

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 220**

51 Int. Cl.:
H04J 3/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **10305006 .8**
96 Fecha de presentación: **05.01.2010**
97 Número de publicación de la solicitud: **2341650**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.07.2011**

54 Título: **Transferencia de un mensaje de sincronización vía una red de radio por paquetes**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
02.07.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
02.07.2012

73 Titular/es:
Alcatel Lucent
3, avenue Octave Gréard
75007 Paris, FR y
Politecnico Di Milano

72 Inventor/es:
Pasotti, Marco;
Vodola, Francesco;
Spalvieri, Arnaldo;
Barzaghi, Giorgio;
Gerosa, Marzio y
De Blasio, Giuseppe

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 384 220 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Transferencia de un mensaje de sincronización vía una red de radio por paquetes

Campo técnico

5 La presente invención se refiere en general, al campo de las redes de radiocomunicaciones. En particular, la presente invención versa acerca de la transferencia de un mensaje de sincronización a través de una red de paquetes de radio.

Técnica antecedente

10 En una red de comunicaciones conmutada por paquetes, dos o más nodos pueden sincronizarse entre sí según un esquema maestro-esclavo intercambiando mensajes de sincronización. En particular, los mensajes de sincronización permiten que uno o más nodos esclavos sincronicen la frecuencia de su reloj local y/o la hora del día (es decir, horas, minutos, segundos y posibles fracciones de segundo) de su reloj local con un nodo maestro.

15 Para una red de comunicaciones conmutada por paquetes, por ejemplo una red Ethernet, se conocen protocolos de red para implementar la sincronización, tales como el protocolo IEEE 1588™-2008, que está definido en el documento "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurements and Control Systems", de la Sociedad de Instrumentación y Mediciones del IEEE, 24 de julio de 2008.

20 Según el protocolo IEEE 1588™-2008 (véase el documento citado en lo que precede, capítulo 6, párrafo 6.6.3, pp. 32-34), el nodo maestro envía un mensaje Sync a un nodo esclavo y genera un primer sello de tiempo t1 que indica el momento en el que el nodo maestro envía el mensaje Sync. El primer sello de tiempo t1 es enviado al nodo esclavo dentro del propio mensaje Sync o de un mensaje de seguimiento que el nodo maestro envía al nodo esclavo después del mensaje Sync. A su vez, el nodo esclavo recibe el mensaje Sync y genera un segundo sello de tiempo t2 que indica el momento en el que el nodo esclavo recibe el mensaje Sync. El nodo esclavo envía entonces al nodo maestro un mensaje Delay_Req y genera un tercer sello de tiempo t3 que indica el momento en el que el nodo esclavo envía tal mensaje. El nodo maestro recibe el mensaje Delay_Req y genera un cuarto sello de tiempo t4 que indica el momento en el que recibe tal mensaje y, a su vez, envía al nodo esclavo el cuarto sello de tiempo t4 dentro de un mensaje Delay_Req.

25 Al final del intercambio de mensajes descrito en lo que antecede, los cuatro sellos de tiempo t1, t2, t3, t4 están disponibles en el nodo esclavo. Típicamente, el intercambio de mensajes descrito en lo que antecede se repite periódicamente. Usando uno o más de los sellos de tiempo t1, t2, t3, t4, el nodo esclavo es capaz de sincronizar la frecuencia y la hora del día de su reloj local con los del reloj local del nodo maestro.

30 En particular, según el protocolo IEEE 1588™-2008 (véase el documento citado más arriba, capítulo 12, párrafo 12.1.2, pp. 122-123), el nodo esclavo ajusta la frecuencia de su reloj local usando un factor de frecuencia igual a la proporción de la diferencia entre dos segundos sellos de tiempo t2 sucesivos y la diferencia entre dos primeros sellos de tiempo t1 sucesivos.

35 Típicamente, los mensajes de sincronización enviados por el nodo maestro (esclavo) son recibido en el nodo esclavo (maestro) con un retardo debido a la propagación del mensaje en los enlaces y a la residencia del mensaje dentro de los nodos intermedios. Tal retardo se ve afectado por variaciones imprevisibles que son debidas fundamentalmente al hecho de que el tiempo de residencia de los mensajes de sincronización dentro de los nodos intermedios varía de una manera imprevisible según las condiciones de tráfico dentro de la red conmutada por paquetes. Cuanto mayores son las variaciones del retardo de los mensajes de sincronización, menor es la precisión de la recuperación de la sincronización por parte del nodo esclavo.

40 Por otra parte, el tráfico del enlace que conecta el nodo maestro y el nodo esclavo es típicamente asimétrico. Esto significa que el retardo que los mensajes de sincronización experimentan en la dirección maestro a esclavo es diferente del retardo que los mensajes de sincronización experimentan en la dirección esclavo a maestro. Cuando mayor es la diferencia del retardo de los mensajes en las direcciones maestro a esclavo y esclavo a maestro, menor es la precisión de la recuperación de la hora del día por parte del nodo esclavo. Además, esta diferencia también varía de forma imprevisible.

45 El protocolo IEEE 1588™-2008 proporciona la implementación de un mecanismo de "reloj transparente" (véase el capítulo 6, párrafo 6.5.4 del documento citado más arriba) en los nos de la red conmutada por paquetes. Este mecanismo permite medir, en un nodo que recibe un mensaje de protocolo IEEE 1588™-2008, un tiempo de residencia de tal mensaje dentro del nodo. El tiempo de residencia está escrito en un campo Corrección de la cabecera del mensaje de sincronización. Para estimar el retardo total del mensaje de sincronización, cada nodo de la red comprendido en la trayectoria del mensaje de sincronización calcula el tiempo de residencia del mensaje de sincronización y actualiza el campo Corrección incrementando adecuadamente el valor contenido en el mismo. El nodo esclavo recibe el mensaje de sincronización y, según el valor contenido en el campo Corrección, ajusta el valor del sello de tiempo que lleva el mensaje de sincronización.

El protocolo IEEE 1588™-2008 descrito en lo que antecede puede ser usado en un sistema de acceso móvil por radio que comprende un controlador de red de radio, varias estaciones base y una red inalámbrica con enlace terrestre que conecta el controlador de red de radio y las estaciones base. En este escenario, las estaciones base (que actúan como nodos esclavos) se sincronizan con el controlador de la red de radio (que actúa como el nodo maestro) intercambiando los mensajes descritos en lo que antecede por medio de la red inalámbrica con enlace terrestre. Más en particular, el controlador de red de radio y las estaciones base comprenden aparatos dedicados configurados para actuar como nodo maestro y nodos esclavos, respectivamente.

El documento US 2005/0207387 A1 da a conocer un mecanismo de control horario que acepta muestreos horarios (verdaderos o no) en una red y habilita la compensación dinámica de retardos aleatorios de la red para mantener la salida de un reloj esclavo que controla el mecanismo de control horario dentro de los límites requeridos con respecto a la hora de un reloj maestro, incluso cuando las muestras son retardadas de manera aleatoria.

El documento US 2005/0058159 A1 da a conocer que un circuito de sincronización de sellos de tiempo (TSC) en un sistema de terminación de cable módem (CMTS) estima un valor del sello de tiempo maestro para una referencia de tiempo futura. El TSC maestro envía el valor del sello de tiempo maestro de forma asíncrona por una red de protocolo de Internet (IP) a TSC esclavos en otros CMTS. El TSC esclavo compara un valor del sello de tiempo local con el valor del sello de tiempo maestro cuando ocurre la referencia de tiempo futura. Si el valor del sello de tiempo local no coincide con el valor del sello de tiempo maestro, el TSC esclavo vuelve a ser sincronizado usando el valor del sello de tiempo maestro.

Resumen de la invención

Los inventores han apreciado que el mecanismo de reloj transparente permite considerar el retardo acumulado por el mensaje de sincronización y reducir en consecuencia el efecto de la variación de retardo debida a la residencia de los mensajes dentro de los nodos.

Sin embargo, inconvenientemente, el mecanismo de reloj transparente requiere que todos los nodos de la red conmutada por paquetes estén equipados de recursos de soporte físico y/o soporte lógico configurados para soportar tal mecanismo. Esto conduce desventajosamente a costes elevados para la implementación del mecanismo, ya que es necesario modificar todos los nodos de la red. Además, de esta manera, todos los nodos de la red tienen una estructura más compleja. Esto conduce desventajosamente al aumento de los costos de mantenimiento de la red.

Además, tal como se ha mencionado en lo que antecede, según el mecanismo de reloj transparente, cada nodo debe calcular el tiempo de residencia y escribirlo en el campo Corrección en el momento en el que se remite el mensaje de sincronización al nodo siguiente, es decir, en la interfaz física de salida del nodo. Si la red conmutada por paquetes es una red inalámbrica conmutada por paquetes, la interfaz física de salida del nodo es una interfaz física de radio. Típicamente, esta interfaz de radio comprende bloques funcionales (por ejemplo, mezclador, codificador, intercalador, módem, etc.) que son transparentes y agnósticos con respecto al campo Corrección y los sellos de tiempo portados por los mensajes de sincronización, dado que actúan meramente en la capa física de radio. Desventajosamente, se escribe en el campo Corrección antes de que el mensaje de sincronización sea procesado por la interfaz de radio. Esto implica, desventajosamente, que el tiempo de residencia escrito en el campo Corrección no tiene en cuenta el retardo variable introducido por el procesamiento de los mensajes de sincronización en la interfaz de radio.

En consecuencia, los inventores han abordado el problema de proporcionar un procedimiento para transferir un mensaje de sincronización por medio de una red de comunicaciones inalámbricas conmutada por paquetes que supera las deficiencias anteriormente mencionadas.

En particular, los inventores han abordado el problema de proporcionar un procedimiento de transferencia de un mensaje de sincronización por medio de una red de comunicaciones inalámbricas conmutada por paquetes, que permite que el nodo esclavo recupere la sincronización de una manera fiable y precisa y que, a la vez, requiere una cantidad menor de recursos adicionales en los nodos de la red conmutada por paquetes que la cantidad requerida para implementar el mecanismo conocido de reloj transparente.

Según un primer aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento de transferencia de un mensaje de sincronización desde un nodo maestro a un nodo esclavo por medio de una red conmutada por paquetes, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- a) proporcionar una señal de reloj de referencia a un nodo de entrada y a un nodo de salida de dicha red conmutada por paquetes;
- b) en el nodo de entrada, recibir el mensaje de sincronización desde el nodo maestro, generar un sello de tiempo de entrada con base en la señal de reloj de referencia, y enviar el mensaje de sincronización con el sello de tiempo de entrada al nodo de salida; y
- c) en el nodo de salida, recibir el mensaje de sincronización y el sello de tiempo de entrada, generar un sello de tiempo de salida con base en dicha señal de reloj de referencia, calcular un tiempo de tránsito como una

diferencia entre el sello de tiempo de salida y el sello de tiempo de entrada y enviar el mensaje de sincronización y el tiempo de tránsito al nodo esclavo.

