

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 835 318**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/204** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2018** **E 18176340 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2020** **EP 3579458**

54 Título: **Sistema para sincronizar un segmento terrestre a un satélite de salto de haz**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.06.2021**

73 Titular/es:

**ST ENGINEERING IDIRECT (EUROPE) CY NV**  
**(100.0%)**  
**Laarstraat 5**  
**9100 Sint-Niklaas, BE**

72 Inventor/es:

**BREYNAERT, DIRK y**  
**CHRISTOPOULOS, DIMITRIOS**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 835 318 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

Sistema para sincronizar un segmento terrestre a un satélite de salto de haz

**Campo de la invención**

La presente invención se refiere, en general, al campo de los sistemas de comunicación por satélite.

**5 Antecedentes de la invención**

En las redes de comunicación, el tráfico (por ejemplo, el tráfico de Internet) siempre se dirige a donde se necesita. Las cargas útiles de los satélites de comunicaciones estáticas logran esto iluminando de manera constante el área de cobertura, incluso en momentos en los que se solicita menos tráfico de comunicación, por lo que no se aprovechan de manera eficiente los recursos físicos disponibles. Por el contrario, el salto de haz ofrece la flexibilidad de redirigir dinámicamente, durante el funcionamiento, los recursos de carga útil (es decir, potencia, frecuencia, tiempo) a las ubicaciones geográficas, donde los receptores están solicitando tráfico de comunicaciones en un momento determinado. El salto de haz en las comunicaciones por satélite tiene como objetivo aumentar la flexibilidad para dirigir el tráfico de comunicación a los receptores (es decir, a los contornos de la tierra donde se encuentran los receptores) donde sea necesario. Un dispositivo de salto de un solo haz en un satélite de salto de haz ilumina múltiples contornos en la tierra, uno tras otro. Por ejemplo, supóngase que hay tres contornos C1, C2 y C3. Entonces, una posible secuencia de iluminación es, por ejemplo, C1 C1 C2 C3 C2 C1 C3 C3 C1 C2. La secuencia se repite de manera periódica. En este ejemplo, los receptores en el contorno C1 obtienen acceso a más recursos de satélite que los de los contornos C2 o C3. De esta manera, es posible la asignación flexible de recursos satelitales a contornos, lo que abre una amplia gama de oportunidades de mercado (por ejemplo, enviar más tráfico a puntos de conexión a Internet). El plan que describe la secuencia C1 C1 C2 C3 C2 C1 C3 C3 C1 C2 se llama plan de saltos. Con referencia a la figura 3 y la figura 11, se definen los siguientes parámetros de un sistema de salto de haz. El instante de tiempo en el que se inicia la ejecución de este plan por parte del satélite de salto de haz, es el Iniciodelplandesalto (SoHP – StartofHoppingPlan, en inglés), designado  $t_0$ . El tiempo mínimo durante el que un contorno se está iluminando se denomina intervalo de salto. Un contorno puede ser iluminado durante cualquier tiempo igual a un múltiplo entero del intervalo de salto. El instante de tiempo en el que el satélite dirige el haz de un contorno a otro se denomina instante de tiempo de conmutación. Por lo tanto, el primer instante de tiempo de conmutación es igual a  $t_0 + m \cdot$  intervalo de salto, en donde  $m$  designa un número entero. El plan de saltos puede ser dinámico, es decir, el operador del satélite puede modificarlo para adaptarse a las nuevas necesidades de tráfico de los clientes. La duración de la transmisión a la secuencia de contornos correspondiente a un plan de saltos particular se denomina período de salto. Pueden estar presentes múltiples dispositivos de salto de haz en un satélite de salto de haz.

Comenzando en SoHP, el plan de saltos se ejecuta hasta que se recibe un nuevo plan de saltos. Más específicamente, el instante de tiempo SoHP ( $n$ ) se define como el SoHP para el plan de saltos de orden  $n$ , a partir del cual el inicio de la repetición de orden  $k$  de ese plan de saltos de orden  $n$ , SoHP ( $n, k$ ), se puede calcular como  $\text{SoHP}(n, k) = \text{SoHP}(n) + k \cdot \text{HP}$ .

Un orden habitual de magnitudes de los parámetros aplicables a este problema es proporciona para comprender la complejidad del problema. Una velocidad de símbolos de portadora habitual es de 500 Mbaudios, que corresponde a un tiempo de símbolo de  $0,002 \mu\text{s}$  o de 2 ns. Una (super)trama de DVB-S2X (tal como se define en el documento del ETSI EN 302 307-2: "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part II (DVB-S2X)") tiene una longitud del orden de 20.000 (600.000) símbolos, lo que da como resultado una duración de trama de aproximadamente  $40 \mu\text{s}$  (1,2 ms). Un período de salto es de aproximadamente 250 ms. La duración de una conmutación de haz (más específicamente, el tiempo de subida y bajada de permanencia) es de aproximadamente 200 ns, por lo que para una portadora de 500 Mbaudios, la conmutación ocupa aproximadamente 100 símbolos. La precisión de la hora del GPS es de aproximadamente 100 ns.

Para garantizar un servicio ininterrumpido, el transmisor en tierra (o, en general, el segmento terrestre, que puede comprender múltiples transmisores) necesita alinear adecuadamente en el tiempo la señal transmitida correspondiente a un contorno particular con la iluminación de ese contorno por parte del satélite de salto de haz. Por ejemplo, la señal transmitida correspondiente al contorno C2 necesita llegar al satélite durante el tiempo que el satélite está iluminando el contorno C2.

En el presente documento, se consideran satélites en los que la carga útil de comunicación no puede retardar la señal recibida de una manera flexible a los contornos (tal como es posible, por ejemplo, cuando se utilizan satélites digitales que muestrean y almacenan en una memoria intermedia la señal recibida). Por lo tanto, los satélites considerados en la presente invención no pueden garantizar que la señal enviada en el enlace descendente hacia un contorno particular esté alineada con los tiempos de conmutación del haz antes y después de la iluminación de ese contorno.

Resumiendo, se puede afirmar que el satélite que conmuta uno o más haces sobre los contornos, es el principal de la dimensión temporal, y el uno o más transmisores del segmento terrestre se deben adaptar a él.

Habitualmente, se adopta un satélite de salto de haz para la comunicación de datos. Una realización habitual se basa en una red en estrella, en la que un transmisor en la puerta de enlace transmite en el llamado enlace hacia adelante (FWD – ForWarD, en inglés) a través del satélite hacia múltiples terminales. En el caso de la comunicación interactiva, los terminales transmiten en el llamado enlace de retorno (RTN – ReTurN, en inglés) a través del satélite hacia un receptor en la puerta de enlace. Si es necesario (por ejemplo, si el ancho de banda necesario en el enlace hacia adelante es mayor que el ancho de banda que se puede transmitir desde un solo transmisor) se utilizan más transmisores y/o receptores en la puerta de enlace. Además, una puerta de enlace puede interrumpir repentinamente su transmisión debido a algún fallo (por ejemplo, un fallo electrónico o una nube de lluvia intensa que bloquea la transmisión de un transmisor desde la puerta de enlace hasta el satélite). En dicho caso, se activa una puerta de enlace redundante o adicional para que se haga cargo de su transmisión, de modo que los usuarios no (o apenas) perciban una interrupción. Las otras puertas de enlace, o puertas de enlace redundantes no están situadas necesariamente en el mismo sitio que la primera puerta de enlace.

La figura 1A proporciona una ilustración. Un único controlador central está colocado en una de las múltiples ubicaciones posibles de la puerta de enlace (hasta N). Téngase en cuenta que también podría estar colocado en otro lugar, la ubicación del controlador central no es importante siempre que esté conectado a través de un enlace de comunicación a cada una de las puertas de enlace. En cada ubicación, como mínimo un bastidor con dispositivos demoduladores/moduladores y un servidor de placa (blade, en inglés) está conectado a través de una interfaz coaxial al equipo de RF (es decir, que comprende un supraconvertidor, un amplificador de alta potencia, una antena, etc.), respectivamente. Cada sitio de puerta de enlace está conectado de manera inalámbrica al satélite de salto de haz habitualmente con un retardo de enlace ascendente diferente, debido a las diferentes rutas de propagación. El satélite de salto de haz baja la señal a una o más ubicaciones, es decir, contornos, no todos activos simultáneamente. En algunos de los contornos, terminales de referencia, uno por cada puerta de enlace, están configurados conectados al controlador central por vía terrestre y, posiblemente, también a través del satélite de RTN.

El transmisor que se debe adaptar al satélite de salto de haz puede ser el transmisor de puerta de enlace, en el enlace hacia adelante, o el transmisor terminal, en el enlace de retorno. En el primer caso, el transmisor de la puerta de enlace debe alinear la transmisión para un contorno particular, con la iluminación de ese contorno. En este último caso, el terminal transmisor en un contorno debe alinear su transmisión de manera que llegue al satélite en el momento en que este satélite ilumina dicho contorno. Un satélite puede ser un satélite de salto de haz en el enlace hacia adelante y un satélite normal en el enlace de retorno, o viceversa. El salto de haz también puede ocurrir tanto en el enlace hacia adelante como en el de retorno. En el resto de esta descripción, se supone que tanto el enlace de retorno como el hacia adelante son enlaces de salto, para facilitar la comprensión, pero la invención también es aplicable si solo el enlace hacia adelante está saltando.

En el enlace hacia adelante de una red en estrella (en el que unos pocos transmisores de puerta de enlace transmiten normalmente a muchos terminales), los datos o el tráfico para un terminal determinado, que se encuentra en un contorno determinado, se emiten desde un procesador (por ejemplo, un procesador en un servidor) hacia el modulador, normalmente a través de un cable de Ethernet. El flujo de datos es una multiplexación en serie de datos para muchos terminales, considerando, por ejemplo, la cantidad de tráfico que necesitan todos los terminales, su plan de velocidades específico, equidad, etc. Dentro del modulador, también datos ficticios (por ejemplo, datos generados por un generador de PRBS, que es lo suficientemente aleatorio para no dañar el espectro de la señal; estos datos no serán decodificados por ningún terminal) son multiplexados con el flujo de datos para llenar la portadora (es decir, para evitar el desbordamiento de colas, la velocidad de datos es ligeramente menor que la velocidad de símbolos, con la consecuencia de que, de vez en cuando, se deben enviar datos ficticios para alcanzar una tasa de símbolos determinada; véase, por ejemplo, la inserción de tramas ficticias en el documento del ETSI EN 302 307-1: “Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part I (DVB-S2)”, Sección 5.5.1). El modulador en sí forma parte de la capa física de esta red y, por lo tanto, en general no sabe qué bits deben enviarse a qué contorno. Solo recibe secuencias de bits (por ejemplo, tramas de banda base de DVB-S2) que codifica, y a las que asigna símbolos y formas de impulso a una forma de onda que está modulada en una frecuencia portadora. El medio de modulación que comprende un filtro de transmisión o un conformador de impulsos solicita símbolos a la velocidad de símbolos. Si no hay ninguna trama disponible (porque la velocidad de datos es ligeramente menor que la velocidad de símbolos), datos ficticios (por ejemplo, una trama de símbolos ficticios proporcionados por la señalización de la capa física en el caso de DVB-S2, o símbolos ficticios o tramas ficticias de cualquier tipo en el caso de una supertrama de DVB-S2X) son proporcionados al conformador de impulsos.

En el enlace de retorno de una red en estrella (donde muchos transmisores de terminales transmiten a pocos receptores de puerta de enlace), los terminales comparten los recursos del satélite, lo que significa que los terminales deben estar organizados para transmitir señales ortogonales (sin interferirse en el tiempo o la frecuencia). Esto se logra, habitualmente, haciendo que los terminales dependan de una referencia de puerta de enlace común, tal como la referencia de reloj de la red (NCR - Network Clock Reference, en inglés). La NCR es un contador que se incrementa a la velocidad de un reloj interno que puede ser sincronizado con la hora del GPS, véase el estándar DVB-S2 Anexo G.5. Se ofrece una referencia de tiempo común para todos los terminales al incluir periódicamente el valor actual de la NCR en la señal de transmisión hacia adelante. Un marcador de posición para este valor de

- contador ya está reservado en las secuencias de bits enviadas desde el procesador (por ejemplo, en un servidor), pero el modulador vuelve a marcar el contenido final insertado en ese marcador de posición en un instante de tiempo en el que el tiempo de transmisión entre los símbolos subsiguientes ya no puede cambiar (por ejemplo, debido al almacenamiento en una memoria intermedia). Esto suele ocurrir justo antes de que los símbolos asignados sean procesados por el filtro de transmisión de dicho modulador. Al incluir dicha NCR, todos los terminales saben "qué hora es" según el mismo reloj y, por lo tanto, todos los terminales pueden transmitir en distintos intervalos de tiempo y bandas de frecuencia. La información de cuándo y durante cuánto tiempo debe transmitir cada terminal también es pasada del concentrador a los terminales a través del enlace hacia adelante.
- En el caso de que el tráfico en el enlace hacia adelante sea enrutado a un transmisor de puerta de enlace redundante (por ejemplo, debido a una nube de lluvia), el retardo de la ruta de un paquete puede aumentar (por ejemplo, porque los transmisores no están colocados o porque el tráfico debe viajar, en primer lugar, en una fibra desde la primera puerta de enlace hasta la redundante) y, de este modo, la NCR en los terminales no es estable (es decir, la diferencia entre los valores de NCR de dos tramas consecutivas diferentes puede ser mayor que la duración de la trama, lo que se conoce en lo que sigue como un salto de NCR). Hoy en día, los terminales suelen salir del bloqueo ante un salto de NCR o detectan el cambio repentino en la NCR y envían paquetes antes de tiempo con el mismo cambio, de tal manera que los paquetes aún llegan al mismo tiempo al demodulador del concentrador. En el caso de salto de haz en el enlace de retorno, dicho envío antes de tiempo de los paquetes del enlace de retorno provocaría una desalineación temporal de los paquetes con el satélite de salto de haz, lo que, por supuesto, no está permitido.
- Es necesaria una señal de transmisión continua desde el modulador de la puerta de enlace porque, en el enlace hacia adelante, el satélite está en modo de control de nivel automático (ALC – Automatic Level Control, en inglés), que está escalando la señal de entrada para mantener una potencia constante hacia el amplificador del satélite. En este modo de funcionamiento no está permitido que se descarte la señal de entrada al satélite, lo que explica por qué se requiere "llenar" la portadora hacia adelante con datos ficticios, tal como se mencionó anteriormente.
- Los múltiples transmisores de puerta de enlace (por ejemplo, transmisores de puerta de enlace adicionales o redundantes) no siempre están situados en el mismo sitio, por lo que los retardos de transmisión entre uno o más transmisores y el satélite son diferentes. Además, a medida que el satélite se desplaza, los retardos en la transmisión cambian constantemente. Lo mismo ocurre con el enlace de retorno, donde los propios transmisores del terminal también pueden ser móviles.
- Por lo tanto, el principal problema de comunicarse a través de un satélite de salto de haz en una red se puede plantear en cómo encontrar un mecanismo para que cualquier transmisor sepa en qué instante debe transmitir una trama de manera que sea amplificada por el satélite en el intervalo de salto correcto. Esto se complica, entre otras cosas, por las siguientes limitaciones:
- El transmisor de la puerta de enlace debe funcionar continuamente sin interrumpir la señal, ya que el enlace hacia adelante está en modo de control automático de nivel (ALC), para compensar los posibles desvanecimientos del enlace ascendente.
  - Los propios moduladores forman parte de la capa física y, habitualmente, no conocen los contornos. Además, los propios moduladores añaden de vez en cuando datos ficticios que retardan las tramas de datos, posiblemente provocando una desalineación con el satélite de salto de haz.
  - El transmisor de la puerta de enlace ya no es el principal de la sincronización, ya que se debe adaptar al satélite de salto. Sin embargo, su papel de principal es necesario para organizar las transmisiones de enlace de retorno desde los terminales en redes en estrella. Se debe encontrar una solución para este problema.
  - Además, en un enlace de retorno con salto de haz, el terminal no solo debe transmitir ortogonalmente, sino también en la ventana de tiempo correcta, de manera que su transmisión llegue al satélite en el instante en el que el satélite ilumina su contorno, lo que requiere adaptaciones de la organización del enlace de retorno actual. Por ejemplo, la NCR debe permanecer estable, también en el caso de un fallo del concentrador y reemplazo por un concentrador redundante, o en el caso de conmutación de concentrador.
- Estas limitaciones hacen que el diseño de la sincronización del segmento terrestre con un satélite de salto de haz sea un problema muy complejo, que no está resuelto en la técnica anterior.
- El concepto de un satélite dirigiendo en el tiempo la potencia de transmisión sobre múltiples contornos se conoce, en general, como TDMA conmutado por satélite. Sin embargo, documentos tales como US4763129 y US6992992 consideran únicamente los satélites regenerativos, es decir, con procesadores integrados que demodulan la señal recibida y la modulan antes de enviarla a los terminales. De esta manera, el satélite principal hace que la transmisión de enlace descendente dependa de su propio reloj y transmite correctamente los datos a los contornos respectivos en el momento correcto. El documento EP2549663B1 incluye un programador de paquetes integrado que recibe tráfico destinado a haces específicos desde una estación terrestre, y programa los paquetes en colas de enlace descendente. El objetivo es lograr la máxima eficiencia en la búsqueda de paquetes compatibles (es decir, reducir la

pérdida de mosaico) al tiempo que se proporciona un medio para lograr una equidad ponderada estadísticamente en la programación de paquetes para las celdas de destino.

