

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 898 446**

51 Int. Cl.:

H04W 36/32 (2009.01)

H04W 36/38 (2009.01)

H04W 36/00 (2009.01)

H04W 84/00 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.10.2019 PCT/EP2019/078496**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.09.2020 WO20187430**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2019 E 19791221 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.08.2021 EP 3759964**

54 Título: **Un método y sistema para manejar la itinerancia en redes inalámbricas tren-tierra**

30 Prioridad:

17.09.2019 ES 201930805

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

07.03.2022

73 Titular/es:

**AOIFE SOLUTIONS, S.L. (100.0%)
C/ Itálica 1 -1ª Planta
41900 Camas (Sevilla), ES**

72 Inventor/es:

**BERROCAL-PLAZA, VICTOR;
GONZÁLEZ GARRIDO, JOSÉ AYUB y
DELGADO ALFONSO, JOSÉ ANTONIO**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 898 446 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

Un método y sistema para manejar la itinerancia en redes inalámbricas tren-tierra

Campo de la invención

5 La presente divulgación se refiere a sistemas de comunicación y, más particularmente, a la itinerancia en redes IEEE 802.11 para aplicaciones tren-tierra.

Antecedentes de la invención

10 Hoy en día, la gente espera entrar al Internet independientemente de la ubicación. Sin embargo, proporcionar conexiones de Internet de alta velocidad a bordo de un tren es un tema muy desafiante debido a las características propias de dicho escenario especial. Por ejemplo, los vagones tienen características de tipo jaula de Faraday, que pueden llevar a altas pérdidas de penetración cuando las fuentes de transmisión y de recepción no se encuentran dentro del mismo vagón, o a un alto desvanecimiento multitrayecto cuando las fuentes de transmisión y de recepción se encuentran dentro del mismo vagón. También se pueden producir altos voltajes y campos magnéticos en los alrededores, como en los trenes de levitación eléctrica o magnética. Además, pueden haber varios procedimientos de transferencia o itinerancia en la red celular debido a la movilidad del tren, que puede resultar en interrupciones del servicio constantes y una experiencia del usuario deficiente; los túneles pueden limitar la visibilidad para dispositivos de comunicación inalámbrica; y las empresas ferroviarias constantemente añaden o eliminan vagones de los trenes, por lo que es necesario tener mecanismos de red para descubrir automáticamente cuándo se añade o elimina un vagón del tren.

20 Los problemas antes mencionados se han abordado con distintas tecnologías, p. ej., LTE, WiMax, IEEE 802.11 y comunicaciones por satélite. Para el caso específico de redes de IEEE 802.11, los pasajeros se conectan a uno de los puntos de acceso (AP) a Wi-Fi que se despliegan dentro de su vagón. Los puntos de acceso dentro de los vagones están, a su vez, conectado a una terminal de acceso al tren (TAT) que se instala fuera de uno de los vagones del tren. Las terminales de acceso al tren están a cargo de servir como un puente inalámbrico entre los puntos de acceso desplegados dentro de los vagones y los puntos de acceso desplegados a lo largo de la vía. Tanto las terminales de acceso al tren como los puntos de acceso desplegados a lo largo de la vía pueden tener antenas direccionales para cubrir toda el área de interés con una calidad de señal lo suficientemente fuerte en el enlace descendente y el enlace ascendente. Finalmente, estos últimos puntos de acceso están conectados a la red de agregación, que está a cargo de comunicar a estos puntos de acceso con la puerta de enlace de Internet.

30 La comunicación establecida entre las terminales de acceso al tren y los puntos de acceso desplegados a lo largo de la vía pueden denominarse una comunicación tren-tierra y las redes así establecidas como redes inalámbricas tren-tierra. Con el fin de mantener sesiones de pasajeros de datos de Internet en un tren, las terminales de acceso al tren deben reasociarse frecuentemente a un punto de acceso nuevo conforme el tren se desplaza a lo largo de la vía. En las redes IEEE 802.11, el proceso mediante el cual se reasocia un dispositivo inalámbrico de su punto de acceso actual a uno nuevo habitualmente se denomina un proceso de itinerancia.

35 Este proceso de itinerancia actualmente se impulsa mediante la terminal de acceso al tren, que periódicamente compara la intensidad de la señal recibida de su punto de acceso actual a un umbral predefinido para determinar si se requiere una itinerancia. Una vez que la intensidad de la señal cae por debajo de ese umbral, la terminal de acceso al tren escanea todos los canales disponibles con el objetivo de hallar un punto de acceso nuevo que proporciona una mejor calidad de señal y, de ser así, la terminal de acceso al tren completa un proceso de itinerancia mediante la autenticación y asociación por sí misma a ese nuevo punto de acceso. Con el fin de facilitar y acelerar el proceso de itinerancia, el estándar IEEE 40 802.11 proporciona un mecanismo para una rápida transición de conjunto de servicios básicos (BSS) entre los puntos de acceso, que se describe en la enmienda de IEEE 802.11r.

45 Los procesos de itinerancia impulsados por la terminal de acceso al tren no son adecuados para las aplicaciones de tren-tierra por los siguientes motivos. En primer lugar, porque la terminal de acceso al tren frecuentemente puede recorrer se un punto de acceso a otro y, en cada proceso de itinerancia, puede decidir asociarse a cualquier punto de acceso dentro de su intervalo basado en valores instantáneos de la intensidad de la señal, sin tomar en cuenta el efecto debido al desvanecimiento multitrayecto. Como consecuencia, en lugar de seleccionar el siguiente punto de acceso en su camino, la terminal de acceso al tren puede elegir asociarse con un punto de acceso con el que se ha asociado recientemente. Este último aumentaría la cantidad de procesos de itinerancia por instante de tiempo y, por lo tanto, la posibilidad de interrumpir las sesiones de datos de pasajeros. Además, debido a que el conocimiento se mantiene en la terminal de acceso al tren, cada una debe aprender su nuevo trayecto cada vez que su vagón se añade a un tren de otra vía.

Otro aspecto importante por tomar en cuenta al momento de diseñar una aplicación tren-tierra eficiente es el comportamiento del algoritmo de control de velocidad justo después de que se lleve a cabo un proceso de itinerancia. En las redes IEEE 802.11, cada dispositivo inalámbrico implementa un algoritmo de control de velocidad. Este algoritmo está a cargo de seleccionar el esquema de modulación o codificación (MCS) en el que se transmiten las tramas de datos.

5 Cuando un dispositivo inalámbrico inicia una nueva comunicación con otro dispositivo inalámbrico, el algoritmo de control de velocidad de cada dispositivo habitualmente selecciona un MCS para iniciar la transmisión de datos. Ese MCS puede ser un MCS seleccionado de manera aleatoria o un MCS preconfigurado de antemano. Después, el algoritmo de control de velocidad de cada dispositivo inalámbrico cambia el MCS conforme a la calidad del enlace por radio entre ambos dispositivos. Por lo tanto, después de cada proceso de itinerancia, el algoritmo de control de velocidad de cada dispositivo inalámbrico (es decir, terminal de acceso al tren y punto de acceso) inicia la transmisión con un MCS inicial, que puede ser más alto o más bajo que el MCS óptimo y, por lo tanto, los pasajeros del tren pueden percibir una degradación en la calidad de su servicio.

10 La invención descrita en la presente propone mecanismos para resolver los problemas antes mencionados generados en los procesos de itinerancia en redes inalámbricas tren-tierra. Además, las enseñanzas explicadas en la presente pueden utilizarse para abordar la itinerancia en otros casos de uso específicos, tales como movilidad vehicular en caminos y autopistas.

US2011/267969 y US2018/084471 divulga técnicas de fondo relacionadas.

Breve descripción de la invención

15 La invención se define en el pliego de reivindicaciones adjunto.

20 La presente invención se refiere a un sistema y método para manejar la itinerancia en redes inalámbricas tren-tierra. La invención está específicamente diseñada para mejorar la comunicación entre las terminales de acceso al tren y los puntos de acceso desplegados a lo largo de la vía, es decir, la porción tren-tierra del sistema antes mencionado. La invención permite tomar decisiones optimizadas en el mejor punto de acceso nuevo para asociarse con la terminal de acceso al tren y el instante adecuado para iniciar un proceso de itinerancia en redes tren-tierra, para evitar efectos no deseados, tales como desvanecimiento multitrayecto o efecto ping pong. La invención también proporciona mecanismos para garantizar que el proceso de itinerancia a punto de acceso nuevo seleccionado (es decir, el mejor candidato) se lleva a cabo efectivamente.

25 Además, ya que la toma de decisiones se implementa en la infraestructura de red (es decir, los puntos de acceso desplegados a lo largo de la vía y/o una estación de control central), los procesos de itinerancia pueden estar limitados solamente hacia el siguiente punto de acceso en el trayecto y, además, se puede tomar la misma decisión sin importar la terminal de acceso al tren que se desplaza a lo largo de la vía (a diferencia de la técnica previa, donde se toma la decisión en la terminal de acceso al tren, para que cada terminal de acceso al tren deba aprender su nuevo trayecto siempre que se añade su vagón a un tren de otra vía). La invención también propone mecanismos para mantener el conocimiento del algoritmo de control de velocidad de un punto de acceso a otro, evitando de esta manera la degradación del rendimiento de los métodos actuales.

30 El método para manejar la itinerancia comprende los siguientes pasos:

35 - Recibir, mediante un punto de acceso actualmente asociado con una terminal de acceso al tren instalado a bordo de un tren, mediciones de señales por radio recibidas por la terminal de acceso al tren de los puntos de acceso de la red inalámbrica tren-tierra.

- Determinar un siguiente punto de acceso, dicho siguiente punto de acceso que es el punto de acceso que proporciona la más alta calidad de señal conforme a la métrica de la calidad.

40 - Evaluar el cumplimiento con un conjunto de criterios de itinerancia, los criterios de itinerancia que incluyen (i) el siguiente punto de acceso se incluye en una lista de posibles puntos de acceso, (ii) la cantidad de tiempo transcurrido desde la última itinerancia llevada a cabo mediante la terminal de acceso al tren excede un tiempo de permanencia mínimo, y (iii) la más alta calidad de señal excede la calidad de señal del punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren mediante al menos un margen de itinerancia.

45 - Enviar, si se cumplen los criterios de itinerancia, un comando de itinerancia que le instruye a la terminal de acceso al tren de desplazarse del punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren hacia el siguiente punto de acceso.

50 El método también puede comprender el paso de determinar la lista de posibles puntos de acceso utilizados en la evaluación de los criterios de itinerancia, en donde la lista de posibles puntos de acceso se determina con base en la dirección en que se desplaza y la ruta seguida por el tren. El método puede además comprender adquirir la dirección de desplazamiento y la ruta seguida por el tren accediendo a una base de datos del tren de un centro de datos que puede formar parte de cualquiera de los sistemas del operador ferroviario.

El punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren envía órdenes de mediciones por radio a la

terminal de acceso al tren. La terminal de acceso al tren, después de recibir una orden de medición por radio o periódicamente después de recibir la primera orden de medición por radio de aquel punto de acceso, mide las señales recibidas de los puntos de acceso en su intervalo. Después, la terminal de acceso al tren envía estas mediciones a ese punto de acceso en una respuesta de medición por radio. En una realización, todos los puntos de acceso desplegados a lo largo de la vía pueden compartir un SSID común y el método comprende el envío, mediante el punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren, una solicitud de medición por radio dirigida a la terminal de acceso al tren y que incluye un comando para llevar a cabo el escaneo activo del SSID común. La solicitud de escaneo activo puede incluir una instrucción de llevar a cabo el escaneo de manera periódica. Alternativamente, la terminal de acceso al tren puede configurarse para enviar repetidamente (p. ej., periódicamente) mediciones por radio al punto de acceso con el que está actualmente asociado. En ese caso, el método puede comprender enviar repetidamente, mediante la terminal de acceso al tren, mediciones por radio de señales recibidas de los puntos de acceso en el intervalo.

La métrica de calidad puede incluir la computación, para cada punto de acceso, la regresión por mínimos cuadrados de los valores instantáneos de la intensidad de las señales recibidas.

El margen de itinerancia puede ser un margen dinámico $M(t)$ que disminuye con el paso del tiempo para $t > t_r$, donde t_r es el instante de tiempo cuando ocurrió el último procedimiento de itinerancia de la terminal de acceso al tren.

En una realización, el método comprende, además:

- Obtener, mediante el siguiente punto de acceso cuando se cumplen con los criterios de itinerancia, información relacionada con la calidad del enlace por radio entre la terminal de acceso al tren y el punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren.
- Determinar, con base en dicha información, un esquema de modulación o codificación para transmitir tramas de datos del siguiente punto de acceso a la terminal de acceso al tren.
- Establecer, en el controlador de radio del siguiente punto de acceso, el esquema de modulación o codificación seleccionado para la comunicación de enlace descendente con la terminal de acceso al tren.

La información utilizada para determinar el esquema de modulación y codificación se puede obtener consultando el punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren. Alternativamente, el método puede comprender el almacenamiento, en una base de datos global mediante cada punto de acceso de la red inalámbrica tren-tierra, de la información relacionada con la calidad del enlace por radio entre el punto de acceso y las terminales de acceso al tren asociadas; y en donde la información utilizada para determinar el esquema de modulación y codificación se recupera mediante el siguiente punto de acceso al acceder a la base de datos global cuando se cumplen los criterios de itinerancia.

El método puede comprender la recepción, mediante un punto de acceso de la red, de una solicitud de itinerancia de una terminal de acceso al tren, verificando si dicho punto de acceso corresponde al siguiente punto de acceso determinado y, en ese caso, aceptar la solicitud de itinerancia mediante el siguiente punto de acceso; de lo contrario, ignorar la solicitud de itinerancia.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un sistema para manejar la itinerancia en redes inalámbricas tren-tierra. El sistema comprende una pluralidad de puntos de acceso desplegados a lo largo de la vía y está configurado para llevar a cabo los pasos del método. En una configuración centralizada, el sistema comprende una estación de control central configurada para evaluar el cumplimiento con los criterios de itinerancia. Alternativamente, en una configuración distribuida, el punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren está configurado para evaluar el cumplimiento con los criterios de itinerancia.

Al momento de instruir una terminal de acceso al tren de llevar a cabo un proceso de itinerancia, la invención descrita en la presente puede hacer uso del mecanismo de itinerancia rápida descrito en la enmienda de IEEE 802.11r o de cualquier otro mecanismo de la técnica previa utilizado para volver a autenticar y asociar un dispositivo inalámbrico de un punto de acceso a otro.

Breve descripción de los dibujos

Una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que están expresamente relacionados con una realización de dicha invención, presentados como un ejemplo no limitante de esta, se describen muy brevemente a continuación.

La Figura 1 representa un ejemplo de una infraestructura tren-tierra y la cubierta a lo largo de la vía y que también muestra distintos elementos que pueden formar parte de un sistema ya sea con una configuración centralizada o distribuida.

Las Figuras 2A y 2B representan dos posibles diseños de una infraestructura tren-tierra: caso de uso circular (Fig. 2A) y

caso de uso de ida y vuelta (Fig. 2B).

Las Figuras 3A y 3B, respectivamente, muestran una gráfica G ejemplar del caso de uso circular de la Fig. 2A y el caso de uso de ida y vuelta de la Fig. 2B.

La Figura 4 muestra un ejemplo de efecto ping pong debido al desvanecimiento multitrayecto.

5 La Figura 5 representa un diagrama de estado del método de la presente invención para controlar procedimientos de itinerancia en una aplicación tren-tierra.

Las Figuras 6, 7 y 8, respectivamente, representan los estados S0, S1 y S2 del diagrama de estado que se muestran en la Fig. 5.

10 La Figura 9 muestra un ejemplo de un proceso de itinerancia y los mensajes intercambiados entre los elementos del sistema en una configuración centralizada.

La Figura 10 muestra un ejemplo de un proceso de itinerancia y los mensajes intercambiados entre los elementos del sistema en una configuración distribuida.

15 La Figura 11 representa un ejemplo del seguimiento de la calidad de señales RF entre una terminal de acceso al tren y los puntos de acceso cercanos, así como la itinerancia llevada a cabo con base en la regresión por mínimos cuadrados de los valores instantáneos de las señales recibidas.

La Figura 12 representa un ejemplo de un tiempo de permanencia mínimo (t_p) en una celda justo después de llevar a cabo un proceso de itinerancia.

La Figura 13 representa la degradación del rendimiento después de un proceso de itinerancia debido a la operación común de los algoritmos de control de velocidad.

20 La Figura 14 ilustra un ejemplo de la operación común, conforme a la técnica previa, de un algoritmo de control de velocidad en el enlace descendente (lado del punto de acceso).

La Figura 15 ilustra un ejemplo de la operación común, conforme a la técnica previa, de un algoritmo de control de velocidad en el enlace ascendente (lado de la terminal de acceso al tren).

25 La Figura 16 muestra un ejemplo de la operación de un algoritmo de control de velocidad en el enlace descendente (lado del punto de acceso) conforme a una realización de la presente invención.

La Figura 17 muestra un ejemplo de la operación de un algoritmo de control de velocidad en el enlace ascendente (lado de la terminal de acceso al tren) conforme a una realización de la presente invención.

La Figura 18 representa un ejemplo de comunicación de mensajes para transferir el RCDL de la base de datos local de una terminal de acceso al tren de un punto de acceso a otro.

30 La Figura 19 muestra un ejemplo de comunicación de mensajes para transferir periódicamente el RCDL de la base de datos local de una terminal de acceso al tren de un punto de acceso a otro.

La Figura 20 representa un ejemplo de comunicación de mensajes para actualizar y consultar el RCDL de la base de datos local de una terminal de acceso al tren mediante una base de datos global.

35 La Figura 21 ilustra una tabla ejemplar que contiene información relacionada con la calidad del enlace por radio entre la terminal de acceso al tren y el punto de acceso.

