

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 057**

51 Int. Cl.:

H04B 7/195 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.07.2016 PCT/IB2016/054353**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.02.2017 WO17017570**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2016 E 16745508 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 3326304**

54 Título: **Constelación de satélites en órbitas terrestres bajas, cada satélite comprendiendo un módulo de control de actitud para rotar el satélite alrededor de su eje de balanceo para asegurar la cobertura radioeléctrica terrestre**

30 Prioridad:

24.07.2015 US 201514808422

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

18.02.2020

73 Titular/es:

**WORLDVU SATELLITES LIMITED (100.0%)
1400 Key Boulevard, Floor A
Arlington VA 22209, US**

72 Inventor/es:

WYLER, GREGORY

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 743 057 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

Constelación de satélites en órbitas terrestres bajas, cada satélite comprendiendo un módulo de control de actitud para rotar el satélite alrededor de su eje de balanceo para asegurar la cobertura radioeléctrica terrestre.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a satélites de comunicación de órbita terrestre, en general, y, más concretamente, a sistemas de satélites de comunicación en la órbita terrestre baja.

Antecedentes

10 Desde el comienzo de la era espacial, los satélites de comunicación han sido una aplicación importante de la tecnología espacial. El primer satélite de comunicación fue Telstar. En dicho momento, fue un logro tecnológico extraordinario. Este fue diseñado, construido y operado por Bell Telephone Laboratories, Holmdel, NJ, Estados Unidos.

15 Los satélites de comunicación reciben y transmiten señales radioeléctricas de y a la superficie de la Tierra con el fin de proveer servicios de comunicación. Con Telstar, que fue el primer y único satélite de comunicación de la época, no fue posible proveer servicios de comunicación ininterrumpidos a cada ubicación en la superficie de la Tierra. Solo las pocas ubicaciones que se encontraban dentro de la vista del satélite, en cierto momento dado, podían transmitir y/o recibir señales radioeléctricas al/del satélite. En los sistemas de satélites de comunicación más modernos, es deseable, con frecuencia, que cada lugar en la Tierra reciba servicios de comunicación en todo momento, una capacidad a la que, normalmente, se hace referencia como cobertura universal. Además, hay lugares y ubicaciones en la Tierra que requieren más capacidad de comunicación que otros. Por ejemplo, puede esperarse que ciudades y otras ubicaciones densamente pobladas requieran más capacidad de comunicación que ubicaciones en áreas desiertas.

25 A los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones anexas, los términos "lugar" y "ubicación" tienen significados de alguna manera diferentes. Ambos términos se refieren a una porción de la superficie de la Tierra en una posición conocida (latitud y longitud) con respecto a la propia Tierra. Sin embargo, se entiende que el término "lugar" se refiere a algo lo suficientemente pequeño para ser equivalente, de manera eficaz, a un solo punto sobre la superficie de la Tierra, mientras que una ubicación puede ser de cualquier tamaño. Por ejemplo, puede hacerse referencia a una isla pequeña, o a una aldea, o a un barco en el mar como un "lugar" pero también como una "ubicación"; por el contrario, la mayoría de los países del mundo son demasiado grandes para hacer referencia a ellos como un "lugar" y solo puede hacerse referencia a ellos como una "ubicación". Será claro para las personas con experiencia en la técnica, después de leer la presente descripción, cuándo puede hacerse referencia a una "ubicación" también como un "lugar".

35 Entre los ejemplos citados en el párrafo previo, el barco en el mar subraya el hecho de que una "ubicación" no tiene que encontrarse en una posición fija e inmutable sobre la superficie de la Tierra. De hecho, los sistemas de comunicación por satélite son particularmente útiles para proveer servicios de comunicación a objetos no fijos como, por ejemplo, barcos, aeronaves, autobuses, automóviles, etc. Muchas técnicas son conocidas en la técnica para medir la posición de un objeto no fijo. Por ejemplo, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) puede usarse para medir la posición de un barco en el mar u otro objeto no fijo. Si la posición de un objeto en la superficie de la Tierra se conoce, puede considerarse una "ubicación" según la definición del párrafo previo.

40 El objetivo de la cobertura universal mediante satélites de comunicación puede lograrse con un sistema de satélites basado en órbitas terrestres bajas (LEO, por sus siglas en inglés). A los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones anexas, una órbita de satélite se considerará una órbita LEO si el satélite se encuentra siempre dentro de los 2.000 km de la superficie de la Tierra en todos los puntos en la órbita. Una definición equivalente es que la altitud del satélite por encima de la superficie de la Tierra no debe superar los 2.000 km.

45 Una órbita LEO se llama una órbita "polar" si pasa por encima o casi por encima de ambos polos. A los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones anexas, una órbita polar LEO es una órbita LEO cuya trayectoria terrestre se cruza con los círculos Ártico y Antártico en la superficie de la Tierra. Se hace referencia, respectivamente, a los casquetes polares abarcados por los círculos Ártico y Antártico como las "regiones polares".

50 La Figura 1 ilustra una posible órbita 150 polar LEO para un satélite de comunicación, representada como un satélite 140 LEO. La Figura 1 muestra un esquema del planeta Tierra 110, con contornos de masas continentales claramente delineados. Las posiciones del Polo Norte 120 y del Polo Sur 130 se indican por una línea recta que representa el eje de rotación de la Tierra. La órbita pasa exactamente por encima de los dos polos. El satélite se desplaza a lo largo de la órbita en la dirección de movimiento 101 indicada por la flecha. Con una órbita según se representa en la Figura 1, el satélite necesita casi dos horas para completar una órbita completa.

La Figura 2 presenta una representación más detallada del satélite y su relación con la superficie de la Tierra debajo de aquel. (En la presente figura detallada y en algunas de las figuras posteriores, los contornos continentales en la superficie de la Tierra se han omitido para evitar la confusión visual). El satélite 140 LEO está equipado con una o más antenas radioeléctricas, representadas como antena 210 radioeléctrica. Las antenas transmiten una o más señales radioeléctricas hacia la superficie de la Tierra 110. Dichas transmisiones se muestran en la figura como haz 220 de antena. Las transmisiones radioeléctricas pueden recibirse por terminales de la Tierra que se ubican en la superficie de la Tierra dentro de un área de cobertura representada como área 230 de cobertura. El satélite también puede recibir señales radioeléctricas transmitidas por los terminales de la Tierra. Para los satélites de comunicación, las señales radioeléctricas pueden usarse para soportar canales de comunicación y, por consiguiente, proveer servicios de comunicación bidireccional a dichos terminales de la Tierra. Por el contrario, los terminales de la Tierra que se ubican fuera del área de cobertura no pueden recibir señales suficientemente fuertes del satélite, y sus señales transmitidas no se recibirán con potencia adecuada por el satélite.

A los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones anexas, el término "terminal de la Tierra" se refiere a terminales de comunicación operados por usuarios finales de los servicios de comunicación provistos por un sistema de satélite de comunicación. En muchos de dichos sistemas, los servicios de comunicación proveen conectividad con redes con base en la Tierra como, por ejemplo, Internet. Por lo tanto, los satélites en dichos sistemas normalmente también tienen antenas para retransmitir canales de comunicación a estaciones de retransmisión en la Tierra que se conectan a redes con base en la Tierra. Dichas estaciones de retransmisión se operan, normalmente, por el operador del sistema de satélite de comunicación o sus filiales, y no deben considerarse "terminales de la Tierra" a los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones anexas.

Se hace referencia a las antenas radioeléctricas usadas para los canales de comunicación con terminales de la Tierra como antenas de comunicación, en oposición a las antenas usadas, por ejemplo, para soportar canales de control o para comunicarse con estaciones de retransmisión. Los terminales de la Tierra son dispositivos ubicados sobre o cerca de la superficie de la Tierra (incluidos, por ejemplo, una aeronave o barcos en el mar) que pueden transmitir y recibir señales radioeléctricas para comunicarse con satélites de comunicación a través de las antenas de comunicación de los satélites.

A los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones anexas, el "área de cobertura" de un satélite es la porción de la superficie de la Tierra en donde los terminales de la Tierra pueden acceder a servicios de comunicación mediante el satélite a través de una o más de las antenas de comunicación del satélite. El área de cobertura de un satélite se mueve sobre la superficie de la Tierra junto con el satélite, mientras el satélite se desplaza a lo largo de su órbita. Normalmente, el área de cobertura de un satélite se centra alrededor del punto subsatélite, representado en la Figura 2 como el punto 245 subsatélite. El punto subsatélite es el punto, sobre la superficie de la Tierra, más cercano al satélite. Desde dicho punto, el satélite parece exactamente elevado, en el cenit. Mientras el satélite se desplaza a lo largo de su órbita, el punto subsatélite se mueve junto con este. El trayecto trazado por el punto subsatélite se conoce como la "trayectoria terrestre" trazada por el satélite.

Aunque el área de cobertura se muestra en la Figura 1 como una que tiene una forma circular, otras formas son también posibles.

La Figura 3 representa cómo una forma rectangular o casi rectangular para áreas de cobertura puede ser ventajosa. Una forma casi rectangular permite la cobertura eficaz de la superficie de la Tierra sin áreas dejadas sin cubrir y con solo una cantidad modesta de superposición entre áreas de cobertura adyacentes. La figura muestra áreas 301 a 306 de cobertura casi rectangulares dispuestas para proveer dicha cobertura completa con una cantidad modesta de superposición.

La Figura 4 ilustra la relación entre la órbita de un satélite y la trayectoria terrestre del satélite. El satélite 440 LEO orbita la Tierra en la órbita 450 polar LEO. Mientras el satélite se desplaza a lo largo de su órbita, el punto 445 subsatélite traza un trayecto sobre la superficie de la Tierra. El trayecto se ilustra en la Figura 4 como trayectoria terrestre 447. La órbita 450 es una órbita polar según la definición provista anteriormente dado que la trayectoria terrestre 447 pasa bien dentro de los dos círculos árticos. En particular, la inclinación orbital de la órbita 450, según se representa, es aproximadamente de 80°.

En la Figura 4, la órbita del satélite es circular y, por consiguiente, la trayectoria terrestre 447 del satélite se representa como un gran círculo sobre la superficie de la Tierra. Sin embargo, según lo ya observado, el satélite necesita casi dos horas para completar una órbita completa. Durante dicho período, la Tierra rota casi 30°. Por lo tanto, la representación de contornos continentales y líneas de división sobre la superficie de la Tierra en la Figura 4 debe interpretarse simplemente como una instantánea de la posición de la Tierra en un solo punto en el tiempo durante dicho período. Mientras el punto subsatélite se desplaza a lo largo de la trayectoria terrestre, la Tierra rota a una velocidad constante de modo que el trayecto real trazado por el punto subsatélite sobre la superficie de la Tierra no será un círculo. Cuando el satélite completa una órbita completa y regresa al mismo punto en la órbita, el punto subsatélite no se encontrará en el mismo lugar sobre la superficie de la Tierra.

En general, el punto subsatélite nunca regresará al mismo lugar exacto sobre la superficie de la Tierra salvo que el período de la órbita se haya elegido a propósito para lograr dicho resultado. Por ejemplo, el período orbital de satélites GPS se ha elegido de modo que el punto subsatélite vuelve a trazar la misma trayectoria terrestre después de alrededor de dos órbitas. Con el fin de lograr dicho resultado para satélites GPS, el período orbital se ha elegido cuidadosamente para que sea casi igual a la mitad de un día sideral. Su valor exacto se ha concebido de modo que, incluso en presencia de la precesión orbital provocada por mareas y por el aplastamiento de la Tierra en los polos, los satélites GPS vuelven a trazar la misma trayectoria terrestre después de dos órbitas completas.

En la presente figura y en las otras figuras en la presente descripción donde los contornos continentales y/o líneas de división se ilustran, se comprenderá que dichos contornos y líneas de división representan una instantánea de la posición de la Tierra en un punto particular en el tiempo, y que la Tierra está, en realidad, rotando todo el tiempo. En dichas figuras, los patrones representados sobre la superficie de la Tierra deben comprenderse como unos que son lo que serían si la Tierra no estuviera rotando. Será claro para las personas con experiencia en la técnica, después de leer la presente descripción, cómo modificar dichos patrones, si se desea, para representar la rotación de la Tierra. Los patrones ilustrados en la presente descripción son apropiados para ilustrar la presente invención y sus realizaciones.

En la Figura 4, el área de cobertura del satélite 440 no se representa de forma explícita. Sin embargo, a partir de la ilustración de la Figura 2, es claro que solo una pequeña porción de la superficie de la Tierra debajo del satélite disfrutará servicios de comunicación a través del satélite en cualquier momento dado. Con el fin de lograr una cobertura universal, se requieren múltiples satélites.

La Figura 5 muestra cómo múltiples satélites en la misma órbita (a saber, que co-orbitan) pueden proveer cobertura ininterrumpida continua a ubicaciones debajo de la órbita (a saber, a lo largo y cerca de la trayectoria terrestre). La órbita 150 polar LEO es un círculo, y veinticuatro satélites 540 orbitan la Tierra en la órbita 150. (En la figura, para evitar la confusión visual, solo cinco de los veinticuatro satélites 540 se etiquetan de forma explícita). Los satélites se representan como puntos negros. Estos se encuentran espaciados de manera uniforme a lo largo de la órbita y, dado que la órbita es circular, se mueven todos a la misma velocidad en todo momento, de modo que el espaciado entre los satélites permanece constante. Cada satélite provee servicios de comunicación a un área de cobertura centrada alrededor de su punto subsatélite. Por consiguiente, en la Figura 5 hay veinticuatro áreas 530 de cobertura. (En la figura, para evitar la confusión visual, solo cuatro de las veinticuatro áreas 530 de cobertura se etiquetan de forma explícita). Ello es ventajoso si las áreas de cobertura de los satélites tienen una forma casi rectangular según se ilustra en la Figura 3 dado que las áreas de cobertura adyacentes pueden proveer cobertura continua con una cantidad modesta de superposición.

La Figura 6 muestra los veinticuatro satélites 540 que co-orbitan desde un punto de vista diferente. La figura también muestra la forma de la cobertura combinada provista por los satélites. Esta se ilustra como banda 647-1 de cobertura. Esta tiene la forma de un lazo (de ahí, el nombre de "banda") que rodea la Tierra, con la trayectoria terrestre del satélite siguiendo la línea central del lazo. (Las áreas 530 de cobertura individuales no se muestran de forma explícita). Es claro a partir de la Figura 6 que la banda 647-1 de cobertura solo cubre una porción de la superficie de la Tierra; por lo tanto, con el fin de proveer cobertura universal, se necesitan más satélites en más órbitas.

La Figura 7 representa dos órbitas de satélite distintas en donde ambas órbitas son órbitas polares LEO circulares con la misma forma, altitud e inclinación. Las leyes de Kepler establecen que las dos órbitas deben cruzarse entre sí en dos puntos. Uno de los puntos de intersección es visible en la figura como el punto 751 de intersección ubicado cerca del Polo Norte. El otro punto de intersección está cerca del Polo Sur y está oculto a la vista.