Teniendo en cuenta la técnica anterior de sincronización general del reloj por satélite y del segmento terrestre, se han propuesto diversas soluciones para la sincronización del tiempo y la gestión de la desviación del reloj, tal como en los documentos US6452541, US6104729, US6295023, US2001/039192, US6215442, WO2016/160282 y US7660377. En esos documentos se supone que el transmisor de salto (es decir, el satélite, en este caso) puede modificar la señal de enlace descendente y, de este modo, enviar la información de sincronización al suelo. Además, no se explica cómo la organización del enlace de retorno se adapta al salto de haz, cómo los transmisores ajustan su señal para adaptarse a la información de temporización inferida, etc. El documento WO2016/160282 propone gestionar la desviación del reloj en lugar de corregirla, modificando los tiempos de seguridad para manejar las desviaciones del reloj. Se espera que esto conduzca a pérdidas de la alta eficiencia en los sistemas de salto de haz.

En el documento US2016/204854 A se describe el sistema de salto de haz completo que incluye una carga útil analógica de tubo doblado y un segmento de tierra. Se propone una secuencia específica de contornos con 16 intervalos de salto de 1,5 ms cada uno, lo que da como resultado un período de tiempo de 24 ms. El documento proporciona una explicación sobre cómo elegir la secuencia correcta de contornos para minimizar la fluctuación del retardo. El documento US2016/204854, sin embargo, no especifica cómo determina el transmisor el instante de tiempo en el que debe transmitir al satélite muestras correspondientes a un contorno determinado, o cómo organizar el enlace de retorno.

En las publicaciones “*Challenges of a flexible satellite payload on the payload and software tools*” (S. Amos et al., 3rd ESA Workshop on Advanced Flexible Telecom Payloads. Marzo de 2016, ESA/ESTEC, Noordwijk (NL)) and “*Eutelsat QUANTUM-class satellite: beam hopping*” (E. Feltrin et al., 3rd ESA Workshop on Advanced Flexible Telecom Payloads, Marzo de 2016, ESA/ESTEC, Noordwijk (NL)), se impone una restricción al haz de usuario del enlace descendente que debe ser recibido por un receptor en la puerta de enlace. Si la puerta de enlace no está en el contorno de los terminales remotos, esto se resuelve creando un haz “secundario”, dividiendo uno de los enlaces descendentes y redirigiéndolo a la posición de la puerta de enlace. En el caso del satélite Quantum, esto se puede lograr ya que un haz puede ser dirigido de manera flexible por medio de formación de haces, aunque se sacrifiquen algunos recursos del satélite (por ejemplo, el ancho de banda y las antenas). Esta sobrecarga aumenta aún más en el caso de utilizar múltiples puertas de enlace, por ejemplo, para conmutar sin problemas en el caso de desvanecimiento. Un detector, situado en el mismo sitio que el transmisor de la puerta de enlace, estima, en consecuencia, la desviación del tiempo mediante la recepción de la señal de enlace descendente. Sin embargo, no se menciona cómo pasa el detector el tiempo de conmutación al modulador y cómo ajusta el modulador su transmisión al mismo. Tampoco se explica cómo evita ese ajuste de la transmisión desbordamientos de la memoria intermedia o un retardo de paquetes demasiado grande, por ejemplo. Finalmente, no se especifica cómo se mantiene la sincronización del enlace de retorno basada en la NCR, también en el caso de salto de haz del enlace de retorno. Asimismo, cabe señalar que la creación de un haz secundario específico no es posible para todos los satélites. Un ejemplo de la técnica anterior es el documento US 2017/289822.

En ninguno de los documentos de la técnica anterior mencionados anteriormente se especifica cómo evitar que la inclusión requerida de datos ficticios en el flujo de transmisión desalinee el transmisor y el satélite de salto de haz.

Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema de comunicación por satélite para el tráfico de datos con la alineación apropiada del transmisor y el satélite de salto de haz, de modo que se maximice el rendimiento sobre el satélite de salto de haz.

### Compendio de la invención

Un objetivo de las realizaciones de la presente invención es proporcionar un sistema de comunicación por satélite en el que se logre una alineación de tiempo adecuada entre el transmisor y el satélite de salto de haz.

El objetivo anterior se logra mediante la solución de acuerdo con la presente invención.

En un primer aspecto, la invención se refiere a un sistema de comunicación por satélite dispuesto para iluminar consecutivamente una pluralidad de contornos en la tierra, y que comprende:

- un dispositivo transmisor, dispuesto para generar una señal a transmitir, y que comprende

\* uno o más creadores de tramas de salto dispuestos cada uno para recibir una secuencia de bits y para organizar la secuencia en una trama de salto de acuerdo con un plan de saltos que indica un orden en el que serán iluminados la pluralidad de contornos,

\* un medio de codificación por cada creador de tramas de salto, para asignar la trama de salto a una secuencia de símbolos digitales,

\* un medio de modulación por cada creador de tramas de salto, dispuesto para recibir la secuencia de símbolos digitales y para modular los símbolos digitales en una forma de onda a una velocidad de símbolo, obteniendo de

este modo una señal modulada a transmitir, y para iniciar la transmisión de la señal modulada en un instante de tiempo igual a un inicio de trama de salto, SoHF, instante de tiempo, estando dispuesto dicho medio de modulación para indicar al creador de tramas de salto cuándo se necesita una siguiente trama de salto, por lo que el creador de tramas de salto está dispuesto para insertar datos ficticios si no hay suficientes bits disponibles en la secuencia de bits cuando se necesita la siguiente trama de salto,

5 - un satélite, que comprende un transpondedor de salto de haz dispuesto para recibir la señal modulada y para enviar una versión de dicha señal modulada a un circuito de iluminación dispuesto en dicho satélite, para dirigir la iluminación de un contorno a otro contorno de acuerdo con dicho plan de saltos, comenzando dicha iluminación de dicho contorno a partir de un instante de tiempo de conmutación,

10 - uno o más dispositivos receptores en dicho contorno particular de la pluralidad de contornos a iluminar y disponer para recibir la señal de salida,

15 - un controlador central, que tiene un enlace de comunicación establecido, como mínimo, con uno de dichos dispositivos receptores y que está dispuesto para recibir a través de un enlace establecido información sobre las transiciones de iluminación observadas, comprendiendo dicho controlador central un medio de cálculo para calcular la información de sincronización actualizada para alinear en el tiempo el dispositivo transmisor y el transpondedor de salto de haz, en base a la información sobre las transiciones de iluminación observadas y en conexión con el dispositivo transmisor para pasar la información de sincronización actualizada al dispositivo transmisor.

20 De hecho, la solución propuesta permite determinar con precisión los tiempos de transmisión del Inicio de la trama de salto en el segmento terrestre del sistema de comunicación por satélite para optimizar el rendimiento sobre el satélite de salto de haz. Al proporcionar uno o más creadores de tramas de salto, es posible tener un medio de codificación y modulación por cada creador de tramas de salto. A continuación, el medio de modulación puede indicar a su creador de tramas de salto correspondiente, a través del medio de codificación, cuándo se necesita una trama de salto siguiente. En caso de que se disponga de un número insuficiente de bits en la entrada del creador de tramas de salto para completar una trama de salto siguiente, el creador de tramas de salto inserta una cantidad de datos ficticios según sea necesario. Téngase en cuenta que el satélite emite una versión de la señal modulada que puede haber sido objeto de una o más operaciones tales como amplificación, conversión de frecuencia, filtrado, ...

25 En una realización preferida, el medio de cálculo del controlador central está dispuesto para calcular una velocidad de símbolos ajustada para el dispositivo transmisor en base a una comparación de las transiciones de iluminación observadas con una versión deseada del instante de tiempo de conmutación.

30 El medio de cálculo del controlador central está dispuesto, ventajosamente, para calcular una estimación del SoHF.

En una realización, el SoHF se establece en un valor igual al instante de tiempo de conmutación menos un retardo de transmisión entre el dispositivo transmisor y el satélite que comprende el transpondedor de salto de haz.

En otras realizaciones, el medio de cálculo está dispuesto para determinar una velocidad de símbolos ajustada en base a la información de temporización actualizada.

35 En una realización, el SoHF se expresa en términos de un valor de una referencia de reloj de la red.

En una realización preferida, el sistema de comunicación por satélite está dispuesto para comparar el SoHF con un valor objetivo y para ajustar la velocidad de símbolos en base a dicha comparación.

En una realización, el dispositivo transmisor está dispuesto para eliminar uno o más símbolos antes de ajustar la tasa de símbolos.

40 En otra realización ventajosa, el sistema de comunicación por satélite comprende

- como mínimo, cuatro dispositivos transmisores con posición conocida y dispuestos para transmitir al satélite que comprende el transpondedor de salto de haz, y

45 - como mínimo, cuatro dispositivos receptores, estando conectado cada uno de los receptores a un dispositivo transmisor correspondiente de los, como mínimo, cuatro dispositivos transmisores, y teniendo cada uno un enlace de comunicación con el controlador central.

El controlador central está dispuesto, por lo tanto, preferiblemente, para calcular un SoHF para cada uno de los, como mínimo, cuatro dispositivos transmisores.

50 En ciertas realizaciones, el sistema comprende un dispositivo transmisor adicional con una posición conocida, dispuesto para recibir un instante de tiempo de SoHF diferente determinado en base a la posición del satélite y el instante de tiempo de conmutación obtenido utilizando los, como mínimo, cuatro dispositivos transmisores.

En otras realizaciones preferidas, el sistema de comunicación por satélite está dispuesto para ser utilizado en la transmisión a través de un enlace desde uno de los dispositivos receptores, a través del satélite, hacia el dispositivo

transmisor. Ese dispositivo receptor está dispuesto para el ajuste de la velocidad de símbolos en base a la señalización desde el dispositivo transmisor hacia el dispositivo receptor.

En una realización preferida, la señalización se basa en comparar un tiempo de recepción de una transmisión de dicho dispositivo receptor con un tiempo de recepción objetivo.

- 5 En ciertas realizaciones, el tiempo de recepción es un tiempo de recepción de un primer símbolo de una trama en dicha transmisión, y en donde dicho tiempo de recepción objetivo es un instante de tiempo de SoHF incrementado con dos veces dicho retardo de transmisión entre dicho dispositivo transmisor y dicho satélite que comprende dicho transpondedor de salto de haz.

10 Con el propósito de resumir la invención y las ventajas logradas sobre la técnica anterior, se han descrito anteriormente en el presente documento ciertos objetivos y ventajas de la invención. Por supuesto, se debe comprender que no necesariamente todos estos objetivos o ventajas se pueden lograr de acuerdo con cualquier realización particular de la invención. De este modo, por ejemplo, los expertos en la técnica reconocerán que la invención puede ser realizada o llevada a cabo de una manera que logre u optimice una ventaja o grupo de ventajas como se enseña en el presente documento sin lograr necesariamente otros objetivos o ventajas que se puedan enseñar o sugerir en el presente documento.

15 Los aspectos anteriores de la invención y otros resultarán evidentes y se aclararán con referencia a la o las realizaciones descritas a continuación en el presente documento.

### Breve descripción de los dibujos

20 La invención se describirá a continuación con más detalle, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que los mismos números de referencia se refieren a elementos similares en las diversas figuras.

La figura 1A presenta una descripción general de alto nivel de los componentes principales incluidos en un sistema de salto de haz. La figura 1B muestra detalles de un bastidor de banda L con salto de haz. La figura 1C ilustra dos dispositivos de salto separados en el eje vertical y, por cada dispositivo de salto, dos portadoras multiplexadas en los dominios de tiempo, frecuencia y espacio.

25 La figura 2 ilustra un diagrama de bloques de la cadena de comunicación de un solo satélite sobre el satélite de salto de haz.

La figura 3 ilustra un ejemplo de marca de tiempo para una red vía satélite, sobre dos instancias del período de salto de un plan de saltos de orden n.

30 La figura 4 ilustra un diagrama de bloques del bucle de corrección de tiempo distribuido, implementado con retardos realistas entre el controlador central, el modulador, el satélite de salto de haz y el terminal de referencia.

La figura 5 ilustra el modelo utilizado para simular el desplazamiento del satélite. El efecto del desplazamiento se considera agregando una variación de retardo sinusoidal, tal como se muestra en esta figura.

La figura 6 ilustra la respuesta de error de tiempo a una perturbación del caso más desfavorable inicial de 1e-3 segundos, incluido el retardo variable debido al desplazamiento del satélite.

35 La figura 7 ilustra la corrección de errores de frecuencia, o, en otras palabras, las adaptaciones de la velocidad de símbolos requeridas a lo largo del tiempo para alcanzar un estado estacionario, realizando un seguimiento del desplazamiento del satélite.

La figura 8 ilustra el error máximo de estado estacionario del bucle de corrección de tiempo, frente a la variación máxima del retardo de los sistemas de satélites GEO y no GEO.

40 La figura 9 ilustra un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional con posiciones de satélite y puerta de enlace establecidas como ejemplo.

La figura 10 ilustra los resultados del algoritmo de estimación de la posición del satélite para la sincronización con el satélite de salto de haz.

45 La figura 11 ilustra un diagrama de línea de tiempo de salto de haz entre la puerta de enlace, el satélite de salto de haz y un terminal.

La figura 12 ilustra un diagrama de bloques que incluye el creador de tramas de salto y los medios de modulación y codificación en hardware, conectados a la parte de RF.

### Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

50 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no está limitada a las mismas, sino únicamente a las reivindicaciones.

Además, los términos primero, segundo y similares en la descripción y en las reivindicaciones se utilizan para distinguir entre elementos similares, y no necesariamente para describir una secuencia, ya sea temporal, espacialmente, en clasificación o de cualquier otra manera. Se debe comprender que los términos utilizados de este modo son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en este documento pueden funcionar en otras secuencias distintas de las descritas o ilustradas en este documento.