Esta información se puede utilizar por el algoritmo de control de velocidad de la presente invención.

Descripción de una realización preferida de la invención

40 La presente invención se refiere a un sistema y método para manejar la itinerancia en redes inalámbricas tren-tierra IEEE 802.11. Como se muestra en la Figura 1, este tipo de redes incluyen una pluralidad de puntos de acceso 102 (AP_n, AP_{n+1}, AP_{n+2}) desplegados a lo largo de una vía 100 y una o más terminales de acceso al tren 112 instaladas a bordo (habitualmente fuera del vagón frontal y posterior) al menos un tren 110 que se desplaza a lo largo de la vía 100. Tanto las terminales de acceso al tren 112 como los puntos de acceso 102 desplegados a lo largo de la vía 100 pueden tener antenas direccionales con un patrón de radiación 104 que cubre toda el área de interés con una calidad de señal lo

suficientemente fuerte en el enlace descendente y el enlace ascendente. A continuación, en aras de la simplificación y sin pérdida de generalidad, asumimos que solo hay una terminal de acceso al tren 112 instalada fuera de uno de los vagones del tren.

5 Un proceso para desplazarse de un punto de acceso (AP_n) a un punto de acceso posterior (AP_{n+1}) habitualmente se inicia cuando la terminal de acceso al tren 112 alcanza la intersección 106 de patrones de radiación adyacentes 104.

10 Todos los puntos de acceso 102 están conectados a través de una red de agregación 116. Los puntos de acceso se pueden conectar a la red de agregación 116 a través de enlaces alámbricos o inalámbricos. La red de agregación 116 también puede incluir una red de comunicación en malla entre los puntos de acceso. Un centro de datos central 120, a cargo de almacenar y procesar información relacionada con la invención descrita en la presente, puede estar directamente conectado a la red de agregación 116. Alternativamente, un centro de datos remoto 130 puede estar conectado de manera remota a la red de agregación 116 a través del Internet 118. Tanto el centro de datos central como el centro de datos remoto pueden formar parte de cualquiera de los sistemas del operador ferroviario. El sistema de la presente invención puede funcionar utilizando una configuración distribuida o una configuración centralizada.

15 En una configuración centralizada, una estación de control central 122 está a cargo de gestionar y coordinar la itinerancia de la terminal de acceso al tren 112 de un punto de acceso 102 a otro punto de acceso 102. La estación de control central 122 puede estar ubicada en el centro de datos central 120, en el centro de datos remoto 130 o en un sitio distinto (aunque hay dos estaciones de control centrales 122 distintas representadas en la Fig. 1, habitualmente solo se podría requerir una sola estación de control central 122).

20 El centro de datos central puede comprender una base de datos de trenes 124 para almacenar información de trenes 110 y terminales de acceso al tren 112, tal como identificadores únicos de los trenes y/o terminales de acceso al tren, ruta seguida por cada tren, gráfica G de puntos de acceso de la red asociada a la ruta seguida por cada tren, dirección de desplazamiento d de cada tren y sus terminales de acceso al tren, etc. Esta información se puede utilizar por el método para manejar la itinerancia. De nuevo, aunque hay dos bases de datos de trenes distintas 124 representadas, habitualmente solo se requeriría una.

25 En una configuración distribuida, el sistema puede hacer uso de una base de datos global 126 para almacenar y compartir datos entre los puntos de acceso 112 de la red. La base de datos global 126 puede instalarse en el centro de datos central/remoto (120, 130) o en una instalación distinta, como se muestra en el ejemplo.

30 La presente invención mejora la comunicación entre las terminales de acceso al tren 112 y los puntos de acceso 102 desplegadas a lo largo de la vía 100, es decir, la red tren-tierra. Los ejemplos de dos posibles casos de uso se muestran en la **Fig. 2A** para un trayecto circular en varias estaciones de tren 108 (estaciones A, B, C y D) y la **Fig. 2B** para una trayectoria de ida y vuelta entre dos estaciones de tren (estación A y D). En ambos ejemplos, la terminal de acceso al tren 112 debe reasociarse frecuentemente con otros puntos de acceso conforme se desplaza a lo largo de la vía 100 con el fin de mantener la sesión de datos de Internet de los pasajeros del tren (véase la Fig. 1).

35 La frecuencia a la que se desplaza una terminal de acceso al tren 112 del punto de acceso actual a un siguiente punto de acceso depende de la velocidad del tren, tamaño de celdas y distancia entre puntos de acceso. Una vez que la infraestructura de red (es decir, los puntos de acceso 102 a lo largo de la vía 100) conoce el trayecto seguido por cada tren 110 en esa vía, una gráfica G asociada con la ruta seguida por cada tren se obtiene (los nodos 302 de la gráfica G corresponden a los puntos de acceso 102 a lo largo de la ruta del tren). La gráfica G asociada con cada uno de los dos casos de uso de la Fig. 2 se representa en la Fig. 3. La **Fig. 3A** muestra la gráfica G para el caso circular de la Fig. 2A y **Fig. 3B** muestra la gráfica G para el viaje de ida y vuelta de la Fig. 2B. Una vez conocida la gráfica G, el punto de acceso actualmente asociado a la terminal de acceso al tren 112 y la dirección de desplazamiento d del tren (es decir, $[AP_{\text{actual}}, G, d]$), el siguiente punto de acceso en la gráfica G, a la que se debe reasociar la terminal de acceso al tren 112, se puede determinar. La gráfica G se puede obtener utilizando cualquier método conocido en la teoría de gráficos.

45 Las señales transmitidas a/por una terminal de acceso al tren 112 se ven afectadas por varios efectos físicos radioeléctricos que pueden hacer que las señales recibidas por un dispositivo inalámbrico fluctúen a una mayor o menor medida. Una consecuencia directa de dicha fluctuación de las señales recibidas es que las propuestas de la técnica previa puedan hacer malas decisiones de itinerancia, especialmente en el borde de dos celdas de radio. Un ejemplo se muestra en la **Fig. 4** donde, debido a las fluctuaciones en las señales recibidas, la terminal de acceso al tren 112 lleva a cabo varios procesos de itinerancia entre el punto de acceso actual (AP_n) y el siguiente punto de acceso (AP_{n+1}). Este efecto se conoce habitualmente como efecto ping pong y puede resultar en degradaciones del rendimiento críticas e incluso a interrupciones del servicio.

55 La presente invención propone distintos mecanismos para afrontar el efecto ping pong. En primer lugar, todas las solicitudes de itinerancia dirigidas a un punto de acceso no candidato son ignoradas, evitando de esta manera todos los procesos de itinerancia regresivos (p. ej., procesos de itinerancia de AP_{n+1} a AP_n en el ejemplo de la Fig. 4), así como todos los procesos de itinerancia dirigidos a puntos de acceso adyacentes. En segundo lugar, la presente invención un

tiempo de permanencia (t_p) mínimo y un margen ($M(t)$). El tiempo de permanencia (t_p) mínimo se utiliza para ignorar todas las solicitudes de itinerancia enviadas por la terminal de acceso al tren 112 durante un periodo de tiempo determinado t_p después del último procedimiento de itinerancia (véase la **Fig. 12**). El margen ($M(t)$) es de preferencia un margen dinámico y se utiliza al momento de comparar la calidad de las señales recibidas del punto de acceso actual con la calidad de las señales recibidas de todos los posibles puntos de acceso. $M(t)$ puede variar en tiempo conforme a una función positiva que disminuye con el transcurso de tiempo, p. ej., $M(t)$ puede ser una función exponencial tal como $M(t) = e^{(1/(t-t_r))} - 1$, donde $t > t_r$ y t_r es el instante de tiempo cuando ocurrió el último procedimiento de itinerancia.

El diagrama de estado de la invención propuesto en la presente se muestra en la **Fig. 5**. El diagrama de estado comprende los estados S0 (502), S1 (504) y S2 (506). Todos los parámetros utilizados en el diagrama de estado de la invención se pueden ajustar dependiendo de la velocidad del tren.

El diagrama de estado se ejecuta para cada terminal de acceso al tren 112 que se desplaza a lo largo de la vía. El diagrama de estado se puede ejecutar de una manera distribuida o centralizada.

En una configuración distribuida, los pasos requeridos para implementar el diagrama de estado se distribuyen entre los puntos de acceso 102. Cada paso del diagrama de estado se puede llevar a cabo por uno o más puntos de acceso 102. El conjunto de puntos de acceso 102 a cargo de llevar a cabo un paso determinado del diagrama de estado puede variar conforme la terminal de acceso al tren 112 se desplaza a lo largo de la vía 100. En esta configuración, la información se intercambia entre los puntos de acceso, que se pueden conectar a través de un enlace de comunicación inalámbrico o alámbrico.

En una estructura centralizada, una infraestructura de red central (p. ej., una estación de control central 122) lleva a cabo los pasos S0-S2 del diagrama de estado. La estación de control central 122 está en comunicación (alámbrica o inalámbrica) con todos los puntos de acceso 102 de la red, juntando información y mandando instrucciones. Las entradas para el diagrama de estado son el punto de acceso actualmente asociado a la terminal de acceso al tren (AP_i), la gráfica G de la ruta seguida por el tren 110 y la dirección de desplazamiento d del tren (es decir, $[AP_i, G, d]$).

En los siguientes ejemplos, se asume que todos los puntos de acceso 102 desplegados a lo largo de la vía 100 están configurados con el mismo SSID (p. ej., SSID_{T2T}). En el estado S0, representado en la **Fig. 6**, el primer paso es obtener 602 el conjunto de posibles puntos de acceso N_i para la terminal de acceso al tren 112. El conjunto de posibles puntos de acceso N_i se calcula utilizando la gráfica G (que se pueden derivar de la ruta seguida por el tren) y tomando en cuenta la dirección de desplazamiento d del tren. La lista de posibles puntos de acceso N_i puede comprender uno o más puntos de acceso. Después, el punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren vigila de manera periódica 604 la calidad de las señales (calidad de señal, SQ) recibida por la terminal de acceso al tren 112. El punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112 puede enviar de manera periódica solicitudes de medición por radio a la terminal de acceso al tren 112 para consultar a la terminal de acceso al tren 112 que lleve a cabo el escaneo activo de SSID_{T2T}. Tras recibir una solicitud de medición por radio, la terminal de acceso al tren 112 escanea de manera activa la banda de frecuencia correspondiente y, después, reporta el resultado de dicho escaneo activo a AP_i , que debe almacenar esos resultados en una base de datos. Los resultados del escaneo almacenados en una base de datos pueden procesarse con el fin de determinar la calidad de las señales recibidas por la terminal de acceso al tren 112 de cada uno de los puntos de acceso en su intervalo.

El procesamiento de datos puede proporcionar una métrica (SQ) por punto de acceso en intervalo, asociando un valor real a la calidad de señal percibida por la terminal de acceso al tren 112. Algunas propuestas de la técnica previa utilizan la intensidad de la señal recibida obtenida en el último resultado de escaneo como una métrica. Sin embargo, la comparación de la calidad de las señales basada en valores instantáneos de las señales recibidas puede ser una práctica deficiente en las aplicaciones tren-tierra debido a que la intensidad de las señales recibidas puede fluctuar por el desvanecimiento multitrayecto, lo que ocasiona el efecto ping pong de la Fig. 4 (es decir, varios procesos de itinerancia consecutivos de AP_n y AP_{n+1} y viceversa). Se puede utilizar una métrica de calidad más avanzada, por ejemplo, mediante el cómputo de la regresión por mínimos cuadrados 1102 de los valores instantáneos de la intensidad de señales recibidas (véase la **Fig. 11**). Al hacerlo, se reduce la aleatoriedad de la señal e incluso se puede predecir cuándo se debe llevar a cabo el proceso de itinerancia al determinar el punto de cruce entre las dos líneas de mínimos cuadrados asociadas con el punto de acceso actual (AP_n en la Fig. 11) y el siguiente punto de acceso (AP_{n+1} en la Fig. 11). El estándar IEEE 802.11 proporciona mecanismos para consultar a la terminal de acceso al tren 112 que lleve a cabo algunos comandos predefinidos, los cuales se describen en la enmienda de IEEE 802.11k. La invención descrita en la presente puede hacer uso de la enmienda de IEEE 802.11k o de cualquier otro mecanismo utilizado para ordenarle a la terminal de acceso al tren que lleve a cabo el escaneo activo y reporte el resultado de dicho escaneo activo.

Una vez que se obtiene una métrica de calidad (SQ) para cada punto de acceso en el intervalo, el punto de acceso que proporciona la mejor métrica de calidad (maxSQ) se determina 606 y selecciona como el siguiente punto de acceso (AP_{next}). El cómputo en el peso 606 se lleva a cabo en el conjunto de calidades de señales $[SQ-SQ(i)]$, excluyendo la métrica de calidad SQ(i) del punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren, para que el siguiente punto de acceso (AP_{next}) seleccionado no pueda ser AP_i . Alternativamente, la mejor métrica de calidad (maxSQ) se puede obtener considerando todos los puntos de acceso, incluso AP_i , pero si la mejor métrica de calidad (SQmax)

corresponde a $SQ(i)$, la itinerancia no se lleva a cabo. Después, las siguientes condiciones o criterios de itinerancia se verifican (pasos 612, 614 y 616 de la Fig. 6):

- 5 (i) El siguiente punto de acceso (AP_{next}) no es el punto de acceso AP_i actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (este criterio de itinerancia se puede verificar después de las mediciones de calidad de señal, si la calidad de señal se mide para todos los puntos de acceso; o puede llevarse a cabo de manera implícita al momento de medir la calidad de las señales al ignorar la calidad de señal de AP_i , como se muestra en la Fig. 6; o AP_i puede no estar incluido en la lista de posibles AP, véase el siguiente criterio);
- (ii) el siguiente punto de acceso (AP_{next}) está en la lista de posibles AP (N_i);
- (iii) más de t_p segundos han pasado desde la última itinerancia; y
- 10 (iv) la diferencia entre la calidad de las señales recibidas por la terminal de acceso al tren del AP_i ($SQ(i)$) y del siguiente punto de acceso AP_{next} ($maxSQ$) es mayor que el valor del margen ($M(t)$) en ese momento.

Si el siguiente punto de acceso (AP_{next}) no es un nodo de la gráfica G , verificado en el paso 608, una gráfica que repara la operación 618 puede llevarse a cabo para incluir un nodo nuevo en la gráfica G . La gráfica que repara la operación 618 puede llevarse a cabo por el administrador de la red. Cada cambio en la gráfica G debe actualizarse en los nodos de red correspondientes y bases de datos, p. ej., en el centro de datos central/remoto para la configuración centralizada o en la base de datos global y los puntos de acceso dentro del trayecto (G) de esa terminal de acceso al tren para la configuración distribuida. Cualquiera de los métodos de la técnica previa para reparar la gráfica G pueden utilizarse. Cuando se cumplen todos los criterios de itinerancia, un contador $S1_{count}$ se inicia en 0 en el paso 620 y el sistema hace la transición al estado $S1$; de lo contrario, el sistema permanece vigilando de manera periódica 604 la calidad de las señales recibidas por la terminal de acceso al tren 112 hasta que se cumplan los criterios de itinerancia.

15

20

El estado $S1$ se muestra en la **Fig. 7**. En este estado, el punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112 manda 702 a la terminal de acceso al tren 112 que lleve a cabo una itinerancia (p. ej., itinerancia rápida) del AP_i al AP_{next} . El estándar IEEE 802.11 proporciona mecanismos para consultar a la terminal de acceso al tren que se desplace de un punto de acceso a otro. Esta operación se define en la enmienda de IEEE 802.11v. La presente invención puede hacer uso de la enmienda de IEEE 802.11v o de cualquier otro mecanismo utilizado para mandarle a la terminal de acceso al tren que se desplace de un AP a otro. El contador $S1_{count}$ se utiliza para contar 704 cuántas veces ha intentado el sistema desplazar la terminal de acceso al tren 112 del AP_i al AP_{next} . Se envía una alerta 708 al administrador de la red si el $S1_{count}$ ha superado 706 un valor máximo (MAX_TRIES). Finalmente, el sistema hace la transición al estado $S2$.

25

El estado $S2$ se muestra en la **Fig. 8**. Al momento de considerar una configuración centralizada, una estación de control central 122 está a cargo de aceptar o ignorar las solicitudes de itinerancia enviadas por la terminal de acceso al tren 112. En una configuración distribuida, cada punto de acceso de la red lleva a cabo este estado $S2$ (en este caso, los puntos de acceso necesitan intercambiar algunos datos entre ellos). En el caso de que un punto de acceso AP_j haya recibido una solicitud de itinerancia de la terminal de acceso al tren 112, que se verifica en el paso 802, el sistema (es decir, la estación de control central 122 en una configuración centralizada o cada punto de acceso 102 de la red en una configuración distribuida) verifica 806 si ese punto de acceso AP_j es el siguiente punto de acceso (AP_{next}) y, de ser así, se acepta 808 la solicitud de itinerancia por el siguiente punto de acceso (AP_{next}). En la distribución centralizada, la estación de control central 122 instruye por consiguiente al punto de acceso 102 que acepte la solicitud de itinerancia; en una estructura distribuida, cada punto de acceso se programa de manera conveniente para ejecutar la itinerancia. En el caso cuando la solicitud de itinerancia se recibe por otro punto de acceso en la gráfica G , distinto del siguiente punto de acceso (AP_{next}), dicha solicitud se ignora 812 a menos que el contador $S1_{count}$, verificado en el paso 810, excede un valor máximo (MAX_TRIES); de lo contrario, el punto de acceso (AP_{next}) acepta 808 la solicitud de itinerancia.

30

35

40

El sistema puede adicionalmente verificar en el paso 804 si el punto de acceso AP_j que recibe la solicitud de itinerancia está incluido en la gráfica G . Si la solicitud de itinerancia se recibe por un punto de acceso que no está incluido en la gráfica G , una gráfica que repara la operación 816 se lleva a cabo para incluir el nuevo nodo AP_j en la gráfica G y la solicitud de itinerancia se ignora 812 (el punto de acceso nuevo debe aceptarse por el administrador de la red).