5 Preferentemente, la etapa b) comprende recibir la señal de reloj de referencia, procesar la señal de reloj de referencia para generar una primera señal de reloj local que tiene un primer periodo, y proporcionar un contador de tiempo de entrada que cuenta un número de periodos de la primera señal de reloj local, y la etapa c) comprende recibir la señal de reloj de referencia, procesar la señal de reloj de referencia para generar una segunda señal de reloj local que tiene un segundo periodo, y proporcionar un contador de tiempo de salida que cuenta un número de periodos de la segunda señal de reloj local, siendo el primer periodo sustancialmente igual al segundo periodo.

10 Preferentemente, en la etapa b), la generación comprende leer un primer valor actual del contador de tiempo de entrada y generar el sello de tiempo de entrada que tiene el primer valor actual, y, en la etapa c), la generación comprende leer un segundo valor actual del contador de tiempo de salida y generar el sello de tiempo de salida que tiene el segundo valor actual.

15 Preferentemente, el recuento de un número de periodos de la primera señal de reloj local comienza en un primer tiempo de inicio, y el recuento de un número de periodos de la segunda señal de reloj local comienza en un segundo tiempo de inicio, siendo una diferencia entre el primer tiempo de inicio y el segundo tiempo de inicio igual a un desfase entre el contador de tiempo de entrada y el contador de tiempo de salida.

Preferentemente, el procedimiento comprende, además, una etapa que es llevada a cabo sustancialmente en paralelo a las etapas b) y c) de reducción o cancelación del desfase.

20 Según primeras variantes ventajosas, la etapa de reducción o cancelación del desfase comprende proporcionar al nodo de entrada y al nodo de salida una información de la hora del día de un sistema de posicionamiento global.

Según segundas variantes ventajosas, la etapa de reducción o cancelación del desfase comprende intercambiar al menos un mensaje de alineamiento entre el nodo de entrada y un nodo intermedio de la red conmutada por paquetes adyacente al nodo de entrada.

25 Preferentemente, según estas segundas variantes ventajosas, la etapa a) comprende, además, proporcionar la señal de reloj de referencia a un nodo intermedio de la red conmutada por paquetes, comprendiendo además el procedimiento, en el nodo intermedio:

- recibir la señal de reloj de referencia;
- procesar la señal de reloj de referencia para generar una tercera señal de reloj local que tiene un tercer periodo, siendo el tercer periodo sustancialmente igual al primer periodo y al segundo periodo;
- 30 – proporcionar un contador de tiempo intermedio que cuenta un número de periodos de la tercera señal de reloj local, iniciándose el recuento en un tercer tiempo de inicio, siendo una diferencia entre el tercer tiempo de inicio y el primer tiempo de inicio igual a un desfase adicional entre el contador de tiempo intermedio y el contador de tiempo de entrada.

35 Preferentemente, la etapa de intercambio de al menos un mensaje de alineamiento entre el nodo de entrada y el nodo intermedio comprende repetir cíclicamente las siguientes subetapas:

- en el nodo de entrada, generar un primer sello de tiempo T1 igual a un tercer valor actual del contador de tiempo de entrada y enviar un primer mensaje de alineamiento al nodo intermedio (N1);
- en el nodo de entrada, enviar un segundo mensaje de alineamiento que contiene el primer sello de tiempo T1 al nodo intermedio;
- 40 – en el nodo intermedio, tras la recepción del primer mensaje de alineamiento, generar un segundo sello de tiempo T2 igual a un cuarto valor actual del contador de tiempo intermedio y, tras la recepción del segundo mensaje de alineamiento, extraer el primer sello de tiempo T1 del segundo mensaje de alineamiento;
- en el nodo intermedio, enviar un tercer mensaje de alineamiento al nodo de entrada y, sustancialmente al mismo tiempo, generar un tercer sello de tiempo T3 igual a un quinto valor actual del contador de tiempo intermedio;
- 45 – en el nodo de entrada, tras la recepción del tercer mensaje de alineamiento, generar un cuarto sello de tiempo T4 igual a un sexto valor actual del contador de tiempo de entrada y enviar al nodo intermedio un cuarto mensaje de alineamiento que comprende el cuarto sello de tiempo T4;
- en el nodo intermedio, tras la recepción del cuarto mensaje de alineamiento, extraer el cuarto sello de tiempo T4 del cuarto mensaje de alineamiento y calcular un retardo unidireccional medio D1 por medio de la ecuación siguiente:

$$D1 = \frac{(T2 - T1) + (T4 - T3)}{2}$$

y otro desfase adicional TO1 por medio de la ecuación siguiente:

$$TO1 = (T2 - T1) - D1 = \frac{(T2 - T1) - (T4 - T3)}{2};$$

- en el nodo intermedio, escribir el retardo unidireccional medio D1 en una memoria intermedia FIFO que tiene un tamaño N, y escribir el desfase adicional TO1 en una memoria intermedia FIFO adicional que tiene un tamaño N’;
- en el nodo intermedio, determinar un retardo mínimo D* en la memoria intermedia FIFO y determinar un correspondiente desfase TO* correspondiente al retardo mínimo D* en la memoria intermedia FIFO adicional; y
- en el nodo intermedio, usar el desfase TO* correspondiente para reducir el desfase adicional entre el contador de tiempo intermedio y el contador de tiempo de entrada.

Preferentemente, en la etapa b), el envío comprende encapsular el mensaje de sincronización y el sello de tiempo de entrada en un mensaje de transferencia, y, en la etapa c), la recepción comprende extraer el mensaje de sincronización y el sello de tiempo de entrada del mensaje de transferencia.

Preferentemente, en la etapa b), el envío comprende insertar el sello de tiempo de entrada en un cuerpo del mensaje de sincronización, y, en la etapa c), la recepción comprende extraer el sello de tiempo de entrada del cuerpo del mensaje de sincronización.

Preferentemente, en la etapa c) el envío comprende escribir el tiempo de tránsito en un campo de ajuste de una cabecera del mensaje de sincronización.

Según un segundo aspecto, la presente invención proporciona un sistema de comunicaciones que comprende una red conmutada por paquetes, un nodo maestro y un nodo esclavo, comprendiendo la red conmutada por paquetes un nodo de entrada conectado al nodo maestro y un nodo de salida conectado al nodo esclavo, comprendiendo además el sistema de comunicaciones un aparato fuente de sincronización que coopera con la red conmutada por paquetes, en el que:

- el aparato fuente de sincronización está configurado para proporcionar una señal de reloj de referencia al nodo de entrada y al nodo de salida;
- el nodo maestro está configurado para transmitir un mensaje de sincronización (al nodo esclavo a través del nodo de entrada y el nodo de salida);
- el nodo de entrada está configurado para recibir el mensaje de sincronización procedente del nodo maestro, generar un sello de tiempo de entrada con base en la señal de reloj de referencia, y enviar el mensaje de sincronización con el sello de tiempo de entrada al nodo de salida; y
- el nodo de salida está configurado para recibir el mensaje de sincronización y el sello de tiempo de entrada procedentes del nodo de entrada, generar un sello de tiempo de salida con base en la señal de reloj de referencia, calcular un tiempo de tránsito como una diferencia entre el sello de tiempo de salida y el sello de tiempo de entrada y enviar el mensaje de sincronización y el tiempo de tránsito al nodo esclavo.

Preferentemente, el aparato fuente de sincronización es un nodo de la red conmutada por paquetes o un aparato que coopera con la red conmutada por paquetes.

Preferentemente, el nodo de entrada comprende un oscilador local de entrada y un contador de tiempo de entrada conectado al oscilador local de entrada, estando configurado el oscilador local de entrada para recibir la señal de reloj de referencia y para procesar la señal de reloj de referencia para generar una primera señal de reloj local que tiene un primer periodo, y estando configurado el contador de tiempo de entrada para contar un número de periodos de la primera señal de reloj local, y el nodo de salida comprende un oscilador local de salida y un contador de tiempo de salida conectado al oscilador local de salida, estando configurado el oscilador local de salida para recibir la señal de reloj de referencia y para procesar la señal de reloj de referencia para generar una primera señal de reloj local que tiene un segundo periodo, y estando configurado el contador de tiempo de salida para contar un número de periodos de la segunda señal de reloj local.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se comprenderán mejor leyendo la siguiente descripción detallada, dada a título de ejemplo y no de limitación, que ha de ser leída con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la Figura 1 muestra esquemáticamente un sistema de comunicaciones que comprende un nodo maestro, un nodo esclavo y una red inalámbrica conmutada por paquetes, según una primera realización de la presente invención;
- la Figura 2 es un diagrama esquemático de tiempos de los contadores de tiempo del nodo de entrada y del nodo de salida de la red inalámbrica conmutada por paquetes;
- las Figuras 3a, 3b y 3c muestran esquemáticamente el formato de los mensajes de sincronización enviados por el nodo maestro al nodo esclavo según una variante ventajosa de la presente invención;

- la Figura 4 muestra esquemáticamente un sistema de comunicaciones que comprende un nodo maestro, un nodo esclavo y una red inalámbrica conmutada por paquetes, según una segunda realización de la presente invención;
- la Figura 5 es un diagrama de flujo del intercambio de mensajes entre el nodo de entrada y un nodo intermedio de la red conmutada por paquetes de la Figura 4, según la segunda realización de la presente invención; y
- la Figura 6 es un diagrama esquemático de tiempos de los contadores de tiempo del nodo de entrada y del nodo intermedio de la red inalámbrica conmutada por paquetes de la Figura 4, según la segunda realización de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones preferentes de la invención

10 La Figura 1 muestra esquemáticamente un sistema de comunicaciones CS que comprende un nodo maestro MN, un nodo esclavo SN y una red inalámbrica conmutada por paquetes PN que conecta el nodo maestro MN y el nodo esclavo SN. El sistema de comunicaciones CS comprende, además, un aparato fuente de sincronización SSA. El aparato fuente de sincronización SSA puede ser un nodo de la red conmutada por paquetes PN o un aparato externo que coopera con la red conmutada por paquetes PN y conectado a uno o más nodos de la red conmutada por paquetes PN.

15 Por ejemplo, el sistema de comunicaciones CS puede ser un sistema de acceso móvil de radio. En tal caso, el nodo maestro MN es, por ejemplo, un nodo controlador de red de radio (RNC), el nodo esclavo SN es una estación base de radio y la red conmutada por paquetes PN es una red inalámbrica con enlace terrestre.

