizar referencias que funcionen en los límites de las características de transmisión del tráfico como se especifica en [UIT-T G.824]. Los suministradores PUEDEN soportar el filtrado de las señales portadoras de tráfico, aunque esta operación se encuentra fuera del ámbito de esta Recomendación.

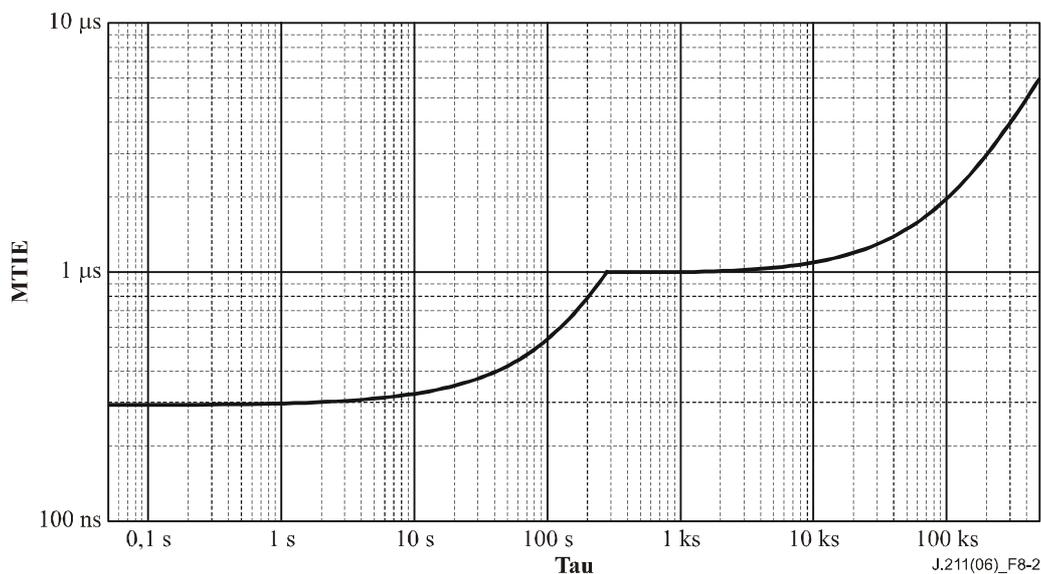
El modo de red proporciona sincronización precisa de frecuencia (velocidad) aunque no una sincronización precisa del tiempo. Cuando la señal se utiliza con un reloj filtro adecuadamente diseñado en un servidor DTI, las señales de salida de temporización DTI soportarán todos los requisitos M-CMTS cuando todos los elementos DOCSIS estén en la misma ubicación. El modo de red (así como el modo GPS) también permitirá suministrar la sincronización requerida para servicios T1 comerciales.

El servidor DTI DEBE cumplir los requisitos de sincronización de salida MTIE y los comunes tanto en condiciones de entrada normales como aceptables (véase 8.1.2.3.1).

8.1.2.3.1 Condiciones de entrada normal y aceptable

Las condiciones de entrada normal y aceptable se definen de la manera siguiente:

- La fluctuación de fase de entrada máxima será inferior a 3,24 microsegundos pico a pico entre 10 Hz y 40 kHz.
- La fluctuación lenta de fase de entrada máxima estará limitada a la máscara MTIE de la figura 8-2.
- La máxima variación de la temperatura ambiente será inferior a 10°C por hora.
- Si existe más de una entrada válida, se considera normal y aceptable una conmutación de referencia entre una entrada válida a otra.
- El servidor DTI no funciona en calentamiento ni en funcionamiento libre.
- El servidor DTI ha estado continuamente alimentado durante por lo menos una hora.

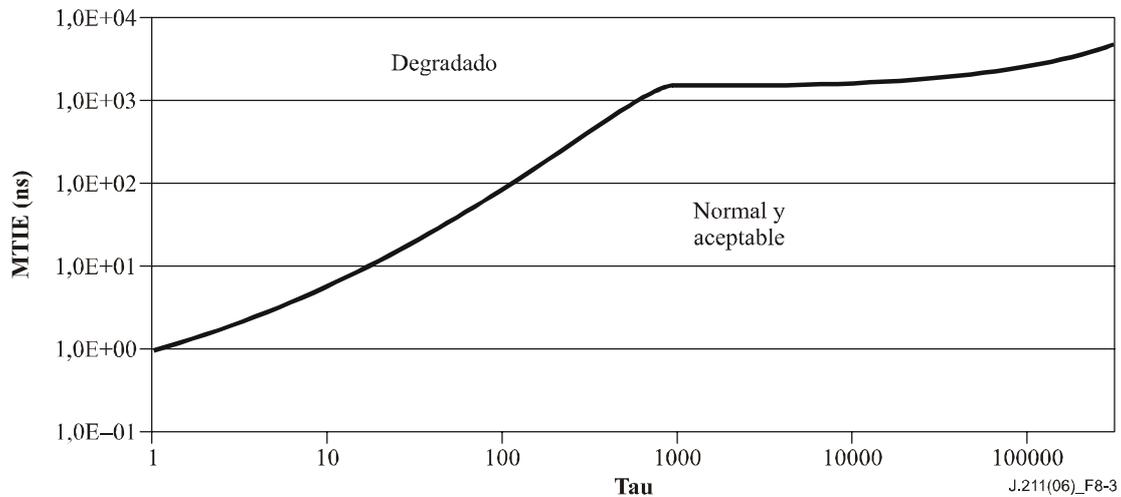


Referencia de entrada portadora de sincronización MTIE	
Tiempo de observación, τ (segundos)	MTIE (nanosegundos)
$0,1 \leq \tau < 280$	$2,5 * \tau + 300$
$280 \leq \tau$	$0,01 * \tau + 997$

Figura 8-2 – Requisitos MTIE de entrada de red

8.1.2.3.2 Requisitos de calidad MTIE con trazabilidad de red

El servidor DTI DEBE cumplir los requisitos de calidad MTIE normal y aceptable de la figura 8-3 en las condiciones de entrada estipuladas en la cláusula 8.1.2.3.1.



Requisitos MTIE del modo con trazabilidad de red	
Tiempo de observación, τ (segundos)	MTIE (nanosegundos)
$0,05 \leq \tau < 1000$	$0,5 + 0,5 * \tau + 0,00335 * \tau^2 - 2,35e-6 * \tau^3$
$1000 \leq \tau$	$0,01 * \tau + 1490$

Figura 8-3 – Requisitos MTIE del modo con trazabilidad de red

8.1.3 Requisitos funcionales del servidor DTI

El reloj de servidor DEBE soportar los modos de reloj rápido, de funcionamiento libre, de régimen libre y normal como se define en [T1.101].

Durante el calentamiento, un servidor DEBE transmitir mensajes DTI con la bandera de características estables de cliente y la bandera de avance de cable fijadas a "falso".

El servidor DTI NO DEBE salir del calentamiento hasta que haya establecido una hora del día inicial.

Mientras no se establezca una corrección de avance de cable estable, el servidor DEBE indicar un avance de cable no válido en las banderas de estado del servidor.

En condiciones de funcionamiento normal, con un reloj de cliente que funcione adecuadamente y una velocidad y una tasa de errores en los bits (BER) ($<10^{-8}$) normales, el servidor DEBE establecer un avance de cable estable en los 20 segundos siguientes a la primera respuesta de cliente válida.

El servidor DTI DEBE soportar un modo automático y un modo manual para el avance de cable.

El modo de avance de cable del servidor DTI se DEBE poder fijar en cada puerto.

Independientemente del modo de avance de cable, el servidor DTI DEBE minimizar los cambios en el valor del avance de cable una vez confirmada la bandera de avance de cable estable, para asegurar que se cumplen todos los requisitos de calidad de servidor DTI.

En el modo de avance de cable manual, el valor de la corrección de avance de cable NO DEBE modificarse a menos que el usuario solicite una actualización. El paso del modo automático al modo manual DEBE mantener el valor de avance de cable vigente. El paso del modo manual al modo automático DEBE reiniciar el ajuste automático, empezando por el valor de avance de cable vigente.

En el modo de avance de cable automático, el servidor DTI DEBE automáticamente ajustar el avance de cable para limitar los cambios en el retardo del cable asociados con las condiciones ambientales normales.

En el modo de avance de cable automático en funcionamiento estable del avance de cable (bandera de avance de cable del estado del servidor = 1), la tasa de cambio del avance de cable NO DEBE ser superior a un LSB de la palabra de avance de cable fraccional (26 ps) por segundo.

El servidor DTI PUEDE opcionalmente fijar el avance de cable a un valor seleccionable por el usuario en el modo de avance de cable manual.

Cuando se conmuta de un servidor DTI en funcionamiento a un servidor DTI de reserva en un bastidor común, la señal de salida DTI DEBE estar activa durante 500 ms.

En condiciones normales de funcionamiento, con un reloj de cliente que funcione adecuadamente, con una BER de transmisión normal ($<10^{-8}$), un servidor DTI de reserva que se acaba de activar DEBE establecer un avance de cable estable en los 1000 ms siguientes a la primera respuesta de cliente válida.

8.1.4 Modo de señal de prueba del servidor DTI

El servidor DTI debe soportar un modo de prueba para cada puerto de salida del servidor. La señal de prueba DEBE ser un tren continuo de "unos" antes de la codificación Manchester. La medición de la diferencia de fase requiere tener en cuenta el retardo de grupo en cualesquiera elementos del trayecto comunes entre el conector del puerto de salida y el punto en el que se separan los trayectos de transmisión y de recepción en el servidor. La medición de la diferencia de retardo debería estar referenciada a este punto de separación entre la transmisión y la recepción.

El servidor DTI DEBE soportar un puerto de prueba de reloj maestro de 10,24 MHz. Este puerto DEBE tener una precisión en fase de forma que la diferencia respecto a los puertos de servidor DTI normales sea inferior a 2500 ps. La fluctuación de fase de salida del puerto de prueba del reloj maestro DEBE ser inferior a 25 ps RMS.

El servidor DTI DEBE soportar un puerto de prueba de reloj de tramas maestro de 10 kHz. Este puerto DEBE tener una precisión en fase de forma que la diferencia respecto a los puertos de servidor DTI normales sea inferior a 2500 ps. La fluctuación de fase de salida del puerto de prueba del reloj de tramas maestro DEBE ser inferior a 50 ps RMS.

8.2 Funcionamiento de cliente DTI

El cliente DTI está ubicado en un dispositivo M-CMTS anfitrión, como un EQAM, un receptor US, o un núcleo M-CMTS (véase la figura 8-4). La función del cliente DTI es establecer la interfaz con el servidor DTI utilizando el protocolo DTI y proporcionar las interfaces de tiempo, frecuencia y gestión al dispositivo M-CMTS.

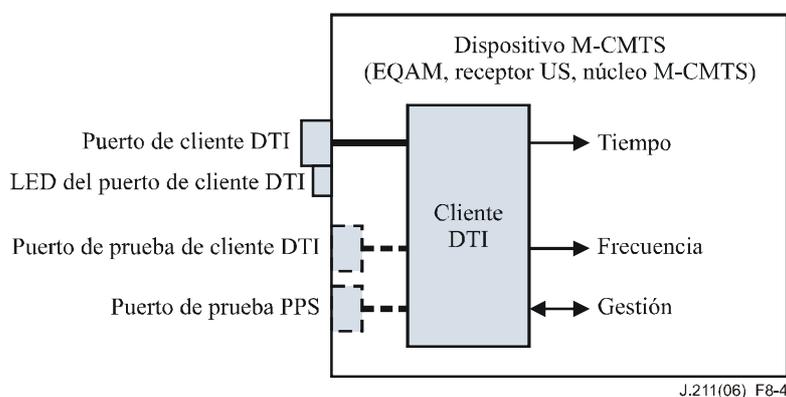


Figura 8-4 – Interfaz de sistema de cliente DTI

Puesto que es probable que el cliente DTI esté integrado en un dispositivo M-CMTS, las interfaces internas de tiempo, frecuencia y gestión pueden estar incorporadas y por ello no se definen en esta Recomendación. Los requisitos del puerto de prueba especificados aquí pretenden verificar la calidad de funcionamiento de las señales operacionales correspondientes.