45

Una vez que se acepta 808 una solicitud de itinerancia, el sistema hace la transición al estado $S0$. Si el sistema permanece en el estado $S2$ durante un tiempo mayor que un tiempo de permanencia t_w , verificado en el paso 814, el sistema inmediatamente hará la transición al estado $S1$ para enviar un nuevo comando de itinerancia a la terminal de acceso al tren 112.

50

La **Fig. 9** representa un ejemplo de transferencia de mensajes para el diagrama de estado de las Figuras 5 a 8 entre la terminal de acceso al tren 112, varios puntos de acceso 102 de la red ($AP1$, $AP2$, $AP3$) y la estación de control central 122 en una configuración centralizada. La estación de control central 122 recibe 902 un anuncio de una terminal de acceso al tren 112 recién conectada a la red, detectada por un punto de acceso $AP1$ a través de una solicitud de asociación. La

estación de control central 122 obtiene la ruta (o una gráfica G que corresponde a dicha ruta) y la dirección de desplazamiento d del tren 110 en la que se instala la terminal de acceso al tren 112 (por ejemplo, al buscar una base de datos de trenes 124 en el centro de datos central/remoto (120, 130), que se actualiza por el operador ferroviario) y actualiza la información 904 asociada con dicha terminal de acceso al tren 112. Conociendo el punto de acceso actualmente asociado (AP1) con la terminal de acceso al tren 112, la gráfica G y la dirección d, la estación de control central 122 puede determinar una lista de posibles puntos de acceso N_i (en el ejemplo, el candidato es solo AP2, el siguiente punto de acceso en la ruta).

En esta configuración, la estación de control central 112 instruye 906, a través del punto de acceso actualmente asociado (AP1), a la terminal de acceso al tren 112 que haga el escaneo periódico de la banda de frecuencia (p. ej., al enviar solicitudes de sondeo 910) con el fin de vigilar 604 la calidad de las señales recibidas de todos los puntos de acceso 102. En el primer intento, la terminal de acceso al tren 112 solo recibe la respuesta de sondeo 912 del punto de acceso AP1 que actualmente está asociado con la terminal de acceso al tren 112, ya que los otros puntos de acceso (AP2, AP3) se encuentran fuera del intervalo. La estación de control central 122 después calcula la métrica de calidad para cada punto de acceso conforme al reporte de medición por radio dentro de la respuesta de medición por radio 914 enviada por la terminal de acceso al tren. Después, la estación de control central 122 verifica el cumplimiento con los criterios de itinerancia, pero ya que no se cumple con los criterios (la estación de acceso al tren 112 no pudo encontrar un mejor punto de acceso) no se ordena una itinerancia. Cuando la terminal de acceso al tren 112 encuentra un mejor candidato distinto al AP1, en el ejemplo AP2, y no se cumplen con los criterios de itinerancia 920, la estación de control central 122 le ordena 702 a la terminal de acceso al tren 112 que se desplace del punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112, AP1, al siguiente punto de acceso, AP2. Si un punto de acceso equivocado, por ejemplo, AP3, recibe una solicitud de itinerancia de la terminal de acceso al tren 112, la solicitud de itinerancia se transfiere 926 a la estación de control central para aceptarse; en este caso, la estación de control central 122 ordena al punto de acceso equivocado AP3 que ignore la solicitud de itinerancia 812, ya que el punto de acceso (AP3) no es el siguiente punto de acceso previamente seleccionado (es decir, AP2). Cuando el punto de acceso correcto, AP2, recibe la solicitud de itinerancia de la terminal de acceso al tren 112, se remite 932 a la estación de control central 122, que acepta 808 la solicitud de itinerancia. Cuando el proceso de itinerancia termina y la estación de control central 122 es informada 942 por el nuevo punto de acceso, AP2, que la información 904 asociada a la terminal de acceso al tren 112 está actualizada debidamente (p. ej., el punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112 es ahora AP2).

La **Fig. 10** muestra, para una configuración distribuida, un ejemplo de transferencia de mensajes entre la terminal de acceso al tren 112, puntos de acceso 102 de la red (AP1, AP2, AP3) y una base de datos global 126 utilizada por los puntos de acceso 102 para almacenar y compartir información 904 asociada con la terminal de acceso al tren 112. La información almacenada en la base de datos global 126 puede incluir, entre otros datos, el punto de acceso AP_i actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112, la gráfica G, la dirección de desplazamiento d y el valor actual del contador $S1_{count}$. En esta configuración, no hay estación de control central 122 y los puntos de acceso 102 se comunican entre sí utilizando la red de agregación. Además, los puntos de acceso 102 almacenan y comparten información a través de la base de datos global 126.

Cada vez que una terminal de acceso al tren 112 está asociado con un punto de acceso 102 (AP1 en el ejemplo de la Fig. 10), el punto de acceso 102 verifica si no tiene información actualizada 1004 de esa terminal de acceso al tren 112. En ese caso, el punto de acceso 102 consulta 1006 a la base de datos global 126 para obtener la información más reciente de esa terminal de acceso al tren 112 (es decir, la gráfica G y la dirección d asociada con la ruta de esa terminal de acceso al tren). Después, el punto de acceso 102 actualiza su información local 1004 relacionada con esa terminal de acceso al tren 112 y comparte 1008 esa información local 1004 con el resto de los puntos de acceso 102 en G (AP2 y AP3 en el ejemplo de la Fig. 10). Cada punto de acceso 102 actualiza y comparte su información 1004 para cada terminal de acceso al tren 112 recién asociada. Una vez compartida esa información 1004, el punto de acceso 102 inicia la vigilancia 604 de la calidad de las señales recibidas por la terminal de acceso al tren de todos los puntos de acceso 102. El paso de vigilancia de la calidad de las señales recibidas puede llevarse a cabo como se explica en el ejemplo que se muestra en la Fig. 9.

Cuando se cumplen todos los criterios de itinerancia, el punto de acceso 102 actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112 ordena 702 a la terminal de acceso al tren 112 que se desplace del punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112, AP1, al siguiente punto de acceso, AP2. Si un punto de acceso equivocado 102, por ejemplo AP3, recibe una solicitud de itinerancia de la terminal de acceso al tren 112, ese punto de acceso equivocado ignorará la solicitud de itinerancia 812, ya que este punto de acceso (AP3) no es el siguiente punto de acceso. Cuando el punto de acceso correcto, AP2, recibe la solicitud de itinerancia de la terminal de acceso al tren 112, ese punto de acceso correcto aceptará 808 la solicitud de itinerancia. Cada punto de acceso 102 en G conoce cuál es el siguiente punto de acceso para una terminal de acceso al tren 112, ya que el punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112 envía un mensaje de "Actualizar información de TAT" 1010 a todos los puntos de acceso en G siempre que cambia su información local 1004 para esa terminal de acceso al tren 112. El mensaje de "Actualizar información de TAT" 1010 incluye cuál es el siguiente punto de acceso para la terminal de acceso al tren indicada en el campo de ID del TAT. Cuando termina el proceso de itinerancia, el punto de acceso 102 actualmente asociado con la terminal de acceso al tren 112 informa 1012 al resto de los puntos de acceso 102 en G que es el nuevo punto de acceso a la que está asociada la terminal de acceso al tren.

La invención descrita en la presente también propone mecanismos para mantener, de un punto de acceso a otro, la información utilizada por el algoritmo de control de velocidad, relacionada a la calidad del enlace por radio entre el punto de acceso y la terminal de acceso al tren, para decidir cuál es el mejor esquema de modulación y codificación (MCS) a la que se transmiten las tramas de datos. Las redes IEEE 802.11 actuales no consideran mecanismos para intercambiar la información de control de velocidad y, por lo tanto, son susceptibles a verse afectadas por la degradación del rendimiento debido a la operación del algoritmo de control de velocidad. En las redes IEEE 802.11, cuando un dispositivo inalámbrico inicia una nueva comunicación con otro dispositivo inalámbrico, el algoritmo de control de velocidad de cada dispositivo habitualmente selecciona un MCS para iniciar la transmisión de datos. Ese MCS puede ser un MCS seleccionado de manera aleatoria o un MCS preconfigurado de antemano. Después, el algoritmo de control de velocidad de cada dispositivo inalámbrico cambia el MCS conforme a la calidad del enlace por radio entre ambos dispositivos. Por lo tanto, después de cada proceso de itinerancia, el algoritmo de control de velocidad de cada dispositivo inalámbrico (es decir, terminal de acceso al tren 112 y punto de acceso 102) inicia la transmisión con un MCS inicial, habitualmente distinto al MCS óptimo y, por lo tanto, los pasajeros del tren perciben una degradación en la calidad de su servicio. Un ejemplo de esta degradación se muestra en la **Fig. 13**.

Los algoritmos de control de velocidad de la técnica previa utilizan distintas métricas para seleccionar el MCS al que se transmiten las tramas de datos. Por ejemplo, algunos algoritmos de control de velocidad utilizan la relación señal-ruido-más-interferencias (SNIR). Sin embargo, la práctica más común es utilizar el MCS que proporciona la mayor posibilidad de recibir tramas satisfactorias (p. ej., el algoritmo de control de velocidad Minstrel). Con el fin de hacerlo, el algoritmo de control de velocidad mantiene una base de datos local en donde almacena la probabilidad de recepción de tramas satisfactoria para cada posible MCS. Esta base de datos local se denomina en la presente como RCDL_i para la comunicación de enlace descendente entre el punto de acceso 102 y la terminal de acceso al tren 112 y RCUL para la comunicación de enlace ascendente entre el punto de acceso 102 y la terminal de acceso al tren 112. En las redes IEEE 802.11 en el modo infraestructura, una terminal de acceso al tren 112 solo puede comunicarse con el punto de acceso al que está actualmente asociado y, por lo tanto, su algoritmo de control de velocidad solo necesita mantener una base de datos local para ese punto de acceso (es decir, RCUL). Además, cuando una terminal de acceso al tren 112 ya no se asocia con un punto de acceso, los algoritmos de control de velocidad de ambos dispositivos inalámbricos pueden borrar las bases de datos locales asociadas con esa comunicación.

Un diagrama de flujo que muestra la operación común de un algoritmo de control de velocidad de la técnica previa como se muestra en la **Fig. 14** para la comunicación de enlace descendente entre un punto de acceso 102 y sus terminales de acceso al tren asociadas 112 y en la **Fig. 15** para la comunicación de enlace ascendente entre una terminal de acceso al tren 112 y un punto de acceso 102. Como se puede observar en la Fig. 14, el algoritmo de control de velocidad del punto de acceso 102 primero verifica 1202 si hay una terminal de acceso al tren recién asociada 112 y, en ese caso, se inicia una base de datos local nueva y un temporizador (1204, 1206) para esa terminal de acceso al tren 112. Además, un MCS inicial está configurado 1208 para transmitir datos a esa terminal de acceso al tren 112. De lo contrario, el algoritmo de control de velocidad verifica 1210 si el temporizador asociado con cada una de las terminales de acceso al tren 112 ha vencido. Tras detectar que un temporizador ha vencido, el algoritmo de control de velocidad analiza 1212 su base de datos local para la terminal de acceso al tren TAT_i asociada con ese temporizador (es decir, RCDL_i) con el fin de determinar 1214 cuál es el MCS nuevo utilizado para transmitir datos a esa terminal de acceso al tren TAT_i. Finalmente, ese MCS está configurado 1216 en el controlador de radio 1218 y el temporizador para esa terminal de acceso al tren TAT_i se reinicia 1220. El controlador de radio 1218 puede aceptar una configuración distinta para cada terminal de acceso al tren 112. Además, es importante tener en cuenta que la información almacenada en la base de datos local (RCDL) está actualizada 1222 conforme el controlador de radio 1218 envía tramas de datos a cada terminal de acceso al tren TAT_i.

El proceso se lleva a cabo para cada terminal de acceso al tren *i* actualmente asociada con el punto de acceso.

Por otro lado, como se puede observar en la Fig. 15 que representa la operación de un algoritmo de control de velocidad de la técnica previa para la comunicación de enlace ascendente entre una terminal de acceso al tren 112 y un punto de acceso 102, el algoritmo de control de velocidad de la terminal de acceso al tren 112 primero verifica 1302 si la terminal de acceso al tren 112 recién se ha asociado con un punto de acceso 102 y, en ese caso, inicia 1304 su temporizador y su base de datos local (RCUL). Además, establece 1306 un MCS inicial en el controlador de radio 1308. De lo contrario, el algoritmo de control de velocidad verifica 1310 si su temporizador ha vencido. Si esto último sucede, el algoritmo de control de velocidad analiza 1312 su base de datos local (RCUL) para determinar cuál es el nuevo MCS con el que el controlador de radio debe transmitir datos al punto de acceso. Finalmente, establece 1314 el MCS seleccionado en el controlador de radio 1308. La información almacenada en la base de datos local (RCUL) se actualiza 1316 conforme el controlador de radio 1308 envía datos al punto de acceso.

Como se puede observar en la Fig. 14 y Fig. 15, los algoritmos de control de velocidad de la técnica previa no proporcionan mecanismos para intercambiar las bases de datos locales (RCDL_i) entre los puntos de acceso ni mecanismos para mantener la base de datos local RCUL cuando la terminal de acceso al tren 112 se desplaza de un punto de acceso a otro. La invención descrita en la presente propone mecanismos para intercambiar y mantener dichas bases de datos con el fin de evitar la degradación de rendimiento que habitualmente ocurre justo después de que termina un proceso de itinerancia (véase la Fig. 13). La **Fig. 16** muestra el diagrama de flujo, conforme a una realización de la presente invención, para el algoritmo de control de velocidad asociado con la comunicación de enlace descendente entre el punto de acceso

y sus terminales de acceso al tren asociadas. Los pasos dentro del contorno punteado son nuevos al compararse con el método de la técnica previa de la Fig. 14. Cuando el algoritmo de control de velocidad detecta, en el paso 1202, que hay una terminal de acceso al tren recién asociada (TAT_i), inicia (1204, 1206) la base de datos local y el temporizador para esa terminal de acceso al tren TAT_i (es decir, $RCDL_i$). Después, consulta 1402 si esa terminal de acceso al tren TAT_i proviene de otro punto de acceso AP_j en la gráfica G. Si la terminal de acceso al tren 112 no viene de otro punto de acceso en la gráfica G, el algoritmo de control de velocidad continúa con su operación habitual, como se discutió previamente en la Fig. 14. De lo contrario, el algoritmo de control de velocidad envía una solicitud de control de velocidad (solicitud de RC, con un ID de TAT que incluye la terminal de acceso al tren solicitada, que es la terminal de acceso al tren que llevará a cabo la itinerancia) 1404 al algoritmo de control de velocidad de ese punto de acceso AP_j para obtener la base de datos local para esa terminal de acceso al tren TAT_i ($RCDL_i$ en AP_j). Tras la recepción de una solicitud de RC, el algoritmo de control de velocidad correspondiente responde con una respuesta de RC que incluye la base de datos local solicitada $RCDL_i$. Una vez que el algoritmo de control de velocidad recibe una respuesta de RC, copia 1406 la base de datos recibida (es decir, $RCDL_i$ de AP_j) en su base de datos local (es decir, su $RCDL_i$). Después, el algoritmo de control de velocidad analiza 1408 la base de datos local $RCDL_i$ para determinar cuál podría ser el mejor MCS para transmitir tramas de datos a esa terminal de acceso al tren TAT_i . Finalmente, el algoritmo de control de velocidad establece 1410 el MCS seleccionado para esa terminal de acceso al tren TAT_i en el controlador de radio 1218 y continúa su operación habitual, como se discutió previamente en la Fig. 14. Es importante tomar en cuenta que las solicitudes de RC se pueden enviar en cualquier momento seleccionado por el algoritmo de control de velocidad. Por ejemplo, el algoritmo de control de velocidad se puede configurar para transmitir solicitudes de RC (sol. de RC) justo después de que su punto de acceso recibe la solicitud de reasociación que se envía durante un proceso de itinerancia rápida. Además, el punto de acceso puede transmitir la respuesta de reasociación justo después de recibir la respuesta de RC con el fin de asegurar que la base de datos local $RCDL_i$ para esa terminal de acceso al tren TAT_i se analiza antes de transmitir tramas de datos a esa terminal de acceso al tren TAT_i , como se muestra en el ejemplo de la Fig. 18. En otra realización, el algoritmo de control de velocidad de cada uno de los siguientes puntos de acceso en la gráfica G periódicamente envía solicitudes de RC al punto de acceso donde la terminal de acceso al tren 112 está actualmente asociado, véase la Fig. 19. De esta manera, el tiempo requerido para reasociar una terminal de acceso al tren TAT_i durante un proceso de itinerancia rápida (FR) (que inicia con un mensaje de "Sol. de FR") se puede reducir debido a que cada uno de los siguientes puntos de acceso en la gráfica G ya tiene un $RCDL_i$ actualizado. Otras realizaciones pueden incluir una base de datos global 126 donde los puntos de acceso actualizan y solicitan a la base de datos asociada con cada terminal de acceso al tren 112. La Fig. 20 muestra un ejemplo donde se utiliza una base de datos global 126 en el ejemplo que se muestra en la Fig. 18.