La Figura 8 representa las bandas de cobertura correspondientes a las dos órbitas de la Figura 7. La banda 647-1 de cobertura corresponde a la órbita 450 y se representa con rayado vertical; la banda 647-2 de cobertura corresponde a la órbita 750 y se representa con rayado horizontal. El ángulo entre las dos órbitas se ha elegido deliberadamente de modo que las dos bandas de cobertura apenas se tocan entre sí mientras cruzan el ecuador 810 de la Tierra. Sin embargo, en otras latitudes, a medida que las bandas se aproximan a las regiones polares, hay más y más superposición entre las dos bandas. El área de superposición se representa como área de superposición 860 con ambos rayados vertical y horizontal.

Es claro a partir de la representación de la Figura 8 que la incorporación de una segunda órbita expande la cobertura total, pero el área cubierta no se duplica dado que hay una superposición sustancial entre las dos bandas de cobertura. La presencia de superposición puede considerarse una pérdida de recursos dado que, en el área de superposición, hay dos satélites disponibles en todo momento para proveer cobertura redundante. Uno podría argumentar que dicha cobertura redundante en realidad provee una oportunidad para ofrecer mayor capacidad de comunicación a los terminales de la Tierra ubicados en el área de superposición. De hecho, un terminal de la Tierra ubicado en dicha área puede comunicarse con ambos satélites y, por consiguiente, disfrutar de doble capacidad, en comparación con la comunicación con un satélite solamente. De manera equivalente, dos terminales de la Tierra

distintos en dicha área pueden comunicarse con dos satélites distintos, de modo que cada terminal disfruta de la capacidad total de un satélite, en lugar de tener que compartir dicha capacidad con el otro terminal.

Desafortunadamente, dicha capacidad mejorada no es tan útil como podría parecer. Ello se debe a la rotación de la Tierra. Según lo ya observado más arriba, la Tierra está rotando constantemente bajo el patrón de bandas de cobertura. El esquema de continentes y líneas de división que se muestra en la Figura 8 es solo una instantánea de la posición de la Tierra en un punto particular en el tiempo. El ancho de una banda de cobertura, según se representa en la Figura 8, es de alrededor de 10°. La Tierra requiere menos de cuarenta minutos para rotar 10°. Por lo tanto, una ubicación que se encuentra en el área de superposición en algún momento particular puede fácilmente ya no estar en dicha área unos minutos después. Dicha disponibilidad errática de capacidad mejorada se considera, en general, no muy útil. Por otro lado, si fuera posible garantizar que una ubicación particular estará en un área de superposición en todo momento, sería entonces posible aprovechar la doble capacidad. De manera alternativa, también sería útil si fuera posible, por ejemplo, planificar con antelación, y a petición, que una ubicación particular se encuentre en un área de superposición en un momento particular deseado en el futuro. En dicho caso, la capacidad adicional disponible en el área de superposición podría utilizarse de manera eficaz; es preciso ver el documento US 6,081,227 (Haber y otros).

Compendio

Las realizaciones de la presente invención son útiles con sistemas de satélites de comunicación basados en órbitas LEO. La Figura 9 representa un sistema con dieciocho órbitas polares LEO y treinta y seis satélites en cada órbita, para un total de 648 satélites. Los dieciocho planos orbitales se encuentran espaciados de manera uniforme en incrementos de 10°. Las realizaciones de la presente invención se basan en el hecho de que la posición sobre la superficie de la Tierra del área de cobertura de un satélite puede cambiarse, dentro de un rango limitado, sin cambiar la posición y trayectoria del propio satélite. En particular, en la Figura 2, el área 230 de cobertura del satélite se muestra centrada alrededor del punto subsatélite, como se realiza normalmente en la técnica. Sin embargo, el área de cobertura puede colocarse fácilmente de manera descentrada mediante el simple cambio de la orientación del satélite.

La orientación de un satélite se controla por el módulo de control de actitud del satélite, que comprende hardware y software para controlar y ajustar la orientación del satélite. Por ejemplo, un módulo de control de actitud puede comprender un conjunto de ruedas de reacción cuya velocidad de rotación determina la velocidad de rotación del cuerpo del satélite. El módulo de control de actitud puede hacer que el satélite rote sin cambiar la trayectoria del satélite. En particular, puede hacer que el satélite rote alrededor de un eje paralelo a su dirección de movimiento a lo largo de la órbita. Dicho eje se conoce en la técnica como el eje "de balanceo" (en oposición al eje "de cabeceo" y al eje "de guiñada").

En el idioma inglés, el verbo "rotar" y sus formas conjugadas ("rotando", "rotación", etc.) pueden ser tanto transitivas como intransitivas. En la presente descripción y en las reivindicaciones anexas, se usan ambas variantes. Por ejemplo, el verbo es intransitivo en "la Tierra rota" pero es un verbo transitivo en "el satélite es rotado por el módulo de control de actitud". Será claro a partir del contexto qué variante se usa en cada caso.

Cuando el satélite rota, la orientación de todo el cuerpo del satélite cambia, incluida la orientación de las antenas de comunicación, si se encuentran fijadas, de manera rígida, al cuerpo del satélite. Como resultado de la rotación de las antenas de comunicación, la posición del área de cobertura sobre la superficie de la Tierra, en general, cambiará. En particular, si la rotación es alrededor del eje de balanceo, el área de cobertura se moverá fuera de la banda de cobertura representada en la Figura 6. Como resultado, debido a la rotación, la forma de la banda de cobertura real se alterará, en comparación con la forma nominal representada en la Figura 6. Un ejemplo de cómo la forma puede alterarse se representa en la Figura 18.

La forma alterada de la banda de cobertura hace que la posición de áreas de superposición con otras bandas de cobertura cambie. Los sistemas de satélites de comunicación según las realizaciones de la presente invención controlan la extensión y el tiempo de rotaciones de satélite de manera adaptativa, mientras la Tierra rota, para hacer que las áreas de superposición se encuentren en ubicaciones designadas sobre la superficie de la Tierra donde la capacidad de comunicación mejorada se desea.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 representa un satélite de comunicación en la órbita polar LEO en la técnica anterior.

La Figura 2 ilustra las definiciones de área de cobertura de satélite y de punto subsatélite en la técnica anterior.

La Figura 3 ilustra cómo las áreas de cobertura casi rectangulares pueden ser eficaces para proveer cobertura eficaz de la superficie de la Tierra.

La Figura 4 ilustra la definición de trayectoria terrestre del satélite en la técnica anterior.

La Figura 5 representa cómo múltiples satélites que co-orbitan pueden proveer cobertura continua de ubicaciones sobre la superficie de la Tierra que residen cerca de la trayectoria terrestre de los satélites en la técnica anterior.

La Figura 6 ilustra cómo las áreas de cobertura de múltiples satélites que co-orbitan se combinan en una sola banda de cobertura en la técnica anterior.

- 5 La Figura 7 ilustra cómo múltiples órbitas de satélite se usan en sistemas de satélites de comunicación en la técnica anterior para lograr la cobertura universal.

La Figura 8 muestra la relación geométrica entre bandas de cobertura adyacentes asociadas a órbitas adyacentes en la técnica anterior.

- 10 La Figura 9 representa una instantánea de un sistema de satélites de comunicación que puede utilizar una realización de la presente invención. El sistema tiene 648 satélites dispuestos en 18 órbitas polares LEO en planos orbitales espaciados de manera uniforme, cada uno con 36 satélites que co-orbitan distribuidos de manera uniforme a lo largo de la órbita. Los satélites se representan como puntos negros.

La Figura 10 representa cómo las bandas de cobertura de satélites en órbitas adyacentes proveen cobertura total sin superponerse en el ecuador de la Tierra.

- 15 La Figura 11 representa cómo las bandas de cobertura de satélites en órbitas adyacentes tienen una extensión pequeña de superposición a una latitud de 30°.

La Figura 12 representa cómo la extensión de superposición de bandas de cobertura puede aumentar mediante satélites que rotan alrededor de sus ejes de balanceo. En la presente descripción, "inclinarse" se usa como sinónimo de "rotar".

- 20 La Figura 13 representa cómo el aumento de la extensión de superposición de bandas de cobertura se encuentra limitado por la rotación de satélite máxima admisible (inclinación).

La Figura 14 representa cómo la extensión de la superposición de bandas de cobertura es mayor en latitudes más lejanas del ecuador.

- 25 La Figura 15 representa cómo es posible rotar satélites en múltiples órbitas adyacentes para evitar espacios vacíos de cobertura.

Las Figuras 16a a 16e representan una secuencia de combinaciones diferentes de rotaciones de satélite que pueden implementarse para garantizar que una ubicación designada sobre la superficie de la Tierra permanece en un área de superposición de bandas de cobertura en todo momento mientras la Tierra rota. En dichas figuras, la ubicación designada es de una extensión pequeña.

- 30 Las Figuras 17a a 17f representan una secuencia de combinaciones diferentes de rotaciones de satélite que pueden implementarse para garantizar que una ubicación designada sobre la superficie de la Tierra permanece en un área de superposición de bandas de cobertura en todo momento mientras la Tierra rota. En dichas figuras, la ubicación designada es de extensión grande.

- 35 La Figura 18 representa la forma geométrica de una banda de cobertura que se ha alterado mediante la implementación de rotaciones de satélite en ciertos puntos en la órbita de los satélites.

Descripción detallada

- 40 Las realizaciones de la presente invención hacen posible designar ciertas ubicaciones sobre la superficie de la Tierra donde es deseable tener capacidad de comunicación mejorada. Para algunas ubicaciones designadas, puede ser deseable tener capacidad mejorada en todo momento; para otras, puede ser deseable tener capacidad mejorada en ciertos momentos del día o a petición, por ejemplo, en caso de episodios o situaciones especiales.

- 45 En general, las realizaciones de la presente invención pueden garantizar que una ubicación designada tiene una cobertura doble durante un intervalo de tiempo predesignado. Dicho intervalo de tiempo puede ser, por ejemplo, una porción particular del día que se repite cada día, o cada día hábil, o cualquier selección de días y horarios que sean convenientes para un usuario final particular en la ubicación designada. Algunos usuarios finales pueden querer que el intervalo de tiempo predesignado sea de 24 horas cada día para la cobertura doble ininterrumpida en todo momento.

- 50 Los sistemas de satélites de comunicación son, en particular, ventajosos para proveer servicios de comunicación a ubicaciones donde los sistemas de comunicación terrestre no se encuentran disponibles o son difíciles de acceder. Un solo satélite de comunicación puede tener, por ejemplo, diez a veinte antenas de comunicación, y cada antena puede proveer tanto como varios cientos de Mbit/s de capacidad de comunicación. Sin embargo, los lugares en la

Tierra donde la capacidad se necesita tienden a agruparse juntos. Por ejemplo, un pueblo pequeño en un área remota puede beneficiarse del acceso a la comunicación mediante satélite, pero el pueblo pequeño será, probablemente, lo suficientemente pequeño para caber enteramente dentro de un solo haz de antena. En dicha situación, la capacidad total disponible para dicho pueblo pequeño se encuentra limitada por la capacidad de una sola antena de satélite, si solo un satélite se encuentra disponible.

Un ejemplo, en particular, notable del presente problema se provee por cruceros en altamar, para los cuales los satélites son el único medio práctico para comunicarse con el resto del mundo. Un crucero moderno puede tener tanto como seis mil pasajeros y más de dos mil miembros de la tripulación. Si la capacidad disponible para dicho crucero se encuentra limitada a los pocos cientos de Mbit/s provistos por una sola antena de satélite, cada persona a bordo del barco tiene acceso a solamente unas pocas decenas de kbit/s, en promedio. Claramente, será de gran beneficio duplicar la capacidad disponible para dicho crucero.

Los sistemas de satélites de comunicación de la técnica anterior están, normalmente, estructurados para garantizar que cada lugar en la Tierra esté siempre dentro de la vista de al menos un satélite, de modo que pueda garantizarse que la conectividad para usuarios finales esté disponible en todo momento. Según se describe en la sección Antecedentes, ello significa que muchos lugares en la Tierra estarán, en realidad, dentro de la vista de dos o más satélites en cualquier momento dado. Algunos lugares, en especial, cerca de los polos, disfrutarán dicha cobertura doble en todo momento. Pero, normalmente, dichos lugares no se encuentran donde existe demanda de capacidad mejorada. Dicha demanda existirá, más probablemente, en latitudes medias, donde vive una gran porción de la población humana.

Es claro a partir de la Figura 8 que, en latitudes medias, hay porciones sustanciales de la superficie de la Tierra que disfrutan de la cobertura doble en cualquier momento dado, en sistemas de la técnica anterior. Pero los sistemas de la técnica anterior no pueden controlar cuándo y dónde la cobertura doble se encuentra disponible. Como resultado, en cualquier momento dado, hay un montón de cobertura doble disponible en áreas donde no se necesita; y no puede garantizarse que áreas donde se necesita la tengan cuando la necesiten. Por el contrario, con las realizaciones de la presente invención, es posible transferir cobertura doble de áreas donde se encuentra disponible, pero no se necesita, a áreas donde se necesita. Todo el tiempo, se continúa con la garantía de conectividad, con al menos una cobertura única, en todos lados.

La Figura 10 es un diagrama de cobertura de satélite en el ecuador de la Tierra. La línea 110 curva representa la superficie de la Tierra en el ecuador como podría verse para una posición por encima del Polo Norte. Desde dicho punto de vista, las órbitas polares LEO como, por ejemplo, aquellas que se muestran en la Figura 7, son líneas que salen del plano de la figura. La Figura 10 también muestra siete satélites 1040 LEO en órbitas polares adyacentes. Los satélites se representan como puntos negros.

Con el fin de evitar el agrupamiento visual en la figura, cada satélite se representa como uno que tiene una sola antena de comunicación. Los haces de antena correspondientes se representan como haces 220-1 a 220-7 de antena. Cada haz de antena se muestra como uno que abarca el ancho de una banda de cobertura correspondiente. Hay siete bandas 647-1 a 647-7 de cobertura. Según se explica en conjunto con la Figura 8, las bandas de cobertura proveen cobertura total sin superposiciones en el ecuador, como se representa en la Figura 10.

La Figura 11 es un diagrama de cobertura de satélite en latitudes lejanas al ecuador, pero no tan lejanas como las latitudes medias. El diagrama de la Figura 11 es para una latitud de 30°. El diagrama es válido tanto para una latitud del norte como del sur de 30°. En dichas latitudes, hay cierta superposición entre bandas de cobertura adyacentes, lo cual se muestra en la figura como superposición 1110, pero la extensión de la superposición es pequeña. Es solamente de alrededor del 12% en dichas latitudes. Con dicha superposición pequeña es difícil (aunque no imposible) implementar realizaciones de la presente invención para transferir la doble capacidad disponible en el área de superposición de un lugar en la Tierra a otro. Los detalles se ilustran en las siguientes figuras.

La Figura 12 ilustra un elemento básico de las técnicas empleadas por las realizaciones de la presente invención: rotación de satélite, o "inclinación". En la presente descripción, el verbo "inclinarse" se usa como sinónimo más corto del verbo "rotar". La palabra más corta ayuda a hacer que las figuras estén menos agrupadas y sean más fáciles de comprender. La Figura 12 representa un satélite 1245 como uno que ha rotado (se ha inclinado) alrededor de su eje de balanceo para mover su área de cobertura hacia el oeste, a saber, hacia el satélite 1240, el cual no se encuentra inclinado. La rotación del satélite 1245 se ha logrado mediante el módulo de control de actitud del satélite, que ha rotado el satélite en el ángulo que se muestra en la Figura 12 como el ángulo 1230 de inclinación.

