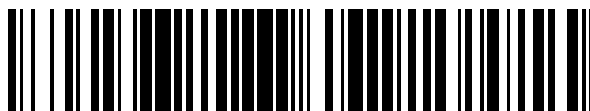


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 648**

51 Int. Cl.:

H04J 1/00

(2006.01)

H04L 5/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04800754 .6**

96 Fecha de presentación: **05.11.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1690350**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.08.2006**

54 Título: **Método para acceso por división de frecuencia y de tiempo**

30 Prioridad:
07.11.2003 US 518224 P
07.11.2003 US 518574 P
07.11.2003 US 518237 P
21.05.2004 US 573353 P
19.01.2004 US 537492 P
07.11.2003 US 518036 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.03.2012

73 Titular/es:
SHARP KABUSHIKI KAISHA
22-22, NAGAIKE-CHO ABENO-KU
OSAKA-SHI OSAKA 545-8522, JP

72 Inventor/es:
AYYAGARI, Deepak y
CHAN, Wai-Chung

74 Agente/Representante:
Carvajal y Urquijo, Isabel

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).

ES 2 377 648 T3

DESCRIPCIÓN

Método para acceso por división de frecuencia y de tiempo

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Algunos métodos de comunicación digital pueden asignar ancho de banda de comunicación (BW, band width) dividiendo en rangos de frecuencia o tonos el ancho de banda disponible. En algunos de estos métodos, los tonos pueden dividirse además en intervalos de tiempo. Un ejemplo de estos métodos es la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Los métodos OFDM proporcionan ancho de banda y gestión del ancho de banda en el dominio de frecuencias y en el dominio de tiempos. La asignación de ancho de banda puede denominarse asimismo planificación o control de acceso al medio (MAC, Medium Access Control). La planificación o acceso OFDM puede abreviarse como OFDMA.

En los sistemas de comunicación divididos en frecuencia, el ancho de banda disponible puede ser distribuido entre múltiples dispositivos y aplicaciones mediante un mecanismo de control de la red. Esto puede realizarse utilizando un sistema de prioridades que intenta proporcionar un nivel de calidad del servicio (QoS, Quality of Service) para algunos dispositivos o algunas aplicaciones. En la mayoría de los sistemas de comunicación, el control de acceso y la gestión del ancho de banda se realizan solamente en el dominio de frecuencias, lo que se conoce como gestión del dominio de frecuencias (FDM, Frequency Domain Management) o en el dominio de tiempos, lo que se conoce como gestión del dominio de tiempos (TDM, Time Domain Management). Sin embargo, no existen actualmente sistemas que utilicen una combinación de FDM y TDM. Normalmente, un sistema que combine FDM y TDM es difícil de diseñar e implementar, es complejo y computacionalmente intensivo.

Los métodos de planificación del BW y control de acceso (AC, Access Control) en PHY OFDM pueden utilizar el dominio de tiempos tal como en los sistemas CDMA, o el dominio de frecuencias tal como en FDMA. El AC y la planificación en los dominios de tiempo y de frecuencias tienen una teoría bien desarrollada. Existen varios planificadores para sistemas TDMA y FDMA. Los sistemas multitono tales como FFT u OFDM de tren de ondas y DMT están ampliamente adoptados hoy en día. Sin embargo, la planificación y el control de acceso en estos sistemas se basa habitualmente en FDM o en TDM.

El problema de planificación OFDMA ha sido formulado en términos teóricos, y estudiado en entornos de investigación. Sin embargo, las limitaciones e hipótesis escogidas simplifican el problema para permitir su tratabilidad analítica. Algunas hipótesis no realistas que se utilizan muy comúnmente son:

1. Canales gaussianos. Pero en realidad, el canal de la línea de tensión no es gaussiano en absoluto.
2. Todos los usuarios requieren la misma velocidad de transferencia de datos. Por el contrario, en muchas redes diversas aplicaciones (AV, IP) tienen un amplio rango de requisitos de QoS.
3. La energía y la potencia de transmisión en los dispositivos individuales está limitada. Esto es cierto para dispositivos móviles/celulares, pero no para dispositivos de comunicación por la línea de tensión.
4. El número de dispositivos en la red está limitado (2 en algunos casos).
5. Modelización de asignación de BW solamente en el enlace descendente (una estación central, a muchos dispositivos) y no en el enlace ascendente.

La mayor parte de los enfoques dividen el problema de la asignación de BW en un proceso de 2 etapas: asignación de recursos y asignación de subportadoras. La asignación de recursos determina el número de tonos o frecuencias que necesita la nueva solicitud. La asignación de subportadoras identifica los tonos reales entre el conjunto de tonos disponibles, que serían asignados a la solicitud. En función de diferentes hipótesis y limitaciones, se han propuesto diferentes algoritmos para estos esquemas de asignación.

Un algoritmo de este tipo se da a conocer en el documento de YIN H y otros, "An efficient multiuser loading algorithm for OFDM-based broadband wireless systems" ("algoritmo eficiente de carga multiusuario para sistemas inalámbricos de banda ancha basados en OFDM"), IEEE Global Telecommunications Conference; San Francisco, 27 de noviembre - 1 de diciembre de 2000, CONFERENCE RECORD (CAT. NO.00CH37137) IEEE PISCATAWAY, NJ, EE.UU., volumen 1, 2000, páginas 103 a 107.

Los algoritmos que se acercan más a conseguir la optimización (definida en el sentido de maximizar la capacidad global de la red) son computacionalmente intensivos ($O(N^3)$, donde N = número de tonos). Otros algoritmos no son óptimos, y se desconoce su comportamiento en sistemas reales. Además, no está claro que el enfoque de 2 etapas sea la manera correcta de solucionar el problema. Esto se debe a que es imposible determinar con precisión

exactamente el número de tonos requeridos (asignación de recursos), sin conocer previamente qué tonos están siendo asignados (asignación de subportadoras) a la solicitud, entre el conjunto de todos los tonos disponibles.

- 5 Asimismo, estos métodos no modelizan problemas realistas tales como la fragmentación del mapa de frecuencia-tiempo que resulta de diferentes patrones de generación de solicitudes (dependiendo de la mezcla de aplicaciones en la red), sobrecarga de protocolos y degradación del rendimiento provocada al hacer que las solicitudes activas cambien de tonos, etc. Las realizaciones de la presente invención tratan estos problemas y limitaciones.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

Las realizaciones de la presente invención comprenden métodos y sistemas para asignar ancho de banda utilizando combinaciones de FDM y TDM.

- 10 El anterior y otros objetivos, características y ventajas de la invención se comprenderán más fácilmente tras la consideración de la siguiente descripción detallada de la invención, tomada junto con los dibujos anexos.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIVERSOS DIBUJOS

La figura 1 es un diagrama que muestra un ejemplo de mapa de tonos;

- 15 la figura 2 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de realización de un método de asignación del planificador 1;

La invención se refiere a un método para el reparto del ancho de banda en un medio de comunicación acorde con la reivindicación 1, y se refiere a la realización presentada en los párrafos 0093 a 00101 y en las figuras 9 a 13. Las referencias a otras realizaciones deben entenderse como ejemplos útiles para la comprensión de la invención.

la figura 3A es un diagrama que muestra un ejemplo de asignación del planificador 1, en un mapa de tonos;

- 20 la figura 3B es un diagrama que muestra un ejemplo alternativo de asignación del planificador 1, en un mapa de tonos;

la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de realización de un método de asignación del planificador 2;

la figura 5 es un diagrama que muestra un ejemplo de asignación del planificador 2, sin un requisito de retardo;

- 25 la figura 6 es un diagrama que muestra un ejemplo de asignación del planificador 2, con un requisito de retardo;

la figura 7 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de un método para encontrar patrones de uso básicos;

la figura 8 es un diagrama que muestra patrones de uso básicos en un mapa de tonos;

la figura 9 es un diagrama que muestra patrones de uso básicos en un patrón de uso derivado, sobre mapas de tonos;

- 30 la figura 10 es un diagrama que muestra la capacidad relativa de los patrones de uso básicos y un patrón de uso derivado;

la figura 11 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de un método de asignación para la realización del planificador 3;

- 35 la figura 12 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de un método para la asignación de ancho de banda con patrones de uso básicos; y

la figura 13 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de un método para la asignación de ancho de banda con patrones de uso derivados;

DESCRIPCION DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERIDAS

- 40 Las realizaciones de la presente invención comprenden sistemas y métodos para la asignación de ancho de banda utilizando técnicas TDM y FDM. Muchas de estas realizaciones se describirán haciendo referencia a un sistema

OFDM, si bien debe observarse que, junto con estos, pueden utilizarse otros sistemas de comunicaciones que permitan combinaciones de TDM y FDM. El término acceso al medio por división conjunta de frecuencia-tiempo (JFTDMA, Joint Frequency-Time Division Medium Access) puede referirse a cualquier sistema o método que utilice tanto TDM como FDM con propósitos de asignación. JFTDMA comprende OFDMA y otros métodos y sistemas.

5 JFTDMA puede proporcionar una mayor utilización del ancho de banda en canales cuya respuesta es selectiva en frecuencia y variable en el tiempo, y cuando la respuesta de canal entre pares de dispositivos varía significativamente. En sistemas que soportan garantías de QoS para aplicaciones multimedia pero tienen un ancho de banda limitado, los MAC de JFTDMA pueden proporcionar un rendimiento global superior.

10 En algunas realizaciones de la presente invención, puede utilizarse información a escala de todo el sistema, tal como la calidad de las conexiones entre cualesquiera dos dispositivos en una red, para determinar qué tonos o frecuencias y qué intervalos de tiempo son los mejor asignados a dispositivos específicos. Estos dispositivos pueden realizar solicitudes de ancho de banda (BW) que especifican un requisito de velocidad de transferencia de datos y un máximo retardo tolerable para cada paquete.

15 Las realizaciones de la presente invención pueden utilizar diferentes algoritmos con complejidad y rendimiento variables. Por ejemplo, en algunas realizaciones, puede asignarse solamente un bloque contiguo de tonos. En otras realizaciones, puede asignarse cualquier combinación de tonos. Estas realizaciones pueden utilizar información empírica reunida partir de toda una red y pueden funcionar sin realizar ninguna limitación sobre el tipo de canal, el número de dispositivos y otros parámetros. Habitualmente, las realizaciones de la presente invención tienen una complejidad de implementación aceptablemente baja y, generalmente, evitan las hipótesis realizadas por los sistemas de la técnica anterior.

Aunque algunos sistemas conocidos utilizan tecnologías de transmisión OFDM (PHY), los MAC montados sobre esta tecnología de capa física son habitualmente FDMA, TDMA o alguna variante de estos. Debe observarse que los métodos CDMA o de acceso múltiple por división de código funcionan sobre capas físicas de espectro ensanchado.

25 Las realizaciones de la presente invención utilizan algoritmos para realizar la planificación de BW en un sistema JFTDMA, tal como un sistema OFDMA. Algunas realizaciones hacen asignación de BW en los dominios de frecuencia y de tiempo, lo cual es posible mediante una tecnología de transmisión física OFDM. Estos algoritmos no son específicos de un canal particular tal como el canal de la línea de tensión o el canal inalámbrico, y son aplicables a otros medios.

30 Las entradas para estas realizaciones pueden comprender: una solicitud de BW que especifica un requisito de velocidad de transferencia de datos y/o un requisito de retardo, configuración de trama o datos de mapas de tonos (que identifican intervalos de tiempo utilizados y libres en una trama, para cada tono), una estimación de la carga de bits (máximo de bits/símbolo que pueden ser utilizados en cada tono, para una probabilidad de error predeterminada), y parámetros del sistema tales como el número de tonos, el número de intervalos/trama, etc.

35 Si la solicitud es aceptada, la salida del planificador es una asignación de BW. La asignación de BW especifica los tonos (o grupo de tonos, un conjunto de tonos) e intervalos de tiempo a utilizar por los dispositivos que generaron la solicitud. Las asignaciones de BW pueden especificarse de diferentes maneras. Cada método de especificación de la asignación puede tener un impacto sobre lo siguiente:

- Requisitos de memoria en el equipamiento físico del sistema.
- Sobrecarga de señalización/protocolo durante las negociaciones de BW o sobrecarga de conexión.

40 Algunas realizaciones de la presente invención pueden describirse haciendo referencia a un ejemplo de realización, que se describe como el planificador 1 (Sch-1 (Scheduler-1)). Estos métodos de planificación explotan las características variables de los canales, entre diferentes dispositivos en la red, mediante elegir un conjunto de tonos que se ajusta mejor a la solicitud, entre el conjunto de tonos libres en el mapa de tonos. Esta realización concreta es un enfoque de solamente FDM para la planificación. En estas realizaciones, cada solicitud de BW puede utilizar los tonos asignados durante toda la duración de la trama (todos los intervalos en la trama). La asignación de BW

45 consiste en un solo bloque contiguo de tonos. La asignación de BW puede especificarse mediante el id del primer tono y el id del último tono, en el bloque de tonos asignado a la solicitud. Las ventajas de este método incluyen:

- Requisitos de memoria muy reducidos.
- Sobrecarga de señalización muy reducida.
- Complejidad computacional reducida para el algoritmo en el controlador BW.

Algunas de estas realizaciones pueden tener un rendimiento por debajo del óptimo, puesto que no se explota el dominio de tiempos, y un bloque de tonos contiguos puede no ser el mejor conjunto de tonos para algunas aplicaciones (lo mejor es el número mínimo de tonos que satisfaga el requisito).