Se debe observar que el término “que comprende”, utilizado en las reivindicaciones, no debe ser interpretado como restringido a los medios enumerados a continuación; no excluye otros elementos o etapas. Por lo tanto, se debe interpretar como una especificación de la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes indicados como que se hace referencia, pero no excluye la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas o componentes o grupos de los mismos. Por lo tanto, el alcance de la expresión “un dispositivo que comprende los medios A y B” no debe estar limitado a dispositivos que constan únicamente de los componentes A y B. Significa que, con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a “una realización” significa que una característica, estructura o característica particular descrita en relación con la realización se incluye, como mínimo, una realización de la presente invención. Por tanto, las apariciones de la frase “en una realización” en diversos lugares a lo largo de esta memoria descriptiva no se refieren necesariamente a la misma realización, pero pueden hacerlo. Además, las funcionalidades, estructuras o características particulares pueden ser combinadas de cualquier manera adecuada, como resultará evidente para un experto en la técnica a partir de esta descripción, en una o más realizaciones.

De manera similar, se debe apreciar que, en la descripción de las realizaciones a modo de ejemplo de la invención, diversas características de la invención a veces se agrupan en una sola realización, figura o descripción de la misma con el fin de simplificar la invención y ayudar en la comprensión de uno o más de los diversos aspectos de la invención. Sin embargo, este método de la invención no debe ser interpretado como un reflejo de la intención de que la invención reivindicada requiera más características distintas de las que se mencionan expresamente en cada reivindicación. Más bien, tal como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos se encuentran en menos de todas las características de una única realización descrita anteriormente. Por tanto, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada se incorporan expresamente en esta descripción detallada, y cada reivindicación se mantiene por sí sola como una realización separada de esta invención.

Además, aunque algunas realizaciones descritas en este documento incluyen algunas, pero no otras, características incluidas en otras realizaciones, se pretende que las combinaciones de características de diferentes realizaciones estén dentro del alcance de la invención y formen diferentes realizaciones, como lo entenderán los expertos en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las realizaciones reivindicadas puede ser utilizada en cualquier combinación.

Cabe señalar que la utilización de terminología particular al describir ciertas características o aspectos de la invención no debe implicar que la terminología se está redefiniendo en el presente documento para restringirla a incluir cualquier característica específica de las características o aspectos de la invención con los que esa terminología está asociada.

En la descripción proporcionada en el presente documento, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se comprende que las realizaciones de la invención se pueden poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, los métodos, estructuras y técnicas bien conocidos no se han mostrado en detalle para no oscurecer la comprensión de esta descripción.

La presente invención tiene como objetivo presentar un sistema de comunicación por satélite que no requiere la colocación de terminales de referencia con los transmisores de puerta de enlace. Da a conocer, además, en detalle, cómo ajusta el modulador su transmisión de datos y datos ficticios a los instantes de tiempo de conmutación detectados, sin causar retardos demasiado largos o desbordamientos de la memoria intermedia, o sin afectar la sincronización del enlace de retorno. Se explica cómo se puede cambiar el tráfico sin problemas a un transmisor redundante que está alineado inmediatamente con el satélite de salto de haz. El medio para lograr de manera eficiente y fiable esta sincronización se proporcionan en la presente invención.

En la presente invención se supone que la carga útil no puede retardar o modificar de manera variable la señal recibida, excepto para el direccionamiento del haz sobre diferentes contornos. Por tanto, además del salto de haz, el retardo de grupo integrado de la señal es estático.

Un servidor de placa es un ordenador de servidor simplificado con un diseño modular optimizado para minimizar la utilización de espacio físico y de energía. Los terminales a los que potencialmente se puede combinar el tráfico en una sola trama (estos terminales decodifican la misma portadora al mismo tiempo en el mismo contorno) se agrupan en una red vía satélite o satnet. Un procesador de red vía satélite (por ejemplo, un procesador de la unidad central de procesamiento (CPU – Central Processing Unit, en inglés) en un servidor de placa) es responsable de manejar el tráfico hacia adelante y de retorno (también conocido como entrante y saliente) asociado a una red vía satélite.

Se considera un sistema de comunicación por satélite en el que en el enlace hacia adelante un procesador de red (por ejemplo, un procesador en un servidor) multiplexa datos (también denominados tráfico) a un grupo de terminales en una trama que, a continuación, es enviada al modulador (por ejemplo, a través de un cable de Ethernet). Una trama de este tipo es, por ejemplo, una trama de banda base, pero también puede ser otro tipo de trama. La velocidad o tasa a la que dicha trama es enviada al modulador, depende de la velocidad promedio a la que son transmitidos los datos de este satélite por el aire (habitualmente igual a la velocidad de símbolos de la portadora transmitida, o una fracción de la misma en el caso de corte de tiempo, véase el estándar DVB-S2 Anexo M). A continuación, se hace referencia a la velocidad de símbolos de la portadora transmitida, pero esta invención también es aplicable a la división del tiempo o a otro mecanismo de compartición de una portadora sobre redes vía satélite.

Los datos en la trama del procesador son proporcionados a una velocidad que es ligeramente menor que la velocidad de símbolos de la portadora, para evitar desbordamientos de la memoria intermedia en el modulador, como bucle de control cerrado del modulador implementado en HW, mientras que el procesador de una red vía satélite con una salida en ráfaga es implementado en software, es un problema. En otras palabras, la contrapresión del modulador al procesador o servidor de una red vía satélite, que funciona en un dominio de reloj diferente al del modulador y podría conectarse a través de un cable de Ethernet, por ejemplo, no es sencilla. En el estado de la técnica, el instante de tiempo absoluto en el que los paquetes son enviados desde el conformador de la red vía satélite al modulador no es importante, siempre que la velocidad a la que se envían los paquetes cumpla la restricción anterior, es decir, sea menor que la velocidad de símbolos del modulador (por ejemplo, reducida en un 0,1%). Los datos para múltiples redes de satélites se pueden transmitir por el aire desde un solo modulador, ya sea en serie (por ejemplo, mediante división de tiempo en una gran portadora física, véase el estándar DVB-S2 Anexo M) o de manera paralela (por ejemplo, transmitiendo múltiples portadoras sobre frecuencias ortogonales; esas múltiples portadoras pueden estar presentes en un solo haz o iluminación de contorno). Por lo tanto, el procesador de la red vía satélite o múltiples procesadores de la red vía satélite envían múltiples flujos de datos, pertenecientes a múltiples redes de satélites, al modulador. A continuación, estas tramas son almacenadas en una memoria intermedia en un medio de almacenamiento en el modulador (por ejemplo, en el caso de corte de tiempo, para garantizar un tiempo mínimo entre tramas del mismo número de corte), por ejemplo, en una matriz de puertas programables en campo (FPGA – Field Programmable Gate Array, en inglés) o un circuito integrado de aplicación específica (ASIC – Application Specific Integrated Circuit, en inglés o chip). Posteriormente, cada trama es codificada por el modulador para enviar una trama con corrección de error hacia adelante (FEC – Forward Error Corrected, en inglés), mapeada a una trama de capa física de símbolos y con forma de impulso a una forma de onda de banda base. Esta forma de onda de banda base finalmente es convertida en una frecuencia portadora mediante un modulador IQ. Antes de realizar la conformación del impulso, el transmisor de la puerta de enlace reinicia el marcador de posición para la referencia de reloj de la red (NCR) con el valor real de un reloj de referencia en el modulador, de tal manera que se pueda hacer que todos los terminales dependan de este valor común, lo que les permite sincronizar sus transmisiones de enlace de retorno. El modulador es configurado (por ejemplo, la velocidad de símbolos) mediante un procesador de modulador local.

La figura 3 presenta un ejemplo de marca de tiempo para un satélite, en dos instancias del período de salto. Normalmente, la NCR se encuentra al inicio de la trama de banda base (BBF – Base Band Frame, en inglés) que se transporta. Esta trama puede estar en cualquier lugar de la primera trama de salto y podría reaparecer en la instancia posterior del período de salto. Más a menudo, la inserción de NCR también se puede implementar según los requisitos del sistema.

En realizaciones del sistema de comunicación por satélite según la invención, un dispositivo transmisor para la transmisión en el enlace hacia adelante sobre un satélite de salto de haz incluye un bloque en la entrada del modulador, que conoce el plan de saltos de ese satélite. Este bloque se denomina trama de salto y multiplexa las tramas recibidas del procesador de la red vía satélite en una trama de salto. Uno o varios creadores de tramas de salto, con los medios de modulación y codificación asociados y los recursos de capa física incorporados dedicados constituyen un único dispositivo de salto, tal como se ilustra en las figuras 1B y 1C.

Por ejemplo, supóngase que una sola portadora de 100 Mbaudios es transmitida consecutivamente en el tiempo sobre los contornos C1 C1 C2 C3 C2 C1 C3 C3 C1 C2. Por lo tanto, hay 10 intervalos de salto, en los que C1, C2 y C3 se iluminan 4, 3 y 3 veces, respectivamente. Las redes vía satélite 1, 2 y 3 tienen cada una la forma de las "velocidades de símbolos virtuales inferidas" de  $4/10 \cdot 100$ ,  $3/10 \cdot 100$  y  $3/10 \cdot 100$  Mbaudios, respectivamente, por los procesadores de la red vía satélite. Los flujos de datos resultantes son enviados al modulador (ya sea a través de múltiples puertos de entrada o, de manera multiplexada, a un solo puerto de entrada). Posteriormente, el creador de tramas de salto ordena a las tramas del satélite de salto de haz que se adhieran al plan de saltos. Por lo tanto, se necesita un creador de tramas de salto por cada dispositivo de salto de satélite (o por cada haz).

Las tramas enviadas por el modulador pueden ser de varios tipos, incluidas las tramas de DVB-S2 o de DVB-S2X normales o las supertramas de DVB-S2X (véase el estándar DVB-S2X Anexo E). Para evitar la pérdida de datos durante la conmutación de haz de un contorno a otro, se incluye una secuencia de datos ficticios al final, como mínimo, de la última trama enviada en un intervalo de salto. Puede ser una trama ficticia del estándar DVB-S2 (X) con 3.330 símbolos ficticios. En las supertramas de DVB-S2X se permite en algunos formatos (por ejemplo, en el formato 4) incluir varios símbolos ficticios dentro de una trama normal, siendo dicho número un múltiplo entero de 90. También se pueden utilizar otros tipos de datos ficticios. El objetivo final de sincronizar el transmisor con el satélite

de salto de haz es incluir un tiempo de seguridad igual a la duración del tiempo de conmutación del haz. El tiempo de seguridad incluye, en la práctica, un margen adicional para tener en cuenta los errores de sincronización.

El sistema de comunicaciones por satélite de la invención comprende, además, un único controlador central y un terminal por cada puerta de enlace, como mínimo, en uno de los contornos iluminados, por lo que, como mínimo, un terminal por cada puerta de enlace tiene un enlace de comunicación establecido hacia el controlador central. El enlace de comunicación establecido y operativo puede ser por satélite o a través de un enlace terrestre.

En la figura 1 se muestra una arquitectura de concentrador, a modo de ejemplo, para un satélite de salto de haz con dos dispositivos de salto de haz, cada uno dispuesto para saltos de ancho de banda de 250 MHz en 8 contornos de avance (FWD) y 8 de retorno (RTN). Con más detalle, en la figura 1A cada contorno representado representa un contorno de FWD y un contorno de RTN. Múltiples (hasta N) señales de enlace ascendente de puertas de enlace al satélite de salto de haz, cada una con un retardo de enlace ascendente  $UL\_retardo[n]$  (UpLink Delay, en inglés) independiente siendo  $n = 1, \dots, N$ . A continuación, estas señales son desviadas al conjunto de contornos 1 a 8. En el ejemplo presentado, los contornos de FWD y de RTN 1 a 4 pertenecen al dispositivo de salto de haz 1 y, los contornos 5 a 8, al dispositivo de salto de haz 2. Existe un terminal de referencia por cada puerta de enlace con conectividad de retorno terrestre y, opcionalmente, también satelital, al controlador central. El controlador central tiene conectividad con todas las puertas de enlace, por ejemplo, a través de Ethernet o de cables de fibra. A continuación, en la figura 1B se proporcionan detalles acerca de la banda L y de los bastidores de servidores. Las guías de onda (por ejemplo, cables coaxiales para interfaces de banda L) conectan el equipo de RF a los moduladores o demoduladores en el bastidor. Internamente en el modulador, están implementados múltiples creadores de tramas de salto, uno por cada portadora. Estos creadores de tramas están conectados a los servidores de placa que manejan la encapsulación y la configuración del tráfico antes de transmitir, por ejemplo, a través de interfaces de Ethernet. En la figura 1B también se muestra el concepto de una red vía satélite, que es un conjunto de terminales y su tráfico asociado, que pertenecen a un contorno y a una portadora. Se multiplexan varias redes vía satélite por cada trama. A su vez, cada red vía satélite está conectada al tráfico entrante de la red del cliente a través de una interfaz de Ethernet. Múltiples redes vía satélite pueden pertenecer al mismo contorno, por ejemplo, a través de diferentes operadores. La figura 1C muestra los dominios de frecuencia y tiempo en los ejes horizontales izquierdo y derecho (es decir, eje x), respectivamente. En el lado izquierdo, el eje vertical (es decir, el eje y) ilustra los dos dispositivos de salto separados, asociados con dos transpondedores separados (es decir, la electrónica a bordo del satélite que filtra y amplifica una parte del espectro de frecuencias). Por cada transpondedor (es decir, por dispositivo de salto) dos portadoras y, por lo tanto, dos redes vía satélite, son multiplexadas en el dominio de la frecuencia. En el lado derecho, el dominio del espacio está representado en el eje x. Allí se ilustra el conjunto de contornos asociados a cada una de los dispositivos de salto. En diferentes instantes del tiempo, diferentes pares de contornos son iluminados de manera simultánea. Cada contorno tiene una posición distinta en la tierra. Recursos idénticos (es decir, transpondedores, frecuencia, tiempo, posición en la tierra) están separados para reducir la interferencia. Por ejemplo, en las figuras 1B y 1C, las redes vía satélite 1 a 4 están aprovisionadas en la portadora A y sus tramas son creadas por el creador de tramas A de salto de haz (BH – Beam Hopping, en inglés). A continuación, las redes vía satélite 5 a 8 son aprovisionadas en la portadora B y sus tramas son creadas por el creador de tramas B de BH, y así sucesivamente. Las portadoras A y B, junto con los creadores de tramas A y B de BH, pertenecen al dispositivo de salto 1 y saltan los contornos 1 a 4 de manera síncrona en el tiempo. Las redes vía satélite 1 y 5 pertenecen al contorno 1, las redes vía satélite 2 y 6 pertenecen al contorno 2, y así sucesivamente, hasta las redes vía satélite 12 y 16, que pertenecen al contorno 8, aprovisionadas en la portadora D y saltan en el dispositivo de salto 2. Finalmente, la figura 1C ilustra la asignación de recursos de frecuencia, tiempo y potencia a bordo). Las portadoras A y B son enviadas al mismo tiempo al mismo contorno, por lo que la interferencia se minimiza mediante la transmisión en anchos de banda de frecuencia no superpuestos. Las portadoras A y C (así como B y D) ocupan el mismo ancho de banda de frecuencia, por lo que la interferencia se minimiza mediante la transmisión a diferentes contornos y/o en diferentes intervalos de tiempo. Los contornos 1 y 5 pueden ser iluminados simultáneamente por los soportes A y C, porque estos contornos están suficientemente separados en el espacio. El cálculo del plan de saltos podría tener como objetivo, por ejemplo, evitar la iluminación simultánea de los haces 4 y 5, a fin de evitar interferencias entre las portadoras situadas en el mismo canal (A-C y B-D).