En la figura, la dirección vertical para el satélite 1220 se muestra por la línea 1220 punteada vertical, mientras la línea 1221 punteada muestra el eje de simetría del haz de antena. El punto donde la línea vertical 1220 se encuentra con la superficie de la Tierra es el punto subsatélite, mientras que el punto donde la línea 1221 punteada se encuentra con la superficie de la Tierra es el centro aproximado del área de cobertura del satélite 1245. Las dos líneas coinciden para un satélite no inclinado y, para un satélite inclinado, el ángulo entre las dos líneas es el ángulo en el cual el satélite se ha inclinado, en comparación con la orientación de satélite nominal.

El diagrama de la Figura 12 muestra que la inclinación de satélite aumenta la extensión de superposición entre el área de cobertura del satélite 1245 y el área de cobertura del satélite 1240. El aumento viene a costa de una reducción en la extensión de superposición con la banda de cobertura adyacente en el otro lado del satélite 1245 (no se muestra en la Figura 12). En este sentido, la inclinación del satélite puede verse como una técnica para transferir superposición, y la doble capacidad asociada, de una ubicación a otra.

La Figura 13 ilustra un límite con respecto a cuánta superposición puede transferirse mediante la inclinación del satélite. El ángulo en el cual un satélite puede inclinarse no se encuentra limitado, por una variedad de motivos. Por ejemplo, puede haber un límite inferior a la elevación admisible de un satélite por encima del horizonte, como se ve por un terminal de la Tierra. Una consecuencia de dicho límite de elevación es un límite a la inclinación del satélite dado que, si un satélite se inclina demasiado, los terminales de la Tierra cerca del borde del área de cobertura pueden ver el satélite demasiado bajo por encima del horizonte. Asimismo, puede requerirse que la distancia entre un terminal de la Tierra y el satélite no sea mayor que un valor admisible máximo, lo cual también resulta en un límite de inclinación. Por estos y otros motivos, habrá un ángulo de inclinación admisible máximo en muchas realizaciones de la invención.

El diagrama de la Figura 13 muestra qué ocurre cuando un satélite se inclina en la cantidad máxima. El satélite 1345 se encuentra a una inclinación máxima, habiéndose inclinado en un ángulo 1330 de inclinación máximo. La extensión de superposición 1310 aumentada se encuentra en su valor posible máximo, para dicha latitud. Lamentablemente, en el diagrama ilustrativo de la Figura 13, ello no es suficiente para que el borde del área de cobertura inclinada del satélite 1345 alcance la línea central de la banda de cobertura adyacente, cuya posición se indica en la figura por una flecha. La flecha se etiqueta "trayectoria terrestre 1347 del satélite 1240" dado que dicha trayectoria terrestre es la línea central de la banda de cobertura adyacente, según se ilustra en la Figura 6.

Existe una importante consecuencia del hecho de que el alcance máximo del área de cobertura del satélite 1345 inclinado no vaya tan lejos como la flecha en la Figura 13: un lugar en la Tierra que se encuentra en la posición de dicha flecha no podrá tener doble capacidad. Por lo tanto, en dichas latitudes, las realizaciones de la presente invención no pueden garantizar, de manera incondicional, la doble capacidad a una ubicación designada dado que, mientras la Tierra rota, dicha ubicación puede, en cierto punto, encontrarse en la línea central de una banda de cobertura y ningún satélite en órbitas adyacentes podrá inclinarse de manera suficientemente lejos para alcanzarla. Con el fin de permitir dicha capacidad doble garantizada de forma incondicional, el ángulo de inclinación máximo puede, por ejemplo, aumentarse, o el ancho de bandas de cobertura puede aumentarse al punto donde, incluso en el ecuador, hay cierta superposición entre bandas de cobertura adyacentes. Será claro para las personas con experiencia en la técnica, después de leer la presente descripción, cuándo y cuánto aumentar el ancho de las bandas de cobertura o el ángulo de inclinación máximo con el fin de poder implementar realizaciones de la presente invención en una latitud deseada.

La Figura 14 ilustra cómo la inclinación del satélite se convierte en eficaz, en latitudes más altas, para transferir capacidad doble de manera incondicional a cualquier ubicación. El diagrama de la Figura 14 es para una latitud de 40°, al norte o sur del ecuador. En dichas latitudes, la superposición entre bandas de cobertura adyacentes es de alrededor del 23% y, en la representación de la Figura 14, el ángulo de inclinación admisible máximo es suficientemente grande para que cualquier lugar designado en la Tierra pueda recibir, de manera incondicional, doble capacidad mediante la inclinación del satélite. Ello se ilustra en la Figura 14 por el satélite 1345, que se inclina en el ángulo 1330 de inclinación admisible máximo. El borde de su área de cobertura alcanza tanto como la trayectoria terrestre 1347 del satélite 1240, denotado por la flecha. Con dicho ángulo de inclinación, un lugar en la flecha disfrutará la doble capacidad. Para lugares que son más cercanos al satélite 1345 que la flecha, un ángulo de inclinación menor será suficiente para proveerles doble capacidad.

La figura muestra, sin embargo, que un espacio 1450 en la cobertura del satélite aparece entre el satélite 1345 y la banda de cobertura adyacente en el lado opuesto a la flecha. Ello puede abordarse mediante la inclinación de un satélite adicional, como se muestra en la siguiente figura.

La Figura 15 muestra cómo el espacio 1450 puede eliminarse mediante la inclinación progresiva de satélites adyacentes. En la figura, el satélite 1545 se inclina en un ángulo menor que el máximo permitido. El ángulo es suficiente para que el espacio 1450 se convierta en cubierto por el área de cobertura del satélite 1545 sin que un espacio adicional aparezca en otro lugar. Sin embargo, será claro para las personas con experiencia en la técnica, después de leer la presente descripción, cómo inclinar, de manera progresiva, satélites adicionales, si fuera necesario, para cubrir otros espacios que pueden aparecer.

Las Figuras 16a a 16e representan una secuencia de diferentes combinaciones de inclinaciones de satélite que pueden implementarse para garantizar que una ubicación 1600 designada sobre la superficie de la Tierra, en latitudes medias, disfrute la doble capacidad en todo momento mientras la Tierra rota. En dichas figuras, la ubicación designada es suficientemente pequeña para que pueda considerarse un solo lugar en la Tierra cuya posición se indica por la flecha blanca en las figuras.

5 La secuencia comienza con la Figura 16a, en donde la ubicación designada se encuentra en la línea central de la banda de cobertura del satélite 1240. La combinación de inclinaciones de satélite que logra la doble capacidad para la presente posición de la ubicación designada es, por supuesto, la combinación que ya se ha representado en la Figura 15. En las figuras posteriores, mientras la Tierra rota, la posición de la ubicación designada indicada por la flecha blanca se moverá hacia la izquierda, en la dirección indicada por la rotación 1610 de la Tierra por la flecha negra.

10 En la Figura 16b, la ubicación designada se ha movido en un par de grados de longitud. Ahora está más cerca del satélite 1245 y, como resultado, el satélite 1245 no necesita inclinarse tanto como antes para proveer doble capacidad a la ubicación designada. Asimismo, la inclinación reducida del satélite 1245 significa que ya no es necesario inclinar el satélite 1545 con el fin de cubrir un espacio.

En la Figura 16c, la ubicación designada se ha movido más y ahora se encuentra en el área de superposición que ocurre entre bandas de cobertura adyacentes, en dichas latitudes, incluso sin inclinación del satélite. Ninguna inclinación del satélite se necesita para proveer doble capacidad a la ubicación designada en la presente figura.

15 En la Figura 16d, mientras la Tierra continúa rotando, la ubicación designada ha alcanzado ahora el punto donde el satélite 1240 necesita inclinarse con el fin de continuar proporcionando doble capacidad a la ubicación designada. Ningún otro satélite necesita inclinarse. El diagrama de la Figura 16d se ve como una imagen en espejo del diagrama de la Figura 16b.

20 En la Figura 16e, la ubicación designada ha alcanzado la línea central de la banda de cobertura del satélite 1245. El diagrama de la Figura 16e se ve como una imagen en espejo del diagrama de la Figura 16a. Dado que la ubicación designada se encuentra ahora en la línea central de una banda de cobertura, el satélite 1240 debe inclinarse en el ángulo máximo, y el satélite 1640 debe también inclinarse para cubrir el espacio en cobertura que de otra manera aparecería.

Mientras la ubicación designada continúa moviéndose con la rotación de la Tierra, la secuencia de las Figuras 16a a 16e puede ahora repetirse con el nuevo punto inicial en la línea central de la banda de cobertura del satélite 1245.

25 Las Figuras 16a a 16e son para una ubicación en la Tierra que es suficientemente pequeña para considerarse un solo lugar, pero, a veces, es deseable proveer doble capacidad a una ubicación que tiene una extensión más ancha como, por ejemplo, una ciudad muy grande o un país pequeño.

30 Las Figuras 17a a 17f representan una secuencia de combinaciones de inclinaciones de satélite para garantizar la doble capacidad en todo momento a una ubicación cuya extensión es casi tan ancha como una banda de cobertura total. Por supuesto, en comparación con la secuencia de las Figuras 16a a 16e, más satélites necesitan inclinarse para garantizar capacidad doble a dicha ubicación grande. En las figuras, la ubicación extendida que se cubrirá se representa como un rectángulo 1700 blanco que es casi tan ancho como una banda de cobertura.

35 La secuencia comienza con la Figura 17a, en donde la ubicación designada se centra en la banda de cobertura del satélite 1240. Con el fin de proveer capacidad doble a todo el ancho de la ubicación designada, los satélites 1245 y 1746 en ambos lados necesitan inclinarse. Además, la inclinación progresiva de los siguientes dos satélites 1545 y 1747 también se necesita para evitar la aparición de espacios de cobertura.

En la Figura 17b, la ubicación designada se ha movido en un par de grados de longitud. Los satélites 1545, 1245, 1746 y 1747 necesitan retener sus ángulos de inclinación, pero ahora incluso el satélite 1240 necesita comenzar a inclinarse, de modo que su área de cobertura siga la ubicación 1700 extendida mientras la Tierra gira.

40 En la Figura 17c, el ángulo de inclinación del satélite 1240 ha alcanzado el máximo permitido y no puede inclinarse más. Con el fin de continuar proporcionando capacidad doble a la ubicación 1700 mientras la Tierra continúa girando, algunos otros satélites necesitan comenzar a inclinarse. Ello se muestra en la siguiente figura.

45 En la Figura 17d, el satélite 1545 se ha inclinado ahora en el ángulo máximo, de modo que el borde de su área de cobertura ha alcanzado la línea central de la banda de cobertura debajo del satélite 1245, para encontrarse con el borde del área de cobertura del satélite 1240. De esta manera, la ubicación 1700 extendida puede continuar disfrutando de la doble capacidad. Mientras tanto, el borde oeste de la ubicación 1700 extendida está aún cerca de la línea central de la banda de cobertura debajo del satélite 1240, de modo que el satélite 1245 necesita permanecer en la inclinación máxima. Sin embargo, el satélite 1746 puede ahora reducir su ángulo de inclinación dado que solo necesita cubrir el espacio que de otra manera aparecería si fuera a reducir su ángulo de inclinación a cero. El diagrama de la Figura 17d se ve como una imagen en espejo del diagrama de la Figura 17c.

50 En la Figura 17e, mientras la Tierra continúa rotando, los satélites 1745, 1545, 1240 y 1746 necesitan retener sus ángulos de inclinación mientras el satélite 1245 necesita continuar cambiando su ángulo de inclinación, de modo que su área de cobertura siga la ubicación 1700 extendida mientras la Tierra gira. El diagrama de la Figura 17e se ve como una imagen en espejo del diagrama de la Figura 17b.

En la Figura 17f, la ubicación 1700 designada se centra ahora en la banda de cobertura del satélite 1245. El diagrama de la Figura 17f se ve como una imagen en espejo del diagrama de la Figura 17a, y la secuencia está ahora completa. Mientras la ubicación designada continúa moviéndose con la rotación de la Tierra, la secuencia de las Figuras 17a a 17f puede ahora repetirse con el nuevo punto inicial en la banda de cobertura del satélite 1245.

5 En los diagramas de las Figuras 16a a 16e y 17a a 17f, las mismas designaciones de satélite se usan en figuras consecutivas en aras de la explicación. Sin embargo, las personas con experiencia en la técnica notarán que, en el tiempo que la Tierra requiere para rotar según se muestra en la secuencia de figuras, diferentes satélites estarán presentes, en realidad, en las posiciones marcadas por los puntos negros en diferentes diagramas. Las designaciones de satélite repetidas en dichas figuras deben interpretarse como unas que se refieren a satélites en las mismas órbitas, en oposición a una interpretación literal como una que se refiere a los mismos satélites físicos. Por ejemplo, cuando la descripción de la Figura 17b establece que los "satélites 1545, 1245, 1746 y 1747 necesitan retener su ángulo de inclinación", no debe interpretarse que la declaración significa que algunos satélites físicos deben permanecer inclinados en un ángulo de inclinación constante durante el intervalo de tiempo abarcado por las Figuras 17a y 17b. Más bien, mientras los satélites en dichas cuatro órbitas se aproximan a la latitud de 40° durante dicho intervalo de tiempo, ellos necesitan comenzar a rotar para tener los ángulos de inclinación establecidos que se muestran en el diagrama para el tiempo en el que alcanzan la latitud de 40°. Mientras abandonan la latitud de 40°, ellos pueden rotar otra vez a su orientación nominal o, tal vez, comenzar a rotar a un nuevo ángulo de inclinación que puede necesitarse para soportar otra ubicación designada en una latitud diferente. Debe comprenderse que la declaración sobre que los satélites retienen sus ángulos de inclinación significa que los ángulos de inclinación establecidos para satélites en dichas órbitas en dicha latitud no cambian en el intervalo de tiempo entre las dos figuras.

La Figura 18 muestra aquello que ocurre mientras los satélites en una órbita particular se aproximan a una latitud particular en un punto donde una inclinación particular se necesita. La Figura 18 deriva de la Figura 6, pero los contornos continentales y líneas de división no se representan en la presente figura con el fin de reducir el agrupamiento visual. La dirección de movimiento de los satélites que co-orbitan se indica por la flecha 1801. Cuando el módulo de control de actitud de un satélite necesita rotar el satélite, la rotación no puede ser instantánea. Por lo tanto, la rotación necesita iniciarse antes de que el satélite alcance el rango de latitudes donde un ángulo de inclinación particular se necesita.

En la Figura 18, el punto donde una rotación de satélite comienza se muestra como 1810. La rotación es completa cuando el satélite alcanza 1820, y el ángulo de inclinación se retiene entonces a través del rango de latitudes 1830. De allí en adelante, el módulo de control de actitud del satélite implementa una rotación que es inversa a la rotación iniciada en 1810, de modo que, entre 1840 y 1850, el satélite regresa a su orientación nominal.

Todos los satélites que co-orbitan llevan a cabo las maniobras descritas en el párrafo previo cuando pasan por encima de las ubicaciones 1810, 1820, 1840 y 1850. Como resultado, la forma de la banda de cobertura real implementada por los satélites que co-orbitan de la Figura 18 es diferente de la forma nominal de una banda de cobertura representada en la Figura 6. Dicha forma nominal se representa en la Figura 18 por líneas punteadas. La forma real se muestra por el rayado vertical. En los párrafos previos y en las figuras, las referencias a una banda de cobertura del satélite siempre han sido a la banda de cobertura nominal del satélite; por supuesto, las maniobras de inclinación ilustradas en los párrafos y figuras han resultado en bandas de cobertura reales diferentes de la nominal según se ilustra en la Figura 18.