20 El nodo esclavo SN está configurado para sincronizar su frecuencia de reloj local y/o su hora del día del reloj local con el nodo maestro MN. En particular, el nodo maestro MN y el nodo esclavo SN están configurados, preferentemente, para intercambiar mensajes de sincronización a través de la red conmutada por paquetes PN según un protocolo de red que implemente la sincronización, tal como, por ejemplo, el protocolo IEEE 1588™-2008 citado en lo que antecede.

25 Preferentemente, la red conmutada por paquetes PN comprende un nodo de entrada IN, un nodo de salida EN y uno o más nodos intermedios (no mostrados en la Figura 1). El nodo de entrada IN es un nodo periférico que está conectado al nodo maestro MN a través de un enlace de entrada IL y el nodo de salida EN es un nodo periférico que está conectado al nodo esclavo SN a través de un enlace de salida EL. La red conmutada por paquetes PN es, por ejemplo, una red Ethernet inalámbrica.

30 Preferentemente, tanto el enlace de entrada IL como el enlace de salida EL son enlaces bidireccionales. Preferentemente, tanto el enlace de entrada IL como el enlace de salida EL son enlaces cableados. Además, según una variante no mostrada en los dibujos, el enlace de entrada IL y el enlace de salida EL pueden ser reemplazados por dos redes de comunicaciones adicionales por medio de las cuales el enlace de entrada IL y el enlace de salida EL están conectados con el nodo maestro MN y el nodo esclavo SN, respectivamente.

35 Preferentemente, el nodo de entrada IN está configurado para recibir mensajes de sincronización del nodo maestro MN a través del enlace de entrada IL y para remitir tales mensajes de sincronización a uno de los nodos intermedios de la red conmutada por paquetes PN. Además, el nodo de entrada IN está configurado para recibir mensajes de sincronización de uno o más nodos intermedios de la red conmutada por paquetes PN y para remitir tales mensajes de sincronización al nodo maestro MN a través del enlace de entrada IL.

40 Preferentemente, el nodo de salida está configurado para recibir mensajes de sincronización de uno o más nodos intermedios de la red conmutada por paquetes PN y para remitir tales mensajes de sincronización al nodo esclavo SN a través del enlace de salida EL. Además, el nodo de salida EN está configurado para recibir del nodo esclavo SN mensajes de sincronización a través del enlace de salida EL y para remitir tales mensajes de sincronización a uno de los nodos intermedios de la red conmutada por paquetes PN.

45 Según realizaciones preferentes de la presente invención, el nodo de entrada IN comprende un reloj local de entrada IC y una interfaz de sincronización de entrada ISI conectada al reloj local de entrada IC. A su vez, el reloj local de entrada IC comprende un oscilador local de entrada ILO y un contador de tiempo de entrada TCI conectado al oscilador local de entrada ILO. Preferentemente, el nodo de salida EN comprende un reloj local de salida EC y una interfaz de sincronización de salida ESI conectada al reloj local de salida EC. A su vez, el reloj local de salida EC comprende un oscilador local de salida ELO y un contador de tiempo de salida TCE conectado al oscilador local de salida ELO.

50 Preferentemente, el aparato fuente de sincronización SSA está configurado para generar una señal de reloj de referencia que se propaga por la red conmutada por paquetes NP para que al menos el oscilador local de entrada ILO y el oscilador local de salida ELO del nodo de entrada IN y del nodo de salida EN, respectivamente, lo reciban. Más preferentemente, los osciladores locales de todos los nodos de la red conmutada por paquetes PN reciben la señal de reloj de referencia.

Preferentemente, el oscilador local de entrada ILO y el oscilador local de salida ELO están adaptados para procesar la señal de reloj de referencia para generar respectivas señales de reloj que tienen periodos cpl y cpE. Preferentemente, los periodos cpl y cpE son sustancialmente iguales. Preferentemente, los periodos cpl y cpE son iguales a una fracción de segundo, por ejemplo pocos nanosegundos.

- 5 Preferentemente, el contador de tiempo de entrada TCI está configurado para contar el número de periodos de la señal de reloj del oscilador local de entrada ILO, comenzando a partir de un tiempo de inicio stI. Así mismo, el contador de tiempo de salida TCE está configurado para contar el número de periodos de la señal de reloj del oscilador local de salida ELO, comenzando a partir de un tiempo de inicio stE.

10 La Figura 2 muestra esquemáticamente los valores del contador de tiempo de entrada TCI y del contador de tiempo de salida TCE en función del tiempo. Los valores de cada uno del contador de tiempo de entrada TCI y del contador de tiempo de salida TCE en función del tiempo son representados esquemáticamente, en aras de la simplicidad, por respectivas curvas constantes monótonas ascendentes y por segmentos. Tales curvas representan el número de periodos de señales de reloj que se cuentan comenzando desde el tiempo de inicio stI o stE. En cada periodo cpl o cpE, este número aumenta en uno.

15 Dado que, según se ha mencionado en lo que antecede, los periodos cpl y cpE son sustancialmente iguales, en la Figura 2 los dos curvas correspondientes al contador de tiempo de entrada TCI y al contador de tiempo de salida TCE son sustancialmente paralelas. Si los tiempos de inicio stI y stE son diferentes, el contador de tiempo de entrada TCI y el contador de tiempo de salida TCE están desalineados en el tiempo por un desfase TO. Dado que los periodos cpl y cpE son sustancialmente iguales. El desfase TO es sustancialmente constante y es
20 sustancialmente igual a stE-stI.

Preferentemente, la interfaz de sincronización de entrada ISI y la interfaz de sincronización de salida ESI son módulos de soporte físico y/o de soporte lógico adaptados para procesar los mensajes de sincronización recibidos por el nodo de entrada IN y el nodo de salida EN, respectivamente, tal como se explicará con mayor detalle con posterioridad en el presente documento.

25 Con referencia a la Figura 1, con posterioridad en el presente documento se describirá con detalle la operación del sistema de comunicaciones CS. En aras de la simplicidad, solo se considerará el caso en el que se envía un mensaje de sincronización desde el nodo maestro MN al nodo esclavo SN. Sin embargo, esto no es limitante, dado que la operación del sistema de comunicaciones CS en la dirección opuesta es igual.

30 Se da por sentado, por ejemplo, que el nodo maestro MN genera un mensaje de sincronización SM para enviar un sello de tiempo al nodo esclavo SN.

La Figura 3a muestra el formato del mensaje de sincronización SM. Preferentemente, el mensaje de sincronización SM comprende una cabecera H-SM y un cuerpo B-SM. Preferentemente, la cabecera H-SM comprende un campo de ajuste AF adecuado para contener un tiempo de tránsito, tal como se explicará con mayor detalle con posterioridad en el presente documento. Preferentemente, el cuerpo B-SM comprende el sello de tiempo.
35 Preferentemente, el mensaje de sincronización SM es un mensaje de protocolo IEEE 1588™-2008. En este caso, preferentemente, el campo de ajuste AF es el campo Corrección definido por el protocolo IEEE 1588™-2008. Por ejemplo, el mensaje de sincronización SM puede ser un mensaje Sync o de seguimiento que porte el primer sello de tiempo t1, tal como se muestra en la Figura 3a a título de ejemplo. Alternativamente, el mensaje de sincronización SM puede ser un mensaje Delay_Resp que porte el cuarto sello de tiempo t4.

40 Tal como se muestra en la Figura 1, el nodo maestro MN envía el mensaje de sincronización SM al nodo de entrada IN de la red conmutada por paquetes PN a través del enlace de entrada IL. Preferentemente, cuando el mensaje de sincronización SM alcanza el nodo de entrada IN, la interfaz de sincronización de entrada ISI del nodo de entrada IN lee el valor actual t1* del contador de tiempo de entrada TCI y genera un sello de tiempo de entrada que tiene el valor t1*. Debe hacerse notar que, dado que el enlace de entrada IL es cableado, el retardo entre el momento en el
45 que se recibe el mensaje de sincronización SM en el nodo de entrada IN y el momento en el que se genera el sello de tiempo de entrada con el valor t1* puede estimarse con ventaja a priori o es desdeñable.

En este momento, la interfaz de sincronización de entrada ISI encapsula preferentemente el mensaje de sincronización SM en un mensaje de transferencia SM' que, además, comprende el sello de tiempo de entrada con el valor t1*. En la Figura 3b se muestra el formato del mensaje de transferencia SM'. Alternativamente, el sello de tiempo de entrada con el valor t1* puede ser insertado en el cuerpo B-SM del mensaje de sincronización SM. En el caso de que el mensaje de sincronización SM comprenda una secuencia de verificación de trama, esta secuencia de verificación de trama es recalculada después de que se haya insertado el sello de tiempo de entrada con el valor t1* en el cuerpo B-SM.
50

Acto seguido, el nodo de entrada IN envía el mensaje de transferencia SM', el cual, por medio de los nodos intermedios de la red conmutada por paquetes PN, alcanza el nodo de salida EN de la red conmutada por paquetes PN. Preferentemente, cada uno de los nodos intermedios recibe el mensaje de transferencia SM' del nodo
55

intermedio precedente y lo remite al siguiente nodo intermedio sin llevar a cabo ningún procesamiento del sello de tiempo de entrada con el valor $t1^*$.

5 Cuando el nodo de salida EN recibe el mensaje de transferencia SM', la interfaz de sincronización de salida ESI lee preferentemente el sello de tiempo de entrada con el valor $t1^*$, extrae el mensaje de sincronización SM y termina el mensaje de transferencia SM'. La interfaz de sincronización de salida ESI lee entonces, preferentemente, el valor actual $t2^*$ del contador de tiempo de salida TCE y genera un sello de tiempo de salida con el valor $t2^*$. Luego calcula un tiempo de tránsito TT como la diferencia entre tal sello de tiempo de salida y el sello de tiempo de entrada, es decir, la diferencia $t2^*-t1^*$, y escribe esta diferencia en el campo de ajuste AF de la cabecera H-SM del mensaje de sincronización SM. Acto seguido, el nodo de salida EN envía el mensaje de sincronización SM al nodo esclavo SN a través del enlace de salida EL. Debe hacerse notar que, dado que el enlace de salida EL es cableado, el retardo entre el momento en el que se genera el sello de tiempo de salida con el valor $t2^*$ y el momento en el que se envía el mensaje de sincronización SM por el nodo de salida EN puede estimarse con ventaja a priori o es desdéniable.