En la figura 2, un diagrama de bloques ilustra la cadena de comunicación del segmento de tierra de salto de haz desde el conformador hasta el desencapsulador de un terminal. Comenzando desde el flujo de bits de origen, continúa con la encapsulación y la conformación convencional no relacionada con el salto de haz a tramas de banda base (BBF) de DVB-S2X, también habilitadas para codificación y modulación automáticas (ACM – Automatic Coding and Modulation, en inglés) a través del controlador de ACM, y, a continuación, codifica y modula a formas de onda específicas de salto de haz (por ejemplo, supertramas o tramas de DVB-S2X asignadas en una forma de onda dentro del modulador), envía en el enlace ascendente de RF al satélite de salto de haz, recibe en el terminal de referencia, desencapsula y retroalimenta hacia el controlador central. El controlador también recibe el plan de saltos del operador del satélite y es responsable de la sincronización de todos los moduladores con este plan.

De manera más detallada, el controlador central realiza una función central en la sincronización. El controlador central (CC – Central Controller, en inglés) coordina todos los bloques en los transmisores de puerta de enlace primero y adicionales para la alineación de tiempo exacta de la señal transmitida en el enlace hacia adelante a los instantes de tiempo de conmutación en el satélite de salto de haz. Entre otras cosas, en una realización preferida, el CC es el principal responsable de la estimación instantánea de tiempo de SoHF.

Un instante de tiempo de conmutación es un momento en el tiempo con precisión infinitesimal en el que se define el evento de conmutación para que un contorno pase de activo a inactivo y un siguiente contorno pase de inactivo a activo. En realidad, el evento de conmutación tiene una duración no infinitesimal, que se define como la duración de la conmutación del haz.

- 5 El instante de tiempo de conmutación en el que se ejecuta por primera vez el plan de saltos a bordo del satélite, denominado  $t_0$ , es proporcionado al segmento terrestre por el operador del satélite con una inexactitud que depende del sistema. Para garantizar la interoperabilidad con cualquier satélite de salto de haz, en una realización preferida, se propone un estimador de tiempo de SoHF para corregir el error entre el  $t_0$  real y el proporcionado (o compensaciones del mismo con un múltiplo del período de salto, por ejemplo, SoHF (n, k)). El CC se conecta a terminales retroalimentando las mediciones de transición de iluminación observadas. El CC calcula y distribuye todos los valores de temporización necesarios al transmisor de la puerta de enlace.

10 En ciertas realizaciones, la sincronización entre el transmisor de la puerta de enlace y el satélite de salto de haz se produce en dos etapas: una sincronización aproximada y, consecutivamente, una sincronización fina. La sincronización aproximada está prevista en el caso de que el error de tiempo inicial sea demasiado grande para que el bucle cerrado alcance un estado estacionario ajustando únicamente la velocidad de símbolos. Para evitar la inestabilidad del bucle, algunos símbolos pueden ser eliminados inicialmente antes de entrar en el proceso de sincronización fina que se describe en el presente documento. En otras realizaciones, la sincronización se obtiene de manera inmediata realizando solo la etapa fina. De hecho, tener solamente una etapa de sincronización fina puede ser suficiente (véanse los resultados de la simulación y la explicación que sigue).

15 La sincronización está destinada a garantizar que después de la iluminación de un contorno, los datos enviados a los terminales en ese contorno o a los terminales iluminados posteriormente no se corrompan. Se puede lograr una sincronización aproximada colocando símbolos en el modulador para obtener los límites en el tiempo de la trama, de una vez. El instante de tiempo de conmutación puede ser estimado por un terminal en el haz iluminado, ya que es el instante de tiempo en el que cae la potencia de la señal recibida del satélite. La sincronización fina adapta la velocidad de símbolos de transmisión para sincronizarse con el satélite de salto de haz y, también, para mantener la sincronización (por ejemplo, para realizar un seguimiento de su desplazamiento para realizar un seguimiento de las desviaciones del reloj, etc.). En cada terminal, la medición del instante del tiempo de conmutación tiene el tiempo del símbolo de portadora como la menor granularidad. Por ejemplo, para 500 Mbaudios este es 2 ns, que es lo suficientemente pequeño en términos de una duración de conmutación de haz de aproximadamente 200 ns. La ubicación relativa del tiempo de conmutación dentro de la trama transmitida por el modulador es transmitida desde el terminal al controlador central a través de un enlace establecido. Al inicio de la operación, esto se puede hacer a través de un enlace terrestre dedicado entre el terminal de referencia y el controlador central, y durante el funcionamiento en estado estacionario a través de cualquier enlace disponible.

20 Se presentan dos mecanismos a través de los cuales el controlador central puede sincronizar la transmisión del transmisor al satélite de salto de haz en el enlace hacia adelante:

35 (1) controlando la velocidad de símbolos de ese transmisor;

(2) pasando un instante de tiempo de inicio de trama de salto (SoHF) requerido a ese transmisor (y a otros) que controlan la velocidad de símbolos en función del mismo. El instante de tiempo de SoHF se estima estimando  $t_0$  (u, de manera equivalente, el SoHP (n, k)) y el retardo entre el transmisor y el satélite.

40 El enfoque (1) es suficiente para sincronizar un solo transmisor. El enfoque (2) es ventajoso porque facilita la organización del salto de haz del enlace de retorno y la conmutación perfecta de un transmisor a otro.

45 Tal como ya se mencionó, la ubicación relativa del instante de tiempo de conmutación dentro de la trama transmitida desde el modulador es pasada del terminal al controlador central. Esta información permite que el CC indique al modulador de puerta de enlace que ajuste su velocidad de símbolos de tal manera que los instantes de tiempo de conmutación caigan en la ubicación deseada (por ejemplo, el centro del tiempo de seguridad).

50 La velocidad de símbolos es realizada en el modulador mediante un oscilador controlado numéricamente (NCO – Numerically controlled Oscillator, en inglés), que incrementa un contador en cada evento de reloj. En el instante en que el contador binario alcanza el valor máximo que puede ser representado en una representación de bits finitos, se produce un evento válido de símbolo, lo que significa que se agrega un símbolo a la línea de retardo intervenida del filtro de conformador de impulsos en el modulador. Por ejemplo, para una velocidad de símbolos de 100 Mbaudios y una velocidad de reloj de 300 MHz, cada tres ciclos de reloj se debería producir un evento válido de símbolo. Para un valor de contador máximo de  $2^{44}$ , el valor del acumulador con el que el contador aumenta en cada ciclo de reloj equivale en consecuencia al número entero más cercano a  $2^{44}/3$ .

55 La instrucción desde el controlador central al modulador en el dispositivo transmisor puede ocurrir de múltiples formas. O el controlador pasa la desviación (o cualquier función de la misma) entre el instante de tiempo de conmutación real y deseado y el modulador tiene un bucle de control interno (por ejemplo, bucle de bloqueo de fase, PLL (Phase Lock Loop, en inglés, o bucle de bloqueo de retardo, DLL (Delay Lock Loop, en inglés) que controla al NCO que obtiene la velocidad de símbolos, para acercar la desviación a cero. La entrada de este bucle de control

interno es el error de temporización o de fase o cualquier función del mismo notificada por los terminales al CC. El controlador puede incrementar o disminuir directamente el valor del acumulador del NCO (y, por lo tanto, la velocidad de símbolos) a través de una configuración mediante software de este valor. El requisito para ambos es que este controlador tenga acceso directa o indirectamente (por ejemplo, a través del procesador del modulador) a los registros del modulador, para configurar la desviación o el valor del acumulador de la velocidad de símbolos.

A continuación, se proporciona un ejemplo numérico para ilustrar el enfoque (1), es decir, la sincronización, controlando la velocidad de transmisión de símbolos. Por ejemplo, un reloj a bordo de la nave espacial con una precisión de  $1e-7$  (es decir, 0,1 ppm) se traduce en una desviación del reloj de  $1 \mu\text{s}$  cada 10 segundos. Por lo tanto, se espera adaptar la velocidad de símbolos del transmisor de la puerta de enlace en  $1e-7$  para realizar un seguimiento de la desviación del reloj del satélite. Sin embargo, el reloj del transmisor de la puerta de enlace también se desvía, por ejemplo,  $\pm 5e-9$ , por lo que también está presente un error de reloj diferencial de  $\pm 1 \mu\text{s}$  cada 200 segundos, pero no se espera que tenga un efecto perjudicial en el sistema.

Para el método según el enfoque (1), es suficiente que el controlador calcule el instante de tiempo de conmutación en el receptor y lo compare con el instante de tiempo de conmutación deseado, como entrada para un ajuste de la velocidad de símbolos. Además, y más específicamente requerido para el enfoque (2) elaborado a continuación, un controlador puede estimar el SoHP (n, k) o  $t_0$  en base a un ciclo de corrección de tiempo distribuido, tal como se muestra en la figura 4. Se llevan a cabo simulaciones a nivel del sistema para mostrar la estabilidad del bucle de corrección de tiempo distribuido propuesto. Los resultados se muestran en las figuras 6, 7 y 8. A modo de ejemplo, el desplazamiento del satélite es modelizado por medio de una variación sinusoidal del retardo, tal como se muestra en la figura 5. Una perturbación de tiempo inicial de 1 ms (que es razonable, proporcionando una precisión de 100 ns de tiempo de GPS, desplazándose el satélite en su caja de mantenimiento de la posición, etc.), es alimentada al circuito, y el tiempo de establecimiento se calcula en menos de 1 minuto, tal como se muestra en las figuras 6 y 7. La variación de la velocidad de símbolos para lograr esta respuesta de tiempo se muestra en la figura 7, en la que se observa una compensación máxima de 300 kbaudios. De hecho, una compensación de 300 kbaudios significa que cada segundo, se transmiten 300.000 símbolos adicionales (para compensar un instante de tiempo de conmutación que cae demasiado pronto) o menos (para compensar un instante de tiempo de conmutación que cae demasiado tarde). Supóngase que el error en el instante de tiempo de conmutación fue la mitad de una supertrama, que es aproximadamente 300.000 símbolos; entonces este error es compensado con este ajuste después de 1 segundo. Teniendo en cuenta todas las desviaciones del reloj y el mecanismo de bucle de control, 1 minuto es suficiente para realizar un seguimiento del satélite de salto de haz. Es de conocimiento común para los expertos en la técnica que un demodulador que funcione a velocidades de símbolo de aproximadamente 36 Mbaudios o más puede permanecer bloqueado con compensaciones de la velocidad de símbolos de  $\pm 15\%$  de la velocidad de símbolos nominal. Puesto que 300 kbaudios es simplemente el 0,06% de una señal de 500 Mbaudios, cualquier receptor que realice un seguimiento de dichas variaciones de la velocidad de símbolos, puede funcionar normalmente. Por tanto, se concluye que un modulador variable de la velocidad de símbolos puede ser sincronizado con el satélite de salto de haz y realizar un seguimiento durante las operaciones normales. Finalmente, el error máximo de estado estacionario en el SoHP (n, k) real, para varios modelos de desplazamiento de satélites (definido por el período  $T_{\delta}$  de la variación de pico a pico) se muestra en la figura 8. En ella, está claro que el error de estado estacionario en el SoHP (n, k) es de menos de 1 ns para los satélites de órbita terrestre geoestacionaria (GEO – Geostationary Earth Orbit, en inglés), y de menos de  $1 \mu\text{s}$  para los satélites de órbita terrestre baja (LEO – Low Earth Orbit, en inglés). Puesto que  $1 \mu\text{s}$  corresponde a 500 símbolos a una velocidad de símbolo de 500 Mbaudios, estos valores del error de estado estacionario deben ser evitados. Esto se puede lograr optimizando aún más los parámetros del bucle de sincronización y/o incluyendo datos de efemérides del satélite. En este ejemplo, no se tienen en cuenta las efemérides o la posición de GPS exacta del satélite de LEO y no se ha realizado ninguna optimización sobre los parámetros del bucle. Por tanto, los resultados mostrados representan más bien el peor de los casos y son meramente indicativos.

La aproximación (1) solo requiere un terminal de referencia por cada puerta de enlace en solo uno de los haces, para alinear el transmisor con un satélite de salto de haz. Sin embargo, si el tráfico debe ser cambiado a un transmisor redundante, ese transmisor redundante debe ser alineado nuevamente con el satélite de salto de haz, ya que el tiempo de procesamiento de los datos antes de que sean transmitidos cambiará repentinamente. Por tanto, la conmutación no se produce sin problemas.

El método (2) comprende estimar el instante de tiempo real de SoHF, lo que requiere estimar  $t_0$  y el retardo entre el transmisor y el satélite de salto de haz. Al considerar el salto del haz del enlace de retorno y la conmutación sin interrupciones a moduladores redundantes, el enfoque (2) es, por lo tanto, más útil en ese contexto que el método 1, tal como se explica con más detalle a continuación.

En base al instante de tiempo de conmutación observado frente al deseado, conocido por el controlador, el controlador puede actualizar el instante de tiempo de SoHF estimado para el modulador (que depende del inicio del tiempo de salto en el satélite y del retardo entre el modulador y el satélite), que pasa al procesador modulador. En consecuencia, ese procesador del modulador ajusta la velocidad de símbolos hasta que los inicios de los tiempos de salto están alineados con los inicios de los tiempos de salto requeridos. Por ejemplo, el instante de tiempo pasado al procesador del modulador puede ser el instante de tiempo de SoHF (n) requerido para el primer símbolo del período de salto de orden n, o el SoHF (n, k) para el primer símbolo de la repetición de orden k del período de salto de orden

n, o el SoHF (n, k) + m T<sub>s</sub> para el símbolo de orden m de la repetición de orden k del período de salto de orden n, donde T<sub>s</sub> es el tiempo del símbolo. Alternativamente, puede ser el instante de tiempo de otro símbolo de la trama. Qué símbolo se toma correspondiente al tiempo de transmisión transcurrido, simplemente depende de la convención adoptada en la implementación. La trama de salto señala, a través de metadatos, junto con la trama, qué símbolo es ese símbolo en particular (por ejemplo, el primer símbolo de una trama de salto).

En lugar del instante de tiempo de SoHF, el controlador puede pasar cualquier métrica equivalente al instante de tiempo de SoHF (es decir, a partir del cual se puede obtener el instante de tiempo de SoHF para el modulador), por ejemplo, la posición del satélite y el tiempo de salto en el satélite. Este instante de tiempo de SoHF puede ser señalado al modulador de varias formas, ya sea a través de la trama de salto (que puede incluirlo, por ejemplo, en el marcador de posición de NCR, o en metadatos que viajan junto con los datos) o directamente del filtro de conformación de impulsos, por ejemplo.

A continuación, se explica la estimación del instante de tiempo de SoHF en el controlador central para el enfoque 2. Esto requiere la estimación de SoHP (n, k) y el retardo entre el transmisor y el satélite de salto de haz. Esto último requiere conocer la posición del transmisor de la puerta de enlace y realizar un seguimiento de la posición del satélite. Se requieren, como mínimo, tres puertas de enlace con una referencia de tiempo y posición común y precisa (por ejemplo, hora y coordenadas de GPS), cada una conectada a un terminal de referencia que retroalimente la información de conmutación del haz para estimar con precisión la posición del satélite. La hora exacta y la posición de los terminales, o el retardo entre las puertas de enlace, el satélite y los terminales, no son necesarios para estimar la posición del satélite. Para estimar el SoHP (n, k), se necesita un cuarto satélite. A continuación, se presenta un algoritmo para estimar la posición del satélite y el SoHP (n, k), en base, por ejemplo, a un sistema de coordenadas cartesianas, tal como se muestra en la figura 10. Para simplificar, el SoHP (n, k) es reemplazado por t<sub>0</sub>, que corresponde al SoHP (0,0).

