

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 682 481**

51 Int. Cl.:

H04W 72/12 (2009.01)

H04W 72/08 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2012 PCT/EP2012/052806**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012 WO12110650**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2012 E 12707253 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.05.2018 EP 2676514**

54 Título: **Procedimiento y entidad de red para planificar recursos radio en redes de comunicación móvil**

30 Prioridad:

17.02.2011 ES 201130214

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

20.09.2018

73 Titular/es:

TELEFONICA, S.A. (100.0%)

Gran Vía, 28

28013 Madrid, ES

72 Inventor/es:

LORCA HERNANDO, JAVIER

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 682 481 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

Procedimiento y entidad de red para planificar recursos radio en redes de comunicación móvil

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un planificador y a un procedimiento para planificar recursos radio en redes celulares inalámbricas. Más particularmente, los recursos radio a planificar en el contexto de la presente invención son recursos tanto de frecuencia como de tiempo que pueden asignarse a usuarios de la red celular inalámbrica (por ejemplo, una red que soporta tecnologías de radio de la tercera o cuarta generación o posteriores, especificadas por el Proyecto de Asociación de 3ª Generación).

Antecedentes de la invención

10 La evolución a largo plazo (LTE) es la siguiente etapa en las redes celulares de tercera generación (3G), que representa básicamente una evolución de los estándares de comunicaciones móviles actuales. El estándar actual se conoce como *International Telecommunication Union (ITU) 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Release 8*, aunque se usa con frecuencia el término LTE para hacer referencia al estándar LTE. LTE es considerada por muchos como la tecnología de cuarta generación (4G), tanto porque es más rápida que 3G, como porque, al igual
15 que Internet, LTE usa una arquitectura de "todo IP" plana en la que toda la información, incluyendo la voz, se trata como datos. LTE proporciona rendimientos de hasta 50 Mbps en el enlace ascendente y de hasta 100 Mbps en el enlace descendente, usa un ancho de banda ajustable a escala de desde 1,25 hasta 20 MHz con el fin de adecuarse a las necesidades de los operadores de red que tienen asignaciones de ancho de banda diferentes y también se espera que mejore la eficacia espectral en redes, permitiendo a los operadores proporcionar más servicios de datos y voz, sobre un ancho de banda dado.

20 El acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) se especifica como el esquema de acceso múltiple en el enlace descendente en 3GPP LTE, que divide el ancho de banda disponible en múltiples bandas de frecuencia ortogonales estrechas. Para el enlace ascendente en redes LTE, se define el acceso múltiple por división de frecuencia de una única portadora (SC-FDMA), que puede considerarse similar al OFDMA, pero con una transformada discreta de Fourier adicional que ensancha los símbolos antes de la modulación y consigue una razón de potencia pico a promedio inferior. Tanto OFDMA como SC-FDMA permiten a la estación base (conocida como
25 Nodo B mejorado o eNodoB) en redes LTE asignar diferentes "trozos" de tiempo y frecuencia a los usuarios en una celda.

30 En redes 3G y 4G hay varios mecanismos mediante los cuales el equipo de usuario (UE) puede informar a la estación base (por ejemplo, al Nodo B o al eNodoB) acerca de las condiciones de radio y, de entre los parámetros usados con este fin, la magnitud que se define para medir la calidad instantánea de las condiciones de radio se denomina indicador de calidad de canal (CQI). El parámetro CQI puede referirse a todo el ancho de banda, o puede expresarse como un conjunto de valores, cada uno relativo a una subbanda de frecuencia diferente en LTE.

35 Una de las ventajas de usar OFDMA y SC-FDMA en la interfaz de radio LTE es la posibilidad de soportar planificación selectiva en frecuencia (FSS) basándose en los valores de CQI notificados por el UE al eNodoB (a través de procedimientos normalizados) y las estimaciones realizadas por el eNodoB (basándose en las señales de referencia de sondeo enviadas por el UE para ayudar a la red en la asignación de recursos de frecuencia apropiados para la transmisión de enlace ascendente). La finalidad de cualquier planificador selectivo en frecuencia es la asignación óptima de los recursos disponibles a los usuarios con el fin de maximizar la capacidad de celda de la red
40 inalámbrica, así como el rendimiento percibido por cada usuario.

45 Debido a las diferencias entre el enlace ascendente (UL) y el enlace descendente (DL), motivadas por las diferentes características de OFDMA (usado en DL) y SC-FDMA (usado en UL), el planificador debe operar de diferente manera cuando trata con tráfico DL y UL. En el enlace descendente, a los usuarios se les puede asignar cualquier combinación de subbandas de frecuencia, pero en el enlace ascendente hay una limitación de contigüidad mediante la cual a cada usuario se le debe asignar un bloque de subportadoras contiguas. El planificador debe enfrentarse al problema de obtener soluciones óptimas para ambas estrategias.

50 En OFDMA, el recurso de radio controlable tiene tres aspectos: frecuencia, tiempo y espacio. Un bloque de recursos físicos (PRB) es el recurso tiempo-frecuencia básico asignable para la transmisión de datos. El PRB se define por 3GPP como un conjunto de recursos tiempo-frecuencia cuyo tamaño es el tamaño de asignación de recursos mínimo. Cada denominado PRB está determinado por su extensión de frecuencia (180 kHz) y su extensión de tiempo (0,5 ms), y los datos se transmiten sobre uno o más PRB consistentes en un conjunto de subportadoras contiguas y con una extensión de tiempo predefinida. Cada subbanda comprende varios PRB.

55 El enfoque habitual para la planificación de recursos de tiempo y frecuencia es desacoplar ambas dimensiones, es decir hacer que las decisiones en cuanto a tiempo y frecuencia sean independientes para así simplificar el algoritmo de planificación ilustrado en la Figura 1. En una primera etapa (12) del algoritmo, que usa los valores de CQI notificados como entrada (11) y da como resultado pares de planificación (16) formados por un usuario y su subbanda asignada, se seleccionan varios usuarios (13) para una planificación en el dominio del tiempo en el

siguiente intervalo de tiempo (en LTE se denomina TTI: *Time Transmission Interval*- Intervalo de Tiempo de Transmisión) o el intervalo de asignación mínimo. En una segunda etapa (14), una planificación en el dominio de la frecuencia asigna PRB o subbandas (15) a los usuarios seleccionados (13). Este procedimiento, descrito en el documento US 2010165932 A1, presenta el problema de que no optimiza las asignaciones de tiempo y frecuencia simultáneamente, de modo que decisiones de planificación erróneas en el dominio del tiempo pueden afectar a la planificación en el dominio de la frecuencia. Además, la planificación en el dominio de la frecuencia no es óptima si se limita a sólo la respuesta en frecuencia de las subbandas de los usuarios previamente seleccionados.

El estándar LTE especifica que se supone que el planificador (y la entidad de red habitualmente encargada de la planificación de recursos en sistemas 3GPP sea la estación base, es decir, el eNodeB en LTE) conoce todas las notificaciones de CQI enviadas por los UE en notificaciones anteriores, y que estas notificaciones se refieren al número de subbandas. En el ámbito de una subtrama, el planificador que se ejecuta en el eNodeB obtiene en primer lugar un conjunto de métricas de planificación para todas las combinaciones disponibles de pares (usuario, subbanda), y entonces intenta encontrar el conjunto óptimo de pares para maximizar el rendimiento de celda global. Una métrica de planificación es un valor usado para seleccionar un UE y una subbanda particular para planificación DL o UL. Las métricas se actualizan entonces según los recursos planificados para la siguiente subtrama. Tales métricas pueden basarse en el criterio de equidad proporcional (PF), dividiendo así el rendimiento alcanzable de cada par (usuario, subbanda) por el rendimiento promedio a largo plazo de los usuarios. Este criterio tiene en cuenta el historial pasado de cada usuario e intenta no beneficiar a un usuario sobre otro. Otro criterio posible para las métricas puede ser dividir los rendimientos por el uso de recursos promedio a largo plazo, medido como el número de subbandas planificadas previamente para el usuario.

Otra solución para la planificación de recursos de radio se da a conocer en el documento US 2009110087 A1, que desvela el uso de niveles de interferencia umbral para identificar los grupos de subportadora con interferencia por debajo del nivel de interferencia umbral actual. Esta solución requiere la estimación de niveles umbral y, por tanto, puede haber situaciones y condiciones de propagación de radio para las que este procedimiento de planificación no pueda efectuarse.

El documento US 20090296574 A1 describe otro posible mecanismo de planificación también denominado PFTF (equidad proporcional en tiempo y frecuencia). PFTF se considera una extensión del criterio de equidad proporcional en el dominio de la frecuencia, en el que un planificador por fragmentos (en inglés, *chunk-wise scheduler*) toma decisiones independientes para cada unidad de planificación. Esta solución no puede asignar más de una unidad de planificación para el mismo usuario. Además, no es óptima, ya que los fragmentos (*chunks*) se tratan de manera independiente y no se persigue una solución conjunta.

Por otro lado, los canales de radio móvil afectan a las señales transmitidas introduciendo diversas degradaciones tales como la dispersión en tiempo asociada con la respuesta al impulso del canal. Esta dispersión en tiempo se deriva del hecho de que, en el receptor, se reciben varias réplicas de la señal original (denominadas multitrayectorias) con diferentes amplitudes, retardos y fases. Estas réplicas interfieren, de manera constructiva o destructiva, dependiendo de sus fases relativas, provocando una degradación selectiva en frecuencia en la señal recibida. Por tanto, el espectro recibido presenta picos y muescas dependiendo de la dispersión en tiempo del canal. Los picos en el espectro pueden aprovecharse por el planificador, asignando los usuarios a las frecuencias en las que se encuentran en mejores condiciones, con la limitación de no asignar los mismos recursos (tiempo y frecuencia) a más de un usuario si está operando en un modo de antena una única entrada, una única salida (SISO) (es decir, una antena para transmisión y recepción).

Sin embargo, es posible encontrar referencias a algoritmos de planificación tiempo-frecuencia conjuntos, tal como el propuesto en el documento US 20090073926 A1. Este algoritmo describe un procedimiento de "permutación" iterativa que intenta encontrar la solución óptima para la asignación de PRB asignando provisionalmente cada PRB al usuario que tiene la correspondiente métrica más alta y, después, mirando otros PRB y usuarios previamente asignados de modo que, si se obtuviera un mayor rendimiento intercambiando dos PRB y usuarios cualesquiera, se realizaría la permutación. El procedimiento continúa de manera iterativa hasta que se hayan asignado todos los PRB. Este enfoque tiene el inconveniente de que a cada usuario sólo se le puede asignar un PRB (y no cualquier número, como es el caso habitualmente para tráfico real). Especialmente, cuando se asignan subbandas de frecuencia contiguas a un único usuario, como es el caso para el enlace ascendente LTE, esta solución no es adecuada. En el enlace descendente LTE, pueden planificarse para los usuarios varias subbandas de frecuencia no localizadas, de modo que tampoco sería apropiado. Además, su complejidad aumenta considerablemente con el número de PRB, porque para cada nuevo PRB debe pasarse la prueba de "permutación" respecto a todas las asignaciones previas, y si se realiza una permutación entre dos usuarios cualesquiera, deben realizarse posteriores "comprobaciones de permutación" respecto a todos los usuarios previamente asignados.

Otro ejemplo de un planificador y procedimiento para asignar dimensiones de frecuencia y de tiempo en redes de acceso inalámbrico de banda ancha se describe en el documento WO 2007/105977 A1. Las dimensiones de frecuencia y tiempo de interferencias de enlace descendente se asignan por este planificador a cada una de una pluralidad de estaciones subscriptoras basándose en una o más características de canal individual y uno o más requisitos de datos individuales asociados a las estaciones subscriptoras. Este procedimiento comprende, por ejemplo, generar una matriz de capacidades de subcanal que incluye una capacidad de subcanal para cada

subcanal con cada una de las estaciones suscriptoras basándose en las características de cada estación suscriptora; y generar una matriz de métricas de planificación que comprende métricas de planificación, teniendo la matriz de métricas de planificación una columna para cada estación suscriptora y una fila para cada subcanal y, en el que la asignación comprende: seleccionar tanto una fila como una columna de la matriz de métricas de planificación que tienen una diferencia máxima entre los dos elementos máximos de tanto una fila como una columna; seleccionar un elemento de máximo de la fila o columna seleccionada, correspondiendo el elemento máximo a una de las estaciones suscriptoras y a uno de los subcanales; y asignar capacidad del subcanal correspondiente a la estación suscriptora correspondiente. Otras soluciones existentes realizan algunas simplificaciones al asignar PRB de manera iterativa según los valores de CQI, ordenando los usuarios simplemente desde los valores mejor hasta el peor de parámetros de CQI. Estos enfoques no intentan encontrar la solución óptima, (de hecho, una solución exacta es muy difícil de obtener, y en el caso del enlace ascendente es un problema NP-difícil tal como indican Lee *et al.* en UCLA CSD TR-090001 "Proportional Fair Frequency-Domain Packet Scheduling for 3GPP LTE uplink", IEEE INFOCOM 2009), sino que pueden servir como aproximaciones útiles con mucha menor complejidad que un algoritmo de planificación en tiempo y frecuencia conjunto.

Por tanto, el objetivo es encontrar estrategias de planificación que, sin llegar a ser óptimas, consiguen un equilibrio entre complejidad y mejora de la capacidad de celda.

Sumario de la invención

La presente invención sirve para solucionar el problema anteriormente mencionado proporcionando un procedimiento FSS que optimiza la planificación de los recursos de tiempo y frecuencia simultáneamente y las asignaciones de ambos recursos a los usuarios en una celda, mejora el rendimiento de los usuarios y maximiza la capacidad de celda con una baja complejidad. El proceso de optimización propuesto en el presente documento es más preciso, porque los recursos de tiempo y frecuencia se optimizan conjuntamente, en lugar de tomar decisiones de planificación independientes (y concatenadas) para el tiempo y la frecuencia, y ninguna de las dos dimensiones se ve limitada por la otra.