Algunas realizaciones de la presente invención pueden describirse haciendo referencia a un segundo ejemplo de realización, que puede denominarse un planificador 2 (Sch-2). Estas realizaciones pueden explicar las características variables de los canales entre cualesquiera dos trayectorias, tal como las realizaciones del planificador 1. Sin embargo, a diferencia del Sch-1, el Sch-2 puede escoger los mejores tonos entre el conjunto de tonos libres, y no requiere que el conjunto de tonos asignados contenga solamente tonos contiguos. Además, el Sch-2 asigna a la solicitud solamente el número requerido de intervalos de tiempo en el interior de una trama de tiempo para cada tono asignado, y los intervalos de tiempo restantes en cada tono pueden ser utilizados para otras solicitudes. La asignación de intervalos de tiempo puede ser realizada considerando las limitaciones de retardo especificadas en la solicitud de BW. Por lo tanto, el Sch-2 es un verdadero planificador JFTDMA o OFDMA, puesto que realiza asignaciones de BW tanto en frecuencia como en tiempo.

En algunas realizaciones del Sch-2, las asignaciones de BW pueden realizarse comunicando el mapa de tonos completo. Una asignación puede definirse como: asignación $A(g, s) = 1$, si se asignan a una solicitud un grupo de tonos, g , y un intervalo, s , y de lo contrario la asignación es $A(g, s) = 0$. No obstante, pueden utilizarse otros métodos para representar la asignación de ancho de banda. Las realizaciones de Sch-2 pueden consumir mucha memoria, requieren mayor sobrecarga de señalización y tienen una complejidad computacional mayor que otros métodos. Sin embargo, las realizaciones de Sch-2 son "óptimas para una sola solicitud" (es decir, asignan el número mínimo de intervalos de tiempo y tonos para satisfacer cada solicitud). Esto no es "óptimo globalmente" (es decir, asignación del mínimo número de intervalos de tiempo y tonos para TODAS las solicitudes activas (solicitudes con asignaciones activas)).

Algunas realizaciones de la presente invención pueden describirse haciendo referencia a un tercer ejemplo de realización, que puede denominarse un planificador 3 (Sch-3). En muchos sistemas, el número de tonos o grupos de tonos que pueden ser asignados está limitado por el protocolo. Las realizaciones de Sch-3 están diseñadas para encontrar las "mejores" asignaciones, con la limitación de que la asignación de BW no puede llevar más de M bloques de tonos. Un bloque de tonos puede representarse como un vector $1 \times N$, donde la entrada n -ésima = 1 si el grupo de tonos n está asignado, y la entrada n -ésima = 0 si éste no está asignado a una solicitud. Un grupo de tonos puede contener uno o varios tonos. Adicionalmente, en algunas realizaciones todos los grupos de tonos asignados pueden estar limitados a un bloque contiguo.

Además de la limitación real sobre la asignación, resulta evidente que la utilización de realizaciones de Sch-2 puede tener como resultado una "fragmentación" del mapa de tonos. Esto puede ocurrir cuando las asignaciones son solicitadas, concedidas y expiran. Cuando esto se produce, el mapa de tonos termina con muchos huecos de intervalos de tonos libres entre bolsas de intervalos de tonos utilizados. Esta fragmentación puede tener un impacto negativo. Las realizaciones de Sch-3, al limitar la asignación a tener un número limitado de bloques, limitan la fragmentación del mapa de tonos, reducen los requisitos de memoria y reducen la sobrecarga de señalización en comparación con las realizaciones de Sch-2. Como resultado de la reducción en la fragmentación, las realizaciones de Sch-3 pueden proporcionar una utilización y un rendimiento de QoS mejores (soporte de limitación de retardo) que las realizaciones de Sch-2, incluso a pesar de que las realizaciones de Sch-3 no son 'óptimas para una sola solicitud'.

En muchos entornos, tales como los utilizados por sistemas de comunicación por la línea de tensión e inalámbricos, el canal de comunicación es selectivo en frecuencia y variable en el tiempo. Además, el canal entre diferentes pares de dispositivos puede presentar características diferentes. Las realizaciones de Sch-1 explotan la variabilidad en el canal entre los dos dispositivos que realizan la solicitud BW, eligiendo aquellos tonos que proporcionan el mejor rendimiento (mayor velocidad de transferencia de datos). La elección de los tonos puede basarse, en parte, en la estimación de la carga de bits (BLE, Bit Loading Estimate), que puede determinarse mediante métodos conocidos. La BLE muestra el número máximo de bits/símbolo que pueden ser transmitidos sobre un tono dado. En estas realizaciones, pueden utilizarse las BLE para proporcionar acceso por división de frecuencia, acceso por división de tiempo y acceso por doble división de frecuencia-tiempo y planificación de BW para PHYs multitono.

Las realizaciones de Sch-1 tienen requisitos de equipamiento físico, sobrecarga de protocolo y complejidad de implementación muy bajos, en comparación con todos los demás algoritmos OFDMA. Las realizaciones de Sch-1 limitan la fragmentación del mapa de tonos-intervalos de frecuencia-tiempo (o abreviadamente, mapa de tonos) asignando el mejor bloque de tonos contiguo disponible. La asignación de un solo bloque de tonos reduce la pérdida de BW debida a los tonos de guarda, común en PHYs OFDM.

Las realizaciones de Sch-2 pueden, asimismo, utilizar estimaciones de BLE para determinar asignaciones de intervalos de frecuencia y de tiempo, para cada solicitud. Las realizaciones de Sch-2 realizan asignación de BW tanto en frecuencia (tonos) como en tiempo (intervalos de tiempo). Ningún sistema conocido utiliza BLE para proporcionar asignación por división doble de frecuencia-tiempo y planificación BW para PHYs multitono (OFDM).

Las realizaciones de Sch-2 pueden realizar asignaciones de frecuencia y de intervalos de tiempo, en base a requisitos de velocidad de transferencia de datos así como de retardo.

Las realizaciones de Sch-2 pueden ser "óptimas para una sola solicitud", en donde las realizaciones de Sch-2 encuentran y asignan los tonos con las BLE máximas y, por lo tanto, utilizan el número mínimo de tonos e intervalos de tiempo para dar servicio a la solicitud. Algunas realizaciones de Sch-2 pueden no ser globalmente óptimas, debido a que una solución globalmente óptima puede requerir una reasignación de TODAS las asignaciones activas existentes, una operación costosa. Habitualmente, los sistemas conocidos no son óptimos para una sola solicitud. Generalmente, las realizaciones de Sch-2 no requieren hipótesis y limitaciones complejas, tales como potencia de transmisión máxima, un canal plano o gaussiano, una velocidad de transferencia de datos limitada para cada dispositivo, o limitar el número de dispositivos en la red.

Las realizaciones de Sch-3 pueden imitar la asignación de BW a un máximo de M bloques. En algunas realizaciones, la asignación de BW en un mapa de tonos multitono está limitada a cierto número de bloques de tonos-intervalos. Las realizaciones de Sch-3 están previstas para reducir la 'fragmentación' del mapa de tonos-intervalos. Esto tiene beneficios significativos, tales como la reducción de los tiempos de guarda y de los intervalos de guarda (sobrecarga de guarda), la reducción de los tamaños de los mensajes (sobrecarga de señalización), una capacidad mejorada para soportar operaciones semidúplex, y el rendimiento global (puesto que pueden acomodarse satisfactoriamente más solicitudes en un mapa de tonos). No se conocen métodos diseñados que se aproximen a la solicitud única óptima, ni que intenten limitar la fragmentación del mapa de tonos a través de una limitación sobre el número de bloques en la asignación. Las realizaciones de Sch-3 sirven para codificar la asignación de BW de manera eficiente (desde el punto de vista de la memoria y de la sobrecarga de señalización). Algunas realizaciones de Sch-3 tienen los atributos novedosos de las realizaciones de Sch-2, si bien algunas realizaciones de Sch-3 pueden no ser óptimas para una sola solicitud.

Los algoritmos de planificación de las realizaciones de la presente invención son aplicables en sistemas con PHYs multitono. El número de tonos o frecuencias es un parámetro del sistema configurable. Habitualmente, un dispositivo que solicita BW puede ser asignado a uno o varios tonos.

Habitualmente, en estos sistemas el tiempo es dividido en intervalos y en tramas. La duración de la trama, la duración del intervalo y el número de intervalos por trama son parámetros del sistema que son configurables. En muchas realizaciones, un dispositivo que solicita BW puede ser asignado a uno o varios intervalos para cada tono asignado.

Múltiples dispositivos dentro de una red comparten el BW. Generalmente, el número de dispositivos en la red no está limitado.

En algunas realizaciones de la presente invención, las asignaciones de BW son realizadas mediante un controlador central (CC, Central Controller) o maestro, que conoce el estado del canal entre cualesquiera dos dispositivos en las redes que controla, y arbitra entre dispositivos que comparten el BW disponible. El CC puede obtener información del canal, obteniendo la BLE. El controlador de las realizaciones de la presente invención puede ejecutar las funciones de planificación en respuesta a las solicitudes de BW recibidas desde dispositivos en la red.

En algunas realizaciones, no hay límite para la potencia de transmisión de los dispositivos individuales. La potencia de transmisión puede estar limitada mediante limitaciones de cualquiera de los dispositivos, tal como es el caso en los dispositivos inalámbricos. Asimismo, la potencia de transmisión puede estar limitada por las emisiones fuera de banda en frecuencias vecinas, tal como puede ser el caso en dispositivos por línea de tensión. El límite de potencia máxima puede reflejarse en el cálculo de la estimación de la carga de bits (BLE) para cada tono, para cada par de dispositivos.

La estimación de la carga de bits puede definirse como la densidad de modulación máxima (bits/símbolo) que puede ser soportada sobre cualquier tono dado. La BLE asume cierta probabilidad de error aceptable y cierta potencia máxima de transmisión. La BLE es solamente una aproximación, y no tiene del todo en cuenta el entorno de interferencia variable. La interferencia afecta de diferentes maneras al máximo de bits/símbolo que puede modular digitalmente un tono dado, en función de la fuente de la interferencia, de su proximidad al dispositivo y de las características de la PHY. En algunas realizaciones de la presente invención, la autoridad que controla las asignaciones de BW (controlador central o maestro) conoce la estimación de BLE para todos los tonos del mapa de tonos, para el par de dispositivos que realizan la solicitud de BW. En algunas realizaciones, para un rendimiento incrementado, es necesario que el controlador conozca las BLE para todos los tonos para todos los pares de dispositivos que forman parte de la red. Frecuentemente, las BLE tienen que ser actualizadas cuando varían las condiciones del canal.

La PHY puede requerir intervalos de tiempo de guarda y/o tonos de guarda (frecuencias e intervalos de tiempo no utilizados) entre asignaciones realizadas a dispositivos diferentes.

Las realizaciones de la presente invención pueden comprender esta función.

Las realizaciones de la presente invención pueden contemplar dispositivos en la red que funcionan en modo semidúplex. Asimismo, las realizaciones pueden contemplar casos en los que ambos dispositivos funcionan en modo dúplex total (transmiten y reciben al mismo tiempo), pero esto requiere una forma diferente de asignación de BW.

Las asignaciones de BW consisten en asignaciones de tonos de frecuencia e intervalos de tiempo, entre el conjunto de todos los tonos y los intervalos en el interior de la trama de tiempo. En la figura 1 se proporciona un ejemplo de un mapa de tonos-intervalos o, abreviadamente, mapa de tonos (TM, Tone Map).

En este ejemplo de mapa de tonos-intervalos 10, las frecuencias o tonos se representan en un eje vertical 2 y los intervalos de tiempo se representan a lo largo de un eje horizontal 4. Cada mapa 10 representa una trama que comprende un grupo de tonos disponibles representados como filas, tal como el tono 6. Además, el mapa 10 está dividido en columnas, que representan intervalos de tiempo, tal como el intervalo 8. Por consiguiente, una asignación de BW está definida por la intersección de uno o varios tonos y uno o varios intervalos, tal como las asignaciones 12, 14 ó 16. Partes del TM, tales como el bloque reservado 18, pueden estar reservadas para períodos de difusión, períodos de conflicto, períodos de baliza, otras funciones de coordinación o administración, o para algún otro propósito. Las áreas 20 del TM que no están asignadas están generalmente disponibles para su utilización.

Las frecuencias o los tonos pueden ser reunidos en "grupos" o conjuntos contiguos de tonos. El número de tonos en un grupo puede ser de 1 o más. Este es un parámetro del sistema configurable. Las asignaciones de BW para las solicitudes pueden realizarse en unidades de grupos de tonos e intervalos de tiempo, tal como en las asignaciones 12, 14 y 16. A medida que crece el número de grupos en el TM, crece asimismo la complejidad de cálculo de los planificadores propuestos. Por ejemplo, si el sistema tiene un total de 500 tonos, estos pueden ser agrupados en 20 grupos de tonos contiguos, llevando cada grupo 25 tonos. En una representación, el TM puede verse como una tabla cuyas entradas están definidas como sigue $TM(\text{grupo } i, \text{intervalo } j) = 1$ solamente si el grupo de tonos i está libre o no asignado durante el intervalo de tiempo j . De lo contrario $TM(\text{grupo } i, \text{intervalo } j) = 0$.

Las realizaciones de la presente invención pueden utilizar como entrada una solicitud de ancho de banda. Una solicitud de BW puede ser emitida por un dispositivo, a la autoridad de control que arbitra el acceso al medio. Una solicitud de BW puede comprender la siguiente información:

- Identificación de los dispositivos de fuente y de destino.
- Especificación de la velocidad de transferencia de datos (número de octetos/trama).
- Especificación del retardo (número máximo de intervalos de tiempo).

Asimismo, las realizaciones de la presente invención pueden utilizar como entrada una configuración de tramas o un mapa de tonos-intervalos. Esto puede comprender la identificación de intervalos de tiempo utilizados y libres en las tramas, para cada grupo de tonos.