15 Tal como se muestra en la Figura 2, el tiempo de tránsito TT depende tanto del tiempo de tránsito real TTE (es decir, el intervalo de tiempo transcurrido entre el momento en el que el mensaje de sincronización SM ha sido recibido por el nodo de entrada IN y el momento en el que el mensaje de sincronización SM ha sido enviado por el nodo de salida EN) como del desfase TO entre el contador de tiempo de salida TCE y el contador de tiempo de entrada TCI. En particular, el tiempo de tránsito TT es sustancialmente igual a la diferencia entre el tiempo de tránsito real TTE y el desfase TO. En la Figura 2, por ejemplo, el desfase TO es positivo, dado que el contador de tiempo de salida TCE está retardado con respecto al contador de tiempo de entrada TCI. Por lo tanto, en esta situación, el tiempo de tránsito TT que es calculado por el nodo de salida EN es menor que el tiempo de tránsito real TTE.

20 Cuando el nodo esclavo SN recibe el mensaje de sincronización SM, lee, preferentemente, tanto la información de sincronización contenida en el mismo (es decir, el sello de tiempo $t1$) como el contenido del campo de ajuste AF, que contiene el tiempo de tránsito TT. Así, preferentemente, el nodo esclavo SN usa el tiempo de tránsito TT para ajustar el valor del sello de tiempo $t1$ para sincronizar la frecuencia de su reloj local a la frecuencia del reloj local del nodo maestro MN. Esta operación es similar a la operación definida en el protocolo IEEE 1588TM-2008, y no se encuentra dentro del alcance de la presente invención.

Ventajosamente, aunque el tiempo de tránsito TT no sea igual al tiempo de tránsito real TTE, el nodo esclavo SN es capaz, no obstante, de sincronizar con precisión la frecuencia de su reloj local con la frecuencia del reloj local del nodo maestro MN.

30 De hecho, tal como se ha descrito en lo que antecede, para sincronizar la frecuencia de su reloj local, el nodo esclavo SN usa un factor de frecuencia que depende de la diferencia entre dos primeros sellos de tiempo sucesivos $t1$ "- $t1$ " recibidos del nodo maestro MN. Según la primera realización de la presente invención, el nodo esclavo SN recibe un mensaje de sincronización (similar al mensaje SM) que comprende el primer sello de tiempo $t1'$ y un primer tiempo de tránsito TT', y un mensaje sucesivo de sincronización (similar al mensaje SM) que comprende un primer sello de tiempo sucesivo $t1''$ y un segundo tiempo de tránsito TT''. Preferentemente, el nodo esclavo SN ajusta los valores de los dos primeros sellos de tiempo $t1''$ y $t1'$ restando de cada uno de ellos el respectivo tiempo de tránsito TT'' y TT'. Dado que, tal como se ha mencionado en lo que antecede, cada uno de los primeros y segundos tiempos de tránsito TT'' y TT' comprende el desfase TO, que es sustancialmente igual para TT'' y TT', la diferencia entre los valores ajustados de los dos primeros sellos de tiempo $t1''$ y $t1'$ no depende del desfase TO.

40 Por lo tanto, ventajosamente, el procedimiento descrito en lo que antecede permite considerar el retardo que experimenta cada mensaje de sincronización cuando pasa por la red conmutada por paquetes PN y, así, mitigar el efecto de la variación en el retardo experimentada por los mensajes a través de la red conmutada por paquetes PN. Esto permite que el nodo esclavo SN recupere de forma fiable y precisa la sincronización de frecuencia de su reloj local.

45 Por último, ventajosamente, transferir el mensaje de sincronización tal como se ha descrito en lo que antecede requiere que solo el nodo de entrada IN y el nodo de salida EN de la red conmutada por paquetes PN estén dotados de la respectiva interfaz de sincronización de entrada ISI y de la respectiva interfaz de sincronización de salida ESI. Ventajosamente, esto implica que la transferencia descrita en lo que antecede de mensajes de sincronización a través de la red conmutada por paquetes PN es implementada añadiendo a la red conmutada por paquetes PN una cantidad de recursos que es menor que la cantidad requerida para implementar el mecanismo conocido de reloj transparente.

55 La Figura 4 muestra un sistema de comunicaciones CS' según una segunda realización de la presente invención. El sistema de comunicaciones CS' es sustancialmente igual al sistema de comunicaciones CS, salvo por el hecho de que la red conmutada por paquetes PN está sustituida por una red conmutada por paquetes PN'. La red conmutada por paquetes PN', a su vez, es sustancialmente igual a la red conmutada por paquetes PN, salvo por el hecho de que un nodo intermedio (es decir, no periférico) N1 de la misma tiene una estructura similar a la del nodo de entrada IN y del nodo de salida EN. Más preferentemente, cada nodo intermedio de la red conmutada por paquetes PN' tiene una estructura similar a la del nodo de entrada IN y al nodo de salida EN.

En particular, el nodo intermedio N1 comprende, preferentemente, un reloj local intermedio C1 y una interfaz de sincronización intermedia SI1 conectada al reloj local intermedio C1. A su vez, el reloj local intermedio C1 comprende un oscilador local intermedio LO1 y un contador de tiempo intermedio TC1 conectado al oscilador local intermedio LO1. Preferentemente, en el sistema de comunicaciones CS' de la Figura 4, el aparato fuente de sincronización SSA está configurado para proporcionar la señal de reloj de referencia también al oscilador local intermedio LO1 del nodo intermedio N1, posiblemente a través de otros nodos de la red conmutada por paquetes PN'. Más preferentemente, el aparato fuente de sincronización SSA está configurado para distribuir la señal de reloj de referencia a todos los nodos de la red conmutada por paquetes PN. El oscilador local intermedio LO1 está adaptado, preferentemente, para procesar la señal de reloj de referencia para generar una señal de reloj con un periodo cp1 sustancialmente igual a los periodos cpl y cpE. Preferentemente, el contador de tiempo intermedio TC1 está configurado para contar el número de periodos de la señal de reloj del oscilador local intermedio LO1 empezando con el tiempo de inicio st1, generalmente diferente de los tiempos de inicio stI y stE de los que parten el contador de tiempo de entrada TCI y el contador de tiempo de salida TCE.

Según la segunda realización de la presente invención, el nodo de entrada IN, el nodo intermedio N1 y el nodo de salida EN intercambian, dos a dos, mensajes de alineamiento para reducir o incluso cancelar el desfase entre los respectivos contadores de tiempo TCI, TC1 y TCE. En particular, para este fin, se escoge uno de los contadores de tiempo TCI, TC1, TCE como contador de tiempo de referencia y se reduce el desfase de los otros dos con respecto al contador de tiempo de referencia.

Con referencia a la Figura 4, se da por sentado, por ejemplo, que el contador de tiempo de referencia es el contador de tiempo de entrada TCI. Tal como se ha mencionado en lo que precede, el desfase entre el contador de tiempo de salida TCE y el contador de tiempo de entrada TCI es TO, que tiene un valor inicial igual a stE-stI. Se da por sentado, además, que TO' es el desfase entre el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de entrada TCI, que tiene un valor inicial igual a st1-stI.

Preferentemente, el nodo de entrada IN y el nodo intermedio N1 establecen un intercambio bidireccional de mensajes de alineamiento gracias al cual el nodo intermedio N1 reduce el desfase de su contador de tiempo TC1 con respecto al contador de tiempo de entrada TCI.

La Figura 5 muestra esquemáticamente el intercambio de mensajes de alineamiento mencionados en lo que precede. Preferentemente, el intercambio de mensajes de alineamiento entre el nodo de entrada IN y el nodo intermedio N1 comprende las etapas siguientes:

- 500) la interfaz de sincronización de entrada ISI genera un sello de tiempo T1 igual al valor actual del contador de tiempo de entrada TCI y el nodo de entrada IN, preferentemente, envía un primer mensaje de alineamiento AM1. Opcionalmente, el primer mensaje de alineamiento AM1 comprende el sello de tiempo T1 (esta opción no se muestra en la Figura 5);
- 501) si el primer mensaje de alineamiento AM1 no comprende el sello de tiempo T1, el nodo de entrada IN, preferentemente, envía un segundo mensaje de alineamiento AM2 que contiene el sello de tiempo T1 al nodo intermedio N1;
- 502) preferentemente, el nodo intermedio N1 recibe el primer mensaje de alineamiento AM1 y, sustancialmente a la vez, la interfaz de sincronización intermedia SI1 genera un sello de tiempo T2 igual al valor actual del contador de tiempo intermedio TC1. Si el primer mensaje de alineamiento AM1 comprende el sello de tiempo T1, durante la etapa 502 la interfaz de sincronización intermedia SI1 extrae, además, el sello de tiempo T1 del primer mensaje de alineamiento AM1 (opción no mostrada en la Figura 5);
- 503) si el primer mensaje de alineamiento AM1 no comprende el sello de tiempo T1, el nodo intermedio N1, preferentemente, recibe el segundo mensaje de alineamiento AM2 y la interfaz de sincronización intermedia SI1 extrae el sello de tiempo T1 del segundo mensaje de alineamiento AM2;
- 504) preferentemente, el nodo intermedio N1 envía un tercer mensaje de alineamiento AM3 al nodo de entrada IN y, sustancialmente al mismo tiempo, la interfaz de sincronización intermedia SI1 genera un sello de tiempo T3 igual al valor actual del contador de tiempo intermedio TC1;
- 505) preferentemente, el nodo de entrada IN recibe el tercer mensaje de alineamiento AM3 y, sustancialmente al mismo tiempo, la interfaz de sincronización intermedia SI1 genera un sello de tiempo T4 igual al valor actual del contador de tiempo de entrada TCI;
- 506) preferentemente, el nodo de entrada IN envía al nodo intermedio N1 un cuarto mensaje de alineamiento AM4 que comprende el sello de tiempo T4;
- 507) el nodo intermedio N1 recibe el cuarto mensaje de alineamiento AM4 y la interfaz de sincronización intermedia SI1 extrae el sello de tiempo T4 del cuarto mensaje de alineamiento AM4;
- 508) preferentemente, el nodo intermedio N1 calcula un retardo unidireccional medio D1 por medio de la ecuación siguiente:

$$D1 = \frac{(T2 - T1) + (T4 - T3)}{2} \quad [1]$$

y un desfase TO1 por medio de la ecuación siguiente:

$$TO1 = (T2 - T1) - D1 = \frac{(T2 - T1) - (T4 - T3)}{2} \quad [2]$$

Preferentemente, las etapas 500-508 son repetidas periódicamente. Un periodo menor de repetición permite ventajosamente reducir el desfase final entre el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de entrada TCI. Alternativamente, las etapas 500-508 son repetidas de forma no periódica.