La forma de una banda de cobertura real evoluciona solo lentamente, mientras la Tierra rota y mientras los ángulos de inclinación que se necesitan en una latitud particular cambian mientras el área designada se mueve. Mientras tanto, los satélites que co-orbitan que generan la banda de cobertura se mueven a una velocidad mucho más rápida que el área designada. La forma de la banda de cobertura permanece estable dado que todos los satélites comienzan a rotar en el mismo punto en la órbita; es decir, cuando pasan por encima de la ubicación 1810, la cual puede, por lo tanto, considerarse una ubicación "de activación" que activa el comienzo de rotaciones de satélites.

Aunque las Figuras 10 a 17f representan satélites en órbitas adyacentes como unas que cruzan las mismas latitudes al mismo tiempo, será claro para las personas con experiencia en la técnica, después de leer la presente descripción, que dicha sincronización de satélites no se requiere para la implementación exitosa de las realizaciones de la presente invención. De hecho, por ejemplo, en el sistema de satélite representado en la Figura 9, los satélites en órbitas adyacentes no cruzan las mismas latitudes en los mismos tiempos. La forma alterada de la banda de cobertura real representada en la Figura 18 no depende de la temporización de los satélites 540 con respecto a los satélites en órbitas adyacentes. Será claro para las personas con experiencia en la técnica, después de leer la presente descripción, cómo ajustar los valores exactos de los ángulos de inclinación representados en las Figuras 10 a 17f según sea necesario para alojar una temporización relativa particular entre satélites en órbitas adyacentes.

Se comprenderá que la presente descripción enseña solo uno o más ejemplos de una o más realizaciones ilustrativas, y que muchas variaciones de la invención pueden fácilmente concebirse por las personas con

experiencia en la técnica después de leer la presente descripción, y que el alcance de la presente invención se encuentra definido por las reivindicaciones que acompañan la presente descripción.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de satélites de comunicación en órbitas terrestres bajas, el sistema comprendiendo múltiples satélites de comunicación en órbitas terrestres bajas, la pluralidad incluyendo al menos un primer satélite y un segundo satélite que orbitan la Tierra en dos órbitas distintas, cada satélite comprendiendo:
- 5 una o más antenas de comunicación que proveen servicios de comunicación a un área de cobertura del satélite, dicha área de cobertura siendo una porción de la superficie de la Tierra en donde los terminales de la Tierra pueden acceder a servicios de comunicación mediante el satélite; y
- un módulo de control de actitud para rotar el satélite alrededor de un eje de balanceo de aquel, en donde el módulo de control de actitud del primer satélite hace que este:
- 10 (a) rote alrededor del eje de balanceo de aquel en un primer ángulo cuando el primer satélite pasa por encima de una primera ubicación de activación sobre la superficie de la Tierra y, de esta manera, coloca el primer satélite en una primera orientación rotada, y
- (b) permanezca en la primera orientación rotada durante un intervalo de tiempo de cobertura, de modo que el área de cobertura del primer satélite y el área de cobertura del segundo satélite se superponen, al menos en parte,
- 15 durante el intervalo de tiempo de cobertura, en donde una ubicación designada sobre la superficie de la Tierra permanece dentro de la parte donde las áreas de cobertura se superponen durante el intervalo de tiempo de cobertura.
2. El sistema de satélites de comunicación de la reivindicación 1, en donde al menos dos áreas de cobertura de satélite se superponen en la ubicación designada cada día durante una porción predesignada del día.
- 20 3. El sistema de satélites de comunicación de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en donde los planos de las dos órbitas se cruzan entre sí a lo largo de una línea que cruza la superficie de la Tierra en una región polar.
4. El sistema de satélites de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la ubicación designada comprende una porción de la trayectoria terrestre trazada por el segundo satélite durante el intervalo de tiempo de cobertura.
- 25 5. El sistema de satélites de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el módulo de control de actitud del segundo satélite hace que este:
- (a) rote alrededor del eje de balanceo de aquel en un segundo ángulo cuando el segundo satélite pasa por encima de una segunda ubicación de activación sobre la superficie de la Tierra y, de esta manera, coloca el segundo satélite en una segunda orientación rotada, y
- 30 (b) permanezca en la segunda orientación rotada durante el intervalo de tiempo de cobertura, de modo que el tamaño de la parte donde las áreas de cobertura se superponen se convierte en relativamente más grande.
6. El sistema de satélites de comunicación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde los múltiples satélites de comunicación además comprenden un tercer satélite que tiene una órbita que es distinta de la del primer satélite y segundo satélite, el tercer satélite comprendiendo:
- 35 una o más antenas de comunicación que proveen servicios de comunicación a un área de cobertura del tercer satélite,
- un módulo de control de actitud para rotar el tercer satélite alrededor de un eje de balanceo de aquel y que hace que este:
- 40 (a) rote alrededor del eje de balanceo de aquel en un tercer ángulo cuando el tercer satélite pasa por encima de una tercera ubicación de activación sobre la superficie de la Tierra y, de esta manera, coloca el tercer satélite en una tercera orientación rotada, y
- (b) permanezca en la tercera orientación rotada durante el intervalo de tiempo de cobertura, de modo que una ubicación omitida sobre la superficie de la Tierra se encuentra dentro del área de cobertura del tercer satélite durante el intervalo de tiempo de cobertura, en donde la ubicación omitida se hubiera encontrado dentro del área de cobertura del primer satélite durante el intervalo de tiempo de cobertura, pero para el hecho de que el primer satélite permanece en la primera orientación rotada durante el intervalo de tiempo de cobertura.
- 45 7. Un método para mejorar la capacidad de comunicación de un sistema de satélites de comunicación en órbitas terrestres bajas, los satélites incluyendo un primer satélite y un segundo satélite, el método comprendiendo:

- operar un módulo de control de actitud del primer satélite para hacer que el primer satélite rote alrededor de un eje de balanceo del primer satélite en un primer ángulo cuando el primer satélite pasa por encima de una primera ubicación de activación sobre la superficie de la Tierra y, de esta manera, coloca el primer satélite en una primera orientación rotada;
- 5 operar además el módulo de control de actitud del primer satélite para hacer que el primer satélite permanezca en la primera orientación rotada durante un intervalo de tiempo de cobertura, de modo que un área de cobertura del primer satélite y un área de cobertura del segundo satélite se superponen, al menos en parte, durante el intervalo de tiempo de cobertura;
- 10 en donde el área de cobertura de un satélite es una porción de la superficie de la Tierra en donde los terminales de la Tierra pueden acceder a servicios de comunicación mediante el satélite;
- en donde el primer satélite y el segundo satélite orbitan la Tierra en dos órbitas distintas;
- en donde una ubicación designada sobre la superficie de la Tierra permanece dentro de la parte donde las áreas de cobertura se superponen durante el intervalo de tiempo de cobertura.
- 15 8. El método de la reivindicación 7, en donde al menos dos áreas de cobertura de satélite se superponen en la ubicación designada cada día durante una porción predesignada del día.
9. El método de la reivindicación 7 o de la reivindicación 8, en donde los planos de las dos órbitas se cruzan entre sí a lo largo de una línea que cruza la superficie de la Tierra en una región polar.
10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 en donde la ubicación designada comprende una porción de la trayectoria terrestre trazada por el segundo satélite durante el intervalo de tiempo de cobertura.
- 20 11. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, que además comprende:
- operar el módulo de control de actitud del segundo satélite para hacer que el segundo satélite rote alrededor de un eje de balanceo del segundo satélite en un segundo ángulo cuando el segundo satélite pasa por encima de una segunda ubicación de activación sobre la superficie de la Tierra y, de esta manera, coloca el segundo satélite en una segunda orientación rotada;
- 25 operar además el módulo de control de actitud del segundo satélite para hacer que el segundo satélite permanezca en la segunda orientación rotada durante el intervalo de tiempo de cobertura, de modo que el tamaño de la parte donde la primera y segunda áreas de cobertura se superponen se convierte en más grande.
12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, que además comprende:
- 30 operar un módulo de control de actitud de un tercer satélite para hacer que el tercer satélite rote alrededor de un eje de balanceo del tercer satélite en un tercer ángulo cuando el tercer satélite pasa por encima de una tercera ubicación de activación sobre la superficie de la Tierra y, de esta manera, coloca el tercer satélite en una tercera orientación rotada;
- operar además el módulo de control de actitud del tercer satélite para hacer que el tercer satélite permanezca en la tercera orientación rotada durante un intervalo de tiempo de cobertura, de modo que una ubicación omitida sobre la superficie de la Tierra se encuentra dentro del área de cobertura del tercer satélite durante el intervalo de tiempo de cobertura;
- 35 en donde el tercer satélite orbita la Tierra en una órbita que es distinta de la órbita del primer satélite y de la órbita del segundo satélite;
- en donde la ubicación omitida se hubiera encontrado dentro del área de cobertura del primer satélite durante el intervalo de tiempo de cobertura, pero por el hecho de que el primer satélite permanece en la primera orientación rotada durante el intervalo de tiempo de cobertura.
- 40 13. El sistema de satélites de comunicación de la reivindicación 1, en donde al menos dos áreas de cobertura de satélite se superponen en la ubicación designada en todo momento.
14. El sistema de satélites de comunicación de la reivindicación 1, en donde al menos dos áreas de cobertura de satélite se superponen en la ubicación designada cada día hábil durante una porción predesignada del día.
- 45

FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR
Satélite de comunicación en órbita polar LEO