Asimismo, las realizaciones de la presente invención pueden utilizar una BLE (estimación de la carga de bits) de cada tono, para la conexión fuente-destino concreta. Puede calcularse una BLE para cada conexión en el sistema, mediante la función de sondeo. Pueden mantenerse estimaciones de la BLE en el controlador central.

La entrada del controlador puede comprender asimismo parámetros de sistema, tales como el tamaño de trama, el número de intervalos/trama, el número de símbolos OFDM/intervalo, el número de grupos de tonos, etc.

Cuando se recibe una solicitud, el controlador central (CC) de las realizaciones de la presente invención puede evaluar la solicitud de BW frente a la utilización actual de BW mostrada mediante el mapa de tonos. Si existe suficiente BW libre, disponible para satisfacer la solicitud y los requisitos de velocidad de transferencia de datos y de retardo especificados en la solicitud, el CC puede generar una asignación de BW. La asignación de BW especifica los tonos (o grupo de tonos) y los intervalos de tiempo a utilizar por los dispositivos que generaron la solicitud. Las asignaciones de BW pueden ser especificadas y transportadas por el CC a los dispositivos, de diferentes maneras. La forma de la asignación de BW depende del protocolo y del planificador. La forma de la asignación puede incidir sobre los requisitos de memoria en el equipamiento físico (HW), así como sobre la sobrecarga de señalización durante los procedimientos de establecimiento de conexión o de solicitud de BW. Por consiguiente, diferentes realizaciones del planificador tienen impactos diferentes sobre el rendimiento o los requisitos del sistema.

Diversas realizaciones de la presente invención pueden especificar asignaciones de diferentes maneras. En las realizaciones del planificador 1, la asignación de BW puede especificarse mediante el id del primer tono (o grupo) y el id del último tono (o grupo), en el bloque de tonos. Habitualmente, no se especifican asignaciones de intervalos.

Los dispositivos pueden utilizar todos los tonos (grupos) especificados, durante todos los intervalos en una trama. Este formato requiere muy poca memoria y muy poca sobrecarga de señalización. En las realizaciones del planificador 2, la asignación de BW puede ser especificada por el mapa de tonos de asignación; $A(g, s) = 1$ si el grupo de tonos g y el intervalo s son asignados a la solicitud, y de lo contrario $A(g, s) = 0$. Este formato puede consumir mucha memoria y requerir una sobrecarga de señalización superior. En las realizaciones del planificador 3, la asignación de BW puede especificarse mediante el mapa de tonos de asignación, tal como en las realizaciones del planificador #2. El tamaño de la asignación se limita especificando "bloques" de tonos, y limitando en número de bloques de tonos en una asignación.

Un bloque de tonos puede definirse como un vector de 1 por N , en el que cuando la entrada n -ésima = 1, el grupo n de tonos está incluido en este bloque, y cuando la entrada n -ésima = 0, el grupo de tonos no está incluido en este bloque. Por consiguiente, los grupos de tonos en un bloque N O tienen por qué ser todos contiguos. En las realizaciones de Sch-3, el número máximo de bloques de tonos en la asignación está limitado a M . Para cada intervalo de tiempo, la asignación de BW indica qué bloques están activos para la asignación. Puede utilizarse el mismo procedimiento para especificar asignaciones en las realizaciones del planificador 2. En las realizaciones del planificador #2, el número de bloques/asignación puede ser igual al número de tonos o de grupos de tonos. A continuación se muestra un ejemplo del número de octetos requeridos para este procedimiento de codificación, para una realización del Sch-3:

Bloque = vector de 1 por N . Entrada n -ésima = 1, significa que el grupo n de tonos está incluido; 0 significa que no está incluido.

- Los grupos de tonos en un bloque no son necesariamente contiguos.
- Función_techo($N/8$) octetos, para definir cada bloque. (Por ejemplo, $N=37 \Rightarrow 5$ octetos)
- Supóngase que se utilizan M bloques diferentes en una asignación. Para cada intervalo de tiempo, son necesarios M bits para indicar si se utiliza uno o varios bloques.
- 256 intervalos $\Rightarrow 256 * M/8 = 32*M$ octetos necesarios. (Por ejemplo, $M=2 \Rightarrow 64$ octetos)
- Total = (definir todos los bloques M) + (especificar qué bloques se utilizan en cada intervalo) = Función_techo($N/8$)* $M + 32*M$
- Por ejemplo, $N = 37$, $M = 2 \Rightarrow 5*2 + 32*2 = 74$ octetos.

Algunas realizaciones de la presente invención pueden comprenderse mejor mediante una descripción detallada de realizaciones concretas, consideradas realizaciones del planificador 1 (Sch-1). El objetivo de estas realizaciones del Sch-1 es definir un enfoque simple para explotar la naturaleza selectiva en frecuencias de las BLE para los canales entre pares de dispositivos individuales. Las realizaciones de Sch-1 son adecuadas para conexiones de gran BW que están activas continuamente, tales como aplicaciones de HDTV o de SDTV, o de transmisión continua sobre IP. En las realizaciones de Sch-1, el requisito de asignación de un solo bloque impide la utilización de bloques libres menores en un mapa de tonos. Estas realizaciones pueden ser menos eficientes para tráfico de ráfagas con períodos inactivos.

En estas realizaciones de Sch-1 concretas, la asignación de BW se realiza como un bloque contiguo de tonos/grupos que satisfacen la solicitud. Asimismo, en función de las limitaciones de la PHY puede ser necesario asignar tonos de guarda entre asignaciones realizadas a dispositivos fuente diferentes.

En estas realizaciones de Sch-1 concretas, los siguientes símbolos o términos se definen como sigue:

N = número de grupos de tonos. (Cada grupo de tonos puede tener 1 tono o más, todos los grupos tienen el mismo número de tonos).

n_{primero} = primer grupo de tonos en la asignación. ($1 < n_{\text{primero}} \leq N$)

$n_{\text{último}}$ = último grupo de tonos en la asignación. ($1 < n_{\text{último}} \leq N$)

$n_{\text{primero}} \leq n_{\text{último}}$ significa asignar los grupos de tonos $\{n_{\text{primero}}, n_{\text{primero}}+1, \dots, n_{\text{último}}\}$.

$n_{\text{primero}} > n_{\text{último}}$ significa asignar los grupos de tonos $\{n_{\text{primero}}, n_{\text{primero}}+1, \dots, N\}$ y $\{1, 2, \dots, n_{\text{último}}\}$.

En el diagrama de flujo de la figura 2 se muestra un ejemplo de algoritmo para una realización de Sch-1. En esta realización, el planificador se inicia en 30 y se recibe una solicitud de ancho de banda. A continuación, el planificador obtiene 32 una BLE para cada tono, en cada grupo de tonos. A continuación se determina 34 la viabilidad de cada grupo de tonos mediante un proceso que puede comprender las siguientes etapas:

- 5 Para cada combinación de (n-primer, n-ultimo), hacer:
 - a. Si $n_primer \leq n_ultimo$, considerar los grupos de tonos $\{n_primer, n_primer+1, \dots, n_ultimo\}$; si no, si $n_primer > n_ultimo$, considerar los grupos de tonos $\{n_primer, n_primer+1, \dots, N\}$ y $\{1, 2, \dots, n_ultimo\}$.
 - b. Calcular el número de bits en los grupos de tonos en un intervalo, en base a la BLE para cada par de salida.
 - c. Encontrar el número de intervalos necesarios para soportar la solicitud.
- 10 d. Si esta cantidad de intervalos está disponible, (n-primer, n-ultimo) es viable, y encontrar el número total de unidades de tonos-intervalos necesarias.

Si se encuentran uno o varios grupos de tonos viables, se encuentra el grupo o los grupos de tonos que minimizan el número de unidades de tonos-intervalos y estos son asignados 36 a la solicitud, de acuerdo con las siguientes etapas:

- 15 a. Si no hay ningún par (n-primer, n-ultimo) viable, rechazar la solicitud.
- b. Entre los pares (n-primer, n-ultimo) viables, elegir el par que utiliza menos unidades de tonos-intervalos.
- c. Se proporciona la asignación mediante n_primer^* y n_ultimo^* , y se asignan intervalos suficientes para dar soporte a solicitud.

Si no se encuentra un grupo de tonos viable, la solicitud será rechazada.

- 20 En las figuras 3A y 3B se muestra un ejemplo de una asignación realizada mediante una realización del planificador 1, en un formato similar al de la figura 1, con un eje vertical 2 de frecuencia o de tonos, graficado con un eje horizontal 4 de intervalos de tiempo. En el mapa se muestra, asimismo, un intervalo 18 de tonos reservados. En estas realizaciones, un grupo de tonos se define mediante un primer y último tonos en el grupo (n_primer^* y n_ultimo^*). No obstante, el orden de estos tonos contribuye a definir la asignación.

- 25 Cuando n_primer^* es menor que n_ultimo^* , se realizará una asignación del grupo de tonos tal como la mostrada en la figura 3A. En este caso, los grupos de tonos que comienzan en n_primer^* 40 y finalizan en n_ultimo^* 42 serán asignados en una sola asignación rectangular 44 del grupos de tonos.

- 30 Cuando n_primer^* es mayor que n_ultimo^* , se realizará una asignación del grupo de tonos tal como la mostrada en la figura 3B. En este caso, los grupos de tonos que comienzan en n_ultimo^* 42 y finalizan en n_primer^* 40 serán asignados en múltiples asignaciones rectangulares 46a y 46b de grupos de tonos.

La asignación realizada mediante las realizaciones del planificador 1 es siempre un bloque rectangular. Esto simplifica la especificación de la asignación. Los métodos del Sch-1 son aplicables incluso cuando existen asignaciones activas en el mapa de tonos. Esta situación puede tratarse alimentando el algoritmo con un mapa de tonos que muestre solamente los grupos de tonos libres.

- 35 En algunas realizaciones del planificador 2, un objetivo es encontrar la "mejor asignación" para una solicitud de BW, sin ninguna limitación sobre la asignación. "La mejor", puede definirse como la asignación que utiliza los mínimos tonos-intervalos de tiempo del mapa de tonos-intervalos.

- 40 Algunas realizaciones del Sch-2 pueden tener limitaciones aplicadas a la selección de BW, si bien, en la mayor parte de los casos, estas realizaciones pueden seleccionar cualesquiera grupos de tonos e intervalos de tiempo adecuados (es decir, sin limitaciones sobre el número o la posición de los tonos y los intervalos). Además, no es necesario que los grupos de tonos sean contiguos. En algunas realizaciones, puede ser necesario asignar tonos de guarda e intervalos temporales de guarda, entre asignaciones realizadas a diferentes dispositivos fuente, en función de las limitaciones de la PHY.

- 45 En la figura 4 se muestra un ejemplo de algoritmo para una realización de Sch-2, en forma de diagrama de flujo. En esta realización, se inicia 50 el planificador y se recibe 52 una solicitud de BW. A continuación se obtienen 54 desde cada BLE los bits por símbolo promedio, para cada tono en cada grupo de tonos. A continuación se ordenan 56 los

grupos de tonos. Esta clasificación puede realizarse en orden descendente de bits por símbolo promedio. En algunas realizaciones, los grupos de tonos pueden ser clasificados en orden descendente de densidad de modulación promedio, o bien a partir de la BLE (fuente, destino) de cada tono del grupo. La densidad de modulación promedio de un grupo de tonos puede expresarse como la suma de las BLE para todos los tonos en el grupo, dividida por el número de tonos del grupo.

A continuación, se asignan 58 intervalos libres para cada grupo de tonos, sobre el mapa de tonos. Una vez que se han encontrado intervalos disponibles, estos pueden ser asignados. Habitualmente, los intervalos en el grupo de tonos que tienen el valor más elevado de bits por símbolo promedio son asignados primero. Generalmente, se selecciona 60 el grupo de tonos no asignados (inicialmente todos los grupos están sin asignar) con el mayor valor de bits por símbolo promedio. Los intervalos de tonos en este grupo son asignados a la solicitud 62. Si se satisface 64 la solicitud de BW, el proceso puede finalizar 66. Si la solicitud de BW no se satisface 64, el número de octetos en la solicitud se disminuye 68 mediante la cantidad asignada en el ciclo previo 62. En este punto, pueden verificarse 70 los tonos disponibles para comprobar si se han agotado. En caso afirmativo, la solicitud puede ser rechazada 72. Si no se han agotado los tonos, la rutina puede volver a la selección 60 de grupo, y puede seleccionarse el grupo no asignando con el mayor valor de la relación de bits por símbolo, y asignarse tal como se ha descrito anteriormente.

Para estas realizaciones, si se especifica, asimismo, un valor de retardo en la solicitud (por ejemplo, para aplicación en tiempo real), entonces en la asignación de BW pueden utilizarse solamente los intervalos de tiempo que se producen antes de la expiración del retardo. Esta limitación es aplicable solamente si el retardo es $\leq$ duración de 1 trama. Las realizaciones del Sch-2 pueden tratar esta limitación de retardo.

Algunas realizaciones del Sch-2 pueden realizar asignaciones para solicitudes sin un retardo temporal. Estas asignaciones pueden ser concedidas tal como se muestra en la figura 5, que es un mapa de tonos para la asignación. En estos casos, ha sido concedida previamente una asignación existente 76. Los grupos de tonos han sido ordenados en un primer mejor grupo de tonos 78, un segundo mejor grupo de tonos 80 y siguientes mejores grupos de tonos 82. Cuando la solicitud lo requiera, todos estos grupos serán asignados 84 durante toda la trama.