En una entidad M-CMTS (por ejemplo, núcleo M-CMTS o EQAM), la diferencia entre el tiempo indicado en la salida del puerto de prueba del cliente DTI y el tiempo de referencia utilizado por una entidad M-CMTS debe minimizarse y no debe ser superior a 1 μ s. Por ejemplo, las indicaciones de tiempo en los mensajes SYNC transmitidas por un EQAM deberían reflejar una base de tiempos que difiera del tiempo indicado a la salida del puerto de prueba del cliente DTI en más de un μ s. Otro ejemplo es el receptor en sentido ascendente en el núcleo CMTS que debería realizar la medida de distancia basándose en una referencia de tiempo que tampoco difiera del tiempo indicado a la salida del puerto de prueba del cliente DTI en más de 1 μ s.

Los clientes DTI residentes en EQAM, receptores US y dispositivos M-CMTS-CORE M-CMTS:

- DEBEN proporcionar un puerto de cliente DTI.
- DEBEN proporcionar un LED de estado DTI.
- DEBEN emplear una anchura de banda del filtro de bucle a 3 dB entre 1 y 10 Hz para hacer el seguimiento de la temporización del servidor DTI.
- DEBEN soportar un margen que permita el enganche con un servidor que funcione adecuadamente en condiciones de funcionamiento normal como se especifica en la cláusula 8.2.1 durante un plazo de 10 años a partir de la fecha de fabricación.

Los clientes DTI incluidos en un receptor US y en dispositivos M-CMTS M-CMTS-CORE DEBEN proporcionar un puerto de prueba de cliente DTI.

Los clientes DTI incluidos en dispositivos M-CMTS EQAM PUEDEN proporcionar un puerto de prueba de cliente DTI.

Los clientes DTI incluidos en dispositivos EQAM M-CMTS que no proporcionen un puerto de prueba de cliente DTI DEBEN proporcionar un puerto de prueba PPS y soportar la verificación de funcionamiento de cliente DTI siguiendo la cláusula 6.

Puesto que el puerto de prueba de cliente DTI y el puerto de prueba EQAM DTI no son necesarios para el funcionamiento normal, es posible que haya que desmontar paneles y cubiertas del dispositivo M-CMTS para tener acceso a dichos puertos.

Para soportar frecuencias regionales de la frecuencia de reloj maestro DOCSIS, esta Recomendación incluye dos opciones de salida de reloj maestro de cliente DTI. El cliente DTI DEBE soportar una de las opciones de salida de reloj maestro siguientes:

- 1) 10,24 MHz;
- 2) 9,216 MHz.

Una función de interfuncionamiento de reloj es la responsable de generar las señales de salida de cliente y permite a los clientes DTI, que soporten cualquier opción de frecuencia del reloj maestro, funcionar con un servidor DTI común y protocolos DTI de capa 1 y de capa 2.

Para la opción de 10,24 MHz la función de interfuncionamiento de reloj genera un reloj maestro y una DTS que son una réplica del reloj maestro del servidor DTI y de la DTS. La función de interfuncionamiento de reloj no requiere la transferencia de la frecuencia de reloj maestro ni de la DTS.

Para la opción de 9,216 MHz la función de interfuncionamiento de reloj genera un reloj maestro y una DTS que son una traslación del reloj maestro del servidor DTI y del gpssec. Cuando se utiliza la opción de frecuencia del reloj maestro de 9,216 MHz, el cliente DEBE generar un contador de 32 bits basado en el reloj de 9,216 MHz y la relación siguiente con un gpssec vigente.

$$\text{DTS de cliente DTI de } 9,216 = 2^{13} * [(1125 * (\text{gpssec mod } 2^{19})) \text{ mod } 2^{19}]$$

En el apéndice II se incluye un ejemplo con clientes de 10,24 MHz y de 9,216 MHz.

8.2.1 Condiciones de funcionamiento normal DTI

El cliente DTI, cuando se encuentra en condiciones normales de funcionamiento, DEBE cumplir las especificaciones siguientes:

- La variación de la temperatura ambiente se encuentra entre 0° y 40°C.
- La máxima variación de la temperatura ambiente es inferior a 10°C por hora.
- La BER de transporte DTI es inferior a 10^{-8} .
- La longitud del cable es inferior a 200 metros y cumple la cláusula 6.

8.2.2 Modos de funcionamiento de cliente DTI

El cliente DTI DEBE soportar e indicar los modos de funcionamiento descritos en el cuadro 8-2.

Cuadro 8-2 – Estados de funcionamiento de cliente

Modo	Descripción
Calentamiento	El oscilador todavía no se ha estabilizado
Funcionamiento libre	El cliente no ha dispuesto de una fuente de temporización válida desde el reinicio, o ha tenido que abortar la adquisición
Rápido	El cliente está usando una constante de tiempo de adquisición corta para reducir el tiempo inicial de enganche
Normal	El reloj está estable, se ha enganchado a una referencia de temporización y cumple todas las condiciones
Puente	El cliente ha perdido su referencia de temporización pero está manteniendo una calidad de funcionamiento aceptable.
Régimen libre	El cliente ha perdido su referencia de temporización pero está intentando mantener la última frecuencia válida.

8.2.3 Diagrama de transiciones entre modos de cliente DTI

El cliente DTI DEBE implementar transiciones entre modos, similares a las descritas en el cuadro 8-3 como se muestra en la figura 8-5.

Cuadro 8-3 – Transiciones entre modos de cliente

Transición	De	A	Condición para la transición	Comentario
T1	Calentamiento	Funcionamiento libre	Plazo específico del fabricante (plazo inferior a 20 ms)	Facilita tiempo suficiente para que se estabilice el oscilador
T2	Funcionamiento libre	Rápido	$FER \leq 0,02$ en 50 ms	Número suficiente de tramas válidas del servidor
T3	Rápido	Funcionamiento libre	$FER \geq 0,05$ en 50 ms	Adquisición abortada
T4	Rápido	Normal	' $FER \leq 0,02$ en 50 ms' y 'características de cliente estables' y 'avance de cable' = VERDADERO	Adquisición completa

Cuadro 8-3 – Transiciones entre modos de cliente

Transición	De	A	Condición para la transición	Comentario
T5	Normal	Puente	$FER \geq 0,5$ en 50 ms	Número insuficiente de tramas válidas del servidor
T6	Puente	Normal	' $FER \leq 0,02$ en 50 ms' y 'características del cliente estables' y 'avance de cable' = VERDADERO	
T7	Puente	Regimen libre	Plazo de 2 segundos	
T8	Régimen libre	Rápido	$FER \leq 0,02$ en 50 ms	Número suficiente de tramas válidas del servidor

Con un servidor válido conectado y en condiciones de funcionamiento normal, el cliente DTI DEBE pasar de funcionamiento libre a normal en un plazo de 20 segundos.

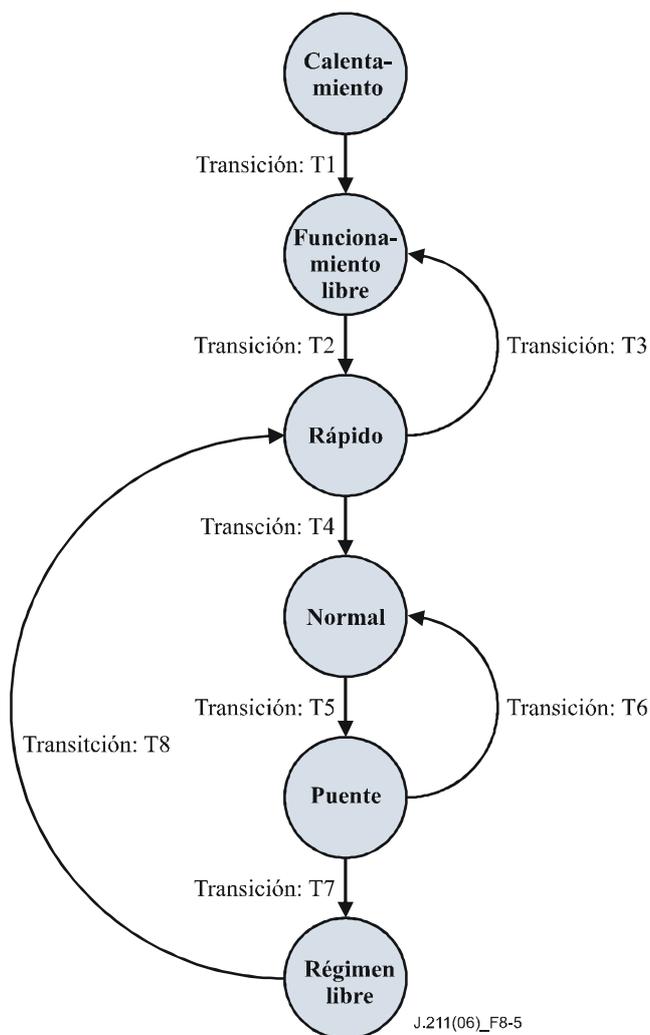


Figura 8-5 – Diagrama de transiciones entre modos de cliente

8.2.4 Requisitos funcionales

El cliente NO DEBE transmitir durante los modos de calentamiento, de funcionamiento libre y de régimen libre. El cliente NO DEBE transmitir a menos que sea válida la CRC-16 más reciente recibida del servidor. Esto garantiza que la transmisión no se produzca durante periodos de grandes tasas de errores en las tramas.

Para soportar las mediciones distancia de avance de cable, la trama de cliente DEBE tener una fluctuación de fase inferior a 15 ns pico a pico en el modo normal de cliente DTI.

8.2.5 Puerto de cliente DTI

El puerto de cliente DTI DEBE ser un conector RJ45 hembra, con las conexiones descritas en el cuadro 8-4.

8.2.6 Puerto de prueba de cliente DTI

El puerto de prueba del cliente DTI debe proporcionar las señales siguientes:

- Reloj de 10,24 MHz (LVDS diferencial de 100 ohmios).
- Reloj de trama de 10 kHz (LVTTL de 50 ohmios).
- Datos de trama DTI en serie (LVTTL de 50 ohmios).

El puerto de prueba de cliente DTI DEBE utilizar un conector ATA en serie de 7 conexiones normalizado como el Molex SD-67800-005 con las siguientes conexiones.

Cuadro 8-4 – Puerto de prueba de cliente DTI

Conexión	Señal
1	GND
2	10,24 MHz +
3	10,24 MHz –
4	GND
5	Reloj de trama de 10 kHz
6	Datos en serie (sólo cliente)
7	GND

El reloj de 10,24 MHz será una versión duplicada del reloj maestro aportado por el cliente DTI. Se debería tener mucho cuidado para minimizar su retardo y maximizar su fidelidad. Este reloj se utilizará para mediciones de alineamiento de fase, de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase.

8.2.7 Reloj de puerto de prueba de cliente DTI

El reloj de puerto de prueba de cliente DTI DEBE cumplir los requisitos de ruido de fase de doble banda lateral que se muestran en el cuadro 8-5 en las gamas de frecuencias especificadas⁶. El reloj de cliente DTI PUEDE disponer de características de ruido de fase mejoradas como se describe en el anexo A.

⁶ Estos valores de fluctuación de fase son 3 dB más exigentes que los correspondientes valores DOCSIS 2.0 con el fin de permitir contribuciones independientes a la fluctuación de fase de los dos clientes DTI que actúan en el EQAM y en el receptor en sentido ascendente respectivamente.

Cuadro 8-5 – Ruido de fase de cliente

	Requisitos de ruido de fase de doble banda lateral	Fluctuación de fase
De 10 Hz a 100 Hz	< -53 dBc	<0,035 ns RMS
De 100 Hz a 1 kHz	< -61 dBc	<0,014 ns RMS
De 1 kHz a 10 kHz	< -53 dBc	<0,035 ns RMS
De 10 kHz a 5,12 MHz	< -53 dBc	<0,035 ns RMS

Si el cliente DTI está en el modo NORMAL o PUENTE, el reloj de puerto de prueba del cliente DTI DEBE tener una fluctuación lenta de fase inferior a 10 Hz con una desviación típica inferior a 270 ps en relación con un reloj de puerto de prueba de 10,24 MHz del servidor DTI raíz que funcione adecuadamente.