La Fig. 17 muestra el diagrama de flujo de una realización preferida para el algoritmo de control de velocidad asociado con la comunicación de enlace ascendente entre la terminal de acceso al tren 112 y el punto de acceso a la que está asociada. Los pasos dentro del contorno punteado son nuevos al compararse con el método de la técnica previa de la Fig. 15. Cuando el algoritmo de control de velocidad detecta 1302 que su terminal de acceso al tren 112 se ha asociado recientemente con un punto de acceso AP_j , inicia 1304 su temporizador y su base de datos local ($RCUL_j$) y, después, solicita 1502 si su terminal de acceso al tren 112 se ha desplazado entre dos puntos de acceso en la gráfica G (en este diagrama de flujo, $AP_n = AP_k$ y $AP_{n+1} = AP_j$). Si la terminal de acceso al tren 112 no se ha desplazado entre dos puntos de acceso en la gráfica G, el algoritmo de control de velocidad continúa con su operación habitual, como se explica en la Fig. 15. De lo contrario, el algoritmo de control de velocidad copia 1504 la base de datos local asociada con el punto de acceso AP_k (es decir, $RCUL_k$) en la base de datos local recientemente iniciada para el punto de acceso AP_j (es decir, $RCUL_j$). Después, procede a analizar 1506 esta base de datos local $RCUL_j$ para determinar cuál podría ser el mejor MCS para transmitir tramas de datos al punto de acceso AP_j . Finalmente, el algoritmo de control de velocidad establece 1508 el MCS seleccionado en el controlador de radio 1308 y continúa su operación habitual descrita en la Fig. 15. Una vez que el algoritmo de control de velocidad ha copiado $RCUL_k$ en $RCUL_j$, puede borrar o mantener temporalmente ese $RCUL_k$.

La Fig. 21 muestra un ejemplo de una tabla que contiene información de $RCUL_i$ y $RCUL_k$ relacionada con la calidad de los enlaces por radio entre la terminal de acceso al tren TAT_i y el punto de acceso asociado con la terminal de acceso al tren. Esta información se utiliza por los algoritmos de control de velocidad en las redes IEEE 802.11, tal como el algoritmo de control Minstrel, para determinar el mejor esquema de modulación y codificación (MCS). Existen otros algoritmos de control de velocidad conocidos, cada uno de ellos que utiliza distintos tipos de información recolectada para determinar el MCS.

REIVINDICACIONES

1. Un método para manejar la itinerancia en una red inalámbrica tren-tierra, la red que comprende una pluralidad de puntos de acceso (102) desplegados a lo largo de una vía (100) y una o más terminales de acceso al tren (112) instaladas a bordo de al menos un tren (110) el método que comprende:
- 5 determinar (602), mediante un punto de acceso (AP_i) de la pluralidad de puntos de acceso (102) actualmente asociado con una terminal de acceso al tren (112) instalada a bordo de un tren (110), una lista de posibles puntos de acceso (N_i) de la pluralidad de puntos de acceso (102) para la terminal de acceso al tren (112), con base en la dirección de desplazamiento (d) y la ruta seguida por el tren (110);
- 10 Recibir (604), mediante el punto de acceso (AP_i), mediciones por radio de señales recibidas por la terminal de acceso al tren (112) de los puntos de acceso (102) de la red inalámbrica tren-tierra.
- determinar (606), mediante el punto de acceso (AP_i), con base en las mediciones de radio recibidas, un punto de acceso siguiente (AP_{next}), dicho punto de acceso siguiente (AP_{next}) que es el punto de acceso que proporciona la más alta calidad de señal (maxSQ) conforme a una métrica de calidad;
- 15 evaluar, mediante el punto de acceso (AP_i), el cumplimiento con un conjunto de criterios de itinerancia, los criterios de itinerancia que incluyen:
- el siguiente punto de acceso (AP_{next}) está incluido (612) en la lista de posibles puntos de candidatos N_i;
- la cantidad de tiempo transcurrido desde la última itinerancia llevada a cabo por la terminal de acceso al tren (112) excede (614) un tiempo de permanencia mínimo (tp);
- 20 la calidad de señal más alta (maxSQ) excede (616) la calidad de señal (SQ(i)) del punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (112) mediante al menos un margen de itinerancia;
- si se cumplen los criterios de itinerancia, enviar, mediante el punto de acceso (AP_i), un comando de itinerancia (702) que le instruye a la terminal de acceso al tren (112) que se desplace del punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren al siguiente punto de acceso (AP_{next}).
- 25 2. El método de la reivindicación 1, que comprende además la adquisición, mediante el punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso de tren (112), la dirección de desplazamiento (d) y la ruta seguida por el tren (110) mediante el acceso a la base de datos de trenes (124) de un centro de datos (120; 130).
3. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde en todos los puntos de acceso (102) desplegados a lo largo de la vía (100) comparten un SSID común y en donde el método comprende el envío, mediante el punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (112), una solicitud de medición por radio dirigida a la terminal de acceso al tren (112) y que incluye un comando para llevar a cabo el escaneo activo del SSID común.
- 30 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, el método que comprende enviar de manera repetida, mediante la terminal de acceso al tren (112), mediciones por radio de señales recibidas de los puntos de acceso en el intervalo de la terminal de acceso al tren (112) al punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (112).
- 35 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la métrica de calidad se obtiene mediante el punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (112) al calcular, para cada punto de acceso (102), la regresión por mínimos cuadrados (1102) de los valores instantáneos de la intensidad de las señales comprendidas en las mediciones por radio recibidas de la terminal de acceso al tren (112).
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el margen de itinerancia es un margen dinámico M(t) que disminuye con el paso del tiempo para t>t_r, donde t_r es el instante de tiempo cuando ocurrió el último procedimiento de itinerancia de la terminal de acceso al tren.
- 40 7. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además:
- obtener, mediante el siguiente punto de acceso (AP_{next}) cuando se cumplen con los criterios de itinerancia, información (RCDL_i) relacionada con la calidad del enlace por radio entre la terminal de acceso al tren (112) y el punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (112);
- 45 Determinar (1408), con base en dicha información (RCDL_i), un esquema de modulación o codificación para transmitir tramas de datos del siguiente punto de acceso (AP_{next}) a la terminal de acceso al tren (112);

Establecer (1410), en el controlador de radio (1218) del siguiente punto de acceso (AP_{next}), el esquema de modulación o codificación seleccionado para la comunicación de enlace descendente con la terminal de acceso al tren (112).

8. El método de la reivindicación 7, en donde la información ($RCDL_i$) utilizada para determinar el esquema de modulación y codificación se obtiene al solicitar al punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (112).

5 9. El método de la reivindicación 7, que comprende además el almacenamiento, en una base de datos global (126) por cada punto de acceso (102) de la red inalámbrica tren-tierra, de la información relacionada con la calidad del enlace por radio entre el punto de acceso y las terminales de acceso al tren;

y en donde la información ($RCDL_i$) utilizada para determinar el esquema de modulación y codificación se recupera por el siguiente punto de acceso (AP_{next}) al acceder a la base de datos global (126) cuando se cumplen los criterios de itinerancia.

10 10. Un sistema para manejar la itinerancia en una red inalámbrica tren-tierra que comprende una o más terminales de acceso al tren (112), el sistema que comprende una pluralidad de puntos de acceso (102) desplegados a lo largo de una vía (100), los puntos de acceso (102) incluyendo un punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con una terminal de acceso al tren (112) instalada a bordo de un tren (110) el punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (112) que está configurado para:

15 Determinar (602) una lista de posibles puntos de acceso (N_i) de la pluralidad de puntos de acceso (102) para la terminal de acceso al tren (112) basado en la dirección de desplazamiento (d) y la ruta seguida por el tren (110);

recibir (604) mediciones por radio de señales recibidas por la terminal de acceso al tren (112) de los puntos de acceso (102) de una red inalámbrica tren-tierra.

20 determinar (606), con base en las mediciones de radio recibidas, un punto de acceso siguiente (AP_{next}), dicho punto de acceso siguiente (AP_{next}) que es el punto de acceso que proporciona la más alta calidad de señal ($maxSQ$) conforme a una métrica de calidad;

Evaluar el cumplimiento con un conjunto de criterios de itinerancia, los criterios de itinerancia que incluyen:

el siguiente punto de acceso (AP_{next}) está incluido (612) en la lista de posibles puntos de candidatos N_i ;

25 la cantidad de tiempo transcurrido desde la última itinerancia llevada a cabo por la terminal de acceso al tren (112) excede (614) un tiempo de permanencia mínimo (tp);

la calidad de señal más alta ($maxSQ$) excede (616) la calidad de señal ($SQ(i)$) del punto de acceso (AP_i) actualmente asociado con la terminal de acceso al tren (112) mediante al menos un margen de itinerancia;

30 si se cumplen los criterios de itinerancia, enviar un comando de itinerancia (702) que le instruye a la terminal de acceso al tren de desplazarse del punto de acceso actualmente asociado con la terminal de acceso al tren hacia el siguiente punto de acceso.