Algunas realizaciones de Sch-2 pueden llevar a cabo asignaciones para solicitudes con un requisito de retardo temporal. Estas asignaciones pueden ser concedidas tal como se muestra en la figura 6, que es un mapa de tonos para la asignación. En estos casos, ha sido concedida previamente una asignación existente 76. Los grupos de tonos han sido ordenados en un primer mejor grupo de tonos 88, un segundo mejor grupo de tonos 90 y siguientes mejores grupos de tonos 92. Cuando la solicitud lo requiera, todos estos grupos serán asignados 94 a los intervalos no asignados en estos grupos, hasta el siguiente intervalo de tiempo 86 en el que la limitación de retardo impida su utilización.

Algunas realizaciones de Sch-2 están cerca de la "solicitud única óptima", debido a que los mejores grupos de tonos son asignados uno a uno, hasta que se satisface un requisito de velocidad de transferencia de datos (es decir, para el caso en el que número de tonos/grupos > 1). Algunas realizaciones de Sch-2 son realmente la "solicitud única óptima", si hay 1 tono en cada grupo de tonos.

Algunas realizaciones de Sch-2 pueden no ser globalmente óptimas, en el sentido de maximizar la velocidad de transferencia de datos total. Las asignaciones para las realizaciones de Sch-2 pueden comprender un gran número de "bloques de tonos". El gran tamaño de la asignación puede incrementar significativamente la sobrecarga de protocolo (señalización), así como los requisitos de memoria en el dispositivo.

Las realizaciones de la presente invención descritas como planificador 3 están diseñadas típicamente para encontrar una asignación de tonos-intervalos "superior", estando la asignación limitada por el número de "bloques" en la misma. En algunas realizaciones, una asignación "superior" puede definirse como la asignación que utiliza una cantidad menor o mínima de grupos de tonos o intervalos de tiempo, del mapa de tonos-intervalos.

Además de las hipótesis y limitaciones que se han descrito anteriormente para otros ejemplos de planificadores, para obtener un ejemplo de algoritmo de Sch-3 se adopta una limitación adicional sobre las realizaciones de Sch-2, sobre el número de bloques en la asignación. De este modo, un ejemplo de realización de Sch-3 puede tener las siguientes limitaciones:

- Asignaciones de grupos de tonos especificadas en términos de "BLOQUES".
- Bloque = vector de 1 por N, donde la entrada n-ésima = 1 significa que el grupo n está asignado; y 0 significa que no está asignado.
- Número de BLOQUES en la especificación de la asignación limitado a, digamos, M bloques. Es decir, una asignación puede tener solamente M vectores de 1 x N que especifican grupos de tonos.

- Limitación opcional: todos los grupos de tonos asignados en un bloque deben ser contiguos. Ésta es una restricción opcional.

Las realizaciones del planificador 3 pueden ser extensiones de realizaciones del Sch-2, que manejan la limitación de utilizar un número máximo fijo de bloques ($\leq M$ bloques) en una asignación. Esta limitación sobre el número de bloques obliga al planificador a encontrar asignaciones contiguas de grupos de tonos-intervalos de tiempo. Las asignaciones de BW realizadas por las realizaciones del Sch-3 tienen como resultado un mapa de tonos menos "fragmentado".

La creación de numerosas zonas no adyacentes de intervalos de tiempo y tonos, utilizados y no utilizados, se denomina fragmentación del TM. Se produce fragmentación cuando una sola asignación utiliza intervalos de tiempo y grupos de tonos no contiguos. Como resultado del tamaño limitado de la especificación de las asignaciones de BW, las asignaciones de Sch-3 requieren menos memoria en el HW y menos sobrecarga de señalización. Asimismo, los protocolos pueden limitar la transmisión de un mapa de tonos completo para cada solicitud (es decir, Avalanche PLC tiene una limitación de 4 bloques/asignación), y ésta es otra razón para aplicar las realizaciones de Sch-3.

Cuando la asignación consiste en intervalos de tiempo y tonos no contiguos, la mayor parte de los sistemas PHY multitono requieren que sean asignados tiempos de guarda intervalos de guarda entre asignaciones adyacentes. Cuando la fragmentación se incrementa, las asignaciones de BW consisten en un número creciente de grupos de tonos e intervalos de tiempo no adyacentes. Esta sobrecarga adicional provocada por los tonos de guarda y los intervalos de tiempo de guarda entre grupos e intervalos asignados a diferentes asignaciones, puede consumir una parte significativa de la capacidad disponible y, por lo tanto, reducir drásticamente la utilización de la capacidad.

Asimismo, los mapas de tonos fragmentados reducen la capacidad de la red para soportar un funcionamiento semidúplex (en el que los dispositivos no pueden transmitir y recibir a la vez). La fragmentación tiene como resultado menos intervalos y grupos disponibles para operaciones semidúplex. Finalmente, en la mayor parte de las PHY multitono, los preámbulos para cada grupo de tonos asignado deben estar alineados en intervalos. La fragmentación del mapa de tonos dificulta encontrar grupos de tonos que puedan estar alineados. Esto reduce las probabilidades de encontrar una asignación de BW adecuada que satisfaga el requisito, y conduce a una elevada probabilidad de bloqueo de la solicitud, incluso a pesar de que existe capacidad disponible en el sistema.

Las realizaciones de la presente invención pueden utilizar un patrón de uso básico (BUP, Basic Usage Pattern), que puede adoptar la forma de un vector fila de 1 por n (en algunas realizaciones, $n = 256$), con entradas 0 ó 1 (0 = utilizado; 1 = libre). Asimismo, un BUP puede comprender las características siguientes:

- La entrada i-ésima de un BUP indica si el intervalo t está o no libre para el grupo de tonos concreto.
- Cada grupo de tonos tiene un BUP, dado por un mapa inicial de tonos-intervalos.
- A partir de los BUP de todos los grupos de tonos, se obtiene S_B , que es el conjunto de todos los BUP únicos.
- Asimismo, se encuentra $G_B(a)$, que es el conjunto de grupos de tonos que pertenecen al BUP a.
- Dados u, v en S_B , y $u \neq v \Rightarrow G_B(u) \cap G_B(v) = \emptyset$

En algunas realizaciones, puede utilizarse un algoritmo para encontrar S_B (el conjunto de BUP únicos) y $G_B(a)$ (el conjunto de grupos de tonos que pertenecen al patrón de uso básico a). El algoritmo se muestra en la figura 7. Para encontrar S_B , se inicia 100 el algoritmo y es aplicado a un mapa inicial 102 de tonos-intervalos. El conjunto inicial de BUPs se inicializa como vacío 104. A continuación, cada fila de l mapa de tonos-intervalos es analizada 106 y comparada con los patrones de filas almacenados en S_B . Si la fila actual no está contenida en S_B , su patrón será añadido 110. Esto se producirá para cada fila en el mapa de tonos.

Se sigue el mismo proceso para cada grupo de tonos. Un conjunto inicial de grupos de tonos, G_B , se inicializa como vacío 112 y cada grupo de tonos único es añadido 114 al conjunto. Este proceso se repite hasta que se han tenido en cuenta todos los grupos de tonos del mapa.

Los BUP de las realizaciones de la presente invención pueden describirse mejor haciendo referencia a la figura 8, que es un diagrama que comprende un mapa de tonos. Igual que otros mapas de tonos de esta descripción, la parte de mapa de este diagrama comprende un eje vertical 2 que representa la frecuencia, dividida en grupos de tonos. El eje horizontal 4 representa el tiempo y está dividido en intervalos de tiempo. En este mapa, se muestra una zona reservada 18 que no está disponible para su asignación a los dispositivos. Las partes del mapa que han sido asignadas previamente se muestran como asignaciones existentes 96. El resto del mapa está asignado para su uso actual. La tabla situada a la derecha del mapa de tonos muestra los BUP como cadenas binarias 120 junto con sus identificadores BUP 98 (a_1 a a_3). Asimismo, a la derecha del mapa de tonos se muestran números 122 de los grupos

de tonos, comprendidos entre #1 y #12. En este mapa, se identifican tres patrones de uso básicos (BUP) (a_1 , a_2 y a_3). Un primer BUP 124, con el identificador BUP a_1 , se encuentra en los primeros 4 grupos de tonos (filas) del mapa de tonos. El primer BUP 124 está definido utilizando todos los intervalos de tiempo excepto los asignados a la zona reservada 18 y a la asignación existente 96a. Tal como se muestra en el mapa la figura 8, esto contiene los intervalos de tiempo c - n y r - t. Este patrón se repite para los primeros cuatro grupos de tonos (#1 - #4).

En el quinto grupo de tonos se identifica un segundo BUP 126, con el identificador BUP a_2 . Este segundo BUP utiliza todos los intervalos de tiempo excepto los asignados a la zona reservada 18. Estos son los intervalos de tiempo c - t. Este BUP se reproduce en los grupos de tonos #10, #11 y #12.

En el grupo de tonos #6 se identifica un tercer BUP 128, con el identificador BUP a_3 . Este BUP utiliza todos los intervalos de tiempo excepto los asignados a la zona reservada 18 y a la asignación existente 96b. Tal como se muestra en el mapa de la figura 8, esto son los intervalos de tiempo c - e y j - t.

En la figura 8, la tabla a la derecha del mapa de tonos muestra una columna 98 con identificadores BUP (a_1 , a_2 y a_3), y una columna 120 que muestra cada BUP como una cadena binaria con un bit para cada intervalo de tiempo. Los intervalos de tiempo que están asignados a un dispositivo se indican como asignados con el símbolo 1, y se indican como no asignados con el símbolo 0.

Las realizaciones de la presente invención pueden utilizar un patrón de uso derivado (DUP, Derived Usage Pattern). El límite de M bloques de una asignación de BW implica que un Sch-3 puede asignar grupos de tonos de, como máximo, M patrones de uso básicos. Sin embargo, asignar grupos de tonos de solamente M BUPs puede no satisfacer la velocidad de transferencia de datos de la solicitud, debido a una capacidad inadecuada en estos M BUPs. Para solucionar este problema, pueden combinarse varios BUP para formar un patrón de uso derivado (DUP), y reunir sus grupos de tonos. Un patrón de uso derivado puede obtenerse aplicando la operación lógica AND sobre uno o varios BUPs. El DUP resultante no tiene por qué ser único. Un DUP puede tener las características siguientes:

- Utilizar intervalos disponibles comunes de varios BUP, y utilizar todos sus grupos de tonos.

- Número de DUPs = 2(número de BUPs) - 1

En el ejemplo de DUP 130, el DUP puede comprender dos BUP ($d_4 = a_1 \text{ AND } a_2$) 124 y 126, tal como se muestra en la figura 9. Este ejemplo indica cómo puede incrementarse el número de tonos-intervalos libres, mediante la operación de fusión del DUP. Con solamente un bloque, el número de octetos libres (d_4) > octetos libres (a_1) u octetos libres (a_2). En este DUP 130 de ejemplo, los intervalos de tiempo comunes al BUP a_1 124 y al BUP a_2 126 (intervalos c - m y r - t) se combinan para la totalidad de los 8 grupos de tonos de los dos BUP 124 y 126, como una asignación DUP 130. Tal como puede verse por el mapa de la figura 9, se asigna más ancho de banda con un solo DUP que con cualquiera de los BUP 124 y 126 utilizados para formar el DUP.

Asimismo, en este ejemplo que se muestra en la figura 10 puede observarse que el conjunto de los BUP 132 permite que sean asignados solamente 4 grupos de tonos 134 para cada BUP. En este mismo ejemplo, puede ser utilizado un solo DUP 140, entre los 7 DUP posibles 138, para asignar hasta la totalidad de los 12 grupos de tonos 136 (aunque algunos tendrán menos intervalos de tiempo disponibles).

Habitualmente, algunas realizaciones de Sch-3 comprenden dos funciones principales: `fun_bup()` y `fun_dup()`. En un ejemplo de realización, `fun_bup()` utiliza patrones de uso básicos solamente para realizar la asignación de BW. El planificador de Sch-3 asigna grupos de tonos procedentes de $\leq M$ BUPs para satisfacer la limitación sobre el número de grupos de tonos en la asignación. `fun_dup()` utiliza DUPs en la asignación (por definición, un BUP es un DUP, pero un DUP no es necesariamente un BUP). `fun_dup()` asigna grupos de tonos a partir de M DUPs, y esto satisface la limitación sobre el tamaño de la asignación. Puesto que `fun_bup` y `fun_dup` utilizan ambos, como mucho, M patrones de uso básicos o derivados, esto implica que la asignación de BW se compone de como mucho M bloques.

La figura 11 muestra un ejemplo de algoritmo para algunas realizaciones de Sch-3. En estas realizaciones, el planificador recibe una solicitud 150, y a continuación comienza 152 la búsqueda de ancho de banda disponible. Este ejemplo de planificador determinará el número de octetos requeridos por trama, y la densidad de modulación requerida para el par de salida 154. En primer lugar, la realización del Sch-3 intenta satisfacer un requisito 150 de BW, calculando y examinando los BUP utilizando la función `fun_bup` 156. Si se encuentra 158 una asignación, la solicitud es aceptada y satisfecha utilizando solamente los BUPs 160, y el mapa de tonos es actualizado. Cuando esto ocurre, el proceso termina 170b.

Si no es posible una asignación utilizando los BUP, entonces el planificador calculará y examinará los DUP en base a todos los BUP calculados mediante `fun_bup`. La asignación utilizando los DUP se realiza mediante la función

fun_dup 162. Si se encuentra una asignación utilizando los DUP 164, la solicitud es aceptada y asignada 166 con los DUP, y el mapa de tonos es actualizado. A continuación, el proceso terminará 170b.

Si no puede encontrarse una asignación utilizando fun_bup 158 o fun_dup 164, la solicitud es rechazada 168 y el proceso finaliza 170a.