Si el cliente DTI está en el modo NORMAL, entonces el reloj del puerto de prueba de cliente DTI DEBE mantener un alineamiento absoluto de fase de ± 5 ns con una diferencia fija inferior a ± 50 ns especificada por el fabricante. La medición se realiza con respecto a un reloj de puerto de prueba de 10,24 MHz del servidor DTI raíz que funcione adecuadamente en toda la longitud de 0 a 200 metros de cable.

8.2.7.1 Datos del puerto de prueba de cliente DTI

Los datos del puerto de prueba del cliente DTI son una versión retardada de los datos de trama DTI de 5,12 Mbit/s. Los datos presentes en la línea durante la trama previa N – 1 se almacenan en una memoria intermedia y el cliente los envía durante la trama N, tras comprobar la CRC recibida del servidor en la trama N – 1. Si la verificación CRC en la trama N – 1 tiene éxito, toda la trama N – 1 DTI de 512 bits (preámbulo de servidor, cabida útil de servidor, CRC de servidor, TGT1, preámbulo de cliente, cabida útil de cliente, CRC de cliente y TGT2, como se muestra en la figura 7-1 c) y se indica en la cláusula 7.4) DEBE extraerse en serie en el puerto de prueba de cliente durante la trama N. También cuando tiene éxito la verificación CRC, el puerto de prueba de cliente DEBE emitir 22 ceros durante cada tiempo de guarda de ida y vuelta TGT1 y TGT2. Si falla la CRC recibida del servidor en la trama N – 1, el puerto de prueba de cliente DEBE emitir unos datos de trama ficticios a una velocidad de 5,12 Mbit/s. Los datos DEBEN estar sincronizados a una velocidad mitad de la del reloj de 10,24 MHz en el que cada bit corresponde a dos ciclos de reloj de 10,24 MHz y el reloj de tramas del puerto de prueba identifica tanto el inicio de los datos de trama como el alineamiento de los bits de datos con respecto al reloj de 10,24 MHz. El alineamiento del reloj de tramas y de los datos de prueba se describe con mayor detalle en la cláusula siguiente.

8.2.7.2 Reloj de tramas del puerto de prueba DTI

El reloj de tramas de 10 kHz se utiliza para entamar los datos en serie y el flanco del reloj de 10,24 MHz para mediciones de alineamiento de fase. Su flanco de salida sirve a un doble propósito: identifica el primer bit del preámbulo de la trama servidor a cliente e identifica el flanco del ciclo de reloj ATP de 10,24 MHz que está alineado en fase a la salida ATP del servidor DTI. El flanco de bajada del reloj de trama identifica el primer bit del preámbulo de la trama cliente a servidor.

Tanto el reloj de trama como los datos en serie DEBEN mantener un tiempo mínimo de establecimiento de 20 ns y un tiempo de mantenimiento mínimo de 0 ns respecto del reloj de 10,24 MHz.

En la figura 8-6 se muestra un diagrama de temporización del reloj de tramas y su relación con el reloj de 10,24 MHz y con los datos en serie.

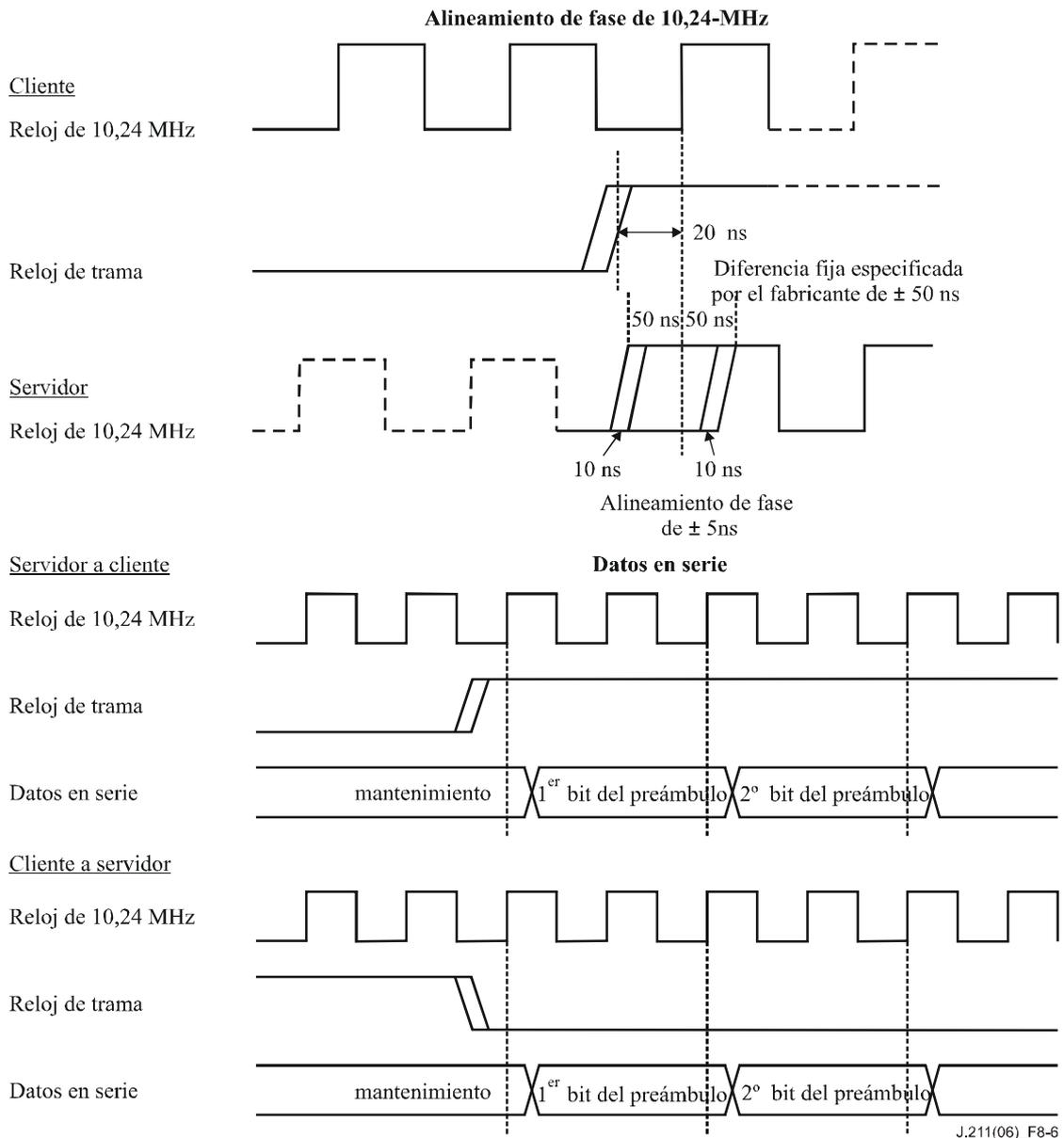


Figura 8-6 – Diagrama de temporización del puerto de prueba

8.2.8 Pruebas DTI EQAM alternativas

Los EQAM PUEDEN utilizar su puerto RF junto con un puerto de prueba PPS en lugar de su puerto de prueba DTI para pruebas ATP DTI. Se mide directamente el ruido de fase integrado del reloj de símbolos en sentido descendente en la puerta RF en lugar de medir la fluctuación de fase del reloj maestro DTI. Los mensajes SYNC se observan en el puerto RF para comprobar la sincronización DTS. DEBE disponerse de un conector de puerto de prueba PPS para cumplir los objetivos de las pruebas.

El conector del puerto de prueba PPS PUEDE ser accesible desde el exterior. En este caso, el conector del puerto de prueba PPS DEBE ser un conector del tipo BNC de 50 ohmios.

El conector del puerto de prueba PPS PUEDE que no sea accesible desde el exterior y solo se proporcione para pruebas de conformidad. En este caso el conector DEBE ser un conector de tipo BNC de 50 ohmios macho montado en un cable y el cable que conecta el conector PPS con el cliente DTI DEBE tener menos de 1 metro de longitud. El método para adaptar este cable al cliente DTI se deja a la discreción del suministrador.

La figura 8-7 muestra este montaje alternativo para las pruebas.

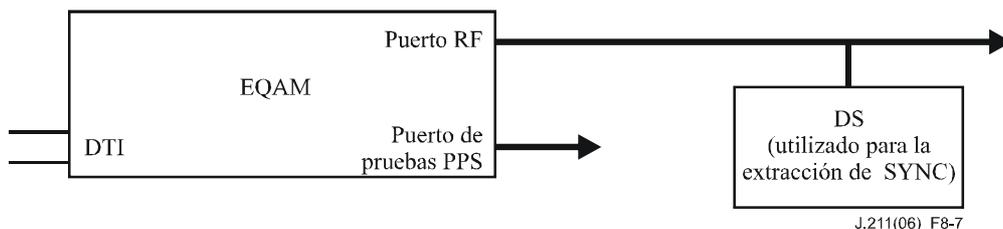


Figura 8-7 – Opción de puerto de pruebas QAM de borde

El puerto de pruebas PPS tiene dos cometidos: identifica la indicación de tiempo gpssec y proporciona una referencia de temporización de fase para facilitar la medición de alineamientos de fase DTI debidos a la distancia en ambos sentidos con respecto a un servidor DTI. Si el cliente DTI se encuentra en el modo NORMAL entonces el extremo activo del PPS DEBE mantener un alineamiento de fase absoluto con respecto a la salida de reloj maestro del servidor de ± 5 ns como máximo, con una diferencia fija especificada por el suministrador de hasta ± 50 ns.

8.2.9 LED de estado DTI

El LED de estado DTI DEBE ser un único LED de dos colores verde/amarillo o un conjunto de dos LED uno verde y otro amarillo.

Los LED de estado DTI se DEBEN poder ver desde el exterior y estar integrados o próximos al conector del puerto de cliente DTI.

Los LED de estado DTI DEBEN reflejar el estado del cliente DTI como se describe en el cuadro 8-6.

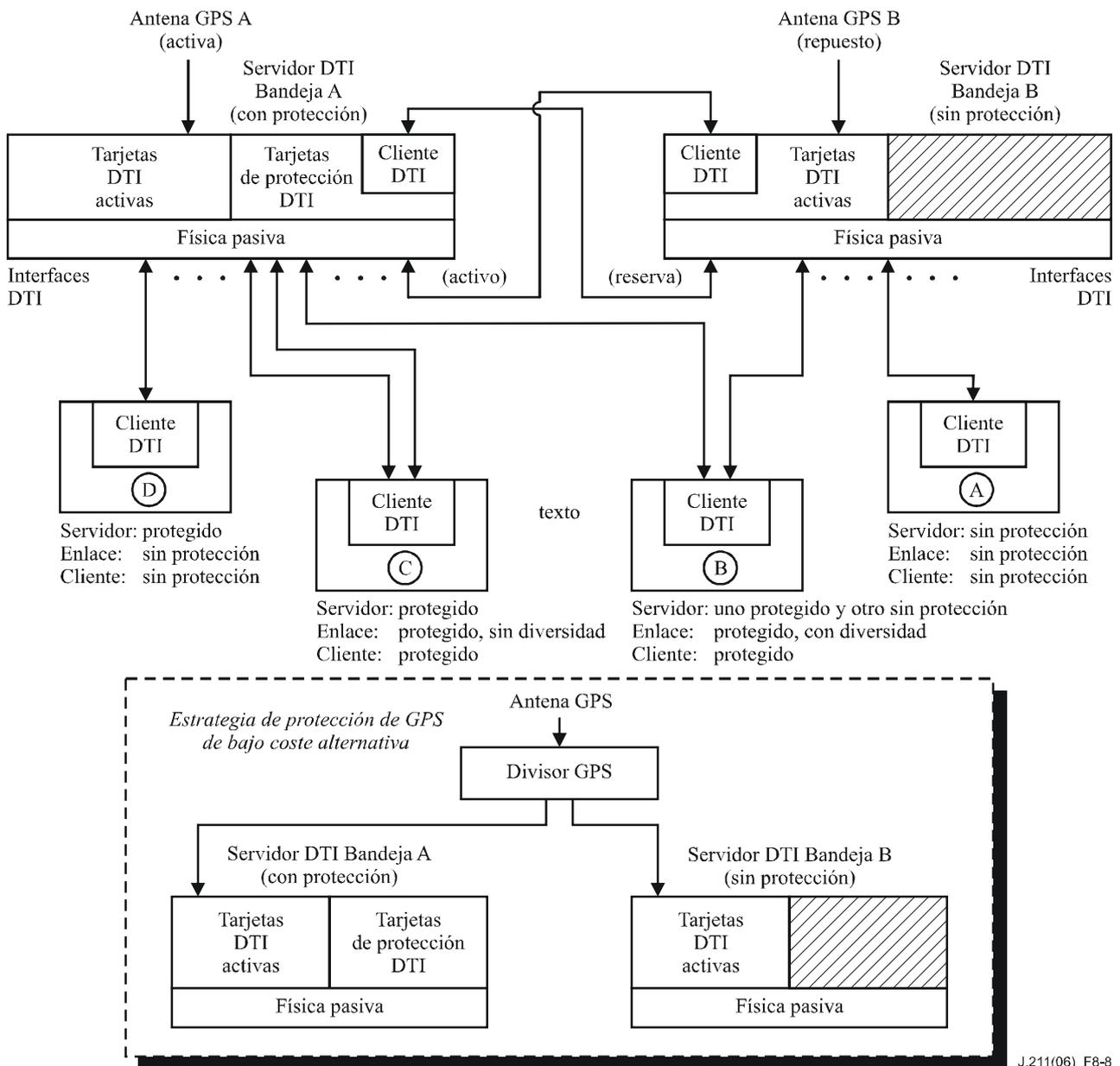
Cuadro 8-6 – LED de estado DTI

LED de estado DTI	Modo del cliente DTI
Desconectado	Calentamiento, funcionamiento libre o régimen libre
Amarillo	Rápido
Verde	Normal o puente