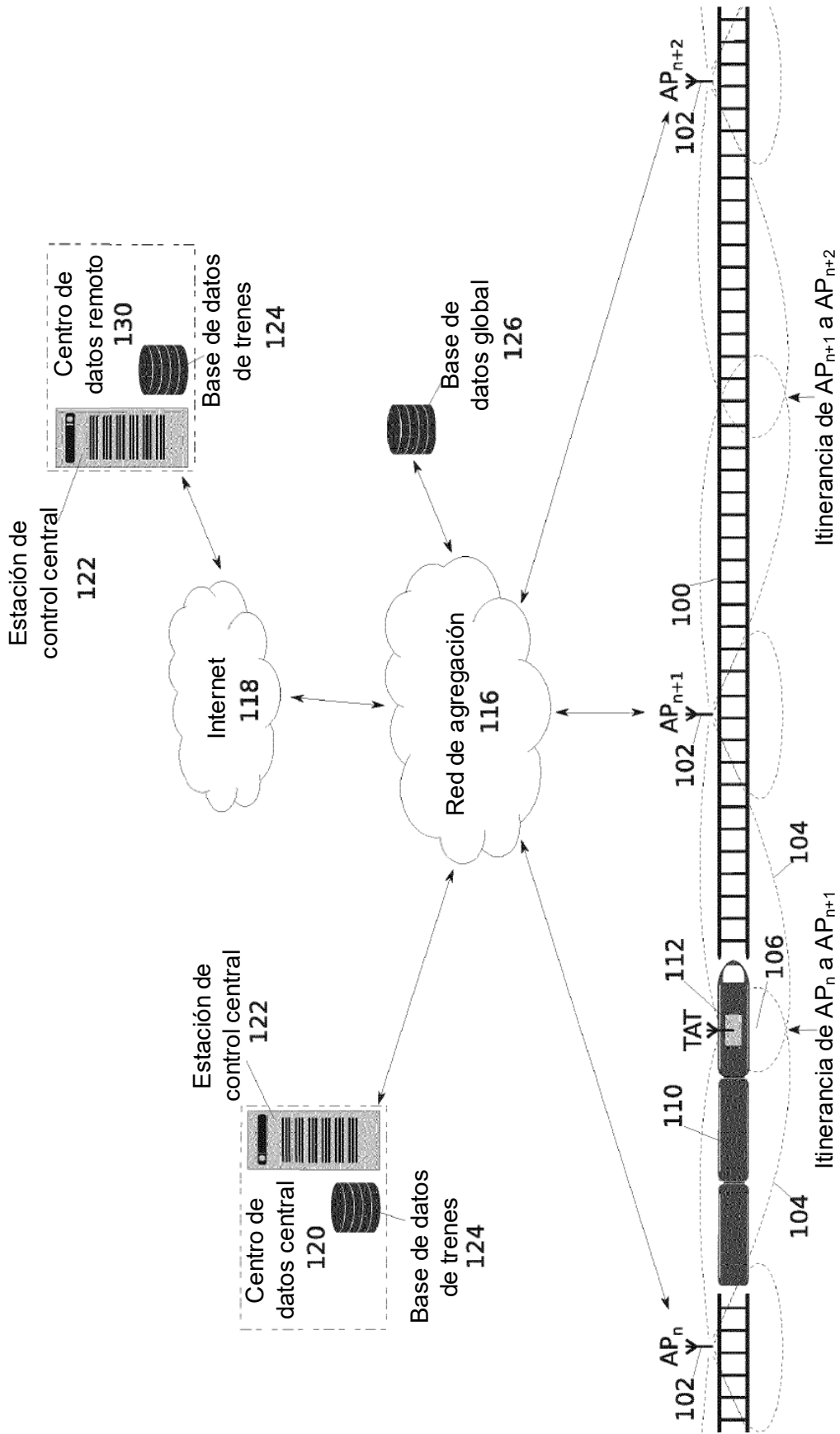


Fig. 1

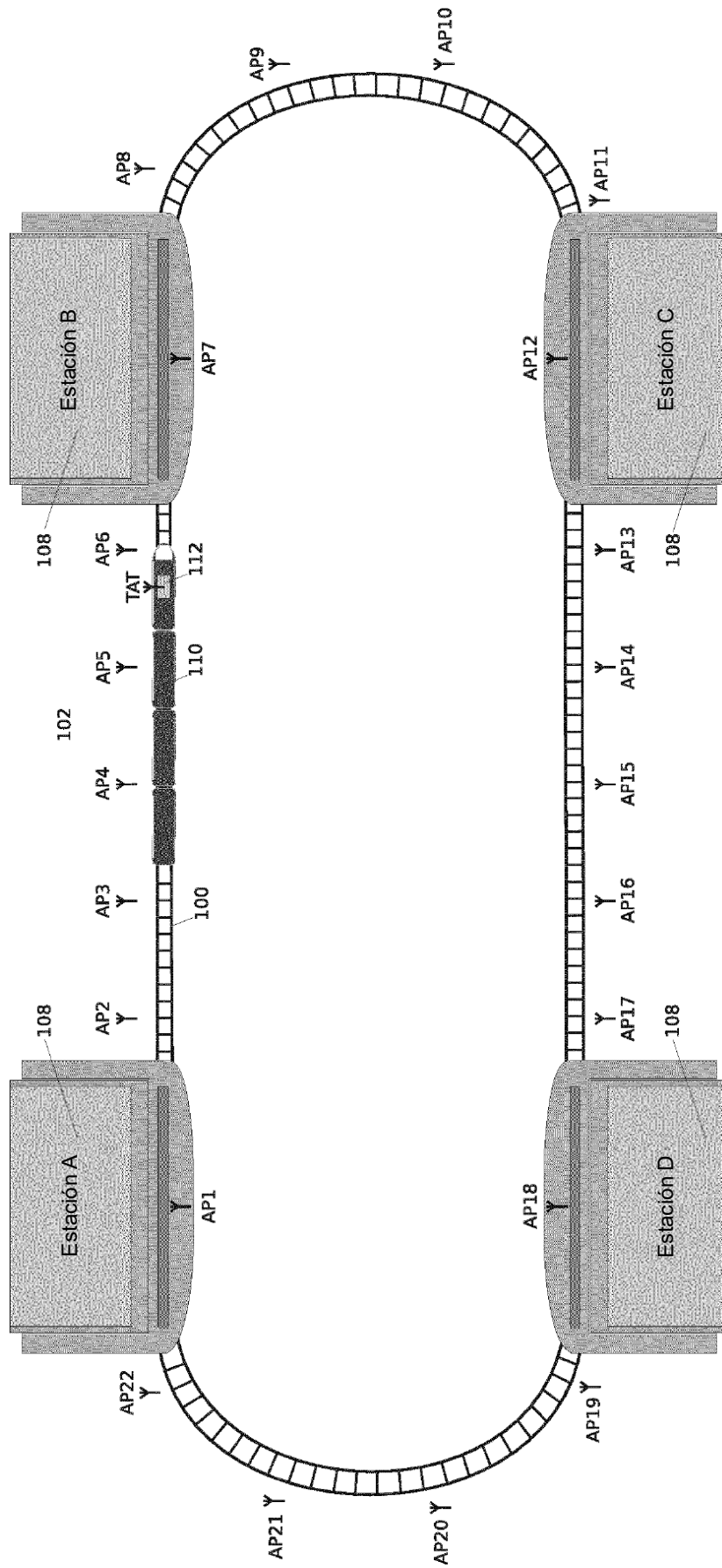


Fig. 2A

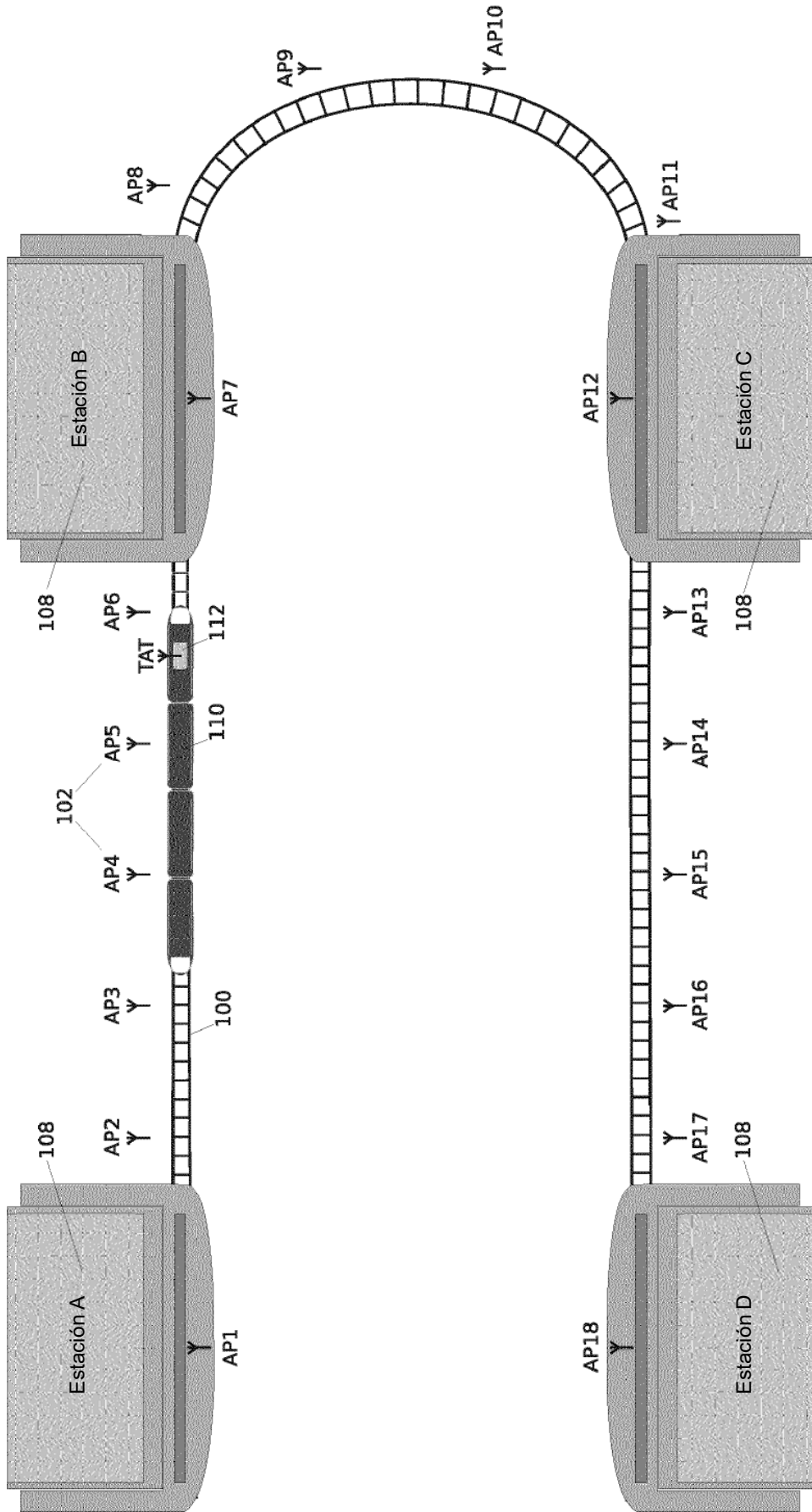


Fig. 2B

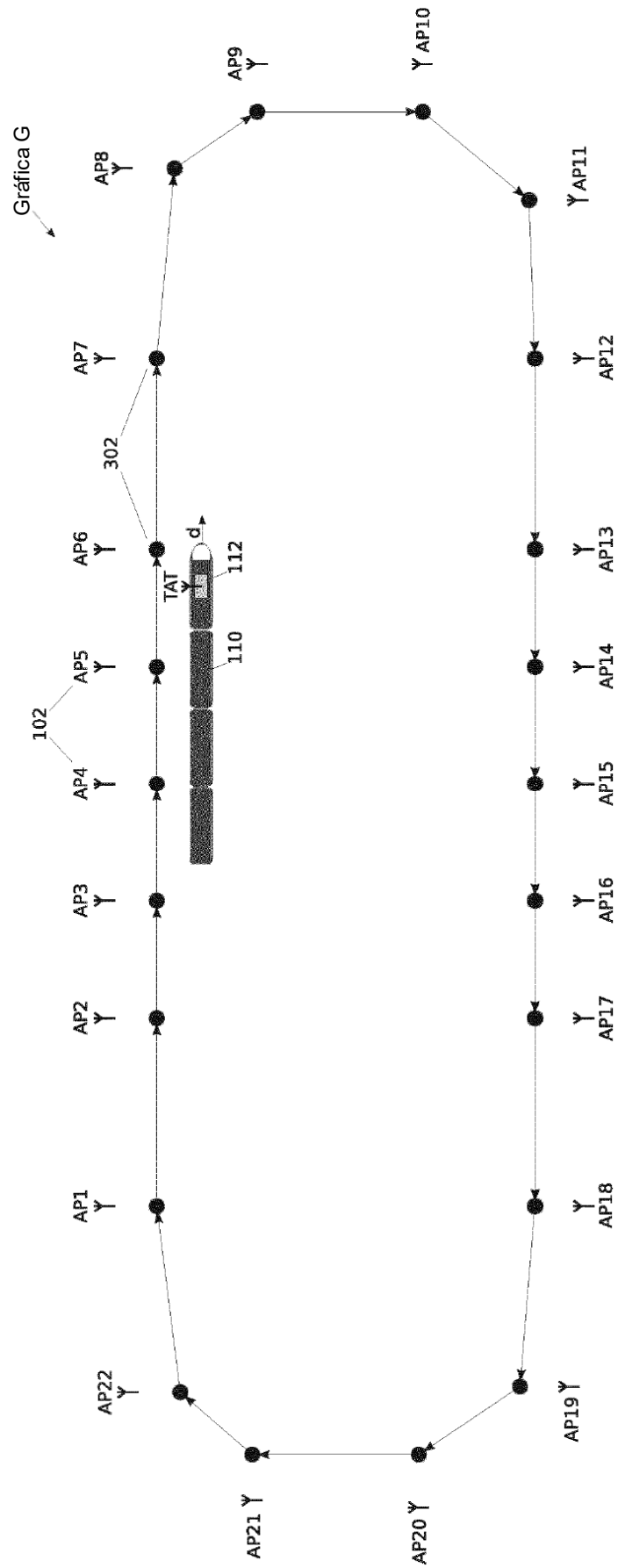


Fig. 3A

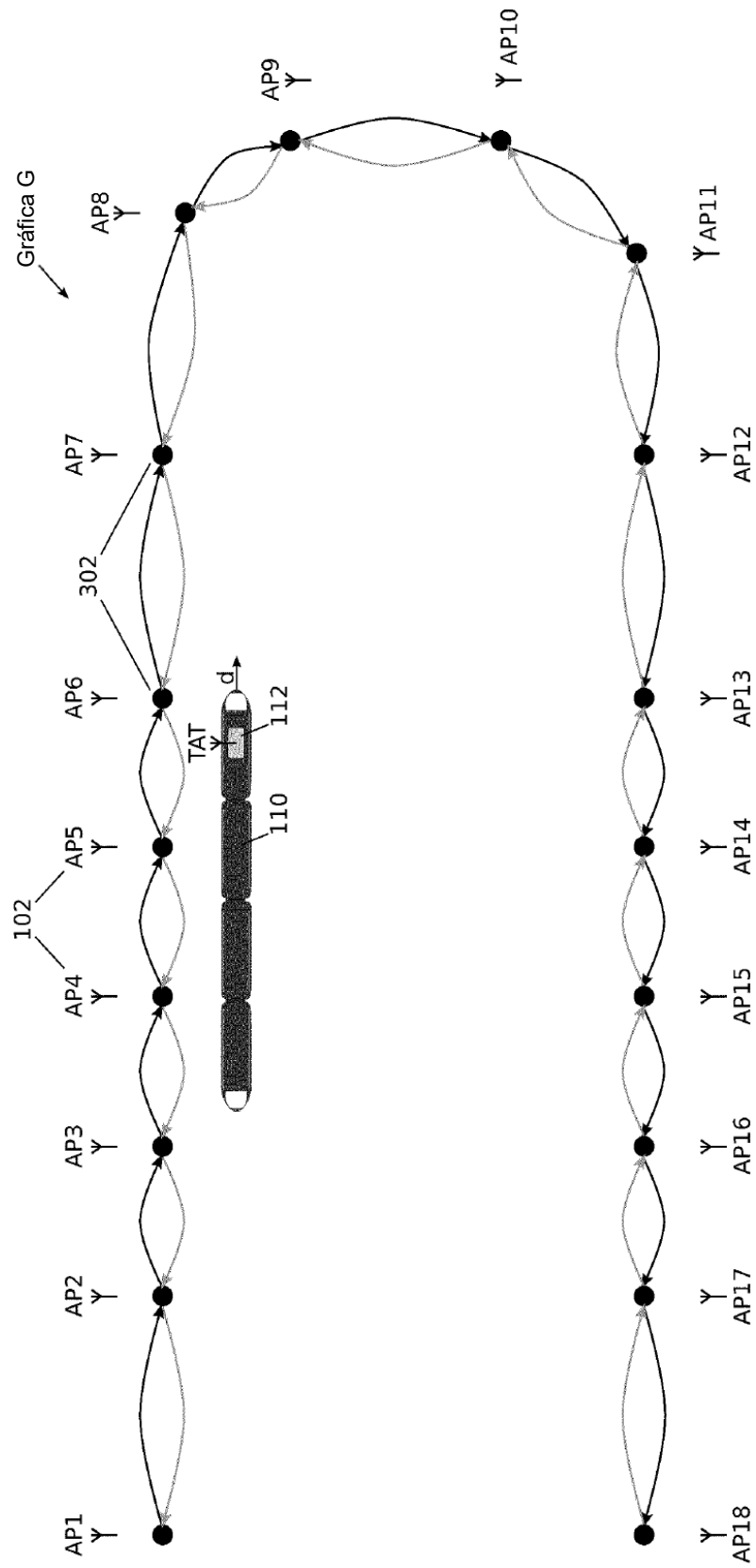


Fig. 3B

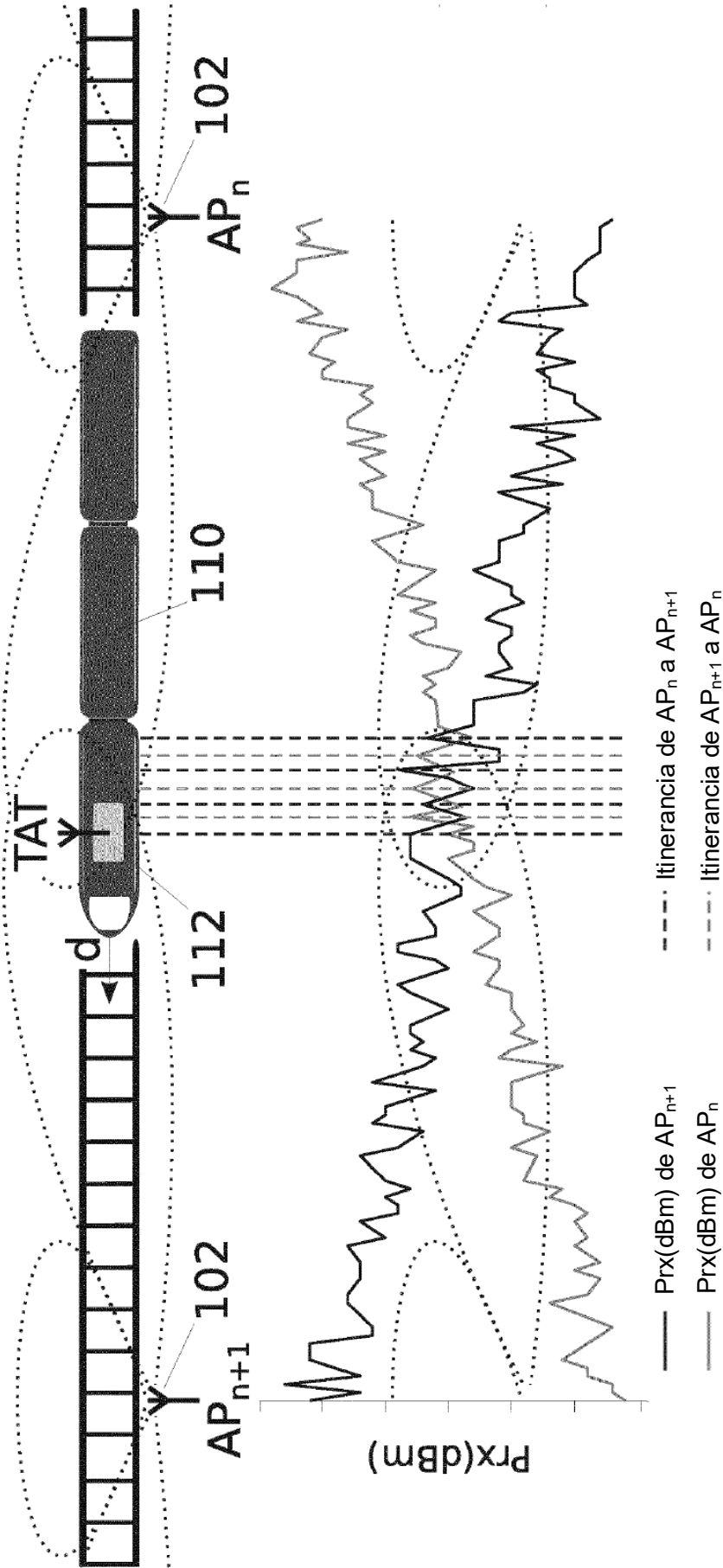


Fig. 4

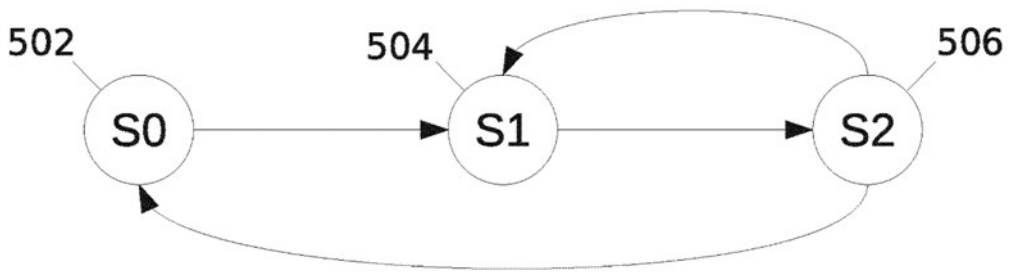


Fig. 5

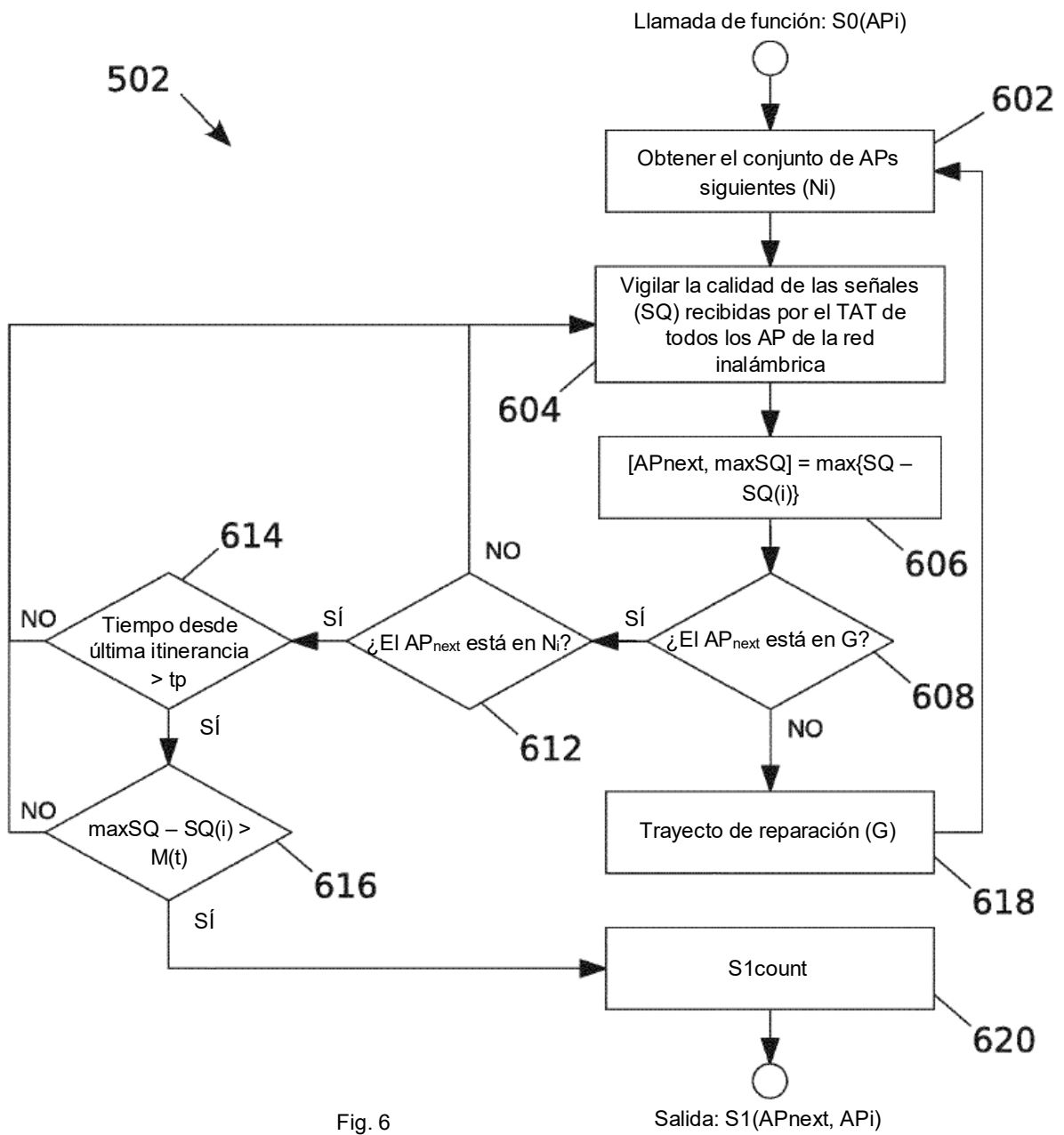


Fig. 6

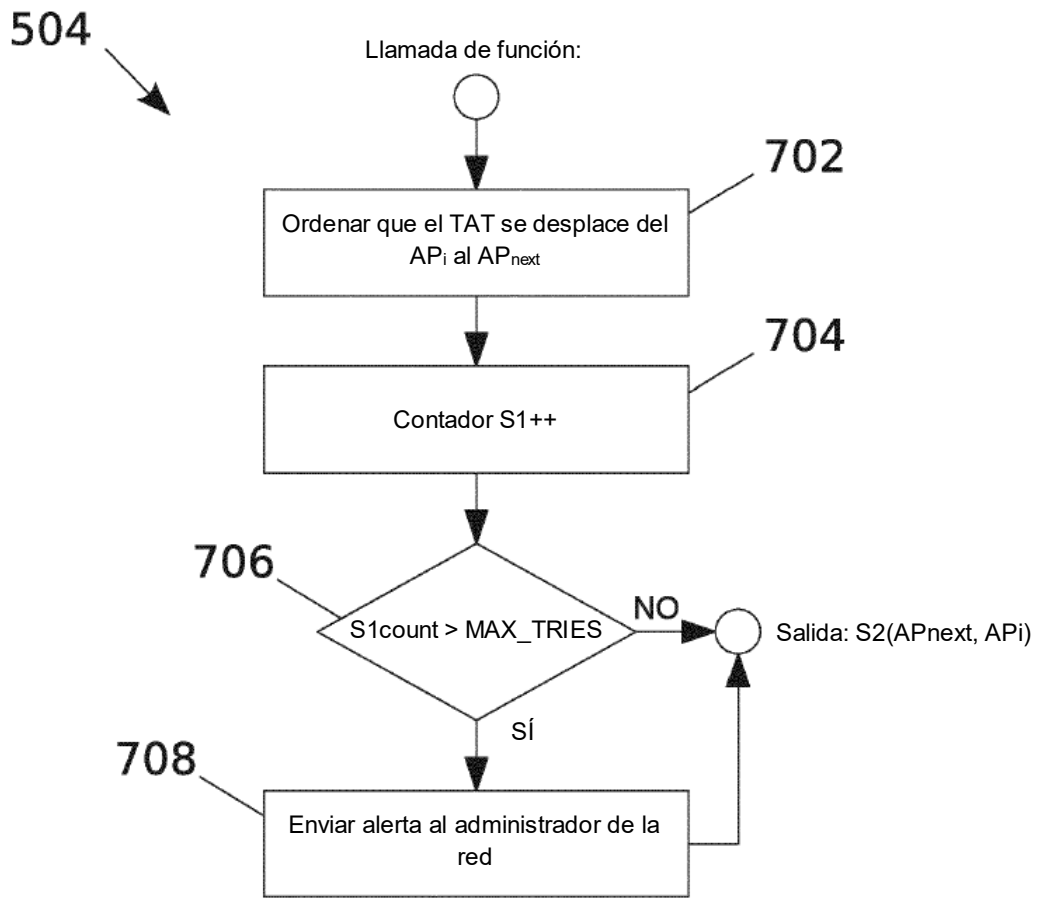


Fig. 7

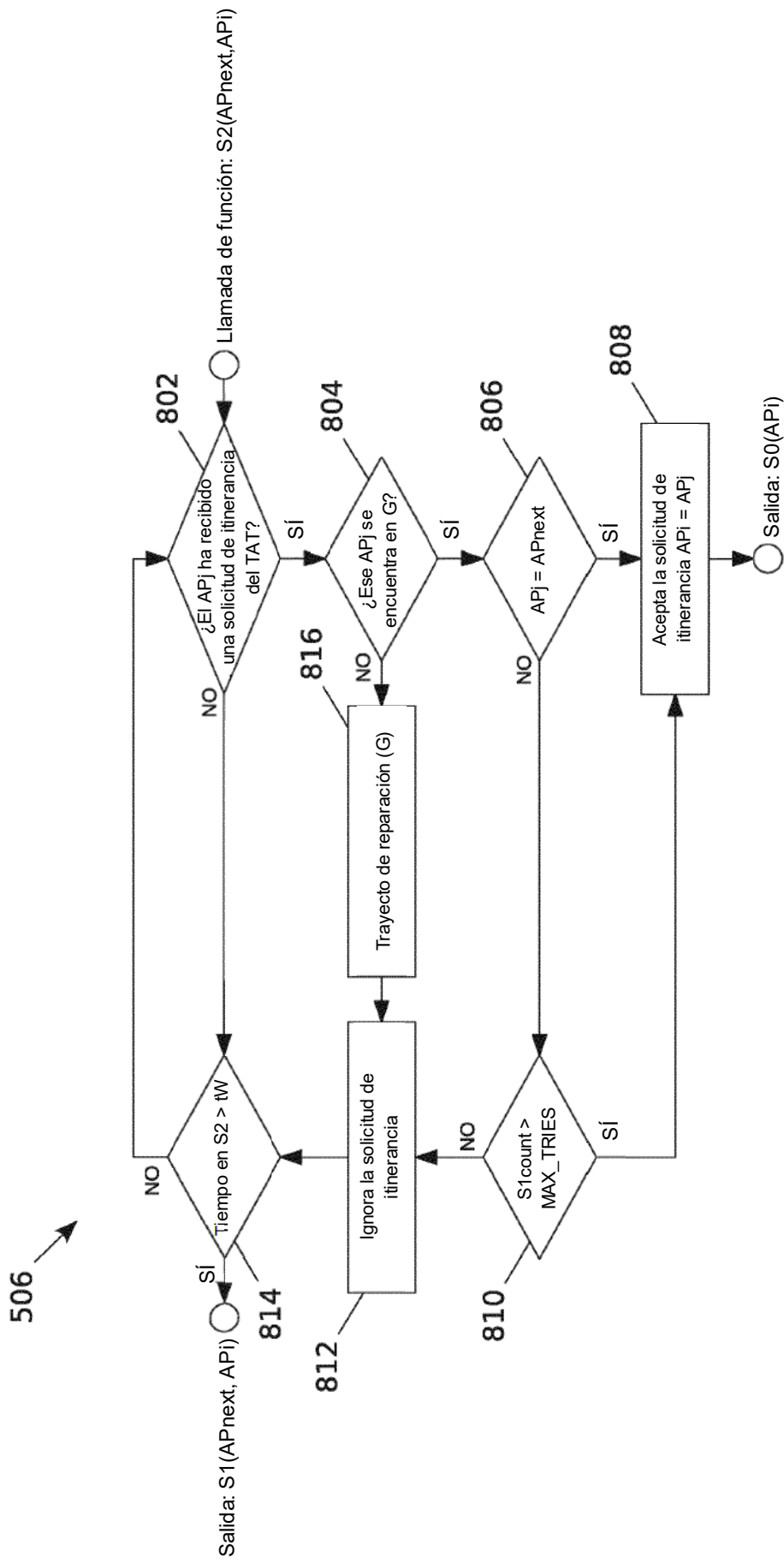


Fig. 8

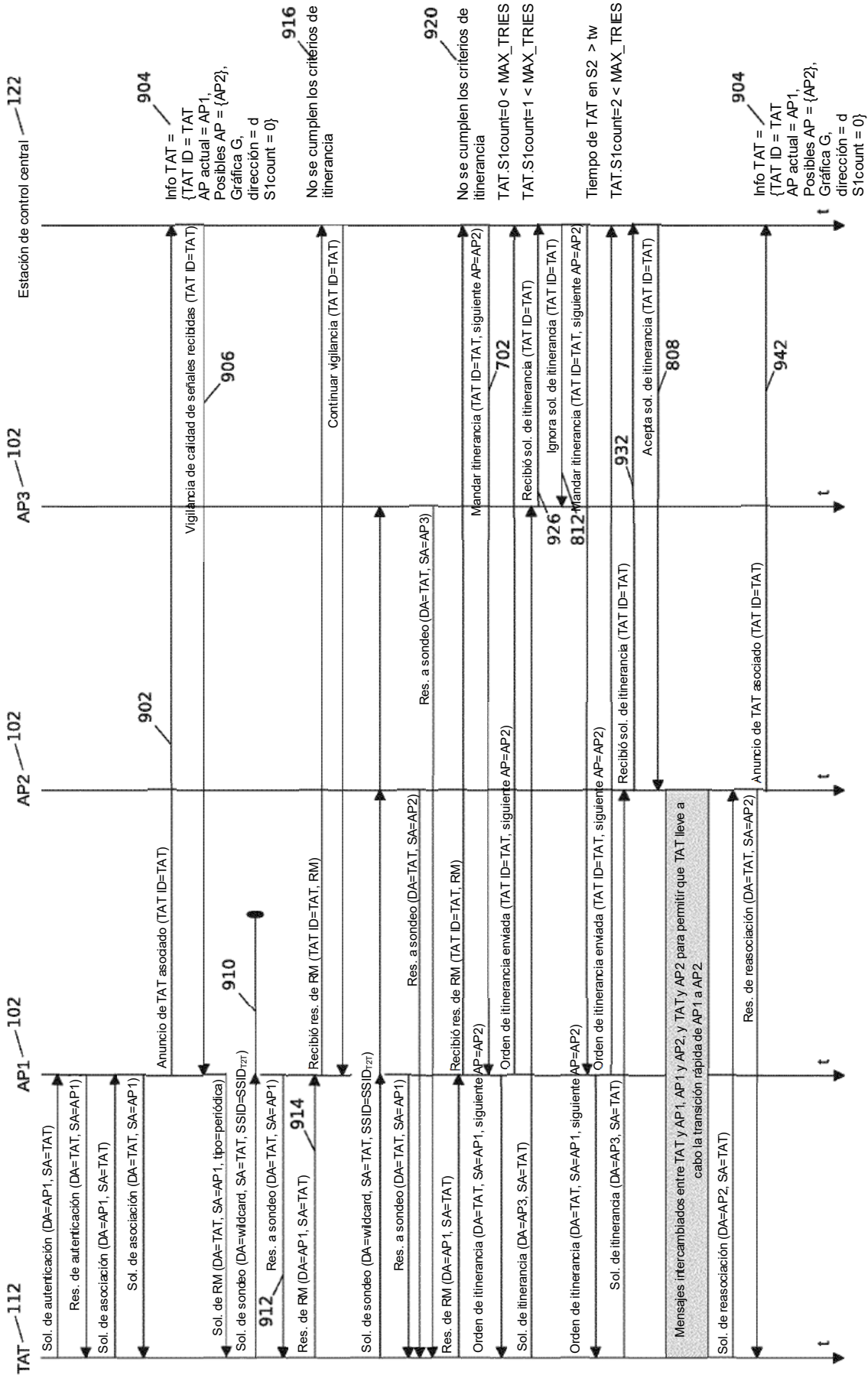


Fig. 9