5 Un ejemplo de función fun_bup(), para la cual se muestra un diagrama de flujo en la figura 12, puede llevarse a cabo con las etapas siguientes:

- o Calcular el número de octetos que pueden ser soportados utilizando todos los grupos de tonos en cada BUP 180.
- o Encontrar la lista de todas las combinaciones de BUPs que pueden soportar la solicitud, asumiendo que pueden utilizarse $\leq M$ BUPs 182.

10 o Si no existe una lista viable 184,

- o Salir y ejecutar fun_dup() 198.

o Si no,

Para cada combinación viable de BUPs en la lista:

- o Ordenar los grupos de tonos correspondientes en orden descendente de densidad de bits promedio 186.

15 o Seguir asignando los mejores grupos de tonos restantes, hasta que se satisface la solicitud 188.

- o Registrar el número de unidades de tonos-intervalos utilizadas 190.

- o Seleccionar la mejor combinación de BUPs que utiliza menos unidades de tonos-intervalos 192.

- o Ordenar los grupos de tonos correspondientes en orden descendente de densidad de bits promedio 194.

- o Asignar los mejores grupos de tonos hasta que se satisface la solicitud 196.

20 Un ejemplo de función fun_dup(), para la cual se muestra un diagrama de flujo en la figura 13, puede llevarse a cabo con las etapas siguientes:

- o Calcular el número de octetos que pueden ser soportados utilizando todos los grupos de tonos en cada DUP 200.

- o Encontrar la lista de todas las combinaciones de DUPs que pueden soportar la solicitud, asumiendo que pueden utilizarse $\leq M$ DUPs 202.

25 o Nota: considerar solamente DUPs que no compartan el mismo BUP.

- o Si no existe una lista viable 204,

- o Rechazar la solicitud 106.

o Si no,

- o Para cada combinación viable de DUPs:

30 o Ordenar los grupos de tonos correspondientes en orden descendente de densidad de bits promedio 208.

- o Seguir asignando los mejores grupos de tonos restantes, hasta que se satisface la solicitud 210.

- o Registrar el número de unidades de tonos-intervalos utilizadas 212.

- o Seleccionar la mejor combinación de DUP que utiliza menos unidades de tonos-intervalos 214.

- o Ordenar los grupos de tonos correspondientes en orden descendente de densidad de bits 216.

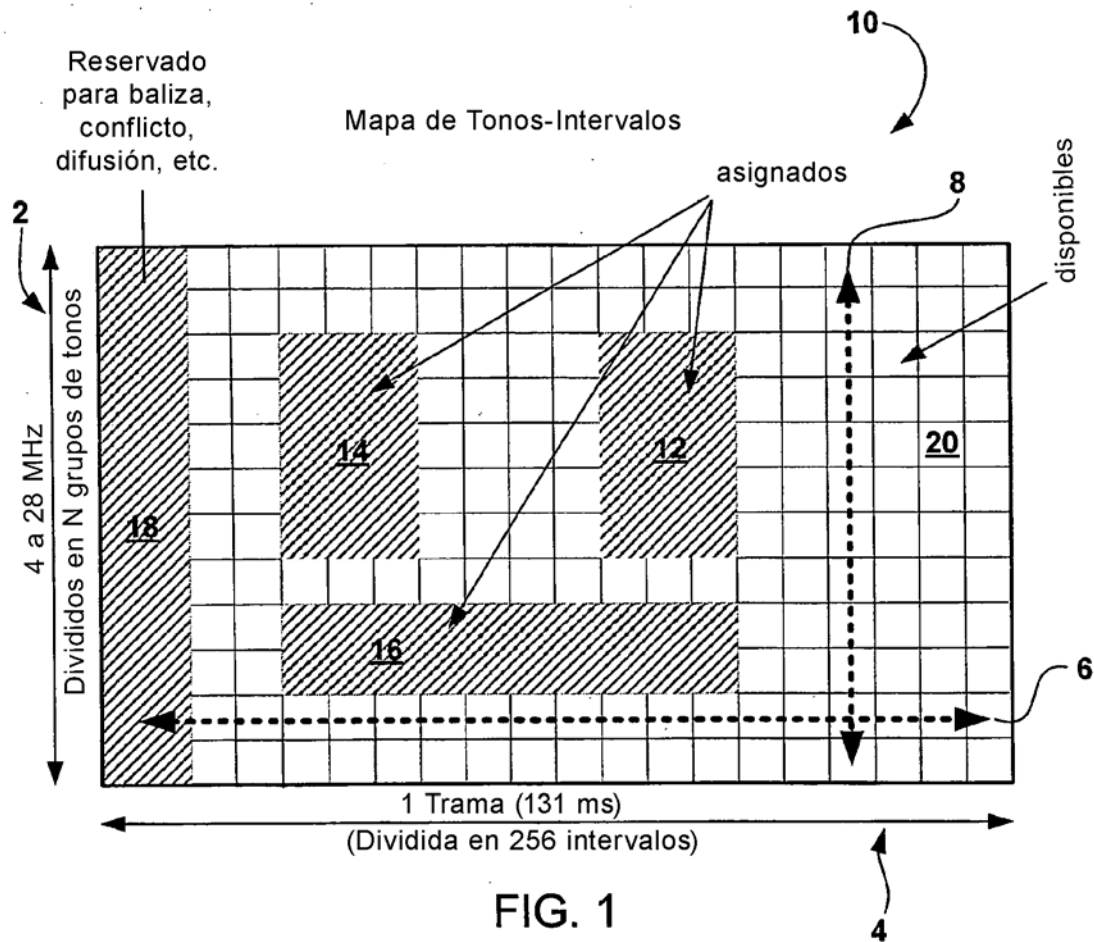
o Asignar los mejores grupos de tonos hasta que se satisface la solicitud 218.

Los términos y las expresiones que se emplean en la descripción anterior se utilizan en términos descriptivos y no limitativos, y con la utilización de dichos términos y expresiones no se pretende excluir equivalencias de las características mostradas y descritas, o de partes de las mismas, reconociéndose que el alcance de la invención está definido y limitado solamente mediante las siguientes reivindicaciones.

5

REIVINDICACIONES

1. Método para el reparto del ancho de banda en un medio de comunicación, comprendiendo dicho método:
 - a) dividir el ancho de banda en una serie de grupos de tonos;
 - 5 b) dividir dichos grupos de tonos en intervalos de tiempo;
 - c) determinar una estimación de la carga de bits, BLE, para cada uno de dichos grupos de tonos, siendo la BLE el número máximo de bits/símbolo que pueden ser transmitidos en un tono dado;
 - d) determinar patrones de uso básicos, BUPs, para un par de dispositivos, siendo el BUP un vector fila de 1 por n, en el que la entrada a i-ésima indica si el intervalo t está o no libre para un grupo de tonos concreto;
 - 10 e) buscar combinaciones de BUP que proporcionen ancho de banda suficiente para satisfacer una solicitud para dicho par de dispositivos, **caracterizado por**:
 - f) si dicha búsqueda es satisfactoria,
 - i) calcular el número de unidades de tonos-intervalos requeridas para satisfacer dicha solicitud para cada una de dichas combinaciones, cuando los grupos de tonos son asignados en el orden de mayor a menor BLE,
 - 15 ii) entre dichas combinaciones, seleccionar una combinación final que utilice el número mínimo de unidades de tonos-intervalos, y
 - iii) asignar dicha combinación final a dicha solicitud;
 - g) si dicha búsqueda de combinaciones de BUP no es satisfactoria,
 - i) determinar patrones de uso derivados, DUPs, para dichos BUPs, obteniéndose los DUP mediante aplicar la
 - 20 operación lógica AND sobre uno o varios BUPs;
 - ii) determinar una estimación de la carga de bits, BLE, para cada uno de dichos DUPs;
 - iii) buscar combinaciones de DUP que proporcionen ancho de banda suficiente para satisfacer dicha solicitud para dicho par de dispositivos;
 - iv) si dicha búsqueda de combinaciones de DUP es satisfactoria,
 - 25 (1) calcular el número de unidades de tonos-intervalos requeridas para satisfacer dicha solicitud para cada una de dichas combinaciones, cuando los grupos de tonos son asignados en el orden de mayor a menor BLE,
 - (2) entre dichas combinaciones de DUP, seleccionar una combinación de DUP final que utilice el número mínimo de unidades de tonos-intervalos;
 - (3) asignar dicha combinación DUP final a dicha solicitud.



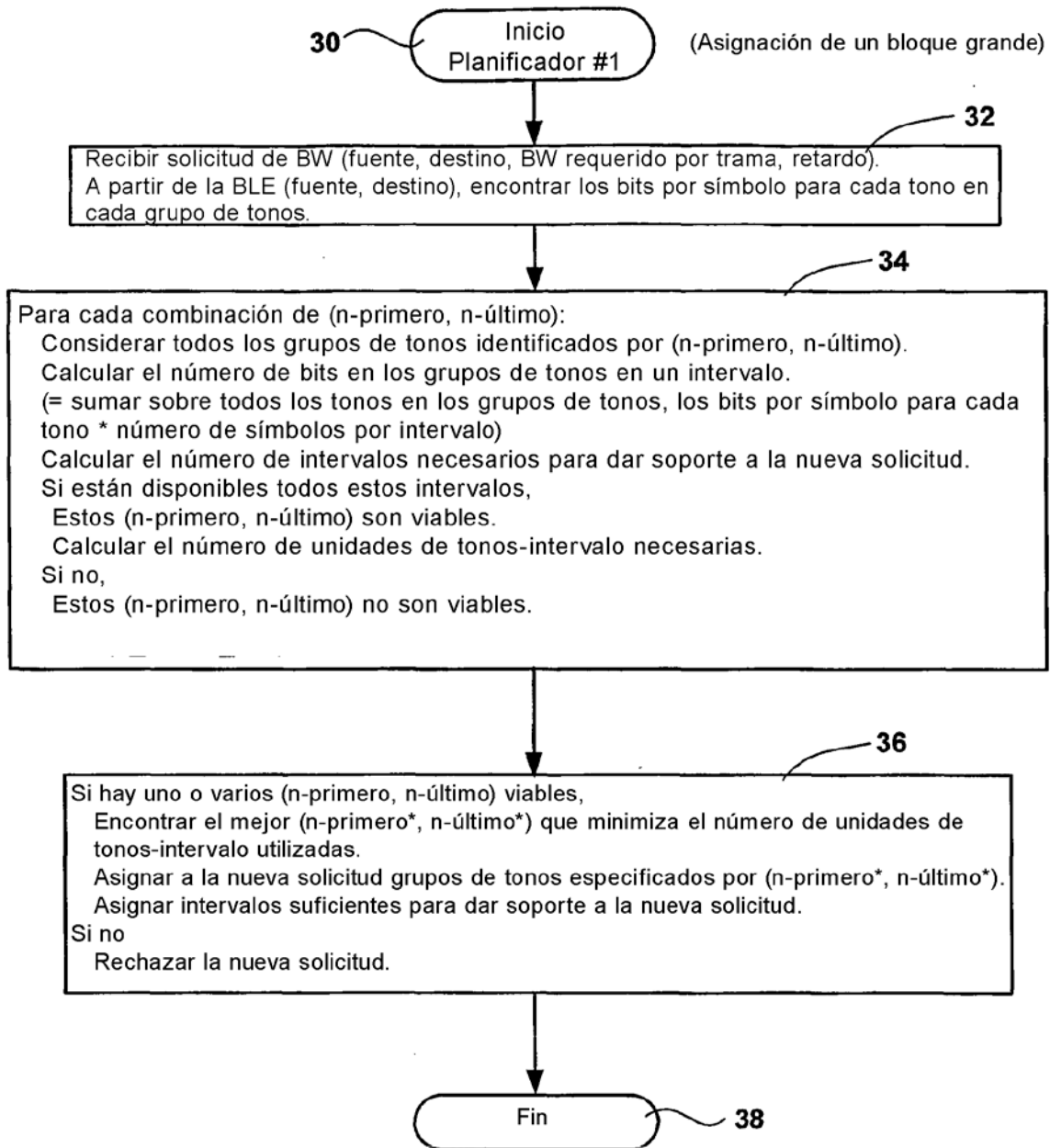
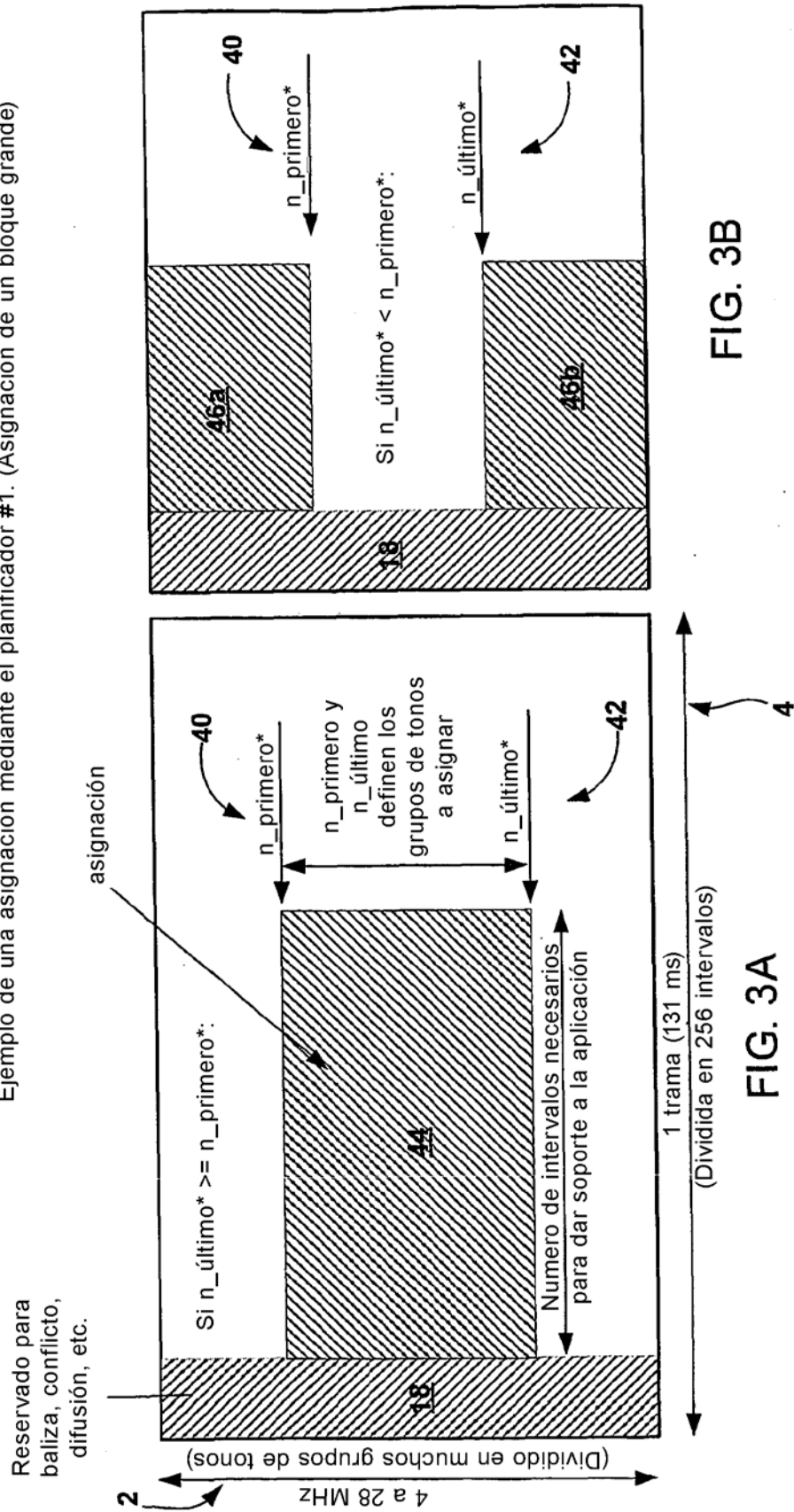