8.3 Estrategias de redundancia en la distribución DTI

La figura 8-8 muestra diversos niveles de protección que se pueden dar para establecer diversos grados de confianza operacional en la red de distribución de temporización.

El servidor DTI proporciona las conexiones punto a punto con los clientes DTI. Cada enlace DTI (una conexión del servidor al cliente) se origina en el servidor a través de un panel posterior pasivo en el que se realizan las conexiones físicas. El servidor puede estar provisto para redundar cada una de estas conexiones mediante tarjetas de protección en el servidor. La protección se muestra en la bandeja A, pero no en la bandeja B. Con tarjetas de protección, en el caso de que fallen las tarjetas activas, la tarjeta de protección asociada facilita el funcionamiento permanente sin discontinuidades.



J.211(06)_F8-8

Figura 8-8 – Estrategias de redundancia en la distribución DTI

La figura 8-8 también muestra diversos niveles de aprovisionamiento de redundancia en el cliente DTI:

- El cliente DTI A tiene una redundancia mínima. Un servidor sin protección tiene una única conexión a un cliente.
- El cliente DTI D muestra una disposición de redundancia más robusta. Como con el cliente A, el cliente D acepta una única conexión DTI pero en este caso la proporciona un servidor protegido.
- El cliente DTI C muestra una disposición de redundancia más robusta. Aquí el cliente acepta dos conexiones DTI, permitiendo un funcionamiento normal en el caso de fallo de uno de los enlaces.

- El cliente DTI B ilustra una disposición de redundancia más robusta. El cliente B tiene las dos mismas conexiones que el cliente C pero en esta implementación los propios enlaces provienen de diversos servidores lo que reduce la posibilidad de que fallen ambos enlaces (del lado del servidor).

En la figura 8-8 se muestran también múltiples interconexiones del servidor DTI. Para garantizar una mejor coherencia (alineamiento global de todas las temporizaciones en la red de distribución de temporización) el método preferido consiste en tener una única referencia que controla la red⁷. Esta referencia se muestra en la figura como antena GPS A, utilizada por el servidor DTI de la bandeja A. Cabe destacar que el enlace DTI se muestra como activo entre las bandejas de servidor A y B. La bandeja de servidor B utiliza una interfaz de cliente DTI normalizada como su referencia (parecido a como lo haría cualquier cliente).

En funcionamiento normal, la bandeja de servidor B está fundamentalmente "subordinada" a la bandeja de servidor A. En el caso de un fallo en la bandeja de servidor A, como la pérdida del GPS en la antena A, la bandeja de servidor B puede ser la que controle utilizando la antena B (que ahora se tornaría activa). Las bandejas de servidor A y B invertirían sus funciones de forma que A estaría ahora controlada desde B mediante el enlace DTI de la bandeja B (etiquetada "en reposo") por el cliente DTI que se muestra en la bandeja de servidor A.

En lo que respecta a la sustitución del GPS en general, la figura 8-8 muestra cada una de las bandejas de servidor conectadas al GPS mediante una antena diferente, lo que proporciona una protección de reserva en el caso de un defecto en alguna de las antenas (o de sus cables). La parte inferior de la figura muestra un caso alternativo, de bajo coste, en el que se comparte una única antena GPS entre las bandejas de servidor mediante un divisor. Por supuesto, se pierde la redundancia de la antena y del cable aunque este método sigue proporcionando disponibilidad de referencia de calidad GPS a la red de temporización en el caso de un único fallo del servidor DTI.

⁷ Como alternativa, cuando no se necesita trazabilidad externa, el servidor DTI raíz puede funcionar libremente sin referencias externas.

Anexo A

Filtro de calificación de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia

(Este anexo es parte integrante de esta Recomendación)

Este anexo especifica una instalación o método de prueba ATP que permite la medición de las características de funcionamiento del servidor en lo que respecta a la fluctuación lenta de fase entre dos clientes DTI debida al seguimiento por los clientes del servidor. A diferencia del CMTS donde el receptor en sentido ascendente y el EQAM en sentido descendente comparten un bastidor común con una fluctuación lenta de fase prácticamente despreciable asociada con el reloj maestro, un sistema modular introduce componentes distribuidos y precisa una asignación de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia para establecer límites prácticos. Como referencia se cita la especificación de control [UIT-T J.122]:

A.1 Fluctuación de fase de temporización del microcircuito para funcionamiento síncrono

Para el modo S-CDMA, el error de temporización del reloj del microcircuito en sentido ascendente (al que se ha restado el valor medio del error) relativo al reloj maestro CMTS DEBE ser inferior a 0,005 RMS del periodo del microcircuito durante un intervalo de medición de 35 segundos.

Hay que tener en cuenta que $0,005 \text{ microcircuito} / 5,12 \text{ Mcps} = 1,0 \text{ ns RMS}$. Las figuras A.1 y A.2 ilustran esta especificación de temporización del sistema DOCSIS.

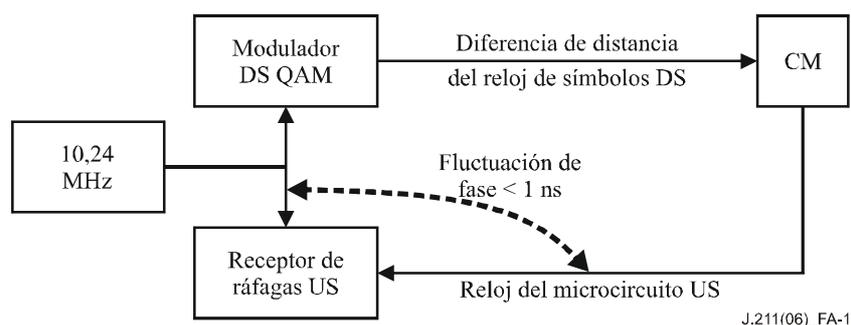


Figura A.1 – Implementación CMTS no modular actual

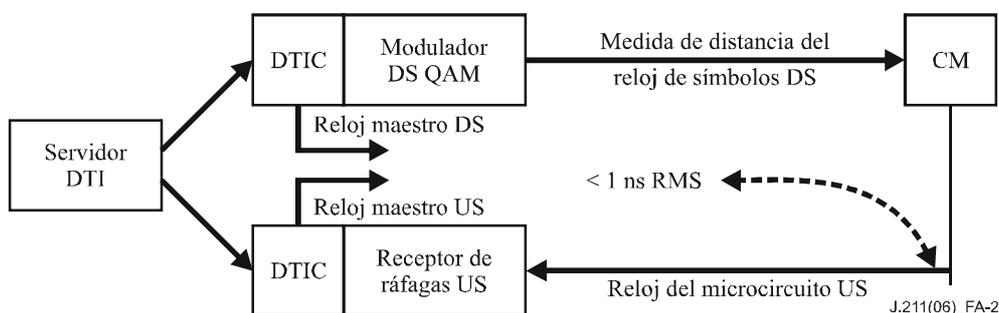


Figura A.2 – Nueva implementación CMTS modular

Como se puede observar en la figura A.2 la variación del retardo entre la versión DS QAM del reloj maestro y la versión del receptor de ráfagas US del reloj maestro contribuye al requisito global del sistema de 1 ns RMS. El nuevo balance propuesto se basa en reducir este efecto manteniendo a la vez limitaciones de coste prácticas. El balance de 1 ns RMS se divide en 916 ps RMS asignados al proceso de la distancia CM existente y la asignación de 400 ps RMS a los efectos relacionados con la DTI. La asignación DTI se subdivide como sigue:

- 1) Puerto de servidor DTI: 250 ps RMS para la fluctuación lenta de fase debida a la distancia.
- 2) Fluctuación lenta de fase adicional del puerto de servidor subordinado: 125 ps RMS.
- 3) Oscilador local del reloj de cliente: 100 ps RMS de fluctuación lenta de fase adicional.

Aunque una parte de la fluctuación lenta de fase será común entre dos clientes, el caso más desfavorable consiste en suponer que cada reloj de cliente tendrá una variación suficiente en los parámetros del bucle (anchura de banda y factor de amortiguación) de forma que la fluctuación lenta de fase no tenga correlación entre los dos clientes. La implementación del suministrador y el envejecimiento de los componentes (ganancia del varactor) pueden contribuir a este efecto.

Para determinar el nivel de ruido de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia introducido por un servidor DTI, el problema fundamental es hasta qué punto el reloj de cliente puede ajustarse al servidor. El modelo del seguimiento de cliente sugiere un filtro paso banda.

- 1) Un filtro de medición paso bajo para que el cliente pueda filtrar el ruido de alta frecuencia del servidor.
- 2) Un filtro de señal de error paso alto para que el cliente pueda seguir las variaciones del retardo de baja frecuencia del servidor.

El filtro de la medida de distancia global está compuesto de estas dos secciones que generan un filtro paso banda.

El filtro de fluctuación de fase depende de la capacidad de filtrado de la fluctuación de fase mínima de un cliente. La anchura de banda máxima es de 10 Hz y el filtro propuesto es de un único polo (20 dB/década).

El filtro de seguimiento depende de la mínima asignación de anchura de banda de 1 Hz y se supone un factor de amortiguación de 3 y un PLL tipo II. Este filtro paso alto atenuará los componentes de baja frecuencia con una caída de 40 dB/década. Las características de la combinación de estos dos filtros se indican en la figura A.3:

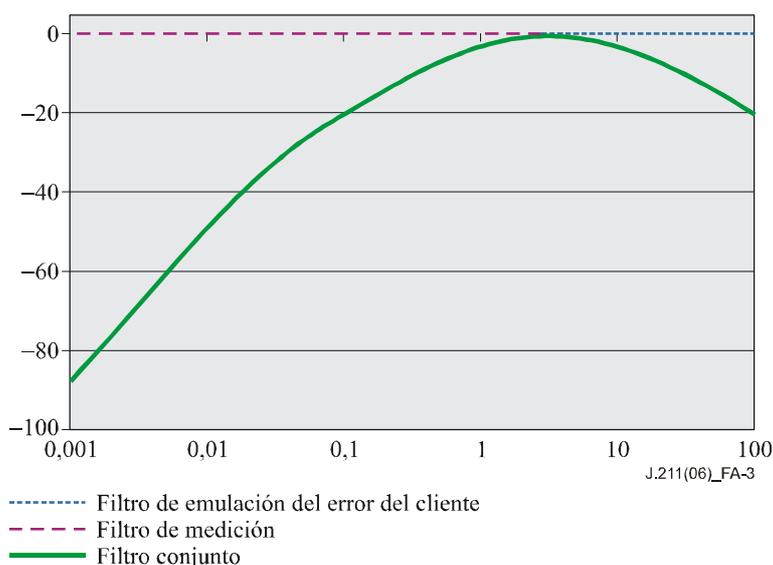


Figura A.3 – Filtro de prueba de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia

El filtro de cualificación de la fluctuación lenta de fase debida a la distancia R(S) se define como:

$$R(S) = E(S)M(S)$$

donde E(S) es el filtro de seguimiento paso alto y M(S) es el filtro de fluctuación de fase paso bajo.

$$E(S) = S^2 / (S^2 + 5,934 S + 0,9784)$$

$$M(S) = 1 / [1 + (1 / (2\pi * 10 \text{ Hz}) S)]$$

En el caso particular en el que el EQAM DOCSIS y los receptores en sentido ascendente no se encuentren en la misma ubicación, existirá una asignación adicional de 300 ps RMS para que cada servidor raíz absorba la variación de fase durante un intervalo debida a la distancia máximo de 35 segundos. Dicho de otra forma, se asigna a cada servidor raíz una fluctuación lenta de fase de 300 ps RMS con respecto a la frecuencia UTC (a la que se ha sustraído el valor medio). Los servidores DTI deberán tener trazabilidad GPS en ambas ubicaciones para obtener este nivel de coherencia de fase.