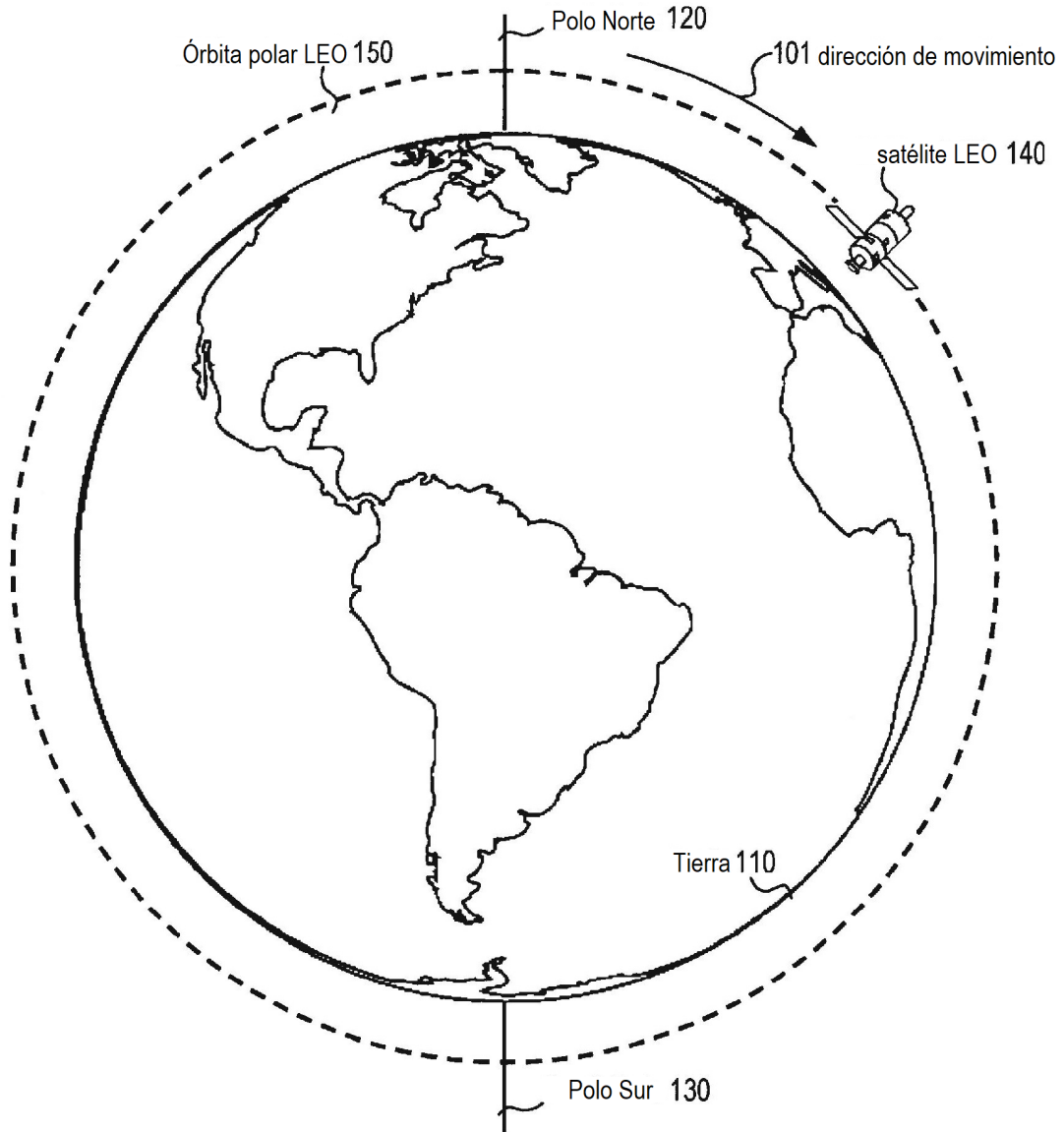


FIG. 2
TÉCNICA ANTERIOR
Área de cobertura de satélite y punto subsatélite

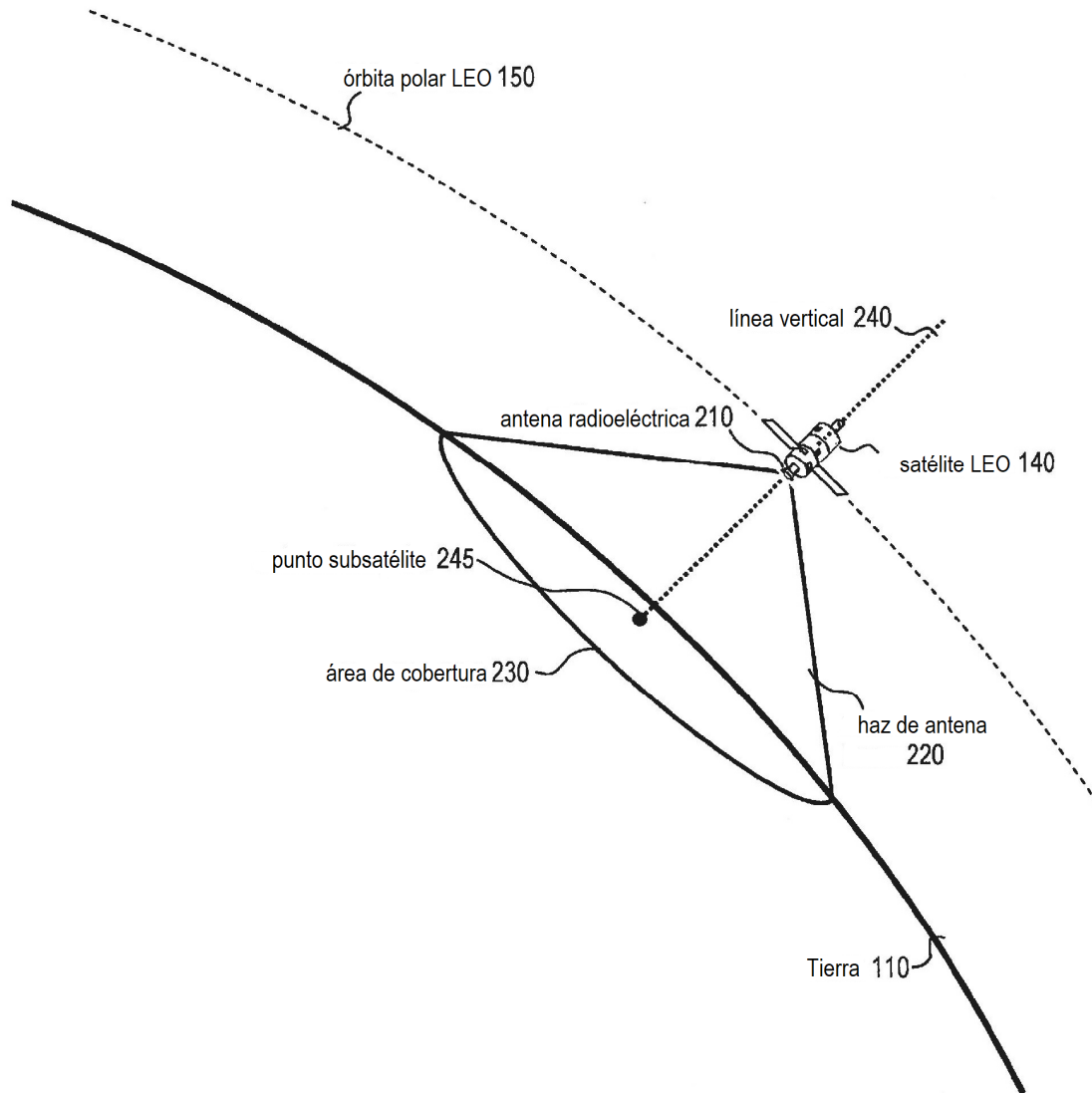


FIG. 3

Inclinación con áreas de cobertura casi rectangulares

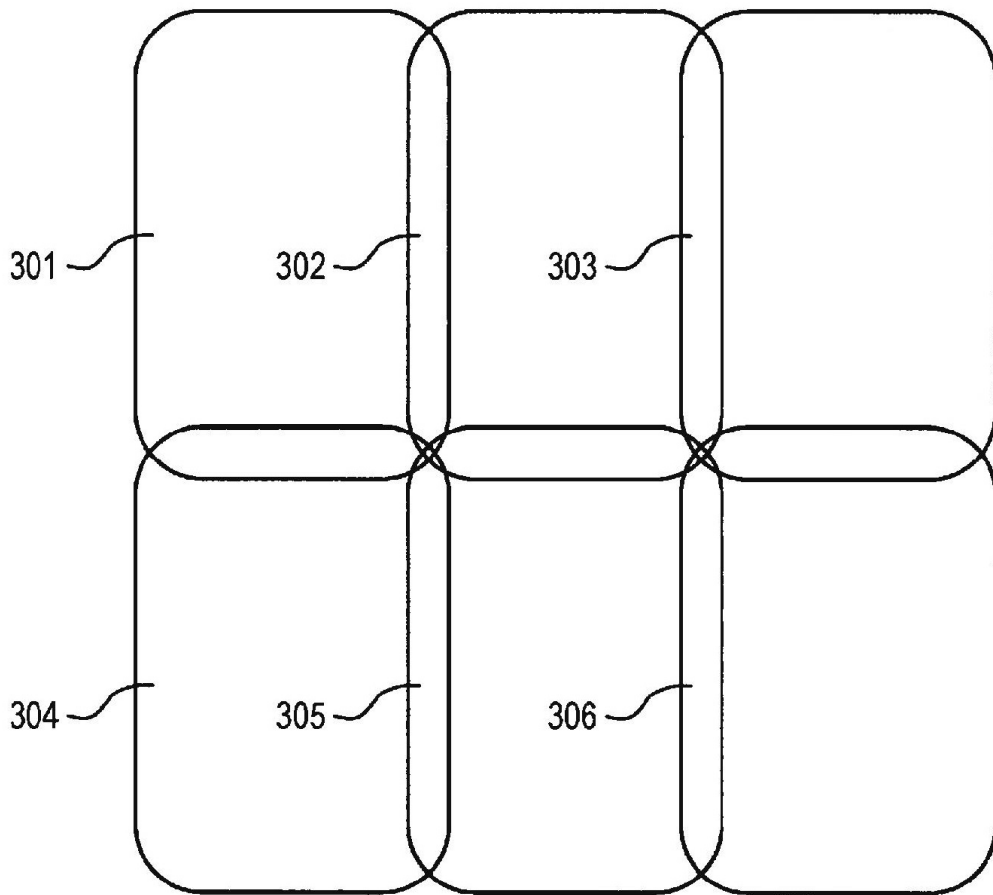


FIG. 4

TÉCNICA ANTERIOR

Trayectoria terrestre del satélite

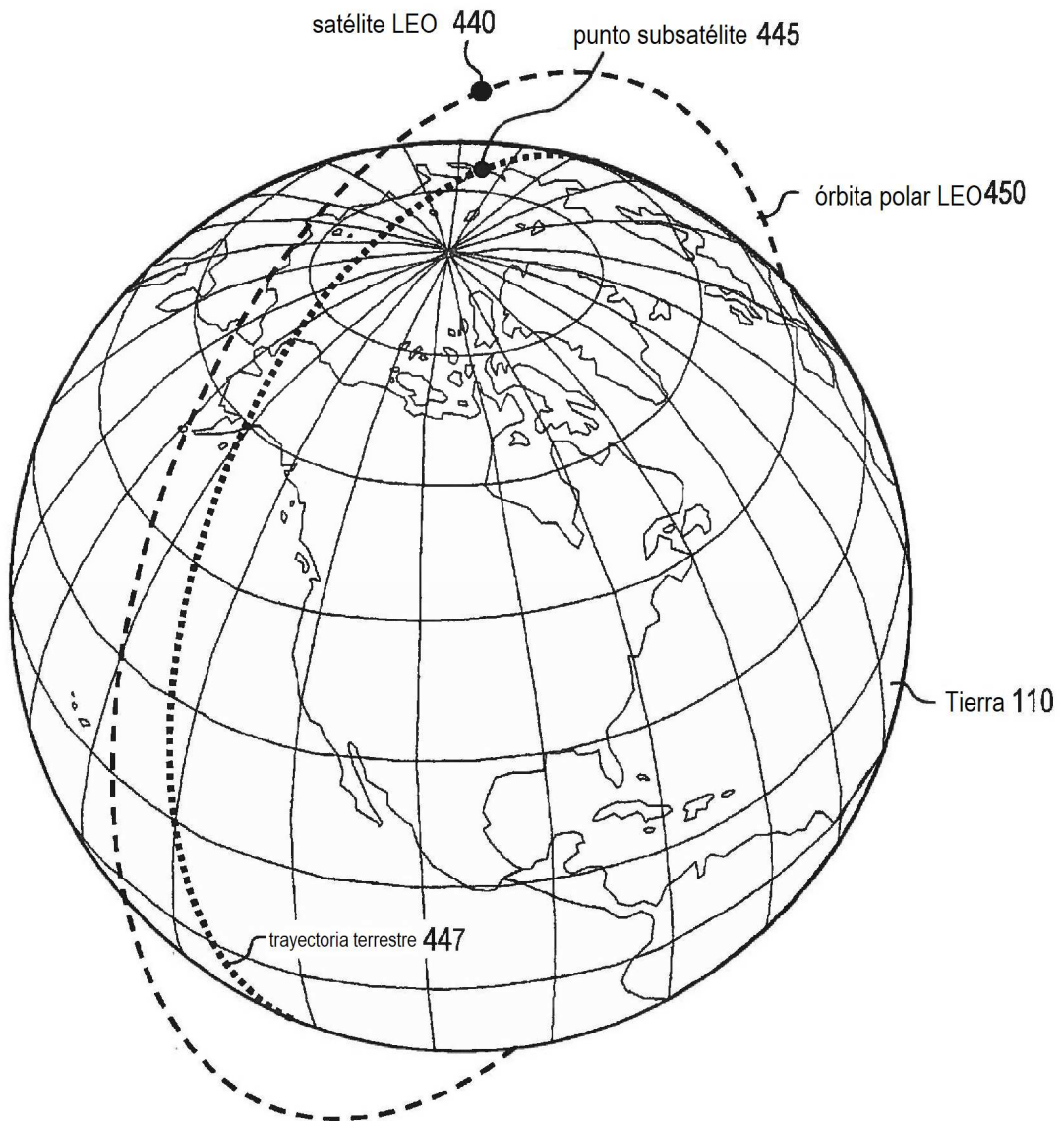


FIG. 5

TÉCNICA ANTERIOR

Cobertura continua mediante múltiples satélites que co-orbitan

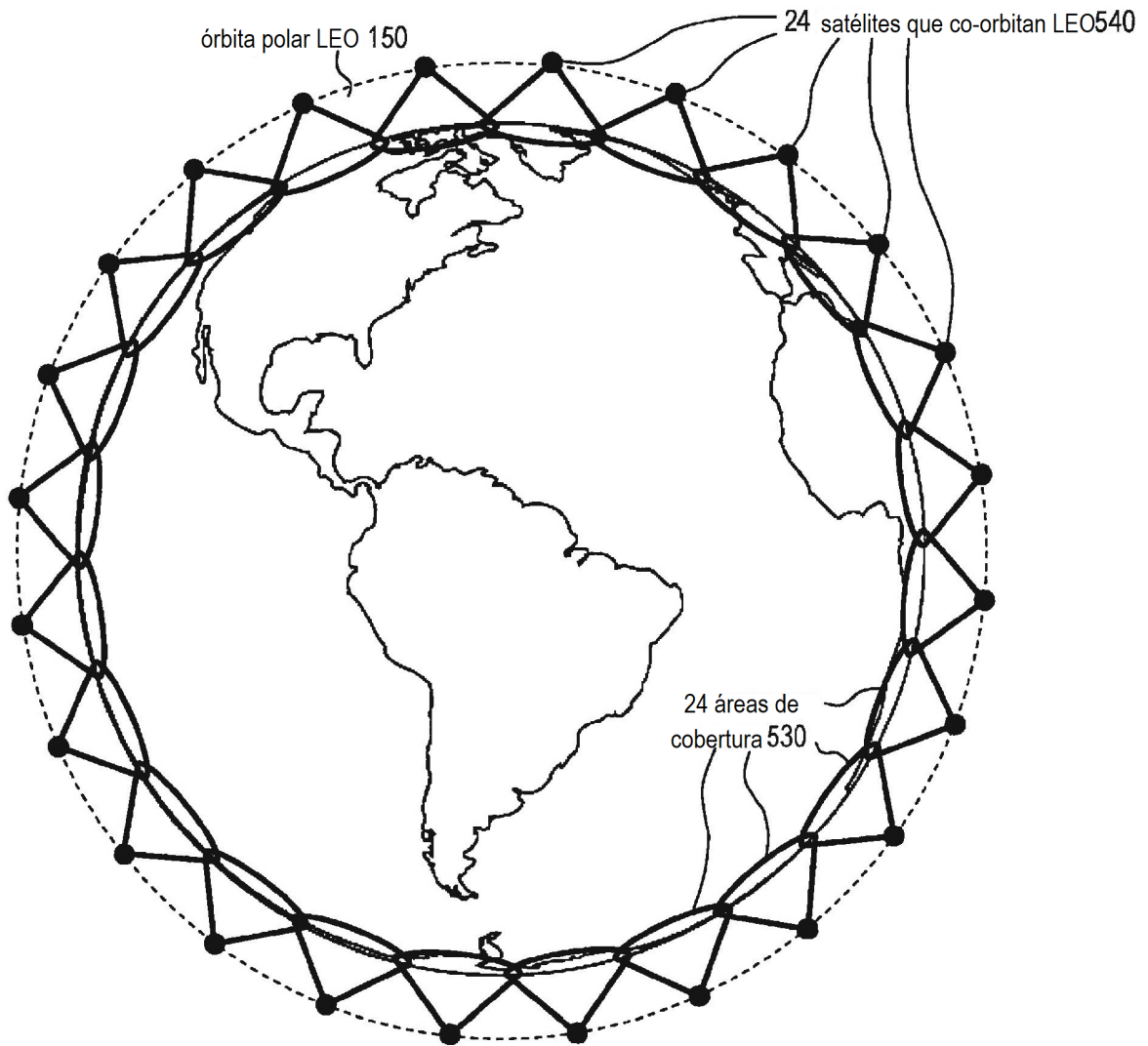


FIG. 6

TÉCNICA ANTERIOR

Banda de cobertura de múltiples satélites que co-orbitan