Etapa 1: Introducción y sincronización de la puerta de enlace GW 1:

La posición desconocida del satélite y la hora de inicio del SoHP se indican mediante el conjunto de coordenadas (X<sub>sat</sub>, Y<sub>sat</sub>, Z<sub>sat</sub>) y t<sub>0</sub>, respectivamente. Sea t<sub>0\_est\_0</sub> y (X<sub>sat</sub>, Y<sub>sat</sub>, Z<sub>sat</sub>)<sub>est\_0</sub> la hora de inicio de SoHP y la estimación de la posición del satélite, respectivamente, proporcionada por el operador del satélite. El controlador central proporciona los primeros moduladores operativos situados en GW 1, estando t<sub>0\_est\_0</sub>, expresado en una referencia de tiempo común en tierra (por ejemplo, tiempo de GPS) y la estimación de la posición del satélite (X<sub>sat</sub>, Y<sub>sat</sub>, Z<sub>sat</sub>)<sub>est\_0</sub>. El modulador comienza a transmitir su primera trama en

$$t_{1\_est\_0} = t_{0\_est\_0} - \text{Velocidad de la luz} * d(\text{SAT-GW}_1),$$

donde  $d(\text{SAT-GW}_i) = \text{SQRT}((X_i - X_{\text{sat}})^2 + (Y_i - Y_{\text{sat}})^2 + (Z_i - Z_{\text{sat}})^2)$  es la distancia euclidiana entre el satélite y el puerto de enlace de orden i, situada en la posición conocida (X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub>), SQRT es la operación de raíz cuadrada y la velocidad de la luz = 299.792.458 m/s o la velocidad de propagación aplicable de la forma de onda. Después de la transmisión de la primera trama, el bucle de sincronización fina comienza a ajustar la velocidad de símbolos para corregir los errores de tiempo que estima. En el estado estacionario del circuito cerrado (véase lo anterior, esto se logra después de un orden de magnitud de un minuto), el modulador tiene una nueva estimación del siguiente instante de tiempo de inicio del SoHP (es decir, t<sub>1\_est\_1</sub>) y del tiempo del SoHP del satélite t<sub>0\_est\_1</sub>. Este tiempo es suficiente para lograr un error de temporización cercano a cero para GW 1. Sin embargo, este tiempo no puede utilizarse para predecir el instante de tiempo de SoHF para una puerta de enlace adicional, ya que la posición precisa del satélite (solo la primera estimación (X<sub>sat</sub>, Y<sub>sat</sub>, Z<sub>sat</sub>)<sub>est\_0</sub> está disponible) aún se desconoce.

Etapa 2: Introducción y sincronización de la puerta de enlace GW 2

El CC proporciona al modulador de GW 2 t<sub>0\_est\_1</sub> y (X<sub>sat</sub>, Y<sub>sat</sub>, Z<sub>sat</sub>)<sub>est\_0</sub>. En base a la posición local conocida de GW 2, el modulador local comienza a transmitir su primera trama

$$t_{2\_est\_0} = t_{0\_est\_1} - \text{Velocidad de la luz} * d(\text{SAT-GW}_2).$$

Como la estimación de la posición del satélite (X<sub>sat</sub>, Y<sub>sat</sub>, Z<sub>sat</sub>)<sub>est\_0</sub> aún no era precisa, se necesitaba un bucle de sincronización para alinear la transmisión de GW2w con el satélite de salto de haz. También es posible una variación de la ecuación anterior donde se utiliza t<sub>0\_est\_0</sub> en lugar de t<sub>0\_est\_1</sub>. Una vez que el bucle de sincronización respectivo alcanza su estado estacionario, el controlador central puede resolver el siguiente conjunto de ecuaciones para deducir una nueva estimación de la hora y la posición del satélite:

$$t_{1\_est\_1} - t_{0\_est\_2} = (d(\text{SAT-GW}_1)) * \text{Velocidad de la luz}$$

$$t_{2\_est\_0} - t_{0\_est\_2} = (d(\text{SAT-GW}_2)) * \text{Velocidad de la luz}$$

a partir de las cuales se pueden hacer estimaciones nuevas y más precisas para dos de las cuatro variables desconocidas. Por ejemplo, en la figura 10A, en la etapa 2 muestra un error de solución muy pequeño para las variables  $t_0$  y  $X_{sat}$ .

Etapa 3: Introducción y sincronización de la puerta de enlace GW 3

- 5 Según el procedimiento seguido en la etapa 2, a continuación, el CC puede calcular con mayor precisión tres de las cuatro variables desconocidas, resolviendo

$$t_{1\_est\_1} - t_{0\_est\_3} = (d(SAT-GW\_1)) * \text{Velocidad de la luz}$$

$$t_{2\_est\_1} - t_{0\_est\_3} = (d(SAT-GW\_2)) * \text{Velocidad de la luz}$$

$$t_{3\_est\_0} - t_{0\_est\_4} = (d(SAT-GW\_3)) * \text{Velocidad de la luz}$$

Etapa 4: Introducción y sincronización de la puerta de enlace GW 4

- 10 Según el procedimiento seguido en la etapa 3, a continuación, el CC puede calcular con precisión cuatro de las cuatro variables desconocidas, resolviendo

$$t_{1\_est\_1} - t_{0\_est\_5} = (d(SAT-GW\_1)) * \text{Velocidad de la luz}$$

$$t_{2\_est\_1} - t_{0\_est\_5} = (d(SAT-GW\_2)) * \text{Velocidad de la luz}$$

$$t_{3\_est\_1} - t_{0\_est\_5} = (d(SAT-GW\_3)) * \text{Velocidad de la luz}$$

$$t_{4\_est\_1} - t_{0\_est\_5} = (d(SAT-GW\_4)) * \text{Velocidad de la luz}$$

- 15 En la figura 10A se muestra una simulación del algoritmo, en un sistema de coordenadas cartesianas tal como se muestra en la figura 10B. Este sistema de cuatro ecuaciones no lineales con cuatro variables desconocidas se puede resolver, por ejemplo, con cualquier solucionador comercial de optimización no lineal. El utilizado en el presente ejemplo se basa en el algoritmo de gradiente reducido generalizado (GRG). En el caso de que haya más de cuatro GW disponibles, se elegirán los cuatro pares de terminal-puerta de enlace más fiables, con criterios que se determinarán según la aplicación específica.

- 20 El experto en la materia comprenderá fácilmente que se pueden prever muchas variaciones de este algoritmo sin apartarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, todas las puertas de enlace pueden comenzar a transmitir en paralelo utilizando  $t_{0\_est\_0}$  y  $(X_{sat}, Y_{sat}, Z_{sat})_{est\_0}$  y, por lo tanto, todas corrigen su instante de tiempo de SoHF estimado en base a la resolución del conjunto de ecuaciones.

- 25 Con el fin de mantener la sincronización entre el modulador y el satélite de salto de haz, la inserción de datos ficticios debe ser controlada y decidida por el creador de tramas de salto y no por la señalización de la capa física (que opera justo antes del conformador de impulsos o del filtro de transmisión) tal como en DVB-S2 o DVB-S2X. Más específicamente, el creador de tramas de salto necesita conocer el orden y la duración de las tramas transmitidas desde el modulador, ya que se debe asegurar de que las tramas de un contorno particular lleguen al satélite en el momento en que ese contorno se ilumina. Esto se puede realizar incluyendo el creador de tramas de salto en el modulador, de tal manera que pueda estar sujeto a la contrapresión del filtro de transmisión, de modo que siempre haya una trama de FEC lista en el momento en que el filtro de transmisión lo necesite (para lograr una velocidad de
- 30 símbolos requerida).

- Se han propuesto dos métodos para sincronizar un transmisor con un satélite de salto de haz. El enfoque 2, sin embargo, ofrece la ventaja de que permite cambiar sin problemas a un modulador redundante. El controlador puede señalar también, en el caso de que se requiera un cambio continuo del tráfico a un transmisor de puerta de enlace nuevo o redundante en el sistema, el instante de tiempo de SoHF al transmisor de puerta de enlace redundante.
- 35 Este instante de tiempo de SoHF puede ser ligeramente diferente por cada transmisor, ya que el retardo de cada transmisor al satélite es diferente. Puesto que el controlador conoce la posición del satélite a través del enfoque 2, puede calcular el retardo del enlace ascendente para cualquier transmisor con posición conocida. Restar el mismo de  $t_0$ , que también es conocido por el controlador, puede predecir el instante de tiempo de SoHF para cualquier transmisor con posición conocida.

- 40 La invención también se refiere al salto de haz del enlace de retorno. Puesto que el controlador central estima el SoHP y, de este modo, se puede organizar de tal manera que los transmisores terminales transmiten de manera similar durante el período de tiempo correcto durante el cual se ilumina su contorno, la dependencia de la NCR de los terminales debe ser tal que se mantenga esta sincronización. El salto de haz del enlace de retorno se considera habitualmente en combinación con el salto de haz hacia adelante, ya que la sincronización con el satélite de salto de haz es impulsada por el enlace de salto de haz hacia adelante.
- 45

A través del enlace de retorno se aplica la comunicación de ráfagas. Sincronizar los transmisores del terminal aplicando directamente los enfoques 1 o 2 citados anteriormente es complicado para el salto de haz del enlace de retorno, ya que el demodulador de la multiportadora solo está escuchando una determinada transmisión en ráfaga desde un terminal durante un pequeño período de tiempo. De este modo, puede perder el instante de tiempo de conmutación. Por tanto, es de interés tener un método para predecir el instante de tiempo de conmutación en el controlador en base a la sincronización del enlace hacia adelante. El enlace de retorno se sincroniza solo después de sincronizar el enlace hacia adelante.

Con el fin de lograr esto, se considera el siguiente sistema de salto de haz del enlace de retorno. Se supone que el satélite tiene un dispositivo de salto común para el enlace hacia adelante y de retorno. Por lo tanto, cuando se ilumina un contorno en el enlace hacia adelante, también se ilumina al mismo tiempo para el enlace de retorno. Obviamente, las portadoras hacia adelante y de retorno son ortogonales en frecuencia.

Un transmisor de puerta de enlace transmite un paquete para el contorno 1 en SoHF (n, k). Llega al satélite en  $t_0 + n * HP + k * HS = \text{SoHF}(n, k) + \text{UL\_Retardo}$ , donde UL\_Retardo es el retardo de enlace ascendente desde el transmisor de la puerta de enlace al satélite. Un terminal en el contorno 1 transmite en  $t_t$  de tal manera que también llega al satélite en  $\text{SoHF}(n, k) + \text{UL\_Retardo}$ . A continuación, el paquete del terminal llega al concentrador en  $\text{SoHF}(n, k) + 2 * \text{UL\_Retardo}$ .

Para sincronizar la transmisión de retorno, el terminal ajusta la velocidad de símbolos y el inicio del tiempo de transmisión  $t_t$  de los terminales en base a la señalización a través del enlace hacia adelante desde el concentrador a los terminales. El concentrador señala una nueva velocidad de símbolos y tiempo de transmisión  $t_t$  para asegurarse de que, por ejemplo, los terminales que transmiten en la misma frecuencia son ortogonales en el tiempo y que transmiten alineados con el satélite de salto de haz. En general, el concentrador se asegura de que las señales del terminal llegan al receptor del concentrador en el enlace de retorno en el momento en que el concentrador espera esas señales. Téngase en cuenta, que después de iniciar sesión en el sistema, el terminal tiene una precisión de tiempo de más o menos 3 ms. Por tanto, la sincronización restante se realiza comparando la hora de llegada real de la señal al concentrador con respecto a la hora de llegada deseada. No se calcula el retardo exacto del enlace ascendente de cada terminal, que depende de la posición de todos y cada uno de los terminales. Solo se requiere la corrección delta por cada terminal para alinear la señal con la hora prevista de llegada. Para ello, se puede utilizar una secuencia binaria pseudoaleatoria por cada terminal (PRBS – Pseudo Random Binary Sequence, en inglés).

En los sistemas de salto de haz, la señal del terminal debe ser transmitida por el satélite de salto de haz durante el período de tiempo en el que el haz del terminal está iluminado. Se supone que la iluminación de un haz en el enlace hacia adelante y de retorno es idéntica, lo cual es una suposición razonable. Por lo tanto, el tiempo de inicio del período de iluminación k en el período de salto de orden n es  $\text{SoHF}(n, k) + \text{UL\_Retardo}(N)$  (designando N la puerta de enlace de orden N), ambos conocidos debido a la sincronización del enlace hacia adelante, tal como se ha descrito anteriormente.

Por lo tanto, un ajuste de los sistemas de última generación para hacer posible el salto de haz del enlace de retorno es el siguiente. El concentrador debe señalar el inicio de los tiempos de transmisión  $t_t$  a través del enlace hacia adelante a los terminales para alinear el inicio de la señal del terminal cuando se recibe en el concentrador en  $\text{SoHF}(n, k) + 2 * \text{UL\_Retardo}(N)$ .

Por medio de la dependencia de la NCR, todos los terminales están sincronizados con la sincronización del concentrador. Como consecuencia, puede indicar a cada uno de los terminales que transmita en su  $t_t$  correspondiente (cada terminal tiene un  $t_t$  diferente, ya que su posición es diferente) de tal manera que sus paquetes lleguen al satélite en  $\text{SoHF}(n, k) + \text{UL\_Retardo}$ .

Si el tráfico es enrutado a través de un transmisor de puerta de enlace nuevo o redundante, es de interés mantener la referencia NCR actual, que es señalizada a través del enlace hacia adelante desde el transmisor de puerta de enlace a los terminales, y en función de la cual los terminales obtienen la velocidad de símbolos y el tiempo de transmisión para las transmisiones del enlace de retorno. En la presente invención, el modulador de puerta de enlace reinicia los marcadores de posición de NCR en las tramas de tal manera que contiene el valor de NCR que tiene el modulador, en el instante de tiempo en el que la forma de onda (más específicamente, el inicio o una compensación particular después del inicio, que es un detalle de implementación) llega al satélite, que es su valor actual de NCR incrementado con un valor proporcional a su retardo de enlace ascendente desde el mismo hasta el satélite. Este último es conocido en el enfoque 2, lo que hace posible lo anterior en el enfoque 2. Por supuesto, cualquier variación de la misma que dependa de la convención de implementación forma parte de la invención. Por ejemplo, se puede utilizar cualquier referencia para esto, también otras referencias distintas de la NCR.

Por lo tanto, los moduladores con otra posición reiniciarían los marcadores de posición de la NCR en un momento diferente en el tiempo, pero de la misma manera con casi el mismo valor de NCR, de manera síncrona con el satélite, que es estacionario y está monitorizado por el controlador único (por cada dispositivo de salto del satélite), independientemente de un cambio a un transmisor de puerta de enlace redundante. Por tanto, en el receptor, la referencia NCR percibida también es estable. Esto es importante para evitar cualquier cambio en los tiempos de

transmisión de los transmisores de enlace de retorno, de modo que permanezcan sincronizados con el satélite de salto de haz.