FIG. 2

Ejemplo de una asignación mediante el planificador #1. (Asignación de un bloque grande)



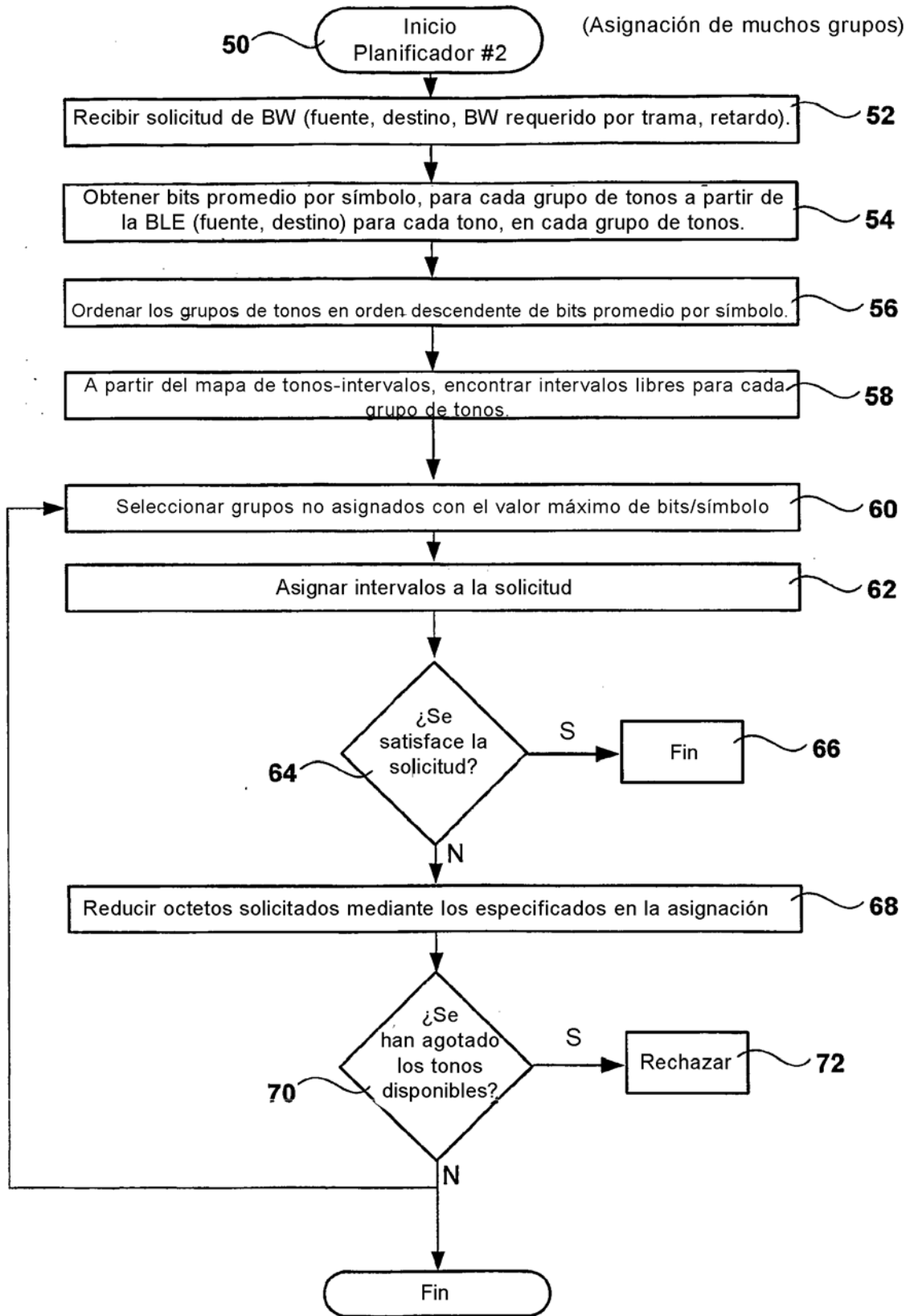


FIG. 4

Ejemplo de una asignación mediante el planificador #2. (Asignación de muchos grupos)