5 En cada repetición, se escribe el retardo unidireccional medio en una memoria intermedia FIFO que tiene un tamaño N. En correspondencia, se escribe el desfase en una memoria intermedia FIFO adicional que tiene el mismo tamaño N. Cuando se han efectuado menos de N repeticiones, la memoria intermedia FIFO está parcialmente llena. Después de N repeticiones, la memoria intermedia FIFO está completamente llena. Preferentemente, cuando las etapas 500-508 son repetidas por N+1-ésima vez, se escribe un nuevo retardo unidireccional medio ON+1 en la memoria intermedia FIFO y se elimina el retardo unidireccional medio D1 escrito primero en la memoria intermedia FIFO.

10 Cada vez que se escribe un nuevo valor del retardo unidireccional medio en la memoria intermedia FIFO, el nodo intermedio N1 determina, preferentemente, un retardo mínimo D* entre los valores del retardo unidireccional medio contenidos en la memoria intermedia FIFO. Entonces, el nodo intermedio N1 determina un desfase TO* correspondiente al retardo mínimo D*. A continuación, el nodo intermedio N1 usa el valor TO* de desfase para reducir el desfase entre el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de entrada TCI.

15 El desfase TO* así determinado es, ventajosamente, el más cercano, entre los valores actualmente almacenados en la memoria intermedia FIFO adicional, al desfase real TO'. De hecho, tal como puede observarse en la Ecuación [2] anterior, cuanto más similar al retardo realmente acumulado en la dirección en un solo sentido es el retardo unidireccional medio calculado según la Ecuación [1], más precisa es la estimación del desfase entre el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de entrada TCI. Sin embargo, es más probable que ocurra esto cuando el tráfico por el enlace entre el nodo intermedio N1 y el nodo de entrada IN es bajo, es decir, cuando el retardo es mínimo. Debe hacerse notar que la red conmutada por paquetes PN es intrínsecamente simétrica (es decir, la capacidad de cada enlace es la misma en ambas direcciones). Esto garantiza que el retardo mínimo también sea simétrico; es decir, es el mismo en ambas direcciones.

20 Después, preferentemente, el nodo intermedio N1 suma el valor del desfase TO* al valor actual del contador de tiempo intermedio TC1, tal como se muestra en la Figura 6. Si el desfase TO* es igual al desfase real TO' (es decir, st1-stl), esta operación permite alinear el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de entrada TCI. Si, por el contrario, tal como se muestra en la Figura 6, el desfase TO* es diferente del desfase real TO' (es decir, st1-stl), esta operación permite, de cualquier modo, reducir (pero no cancelar) el desfase entre el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de entrada TCI.

25 En cada repetición sucesiva de las etapas 500-508, el desfase puede ser reducido adicionalmente. Así, el desfase disminuye con el tiempo y, con un número imprevisible de repeticiones de las etapas 500-508, puede ser cancelado, de modo que el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de entrada TCI estén alineados.

30 Acto seguido, el nodo intermedio N1 y el nodo de salida EN establecen preferentemente un intercambio bidireccional de mensajes de alineamiento gracias al cual el nodo de salida EN reduce el desfase entre el contador de tiempo de salida TCE y el contador de tiempo intermedio TC1. El intercambio de mensajes y el procesamiento sucesivo de su contenido por el nodo de salida EN son idénticos a lo que se ha descrito en lo que antecede con respecto a la Figura 5. Por lo tanto, no se repetirá aquí una descripción detallada.

35 Como consecuencia de los intercambios de mensajes de alineamiento descritos en lo que antecede, el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de salida TCE reducen gradualmente su desfase con respecto al contador de tiempo de entrada TCI y, en un intervalo temporal imprevisible, pueden alinearse con respecto al contador de tiempo de entrada TCI.

40 Preferentemente, el nodo de entrada IN puede decidir reiniciar el procedimiento de alineamiento y, en consecuencia, enviar a los nodos que están alineando con él sus contadores de tiempo instrucciones adecuadas para que pongan a cero sus memorias intermedias FIFO y sus memorias intermedias FIFO adicionales. En este caso, el nodo de entrada IN envía preferentemente al nodo intermedio N1 (por ejemplo, embebido en uno de los mensajes de alineamiento intercambiados con el nodo intermedio N1) una instrucción para que reinicie el procedimiento de alineamiento. El nodo intermedio N1 propaga preferentemente esta instrucción al nodo de salida EN dentro de uno de los mensajes de alineamiento intercambiados con el nodo de salida EN. En el caso de que todos los nodos de la red conmutada por paquetes PN' estén configurados para soportar el procedimiento de alineamiento anterior, la instrucción se propaga nodo a nodo desde el nodo de entrada IN por toda la red conmutada por paquetes PN'. Según una variante ventajosa adicional, la instrucción para reiniciar el procedimiento de alineamiento puede ser introducida manualmente por un operador en un nodo (ya sea nodo de entrada IN o un nodo adicional) de la red

conmutada por paquetes PN'. En este caso, preferentemente, la instrucción es propagada entonces por el nodo que recibe la instrucción manual a los nodos que están intentando alinear sus contadores de tiempo con el contador de tiempo del nodo.

5 Con referencia a la Figura 4, se da por sentado ahora que el nodo maestro MN envía un mensaje de sincronización SM (por ejemplo, un mensaje Sync que contiene un primer sello de tiempo t1 según el protocolo IEEE 1588™-2008) al nodo de entrada IN de la red conmutada por paquetes PN' a través del enlace de entrada IL. En aras de la simplicidad, se da por sentado que, cuando se envía el mensaje de sincronización SM, el contador de tiempo intermedio TC1 y el contador de tiempo de salida TCE están alineados con respecto al contador de tiempo de entrada TCI.

10 Preferentemente, cuando el mensaje de sincronización SM alcanza el nodo de entrada IN, la interfaz de sincronización de entrada ISI del nodo de entrada IN lee el valor actual t1* del contador de tiempo de entrada TCI y genera un sello de tiempo de entrada con el valor t1*.

En ese momento, la interfaz de sincronización de entrada ISI encapsula preferentemente el mensaje de sincronización SM en un mensaje de transferencia SM' que, además, comprende el sello de tiempo con el valor t1*.

15 A continuación, el nodo de entrada IN envía el mensaje de transferencia SM', el cual, a través del nodo intermedio N1, alcanza el nodo de salida EN de la red conmutada por paquetes PN'. Preferentemente, el nodo intermedio N1 recibe el mensaje de transferencia SM' del nodo de entrada IN y lo remite al nodo de salida EN sin llevar a cabo ningún procesamiento del sello de tiempo de entrada con el valor t1*.

20 Cuando el nodo de salida EN recibe el mensaje de transferencia SM', la interfaz de sincronización de salida ESI lee preferentemente el sello de tiempo de entrada con el valor t1*, extrae el mensaje de sincronización SM y termina el mensaje de transferencia SM'. La interfaz de sincronización de salida ESI lee entonces, preferentemente, el valor actual t2* del contador de tiempo de salida TCE y genera un sello de tiempo de salida con el valor t2*. Luego calcula un tiempo de tránsito TT como la diferencia entre tal sello de tiempo de salida y el sello de tiempo de entrada, es decir, la diferencia t2*-t1*, y escribe esta diferencia en el campo de ajuste AF de la cabecera H-SM del mensaje de sincronización SM.

25 Ventajosamente, el tiempo de tránsito TT según esta segunda realización es sustancialmente igual al tiempo de tránsito real TTE (es decir, el intervalo de tiempo transcurrido entre el momento en el que el nodo de entrada IN ha recibido el mensaje de sincronización SM y el momento en el que el nodo de salida EN ha enviado el mensaje de sincronización SM), dado que el desfase TO entre el contador de tiempo de salida TCE y el contador de tiempo de entrada TCI es cero. En cualquier caso, aunque el desfase TO entre el contador de tiempo de salida TCE y el contador de tiempo de entrada TCI no sea cero, es, en todo caso, menor que el valor inicial stE-stI gracias a los intercambios de mensajes de alineamiento descritos en lo que antecede.

30 Cuando el nodo esclavo SN recibe el mensaje de sincronización SM, lee, preferentemente, tanto la información de sincronización contenida en él (es decir, el sello de tiempo t1) como el contenido del campo de ajuste AF, que contiene el tiempo de tránsito TT. Luego, preferentemente, el nodo esclavo SN usa el tiempo de tránsito TT para ajustar el valor del sello de tiempo t1 para sincronizar la frecuencia y la hora del día de su reloj local a los del nodo maestro MN. Esta operación no será descrita aquí con mayor detalle, dado que es similar a la operación definida por el protocolo IEEE 1588™-2008, y no se encuentra dentro del alcance de la presente invención.

40 La precisión de la sincronización de la hora del día depende del periodo de la señal de reloj de referencia generada por el aparato fuente de sincronización SSA. Por ejemplo, si el periodo de la señal es del orden de nanosegundos, al hora del reloj local del nodo esclavo SN puede ser sincronizada con el reloj local del nodo maestro MN con una resolución del orden de nanosegundos.

Por lo tanto, ventajosamente, según esta segunda realización, el nodo esclavo SN es capaz de sincronizar de manera fiable y precisa tanto la frecuencia como la hora del día con el nodo maestro MN.

45 En la Figura 4, en aras de la simplicidad, se ha dado por sentado que solo el nodo intermedio N1 está configurado para implementar la reducción del desfase de su contador de tiempo con respecto al contador de tiempo de referencia. Sin embargo, preferentemente, todos los nodos de la red conmutada por paquetes PN' están configurados para implementar la reducción del desfase. Ventajosamente, esto permite "propagar" en cascada la reducción del desfase de los contadores de tiempo con respecto al contador de tiempo de referencia en toda la red conmutada por paquetes PN'.

50 Ventajosamente, la implementación de la reducción del desfase en los nodos de la red conmutada por paquetes PN' requiere una cantidad menor de recursos de soporte físico y/o soporte lógico que la implementación del mecanismo conocido de reloj transparente descrito en lo que antecede. De hecho, ventajosamente, los mensajes de alineamiento pueden tener dimensiones menores que los mensajes de sincronización usados para implementar el mecanismo de reloj transparente. El ancho de banda requerido para la implementación de la reducción del desfase

55

es así ventajosamente menor que el ancho de banda requerido para implementar el intercambio de mensajes requerido para implementar el mecanismo de reloj transparente según el conocido protocolo IEEE 1588™-2008.