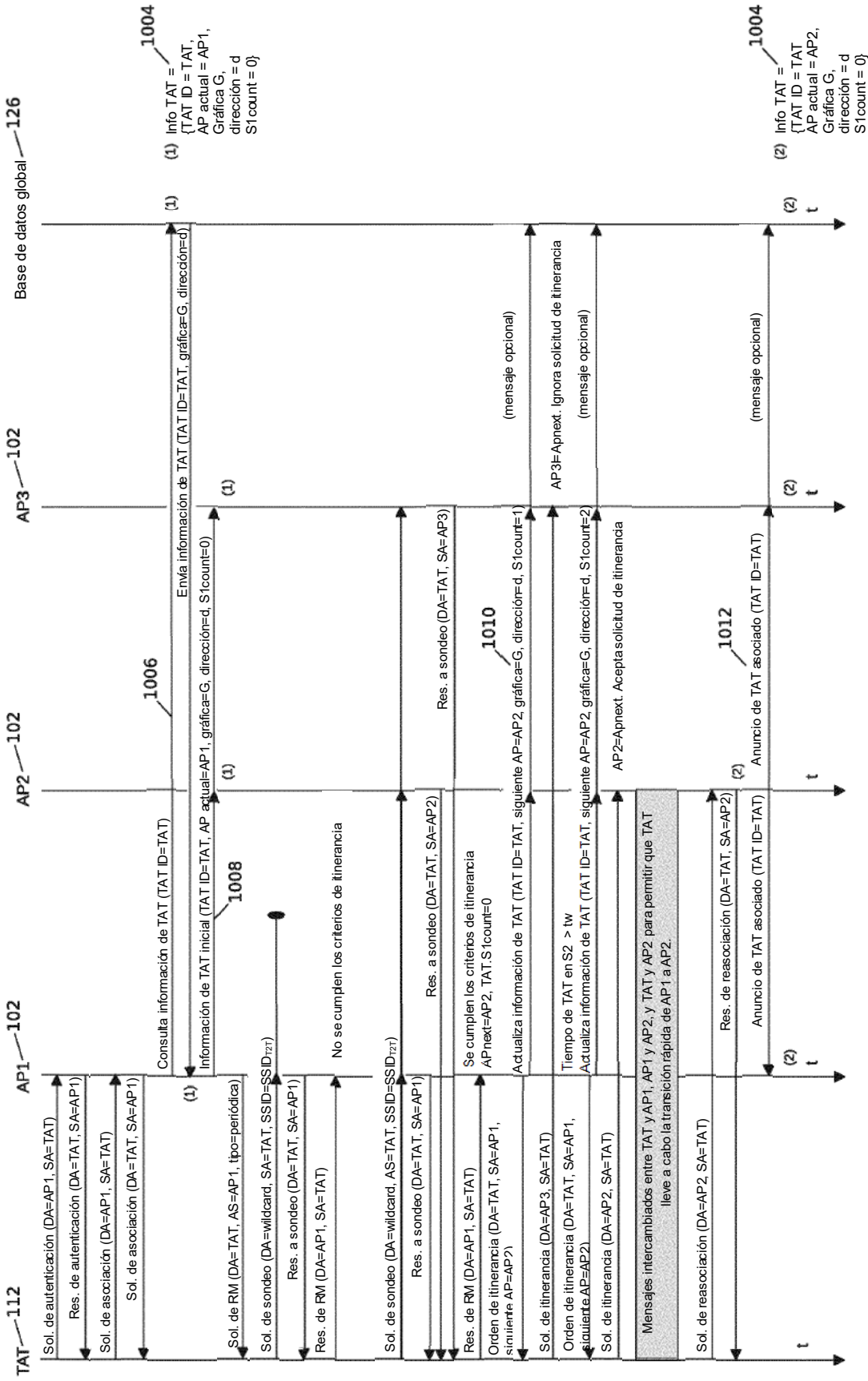


Fig. 10

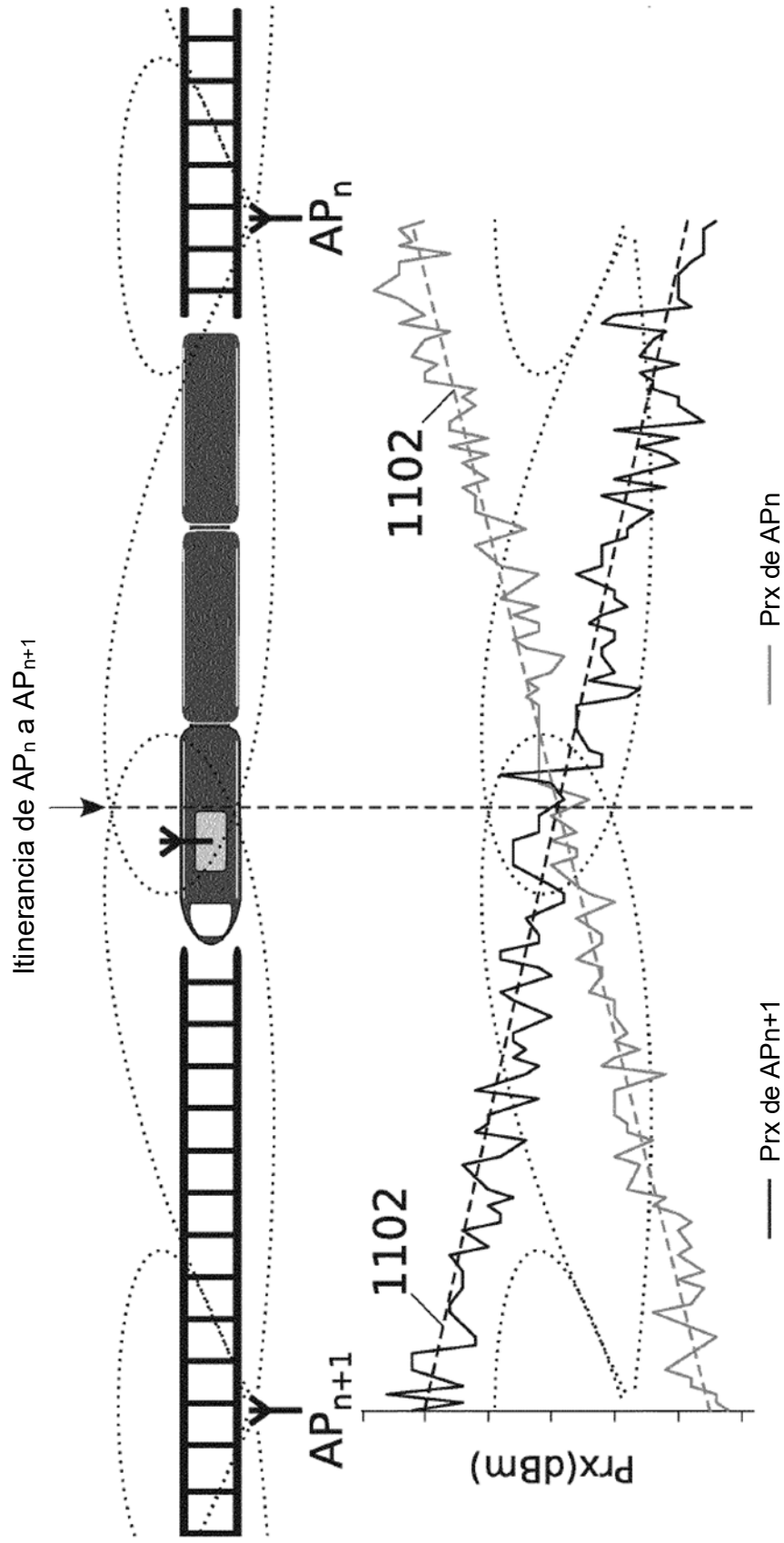


Fig. 11

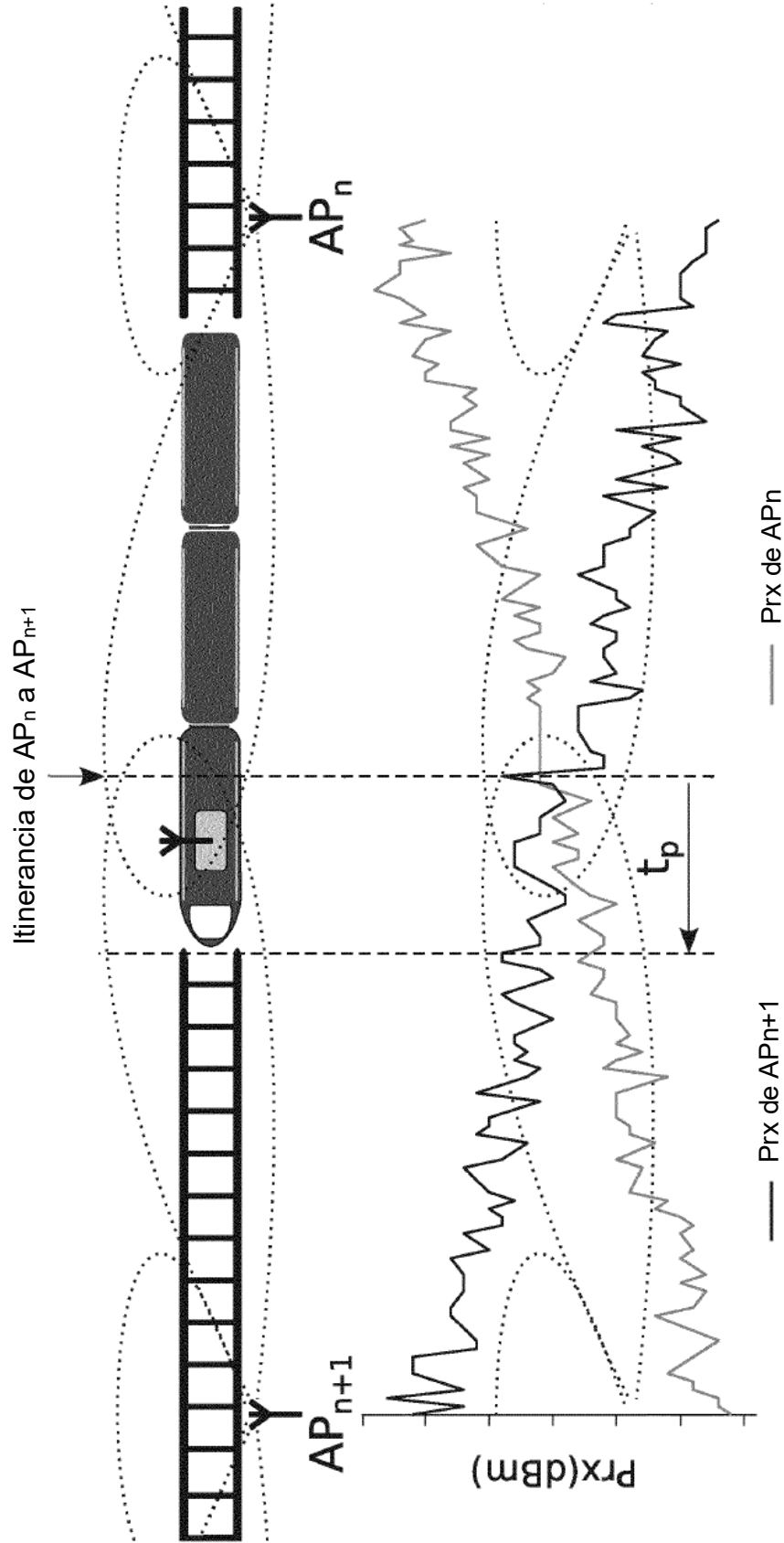


Fig. 12

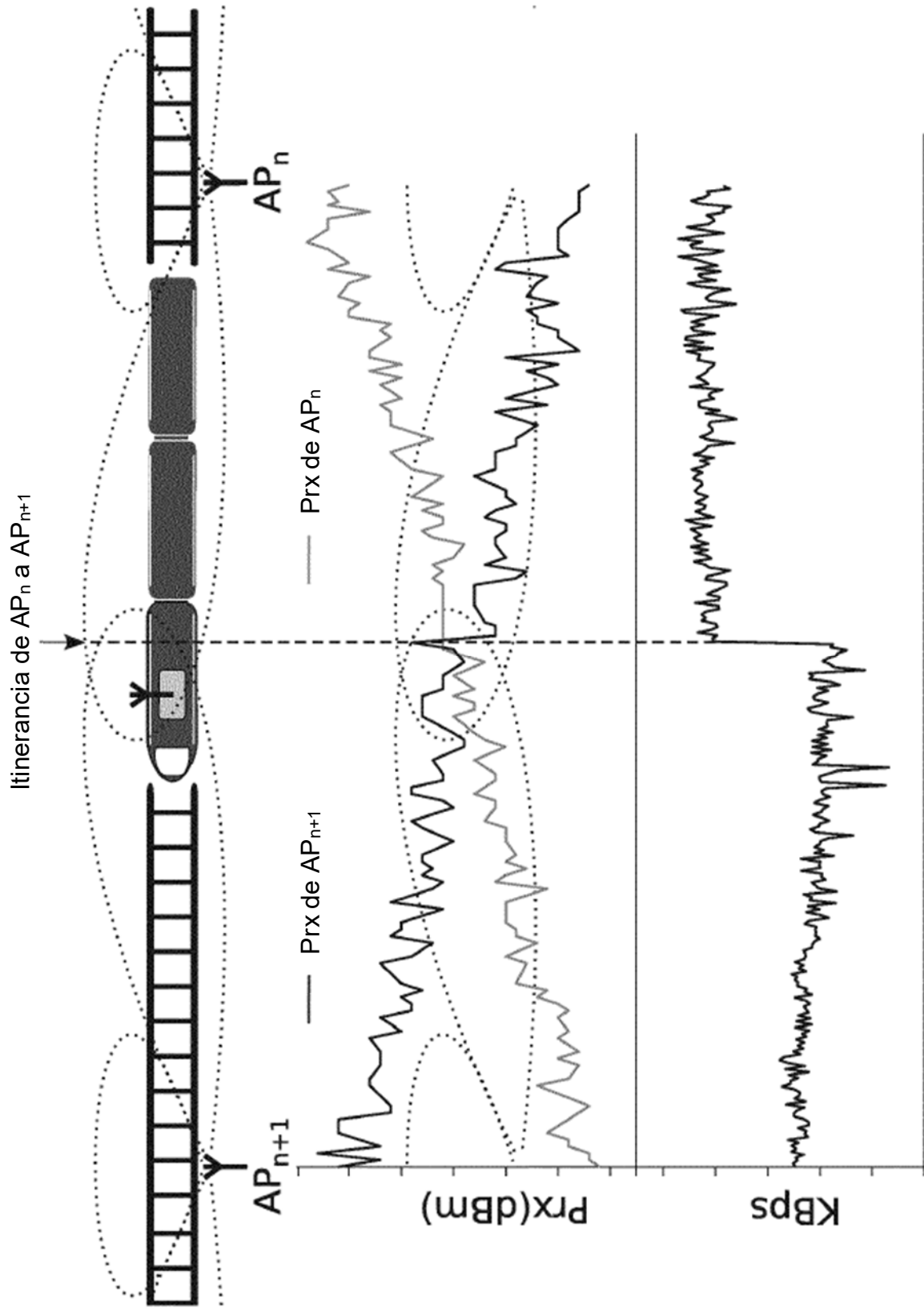


Fig. 13

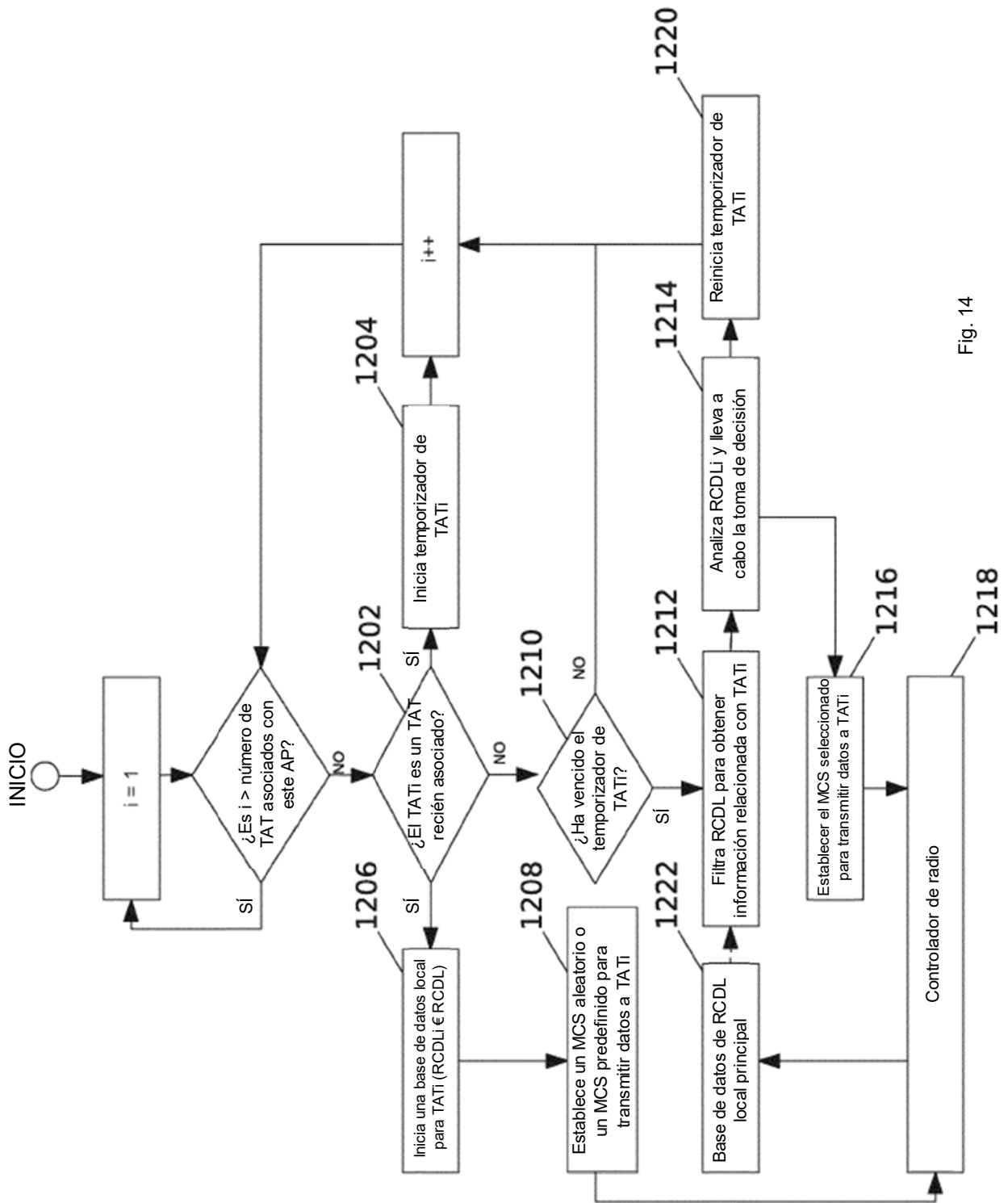


Fig. 14

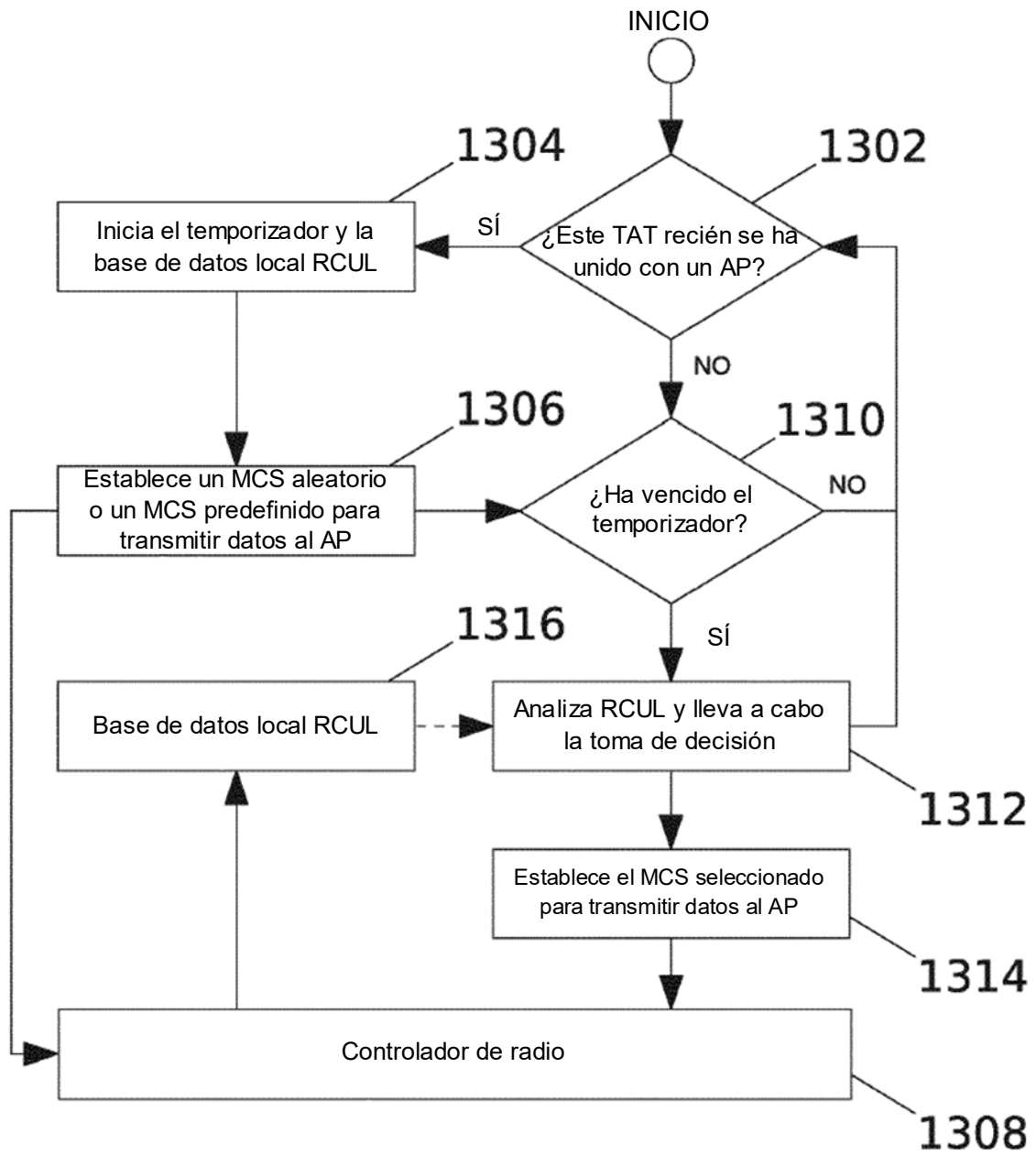


Fig. 15

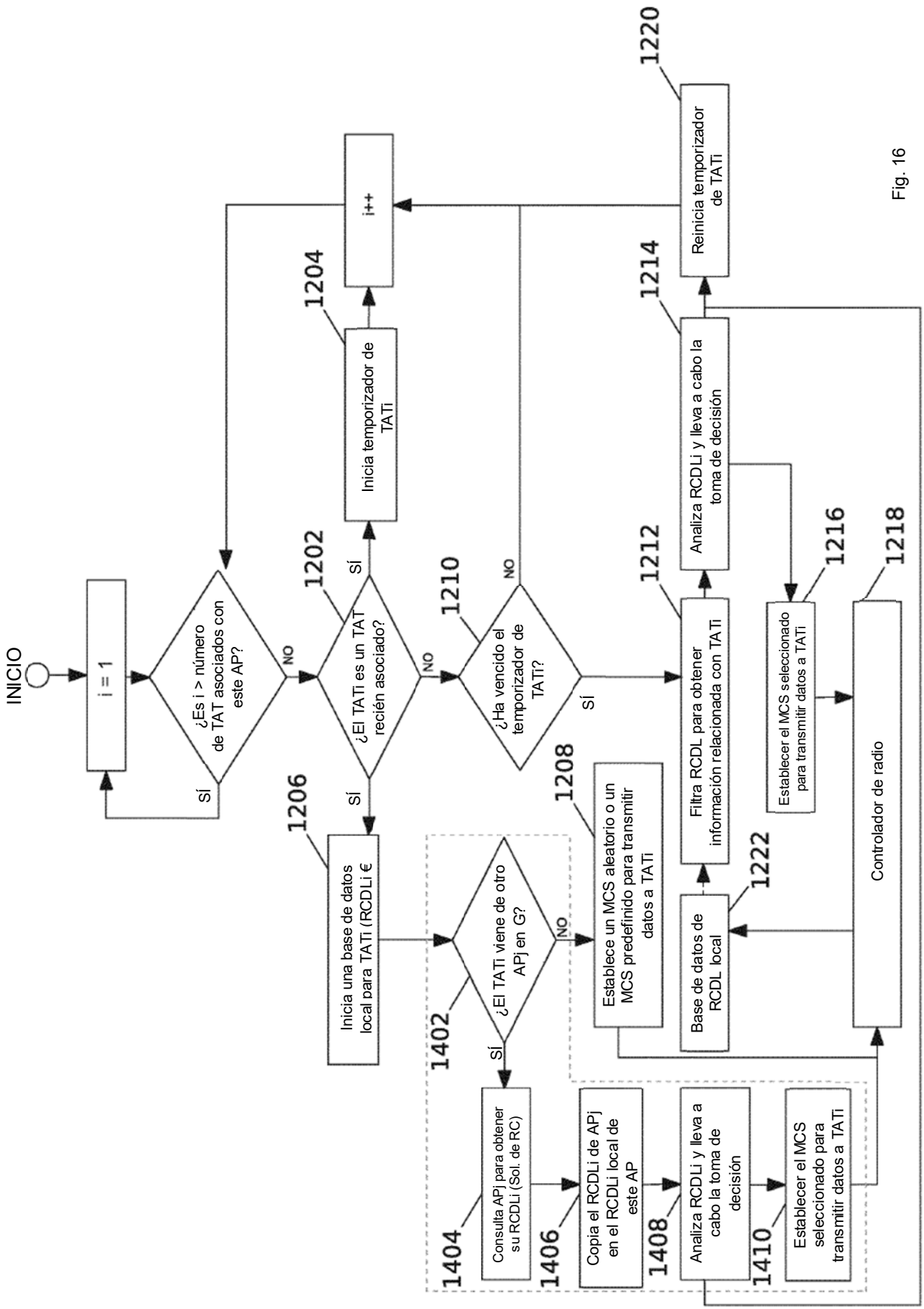


Fig. 16

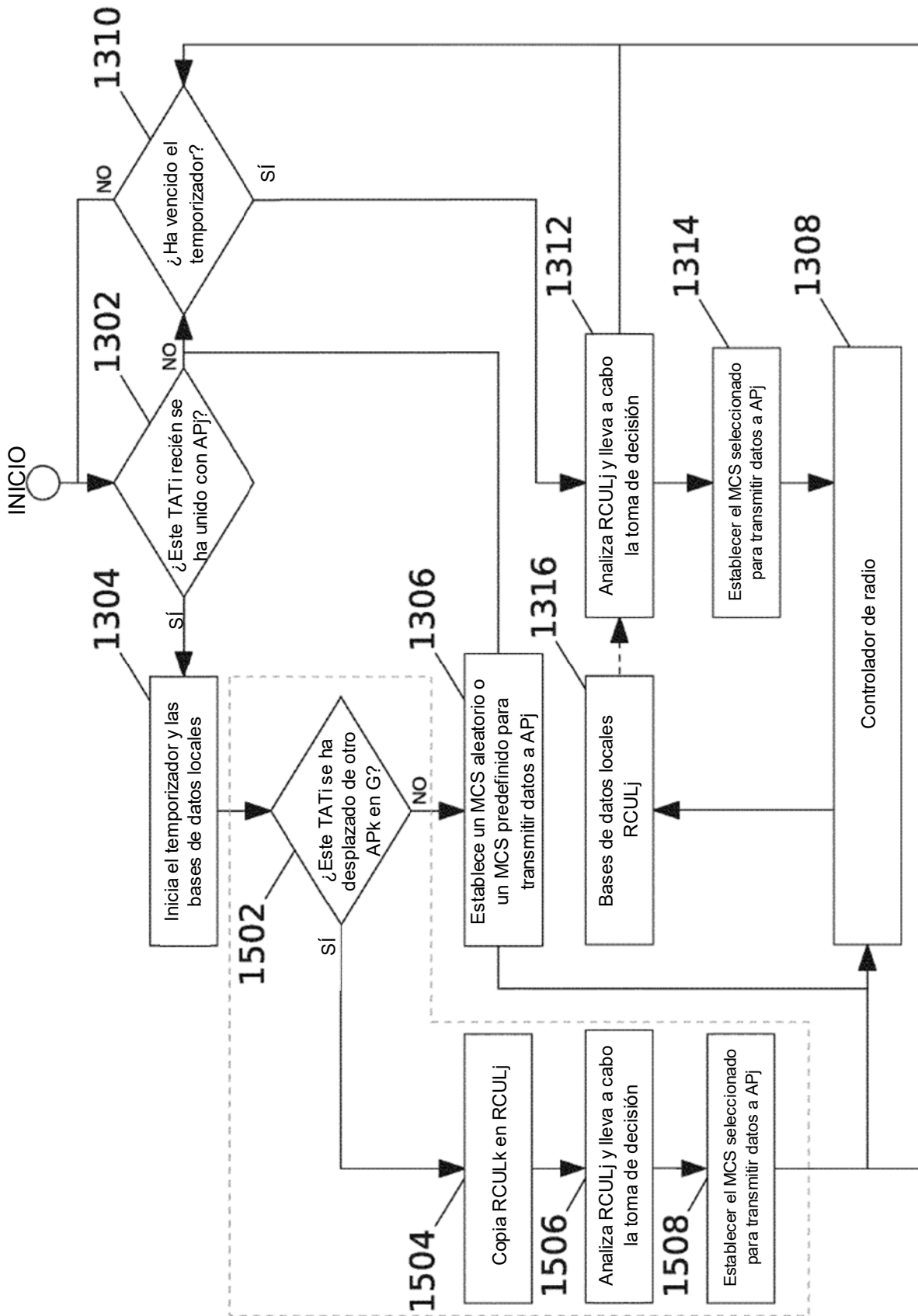


Fig. 17

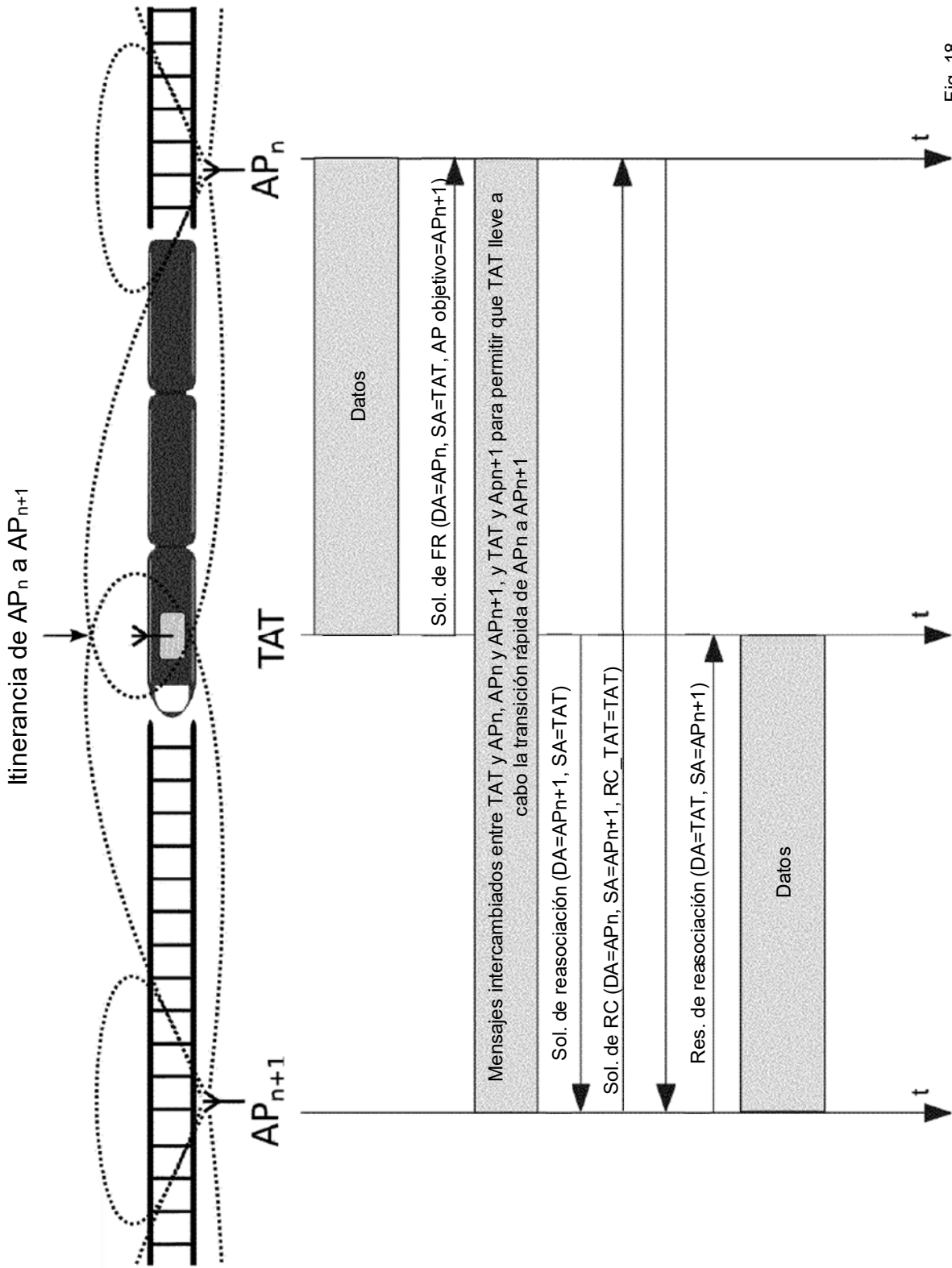


Fig. 18

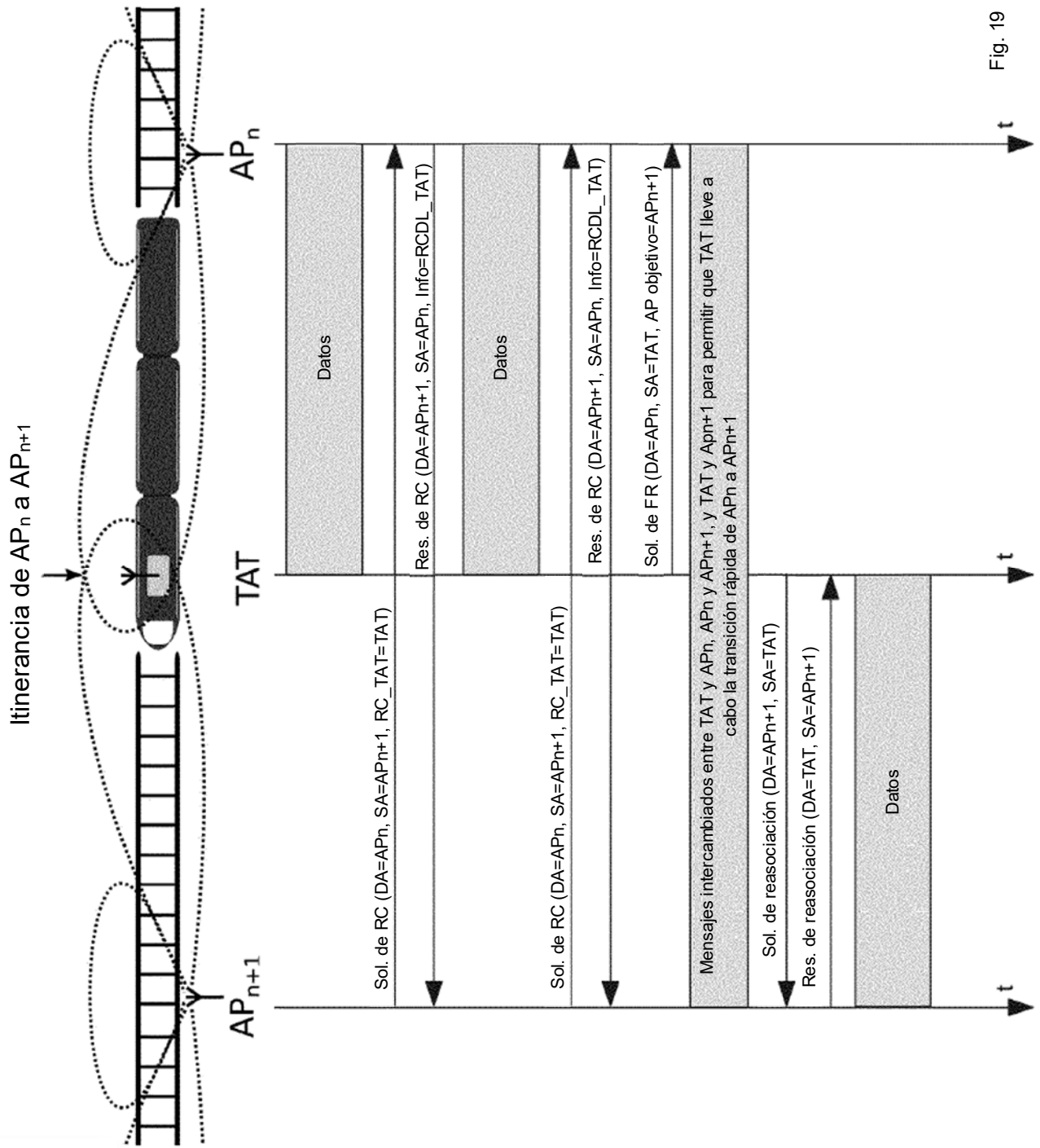


Fig. 19

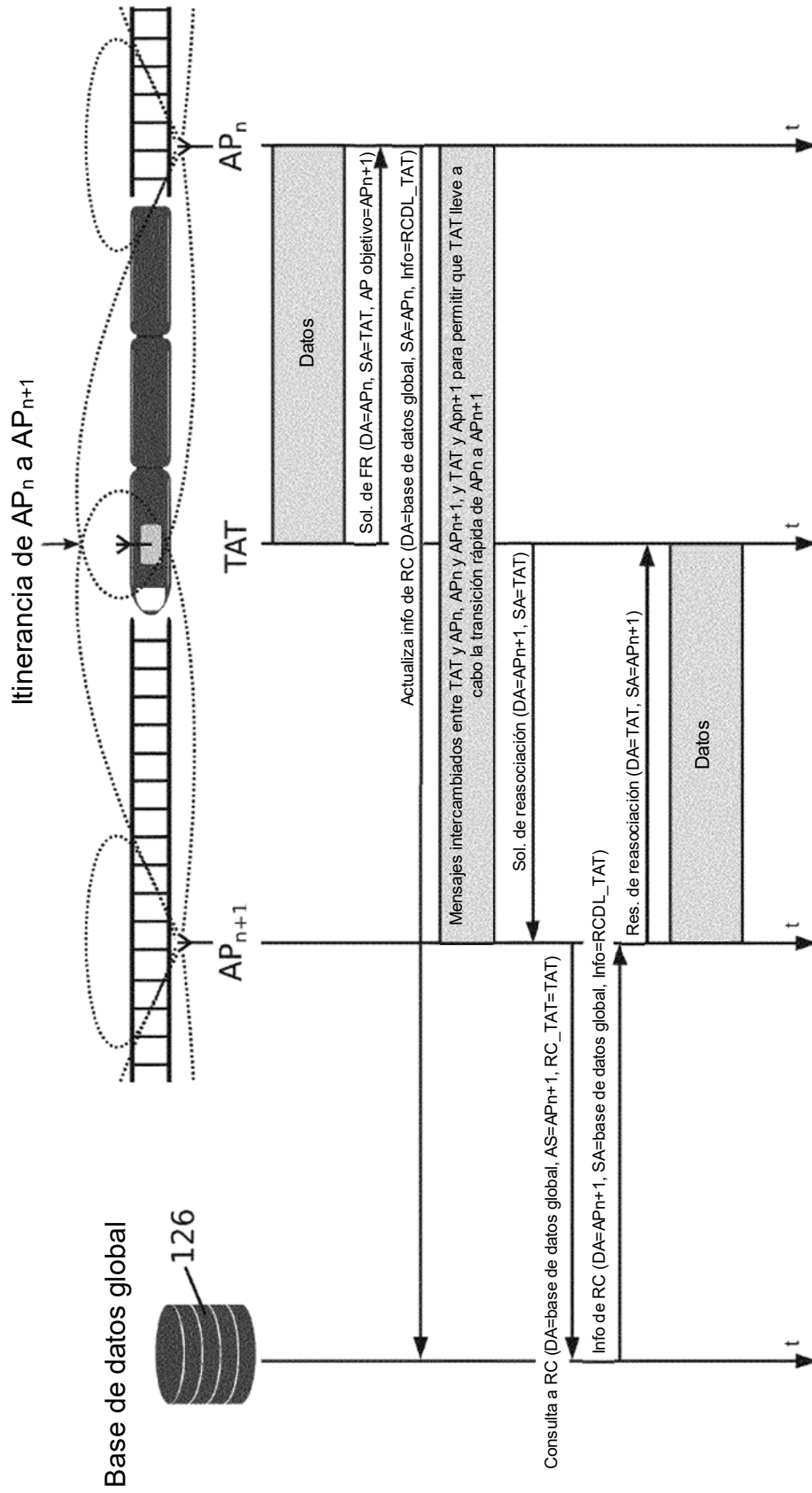


Fig. 20