En el contexto de la invención, capacidad se entiende como la cantidad de recursos de frecuencia y tiempo que se requiere para entregar una cierta cantidad de información. El término "usuario" se aplica como sinónimo de equipo de usuario (UE).

Puesto que todas las tecnologías celulares inalámbricas que aprovechan recursos tanto de tiempo como de frecuencia comparten políticas de planificación similares, el problema y las realizaciones de solución descritas en el presente documento, a pesar de que una realización preferida de la invención se refiere a planificación tiempo-frecuencia en redes LTE, son aplicables a cualquier tecnología celular inalámbrica.

La presente invención abarca un procedimiento y un aparato (entidad de red) para mejorar el rendimiento global en redes celulares inalámbricas (por ejemplo, LTE) mediante planificación de recursos tanto de tiempo como de frecuencia del enlace radio entre los usuarios y la estación base (por ejemplo, el eNodoB), en cualquiera del enlace descendente y el enlace ascendente o ambos, basándose en parámetros de calidad (CQI) notificados por los usuarios además de las métricas de planificación calculadas por dicha estación base.

La presente invención no excluye el uso de cualquier definición de métrica de planificación frente a otra (por ejemplo, la métrica de planificación puede basarse en la distancia relativa medida entre la estación base y sus vecinos o puede usar los rendimientos de los usuarios promedio a largo plazo aplicando el criterio PF). Por tanto, la invención puede utilizarse por cualquier tecnología inalámbrica que incluya la posibilidad de asignar recursos de tiempo y frecuencia a varios usuarios en una celda. El procedimiento y aparato descritos en el presente documento pueden servir para encontrar el conjunto óptimo de pares (usuario, subbanda) de entre todos los posibles, realizando algunas simplificaciones para evitar una búsqueda exhaustiva que sea extremadamente lenta. El conjunto óptimo de pares (usuario, subbanda) es el que maximiza la suma de las métricas de planificación (por ejemplo, maximizando los rendimientos de los usuarios en las subbandas).

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1. De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, se proporciona un dispositivo planificador y una entidad de red respectivamente de acuerdo con las reivindicaciones 18 y 19. De acuerdo con un último aspecto de la invención, lidia con un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 20. Las ventajas principales de la invención pueden enumerarse aquí:

- Aumento del rendimiento de celda asignando de manera apropiada recursos de tiempo y frecuencia a los usuarios en una celda (la mayoría de las soluciones existentes desacoplan los dominios de tiempo y frecuencia, y por tanto no se consigue una optimización global conjunta).
- El rendimiento de celda superior permite a los operadores aumentar el volumen de tráfico al que se da servicio, aumentando así sus ingresos sin costes de infraestructura adicionales.
- Mejora del rendimiento percibido por los usuarios. Puesto que los usuarios experimentan mejores condiciones de radio cuando son objeto de una planificación apropiada, su calidad de experiencia (QoE) también se mejora.
- Asignación de usuarios más eficaz aprovechando los canales de radio con una respuesta en frecuencia no plana,

tal como los que se encuentran normalmente en escenarios urbanos (que en caso contrario sería muy dañino), gracias al acoplamiento de tiempo y frecuencia en la asignación de usuarios a (sub)bandas de frecuencia.

- Adecuada para cualquier sistema celular inalámbrico con capacidad de planificación de recursos de tiempo y frecuencia, tal como (pero sin limitarse a) LTE.
- 5 - Puede planificarse cualquier número de recursos (por ejemplo, subbandas de frecuencia localizadas o no localizadas) usando la FSS propuesta, a diferencia de otras soluciones existentes [por ejemplo, documentos US20090073926 o US20090296574] que proponen mecanismos en los que para cada usuario puede planificarse sólo un único PRB (no más de dos PRB).
- 10 - La complejidad del algoritmo FSS propuesto es lineal en cuanto al número de usuarios y subbandas (a diferencia de, por ejemplo, la solución descrita en el documento US2009/0073926, en la que la complejidad crece muy rápido con el número de subbandas).
- El algoritmo FSS propuesto no requiere ningún umbral (a diferencia, por ejemplo, de la solución descrita en el documento US2009/110087) y, por tanto, la FSS propuesta se adecua a cualquier situación y condición de propagación de radio.
- 15 - Hay dos versiones de la planificación propuesta, una para el caso de subbandas de frecuencia localizadas y otra para subbandas no localizadas. Las dos versiones pueden tratar las diferencias que pueden existir en la asignación de recursos en el enlace ascendente y el enlace descendente, como es el caso de LTE, de modo que la invención se adecua a las necesidades de las redes celulares de próxima generación.

Descripción de los dibujos

20 Para completar la descripción que está realizándose y con el objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, según un ejemplo preferido de realización práctica de la misma, dicha descripción va acompañada, como parte integrante de la misma, de un juego de dibujos en los que, a modo de ilustración y no de restricción, se ha representado lo siguiente:

25 La Figura 1. - Muestra un diagrama de flujo de un procedimiento de planificación de recursos de radio según se conoce en la técnica anterior, que desacopla los dominios de tiempo y frecuencia.

La Figura 2. - Muestra un diagrama de flujo de un procedimiento general que se ejecuta en un planificador, según una posible realización de la invención.

La Figura 3. - Muestra un diagrama de flujo de determinación de las asignaciones entre recursos de radio y usuarios que deben planificarse, según una realización preferida de la invención.

30 La Figura 4. - Muestra un diagrama de flujo de una planificación selectiva en frecuencia, según una posible realización de la invención en la que las subbandas de frecuencia planificadas son no adyacentes.

La Figura 5. - Muestra un diagrama de flujo de una planificación selectiva en frecuencia, según otra posible realización de la invención en la que las subbandas de frecuencia planificadas pueden ser adyacentes.

35 La Figura 6. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del rendimiento de celda global en el enlace descendente de una red LTE, considerando usuarios urbanos típicos extendidos, cuando se aplica una planificación sólo en tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas por criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los dos mismos criterios.

40 La Figura 7. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del rendimiento de celda global en el enlace descendente de una red LTE, considerando usuarios en vehículos extendidos A, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

45 La Figura 8. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del rendimiento de celda global en el enlace descendente de una red LTE, considerando usuarios a pie extendidos A, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

50 La Figura 9. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del incremento del rendimiento por usuario promedio en el enlace descendente de una red LTE, considerando usuarios urbanos típicos extendidos, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en

frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

5 La Figura 10. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del incremento de rendimiento por usuario promedio en el enlace descendente de una red LTE, considerando usuarios en vehículos extendidos A, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

10 La Figura 11. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del incremento de rendimiento por usuario promedio en el enlace descendente de una red LTE, considerando usuarios a pie extendidos A, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

15 La Figura 12. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del rendimiento de celda global en el enlace ascendente de una red LTE, considerando usuarios urbanos típicos extendidos, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

20 La Figura 13. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del rendimiento de celda global en el enlace ascendente de una red LTE, considerando usuarios en vehículos extendidos A, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

25 La Figura 14. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del rendimiento de celda global en el enlace ascendente de una red LTE, considerando usuarios a pie extendidos A, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

30 La Figura 15. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del incremento de rendimiento por usuario promedio en el enlace ascendente de una red LTE, considerando usuarios urbanos típicos extendidos, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

35 La Figura 16. - Muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del incremento de rendimiento por usuario promedio en el enlace ascendente de una red LTE, considerando usuarios en vehículos extendidos A, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

40 La Figura 17. - muestra un histograma de barras que representan resultados de simulación del incremento de rendimiento por usuario promedio en el enlace ascendente de una red LTE, considerando usuarios a pie extendidos A, cuando se aplica una planificación sólo de tiempo conocida en la técnica anterior usando métricas de planificación calculadas mediante los criterios de equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso respectivamente, y cuando se aplica la planificación selectiva en frecuencia según una posible realización de la invención usando las métricas de planificación calculadas con los mismos dos criterios.

Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de planificación (con dos posibles versiones) y a un aparato (en una entidad de red) para un procedimiento de FSS (planificación selectiva en frecuencia) eficaz de los usuarios en

una celda de una red celular. Por ejemplo, en la red de acceso de radio según la norma LTE [3GPP TS 36.213, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer Procedures (Release 8)*], el Nodo B evolucionado (eNodoB) se especifica como que implementa un planificador de los recursos de radio entre los diferentes usuarios, tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente, en el ámbito de subtrama, es decir, cada 1 ms. Hay recursos tanto de tiempo como de frecuencia con los que jugar, y una posible implementación de la presente invención descrita en el presente documento es un procedimiento para optimizar simultáneamente las asignaciones tanto de tiempo como de frecuencia a los usuarios, de modo que sea posible maximizar la capacidad de celda en un sistema LTE, al tiempo que también se mejora el rendimiento de los usuarios.

La Figura 2 muestra las principales etapas de un procedimiento de FSS general implementado en un planificador, por ejemplo, ejecutado en un eNodoB.

El procedimiento ilustrado en la Figura 2 empieza con un conjunto de valores de CQI (21) notificados por los equipos de usuario (UE) en la celda, refiriéndose cada valor de CQI a una de las subbandas de frecuencia predefinidas en LTE [3GPP TS 36.213]. El tamaño de la subbanda viene determinado por el ancho de banda del sistema y el tipo de notificación de subbanda: realimentación de subbandas configurada en capa superior y realimentación de subbanda seleccionada por UE. Además, en este último caso hay diferencias en el tamaño de subbanda según se seleccione el modo de notificación periódico o no periódico. En la presente invención no es importante el tamaño de subbanda real.

El conjunto de valores de CQI (21) se transforman en métricas de planificación (22) calculadas por el eNodoB siguiendo cualquiera de los criterios habituales para su obtención, tal como equidad proporcional. Como ejemplo, las métricas de planificación T_{jk} pueden obtenerse como la tasa de transmisión de bits máxima individual, que está relacionada con el CQI, que un usuario soporta en la subbanda, dividido por el rendimiento pasado promedio del usuario:

$$T_{jk} = \frac{\text{rendimiento máx. del usuario } j \text{ en la subbanda } k}{\text{rendimiento pasado promedio del usuario } j} = \frac{R_{ij}}{\langle R_j \rangle}$$

El rendimiento alcanzable R_{ij} del usuario i en la subbanda j se calcula de diferentes maneras, por ejemplo, a través de la fórmula de capacidad Shannon:

$$R_{ij} = \log(1 + SNR_{ij})$$

donde SNR_{ij} es equivalente al valor de CQI del usuario j en la subbanda i .

Otra manera de calcular el rendimiento alcanzable R_{ij} es obtener en primer lugar el tamaño de bloque de transporte [usando las tablas 7.1.7.2.1-1 y 7.1.7.2.2-1 de 3GPP TS 36.213], y después dividir su valor entre la duración de subtrama, es decir, 1 ms. El rendimiento pasado promedio $\langle R_j \rangle$ puede calcularse mediante un filtro autorregresivo, aunque un procedimiento de cálculo más exacto requiere acumular los valores de rendimiento real a lo largo de varias subtramas pasadas, conocidas para el eNodoB, para calcular su promedio.

Otra definición de métricas de planificación T_{jk} puede ser:

$$T_{jk} = \frac{\text{rendimiento del usuario } j \text{ en la subbanda } k}{\text{recursos pasados promedio del usuario } j}$$

Los recursos pasados promedio del usuario j pueden calcularse como el número promedio de subbandas planificadas para ese usuario, acumuladas en una ventana de un número especificado de subtramas.

Sea cual sea la definición de la métrica, es el conjunto de valores T_{jk} el que constituye la base para la optimización de los usuarios y las subbandas que van a planificarse.

Por tanto, basándose en los valores de CQI (21) notificados por cada usuario y en los valores de rendimiento pasado promedio, o recursos pasados, dependiendo de la definición de métrica real, se calculan las métricas de planificación (22). Basándose en estas métricas de planificación calculadas T_{jk} , el planificador en el eNodoB elige el conjunto óptimo de asignación formado por pares de usuarios y subbandas (23). El procedimiento propuesto trata la selección óptima de usuarios y subbandas de manera que los recursos tanto de tiempo como de frecuencia se optimizan conjuntamente para maximizar la capacidad de celda y el rendimiento percibido de los usuarios, al tiempo que mantiene la equidad entre los usuarios. Tras ejecutar el procedimiento propuesto, descrito en detalle más adelante, se planifican varios usuarios para la transmisión, es decir se les concede al menos una subbanda en frecuencia, y también se especifica la ubicación precisa de la subbanda o subbandas de frecuencia. Por tanto, se optimizan los recursos tanto de tiempo como de frecuencia como resultado de la ejecución, en oposición al enfoque de planificación habitual ilustrado en la Figura 1 de desacoplamiento de las dimensiones de tiempo y frecuencia. Tras la planificación de los correspondientes usuarios y subbandas, se actualizan los valores promedio de

rendimiento de usuario (24), de modo que el planificador puede repetir (25) el procedimiento a lo largo del tiempo.