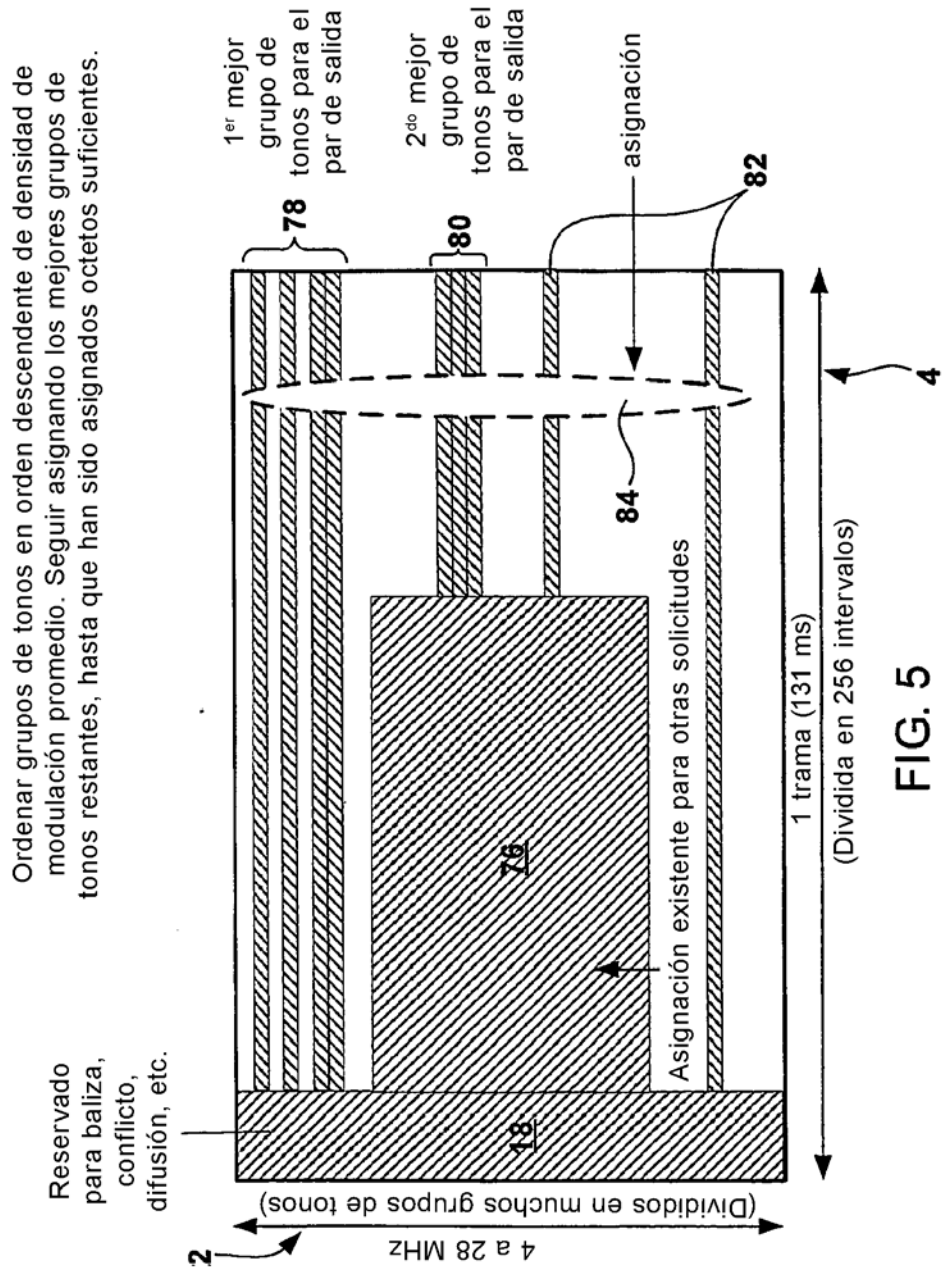


FIG. 5

Ejemplo de una asignación mediante el planificador #2, con requisito de retardo

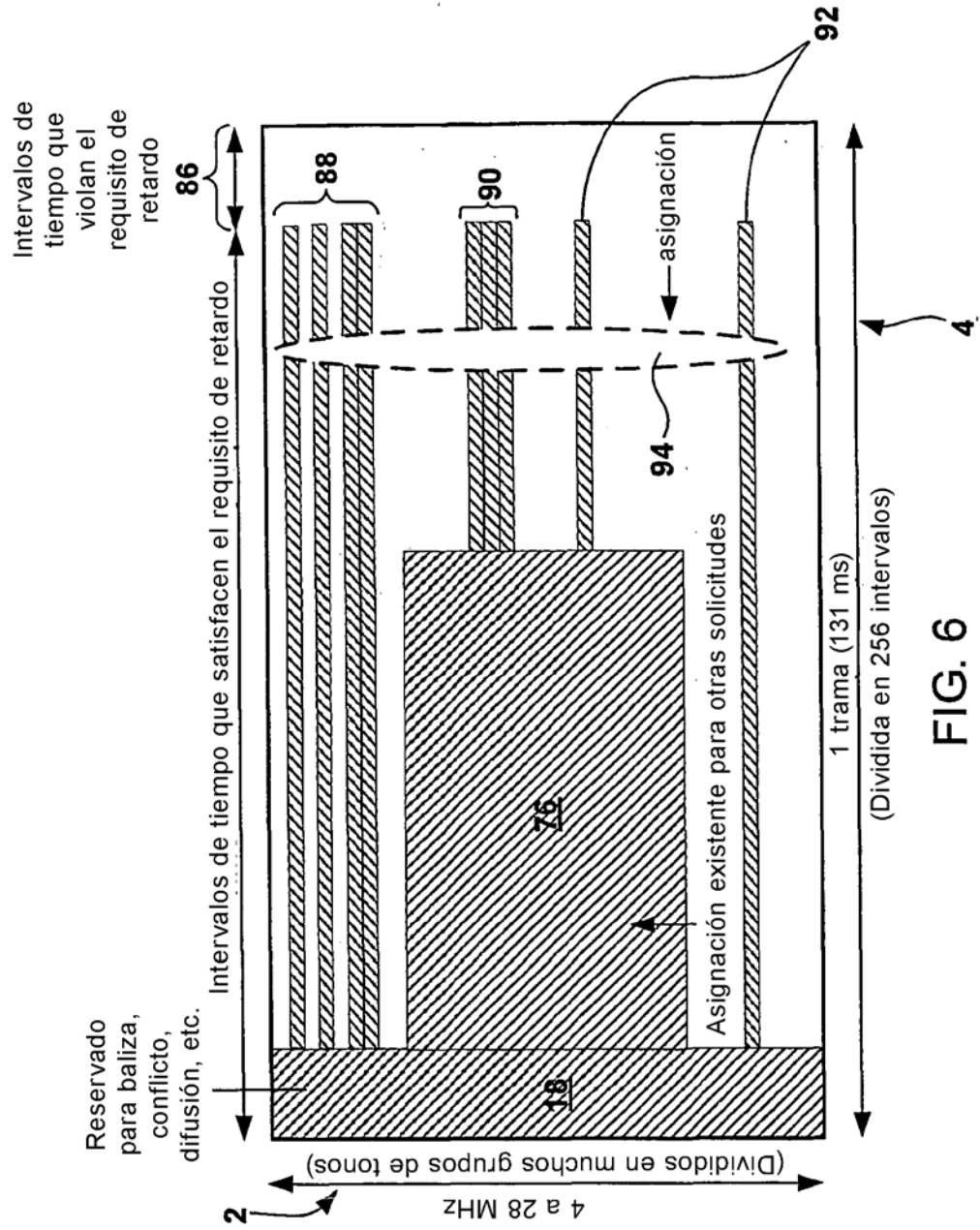


FIG. 6

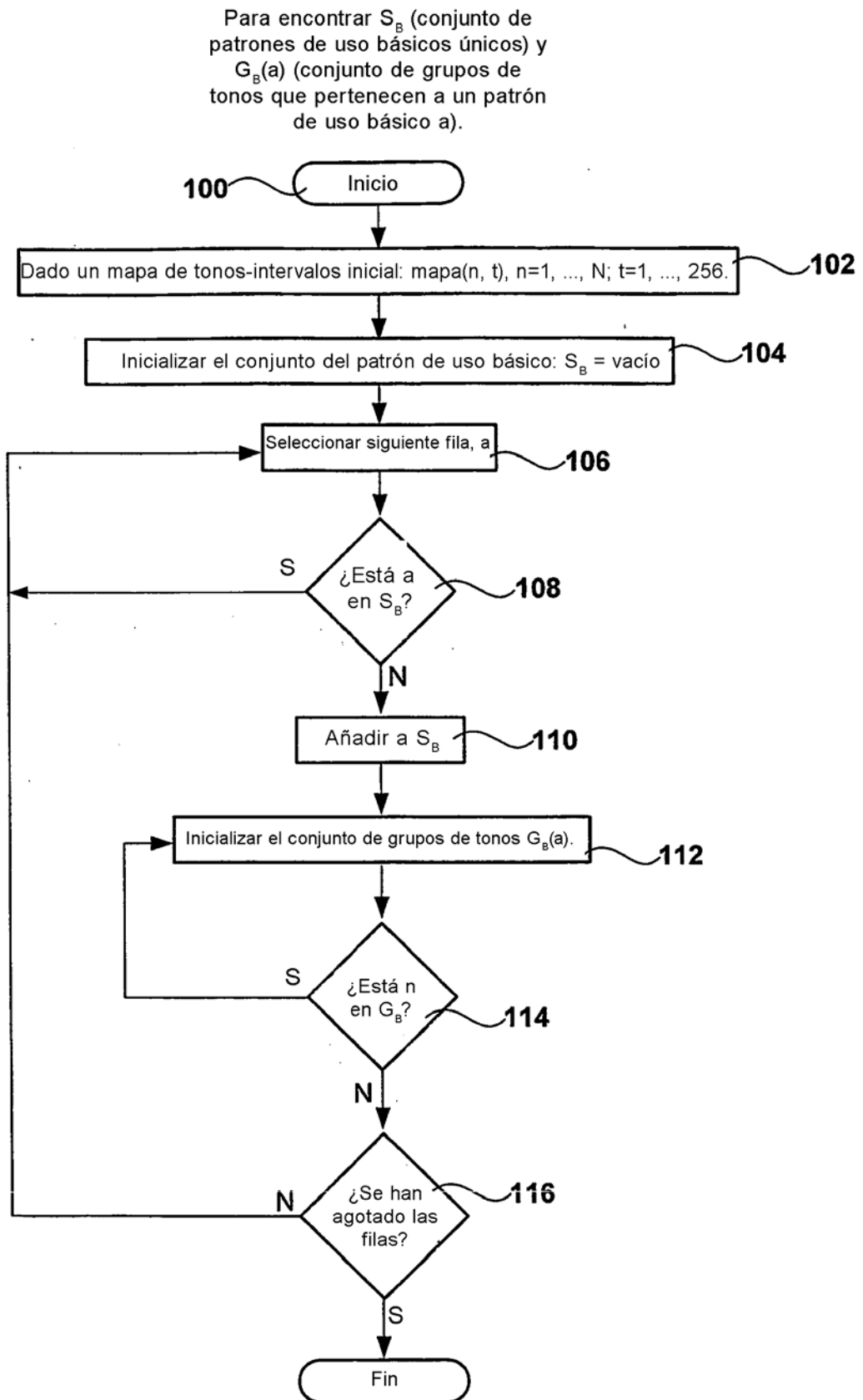


FIG. 7

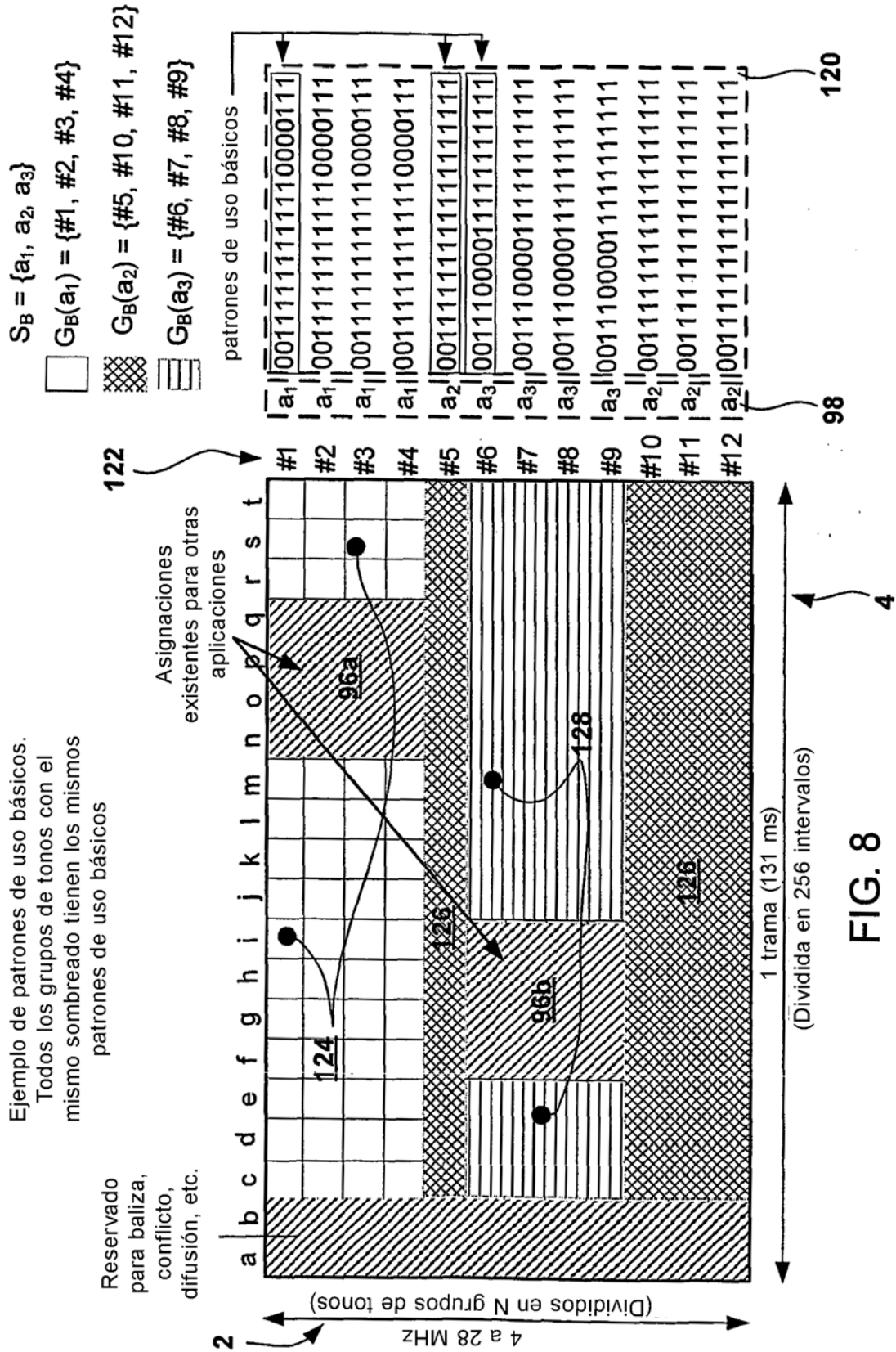


FIG. 8

Ejemplo de un patrón de uso derivado

El patrón de uso derivado d_4
se obtiene de los patrones de
uso básicos a_1 y a_2

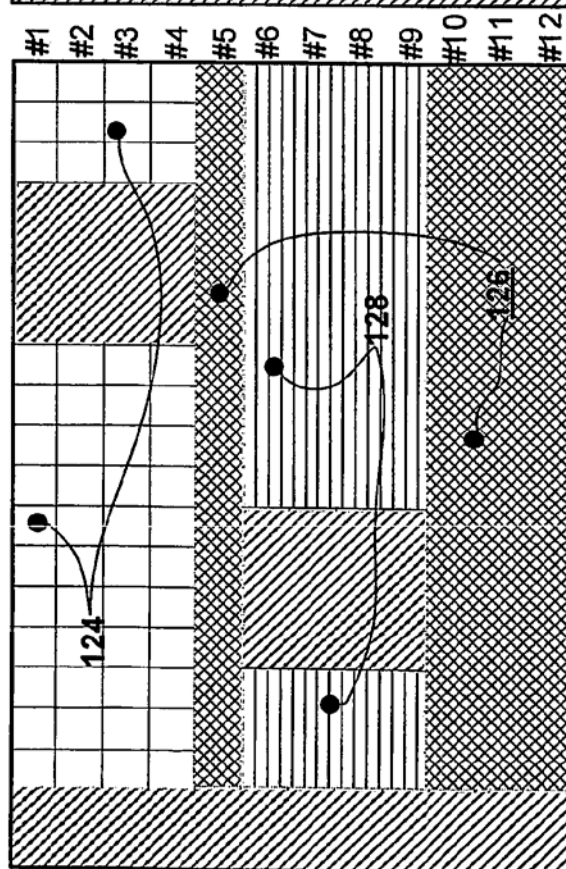
$$S_B = \{a_1, a_2, a_3\}$$

$$\square G_B(a_1) = \{\#1, \#2, \#3, \#4\}$$

$$\text{diagonal lines } G_B(a_2) = \{\#5, \#10, \#11, \#12\}$$

$$\text{horizontal lines } G_B(a_3) = \{\#6, \#7, \#8, \#9\}$$

Patrones de uso básicos



$$\begin{matrix} \text{diagonal lines} & \square & \text{diagonal lines} \\ G_D(d_4) = G_B(a_1) \cup G_B(a_2) \\ = \{\#1, \#2, \#3, \#4, \#5, \#10, \#11, \#12\} \end{matrix}$$