Modo	Guardia	Mejor velocidad	Velocidad					Estadísticas				Último			suma de	
			Índice de MCS	Índice	Tiempo aire	máx(tp)	est(tp)	prom(P)	est(P)	Reintento	Éxito	Intento	#Éxitos	#Intentos		
HT20	LGI		MCS0	0	1477	4.8	4.8	100.0	0.0	1	0	0	2	2		
HT20	LGI		MCS1	1	738	9.7	9.7	95.4	14.0	4	0	0	31	37		
HT20	LGI	D	MCS2	2	492	14.6	12.2	73.3	43.4	5	0	0	4631	5654		
HT20	LGI		MCS3	3	369	17.0	12.2	63.5	38.0	4	0	0	28407	32611		
HT20	LGI	B	MCS4	4	246	24.4	14.6	53.3	36.6	5	0	0	6887	9336		
HT20	LGI		MCS5	5	185	29.2	0.0	0.0	0.0	0	0	0	21	963		
HT20	LGI		MCS6	6	164	31.7	0.0	0.0	0.0	0	0	0	1	963		
HT20	LGI		MCS7	7	148	34.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	962		
HT20	SGI		MCS0	30	1329	4.8	4.8	100.0	0.0	0	0	0	1	1		
HT20	SGI		MCS1	31	665	9.7	9.7	95.5	19.6	4	0	0	54	62		
HT20	SGI	C	MCS2	32	443	14.6	12.2	75.0	27.4	5	0	0	5227	6516		
HT20	SGI	A, P	MCS3	33	332	19.5	19.5	94.1	15.4	5	2	2	113164	124447		
HT20	SGI		MCS4	34	222	26.8	7.3	28.7	41.3	5	0	0	14867	18109		
HT20	SGI		MCS5	35	166	31.7	0.0	0.2	4.6	0	0	0	17	963		
HT20	SGI		MCS6	36	148	34.1	0.0	0.0	0.0	0	0	0	1	963		
HT20	SGI		MCS7	37	133	36.6	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	962		

Fig. 21