5 Los algoritmos de sincronización descritos anteriormente requieren que los terminales de referencia solo midan los incidentes de transición del haz (tiempo relativo), y no tienen requisitos sobre la posición de los terminales de referencia. Sin embargo, se requieren, como mínimo, cuatro puertas de enlace para que la posición del satélite y el tiempo de SoHP sean estimados con precisión. Esto es necesario cuando se desea dirigir el tráfico de una puerta de enlace a otra. Si no es posible tener cuatro puertas de enlace, se pueden contemplar otras soluciones. Un resumen de las opciones para sincronizar el segmento de tierra con el satélite de salto de

		Puertas de enlace	Terminales de referencia		
		Número	Número	Ubicación	Medición
opción	I	1	1	En el mismo sitio	Retardo + transición
			2	Remota	
	II	4	4	Remota	Transición
	III	1	1	En el mismo sitio	Retardo + transición
			2	2	Remota
IV	1	1	Remota	Transición	

10 se proporciona en la tabla anterior. Se realizan diferentes supuestos sobre el número y la ubicación de puertas de enlace y de terminales de referencia. Asimismo, las capacidades de medición de los terminales de referencia son diferentes. Gracias a la presente invención, todas las opciones de la mesa funcionan con un satélite de salto de haz. La opción II se refiere al algoritmo que se detalla en el enfoque 2 de la presente invención. La opción IV supone que el operador del satélite proporciona la posición precisa del satélite, por lo que solo se requiere un terminal que alinee las transiciones de iluminación (en referencia a los instantes de tiempo de conmutación observados en los receptores del terminal) para estimar con precisión el error de sincronización en SoHF (n, k) para alinearse con el satélite de salto de haz. La opción I se basa en una única puerta de enlace con un terminal de referencia situado en el mismo sitio, que mide con precisión la puerta de enlace, midiendo, solamente las transiciones, el retardo del enlace ascendente del satélite y dos terminales de referencia remotos. Finalmente, la opción III requiere una puerta de enlace con un terminal de referencia situado en el mismo sitio que mida el retardo entre la puerta de enlace y el satélite y dos puertas de enlace más con terminales remotos que solo midan las transiciones.

25 Aunque la invención se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y la descripción anterior, dicha ilustración y descripción deben ser consideradas ilustrativas o a modo de ejemplo, y no restrictivas. La descripción anterior detalla ciertas realizaciones de la invención. Sin embargo, se apreciará que no importa cuán detallado aparezca en el texto lo anterior, la invención se puede poner en práctica de muchas maneras. La invención no está limitada a las realizaciones descritas.

30 Los expertos en la técnica pueden comprender y realizar otras variaciones de las realizaciones descritas al poner en práctica la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, de la descripción y de las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, el término "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido "un" o "una" no excluye una pluralidad. Un solo procesador u otra unidad puede cumplir las funciones de varios elementos enumerados en las reivindicaciones. El mero hecho de que se mencionen determinadas medidas en reivindicaciones dependientes diferentes entre sí no indica que una combinación de estas medidas no pueda ser utilizada ventajosamente. Un programa informático puede estar almacenado/distribuido en un medio adecuado, tal como un medio de almacenamiento óptico o un medio de estado sólido suministrado junto con otro hardware, o como parte del mismo, pero también puede estar distribuido en otras formas, tal como a través de Internet o de otros sistemas de telecomunicación por cable o inalámbricos. Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe ser interpretado como una limitación del alcance.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de comunicación por satélite, dispuesto para iluminar consecutivamente una pluralidad de contornos en la tierra, y que comprende:
- un dispositivo transmisor dispuesto, para generar una señal a transmitir, y que comprende
- 5 \* uno o más creadores de tramas de salto, cada uno dispuesto para recibir una secuencia de bits y para organizar dicha secuencia en una trama de salto de acuerdo con un plan de saltos que indica un orden en el que dicha pluralidad de contornos se iluminará,
- \* un medio de codificación por cada trama de salto, para asignar dicha trama de salto a una secuencia de símbolos digitales,
- 10 \* un medio de modulación por cada creador de tramas de salto, dispuesto para recibir dicha secuencia de símbolos digitales y para modular dichos símbolos digitales en una forma de onda a una cierta velocidad de símbolos, obteniendo de este modo una señal modulada a transmitir, y para iniciar la transmisión de dicha señal modulada en un instante de tiempo igual a un instante de tiempo de inicio de trama de salto, SoHF, estando dispuesto dicho medio de modulación para indicar a dicho creador de tramas de salto cuándo se necesita una siguiente trama de
- 15 salto, por lo que dicho creador de tramas de salto está dispuesto para insertar datos ficticios si no hay suficientes bits disponibles en dicha secuencia de bits cuando se necesita dicha siguiente trama de salto,
- un satélite, que comprende un transpondedor de salto de haz dispuesto para recibir dicha señal modulada y para emitir una versión de dicha señal modulada a un circuito de iluminación dispuesto en dicho satélite para dirigir la iluminación de un contorno a otro contorno particular de acuerdo con dicho plan de saltos, comenzando dicha
- 20 iluminación de dicho un contorno en un instante de tiempo de conmutación,
- uno o más dispositivos receptores en dicho contorno particular de dicha pluralidad de contornos para ser iluminados y dispuestos para recibir dicha versión emitida de dicha señal modulada,
  - un controlador central que tiene un enlace de comunicación establecido, como mínimo, con uno de dichos dispositivos receptores, y está dispuesto para recibir a través de dicho enlace establecido, información acerca de las transiciones de iluminación observadas, comprendiendo dicho controlador central un medio de cálculo para calcular la información de sincronización actualizada para alinear en el tiempo dicho dispositivo transmisor con dicho transpondedor de salto de haz, en base a dicha información acerca de las transiciones de iluminación observadas y estando en conexión con dicho dispositivo transmisor para pasar dicha información de temporización actualizada a dicho dispositivo transmisor.
- 25
- 30 2. Sistema de comunicación por satélite, según la reivindicación 1, en el que dicho medio de cálculo de dicho controlador central está dispuesto para calcular una velocidad de símbolos ajustada para dicho dispositivo transmisor en base a una comparación de dichas transiciones de iluminación observadas con un instante de tiempo de conmutación objetivo.
- 35 3. Sistema de comunicaciones por satélite, según la reivindicación 1, en el que dicho medio de cálculo de dicho controlador central está dispuesto para calcular una estimación de dicho instante de tiempo de SoHF.
4. Sistema de comunicación por satélite según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho instante de tiempo de SoHF se establece en un valor igual a dicho instante de tiempo de conmutación menos un retardo de transmisión entre dicho dispositivo transmisor y dicho satélite que comprende dicho transpondedor de salto de haz.
- 40 5. Sistema de comunicaciones por satélite, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho medio de cálculo está dispuesto para determinar una velocidad de símbolos ajustada en base a dicha información de temporización actualizada.
6. Sistema de comunicación por satélite, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho instante de tiempo de SoHF se expresa en términos de un valor de una referencia de reloj de red.
- 45 7. Sistema de comunicación por satélite, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, dispuesto para comparar dicho instante de tiempo de SoHF con un valor objetivo, y para ajustar dicha velocidad de símbolos en base a dicha comparación.
8. Sistema de comunicación por satélite, según la reivindicación 7, en el que dicho dispositivo transmisor está dispuesto para eliminar uno o más símbolos antes de ajustar dicha velocidad de símbolos.
9. Sistema de comunicación por satélite, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende
- 50 - como mínimo, cuatro dispositivos transmisores con posición conocida y dispuestos para realizar una transmisión a dicho satélite, que comprenden dicho transpondedor de salto de haz, y

- como mínimo, cuatro dispositivos receptores, estando conectado cada uno de dichos receptores a un dispositivo transmisor correspondiente de dichos, como mínimo, cuatro dispositivos transmisores, y teniendo cada uno un enlace de comunicación con dicho controlador central.

5 10. Sistema de comunicación por satélite según la reivindicación 9, en el que dicho controlador central está dispuesto para calcular un instante de tiempo de SoHF para cada uno de dichos, como mínimo, cuatro dispositivos transmisores.

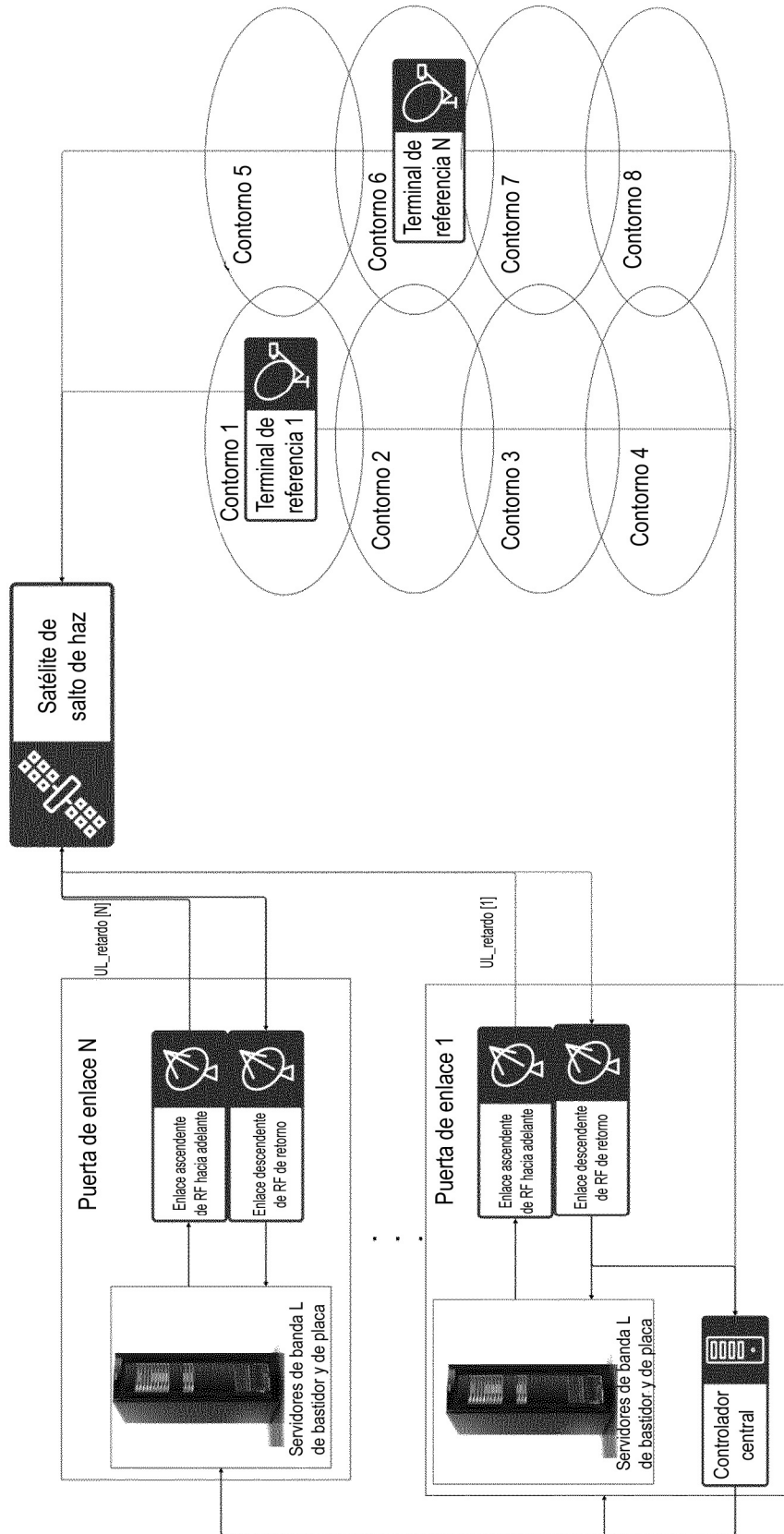
10 11. Sistema de comunicación por satélite, según cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, que comprende un dispositivo transmisor adicional dispuesto para recibir un instante de tiempo de SoHF diferente determinado en base a la posición de dicho satélite y al instante de tiempo de conmutación obtenido utilizando dichos, como mínimo, cuatro dispositivos transmisores.

15 12. Sistema de comunicación por satélite, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, dispuesto para su utilización en la transmisión a través de un enlace desde uno de dichos dispositivos receptores a través de dicho satélite hacia dicho dispositivo transmisor, en el que dicho dispositivo receptor está dispuesto para un ajuste de la velocidad de símbolos y del tiempo de transmisión en base a la señalización desde dicho dispositivo transmisor hacia dicho dispositivo receptor.

20 13. Sistema de comunicación por satélite, según la reivindicación 12, en el que dicho dispositivo receptor está dispuesto para obtener dicha velocidad de símbolos y tiempo de transmisión en base a un reloj obtenido a partir de una referencia basada en la señalización de dicho dispositivo transmisor hacia dicho dispositivo receptor, siendo calculada dicha referencia como un valor de tiempo que es un valor de dicha referencia de reloj de red incrementada en base a dicho retardo de transmisión entre dicho dispositivo transmisor y dicho satélite que comprende dicho transpondedor de salto de haz.

14. Sistema de comunicaciones por satélite según la reivindicación 12, en el que dicha señalización se basa en comparar un tiempo de recepción de una transmisión de dicho dispositivo receptor con un tiempo de recepción objetivo.

25 15. Sistema de comunicación por satélite, según la reivindicación 14, en el que dicho tiempo de recepción es un tiempo de recepción de un primer símbolo de una trama en dicha transmisión, y en el que dicho tiempo de recepción objetivo es un instante de tiempo de SoHF incrementado con dos veces dicho retardo de transmisión entre dicho dispositivo transmisor y dicho satélite que comprende dicho transpondedor de salto de haz.