Para fines de explicación, supóngase que ha de planificarse un conjunto de N usuarios. Se indica mediante n el número total de subbandas que van a planificarse, y K el número máximo de subbandas que pueden planificarse para un usuario. Puede planificarse para todos los usuarios cualquier número de subbandas, desde cero hasta K . El conjunto de métricas puede ilustrarse gráficamente como una tabla (Tabla 1) con N filas y n columnas:

Tabla 1

	Subbanda 0	Subbanda 1	...	Subbanda n-1
Usuario 0	T_{00}	T_{01}	...	$T_{0,n-1}$
Usuario 1	T_{10}	T_{11}	...	$T_{1,n-1}$
		
Usuario N-1	$T_{n-1,0}$	$T_{n-1,1}$...	$T_{n-1,n-1}$

El principal objetivo es encontrar un conjunto de usuarios y subbandas tal que la suma global de métricas de planificación T_{jk} se maximice. Si el usuario asignado a la subbanda k se indica mediante $usuario(k)$, por tanto:

$$T_{usuario(0),0} + T_{usuario(1),1} + \dots + T_{usuario(n-1),n-1} = \text{máx}$$

La Figura 3 muestra una implementación preferida, por ejemplo, en el planificador de un eNodeB, del conjunto de selección óptima de pares de asignación de usuarios y subbandas (23). Un generador (31) de métricas obtiene en primer lugar el conjunto de métricas de planificación T_{jk} que constituye la base para la optimización, por ejemplo, considerando la equidad proporcional o cualquier otro criterio adecuado. Entonces, un analizador (32) de métricas examina el usuario cuya métrica es un máximo principal dada una subbanda cualquiera, y evalúa si el usuario seleccionado se adecuaría mejor a una subbanda diferente. Para ello, el analizador (32) de métricas encuentra los máximos secundarios de las subbandas implicadas y toma una decisión basándose en los dos valores, realizando una comparación entre el máximo principal y cada máximo secundario encontrado antes, tal como se explica más adelante. Finalmente, el planificador realiza las asignaciones (33) de usuarios a subbandas según los resultados del análisis (32) previo. Todos estos bloques (31, 32, 33) de la Figura 3, que llevan a cabo conjuntamente la etapa de selección óptima de los pares (23) de asignación mostrada en la Figura 2, pueden implementarse en hardware, software, o una combinación de ambos; las implementaciones reales dependen de limitaciones de los equipos reales usados para la planificación en la estación base.

La Figura 4 muestra el caso en el que pueden planificarse para los usuarios varias, hasta K , subbandas sin limitación en cuanto a sus ubicaciones en el espectro; es decir estas subbandas pueden ser no adyacentes. Las subbandas que van a planificarse se determinan y asignan a los usuarios mediante el algoritmo FSS descrito como sigue:

Por $usuario(0), usuario(1), \dots, usuario(n-1)$ se indica el conjunto de usuarios que se asignarán a las subbandas 0, 1, ..., n-1 una vez completado el algoritmo FSS; sus valores pueden inicializarse a -1. Mediante S se indica el conjunto de usuarios para los que ya se han planificado K subbandas mediante el algoritmo FSS propuesto. Matemáticamente, S se expresa como:

$$S = \{j \in [0, N-1] \text{ de manera que } j = usuario(k_0), \dots, j = usuario(k_{K-1}) \text{ para } k_0, k_1, \dots, k_{K-1} \in [0, n-1]\}$$

Si para algún usuario se han planificado varias subbandas menos que K , todavía no pertenece a S y por tanto puede volverse a planificar mediante el algoritmo FSS.

En la Figura 4, hay una primera etapa (41) de inicialización para inicializar los valores de las métricas de planificación T_{jk} a los que se obtuvieron como resultado a partir del generador de métricas (31), según la definición o configuración real de métricas de planificación de dicho generador de métricas (31) del planificador, mostrado en la Figura 3. La etapa de inicialización (41) también establece el valor inicial del conjunto de usuarios S a $S = \{\emptyset\}$. Una subbanda aleatoria, concretamente k , se selecciona (42) del conjunto de subbandas no asignadas. Entonces, el algoritmo FSS propuesto procede con las siguientes etapas:

- Seleccionar el usuario correspondiente a una métrica de planificación calculada que es un máximo principal (43) en una determinada subbanda de frecuencia k . Es decir, elegir el usuario j de manera que $T_{jk} = \text{máx}_{j \in S} \{T_{j'k}\}$

es decir, el usuario j cuya métrica T_{jk} es un máximo en la columna k , de los usuarios todavía no planificados (no pertenecientes a S). En la matriz esto es equivalente a hallar el máximo en la columna k . Si hay varios máximos, el usuario seleccionado j se elige aleatoriamente entre los candidatos.

- Analizar (44) si existe otra subbanda $l \neq k$ en la que el usuario j tiene un valor máximo superior de la métrica de planificación T_{jk} , es decir, si se cumplen las siguientes tres condiciones:

- o Usuario(l) = -1
- o $T_{jl} > T_{jk}$
- o $T_{jl} = \max_{j' \in S} \{T_{jl'}\}$,

En este caso, el usuario j puede ser un mejor candidato para la subbanda l que para la subbanda k .

Para dilucidar esto, el algoritmo busca máximos secundarios (45) de las columnas k y l ejecutando las siguientes etapas:

- o Elegir otros dos usuarios j_1, j_2 de tal manera que sus correspondientes métricas en la subbanda k y la subbanda l respectivamente sean

$$T_{j_1 k} = \max_{j' \in S, j' \neq j} \{T_{j_1 k}\} \text{ y } T_{j_2 l} = \max_{j' \in S, j' \neq j} \{T_{j_2 l}\}$$

- o Se comparan las métricas consideradas previamente (46) comprobando si $T_{j_1 k} + T_{j_1 l} > T_{j_2 k} + T_{j_2 l}$. Si es así, el algoritmo FSS asigna (47) el usuario j_1 a la subbanda k y el usuario j_2 a la subbanda l : $usuario(k) \leftarrow j_1$, $usuario(l) \leftarrow j_2$. En caso contrario, el algoritmo asigna (48) el usuario j a la subbanda k y el usuario j_2 a la subbanda l :

$$usuario(k) \leftarrow j, usuario(l) \leftarrow j_2.$$

- o En caso contrario, es decir, no se encuentra ninguna otra subbanda $l \neq k$ en la que el usuario j tiene una métrica superior al valor en la subbanda k , el algoritmo FSS asigna (49) el usuario j a la subbanda k : $usuario(k) \leftarrow j$.
- o El algoritmo comprueba si hay subbandas sin asignar (491). En caso de que para algún usuario ya se haya planificado el número máximo K de subbandas mediante este algoritmo, la fila correspondiente en la matriz se tacha; en caso contrario puede seguir teniéndose en cuenta para posteriores asignaciones de subbanda. Cada subbanda asignada debe tacharse también en la matriz, es decir, su columna asociada.

- o Los usuarios con asignaciones de K subbandas se añaden al conjunto S , por ejemplo para el usuario j : $S = S \cup \{j\}$.

- o El procedimiento se repite (492) para todas las columnas que todavía no se han tachado, es decir, para todas las subbandas k de manera que $usuario(k) = -1$

Eventualmente, tras ejecutar las etapas del planificador mostrado en la Figura 4, pueden quedar usuarios para los que se hayan asignado menos de K subbandas, incluso usuarios sin subbandas en absoluto, si $n < KN$. Al elegir las columnas de manera aleatoria, se evita favorecer a algún usuario o subbanda respecto al resto.

Es evidente que en el algoritmo FSS propuesto a cada usuario se le puede asignar cualquier número de subbandas, hasta el número máximo K predefinido, y que este valor puede ser superior a uno. Las mismas conclusiones pueden extraerse si el algoritmo opera sobre PRB en lugar de sobre subbandas de frecuencia. Esto contrasta con la solución propuesta en el documento US2009/0073926, en el que a cada usuario se le puede asignar un máximo de un PRB.

La complejidad del algoritmo propuesto crece linealmente con el número de subbandas y el número de usuarios, es decir es $O(N \cdot n)$.

La Figura 5 muestra el caso en el que las subbandas que van a planificarse para un usuario deben ser adyacentes (como se especifica en el enlace ascendente de LTE). Suponiendo que a cualquier usuario se le puede asignar un número máximo K de subbandas adyacentes y empezando con el mismo conjunto de métricas de planificación T_{jk} calculadas por el planificador, las subbandas que van a planificarse se determinan y asignan a los usuarios mediante el algoritmo FSS descrito a continuación:

Mediante S se indica el conjunto de usuarios para los que ya se han planificado K subbandas adyacentes mediante el algoritmo:

$$S = \{j \in [0, N-1] \text{ de tal manera que } j = usuario(k_0), \dots, j = usuario(k_0 + K_0 - 1), K_0 \leq K, k_0 \in [0, n-1]\}$$

La primera etapa del algoritmo FSS es la inicialización (51) del conjunto S como en el caso anterior (enlace descendente en LTE; subbandas no adyacentes) al valor nulo, es decir, $S = \{\emptyset\}$, e inicializar los valores de las métricas a las métricas de planificación calculadas T_{jk} según la definición de métrica real por el planificador. Entonces, se selecciona una subbanda aleatoria, concretamente k , (52) del conjunto de subbandas no asignadas y el algoritmo procede como sigue:

- o Elegir el usuario j cuya suma de métricas de planificación adyacentes es un máximo (53) contando desde la

columna k, entre los usuarios todavía no planificados, es decir, seleccionar el usuario j de tal manera que

$$j = \arg \max_{j' \notin S} \{T_{j'k} + T_{j',k+1} + \dots + T_{j',k+K_k-1} \text{ para algunas } K_k \leq K\}$$

5 La cantidad K_k es tal que la suma de métricas se maximiza, llevando cuidado de no "invadir" otras subbandas ya asignadas. Para simplificar la notación puede indicarse:

$$T_{jk} + T_{j,k+1} + \dots + T_{j,k+K_k-1} = \text{suma}^*(j, k, K_k)$$

Por tanto,

$$j = \arg \max_{j' \notin S} [\text{suma}^*(j', k, K_k), \text{ para algunas } K_k < K].$$

10 Si hubiera varios máximos, i se elige aleatoriamente entre los candidatos.

- Analizar (54) si existe otra subbanda $l \in [k, k + K_k - 1]$ en la que este usuario j tiene un valor máximo superior de la métrica de planificación T_{jk} , es decir, si se cumplen las siguientes tres condiciones:

$$\begin{aligned} & \text{o } \text{usuario}(l) = -1, \text{ usuario}(l+1) = -1, \text{ usuario}(l + K - 1) = -1 \text{ para algunas } Kl \leq K \\ & \text{o } \text{suma}^*(j, l, K_l) > \text{suma}^*(j, k, K_k) \\ & \text{o } j = \arg \max_{j' \notin S} \{\text{suma}^*(j', l, K_l)\} \end{aligned}$$

15 En este caso el usuario j puede ser un mejor candidato para las subbandas l, l+1, ..., l+Kl-1 que para las subbandas k, k+1, ..., k+Kk-1. Para dilucidar esto, el algoritmo busca máximos secundarios (55) en las columnas k y i ejecutando las siguientes etapas:

20 o Elegir otros dos usuarios j_1, j_2 de manera que:

$$j_1 = \arg \max_{j' \notin S, j' \neq j} \{\text{suma}^*(j', k, K_k)\}$$

y

$$j_2 = \arg \max_{j' \notin S, j' \neq j} \{\text{suma}^*(j', l, K_l)\}.$$

25 o Se comparan (56) las métricas previamente consideradas comprobando si:

$\text{suma}^*(j, k, K_k) + \text{suma}^*(j, l, K_l) > \text{suma}^*(j, k, K_k) + \text{suma}^*(j, l, K_l)$. Si es así, el algoritmo FSS asigna (57) el usuario j_1 a las subbandas k, ..., k+Kk-1 y el usuario j a las subbandas l, ..., l+Kl-1, es decir:

$$\begin{aligned} \text{usuario}(k) & \leftarrow j_1, \text{ usuario}(k+1) \leftarrow j_1, \dots, \text{ usuario}(k+K_k-1) \leftarrow j_1 \\ \text{usuario}(l) & \leftarrow j, \text{ usuario}(l+1) \leftarrow j, \dots, \text{ usuario}(l+K_l-1) \leftarrow j \end{aligned}$$

o En caso contrario, el algoritmo asigna (58) el usuario j a las subbandas k, ..., k+Kk-1 y el usuario j_2 a las subbandas l, ..., l+Kl-1, es decir:

$$\begin{aligned} \text{usuario}(k) & \leftarrow j, \text{ usuario}(k+1) \leftarrow j, \dots, \text{ usuario}(k+K_k-1) \leftarrow j \\ \text{usuario}(l) & \leftarrow j_2, \text{ usuario}(l+1) \leftarrow j_2, \dots, \text{ usuario}(l+K_l-1) \leftarrow j_2 \end{aligned}$$

- En caso contrario, es decir, no se encuentra ninguna otra subbanda $l \in [k, k + K_k - 1]$ subyacente en la que el usuario j tiene una métrica superior al valor en la subbanda k, el algoritmo FSS asigna (59) el usuario j a las subbandas k, ..., k+Kk-1, es decir:

$$\text{usuario}(k) \leftarrow j, \text{ usuario}(k+1) \leftarrow j, \dots, \text{ usuario}(k+K_k-1) \leftarrow j$$

- El algoritmo comprueba si hay subbandas sin asignar (591). En el caso de que para algún usuario ya se haya planificado el número máximo K de subbandas subyacentes mediante este algoritmo, se tacha la fila correspondiente en la matriz. Las asignaciones son equivalentes, en la matriz, a tachar la fila y la(s) columna(s) correspondiente al usuario y la(s) subbanda(s), lo que significa que éstas no se considerarán en iteraciones posteriores del algoritmo. El procedimiento se repite (592) para todas las subbandas k de manera que $\text{usuario}(k) = -1$, es decir para todas las columnas que todavía no se han tachado. En caso contrario, todavía pueden tenerse en cuenta para posteriores asignaciones de subbanda. Cada subbanda asignada también debe tacharse en la matriz, es decir, su columna asociada, y los usuarios planificados se añaden al conjunto S, por ejemplo para el usuario j: $S = S \cup \{j\}$

Posiblemente, tras ejecutar el planificador sigue habiendo usuarios para los que se planifican menos de K subbandas, incluso usuarios sin subbandas en absoluto, si $n < K \cdot N$. Al elegir las columnas de manera aleatoria, la FSS propuesta evita favorecer a algún usuario o subbanda sobre el resto.