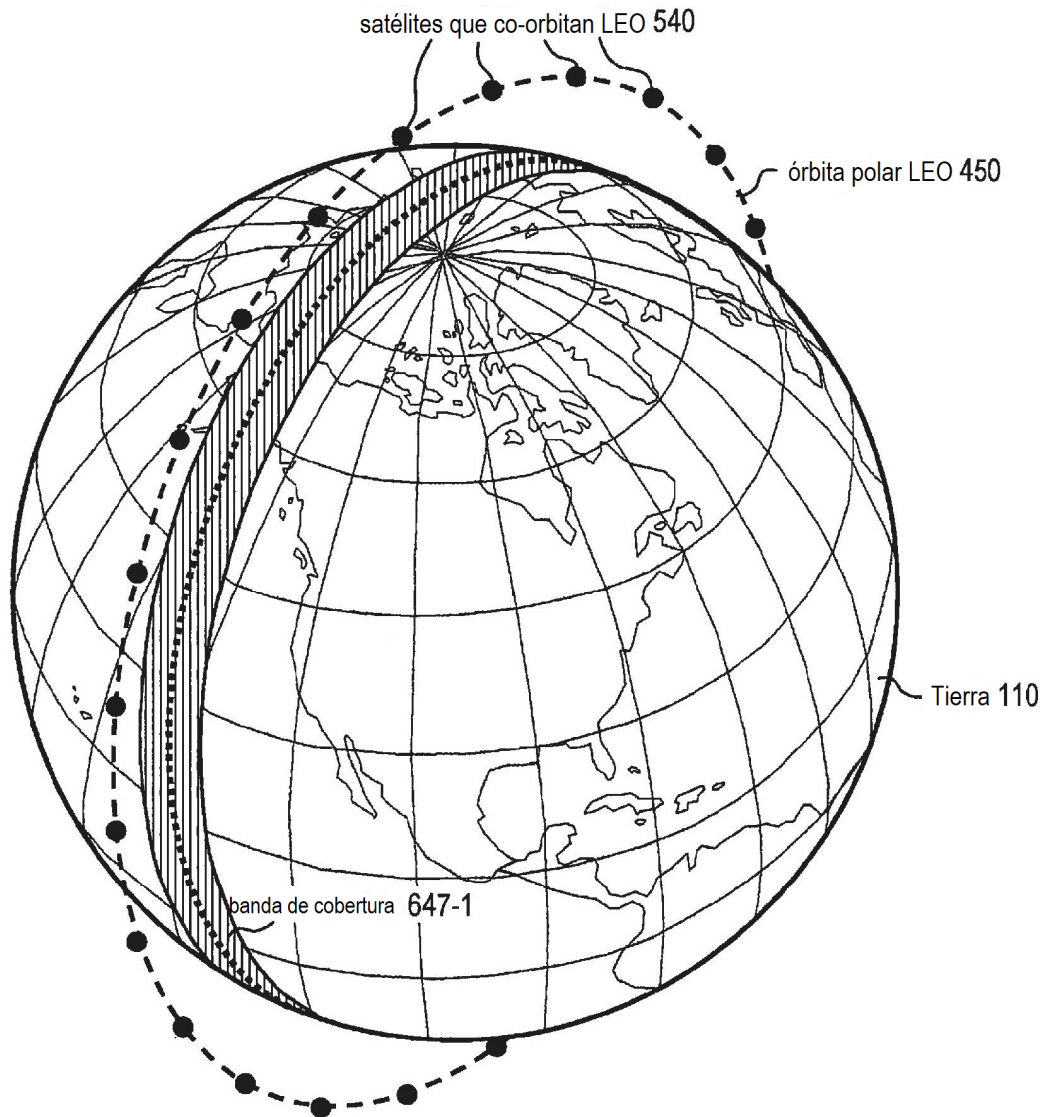


FIG. 7

TÉCNICA ANTERIOR

Múltiples órbitas para cobertura adicional

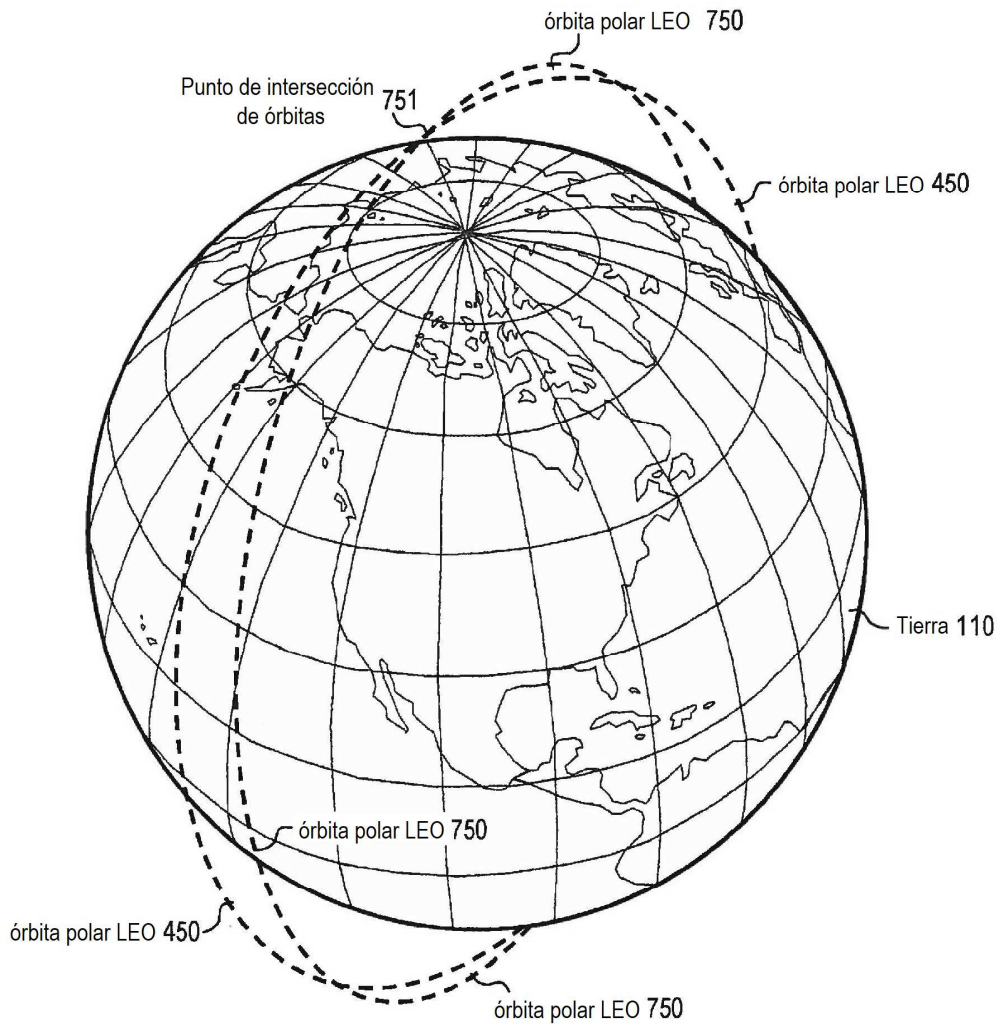


FIG. 8

TÉCNICA ANTERIOR

Bandas de cobertura adyacentes

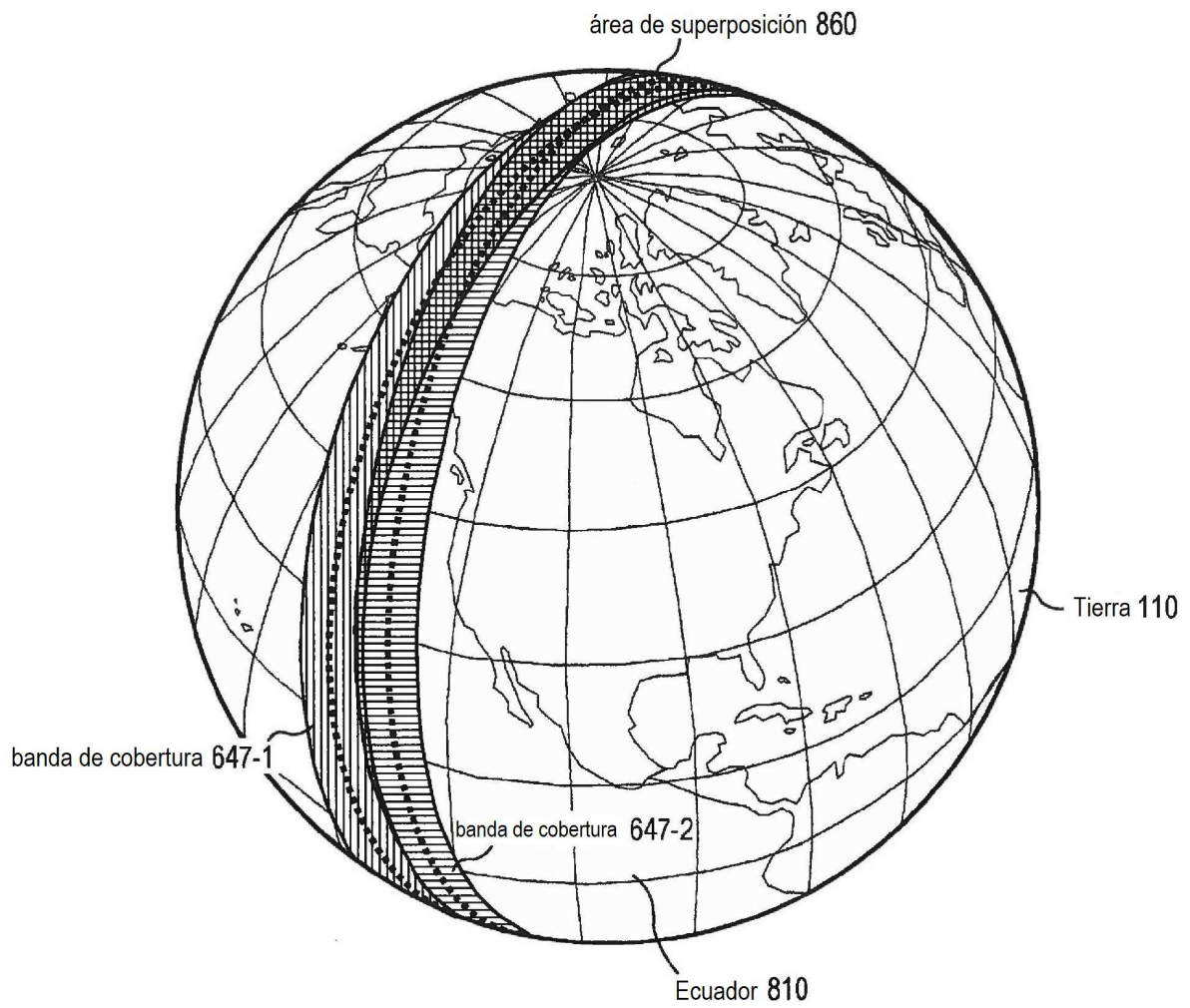


FIG. 9

Sistema de satélites de comunicación con 18 órbitas
polares LEO y 36 satélites en cada órbita

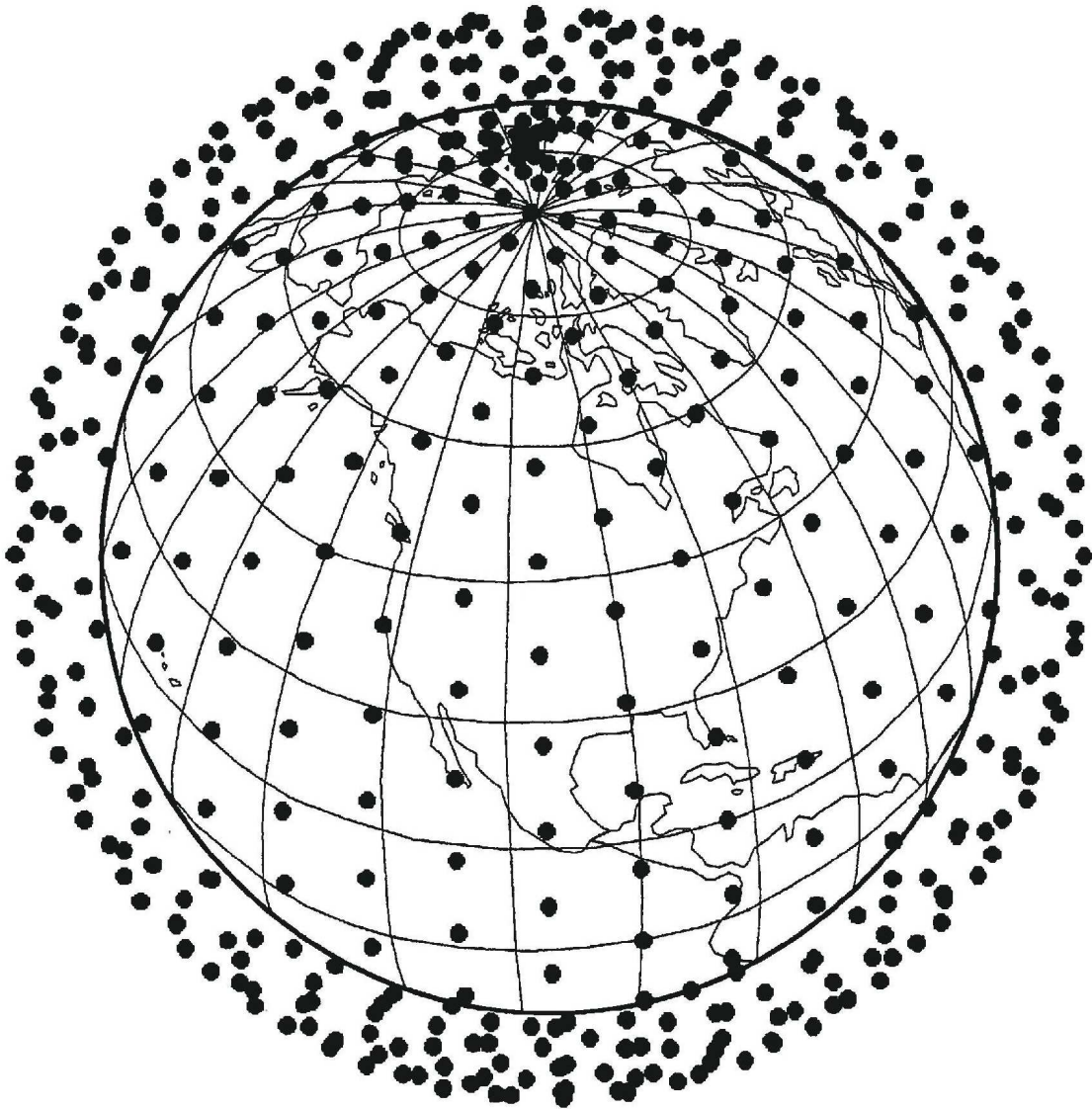


FIG. 10 Cobertura de satélite en el ecuador

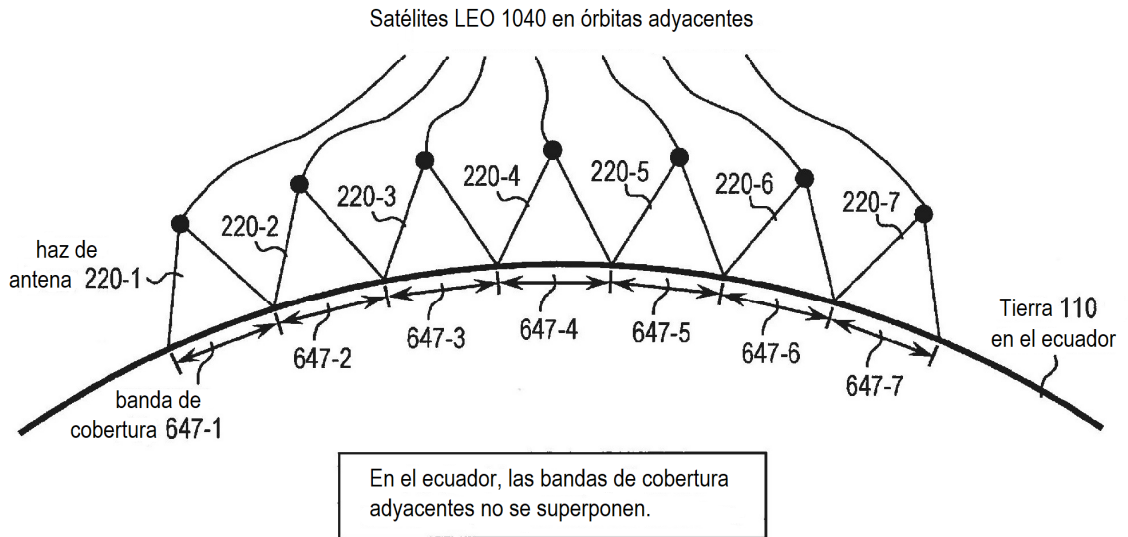


FIG. 11 Cobertura de satélite en latitudes bajas (p.ej., latitud = 30°)