- 5 Según variantes ventajosas no mostradas en los dibujos, el nodo de entrada IN y el nodo de salida EN están dotados, preferentemente, de respectivos receptores de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) adecuados para recibir una información GPS de la hora del día. Ventajosamente, el nodo de entrada IN y el nodo de salida EN pueden usar esta información GPS de la hora del día para alinear sus contadores de tiempo TCI y TCE, respectivamente. Por lo tanto, en este caso, no se requiere el anterior procedimiento de alineamiento implementado intercambiando mensajes de alineamiento.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de transferencia de un mensaje de sincronización (SM) desde un nodo maestro (MN) a un nodo esclavo (SN) por medio de una red conmutada por paquetes (PN, PN'), estando **caracterizado** dicho procedimiento **por** las etapas de:
 - 5 a) proporcionar una señal de reloj de referencia a un nodo de entrada (IN) y a un nodo de salida (EN) de dicha red conmutada por paquetes (PN);
 - b) en dicho nodo de entrada (IN), recibir dicho mensaje de sincronización (SM) desde dicho nodo maestro (MN), generar un sello de tiempo de entrada ($t1^*$) con base en dicha señal de reloj de referencia, y enviar dicho mensaje de sincronización (SM) con dicho sello de tiempo de entrada ($t1^*$) a dicho nodo de salida (EN); y
 - 10 c) en dicho nodo de salida (EN), recibir dicho mensaje de sincronización (SM) y dicho sello de tiempo de entrada ($t1^*$), generar un sello de tiempo de salida ($t2^*$) con base en dicha señal de reloj de referencia, calcular un tiempo de tránsito (TT) como una diferencia entre dicho sello de tiempo de salida ($t2^*$) y dicho sello de tiempo de entrada ($t1^*$) y enviar dicho mensaje de sincronización (SM) y dicho tiempo de tránsito (TT) a dicho nodo esclavo (SN).

2. El procedimiento según la reivindicación 1 en el que:
 - dicha etapa b) comprende recibir dicha señal de reloj de referencia, procesar dicha señal de reloj de referencia para generar una primera señal de reloj local que tiene un primer periodo (cpl), y proporcionar un contador de tiempo de entrada (TCI) que cuenta un número de periodos de dicha primera señal de reloj local; y
 - dicha etapa c) comprende recibir dicha señal de reloj de referencia, procesar dicha señal de reloj de referencia para generar una segunda señal de reloj local que tiene un segundo periodo (cpE), y proporcionar un contador de tiempo de salida (TCE) que cuenta un número de periodos de dicha segunda señal de reloj local,

25 siendo dicho primer periodo (cpl) sustancialmente igual a dicho segundo periodo (cpE).

3. El procedimiento según la reivindicación 2 en el que:
 - en dicha etapa b), dicha generación comprende leer un primer valor actual ($t1^*$) de dicho contador de tiempo de entrada (TCI) y generar dicho sello de tiempo de entrada ($t1^*$) que tiene dicho primer valor actual ($t1^*$); y
 - 30 – en dicha etapa c), dicha generación comprende leer un segundo valor actual ($t2^*$) de dicho contador de tiempo de salida (TCE) y generar dicho sello de tiempo de salida ($t2^*$) que tiene dicho segundo valor actual ($t2^*$).

4. El procedimiento según las reivindicaciones 2 o 3 en el que:
 - dicho recuento de un número de periodos de dicha primera señal de reloj local comienza en un primer tiempo de inicio (stI); y
 - 35 – dicho recuento de un número de periodos de dicha segunda señal de reloj local comienza en un segundo tiempo de inicio (stE),

siendo una diferencia entre dicho primer tiempo de inicio (stI) y dicho segundo tiempo de inicio (stE) igual a un desfase (TO) entre dicho contador de tiempo de entrada (TCI) y dicho contador de tiempo de salida (TCE).

- 40 5. El procedimiento según la reivindicación 4 en el que dicho procedimiento comprende, además, una etapa que es llevada a cabo sustancialmente en paralelo a dichas etapas b) y c) de reducción o cancelación de dicho desfase (TO).

6. El procedimiento según la reivindicación 5 en el que dicha etapa de reducción o cancelación de dicho desfase (TO) comprende proporcionar a dicho nodo de entrada (IN) y a dicho nodo de salida (EN) una información de la hora del día de un sistema de posicionamiento global.

- 45 7. El procedimiento según la reivindicación 5 en el que dicha etapa de reducción o cancelación de dicho desfase (TO) comprende intercambiar al menos un mensaje de alineamiento entre dicho nodo de entrada (IN) y un nodo intermedio (N1) de dicha red conmutada por paquetes (PN) adyacente a dicho nodo de entrada (IN).

8. El procedimiento según la reivindicación 7 en el que la etapa a) comprende, además, proporcionar dicha señal de reloj de referencia a un nodo intermedio (N1) de dicha red conmutada por paquetes (PN), comprendiendo además dicho procedimiento, en dicho nodo intermedio (N1):
 - recibir dicha señal de reloj de referencia;
- 50

- procesar dicha señal de reloj de referencia para generar una tercera señal de reloj local que tiene un tercer periodo (cp1), siendo dicho tercer periodo (cp1) sustancialmente igual a dicho primer periodo (cp1) y a dicho segundo periodo (cpE); y
- proporcionar un contador de tiempo intermedio (TC1) que cuenta un número de periodos de dicha tercera señal de reloj local, iniciándose dicho recuento en un tercer tiempo de inicio (st1), siendo una diferencia entre dicho tercer tiempo de inicio (st1) y dicho primer tiempo de inicio (st1) igual a un desfase adicional (TO') entre dicho contador de tiempo intermedio (TC1) y dicho contador de tiempo de entrada (TCI).

9. El procedimiento según la reivindicación 8 en el que dicha etapa de intercambio de al menos un mensaje de alineamiento entre dicho nodo de entrada (IN) y dicho nodo intermedio (N1) comprende repetir cíclicamente las siguientes subetapas:

- en dicho nodo de entrada (IN), generar un primer sello de tiempo T1 igual a un tercer valor actual de dicho contador de tiempo de entrada (TCI) y enviar un primer mensaje de alineamiento (AM1) a dicho nodo intermedio (N1);
- en dicho nodo de entrada (IN), enviar un segundo mensaje de alineamiento (AM2) que contiene dicho primer sello de tiempo T1 a dicho nodo intermedio (N1);
- en dicho nodo intermedio (N1), tras la recepción de dicho primer mensaje de alineamiento (AM1), generar un segundo sello de tiempo T2 igual a un cuarto valor actual de dicho contador de tiempo intermedio (TC1) y, tras la recepción de dicho segundo mensaje de alineamiento (AM2), extraer dicho primer sello de tiempo T1 de dicho segundo mensaje de alineamiento (AM2);
- en dicho nodo intermedio (N1), enviar un tercer mensaje de alineamiento (AM3) a dicho nodo de entrada (IN) y, sustancialmente al mismo tiempo, generar un tercer sello de tiempo T3 igual a un quinto valor actual de dicho contador de tiempo intermedio (TC1);
- en dicho nodo de entrada (IN), tras la recepción de dicho tercer mensaje de alineamiento (AM3), generar un cuarto sello de tiempo T4 igual a un sexto valor actual de dicho contador de tiempo de entrada (TCI) y enviar a dicho nodo intermedio (N1) un cuarto mensaje de alineamiento (AM4) que comprende dicho cuarto sello de tiempo T4;
- en dicho nodo intermedio (N1), tras la recepción de dicho cuarto mensaje de alineamiento (AM4), extraer dicho cuarto sello de tiempo T4 de dicho cuarto mensaje de alineamiento (AM4) y calcular un retardo unidireccional medio D1 por medio de la ecuación siguiente:

$$D1 = \frac{(T2 - T1) + (T4 - T3)}{2}$$

y otro desfase adicional TO1 por medio de la ecuación siguiente:

$$TO1 = (T2 - T1) - D1 = \frac{(T2 - T1) - (T4 - T3)}{2};$$

- en dicho nodo intermedio (N1), escribir dicho retardo unidireccional medio D1 en una memoria intermedia FIFO que tiene un tamaño N, y escribir dicho desfase adicional TO1 en una memoria intermedia FIFO adicional que tiene un tamaño N';
- en dicho nodo intermedio (N1), determinar un retardo mínimo D* en la memoria intermedia FIFO y determinar un correspondiente desfase TO* correspondiente a dicho retardo mínimo D* en dicha memoria intermedia FIFO adicional; y
- en dicho nodo intermedio (N1), usar dicho desfase TO* correspondiente para reducir dicho desfase adicional (TO') entre dicho contador de tiempo intermedio (TC1) y dicho contador de tiempo de entrada (TCI).

10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que:

- en dicha etapa b), dicho envío comprende encapsular dicho mensaje de sincronización (SM) y dicho sello de tiempo de entrada (t1*) en un mensaje de transferencia (SM'); y
- en dicha etapa c), dicha recepción comprende extraer dicho mensaje de sincronización (SM) y dicho sello de tiempo de entrada (t1*) de dicho mensaje de transferencia (SM').

11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 en el que:

- en dicha etapa b), dicho envío comprende insertar dicho sello de tiempo de entrada (t1*) en un cuerpo (B-SM) de dicho mensaje de sincronización (SM); y
- en dicha etapa c), dicha recepción comprende extraer dicho sello de tiempo de entrada (t1*) de dicho cuerpo (B-SM) de dicho mensaje de sincronización (SM).