Apéndice I

Descripción funcional del servidor DTI

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

Este apéndice proporciona información para ayudar al desarrollo de servidores DTI que cumplan la especificación.

La figura I.1 presenta un diagrama de referencia que muestra la función de procesamiento del servidor que relaciona las referencias externas. Los suministradores tienen libertad para implementar arquitecturas internas alternativas siempre que se cumplan todos los requisitos de servidor DTI. La relación entre la escala de tiempos gpssec y la indicación de tiempo DTI se trata con mayor detalle en la cláusula 7.2. Este apéndice introduce un método para cumplir estos requisitos.

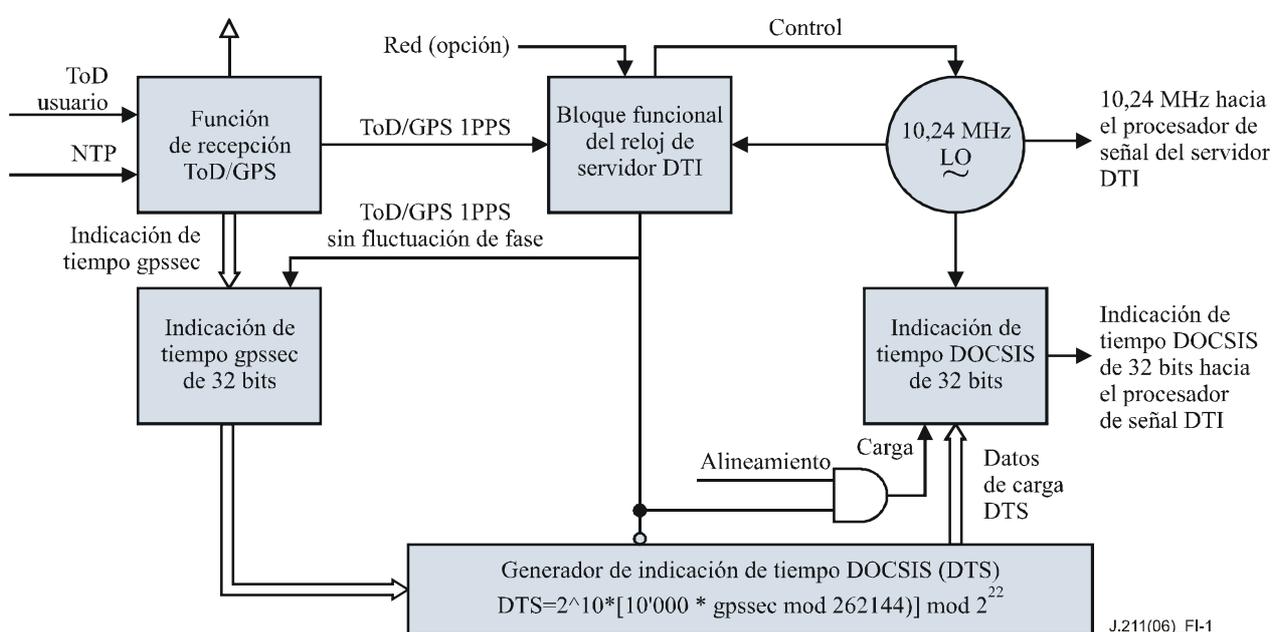


Figura I.1 – Diagrama de bloques de referencia para el procesamiento de las señales ToD/GPS/red del servidor

El bloque funcional básico en un servidor es el reloj de servidor DTI. La función principal del reloj de servidor consiste en controlar al reloj maestro de 10,24 MHz y a una señal de temporización precisa (que se muestra como 1PPS sin fluctuación de fase en el diagrama) basándose en mediciones del error con respecto a la señal de entrada externa. La señal de entrada externa puede ser GPS o una referencia de red. El servidor soporta una función para alinear la indicación de tiempo DOCSIS con la escala de tiempo GPS (o una referencia externa del tiempo GPS). El bloque funcional generador de tiempo DOCSIS ilustra esta operación. El generador calcula la siguiente indicación de tiempo DOCSIS basándose en el valor actual gpssec. Este valor se carga de forma síncrona con la señal ToD/GPS de 1 PPS sin fluctuación de fase, cuando se confirma el control de alineamiento. La salida ToD/GPS de 1 PPS sin fluctuación de fase se mantiene en estrecha coherencia con el reloj de 10,24 MHz para permitir un alineamiento síncrono con la indicación de tiempo DOCSIS durante un periodo de reloj maestro.

I.1 Procesamiento de la señal DTI de servidor

La figura I.2 muestra un diagrama de bloques del procesador de la señal de servidor DTI.

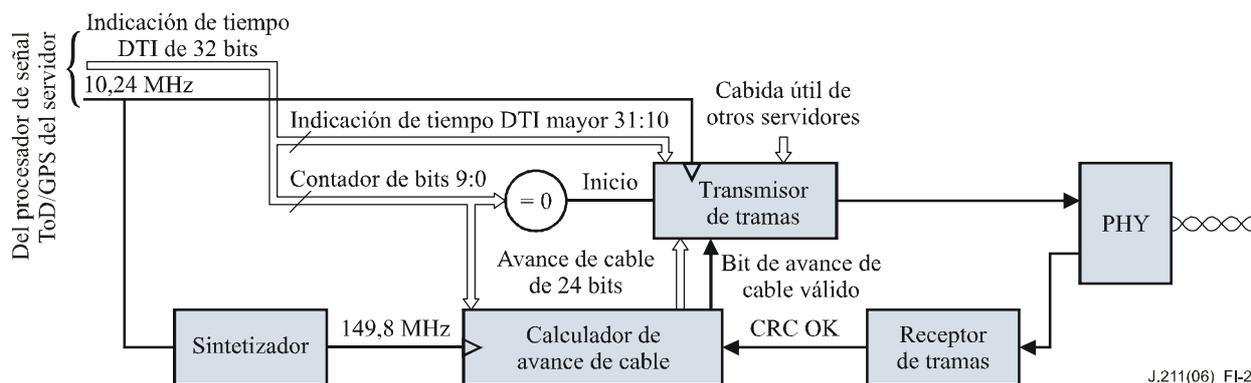


Figura I.2 – Diagrama de bloques del procesamiento de la señal de referencia del servidor DTI

El procesador de señal del servidor DTI genera la señal de temporización DTI, recibe la respuesta del cliente, calcula el retardo de ida y vuelta del cable y lo devuelve al cliente como un valor de avance de cable. El procesador de la señal del servidor DTI recibe (del procesador de señal de referencia ToD/GPS/Externa) un reloj de 10,24 MHz y la indicación de tiempo DOCSIS de 32 bits. Los 10 bits inferiores de la indicación de tiempo DOCSIS indican el contador de bits vigente para la trama DTI. Los 10 bits inferiores de la indicación de tiempo DOCSIS se considerarán como "contador de bits" para lo que resta de explicación. La trama DTI se envía cuando el contador de bits es cero. La señal de temporización DTI se sincroniza utilizando el reloj de 10,24 MHz (dos señales de reloj por símbolo Manchester). El transmisor de tramas DTI adjuntará el preámbulo de 68 bits al principio de la trama y una CRC de 16 bits al final.

El cliente recibirá la señal de temporización DTI y responderá cuando su contador de tramas sea 512. El receptor de tramas DTI del servidor recibirá la respuesta del cliente y emitirá su aceptación de CRC tras recibir el bit 16 de la CRC.

Un circuito de medición de retardo de cable mide el retardo de la bandera CRC_OK recibida en donde debería aparecer si el retardo fuera cero. El proceso de medición puede empezar cuando el contador DTI de 10,24 MHz sea 746^8 módulo 1024. Conceptualmente, si el retardo de ida y vuelta del cable es cero, el último bit de la CRC que vuelve del cliente llegará con el valor de contador de servidor 746. La bandera CRC_OK recibida finaliza el proceso de medición. Esto produce un valor aproximado de retardo de cable que se actualiza cada 10 kHz. El valor del retardo de cable aproximado tiene una resolución de un ciclo de reloj de 149,8 MHz.

Un filtro de retardo de cable procesa entonces la salida del circuito de medición. El filtrado suprimirá todos los valores transitorios y hará un promedio del valor de retardo. El promediado generará también el valor fraccional del retardo.

El valor de avance de cable de 24 bits se obtiene dividiendo por dos el retardo del cable.

⁸ $746 = 512 + 234$.

Apéndice II

Descripción funcional del cliente DTI

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

Este apéndice proporciona información para el desarrollo de clientes DTI que cumplan la especificación.

II.1 Diagrama de bloques del cliente DTI

El diagrama de bloques que se muestra en la figura II.1 indica el flujo de datos del procesamiento de la señal de cliente DTI.

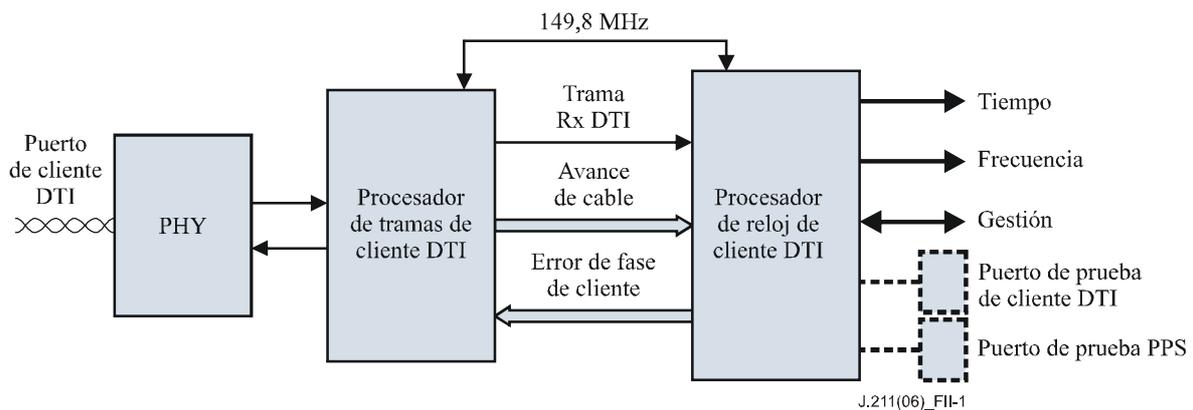
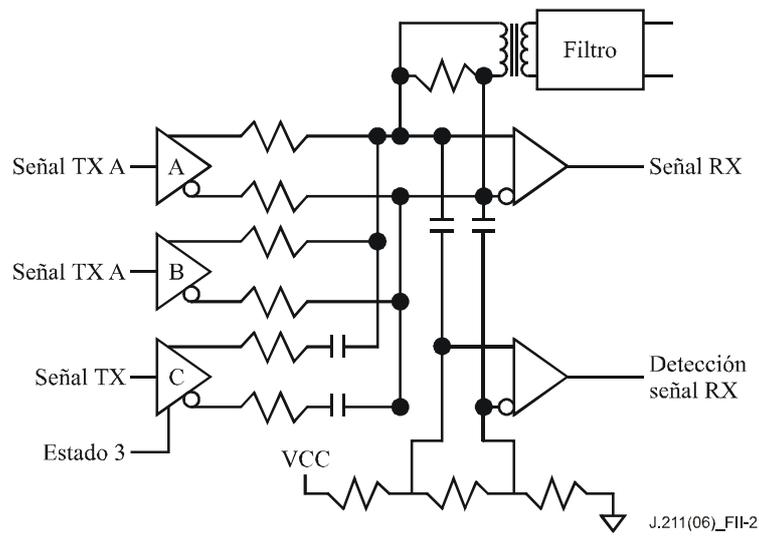


Figura II.1 – Diagrama de bloques del cliente DTI

II.2 PHY de cliente DTI

La señal de temporización DTI de ida y vuelta pasa a través de un filtro EMI para garantizar el cumplimiento EMI y reducir la susceptibilidad. La señal entonces pasa por un transformador para suprimir el ruido en modo común en la señal de temporización DTI. Al recibir la señal DTI, el amplificador A se fija a '1', el B se fija a '0' y el C se fija a alta impedancia lo que proporciona una terminación de 100 ohmios que equilibrada en el punto intermedio. La señal recibida se analiza en el punto cero para recuperar los datos. Una señal de recepción inferior a un nivel nominal (400 mV) no se interpreta como datos. Esto se puede lograr enviando la señal recibida a través de un comparador digital con una diferencia las entradas como se muestra en la figura II.2.