5 Puede verse que el algoritmo propuesto aborda el problema de la planificación de bloques contiguos de recursos (ya sean subbandas, PRB o lo que se defina) entre un conjunto de usuarios, como es el caso de, por ejemplo, el enlace ascendente de LTE. Además, la cantidad de recursos planificados puede ser diferente para diferentes usuarios, hasta un número máximo especificado K . Esto contrasta con la solución descrita en el documento US2009/0073926, en la que no es posible asignar un bloque de PRB contiguos a un usuario.

10 La versión localizada del algoritmo propuesto crece linealmente con el número de subbandas y el número de usuarios, como en el caso no localizado, es decir es $O(N \cdot n)$.

Con el fin de probar el procedimiento de FSS propuesto, considerando las dos versiones o casos descritos anteriormente (subbandas localizadas o adyacentes y subbandas no localizadas/no adyacentes), se llevaron a cabo diversas simulaciones y los resultados se ilustran en las Figuras 6-17. Los principales supuestos para las simulaciones se muestran en la siguiente tabla 2.

15 Tabla 2

Parámetro	Valor
Número de usuarios	10, 20, 30 y 40 usuarios
Algoritmos de planificación	Equidad proporcional relativa del rendimiento; equidad proporcional relativa del recurso; equidad proporcional relativa del rendimiento de FSS; equidad proporcional relativa del recurso de FSS
Tipo de canal	ETU, EVA, EPA
Número de subtramas (1 ms)	30000 subtramas
Longitud de la ventana de promedio	2000 subtramas
Ancho de banda	20 MHz
Número total de PRB	96 PRB
Número de subbandas	12 subbandas
Ancho de subbanda	8 PRB
Número máx. de subbandas por usuario	2 subbandas
Velocidad del UE	0 km/h
Número de ciclos para cada configuración	10 ciclos
Tipo de tráfico	Memoria intermedia llena
Correlación enlace a sistema	Curvas de rendimiento obtenidas de las simulaciones de nivel de enlace
asignación	simulaciones

20 Las definiciones de métricas de planificación corresponden a dos criterios: equidad proporcional relativa del rendimiento y equidad proporcional relativa del recurso. Se han comparado cuatro algoritmos de planificación: operando dos de ellos sólo en el dominio del tiempo (equidad proporcional relativa del rendimiento, equidad proporcional relativa del recurso), y operando los otros dos en tiempo y frecuencia con el procedimiento de FSS propuesto (equidad proporcional relativa del rendimiento de FSS, equidad proporcional relativa del recurso de FSS). Varios usuarios se distribuyen aleatoriamente por una celda, en un escenario en el que el canal de radio se supone que es uno de los canales de referencia ITU [3GPP TS 36.104, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station, Radio Transmission and Reception (Release 8)*]: ETU -Extended Typical Urban-, EVA -
 25 *Extended Vehicular A-* and EPA -*Extended Pedestrian A-*. Para mayor simplicidad, se supone que los usuarios no tienen velocidad, es decir, 0 km/h, de modo que su respuesta en frecuencia permanece constante a lo largo del tiempo, aunque la respuesta de cada usuario es diferente al considerar realizaciones aleatorias. La correlación

enlace a sistema se efectúa mediante un conjunto de curvas de rendimiento, obtenidas con una herramienta de simulación de nivel de enlace de LTE.

5 El planificador ejecuta un alto número de subtramas, 30000 subtramas LTE, y los recursos o el rendimiento pasado promedio se miden en una ventana de 2000 subtramas. Considerando un ancho de banda del sistema total de 96 PRB, el número de subbandas disponibles es de 12, según 3GPP TS 36.213, y cada subbanda abarca 8 PRB. A cada usuario se le permite una planificación de como máximo 2 subbandas. El tipo de tráfico es memoria intermedia llena. En el enlace descendente las subbandas planificadas para un usuario están dispersas por todo el espectro, pero en el enlace ascendente son necesariamente contiguas. Se efectuaron un total de 10 ciclos para cada uno de los resultados presentados a continuación, tomando los resultados promedio en todos los casos.

10 En el caso de planificación de subbandas no localizadas, las Figuras 6, 7 y 8 muestran el rendimiento de celda global (rendimiento frente a número de usuarios) para los tres canales de radio considerados, respectivamente: ETU, EVA y EPA.

15 Las barras rayadas corresponden a equidad proporcional relativa del rendimiento; la barra con rayas verticales se refiere a planificación sólo de tiempo y la que tiene rayas inclinadas se refiere al procedimiento FSS propuesto. Las barras blancas y negras muestran los mismos resultados, pero considerando equidad proporcional relativa del recurso para ambos casos, planificación sólo de tiempo y la FSS propuesta, respectivamente.

20 Puede mostrarse que, en todos los casos, el rendimiento de celda es considerablemente superior con el procedimiento de FSS propuesto, hasta casi un 40 % para EVA y 30 usuarios. La equidad proporcional relativa del recurso obtiene un rendimiento global superior con FSS, y en este caso el rendimiento aumenta con el número de usuarios activos. Pueden extraerse conclusiones similares a partir de los tres canales de referencia.

25 Las Figuras 9, 10 y 11 muestran, para dichos tres canales de referencia (EVA, ETU y EPA, respectivamente) y subbandas no localizadas, que el rendimiento de los usuarios también aumenta cuando se usa el procedimiento de FSS propuesto, en comparación con la planificación sólo de tiempo. El incremento de rendimiento por usuario promedio se vuelve mayor con el número de usuarios activos, hasta un máximo de casi un 50 % para 30 usuarios; 40 usuarios muestran números aproximadamente similares que 30 usuarios.

30 En el caso de la planificación de subbandas localizadas los resultados son cualitativamente los mismos, pero con valores de rendimiento inferiores debido a la limitación de adyacencia de las subbandas. Para la comparación con el caso no localizado, se han llevado a cabo simulaciones con los mismos parámetros y supuestos, aunque en un escenario real sería aconsejable emplear diferentes curvas de nivel de enlace para este caso (ya que habitualmente corresponde al enlace ascendente de LTE, en oposición al caso no localizado que es típico del enlace descendente de LTE). Sin embargo, con fines de comparación es deseable mantener los parámetros de la simulación, para observar las diferencias provocadas por el procedimiento FSS. Las Figuras 12, 13 y 14 muestran el rendimiento de celda. Las Figuras 15, 16 y 17 muestran, respectivamente, para cada canal de referencia, EVA, ETU y EPA, el incremento de rendimiento por usuario. Es evidente que pueden extraerse las mismas conclusiones que en el caso
35 no adyacente, pero con un rendimiento menor debido a la limitación de la adyacencia.

Obsérvese que, en este texto, la expresión "comprende" y sus derivaciones (tal como "que comprende", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estas expresiones no deben interpretarse como que excluyen la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir otros elementos, etapas, etc.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para planificar recursos de radio en redes de comunicación móvil, que comprende:

- i) definir un conjunto de bandas de frecuencia asignable a usuarios,
- ii) recibir, durante un tiempo de planificación dado, en el que el recurso de radio se planificará, al menos un valor de indicador (21) de calidad de canal notificado desde al menos un usuario, caracterizando el valor de indicador (21) de calidad de canal una banda de frecuencia del conjunto asignable definido en la etapa i);
- iii) para cada usuario notificante, calcular métricas (22) de planificación basándose en los valores recibidos de indicador (21) de calidad de canal,

caracterizado porque comprende, además:

- iv) para cada banda de frecuencia del conjunto asignable, seleccionar un usuario (43, 53) para el que la métrica (22) de planificación calculada sea un máximo principal en una determinada banda de frecuencia k, estando dicho máximo principal definido como el valor más alto de la métrica (22) de planificación calculada en una cierta banda de frecuencia k;
- v) comprobar (44, 54) si hay al menos otra banda de frecuencia l del conjunto asignable en la que el usuario seleccionado tiene un cierto valor de métrica (22) de planificación calculada superior al máximo principal y, si es así:
 - buscar máximos (45, 55) secundarios de métricas (22) de planificación calculadas para dicho usuario y el resto de usuarios notificantes en dichas bandas de frecuencia k y l del conjunto asignable, estando un máximo secundario en una banda de frecuencia dada definido como el valor máximo de las métricas (22) de planificación calculadas obtenidas después de excluir el máximo principal en la banda de frecuencia dada;
 - comparar (46, 56) una primera suma con una segunda suma:
 - siendo la primera suma la suma de las métricas (22) de planificación calculadas para el máximo principal en la banda de frecuencia k y el máximo secundario en la otra banda de frecuencia l;
 - siendo la segunda suma la suma de las métricas (22) de planificación calculadas para el máximo secundario en la banda de frecuencia k y el máximo principal en la otra banda de frecuencia l;
 - asignar (47, 48, 57, 58), cuando la primera suma sea superior a la segunda suma, el usuario seleccionado para dicha banda de frecuencia k y el usuario en el máximo secundario de la otra banda de frecuencia l a dicha otra banda de frecuencia l; en caso contrario, asignar el usuario en el máximo secundario a dicha banda de frecuencia k a dicha banda de frecuencia k y el usuario seleccionado a la otra banda de frecuencia l;
- vi) en caso contrario, asignar (49, 59) el usuario seleccionado a al menos dicha banda de frecuencia k;
- vii) repetir las etapas anteriores iv) a vi) para cubrir todas las bandas de frecuencia del conjunto asignable;
- viii) repetir las etapas anteriores ii) a vii) para cada tiempo de planificación dado en cuyos recursos de radio serán planificados.

2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el conjunto de bandas de frecuencia asignables a usuarios es adyacente.

3. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que la etapa iv) comprende seleccionar un usuario (53) j determinado por la expresión

$$j = \arg \max_{j' \in S} \left\{ \text{suma}^*(j', k, K_k) \right\}, \text{ para algún } K_k \leq K \text{ siendo } T_{jk} + T_{j,k+1} + \dots + T_{j,k+K_k-1} \equiv \text{suma}^*(j, k, K_k),$$

T_{jk} indica

la métrica de planificación del usuario j calculada en una banda de frecuencia k elegida aleatoriamente del conjunto de bandas de frecuencia asignables, siendo K el número máximo de bandas de frecuencia adyacentes que pueden asignarse a cualquier usuario y S indica un conjunto de usuarios que ya se han asignado a K bandas de frecuencia adyacentes.

4. El procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa v) comprende comprobar (54) si hay otra banda de frecuencia l del conjunto de bandas de frecuencia asignables en la que el usuario seleccionado j tiene una métrica de planificación calculada con un valor superior a la suma de métricas de planificación del usuario j calculadas en la banda de frecuencia k y algunas de sus bandas de frecuencia adyacentes.

5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el que la búsqueda de máximos (55) secundarios de métricas (22) de planificación calculadas comprende elegir dos usuarios distintos j_1, j_2 que se determinan respectivamente mediante las expresiones:

$$j_1 = \arg \max_{j' \in S, j' \neq j} \left\{ \text{suma}^*(j', k, K_k) \right\},$$

y

$$j_2 = \arg \max_{j' \in S, j' \neq j} \{ \text{suma} * (j', l, K_l) \}.$$

y comparar (56) el máximo principal de cada usuario con los máximos secundarios del resto de usuarios notificantes comprende comprobar si:

5
$$\text{suma} * (j_l, k, K_k) + \text{suma} * (j, l, K_l) > \text{suma} * (j, k, K_k) + \text{suma} * (j_2, l, K_l).$$

6. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que si $\text{suma} * (j, k, K_k) + \text{suma} * (j, l, K_l) > \text{suma} * (j, k, K_k) + \text{suma} * (j_2, l, K_l)$, el usuario j_1 se asigna a las bandas de frecuencia adyacentes $k, \dots, k+K_k - 1$ y el usuario j se asigna a las bandas de frecuencia adyacentes $l, \dots, l+K_l - 1$ (57); en caso contrario, el usuario j se asigna a las bandas de frecuencia adyacentes $k, \dots, k+K_k - 1$ y el usuario j_2 se asigna a las bandas de frecuencia adyacentes $l, \dots, l+K_l - 1$ (58).

7. El procedimiento según cualquier reivindicación 2 a 6, en el que la etapa vi) comprende asignar (59) el usuario j a las bandas de frecuencia adyacentes $k, \dots, k+K_k - 1$.

8. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el conjunto de bandas de frecuencia asignables a usuarios es no adyacente.

9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que la etapa iv) comprende seleccionar un usuario (43) j para el que el valor de la métrica de planificación T_{jk} calculada en una banda de frecuencia k elegida aleatoriamente del conjunto de bandas de frecuencia asignables sea $T_{jk} = \max_{j' \in S} \{ T_{j'k} \}$ siendo K el número máximo de bandas de frecuencia asignables a cualquier usuario y S un conjunto de usuarios que ya se han asignado al número máximo K de bandas de frecuencia.

10. El procedimiento según la reivindicación 9, en el que la etapa v) comprende comprobar (44) si hay otra banda de frecuencia l del conjunto de bandas de frecuencia asignables en la que el usuario seleccionado j tiene una métrica de planificación calculada T_{jl} que cumple con $T_{jl} = \max_{j' \in S} \{ T_{j'l} \}$ y $T_{jl} > T_{jk}$.

11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que la búsqueda (46) de máximos secundarios de métricas (22) de planificación calculadas comprende elegir un usuario j_1 , para el que el valor de la métrica de planificación T_{j_1k} calculada en la banda de frecuencia k sea $T_{j_1k} = \max_{j' \in S, j' \neq j} \{ T_{j'k} \}$ y elegir otro usuario j_2 para el que el valor de la métrica de planificación T_{j_2l} calculada en la otra banda de frecuencia l sea $T_{j_2l} = \max_{j' \in S, j' \neq j} \{ T_{j'l} \}$ y la comparación (46) del máximo principal de cada usuario con los máximos secundarios del resto de usuarios notificantes comprende comprobar si $T_{j_1k} + T_{jl} > T_{jk} + T_{j_2l}$.

12. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que si $T_{j_1k} + T_{jl} > T_{jk} + T_{j_2l}$, el usuario j_1 se asigna a la banda de frecuencia k y el usuario j se asigna a la otra banda (47) de frecuencia l ; en caso contrario, el usuario j se asigna a la banda de frecuencia k y el usuario j_2 se asigna a otra banda (48) de frecuencia l .

13. El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, que comprende, además, repetir (492, 592) las etapas i)-v) hasta que todas las bandas de frecuencia se hayan asignado a usuarios.

14. El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, en el que el conjunto de bandas de frecuencia asignables a los usuarios comprende subbandas de frecuencia definidas para *Long Term Evolution*.

15. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que las métricas (22) de planificación se calculan basándose en los valores recibidos de indicador (21) de calidad de canal y valores de rendimiento de los usuarios en subbandas dadas.

16. El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, en el que la planificación de los recursos es en el enlace descendente.

17. El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, en el que la planificación de los recursos es en el enlace ascendente.

18. Un dispositivo planificador para una entidad de red de acceso de radio de una red de comunicación móvil, **caracterizado por** comprender medios (31, 32, 33) de procesamiento adaptados para realizar las etapas del procedimiento establecidas en las reivindicaciones anteriores.

19. Una entidad de red que se implementa en un NodoB mejorado de una red que soporta *Long Term Evolution* que comprende el dispositivo planificador según la reivindicación 18.

20. Un producto de programa informático que comprende medios de código de programa que, cuando se cargan y se ejecutan en los medios de procesamiento de un dispositivo planificador, hace que dicho código de programa ejecute el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-17.

5

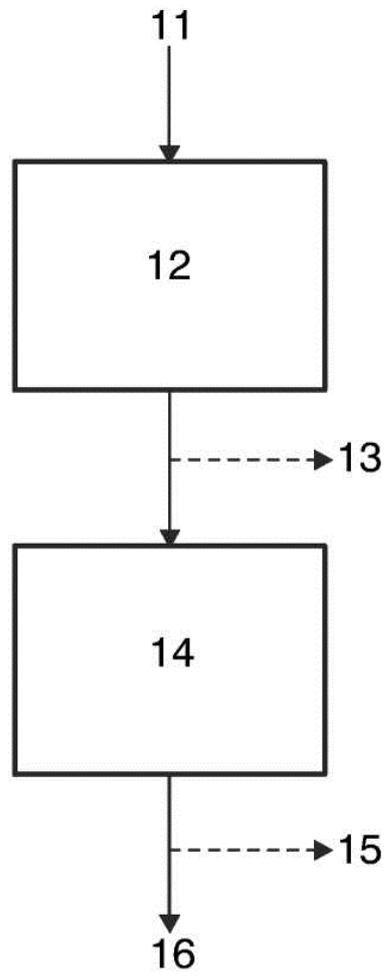


FIG. 1
(ESTADO DE LA TÉCNICA)