**Fig.1A**

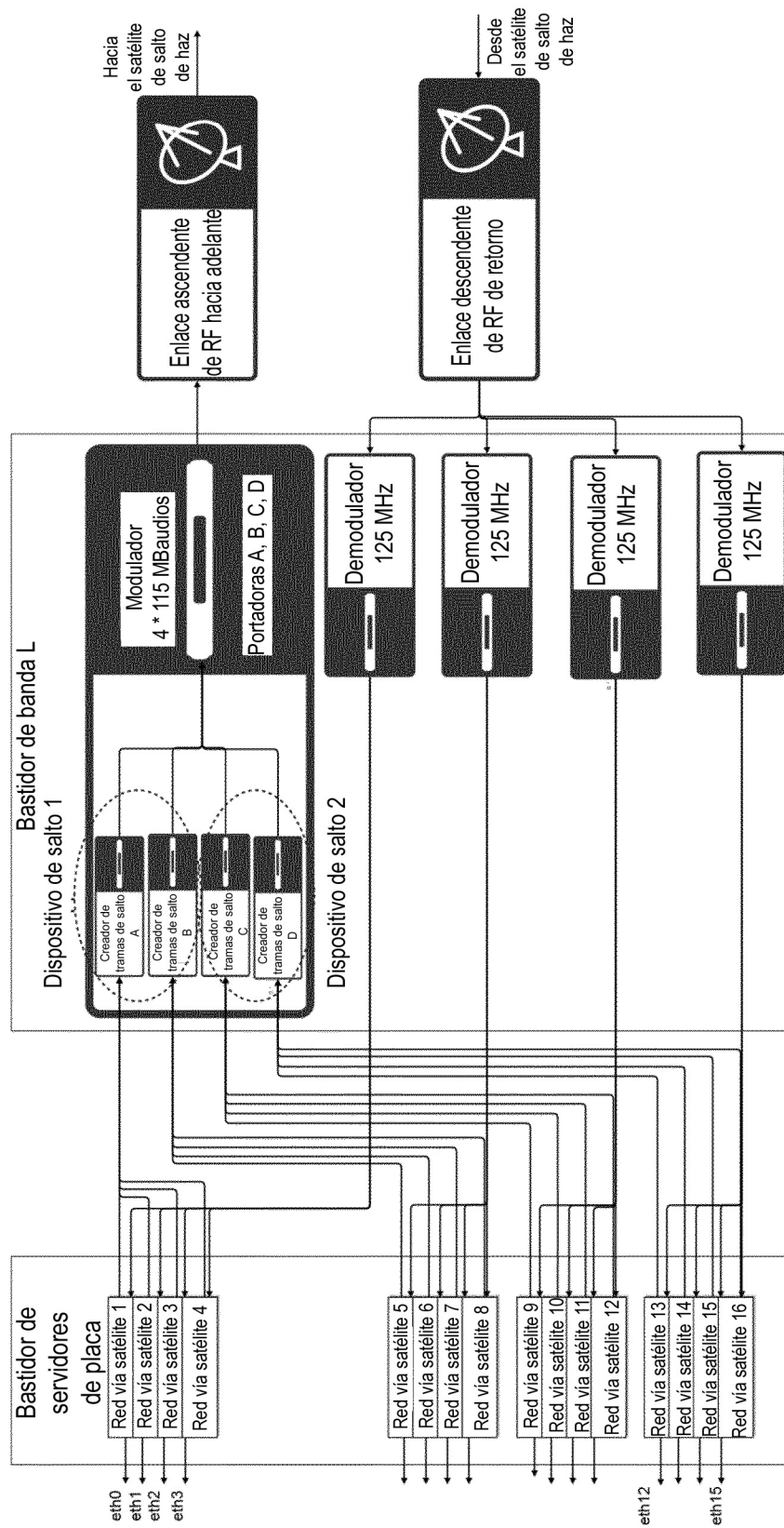
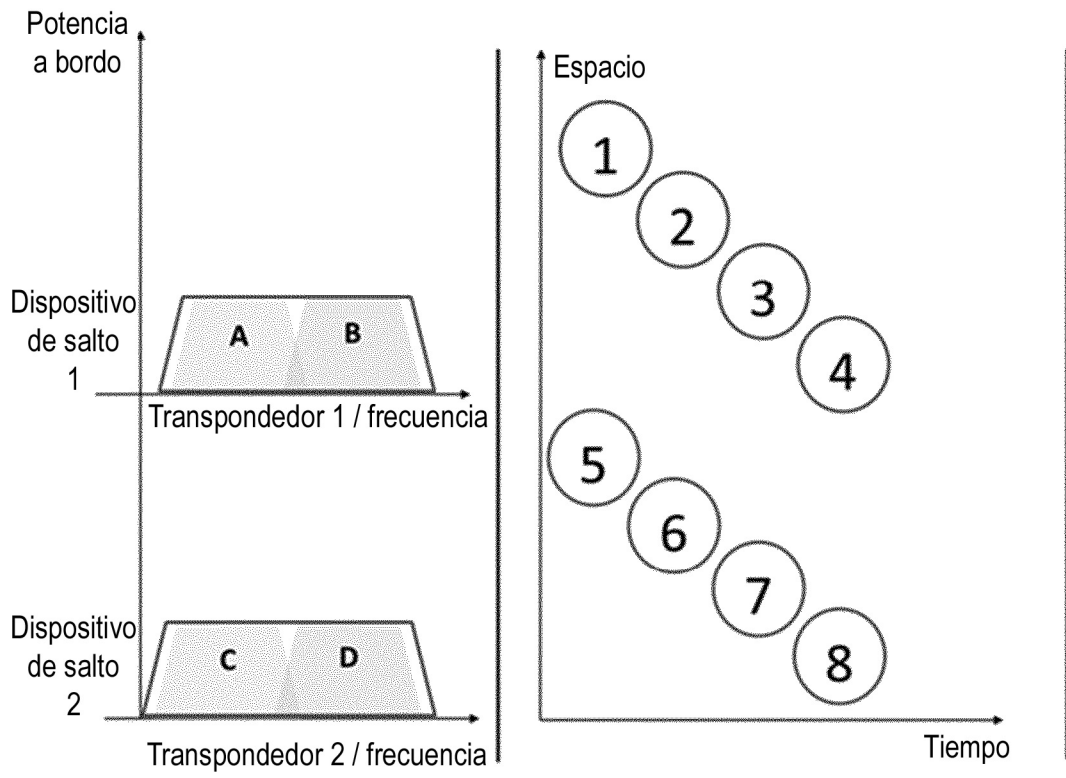


Fig.1B



**Fig.1C**

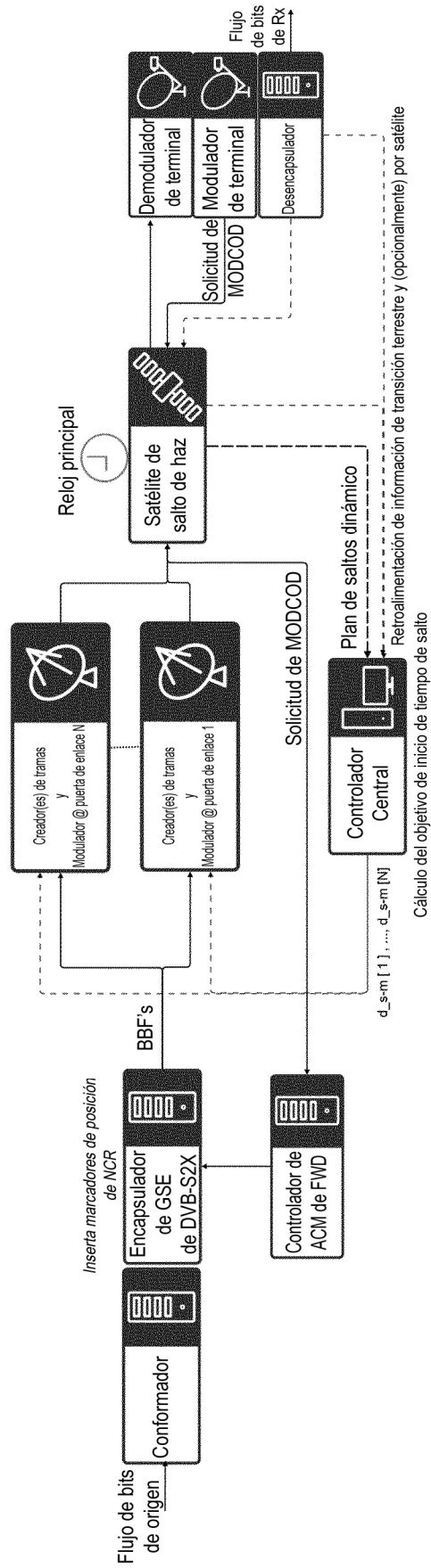


Fig.2

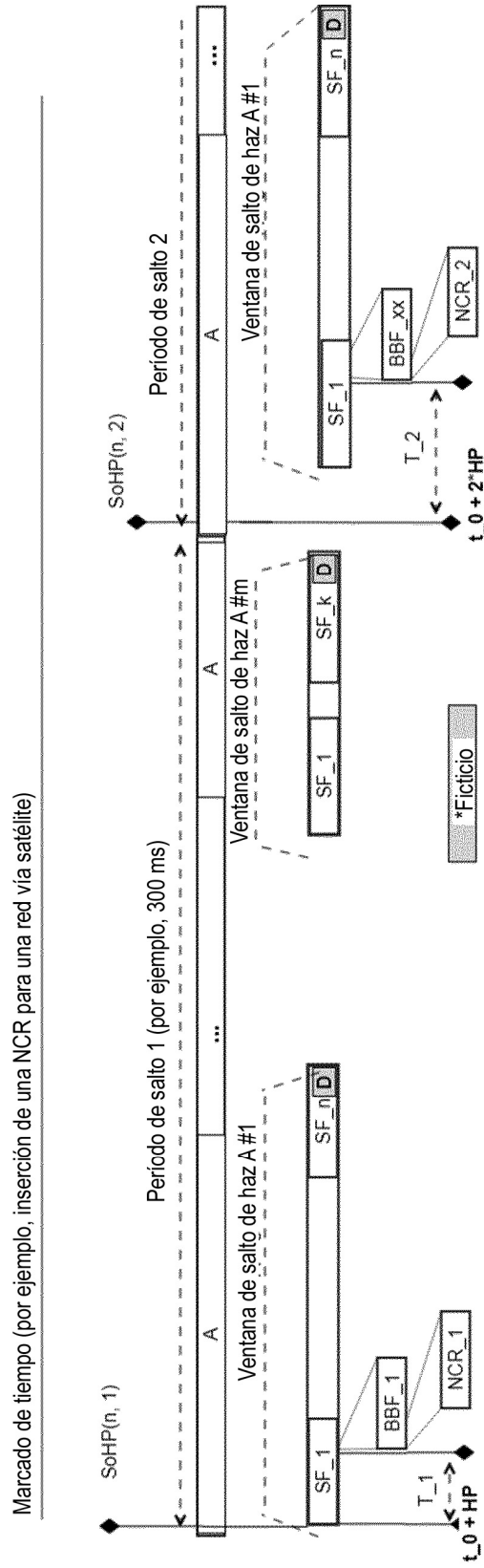
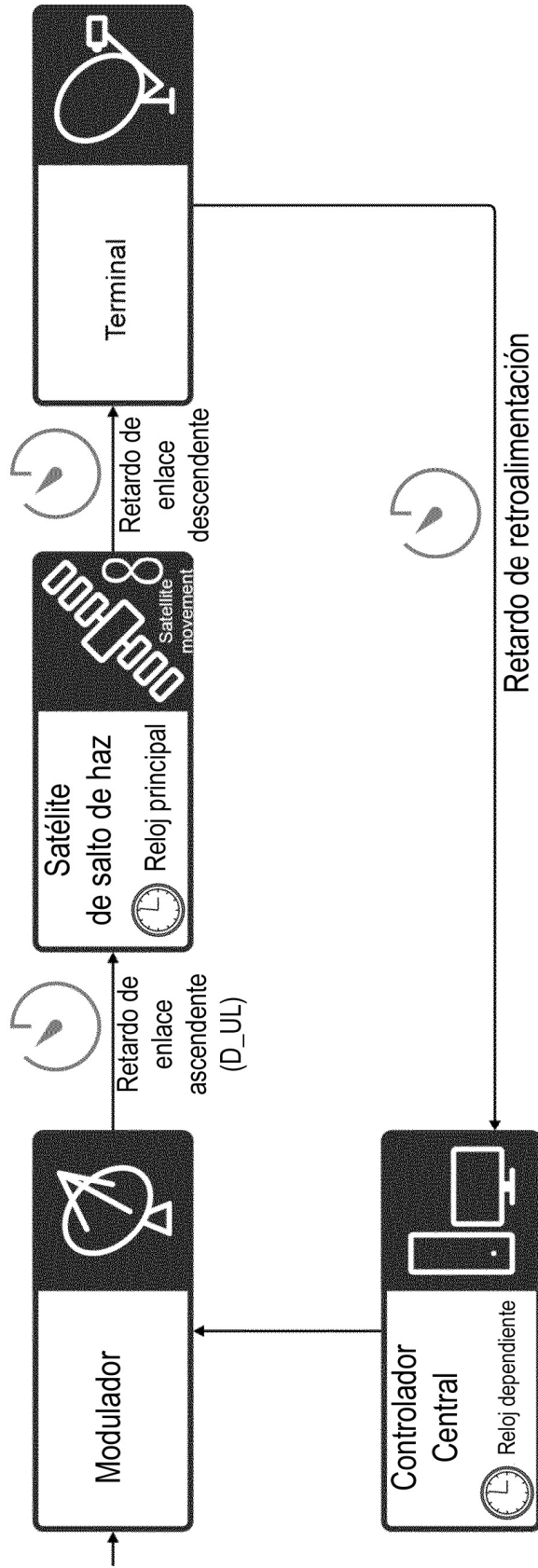
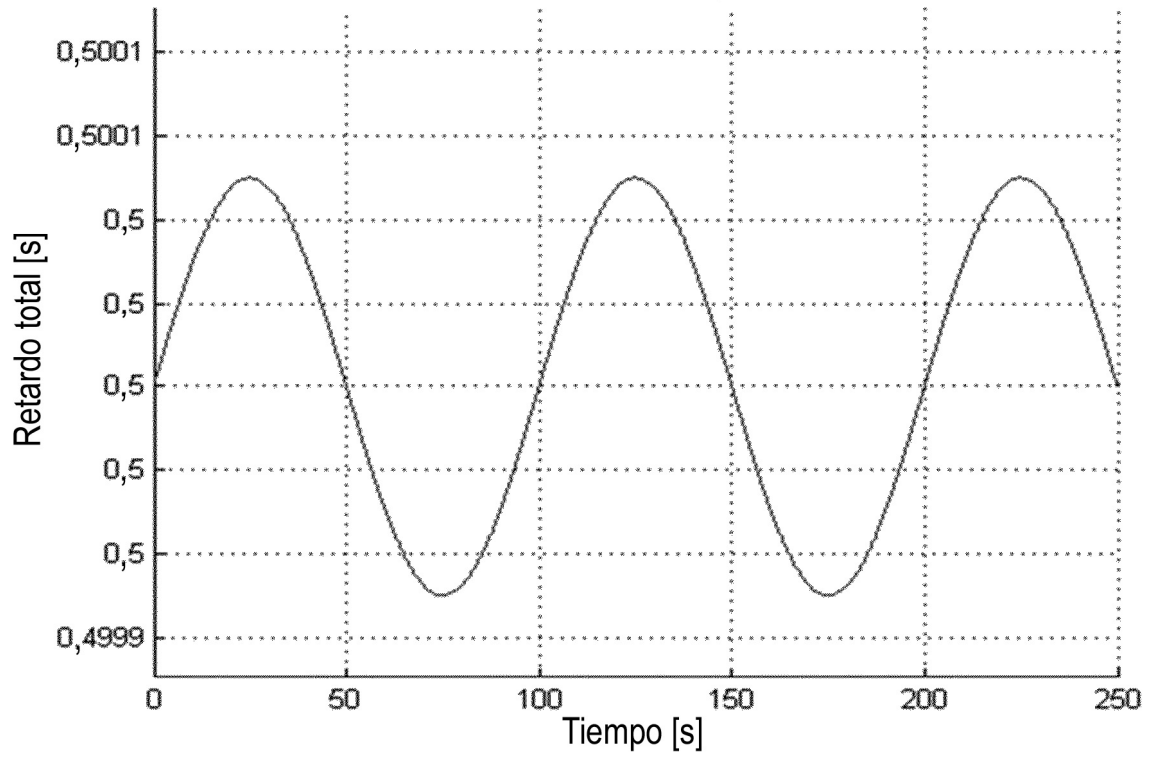