MODO	Amplificador A	Amplificador B	Amplificador C
Transmisión	Señal DTI	Señal DTI	Señal DTI
Recepción	'1'	'0'	Alta impedancia

Figura II.2 – Ejemplo de circuito de interfaz PHY DTI

La salida del detector de ráfagas se filtra de forma que proporcione un estado activo constante cuando estén presentes los datos. La señal de detección de ráfagas se utiliza para calificar la RX_SIG.

En el sentido de transmisión los amplificadores A, B y C están activos y en fase. Los amplificadores A y B generan los símbolos Manchester NRZ simultáneamente. El amplificador C proporciona el pre-énfasis para la señal DTI transmitida.

II.3 Procesador de tramas de cliente DTI

En la figura II.3 se muestra un diagrama de bloques de un ejemplo de procesador de tramas DTI. La señal de entrada del bloque del procesador de tramas DTI es una señal digital codificada Manchester NRZ proveniente de la PHY. La señal de detección de ráfagas también la proporciona la PHY (si está disponible). La señal del transmisor de tramas DTI hacia la PHY DTI es una señal digital diferencial de tres estados (DTI_TX).

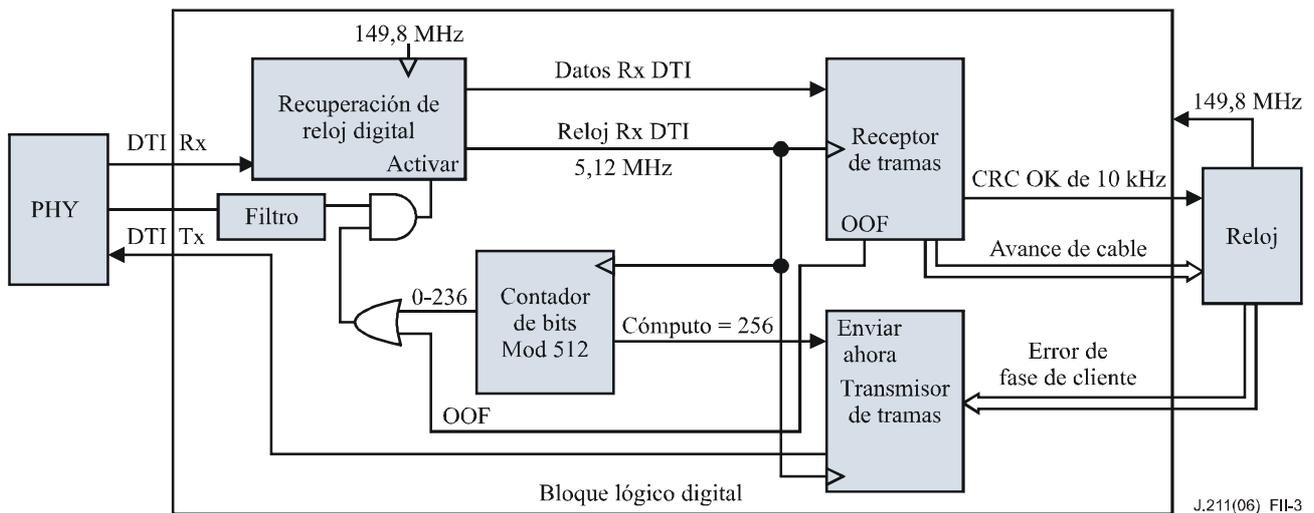


Figura II.3 – Procesador de tramas de cliente DTI

La recuperación de reloj digital utiliza un reloj de muestras de 149,8 MHz. Este reloj de muestras se obtiene del de 10,24 MHz utilizando un multiplicador de 512/35. El circuito de recuperación de reloj digital funciona en dos estados: seguimiento y volante. La recuperación de reloj hace el seguimiento de la señal de entrada solo mientras está presente la señal de recepción, y no hace el seguimiento de la señal de transmisión que estará presente a la entrada cuando el transmisor esté habilitado.

Mientras no se utilice la señal de recepción, la recuperación de reloj se encuentra en estado volante y utiliza el reloj de muestras de 149,8 MHz, sintonizado con la frecuencia correcta del reloj, para generar la frecuencia portadora.

Inicialmente la recuperación de reloj puede estar controlada por la señal filtrada de detección de ráfagas de PHY DTI hasta que se establezca el entramado. El cliente no transmitirá hasta que se establezca el entramado. Una vez establecido el entramado, se alinea el contador de bits módulo 512. Después el contador de bits se decodifica y se utiliza para permitir la recuperación de reloj únicamente cuando se ha completado la ráfaga transmitida por el cliente y el detector de ráfagas se activa.

Todo el procesador de tramas de cliente DTI funciona a través del servidor de reloj de 10,24 MHz recuperado (y el reloj de bits Manchester de 5,12 MHz asociado), puesto que el proceso de medición de ida y vuelta del servidor DTI requiere un retardo fijo del reloj de símbolos de 5,12 MHz de 256 bits.

El bloque receptor de tramas detecta el preámbulo, recibe la cabida útil DTI, comprueba la integridad de los datos y genera una señal OK CRC de 10 kHz que se utiliza para activar el reloj. El tipo de dispositivo, las banderas de estado del servidor y el avance de cable del servidor, que son parte de la cabida útil DTI, no se actualizan si la trama tiene un error CRC.

El contador de bits módulo 512 se decodifica para situar el principio del intervalo de transmisión. El transmisor de tramas genera el preámbulo, pone en serie la cabida útil, añade una suma de comprobación de redundancia cíclica CRC-16 y envía el tren de bits en serie a la PHY DTI. El transmisor también indica la medición del error de fase del reloj de cliente. La señal de control para la parte de transmisión de la PHY DTI se tiene que decodificar a partir del contador de bits módulo 512 y sólo se confirma si el receptor tiene la trama adecuada.

La señal recibida desde la PHY la tratará el procesador de tramas DTI. El procesador de tramas DTI decodifica la señal Manchester, localiza el final del preámbulo y extrae los datos de cabida útil. Se realiza una verificación CRC-16 en los datos recibidos y se utiliza para validar los datos de cabida útil y generar la señal DTI FRAME RX. El avance de cable de los datos de cabida útil y la señal DTI FRAME RX se utilizan para sincronizar el reloj de cliente.

Una vez que el procesador de tramas DTI se haya sincronizado a la señal de temporización DTI entrante, y cuando la trama recibida no tenga errores, se envía la respuesta del cliente cuando el contador de bits en el procesador de tramas DTI alcanza 256.

II.4 Procesador de reloj de cliente DTI

El procesador de reloj de cliente DTI soporta sistemas DOCSIS basados en relojes maestros de 10,24 MHz o sistemas DOCSIS basados en 9,216 MHz. Aquí se presentan arquitecturas de referencia para ambas funciones de interfuncionamiento.

II.4.1 Función de interfuncionamiento de reloj maestro de 10,24 MHz

El reloj de cliente se construye a partir de un bucle digital enganchado en fase de tipo II como se muestra en la figura II.4. Su frecuencia se establece para lograr el alineamiento de fase de su reloj de tramas de 10 kHz con respecto a la señal OK CRC de 10 kHz del procesador de tramas DTI. El alineamiento de fase se obtiene del valor de avance de cable. El bucle de enganche de fase debe tolerar que falten señales de reloj, puesto que ningún error de datos puede impedir que se confirme el OK de CRC de 10 kHz en el procesador de tramas DTI.

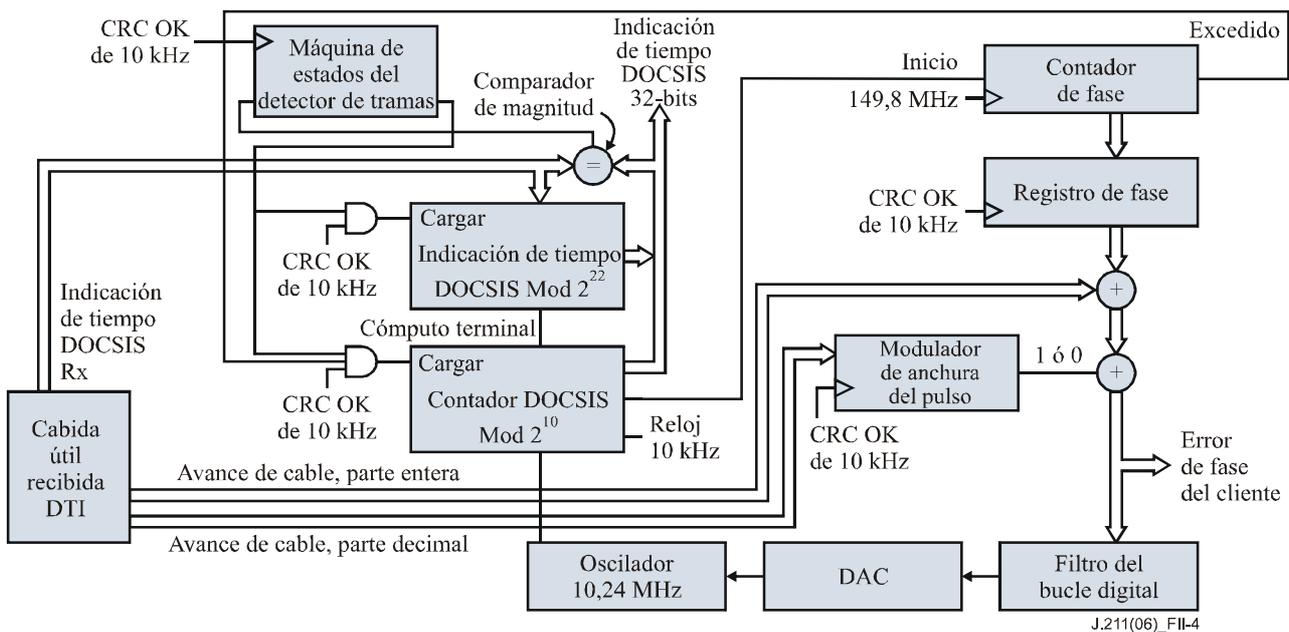


Figura II.4 – Procesador de reloj DTI (10,24 MHz)

El reloj de cliente debería utilizar un contador DOCSIS mod 1024 para generar la parte inferior de la indicación de tiempo DOCSIS (el reloj de tramas local de 10 kHz), para crear los 10 kHz basados en el reloj DTI y hacer funcionar el comparador de fase DPLL. Este contador utiliza el oscilador local de 10,24 MHz y la fase del contador está controlada por el bucle del reloj. Se puede cargar el valor del cómputo de este contador módulo 1024 se puede cuando surjan demasiados errores de fase en el bucle del reloj para reducir el tiempo inicial de enganche de bucle.