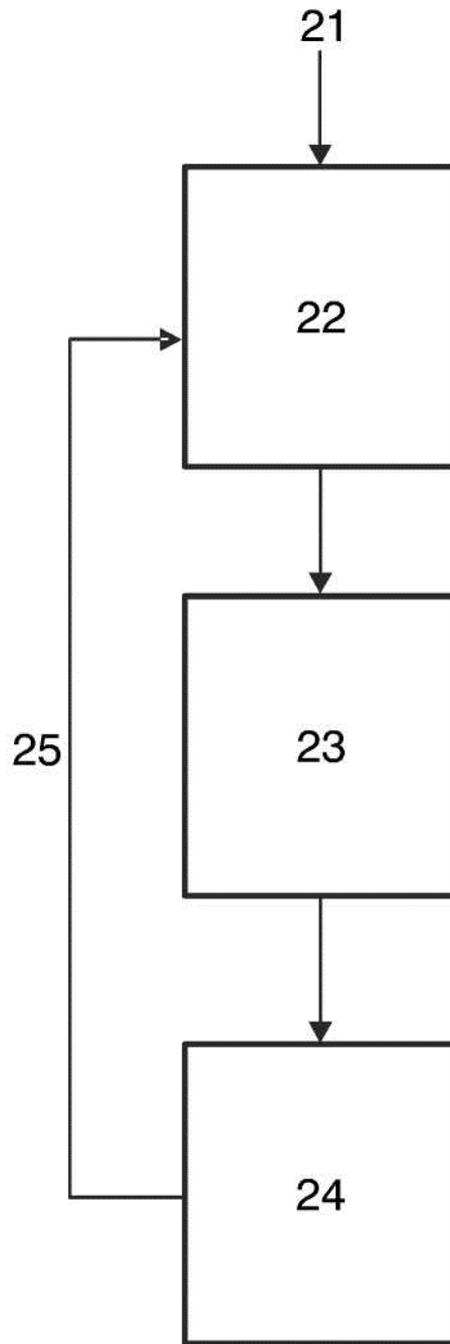


FIG. 2

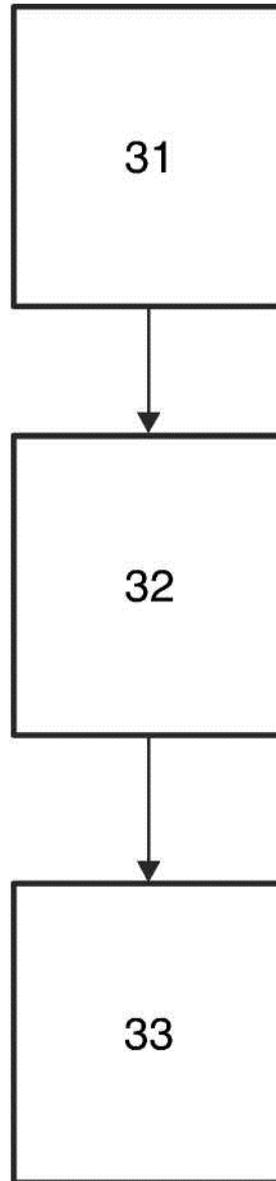


FIG. 3

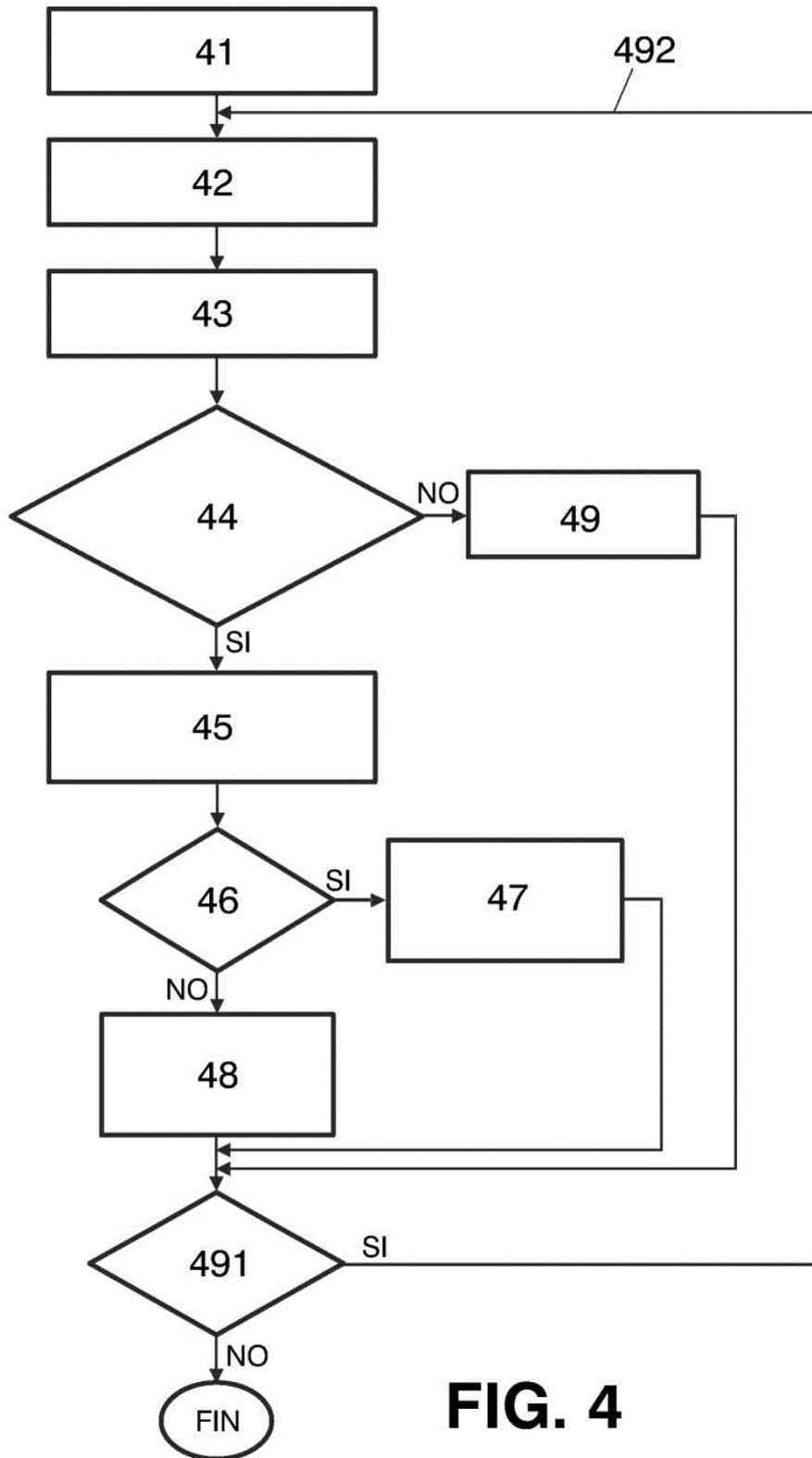


FIG. 4

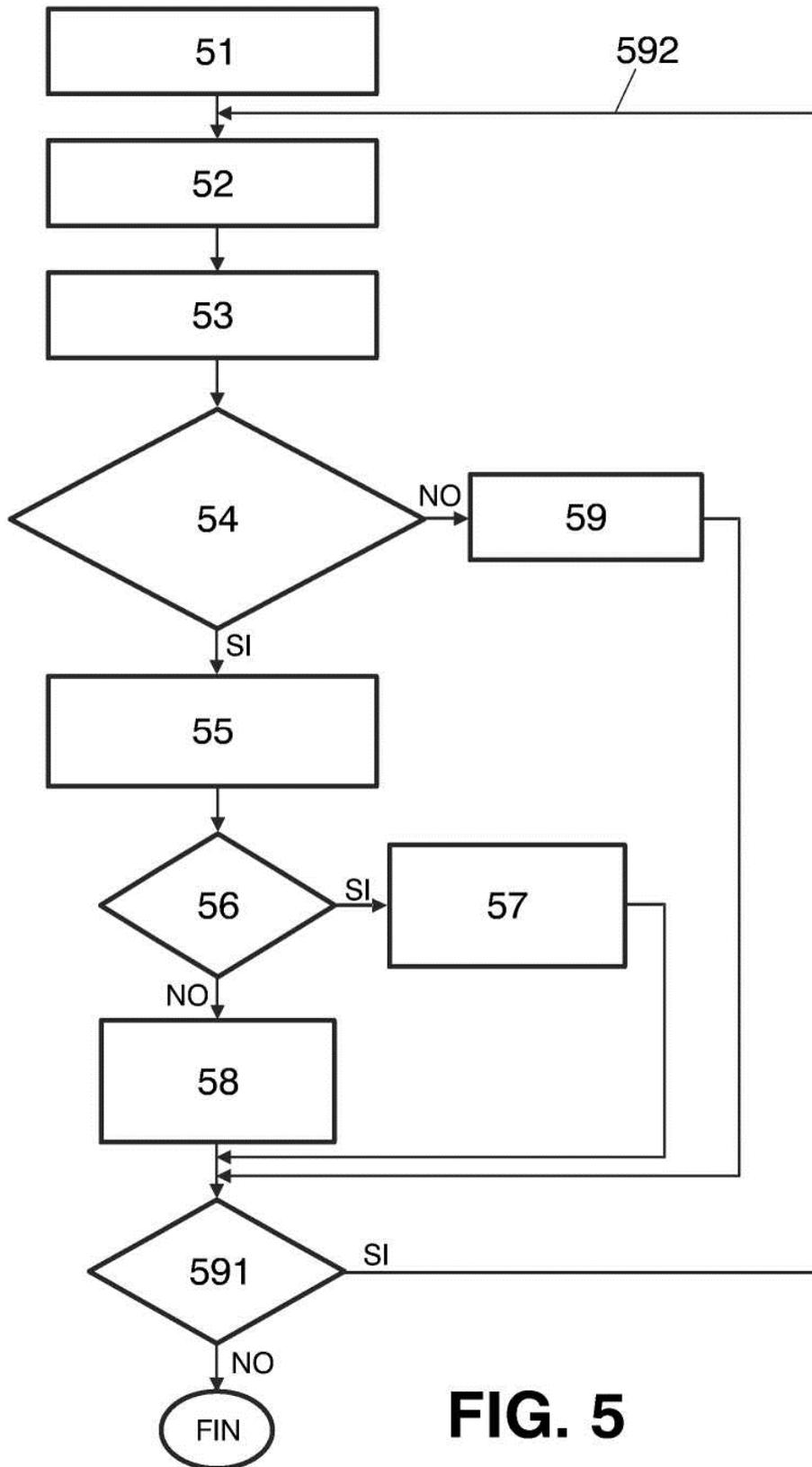


FIG. 5

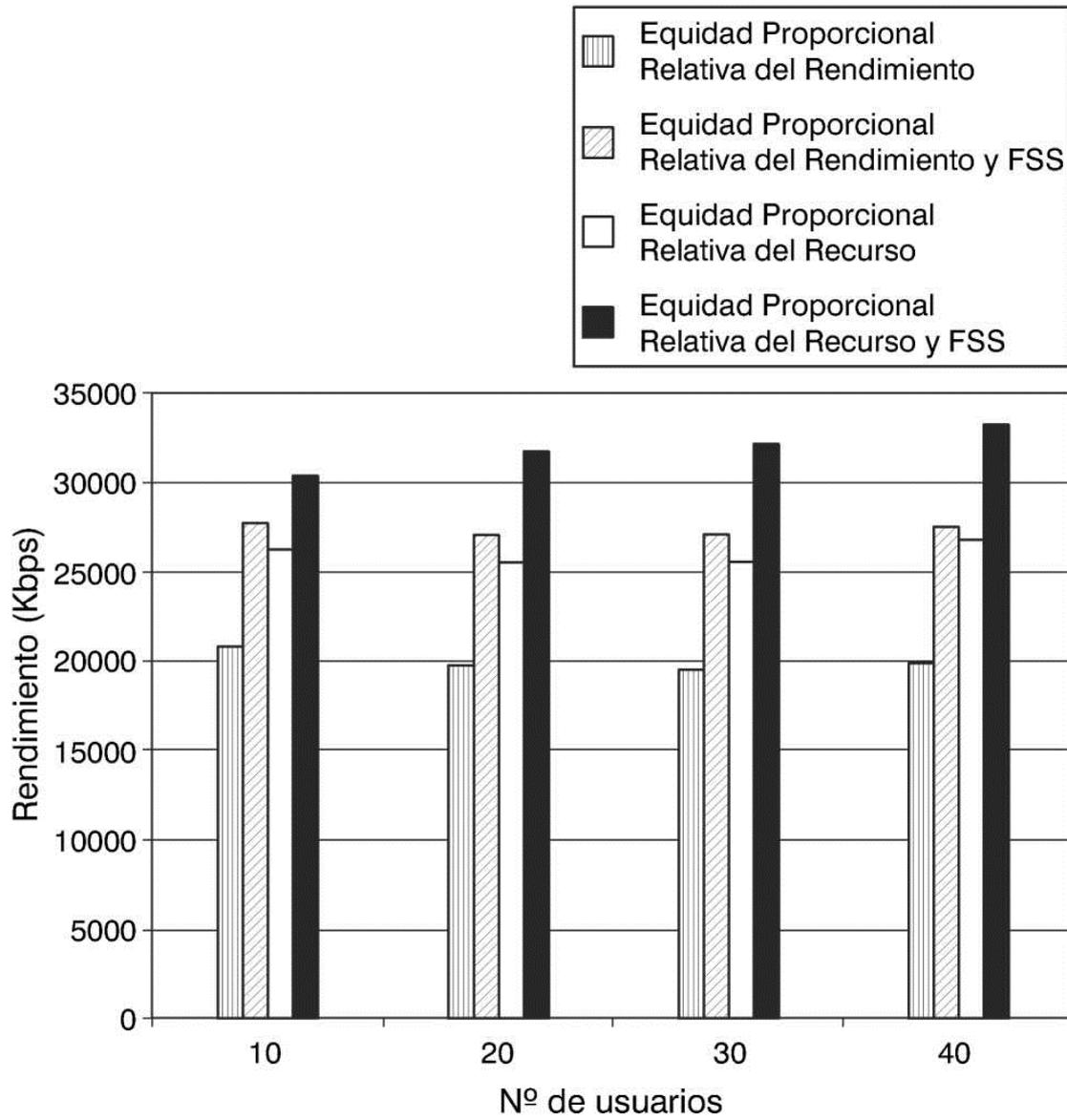


FIG. 6