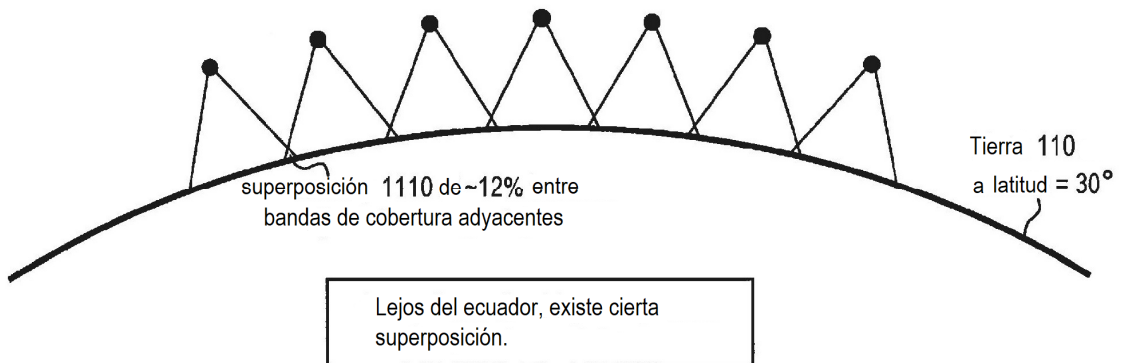


FIG. 12 Superposición aumentada mediante inclinación de satélite

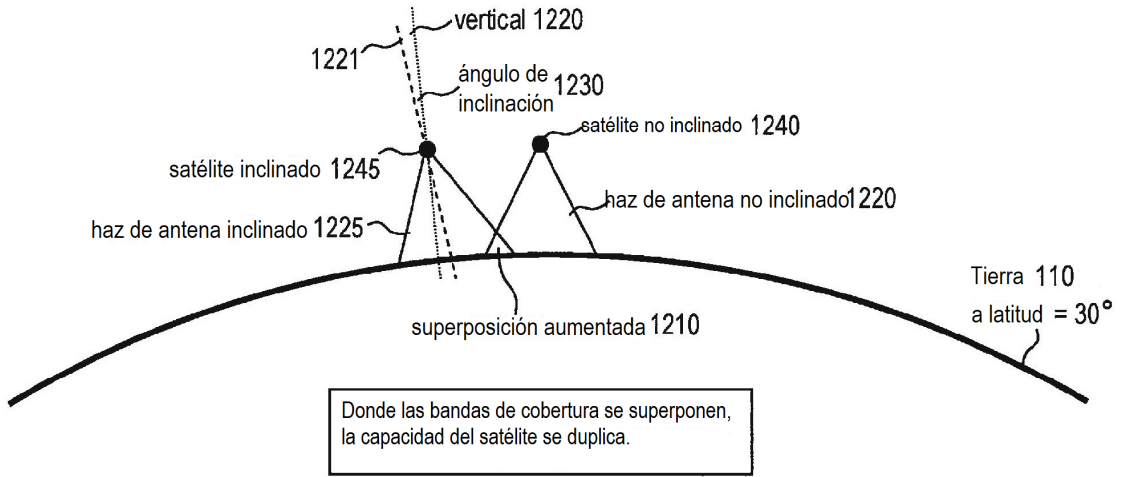


FIG. 13 Aumento máximo de superposición

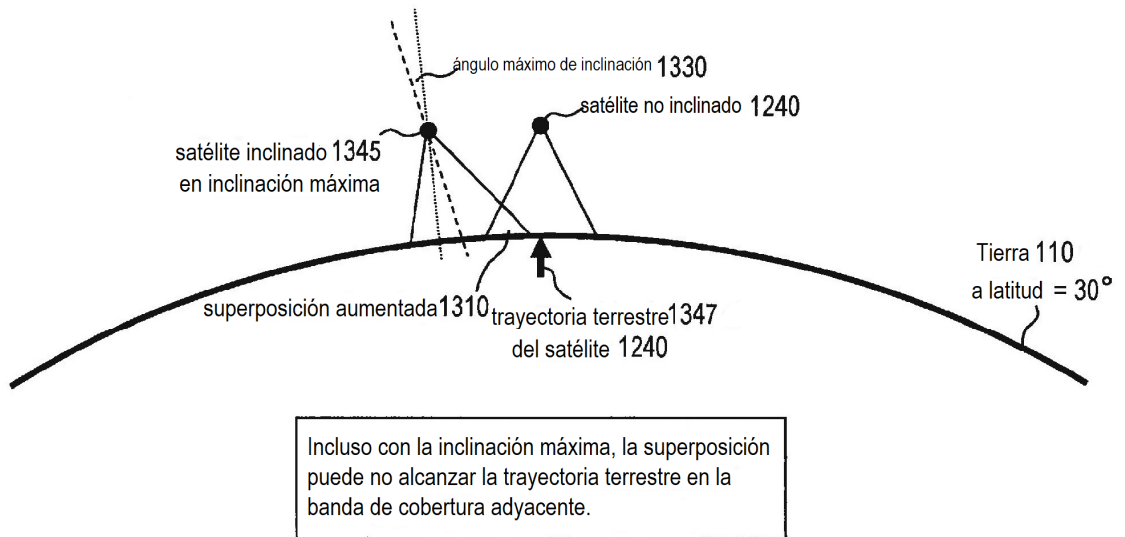


FIG. 14 superposición aumentada en latitudes medias (p.ej., latitud=40°)