El contador de fase genera la palabra de fase digital que controla el bucle. La fase puede ser un contador binario directo con signo que se cargue con un valor negativo por el valor decodificado del contador módulo 1024. El valor cargado previamente debería ser tal que el contador de fase pase por 0 cuando el contador módulo 1024 cruza el valor 0. Si el contador de fase se satura, genera una señal "excedido" que se utiliza para ajustar el contador 1024.

La señal CRC OK de 10 kHz del procesador de trama DTI se utiliza para introducir el valor del contador de fase en el registro de fase. Esto hará que el registro de fase mantenga el error de fase sin corrección en el bucle. Para compensar el retardo del cable se añade la parte entera del avance de cable del servidor, recibida de la cabida útil en el receptor de tramas, al registro del contador de fase para generar un valor de error de fase corregido. De esta forma el DPLL se engancha con el valor del registro de fase que es el valor negativo del avance de cable y así adelanta el reloj con esta cantidad.

El avance de cable fraccionario, que es una fracción de uno de los ciclos de reloj de 149,8 MHz, se consigue modulando la anchura del pulso del valor de 1 bit que se añade al registro de fase. El modulador de anchura de pulso genera una anchura de pulso que es el avance de cable fraccional/256 ciclo de vida. El modulador de anchura de pulso se sincroniza a 10 kHz puesto que se trata de la velocidad de actualización de la fase del DPLL.

El error de fase corregido se filtra mediante el filtro digital del bucle y se envía a un convertidor A o D para activar el oscilador de 10,24 MHz controlado por tensión. El error de fase corregido también se envía al bloque procesador de tramas de cliente DTI para que se añada a la cabida útil que se enviará de nuevo al servidor.

El mayor valor de la indicación de tiempo DOCSIS de 22 bits, recibido en la cabida útil del servidor DTI, se compara con el contador de la indicación de tiempo DOCSIS módulo 2^{22} y se comprueba a la velocidad de OK CRC de 10 kHz. Una máquina de estados del detector de tramas comprueba esto para determinar si las dos son conformes, y si no es así, se sincronizará el contador de la indicación de tiempo DOCSIS local con el valor recibido del servidor DTI. El contador de indicación de tiempo DOCSIS módulo 2^{22} sólo se carga si la máquina de estados del detector de tramas indica que está fuera de la trama. La indicación de tiempo DOCSIS 2^{22} mayor se concatena con el contador módulo 1024 para generar una indicación completa de tiempo DOCSIS 2^{32} .

II.4.2 Función de interfuncionamiento de reloj maestro de 9,216 MHz

El reloj de cliente se construye a partir de un bucle digital de enganche de fase tipo II como se muestra en la figura II.5. Su frecuencia se determina para lograr la alineación de fase de su reloj local de seudotrama de 10,24 kHz con respecto al reloj de seudotrama de 10,24 kHz obtenido del procesador de tramas de cliente DTI. El reloj de velocidad de seudotrama de 10,24 kHz se obtiene utilizando el reloj de bits de 5,12 MHz en recepción. La señal de 5,12 MHz sincroniza el contador módulo 500 que se mantiene alineado con el reloj 1 PPS en recepción. El alineamiento de 1 PPS garantiza que todos los clientes de 9,216 MHz funcionan con la misma relación de fase como se tratará más adelante.

La función de correspondencia entre gpssec y DTS de cliente DTI es:

$$\text{DTS 9,216 de cliente DTI} = 2^{13} * [(1125 * (\text{gpssec mod } 2^{19})) \text{ mod } 2^{19}]$$

El tiempo del sistema gpssec se transfiere en el campo hora del día conmutada desde el servidor.

Apéndice III

Balance de fluctuación de fase DTI

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

La figura III.1 muestra un modelo de referencia para el análisis del balance de fluctuación de fase.

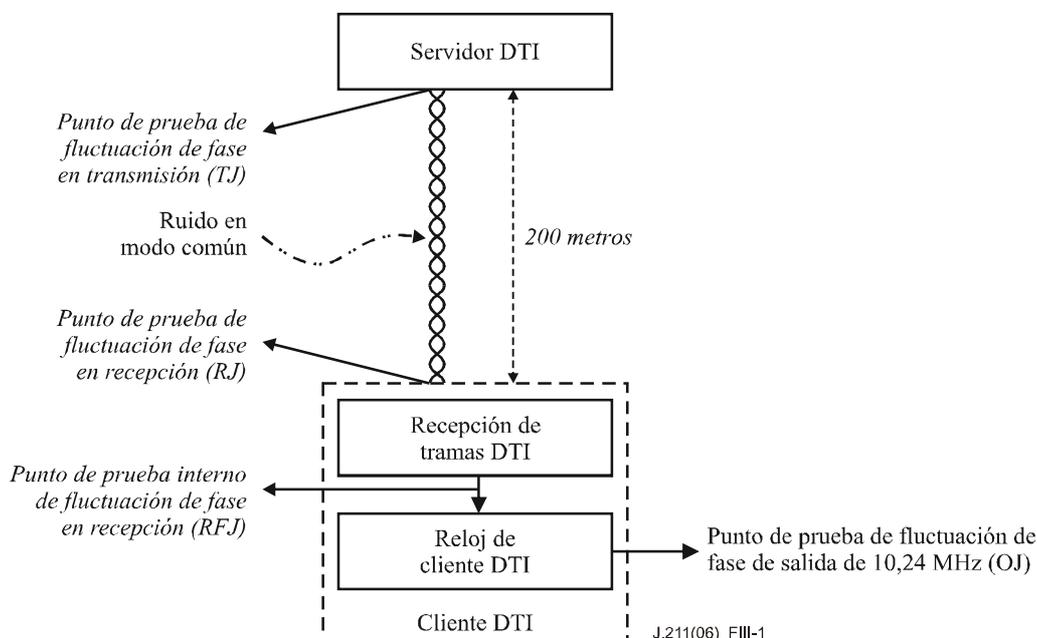


Figura III.1 – Modelo de referencia del balance de fluctuación de fase DTI

III.1 Descripción del modelo

El modelo caracteriza la fluctuación de fase acumulada en el trayecto hacia adelante (del servidor DTI al cliente DTI). El trayecto inverso no se incluye puesto que su efecto se limita a establecer el avance de cable.

La salida del servidor DTI es una trama codificada Manchester. La trama incluye el preámbulo, la cabida útil y la CRC y se transmite a una velocidad de 10 kHz. Las características de la capa física se especifican en la cláusula 6. Las principales especificaciones son:

- Tensión de símbolo diferencial máxima: de 2,2 a 2,6 V.
- Ruido de fuente en modo común: <50 mV.
- Impedancia diferencial de 100 ohmios.

Esta Recomendación soporta un modo de señal de prueba todo unos a la salida. El punto de prueba de fluctuación de fase en transmisión (TJ) está en el conector RJ45 del servidor DTI.

El componente siguiente es el medio de transporte. La cláusula 6 estipula que el medio de transporte es un cable UPT de categoría 5E (o superior) con una distancia máxima limitada a 200 metros. La transmisión DTI es semidúplex (de ida y vuelta) y es el único par de hilos activo en el cable para reducir la interferencia y optimizar la compensación del retardo.

La cláusula 6.4.5 especifica los requisitos de rechazo del modo común. El nivel de ruido de modo común introducido es de 15 V (el mismo que 10BT en 802.3). Se especifican tanto el nivel de ruido diferencial en tensión como la fluctuación de fase de borde.

La correspondencia entre el ruido en modo común y la fluctuación de fase de borde se realiza en dos pasos. En primer lugar el nivel de ruido diferencial se establece basándose en lo siguiente:

- El modelo supone una fuente en modo común de ruido blanco con un nivel de pico de 15 V.
- La relación de rechazo en modo común mínima (CMRR) se especifica tanto para el cable como para los transformadores de terminación (35 dB)

El segundo paso consiste en establecer la correspondencia entre el nivel de ruido en amplitud y el nivel de fluctuación de fase basándose en la relación mínima de caída de la señal en recepción en el cable.

Estas características de fluctuación de fase se pueden probar en el conector RJ45 del cliente DTI de entrada. La fluctuación de fase en recepción (RJ) se simula como la suma en potencia de la fluctuación de fase en transmisión y de la fluctuación de fase inducida en modo común en el medio de transporte.

El proceso de recepción de la trama DTI recupera la velocidad de trama de 10 kHz en recepción a partir de las ráfagas entrantes. El proceso de recuperación utiliza el preámbulo para el alineamiento. El suministrador es libre de implementar los parámetros del proceso de recuperación de tramas mediante cualquier método que cumpla los objetivos de calidad de funcionamiento de salida. El modelo considera un PLL digital basado en el reloj local de alta frecuencia de ~149 MHz utilizado para el avance de cable. La anchura de banda de este PLL de recuperación se supone que es como máximo el de una trama completa o menos. La fluctuación de fase de las tramas en recepción (RFJ) es por lo tanto un punto de prueba interno que se incluye en el modelo para considerar los aspectos de filtrado de fluctuación de fase en el proceso de recuperación de tramas.

Finalmente, el reloj de cliente DTI se simula en estado estable como PLL. La entrada de referencia al PLL es el procesamiento de tramas en recepción de 10 kHz incluido el ruido de cuantificación digital de 149 MHz.

Se supone que el oscilador local es el oscilador de cliente mínimo DTI. La anchura de banda del bucle se supone que es de 1 Hz para este análisis.

III.2 Análisis

III.2.1 Especificación de la fluctuación de fase en transmisión

La fluctuación de fase de alta frecuencia superior a 10 Hz se especifica para que sea inferior a 50 ps RMS. Esta asignación de fluctuación de fase incluye el ruido esperado en los circuitos digitales de un servidor DTI. La fluctuación de fase en transmisión se simula como una fuente de ruido blanco.

III.2.2 Análisis de la fluctuación de fase en recepción

La fluctuación de fase en recepción es la suma en potencia de la fluctuación de fase en transmisión y de la fluctuación de fase relativa al ruido en el modo común. Se puede considerar en el dominio del tiempo como la variación del retardo en el diagrama en forma de ojo en recepción. El componente en modo común está vinculado mediante los requisitos de la capa física.

La fluctuación de fase de borde inducida en modo común en los 200 metros de cable es inferior a 2,005 ns RMS.

La fluctuación de fase total en recepción es la suma en potencia que se debe fundamentalmente al efecto del modo común (2,01 ns RMS).

III.2.3 Análisis de la fluctuación de fase de tramas en recepción

La fluctuación de fase de borde en el diagrama en forma de ojo se filtra en el proceso de recuperación de tramas. Si se considera un filtrado basado en el preámbulo, el factor de reducción

del ruido efectivo antes de alcanzar la velocidad de trama de 10 kHz es 11,3¹⁰. La fluctuación de fase de tramas en recepción resultante es entonces 177 ps RMS.

III.2.4 Fluctuación de fase de salida de 10,24 MHz

La fluctuación de fase de salida es la suma en potencia de dos componentes:

- La potencia de la fluctuación de fase del oscilador mínimo DTI en la banda de interés.
- La potencia de la fluctuación de fase residual de la señal de trama de 10 kHz cuantificada en la banda de interés.

La fluctuación de fase de salida, considerando una anchura de banda del filtro de bucle de 1 Hz sin técnicas de supresión de fluctuación de fase mejoradas se muestra en el cuadro III.1.

Cuadro III.1 – Características de funcionamiento de la fluctuación de fase de salida DTI de 10,24 MHz

Frecuencia de corte de la fluctuación de fase HPF [Hz] (Nota 1)	Fluctuación de fase integrada en la banda ps RMS			
	Fluctuación de fase de entrada de 10 kHz residual (Nota 2)	Oscilador mínimo DTI (Nota 3)	Fluctuación de fase DTI de 10,24 MHz	Especificación DOCSIS 2.0 (Nota 4)
10	6,8	4,02	7,9	88
100	3,44	1,55	3,8	73
1000	0,72	0,46	0,86	70

NOTA 1 – Paso alto desde el corte a la mitad de la velocidad del reloj maestro (5,12 MHz).
 NOTA 2 – Se supone el ruido en modo común más desfavorable en una longitud máxima del cable de 200 metros.
 NOTA 3 – Característica medida típica de un VCTCXO conforme.
 NOTA 4 – Números derivados de los requisitos de ruido de fase integrados de 50 ps, 20 ps, 50 ps, 50 ps para el reloj maestro en DOCSIS 2.0.