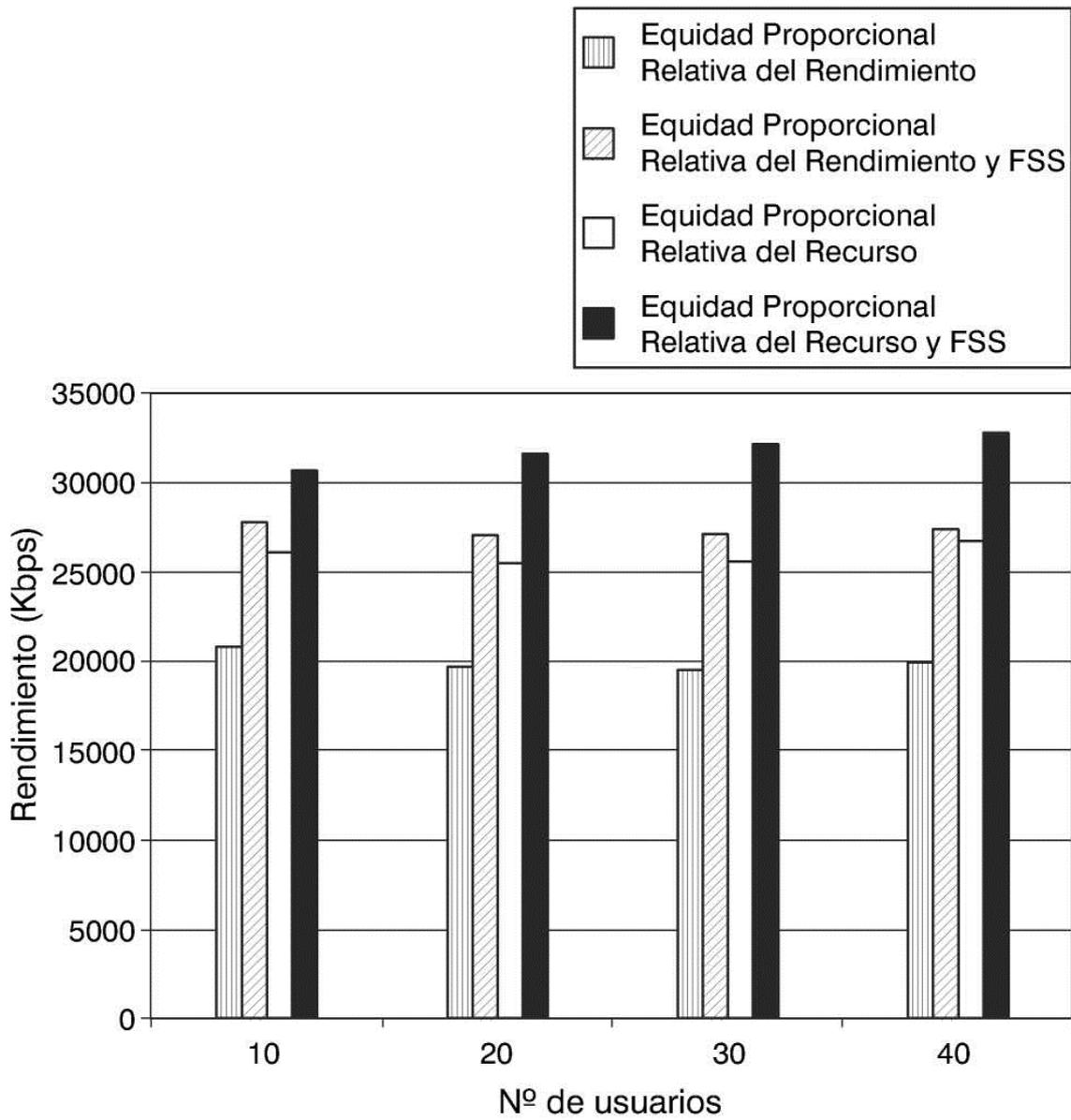


FIG. 7

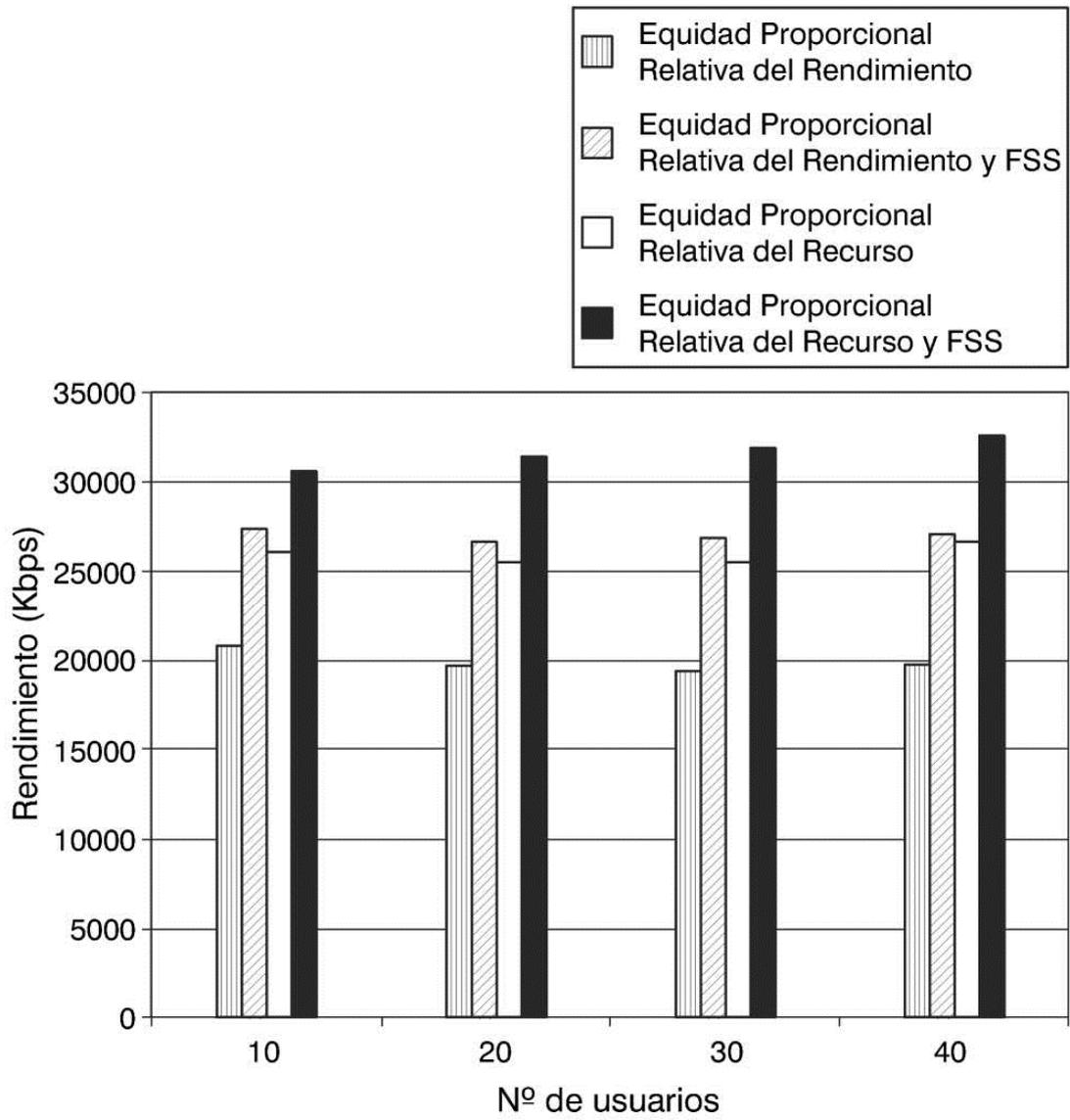


FIG. 8

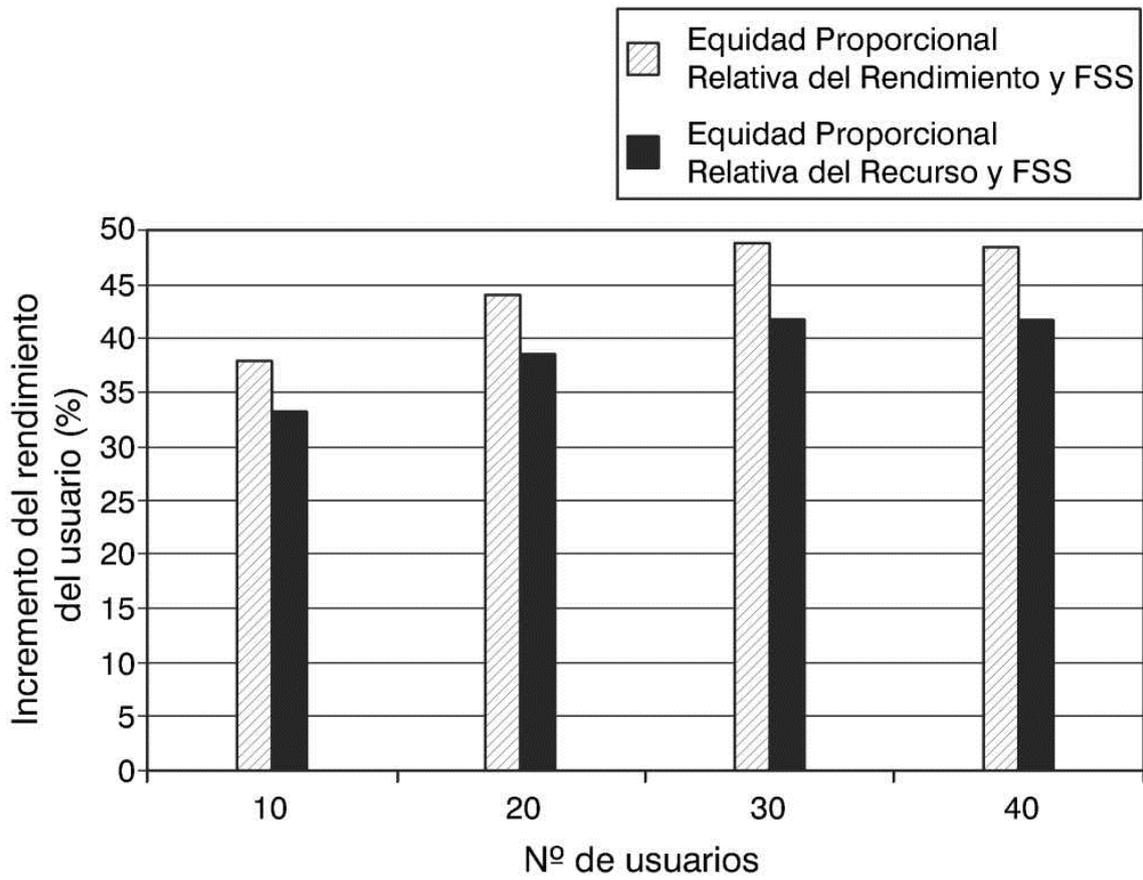


FIG. 9

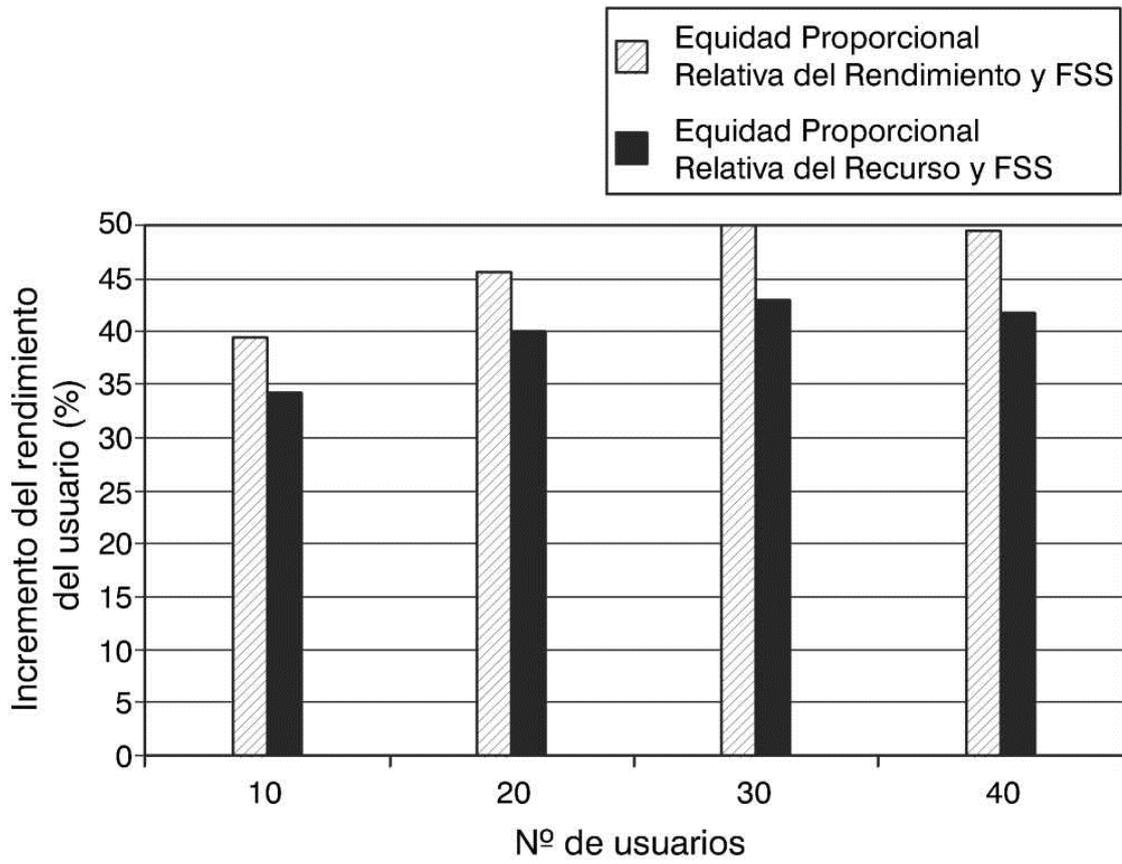


FIG. 10

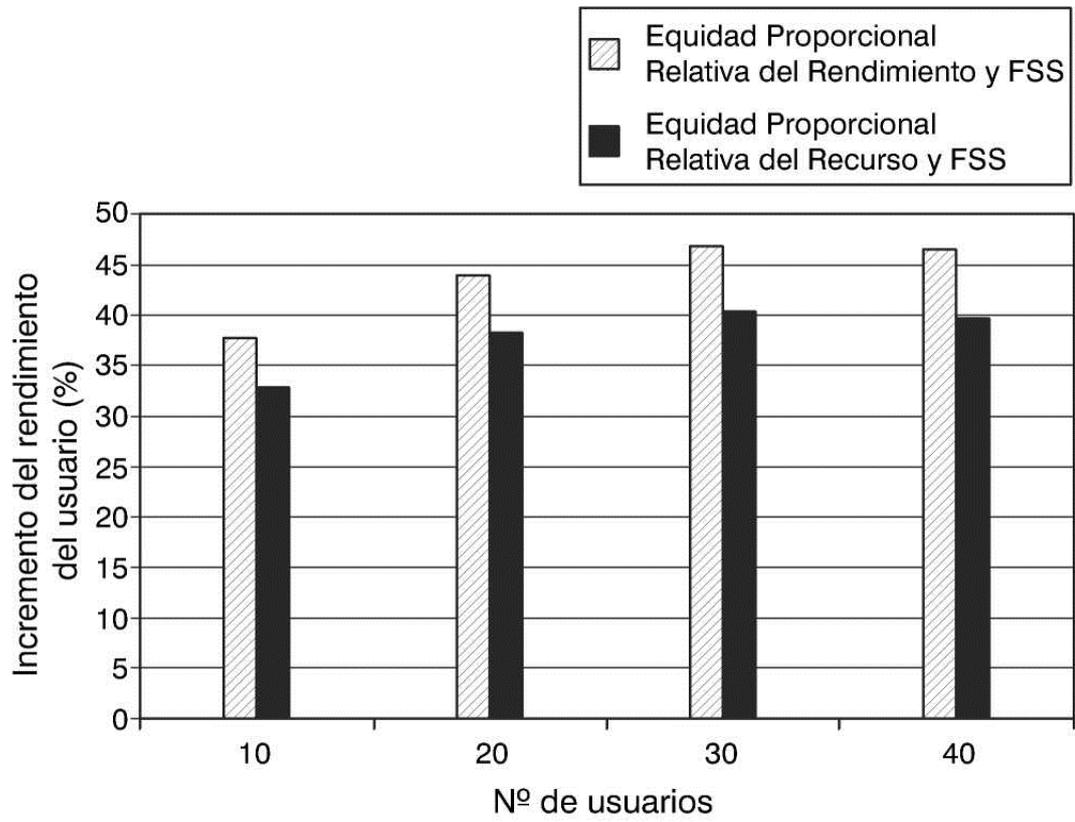


FIG. 11

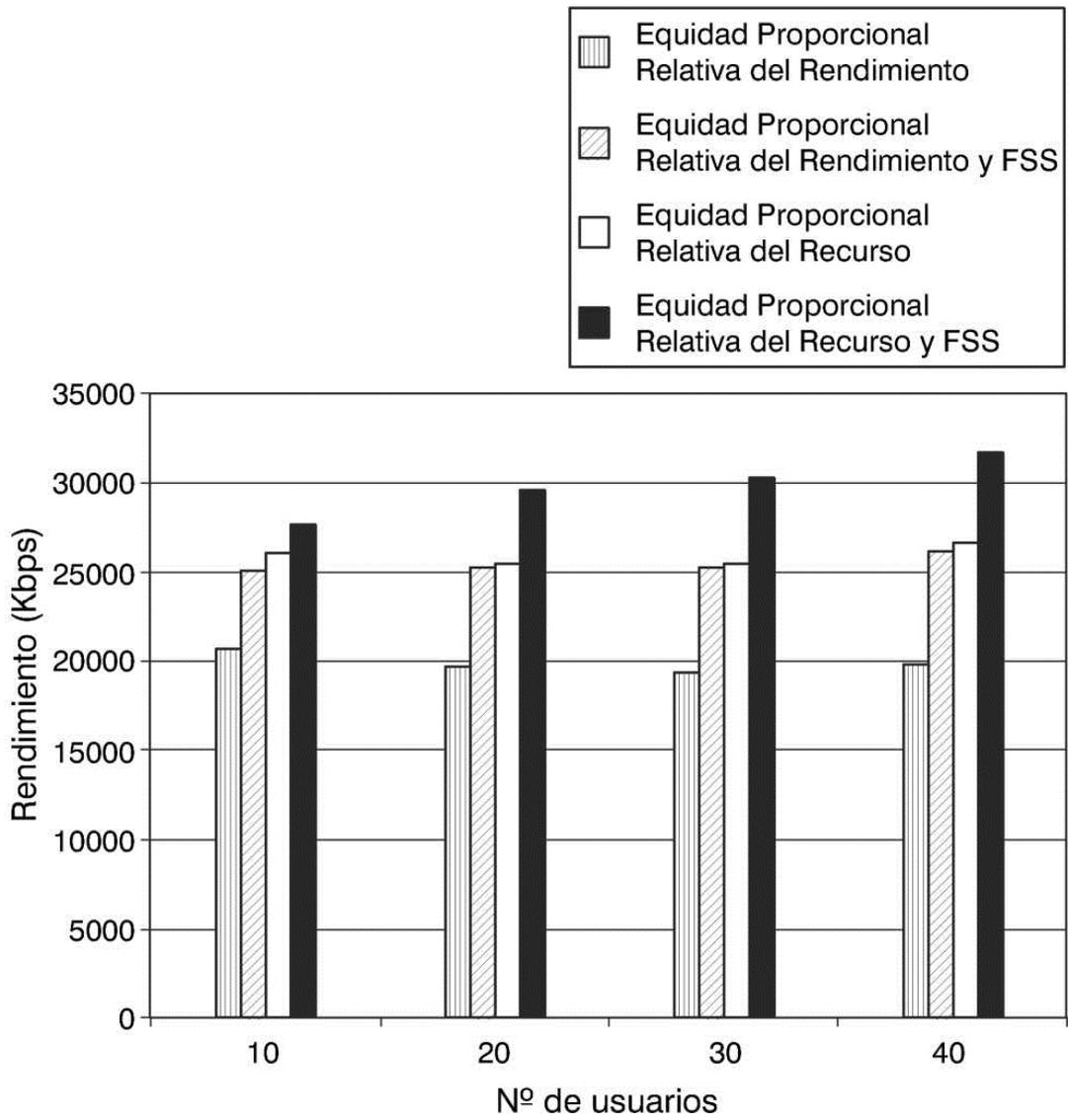