12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que dicha etapa c) dicho envío comprende escribir dicho tiempo de tránsito (TT) en un campo de ajuste (AF) de una cabecera (H-SM) de dicho mensaje de sincronización (SM).
- 5 13. Un sistema de comunicaciones (CS) que comprende una red conmutada por paquetes (PN, PN'), un nodo maestro (MN) y un nodo esclavo (SN), comprendiendo dicha red conmutada por paquetes (PN) un nodo de entrada (IN) conectado a dicho nodo maestro (MN) y un nodo de salida (EN) conectado a dicho nodo esclavo (SN), comprendiendo además dicho sistema de comunicaciones (CS) un aparato fuente de sincronización (SSA) que coopera con dicha red conmutada por paquetes (PN), **caracterizado porque:**
- 10 – dicho aparato fuente de sincronización (SSA) está configurado para proporcionar una señal de reloj de referencia a dicho nodo de entrada (IN) y a dicho nodo de salida (EN);
- dicho nodo maestro (MN) está configurado para transmitir un mensaje de sincronización (SM) a dicho nodo esclavo (SN) a través de dicho nodo de entrada (IN) y dicho nodo de salida (EN);
- 15 – dicho nodo de entrada (IN) está configurado para recibir dicho mensaje de sincronización (SM) procedente de dicho nodo maestro (MN), generar un sello de tiempo de entrada ($t1^*$) con base en dicha señal de reloj de referencia, y enviar dicho mensaje de sincronización (SM) con dicho sello de tiempo de entrada ($t1^*$) a dicho nodo de salida (EN); y
- dicho nodo de salida (EN) está configurado para recibir dicho mensaje de sincronización (SM) y dicho sello de tiempo de entrada ($t1^*$) procedentes de dicho nodo de entrada (IN), generar un sello de tiempo de salida ($t2^*$) con base en dicha señal de reloj de referencia, calcular un tiempo de tránsito (TT) como una diferencia entre dicho sello de tiempo de salida ($t2^*$) y dicho sello de tiempo de entrada ($t1^*$) y enviar dicho mensaje de sincronización (SM) y dicho tiempo de tránsito (TT) a dicho nodo esclavo (SN).
- 20 14. El sistema de comunicaciones (CS) según la reivindicación 13 en el que dicho aparato fuente de sincronización (SSA) es un nodo de dicha red conmutada por paquetes (PN) o un aparato que coopera con dicha red conmutada por paquetes (PN).
- 25 15. El sistema de comunicaciones (CS) según las reivindicaciones 13 o 14 en el que:
- dicho nodo de entrada (IN) comprende un oscilador local de entrada (ILO) y un contador de tiempo de entrada (TCI) conectado a dicho oscilador local de entrada (ILO), estando configurado dicho oscilador local de entrada (ILO) para recibir dicha señal de reloj de referencia y para procesar dicha señal de reloj de referencia para generar una primera señal de reloj local que tiene un primer periodo (cpI) y estando configurado dicho contador de tiempo de entrada (TCI) para contar un número de periodos de dicha primera señal de reloj local; y
- 30 – dicho nodo de salida (EN) comprende un oscilador local de salida (ELO) y un contador de tiempo de salida (TCE) conectado a dicho oscilador local de salida (ELO), estando configurado dicho oscilador local de salida (ELO) para recibir dicha señal de reloj de referencia y para procesar dicha señal de reloj de referencia para generar una primera señal de reloj local que tiene un segundo periodo (cpE) y estando configurado dicho contador de tiempo de salida (TCE) para contar un número de periodos de dicha segunda señal de reloj local.
- 35