Fig.3

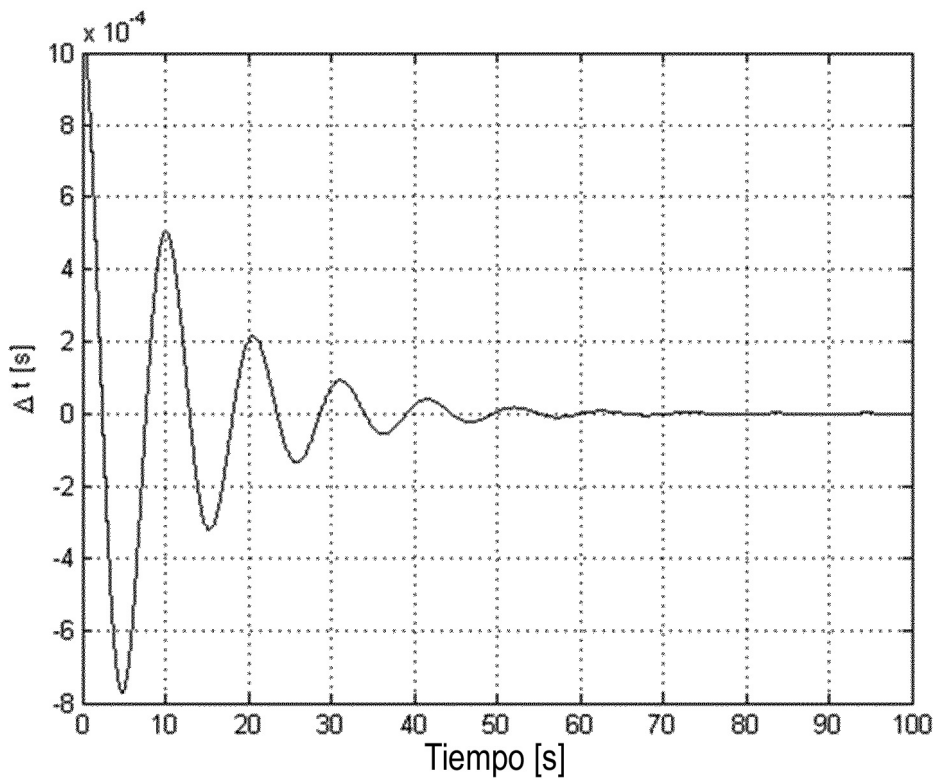


**Fig.4**

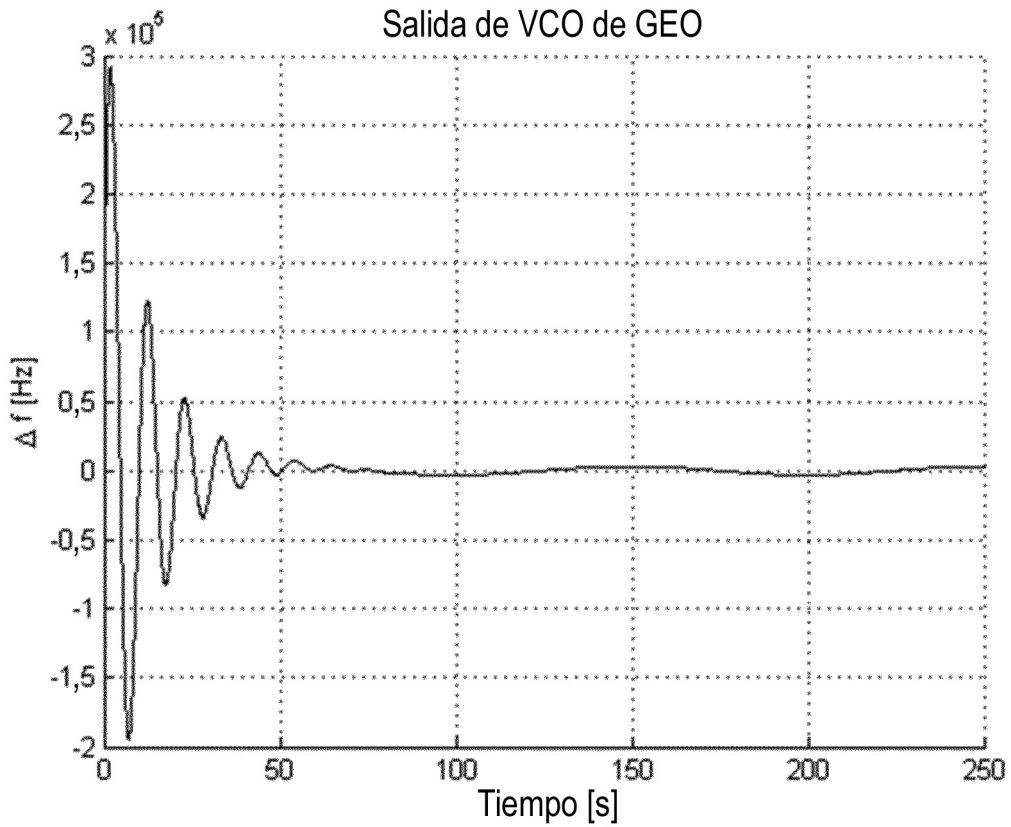
GEO: Retardo variable debido al desplazamiento del satélite



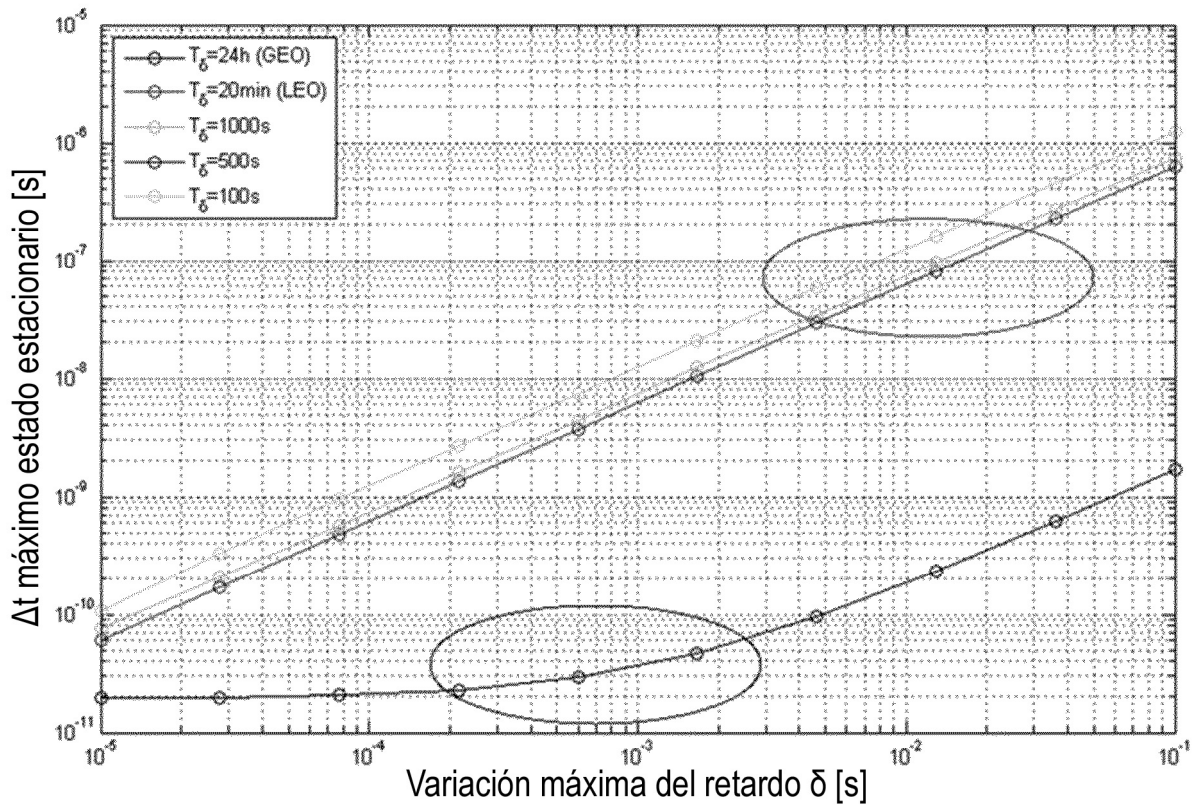
**Fig.5**



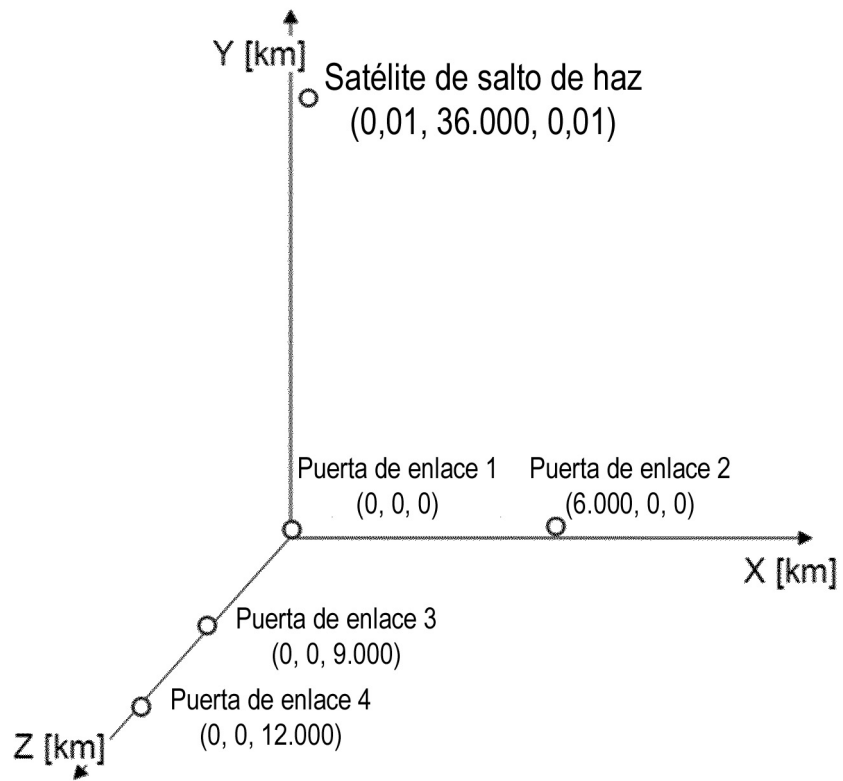
**Fig.6**



**Fig.7**



**Fig.8**

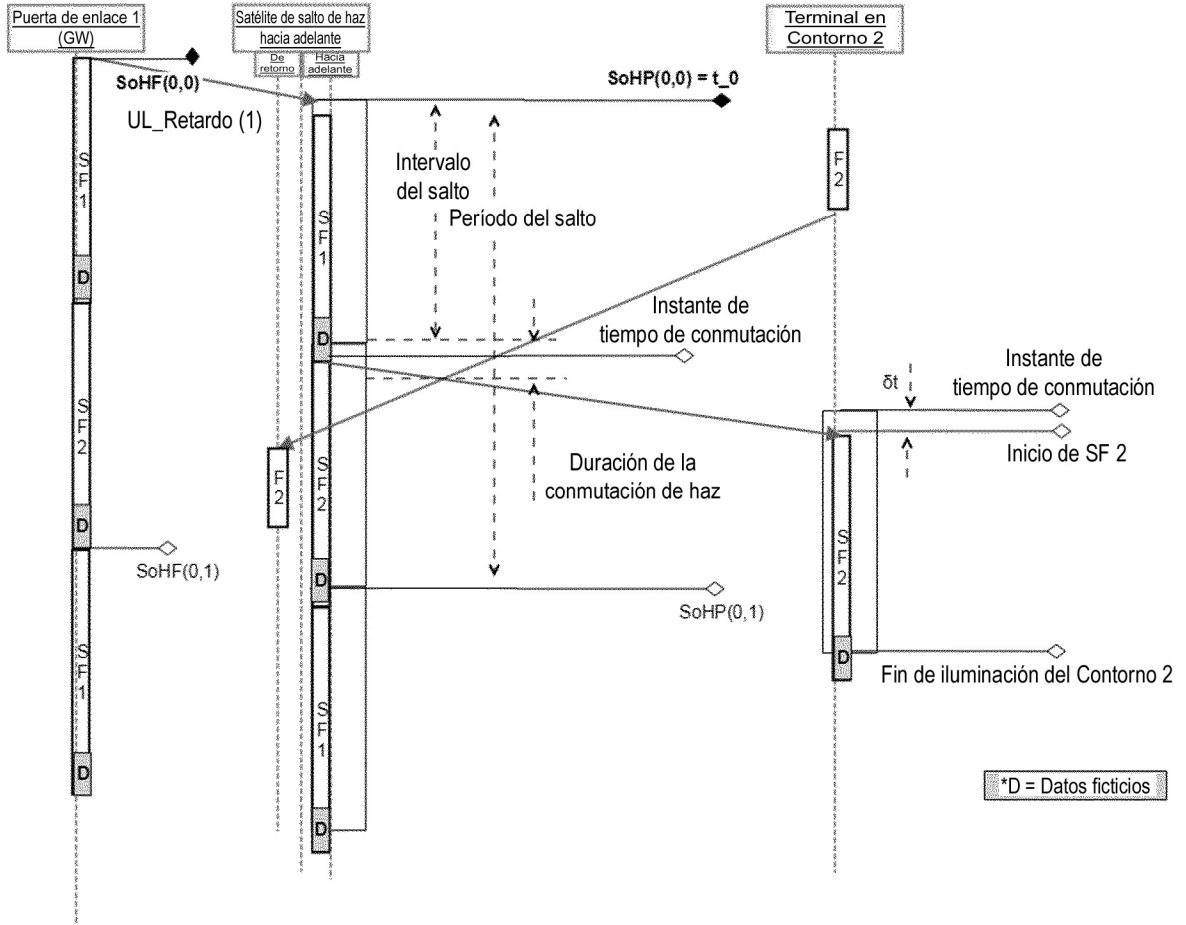


**Fig.9**

Ejemplo de estimación de la posición del satélite suponiendo sistema de coordenadas cartesianas										
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Retardo Delta ENTRADA [s]	Distancia estimada [m]				Distancia Delta [m]	
					$\delta$					
					T_2 - T_1	T_3 - T_1	T_3 - T_2	T_4 - T_1	DL	
Puerta de enlace 1	0	0	0	0	0.001650913	0	0	0	GW.2 - GW.1	494931.1172
Puerta de enlace 2	6000000	0	0	0	0.003687635	0	0	0	GW.3 - GW.1	1105525.112
Puerta de enlace 3	0	0	0	9000000	0.002036722	0	0	0	GW.3 - GW.2	610593.9951
Puerta de enlace 4	0	0	0	12000000	0.006485051	0	0	0	GW.4 - GW.1	1944169.37
Posición del SAT calculada	9999.999978	36000000	9999.999999							
Posición del SAT real	10000	36000000	10000							
Error de la solución [m]	-0.000022	-0.000003	-0.000001							
Error de la solución [ns]	-0.000073	-0.000011	-0.000005							

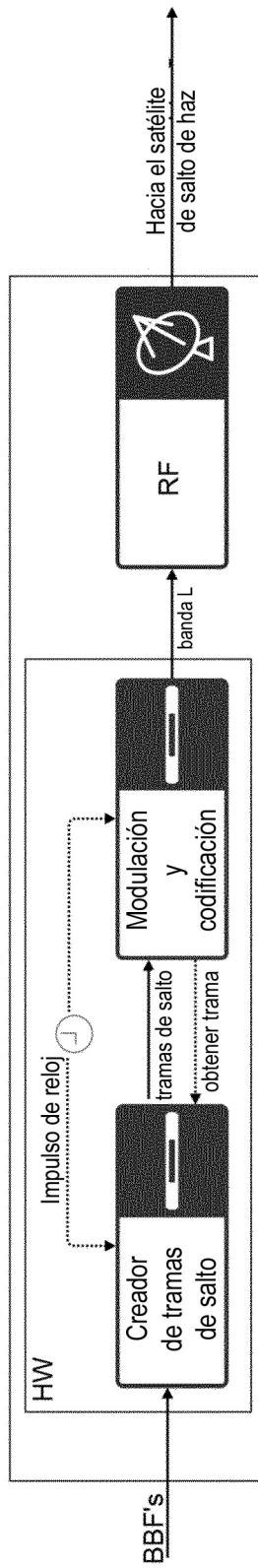
Fig.10

Cronología del salto de haz



**Fig.11**

Creador de tramas de BH y cadena de modulación (es decir, una portadora) en el Modulador de la puerta de enlace N



**Fig.12**