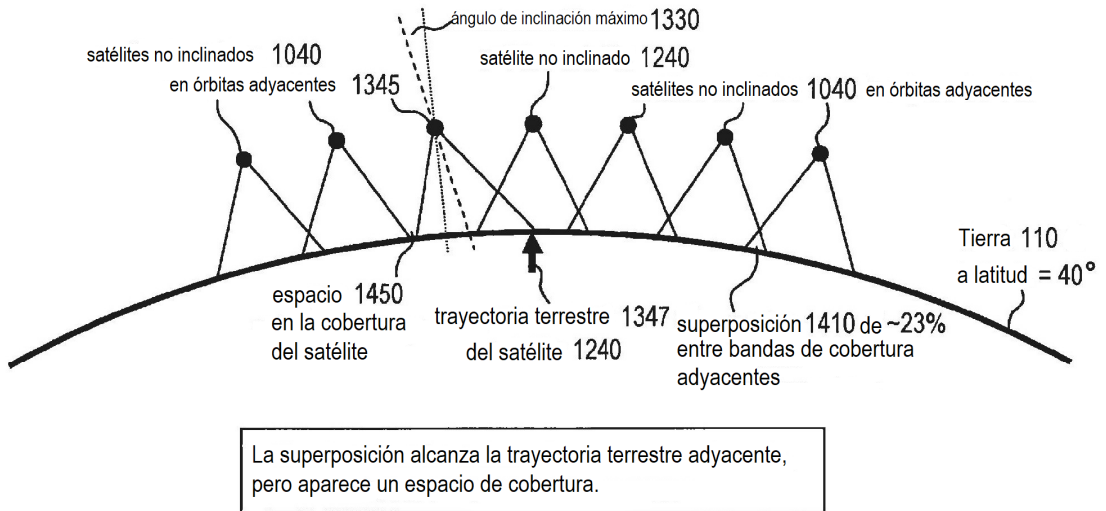


FIG. 15 Inclinación progresiva de satélites adyacentes

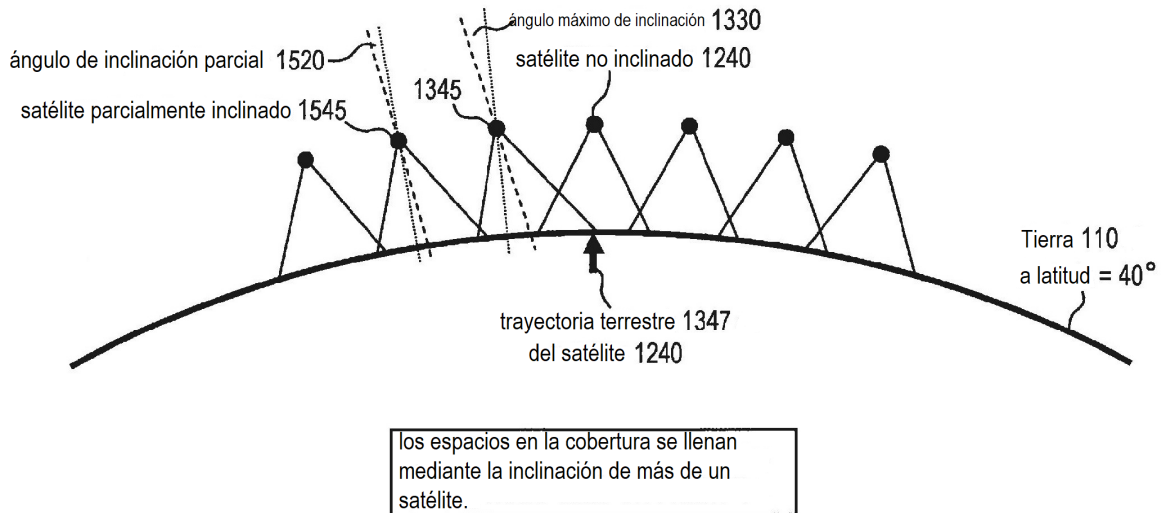


FIG. 16a Cobertura doble continua de una ubicación designada - 1era vista

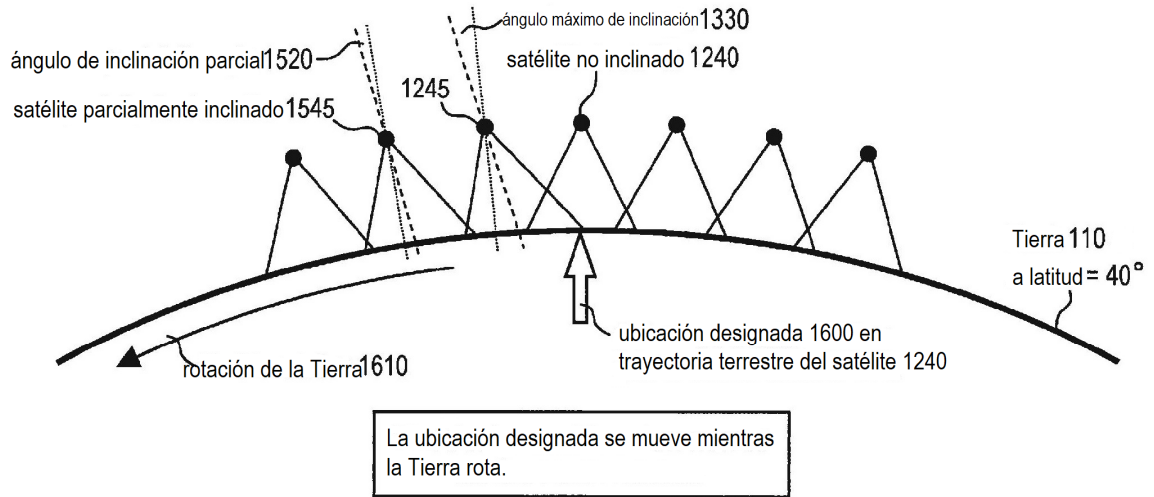


FIG. 16b Cobertura doble continua de una ubicación designada - 2da vista

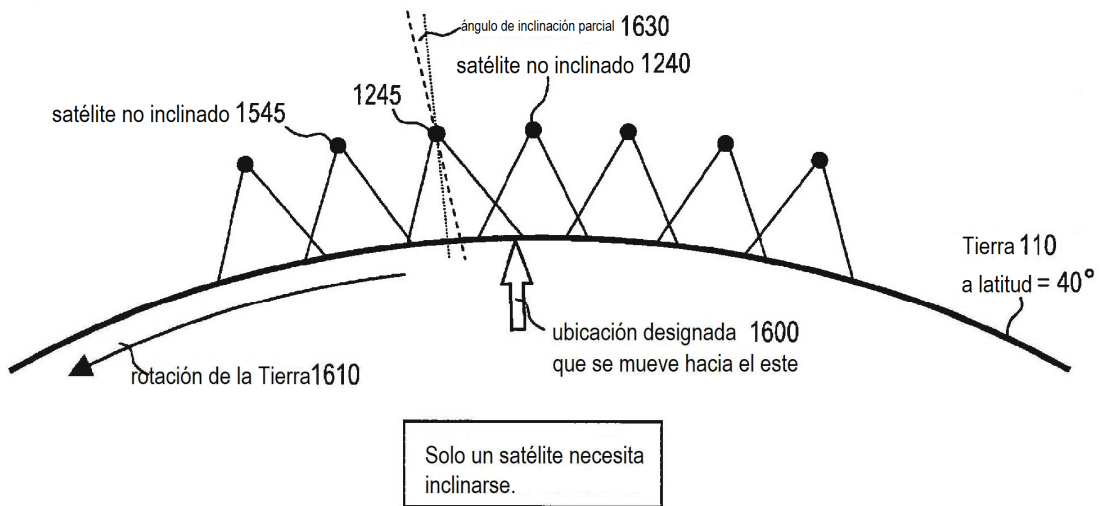


FIG. 16c Cobertura doble continua de una ubicación designada - 3era vista

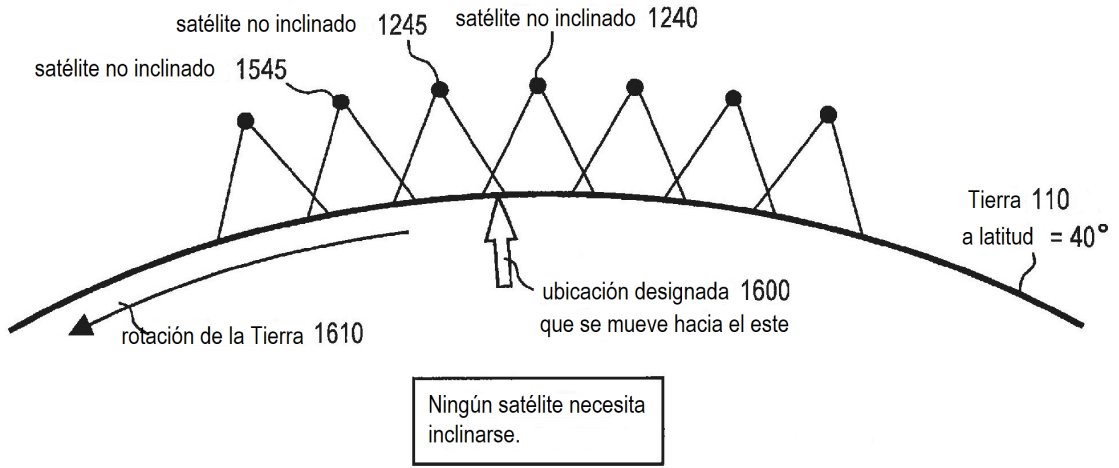


FIG. 16d Cobertura doble continua de una ubicación designada - 4ta vista

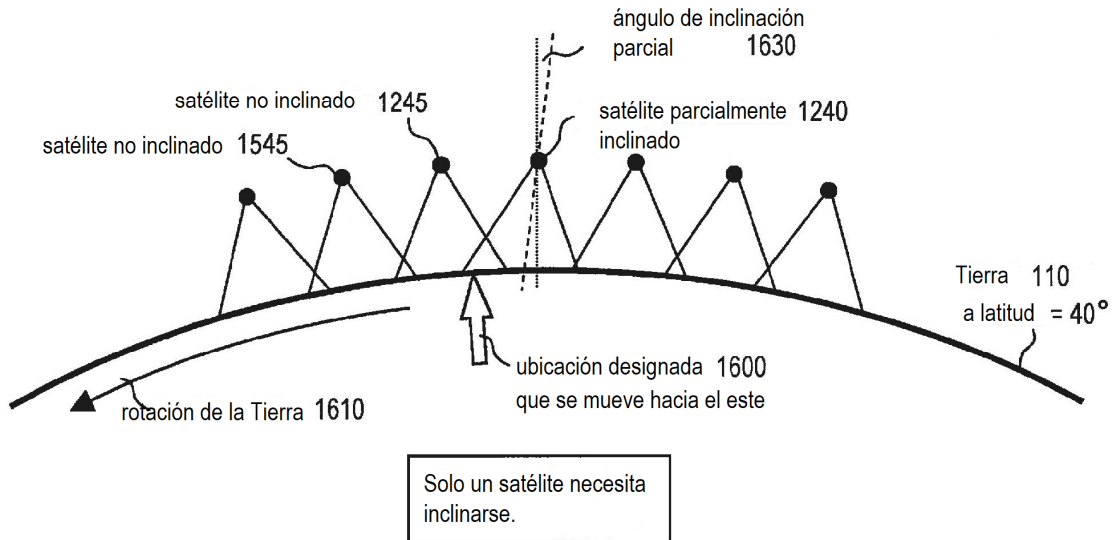


FIG. 16e Cobertura doble continua de una ubicación designada - 5ta vista

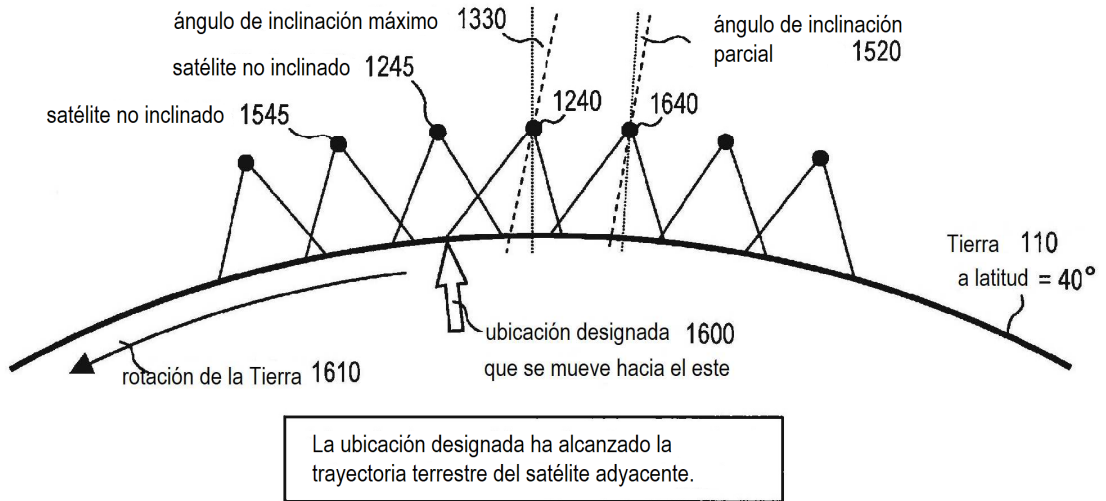


FIG. 17a Cobertura doble continua de una ubicación designada extendida - 1era vista

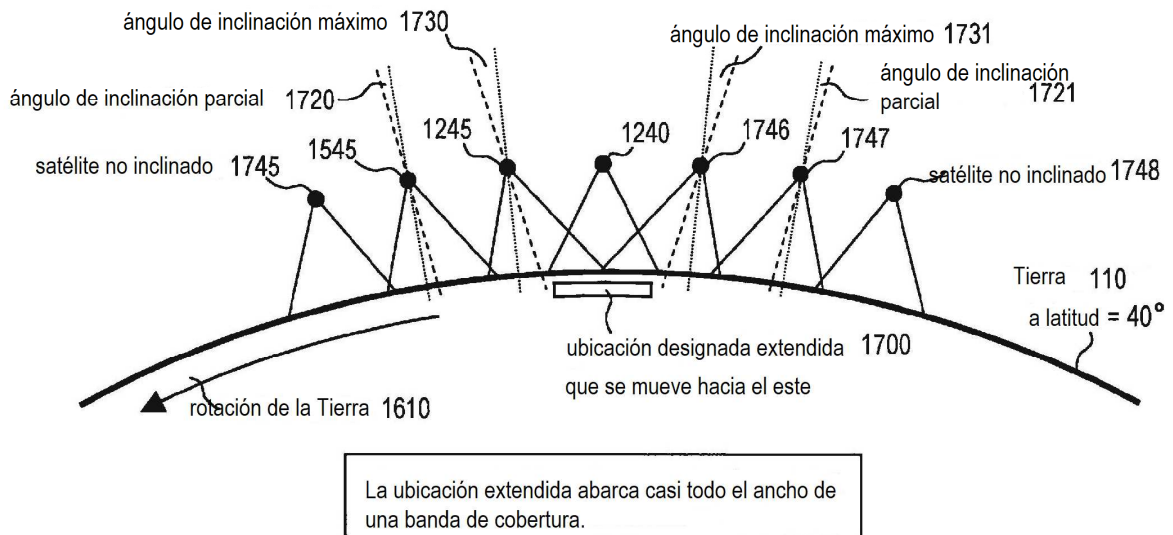


FIG. 17b Cobertura doble continua de una ubicación extendida designada - 2da vista

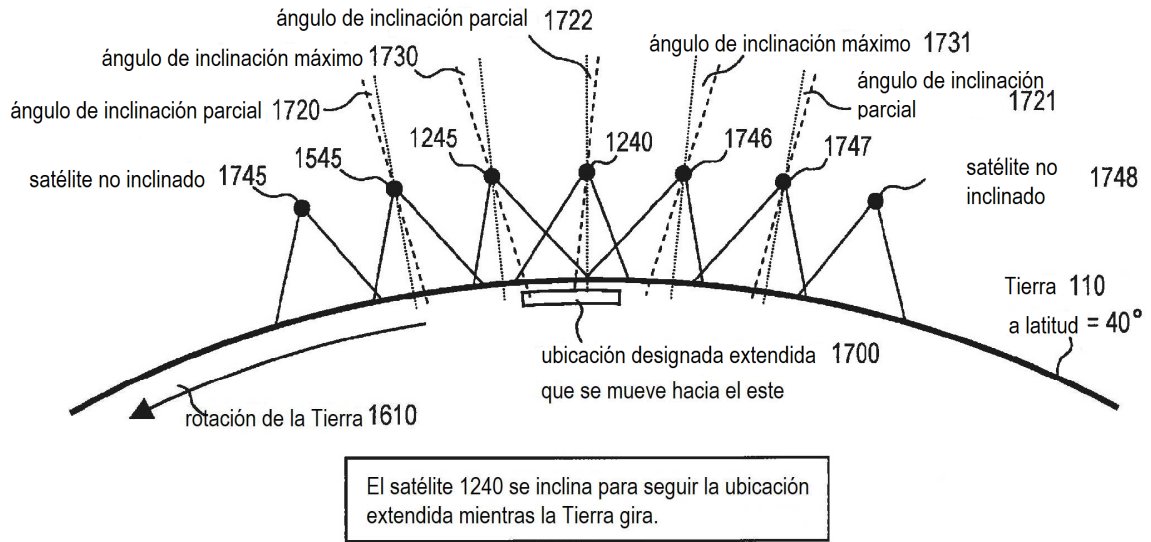


FIG. 17c Cobertura doble continua de una ubicación extendida designada - 3era vista

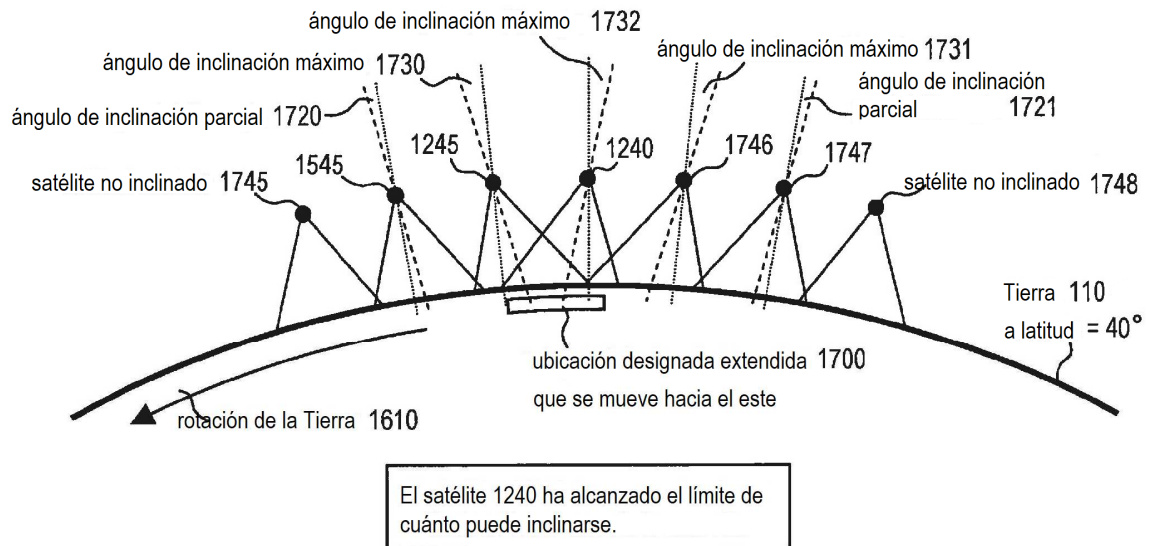


FIG. 17d Cobertura doble continua de una ubicación extendida designada - 4ta vista

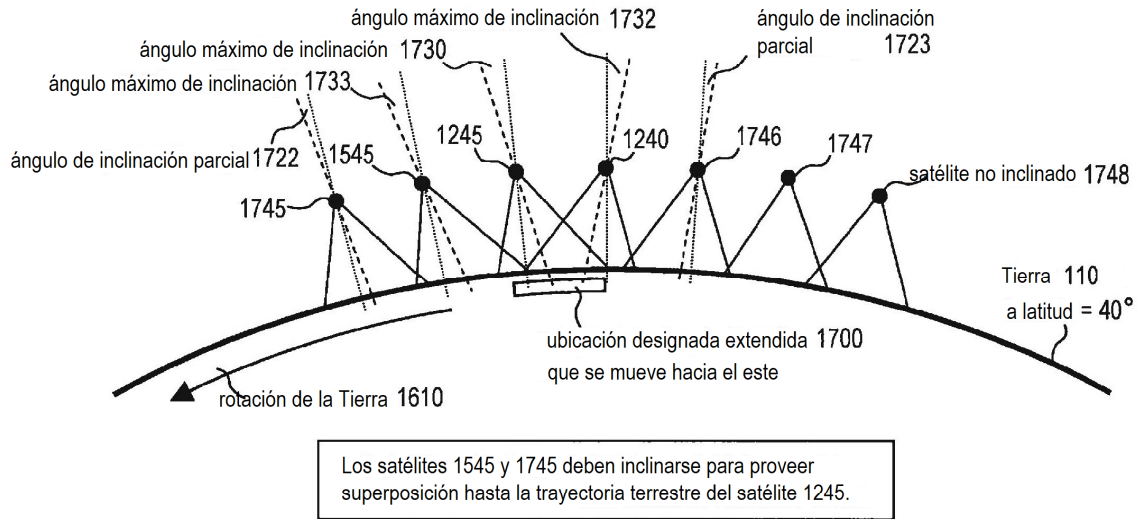


FIG. 17e Cobertura doble continua de una ubicación extendida designada - 5ta vista

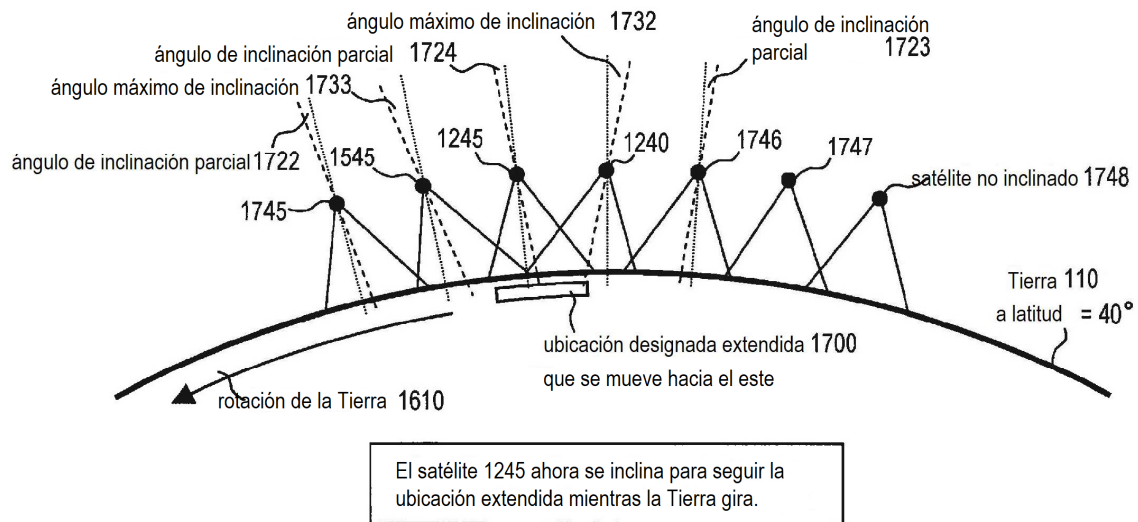


FIG. 17f Cobertura doble continua de una ubicación extendida designada - 6ta vista

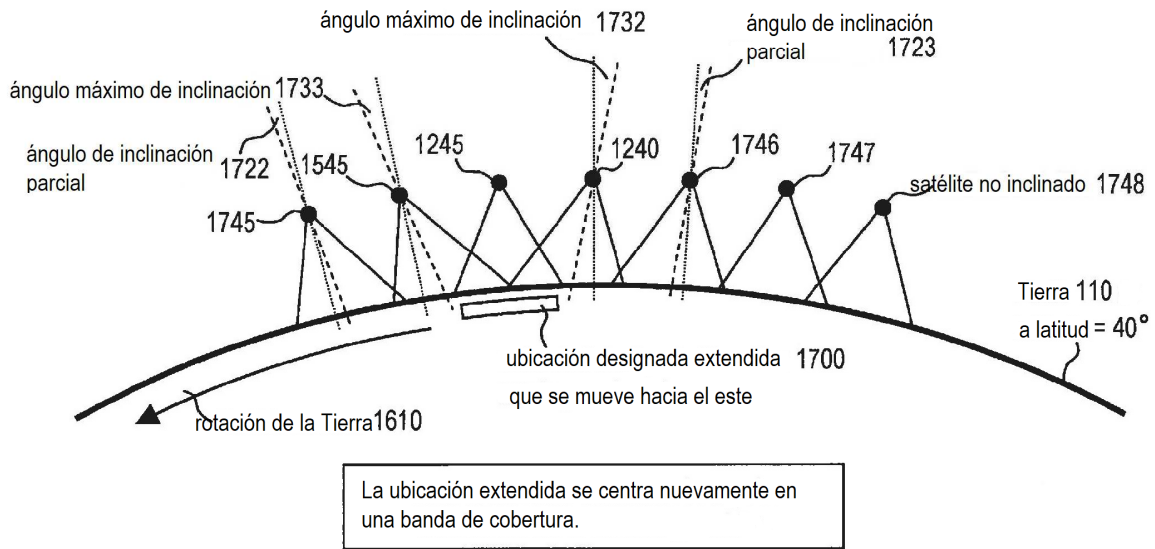


FIG. 18

Banda de cobertura alterada por la maniobra de rotación del satélite