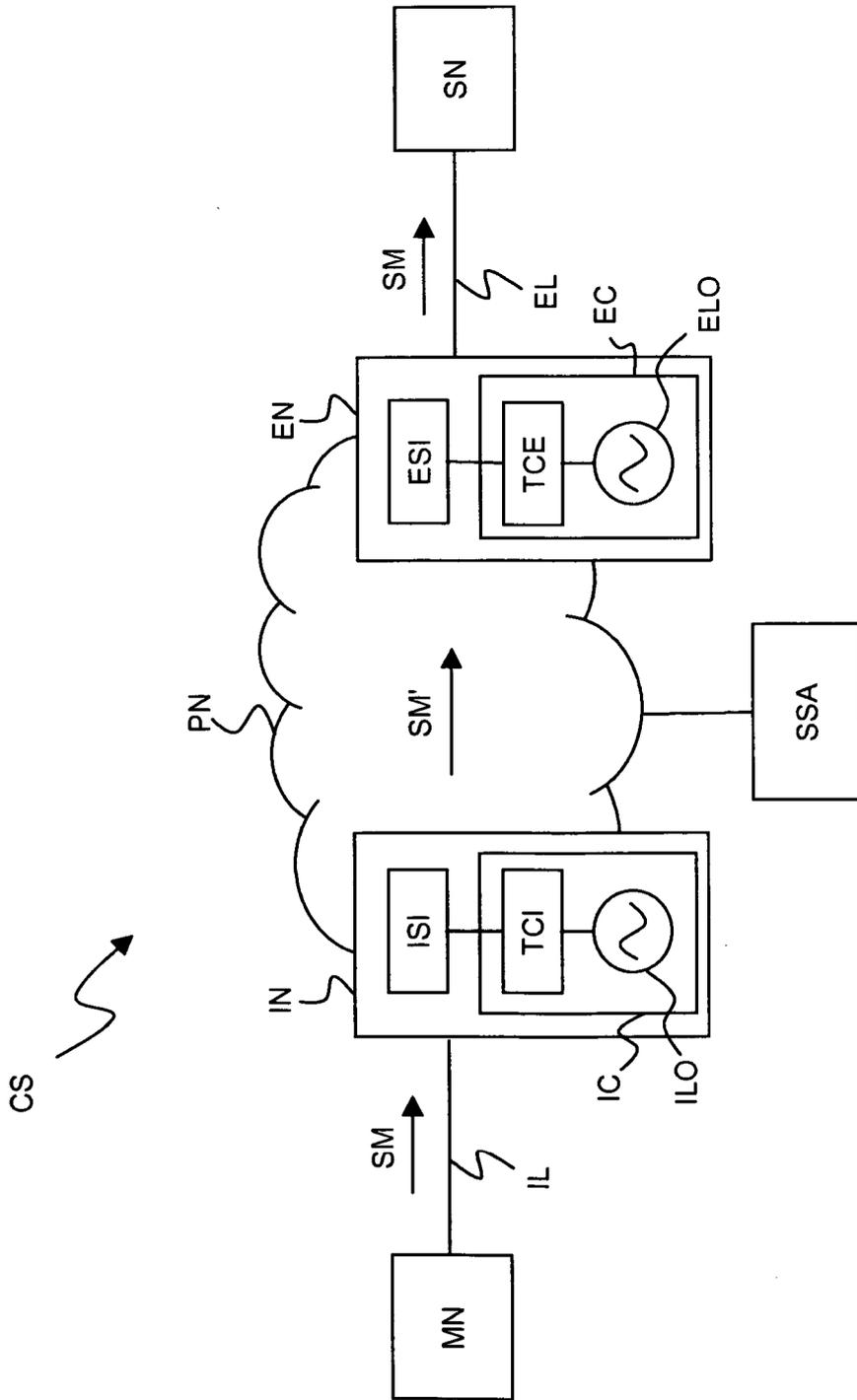


Figura 1

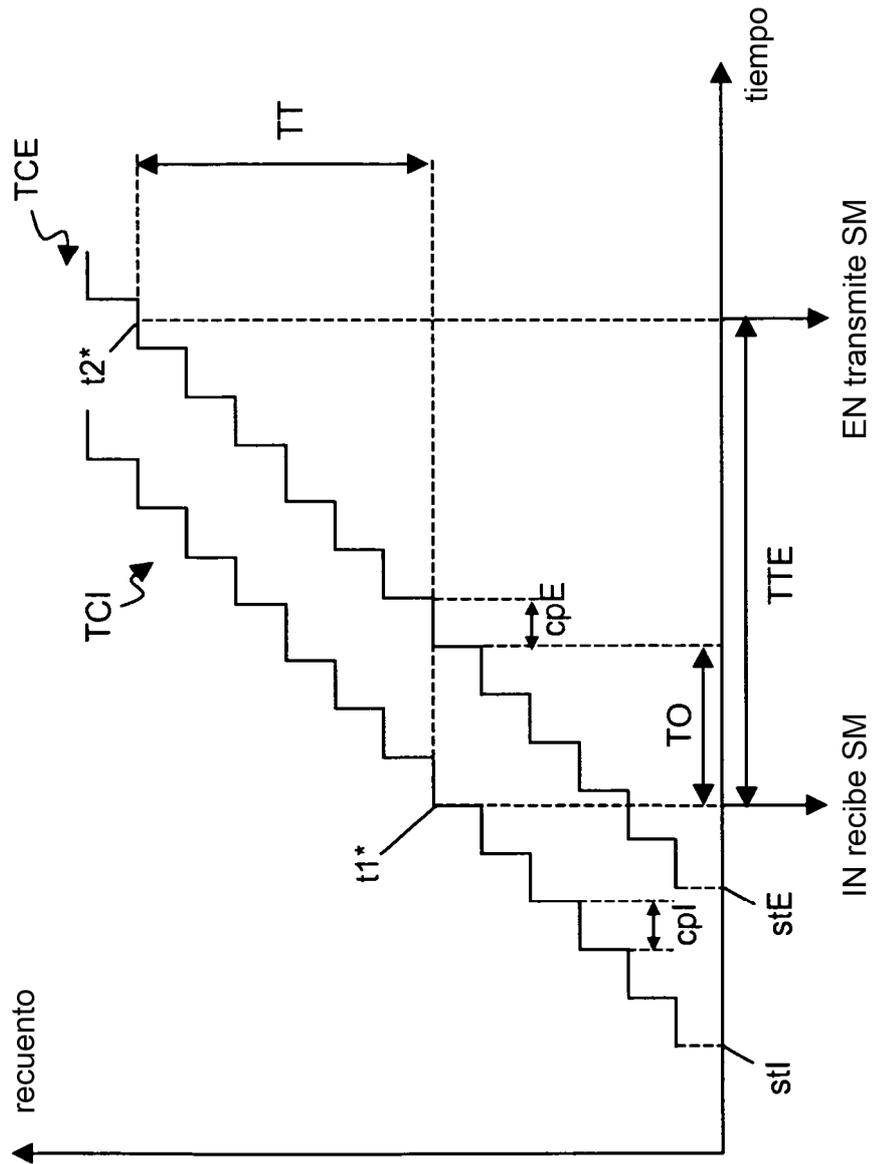


Figura 2

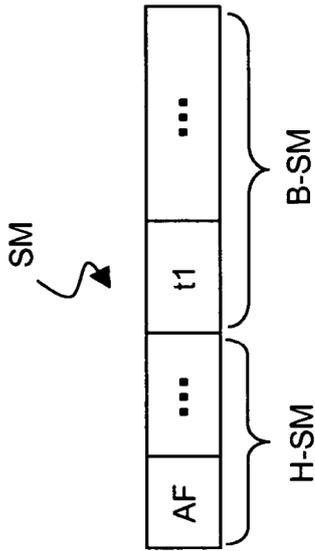


Figura 3a

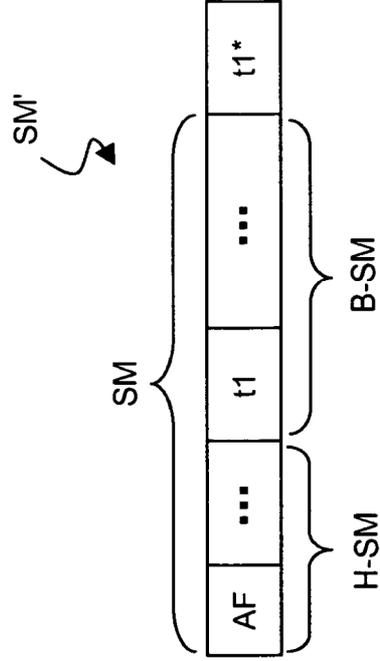


Figura 3b

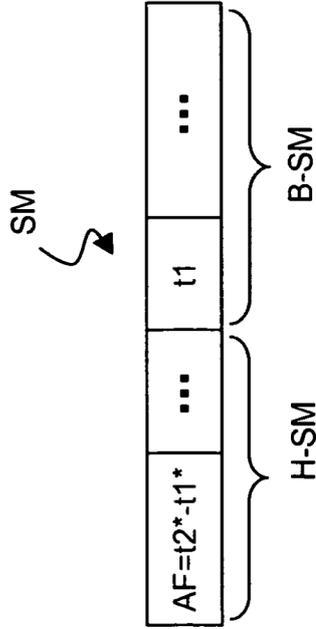


Figura 3c

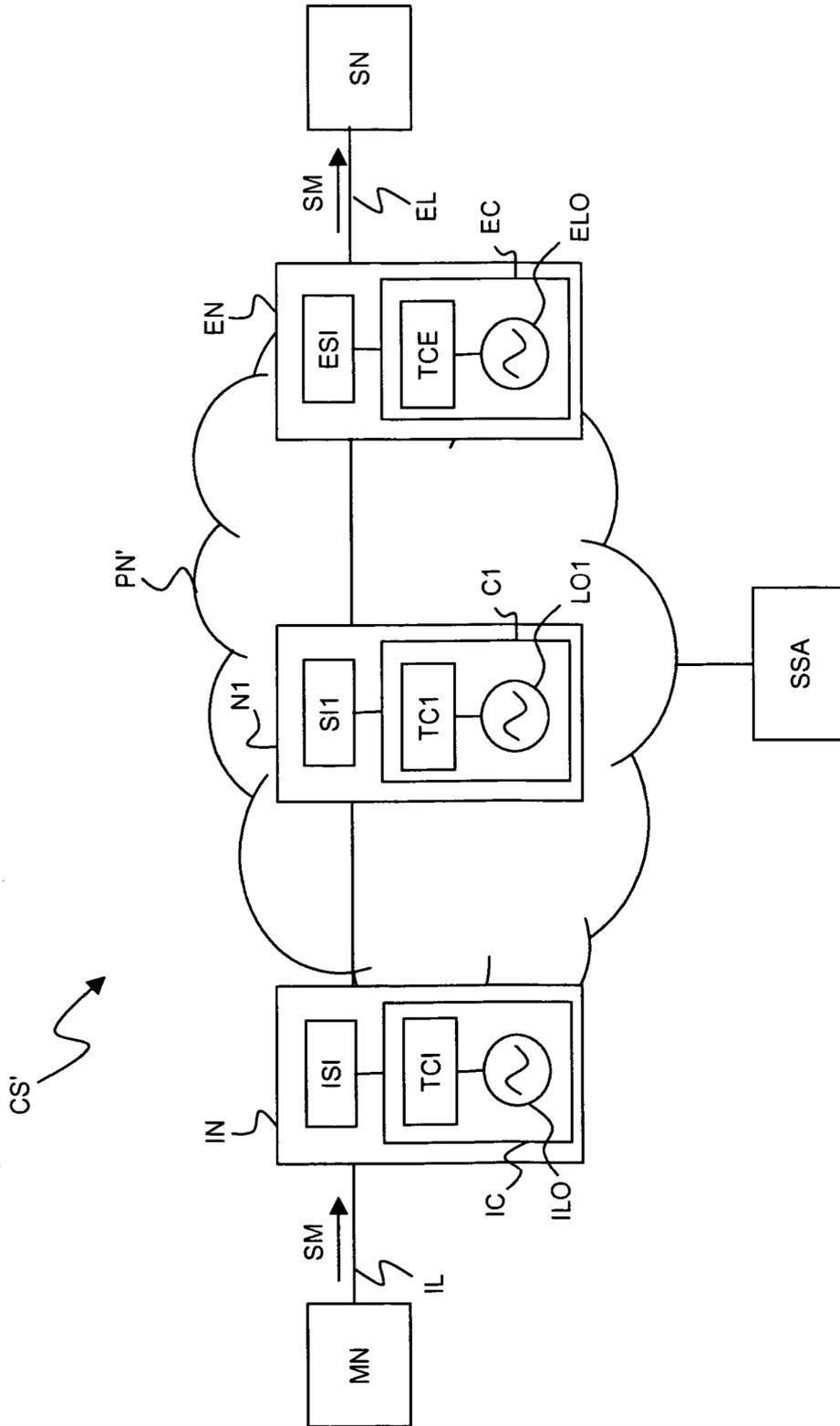


Figura 4

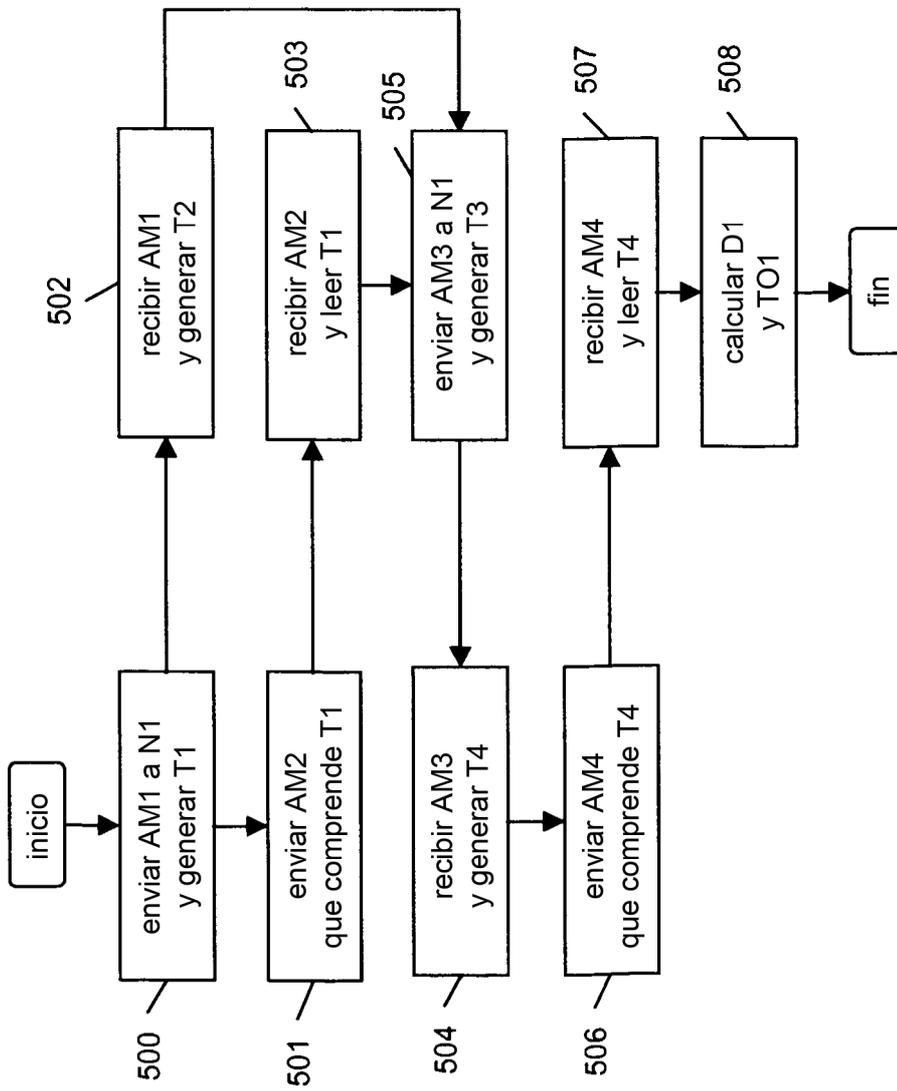


Figura 5

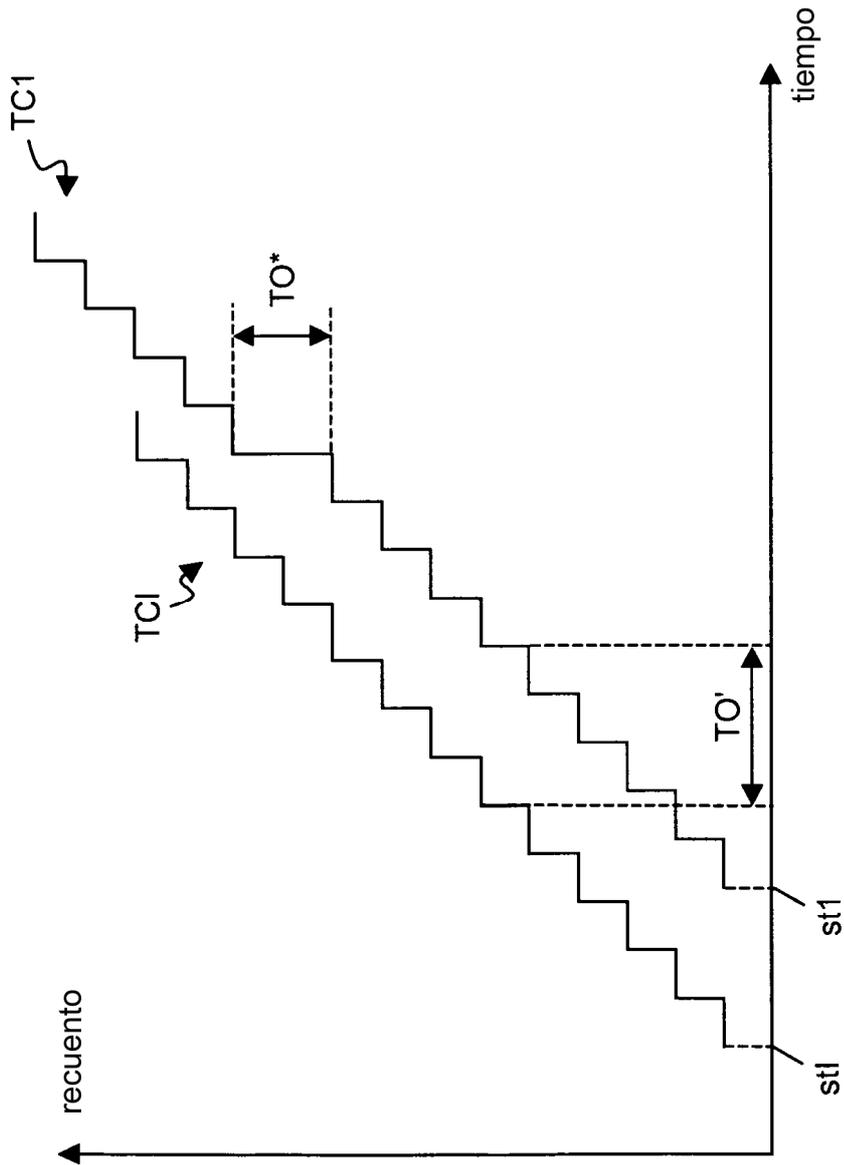


Figura 6