FIG. 12

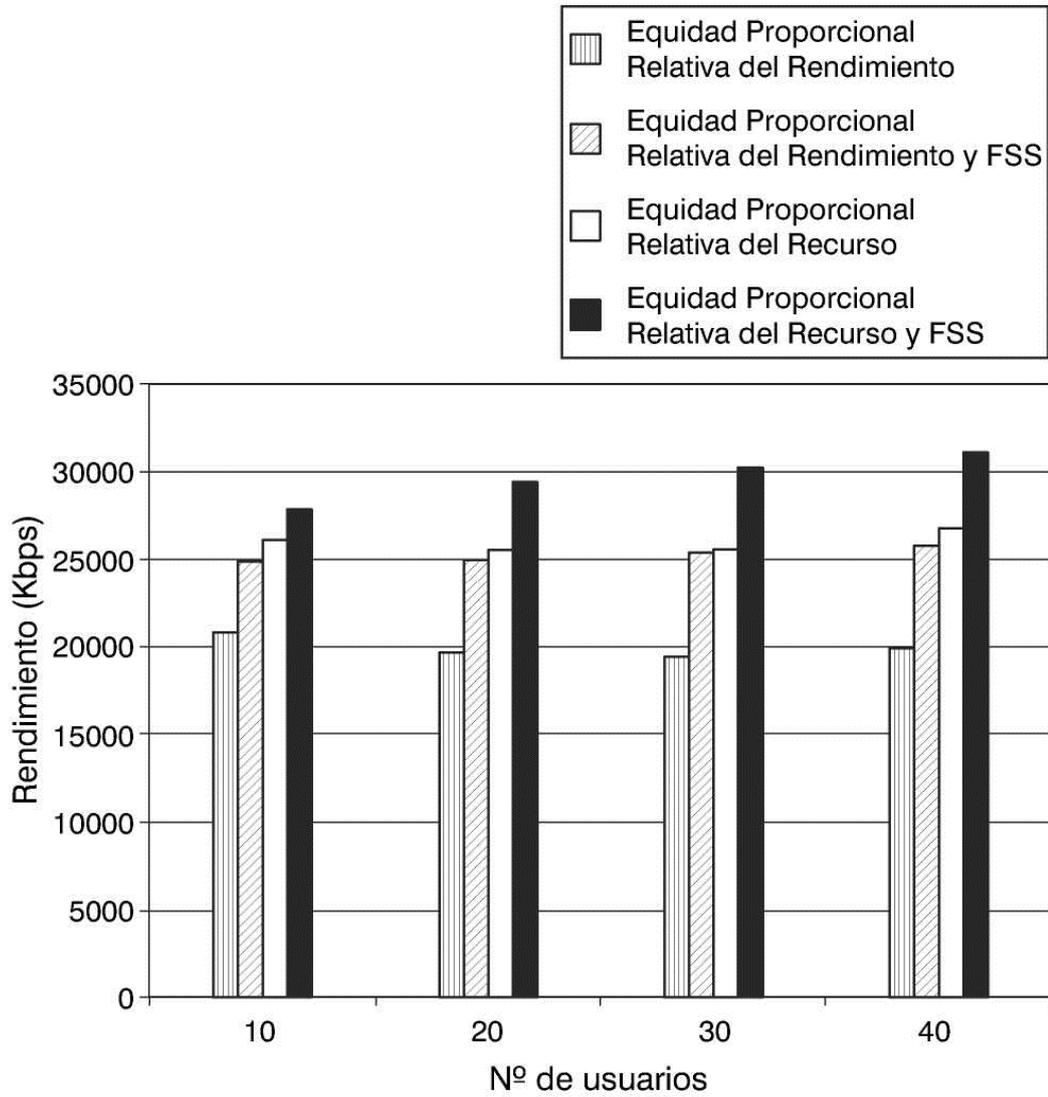


FIG. 13

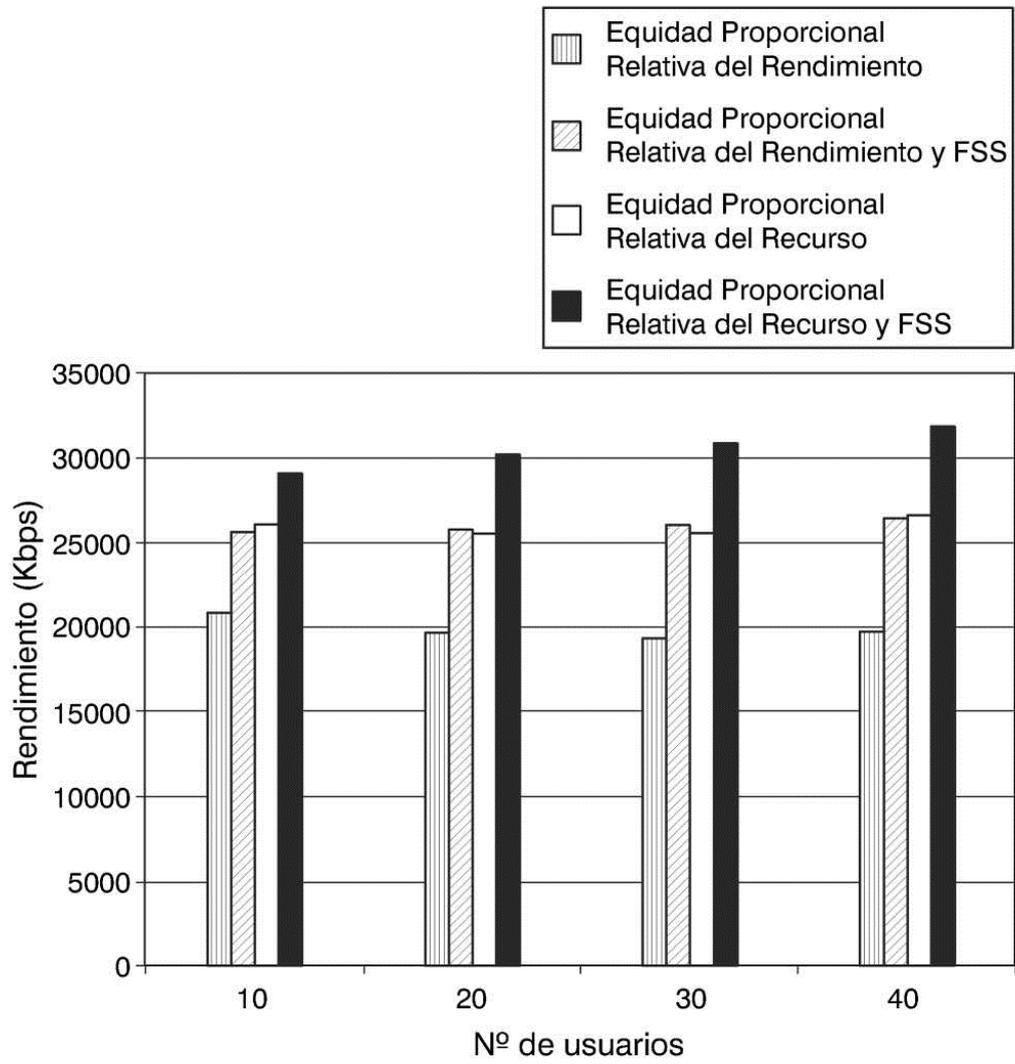


FIG. 14

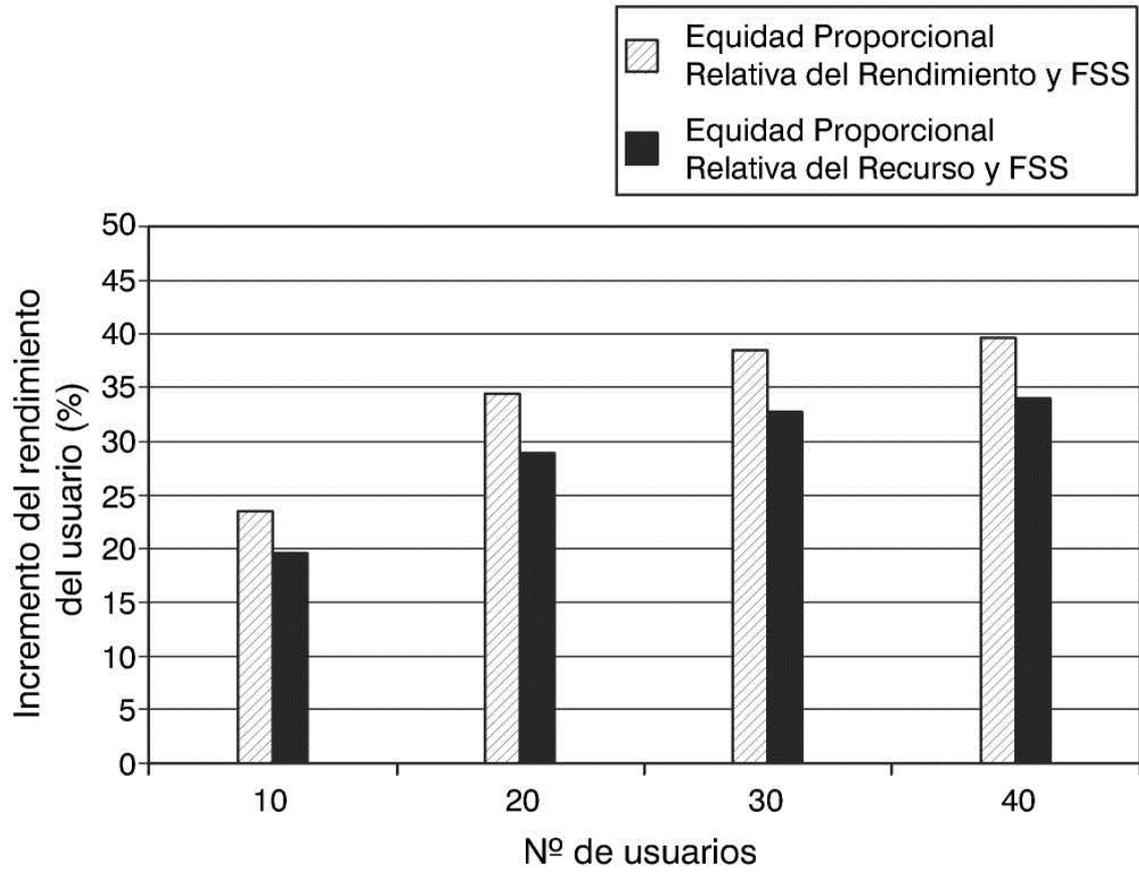


FIG. 15

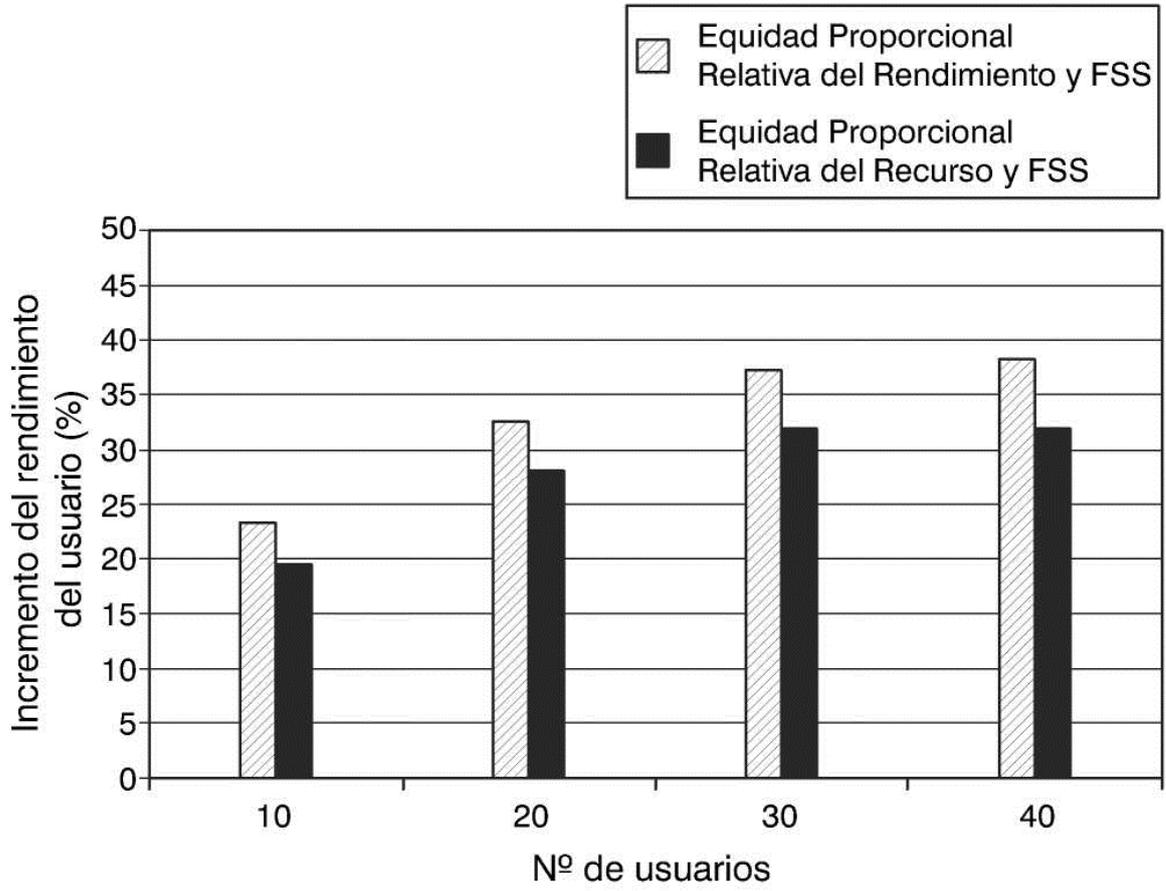


FIG. 16

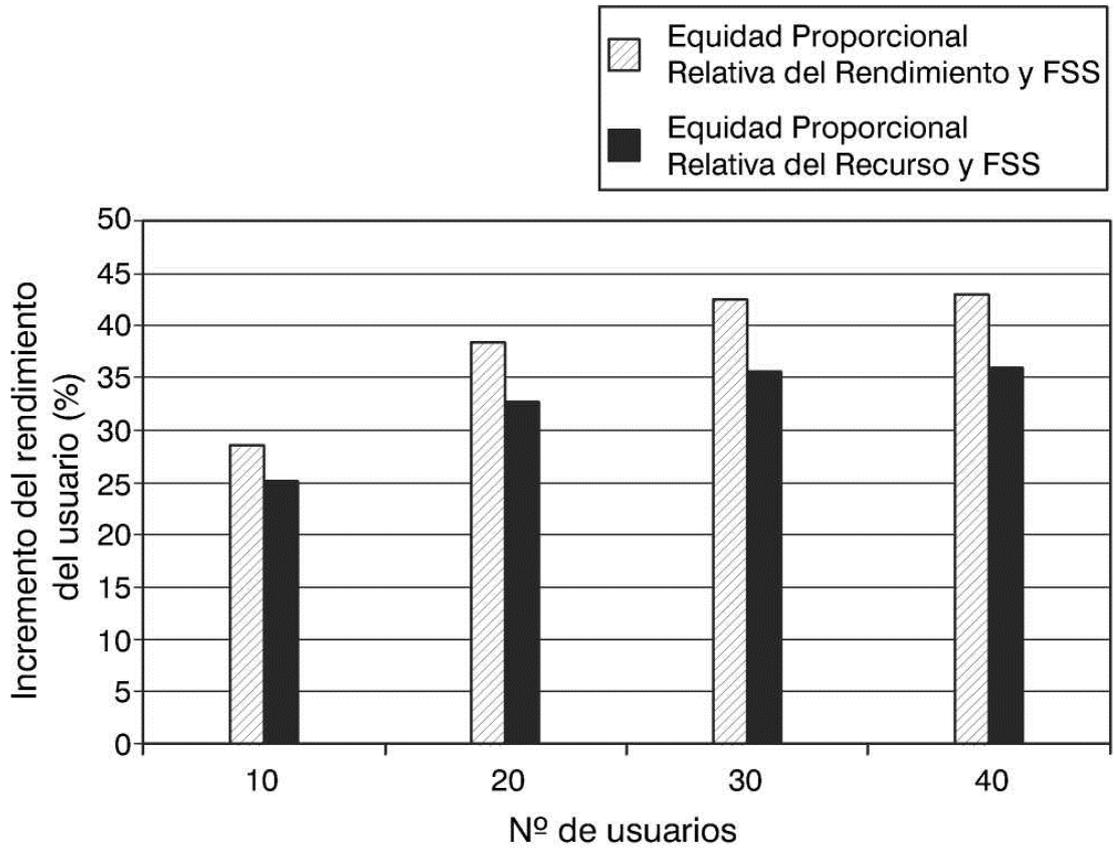


FIG. 17