La fluctuación de fase de banda ancha (entre 10 Hz y ½ de reloj maestro) se muestra en la primera fila. El balance de 88 ps RMS se calcula a partir de DOCSIS 2.0 (6.3.8 de la Rec. UIT-T J.122) sumando en potencia las bandas individuales. Por el contrario, la fluctuación de fase en banda ancha de DTI de 10,24 MHz es 7,9 ps RMS. Cabe recordar que esta fluctuación de fase está condicionada por la longitud máxima del cable, el ruido máximo en modo común y el oscilador de cliente DTI mínimo. Existe un margen superior a 20 dB en comparación con las características de reloj maestro requeridas.

Si consideramos el uso directo de la señal DTI de 10,24 MHz para soportar el funcionamiento de portadoras RF (con un filtrado mínimo adicional de fluctuación de fase), el aspecto más importante puede ser la fluctuación de fase en alta frecuencia, puesto que la recuperación de portadora seguirá a los componentes de frecuencias inferiores.

La tercera fila muestra la fluctuación de fase integrada por encima de 1 kHz. La salida de 10,24 MHz directamente del cliente tiene una fluctuación de fase en esta banda inferior a 1 ps (0,86). Esto implica un margen superior a 38 dB, si se compara con las características del reloj maestro requerido en esta banda.

¹⁰ En función de la implementación de la recuperación de reloj de trama otros métodos podrían tener más o menos supresión de ruido.

Apéndice IV

Sincronización del reloj de símbolos

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

En funcionamiento síncrono (S-CDMA), el reloj de símbolos en sentido descendente se engancha al reloj maestro de 10,24 MHz utilizando una relación M/N entera de 16 bits.

Para las velocidades de símbolos normalizadas DOCSIS y EuroDOCSIS, las relaciones M/N recomendadas se muestran en cuadro IV.1.

Cuadro IV.1 – Sincronización del reloj de símbolos

Modulación	Velocidad de símbolos	M/N
EuroDOCSIS	6,952	869/1280
DOCSIS 64QAM	5,056941	401/812
DOCSIS 256QAM	5,360537	78/149

En una instalación M-CMTS, la DTI servidor-cliente distribuye un reloj maestro alineado en fase entre los diversos EQAM. También es aconsejable controlar la fase de los relojes de símbolos generados por cada EQAM. Esto se puede lograr sin señalización adicional a través de la interfaz DTI.

El contador de indicaciones de tiempo DOCSIS es un contador de 32 bits, controlado por el reloj maestro de 10,24 MHz, que se repite cada 4'294'967'296 ciclos de reloj. Desgraciadamente, ninguno de los valores 'n' requeridos son múltiplos enteros de este número.

El cliente DTI también proporciona un valor 'gpssec'. 'gpssec' es una indicación de tiempo de 32 bits que se incrementa cada segundo o más precisamente cada 10'240'000 ciclos de reloj maestro de 10,24 MHz.

Es conveniente indicar que se produce un cruce positivo por cero de todos los relojes de símbolos en el borde del reloj maestro en el que el contador 'gpssec' se fijó a cero (6 de enero de 1980). Por ello, es posible, a partir del valor del contador 'gpssec', determinar cuántos ciclos de reloj maestro faltan antes del próximo cruce positivo del reloj de símbolos de la forma siguiente:

$$\text{clos de reloj maestro restantes} = (\text{'gpssec'} \times 10'240'000) \text{ MOD 'N'}$$

Por ejemplo, si el valor 'gpssec' acaba de actualizarse a 123'456, entonces el número de ciclos de reloj maestro restantes antes de un cruce positivo del reloj de símbolos QAM DOCSIS 256 (M/N=78/149) viene dado por:

$$\text{clos de reloj maestro restantes} = (123'456 \times 10'240'000) \% 149 = 135$$

Esto significa que el símbolo QAM 256 DOCSIS experimentará un cruce por cero positivo exactamente en 135 ciclos del reloj maestro. Este valor restante (135) se puede utilizar para hacer 'la cuenta atrás' hasta un impulso de reinicio, o alternativamente, puede estar incluido directamente en un registro de divisor del NCO utilizado para generar el reloj de símbolos.

Dado que el conjunto de N valores está limitado, se pueden utilizar formulas específicas que simplifican el cálculo. En particular para los tres valores de N de este cuadro:

$$N = 1'280 = \text{Ciclos de reloj maestro restantes} = 0.$$

$$N = 812 = \text{Ciclos de reloj maestro restantes} = ((\text{gpssec} + \text{repetición}) \text{ MOD } 203) * 680 \text{ MOD } 812$$

$$N = 149 = \text{Ciclos de reloj maestro restantes} = ((\text{gpssec} + \text{repetición}) \text{ MOD } 149) * 124 \text{ MOD } 149$$

Hay que destacar que para $N = 1'280$ existen exactamente 8'000 dividido por N ciclos en un segundo de forma que el resto de ciclos es constante y cero.

Puesto que el valor ' N ' no es un múltiplo exacto de $2^{32} \times 10'240'000$, este mecanismo podría producir un único salto de ciclo cuando se repite 'gpssec'. Esto se producirá una vez cada 136 años, y se producirá en primer lugar en el año 2116. Para evitar este efecto se ha incluido un término de repetición. La repetición se debería añadir al empezar el evento de la repetición en el año 2116. El término de repetición es 74 para $N = 182$ y 129 para $N = 149$.

Apéndice V

Consideraciones sobre el reloj de alta velocidad DTI

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

Un aspecto fundamental del protocolo de temporización DTI es la adopción del reloj nominal de la 149,8 MHz DTI de alta velocidad. La definición precisa del reloj de alta velocidad DTI es: $10,24 \text{ MHz} * 512/35$. El reloj DTI de alta velocidad permite una integración totalmente digital de las funciones de medición de fase con fluctuaciones de fase residuales y desviaciones de fase bajas. Se precisan mediciones de fase en el cliente para enganchar con precisión el reloj de 10 kHz del cliente con el reloj de recepción al aplicar el avance de cable. El servidor requiere mediciones de fase precisas para realizar el cálculo del avance de cable. Así mismo, la recuperación de reloj digital en recepción puede utilizar el reloj de alta velocidad para soportar todas las implementaciones digitales. La selección del reloj DTI de alta velocidad es un compromiso entre la fluctuación de fase de salida y su desviación.

Por ejemplo, un planteamiento sencillo consiste en seleccionar un múltiplo directo del reloj maestro. Un reloj de alta velocidad de 153,6 MHz es exactamente $10,24 \text{ MHz} * 15$. Se podría considerar un contador que mida la diferencia de fase entre el reloj de 10 kHz en recepción y el reloj¹¹ de 10 kHz de cliente local. En ausencia de ruido, el resultado de la medición sería estática para las variaciones de retardo inferiores o iguales al valor nominal de 6,5 ms del reloj de alta velocidad. Mientras que la fluctuación de fase podría ser reducida, el error de alineamiento podría cubrir los 6,5 ns. Las variaciones reales de ruido y su desviación podrían provocar un transitorio de 6,5 ns y degradar el funcionamiento, en particular en la determinación de distancia precisa de S-CDMA.

La selección de un múltiplo de no entero ($512/35 = 14,62857\dots$) genera un patrón de reloj fraccionario que se repite cada 35 intervalos de tiempo DTI como se muestra en la figura V.1.

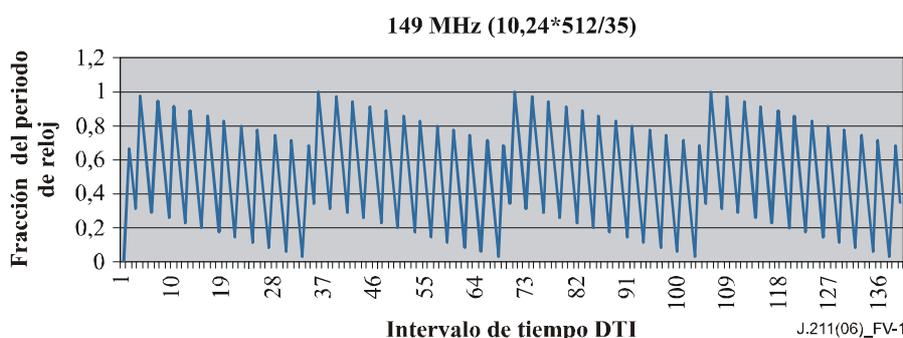
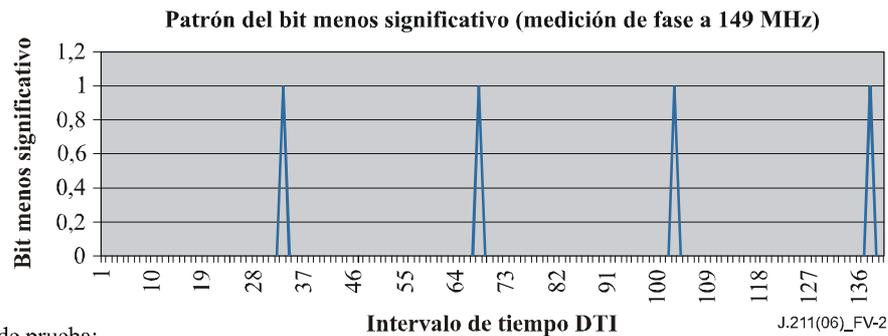


Figura V.1 – Patrón de reloj fraccionario

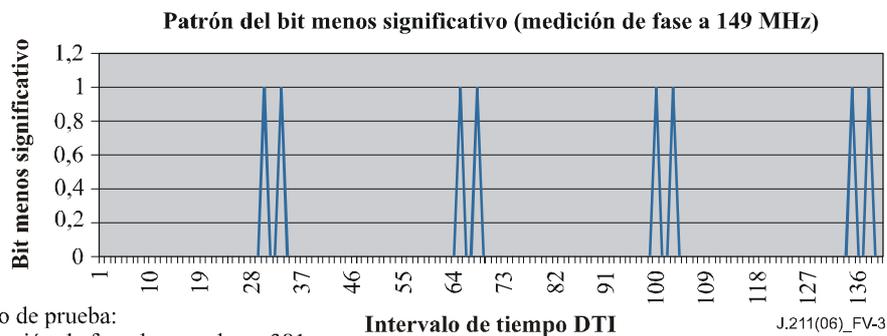
¹¹ Se trata solo de un ejemplo en el que pueden surgir problemas de fluctuación de fase y de su desviación. Se han de tratar los mismos asuntos para la recuperación de relojes digitales de señales DTI en recepción y también para mediciones del retardo de cable.

Este patrón permite discriminar el error de desplazamiento de fase con una resolución de 190 ps, limitando al mismo tiempo la fluctuación de fase para que el PLL cliente lo pueda filtrar con eficacia. Consideremos ahora el mismo contador que mide la diferencia de fase entre la señal recibida y al señal de 10 kHz local pero utilizando el reloj DTI de alta velocidad de 149,8 MHz. Si la diferencia de fase es de 191 ps, el bit menos significativo del contador aparecerá como se muestra en la figura V.2. El bit menos significativo salta a "uno" una vez cada 35 intervalos de tiempo DTI con una fluctuación de fase residual inferior a 5 ps. Si aumentamos la diferencia de fase a 381 ps, el bit menos significativo aparecerá ahora como se muestra en la figura V.3. El patrón es ahora de dos pulsos "uno" cada 35 intervalos de tiempo DTI con una medición de la fase de salida media de 374 ps y una fluctuación de fase residual inferior a 5 ps.



Caso de prueba:
 Variación de fase de entrada 191 ps
 Variación de fase medida 187 ps

Figura V.2 – Variación de 191 ps del patrón de medición de fase



Caso de prueba:
 Variación de fase de entrada 381 ps
 Variación de fase medida 374 ps

Figura V.3 – Diferencia de 381 ps del patrón de medición de fase

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	Construcción, instalación y protección de los cables y otros 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	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, 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