Un patrón de uso derivado

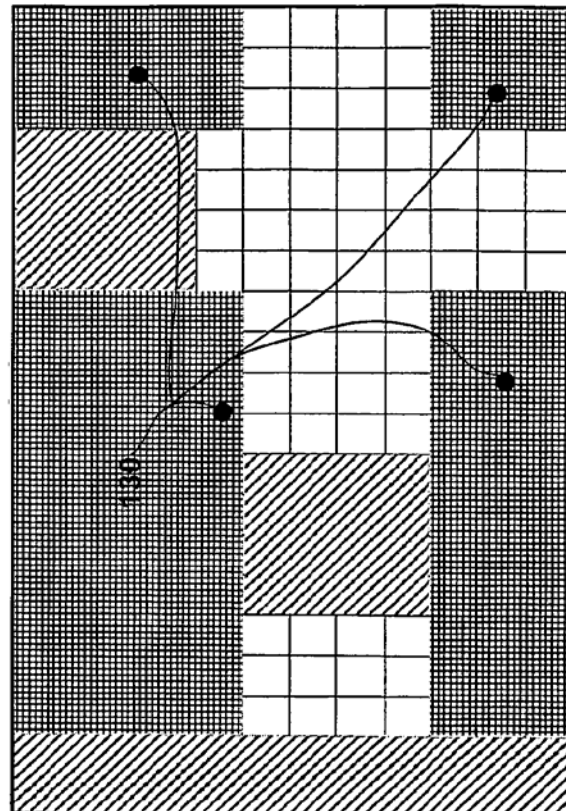


FIG. 9

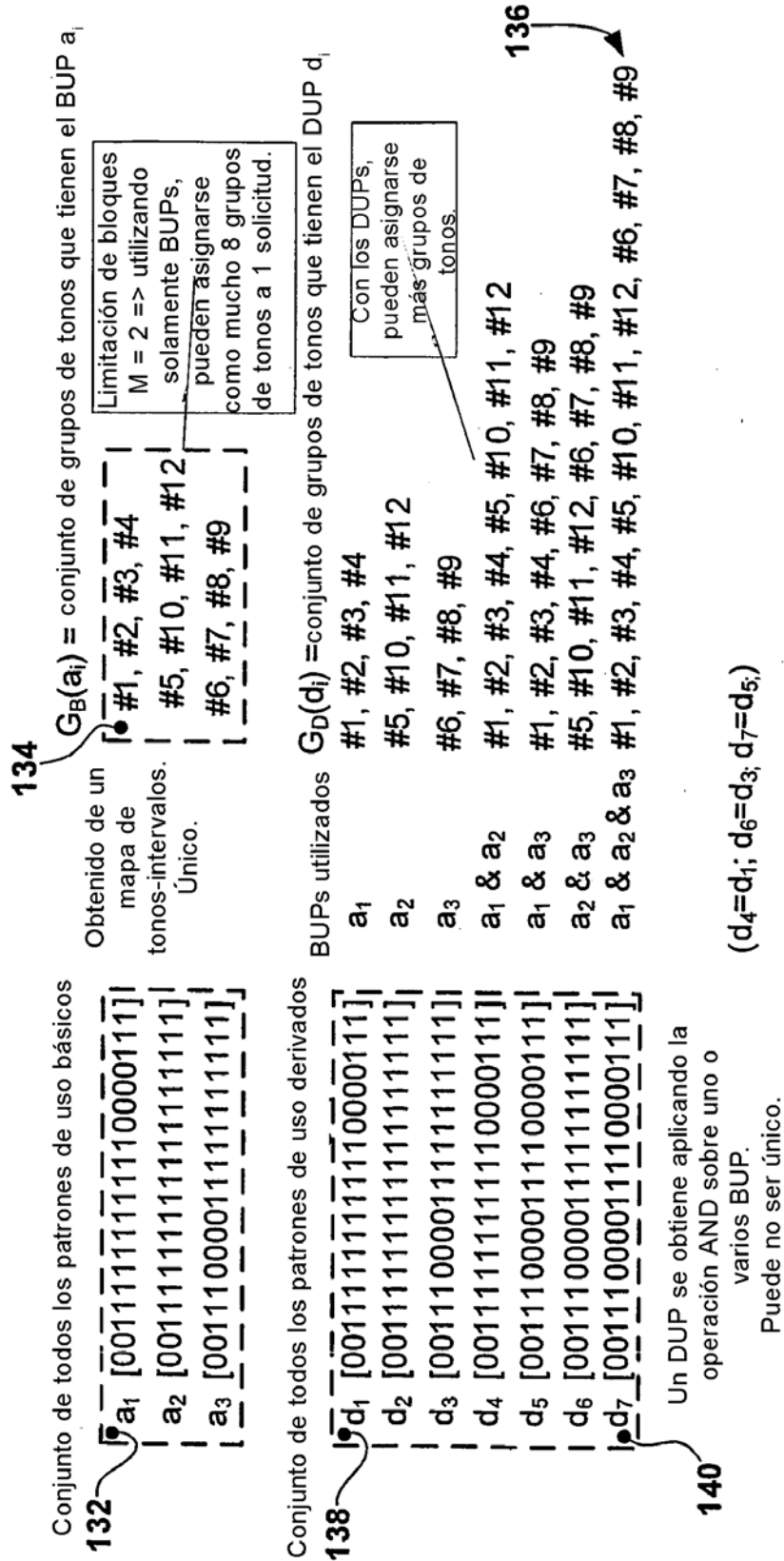


FIG. 10

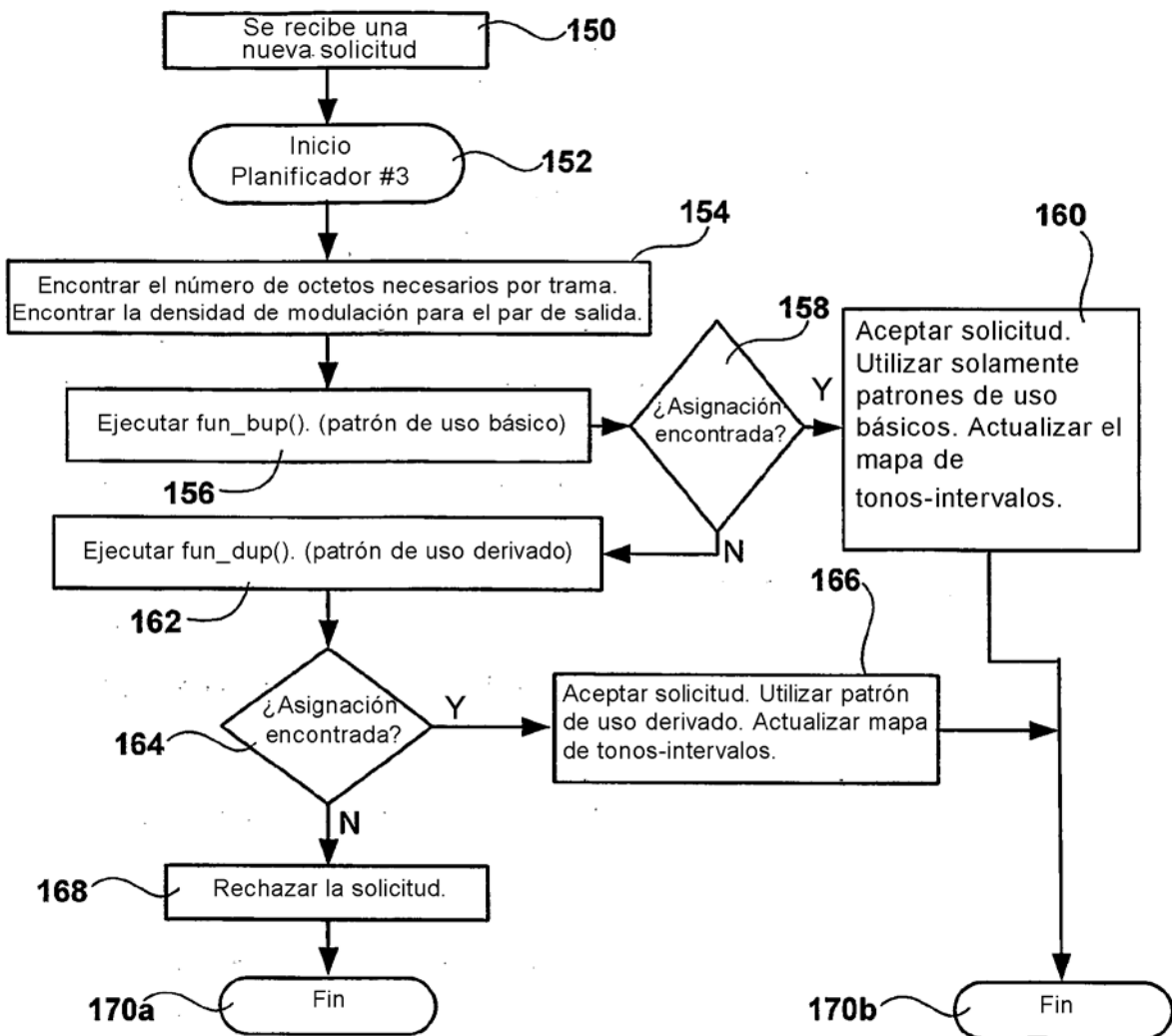


FIG. 11

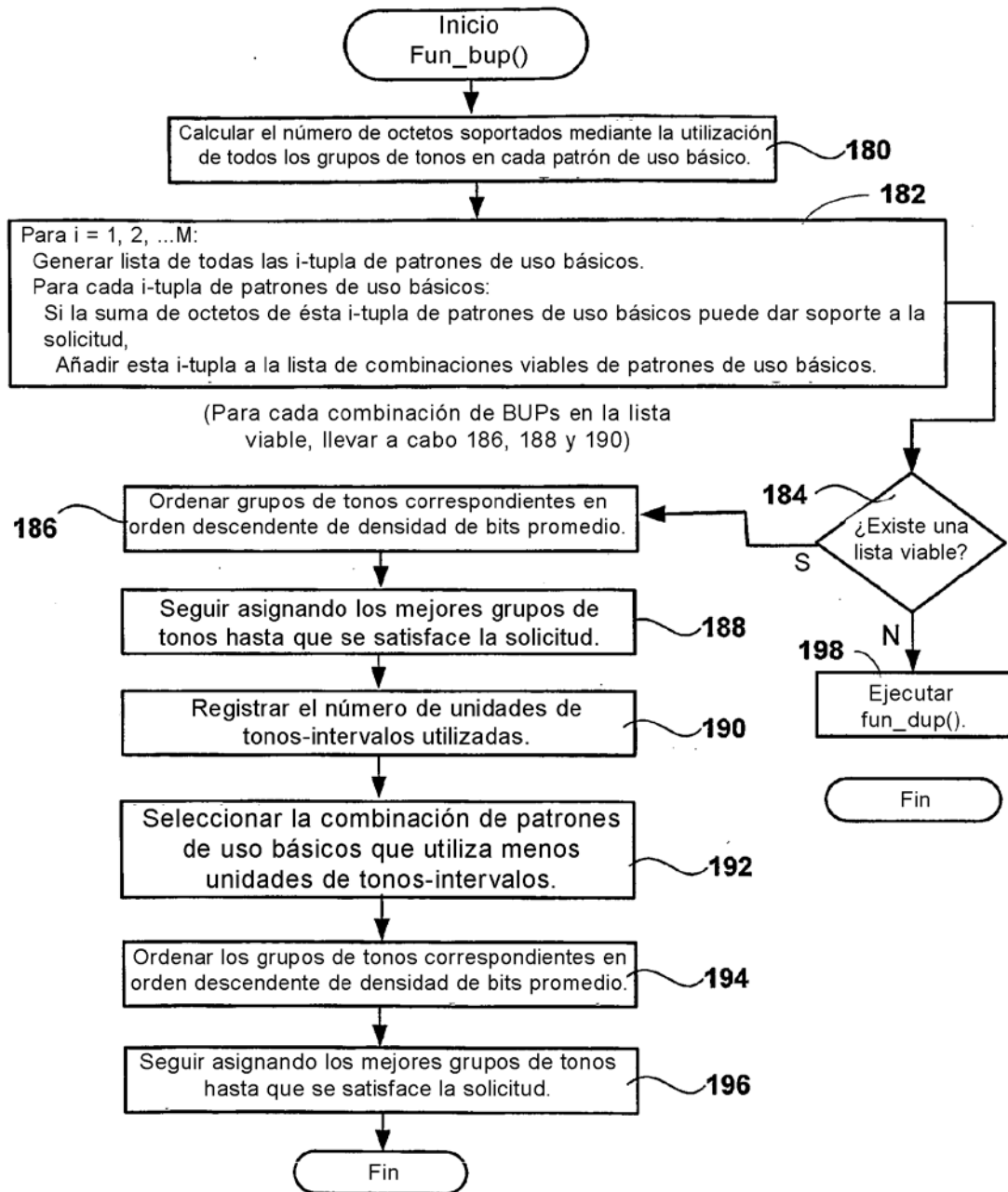


FIG. 12

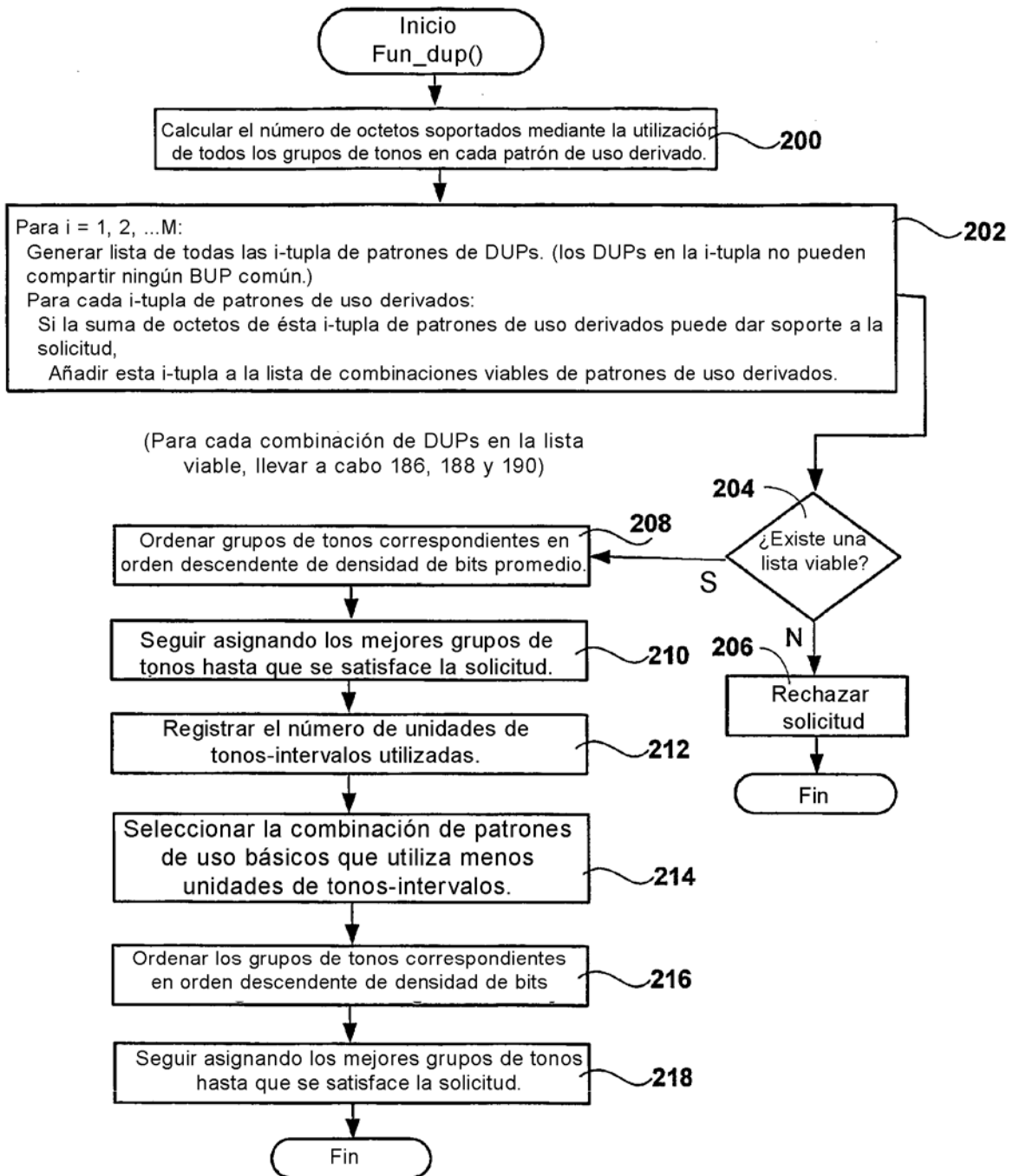


FIG. 13